

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ალექსი კოპალიანი

არატრადიციული თბური წყაროები და  
მათი გამოყენების პერსპექტივები გათბობის  
ვენტილაციის და ჰაერის კონდიციონირების სისტემებში

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად წარდგენილი  
დისერტაციის

ავტორ ე ფ ე რ ა ტ ი

სადოქტორო პროგრამა 0406

თბილისი

2016წ.

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში  
სამშენებლო ფაკულტეტი  
წყალმომარაგების, წყალარინების, თბოაირმომარაგების, ვენტილაციის და  
შენობათა საინჟინრო აღჭურვის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი პროფესორი მ. გრძელიშვილი

რეცენზენტები: პროფესორი შ. მესტვირიშვილი

აკადემიური დოქტორი ს. ბარამიძე

დაცვა შედგება 2016 წლის 16 თებერვალს 14 00 საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის  
სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე კორპუსი I, II სართული,  
აუდიტორია 215<sup>ბ</sup>

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ - ს ბიბლიოთეკაში,  
ხოლო ავტორეფერატის უნივერსიტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს

სწავლული მდივანი პროფესორი

დ. ტაბატაძე

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალობა. ჩვენი დროის ერთ - ერთი უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა გარემოს დაცვა და არაგანახლებადი, წიაღისეული სათბობის გამოყენების შემცირება. გათბობისა და ჰაერის კონდიციონერების თანამედროვე სისტემებს წაყენებათ მავნე ნივთიერებათა, განსაკუთრებით კი CO<sub>2</sub> - ის ემისიის შემცირების მოთხოვნა. მავნე გამონაბოლქვების შემცირების ერთ-ერთი გზაა წიაღისეული სათბობის გამოყენების მნიშვნელოვანი შემცირება. ეს კი რთული ძვირადღირებული ტექნიკური საკითხია.

თანამედროვე პირობებში სულ უფრო მძლავრად ვითარდება სამრეწველო და მუნიციპალური დარგები, ხოლო წიაღისეული სათბობის მოთხოვნილების ყოველწლიური ზრდა კი იქნება შენარჩუნებული, რაც აუცილებლად უარყოფითად იმოქმედებს გარემოს დაცვაზე. წიაღისეული ენერგომატარებლების ფასები ყოველწლიურად იზრდება და მომავალშიც გაიზრდება, ამიტომ თბოაირმომარაგების და ვენტილაციის დარგის სპეციალისტების წინაშე დგას ამოცანა, რომ გაზარდონ წიაღისეულ სათბობზე მომუშავე დანადგარების ენერგოეფექტურობა და ალტერნატიული ენერჯის გამოყენების პოტენციალი.

წარმოქმნილი სიტუაცია გვაიძულებს დავსახოთ გარემოს დაცვის და ბუნებრივი რესურსების დაზოგვის მასშტაბური მიზნები. ამ მიზნების რეალიზაციის ყველაზე მნიშვნელოვანი სექტორია ქალაქების და სხვადასხვა სახის დასახლებების თბომომარაგება. ამრიგად მაქსიმალურად მოკლე დროში საჭიროა თბომომარაგების მოძველებული არაენერგოეფექტური სისტემების მოდერნიზაცია, და ახალი ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების დანერგვა. ამ მხრივ განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ჩვენს ირგვლის მყოფი დაბალპოტენციური ენერგოწყაროების (გრუნტი, ჰაერი, წყალი) სითბოს ათვისება თბური ტუმბოების მეშვეობით როგორც ცალკეული შენობების ასევე მთელი რიგი დასახლებების თბომომარაგების სისტემებში.

გათბობის სისტემების ჩვეულებრივ მოწყობილობებთან შედარებით თბური ტუმბოები წარმოადგენენ საკმაოდ რთულ კომპლექსურ მოწყობილობას, რომელთა გამოყენებაც მოითხოვს წინასწარ კომპეტენტურ დაპროექტებას. თხევად ან გაზისებურ სათბობზე მომუშავე ჩვეულებრივი (ტრადიციული) გათბობის ქვების მუშაობის პრინციპის გაგება ადვილია. თბური ტუმბოს მუშაობის პრინციპის გაგება კი მოითხოვს მთელ რიგ ახსნა - განმარტებებს, რადგანაც ძნელია იმის გაგება, თუ შედარებით „ცივი“ პირველადი სითბოს წყაროდან (დედამიწის სითბო, გრუნტი, წყალი ან ჰაერი) როგორ მიიღება მაღალი პოტენციის ენერგია, რომელიც გამოიყენება გათბობის სისტემაში.

განახლებადი ენერჯის (გრუნტი, გრუნტის წყალი, ჰაერი) ბაზაზე თბური ტუმბოების გამოყენების მეშვეობით ცალკეული შენობების და დასახლებების სითბო სიცივით მომარაგების დაპროექტების, მონტაჟის და ექსპლუატაციის საფუძველების შესაქმნელად საჭიროა სხვადასხვა სახის თბური ტუმბოების და სითბოსიცივით მომარაგების სქემების მეცნიერული შესწავლა, მათი განზოგადება და რეკომენდაციების შემუშავება. საქართველოში გამოყენებული ნორმატიული მასალა მათ შორის CHuII-ები, DIN-ები EN-ები გარკვეულ სიძნელებს უქმნის სპეციალისტებს პროექტირების დროს, რომელიც საქართველოს კლიმატურ - გეოლოგიური და ახალი ტექნოლოგიის დამახასიათებელი მთელი რიგი ტექნიკური საკითხების თავისებურებებით აიხსნება.

**ნაშრომის სიახლეს** წარმოადგენს საქართველოს გეოგრაფიულ - კლიმატური თავისებურებების გათვალისწინებით შენობათა და დასახლებების სითბოსიცივით მომარაგების დაპროექტების საფუძველების დამუშავება.

**კვლევის მეთოდიკა** მდგომარეობს სამეცნიერო - ტექნიკური ლიტერატურის, ნორმატიული და მეთოდური დოკუმენტაციის შესწავლასა და გაანალიზებაში, აგრეთვე ზოგიერთი ექსპერიმენტალური კვლევის ჩატარებაში ზოგიერთი უცნობი პარამეტრის დადგენის მიზნით.

დისერტაციის მიზანს და პრაქტიკული გამოყენების საგანს წარმოადგენს შენობათა სითბოსიცივით მომარაგების საკითხების გადაწყვეტა განახლებადი ენერჯის გამოყენების ბაზაზე თბური ტუმბოების მეშვეობით, სათანადო რეკომენდაციების და ანგარიშის მეთოდის დამუშავებით.

სამეცნიერო პრაქტიკული ღირებულება იმაში მდგომარეობს, რომ ჩატარებული კვლევების სისტემატიზაციის საფუძველზე განისაზღვრა საქართველოში თბომომარაგების სისტემებში განახლებადი ენერჯის გამოყენების პერსპექტივები. დამუშავებული მეთოდის გამოყენებას საპროექტო და სამშენებლო - სამონტაჟო სამუშაოებში ექნება დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა.

ნაშრომის აპრობაცია და გამოქვეყნებული პუბლიკაციები. სადისერტაციო ნაშრომის, როგორც ცალკეული ისე ძირითადი შედეგები მოხსენებულ იქნა სადოქტორო პროგრამით გათვალისწინებულ 2 სემინარზე და სამეცნიერო - ტექნიკურ კონფერენციაზე „ეროვნული ეკონომიკის შედეგები „გუშინ, დღეს, ხვალ“ , თბილისი, ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2015 წ. 16 – 17 ოქტომბერი.

გარდა ამისა სადისერტაციო ნაშრომის მასალების მიხედვით გამოქვეყნებულია 8 სტატია.

ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, 4 თავის, დასკვნის და გამოყენებული ლიტერატურის 47 დასახელების ნუსხისაგან, ტექსტის საერთო მოცულობა 132 გვერდი.

## **ნაშრომის შინაარსი**

### **თავი I. თბური ტუმბოები და მათი ძირითადი სახეები**

განხილულია თბური ტუმბოს შექმნის და მისი განვითარების მოკლე ისტორია, მასში მიმდინარე ფიზიკური პროცესები და გამოყენებული სამაცივრო აგენტები. შესწავლილია დაბალპოტენციური თბური ენერგოწყაროები და მათი გათბობის სისტემებში გამოყენების შესაძლებლობები.

სამაცივრო მანქანის გამოსაგონებლად ადამიანები არც კი ფიქრობდნენ, რომ გამოეყენებინათ ენერჯის ბუნებრივი წყაროები, რომელსაც დაბალპოტენციურ ენერჯოწყაროებს უწოდებენ, მაგრამ როგორც კი შეიქმნა სამაცივრო მანქანა ადამიანებმა დიდი ყურადღება დაუთმეს ბუნებრივი წყაროებიდან თბური ენერჯის მიღების საკითხს. ამასთანავე მეცნიერება არ შემოიფარგლა მხოლოდ ბუნებრივი ენერჯოწყაროებით და დაიწყო ფიქრი გარემოში უზომო რაოდენობით გადაგდებული სითბოს (კანალიზაციაში გადაღვრილი ცხელი წყალი, სათავსიდან გარემოში გაყვანილი თბილი სავენტილაციო გამონაბოლქვები, სამრეწველო საწარმოებიდან გაყვანილი ნარჩენი სითბო და სხვა) გამოყენების შესახებ. სინამდვილეში ამ ოცნების აღსრულება შეუძლებელი აღმოჩნდა, რაც ახსნა ფიზიკოსმა კლაუზიუსმა, რომელმაც ჩამოაყალიბა თერმოდინამიკის მეორე კანონი, რომ სითბოს გადასვლა ცივი სხეულიდან უფრო ცხელზე შეუძლებელია. ბუნებაში არ არსებობს ხერხი, რომელიც ცივი სხეულიდან სითბოს გადაიტანს ცხელ სხეულში თუ ბუნებაში არ მოხდა ისეთი ცვლილება, რომელიც მოახდენს ამ გადატანის კომპენსირებას.

ასეთი აზროვნების შედეგად ახალგაზრდა ფრანგმა ფიზიკოსმა და სამხედრო ინჟინერმა სადი კარნომ 1824 წელს ჩამოაყალიბა თეორია, რომელიც თერმოდინამიკის საფუძველად ითვლება და რომელიც შეიცავს თბური მანქანის ცნებას.

ამ ნაშრომის საფუძველზე უილიამ ტომსონმა (ლორდ კელვინმა) 1852 წელს შექმნა თბური ტუმბო, რომელსაც მან სითბოს გამამრავლებელი უწოდა, ამ დანადგარით ტომსონმა გვიჩვენა თუ როგორ ეფექტურად შეიძლება გამოვიყენოთ სამაცივრო დანადგარი გათბობის მიზნით. ტომსონმა მიუთითა, რომ ენერჯეტიკული რესურსების შეზღუდულობა ვერ უზრუნველყოფს გათბობის მიზნით სათბობის მუდმივ წვას ღუმელში და რომ მის მიერ შემოთავაზებული „სითბოს გამამრავლებელი“ მოიხმარს სულ უფრო ნაკლებ ენერჯიას ვიდრე ჩვეულებრივი ღუმლები.

მსგავსი ტიპის დანადგარები შეიქმნა შვეიცარიაში, შოტლანდიაში და სხვ.

წარმატების მიუხედავად თბურმა ტუმბოებმა ვერ ჰპოვა მკვეთრი განვითარება, სხვა სახის თბურ წყაროებთან შედარებით, თბური ტუმბოების ინტენსიურ განვითარებას ბიძგი 1973 წლის პირველმა ენერგეტიკულმა კრიზისმა მისცა.

სადღეისოდ თბური ტუმბოების ზრდის ტემპი ყოველწლიურად 30 – 40% - ით მატულობს. დღეისათვის შვედეთსა და გერმანიაში თბური ტუმბოებით მოსახლეობის 50% სარგებლობს. 2020 წლისთვის გათბობის სისტემებზე მოსული თბური ენერჯის წილი 75% - ს მიაღწევს. მიუხედავად თბური ტუმბოების ასეთი მზარდი განვითარებისა, ეს რიცხვი რუსეთში ათასსაც ვერ აღწევს, ხოლო საქართველოში იგი საერთოდ არ არსებობს.

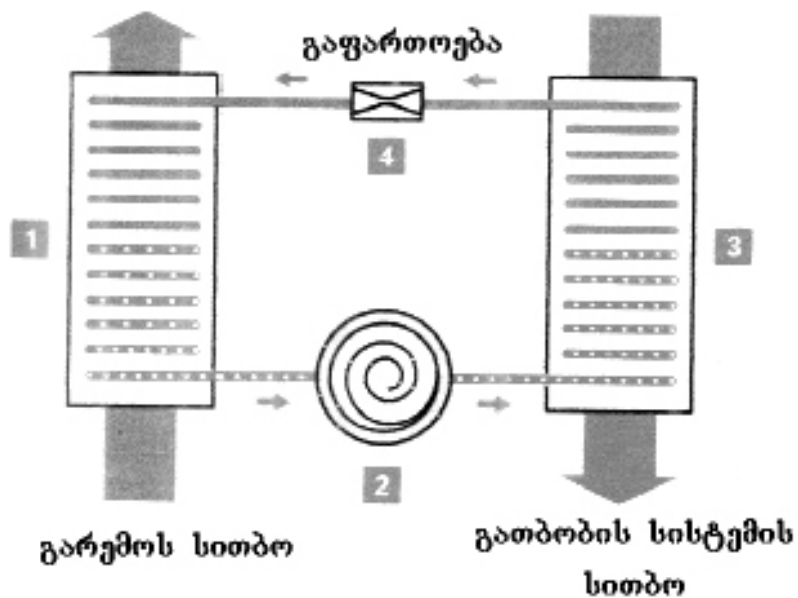
საქართველოს გააჩნია თბური ტუმბოების გამოყენების ფართო შესაძლებლობა, რაც გაპირობებულია ბუნებრივი ენერგოწყაროების საუკეთესო მაჩვენებლებით.

ძირითადი პროცესები, რომლებიც თბურ ტუმბოში მიმდინარეობს არის გათხევადება ანუ კონდენსაცია და აორთქლება. გათხევადება ნიშნავს მუშა სხეულის ფაზურ გარდაქმნას გაზისებური აგრეგატული მდგომარეობიდან თხევადში, ანალოგიურია უკუგარდაქმნა - თხევადი მდგომარეობიდან გაზისებურში.

1ლ წყლის 0 - დან 100°C- მდე დახარჯული ენერჯის რაოდენობა 116 ვტ. სთ ტოლია ანუ ყოველი 1°C - ით შესათბობად იხარჯება 1,16 ვტ. სთ. ენერჯია.

როდესაც წყლის ტემპერატურა მიაღწევს 100°C, ნორმალური წნევის პირობებში იგი მთლიანად აორთქლდება, ამისათვის კი საჭიროა დამატებით დავხარჯოთ 627 ვტ. სთ. ენერჯია, რომელიც 500 - ჯერ აღემატება 1°C - ით შესათბობად საჭირო ენერჯიას. სწორედ ენერჯის ეს რაოდენობა თავისუფლდება უკუპროცესის გათხევადების (კონდენსაციის) დროს.

თბური ტუმბოს პრინციპი (ნახ. 1) დაფუძნებულია ფაზური გარდაქმნის ოთხ ძირითად პროცესზე.



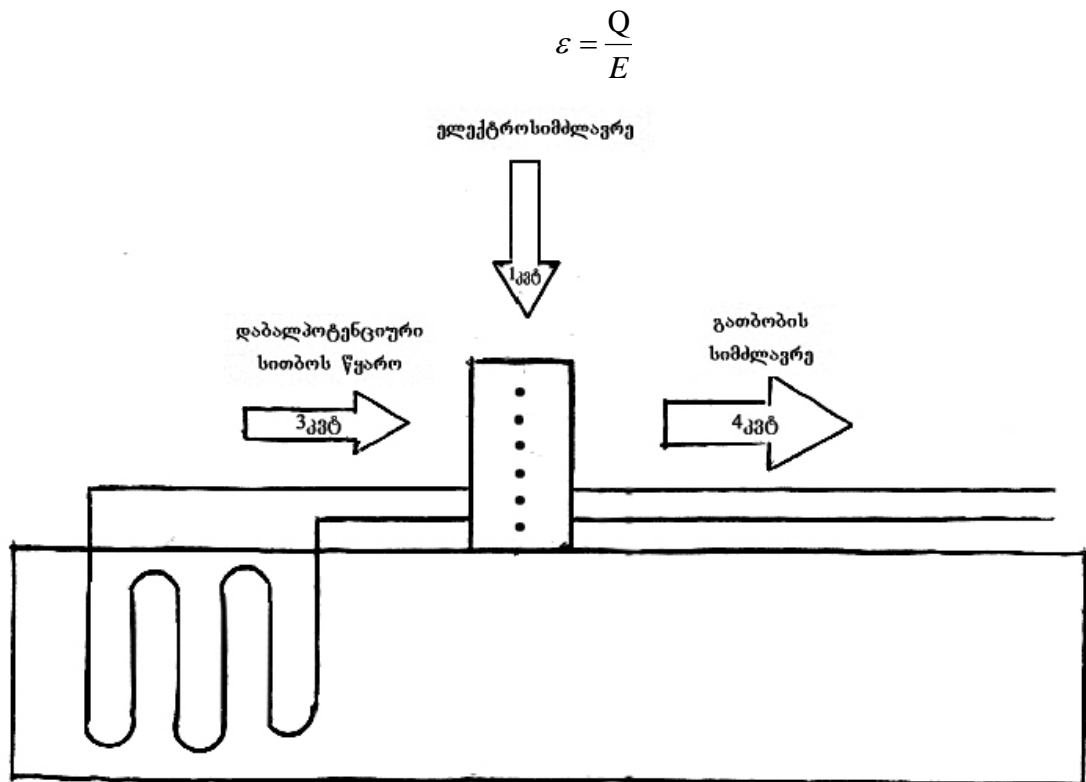
ნახ. 1. თბური ტუმბოს ფუნქციონირების პრინციპული სქემა 1 - ამორთქლებელი; 2 - კომპრესორი; 3 - კონდენსატორი; 4 - საფართოებელი სარქველი.

თბური ტუმბოს ფუნქციონირებისათვის ძირითადი მნიშვნელობა აქვს სამაცივრო აგენტს, ანუ მუშა სხეულს (გარემოს). სამაცივრო აგენტს გააჩნია ძალიან დაბალ ტემპერატურაზე აუირთქლების უნარი. თბოგადამცემზე (ამორთქლებელზე) 1, გარე ჰაერის ან წყლის მიწოდებისას, მასში მოძრავი სამაცივრო აგენტი სითბოს წყაროდან იღებს აორთქლებისათვის საჭირო სითბოს რაოდენობას და თხევადი მდგომარეობიდან გადადის გაზისებურში. ამ დროს სითბოს წყარო რამოდენიმე გრადუსით ცივდება. კომპრესორი (2) შეიწოვს გაზისებურ სამაცივრო აგენტს და ახდენს მის შეკუმშვას. ამ დროს წნევის მომატების გამო ტემპერატურა იზრდება. ამრიგად სამაცივრო აგენტი შეიწოვება უფრო მაღალი ტემპერატურული დონის მიღწევამდე. ამისათვის კი საჭიროა ელექტროენერგია რადგან კომპრესორის გაცივება მიმდინარეობს დაბალი წნევის გაზით. ეს ენერგია (ძრავის სითბო) კი არ იკარგება, არამედ დამატებით ათბობს სამაცივრო აგენტს ანუ მუშა გარემოს. კომპრესორში შეკუმშული გარემო მიეწოდება კონდენსატორს (3), რომელიც კომპრესორის შემდგომია განლაგებული. აქ მუშა გარემო ადრე მიღებულ სითბოს



გადასცემს წყლით სათბობი სისტემის საცირკულაციო რგოლს, რის შედეგადაც ხდება მისი კონდენსაცია. შემდგომ საფართოებელი სარქველის (4) საშუალებით ხდება ნარჩენი წნევის შემცირება და ციკლი მეორდება.

თბური ტუმბოს მთავარი მახასიათებელი პარამეტრი არის მისი სიმძლავრის ანუ გარდაქმნის კოეფიციენტი COP (coefficient performance) და იგი წარმოადგენს თბური ტუმბოს მიერ გამომუშავებული თბური ენერჯის ფარდობას მასში დახარჯულ ელექტროენერჯისათან.



ნახ. 2. თბური ტუმბოს გარდაქმნის კოეფიციენტი

როგორც 2 ნახაზიდან ჩანს თბური ტუმბოს მწარმოებლობა (თბური სიმძლავრე 4 - ჯერ აღემატება მიწოდებულ ელექტროენერჯის სიმძლავრეს, ე.ი. გარდაქმნის კოეფიციენტი 4 - ის ტოლია ანუ თბური ტუმბო იძლევა 4 - ჯერ მეტ ენერჯიას ვიდრე მასზე მიწოდებული ელექტროენერჯია..

თბური ტუმბოს ასეთი მნიშვნელოვანი მახასიათებლები იძლევა ჩვენს ირგვლივ მყოფი უზომო რაოდენობის დაბალპოტენციური თბური ენერჯის გათბობის სისტემებში გამოყენების ფართო შესაძლებლობას.

ამ თავში განხილულია სხვადასხვა სახის დაბალპოტენციური თბური წყაროები - გრუნტი, ჰაერი, წყალი (როგორც ზედაპირული ასევე გრუნტის), მოცემულია მათი ფიზიკო - ტექნიკური მახასიათებლები, მათგან სითბოს გენერაციის ძირითადი სქემები, და მათი პარამეტრების გათვალისწინებით სისტემებისათვის საჭირო პარამეტრებამდე გარდაქმნის პირობები. განხილულია აგრეთვე თბურ ტუმბოში გამოყენებული სამაცივრო აგენტები მათი თბოფიზიკური მახასიათებლები, ეკოლოგიური უსაფრთხოების და გამოყენების ტექნიკური პირობები.

1 - ლ ცხრილში ნაჩვენებია თბურ ტუმბოში გამოყენებული დაბალპოტენციური თბური წყაროები და მათი ტემპერატურული დიაპაზონები. ამ ცხრილში ჩამოთვლილი ყველა წყაროს ტემპერატურული პარამეტრები დამახასიათებელია საქართველოს გეოლოგიური და კლიმატური პირობებისათვის.

ცხრ.1

№	თბური წყარო	ტემპ-რული დიაპაზონი, °C
1	ატმოსფერული ჰაერი	-5 – 15
2	ნამუშევარი ჰაერი	15 – 25
3	გრუნტის წყალი	4 – 10
4	ტბების წყალი	0-10
5	მდინარის წყალი	0 – 10
6	ზღვის წყალი	3 – 8
7	მთის ქანები	0 – 5
8	გრუნტი	0 – 10
9	ჩამდინარე წყლები	10 - ზე მეტი

დაბალპოტენციური თბური წყაროების ცხრილში წარმოდგენილი ტემპერატურული პირობები და მათი სიუხვე მთელ მოსახლეობას უზრუნველყოფს თბური ენერჯით, რომელიც სამოქალაქო სექტორში

მოხმარებული ენერჯის 87% - შეადგენს. ეს კი პერსპექტივაში ბუნებრივი გაზის გამოყენების აუცილებლობას გამორიცხავს.

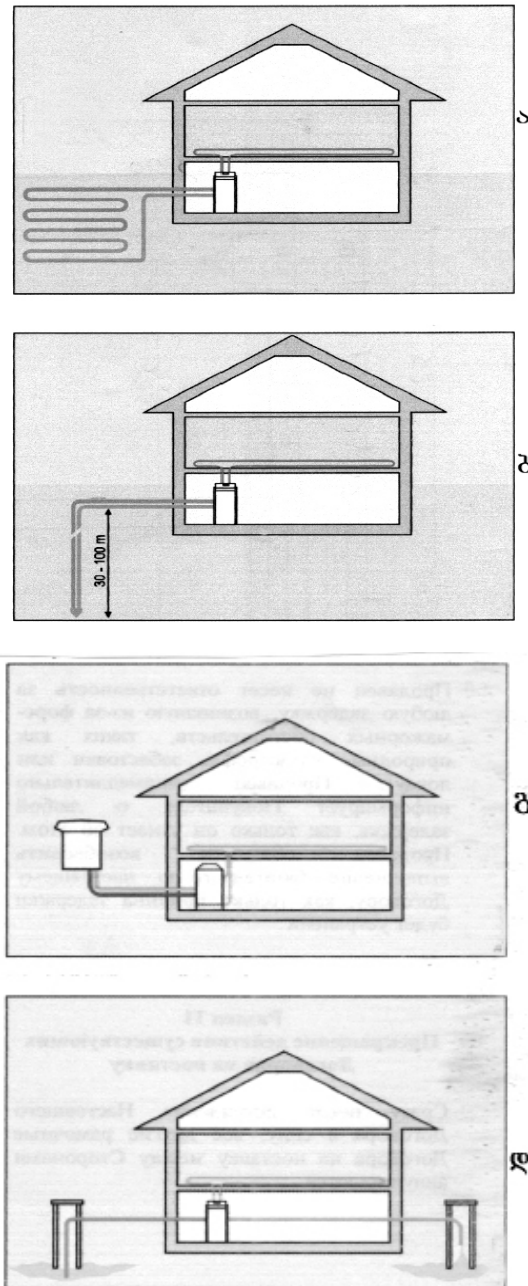
## **თავი II. გათბობის ტექნიკაში გამოყენებული თბური ტუმბოების კონსტრუქციები და მათი მახასიათებლები**

თბური ტუმბოების კლასიფიკაცია მრავალი ნიშნის მიხედვით ხდება. მშენებლობაში ანუ შენობათა მიკროკლიმატის უზრუნველყოფის სისტემებში ძირითადად გამოიყენება ორთქლკომპრესიული თბური ტუმბოები, რომელთა კლასიფიკაცია წარმოებს თბური ენერჯის მიხედვით.

პირველადი წყაროს სახეობის მიხედვით. პირველად წყაროდ კი ყველაზე უფრო გავრცელებულია გრუნტი, ჰაერი და წყალი, ვინაიდან თბურ ტუმბოებს ძირითადად ვიყენებთ წყლის გასათბობად ან გასაცივებლად შესაბამისად თბური ტუმბოებიც არის „გრუნტი-წყლის“, წყალი-წყლის“ და „ჰაერი-წყლის“. შესაძლებელია თბური ტუმბოს სხვა სახეობაც, მაგალითად „წყალი-ჰაერის“ და სხვა. შენობათა გათბობის სისტემაში გამოყენებულ თბურ ტუმბოებში სითბოს გენერაციის ძირითადი პრინციპული სქემები ნაჩვენებია 3 ნახაზზე. „გრუნტი-წყლის“ თბურ ტუმბოებში თბური ენერჯის პირველადი წყაროს წარმოადგენს გრუნტი (მიწა), ხოლო სითბოს გენერაცია კი ხდება ორი სქემით მიწაში მოშეობილი კოლექტორებით (ნახ.3. ა) ან სპეციალური თბური ზონდებით, რომელსაც გეოზონდი ეწოდება (ნახ. 3ბ). „წყალი წყლის“ თბურ ტუმბოებში (ნახ.3გ) თბური ენერჯის პირველადი წყაროს წარმოადგენს გრუნტის წყალი, რომელსაც საკმარისი პოტენციალი გააჩნია, რომ თბურ ტუმბოში გენერაციის შედეგად სითბო გადასცეს გათბობის სისტემას. პირველადი წყაროდან ენერჯის მისაღებად ეწყობა მიმღები ჭა, საიდანაც შედარებით თბილი წყალი მიეწოდება თბურ ტუმბოს, ხოლო გაცივების შედეგად უფრო დაბალი პოტენციალით იგი ჩამშვები ჭაბურღილის საშუალებით კვლავ გრუნტში ბრუნდება.

„წყალი წყალის“ თბურ ტუმბოებში ენერჯის პირველად წყაროდ შეიძლება გამოყენებულ იქნას აგრეთვე სხვა წყარო. მდინარე, ტბა, ზღვა, წყალსაცავი და სხვა.

„ჰაერი - წყლის“ (ნახ. 3დ) თბურ ტუმბოებში ენერჯის პირველად წყაროს წარმოადგენს გარემო ჰაერი, რომელიც მინუს 25°C ტემპერატურამდეც კი უზუნველყოფს შენობის ეფექტურ გათბობას.



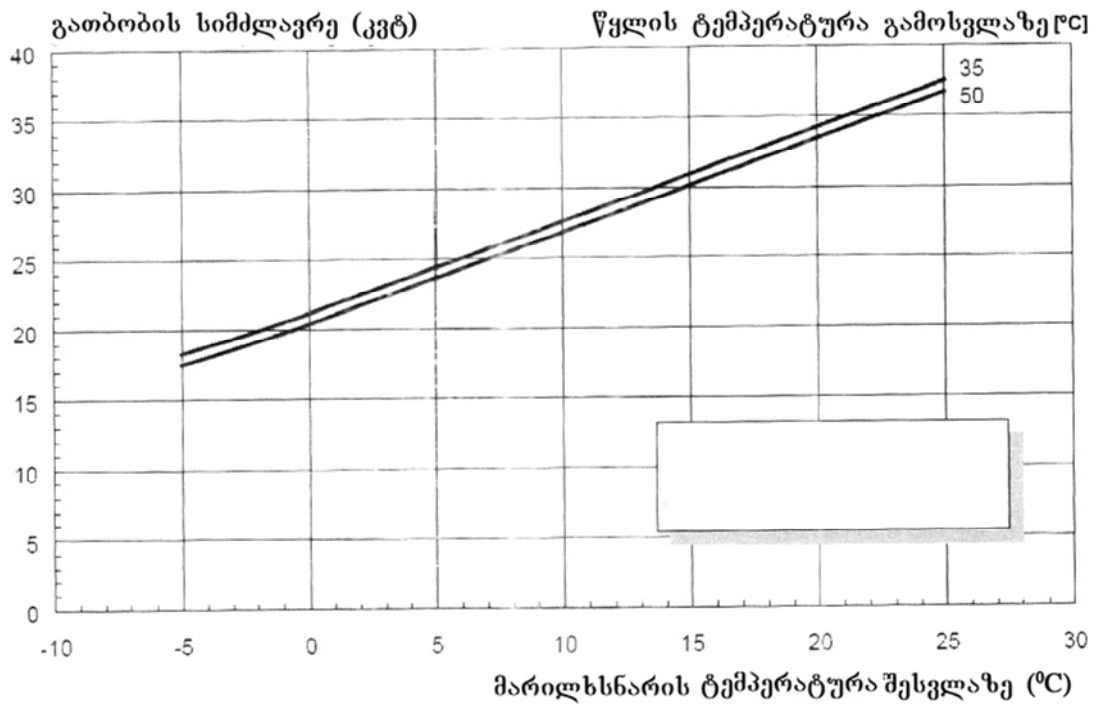
ნახ. 3. თბურ ტუმბოში სითბოს გენერაციის პრინციპული სქემები. სითბოს წყაროა: ა - გრუნტის კოლექტორი; ბ- გეოზონდი; გ - გრუნტის წყალი; დ - გარე ჰაერი.

თბური ტუმბოების სამივე ეს ტიპი ერთი და იგივე პრინციპით მუშაობს, გააჩნიათ ერთი და იგივე კონსტრუქციული ელემენტები, უზრუნველყოფენ გათბობის სისტემისათვის საჭირო თბოშემცველის ერთი და იგივე პარამეტრებს, მაგრამ გააჩნიათ სხვადასხვა ზომის კონსტრუქციული, თბოფიზიკური, ენერგეტიკული და ეკონომიკური მახასიათებლები.

ნაშრომში განხილულია როგორც გეოთერმული (გრუნტის და გრუნტის წყლის), ასევე ჰაერის თბური ტუმბოები, მათი კონსტრუქციული ელემენტები, გრუნტის კოლექტორების და გეოზონდების სახეები, მათი მიერთება როგორც თბური ენერჯის პირველად წყაროებთან ასევე გათბობის სისტემებთან.

შესწავლილია სხვადასხვა სახის თბური ტუმბოს თბური სიმძლავრის ანუ გარდაქმნის კოეფიციენტები. ანგარიშები ჩატარებულია როგორც პირველადი თბური წყაროს ასევე გათბობის სისტემაში მისაწოდებელი თბოშემცველის სხვადასხვა ტემპერატურული რეჟიმებისთვის.

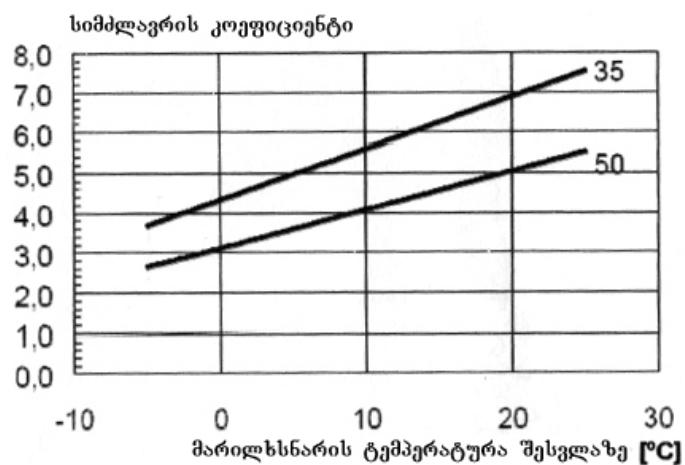
ნახ. 4 ნაჩვენებია მარილხსნარ-წყლის თბური ტუმბოს სიმძლავრეები გათბობის სისტემაში მისაწოდებელი წყლის ორი ტემპერატურული რეჟიმებისათვის 35 და 50 °C. მარილხსნარი (ანტიფრიზი) გარკვეული კონცენტრაციით გამოიყენება როგორც „გრუნტი-წყლის“ ასევე „წყალი-წყლის“ თბური ტუმბოების პირველად კონტურებში, პირველადი თბოშემცველობის დაბალი ტემპერატურის გამო გაყინვის თავიდან ასაცილებლად. 35 და 50 °C კი დაბალტემპერატურულ გათბობის სისტემებში მისაწოდებელი წყლის ტემპერატურები. ეს ტემპერატურები ქმნიან როგორც თბური ტუმბოს მუშაობისათვის საუკეთესო პირობებს ასევე უზრუნველყოფენ სათავსში კომფორტულ პირობებს, როგორც ამ გრაფიკიდან ჩანს „მარილხსნარ-წყლის“ თბური ტუმბოები კარგ შედეგებს იძლევიან მარილხსნარის დაბალი ტემპერატურების დროს -5°C-დან +25°C-მდე.



ნახაზი 4. მარილხსნარ - წყლის თბური ტუმბოს სიმძლავრე.

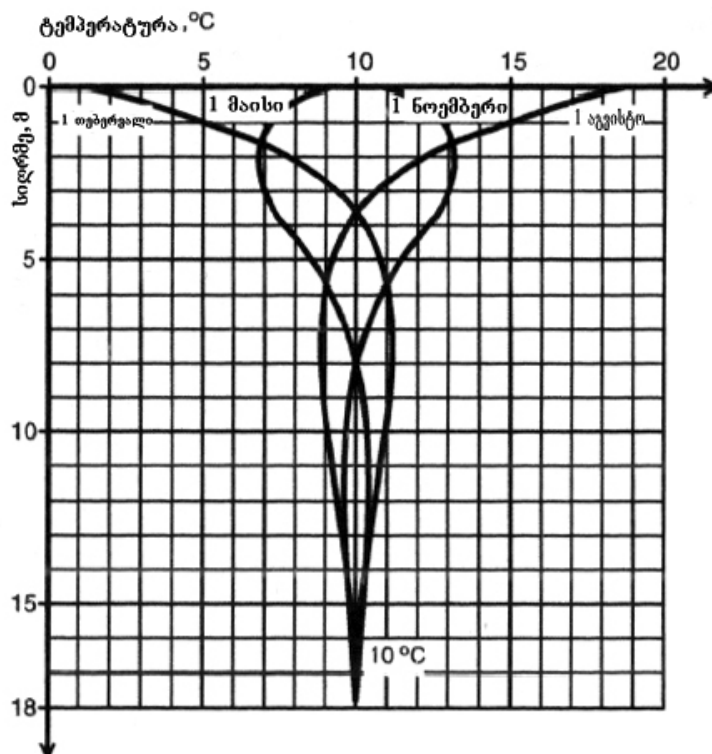
-5°C ტემპერატურის დროს შეგვიძლია უზრუნველვეყოთ გათბობის სისტემაში 20 კვტ თბური ენერჯის მიწოდება. მარილხსნარის ტემპერატურის მატებასთან ერთად მატულობს გამომუშავებული თბური ენერჯის სიდიდე. გრაფიკი აგებულია შემთხვევისთვის როდესაც ქსელის წყლის რაოდენობაა  $1 \div 1,6 \text{ მ}^3/\text{სთ}$ , ხოლო მარილხსნარის  $4 \div 6 \text{ მ}^3/\text{სთ}$ .

ამ ტემპერატურული დიაპაზონში თბური ტუმბოს გარდაქმნის კოეფიციენტი 2,5-დან 7-მდე იცვლება (ნახ. 5)



ნახაზი 5. მარილხსნარ - წყლის თბური ტუმბოს გარდაქმნის კოეფიციენტები.

ასეთი გარდაქმნის კოეფიციენტები გეოთერმული (გრუნტის) თბური ტუმბოების გამოყენების შესაძლებლობას იძლევა დედამიწის ნებისმიერ წერტილში. გრუნტის ტემპერატურა (ნახ. 6) ძირითადად დედამიწის ზედაპირულ ფენაში მცირდება. დედამიწის სიღრმეში დაახლოებით 3 მეტრზე გრუნტის ტემპერატურა მუდმივია და იგი 7-13°C-ის ტოლია, ხოლო 15 მ სიღრმის ქვევით ტემპერატურა მუდმივია და იგი 10°C-ის ტოლია.

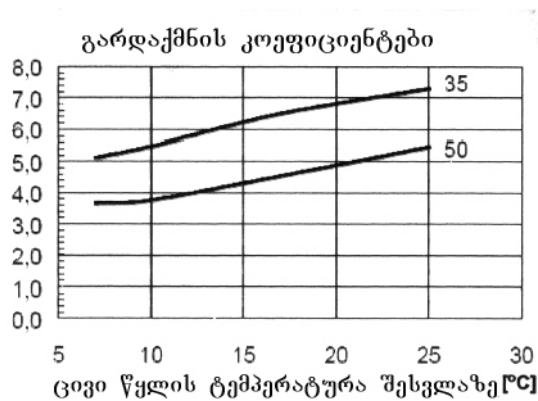
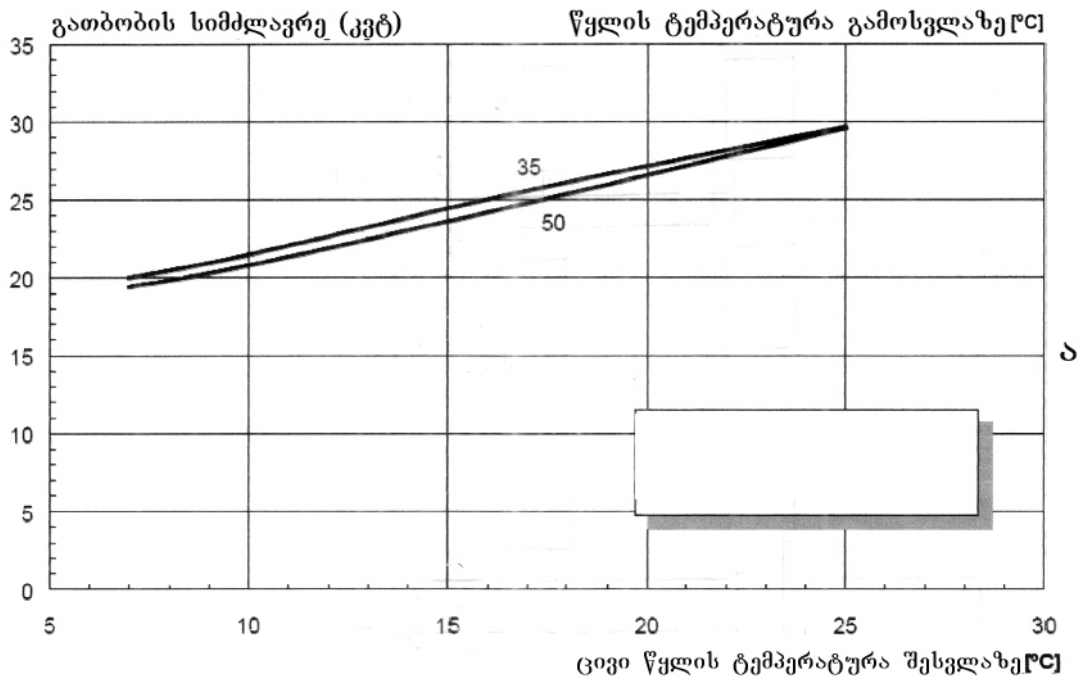


ნახ. 6 დედამიწის სიღრმეში (გრუნტში) ტემპერატურის წლიური განაწილება

ნახ.7 ნაჩვენებია „წყალი-წყლის“ თბური ტუმბოს სიმძლავრის და გარდაქმნის კოეფიციენტის მნიშვნელობები თბურ ტუმბოში წყლის შესვლის (პირველადი თბოშემცველი) და გამოსვლის (გათბობის სისტემაში მისაწოდებელი თბოშემცველი) ტემპერატურების მიხედვით ასეთი სახის თბური ტუმბოები გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როდესაც გრუნტის წყალი, მისი პარამეტრებიდან გამომდინარე შეიძლება უშუალოდ პირველად თბოშემცველად გამოიყენოთ.

გრაფიკები აგებულია შემთხვევისათვის, როდესაც გათბობის სისტემაში წყლის ხარჯია  $2\text{მ}^3/\text{სთ-მდე}$ , ხოლო პირველადი ანუ ცივი წყლის ხარჯი  $5\text{მ}^3/\text{სთ-მდე}$ .

თბოშემცველობის ეს ხარჯები დამახასიათებელია გრაფიკზე ნაჩვენები სიმძლავრეებისათვის გათბობის სისტემის თბოშემცველის (წყლის) ორი ტემპერატურული რეჟიმისათვის  $t_{\text{ცხ}}=35^{\circ}\text{C}$  და  $t_{\text{ცხ}}=50^{\circ}\text{C}$



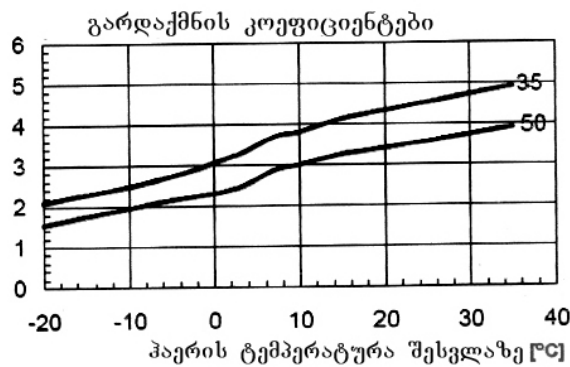
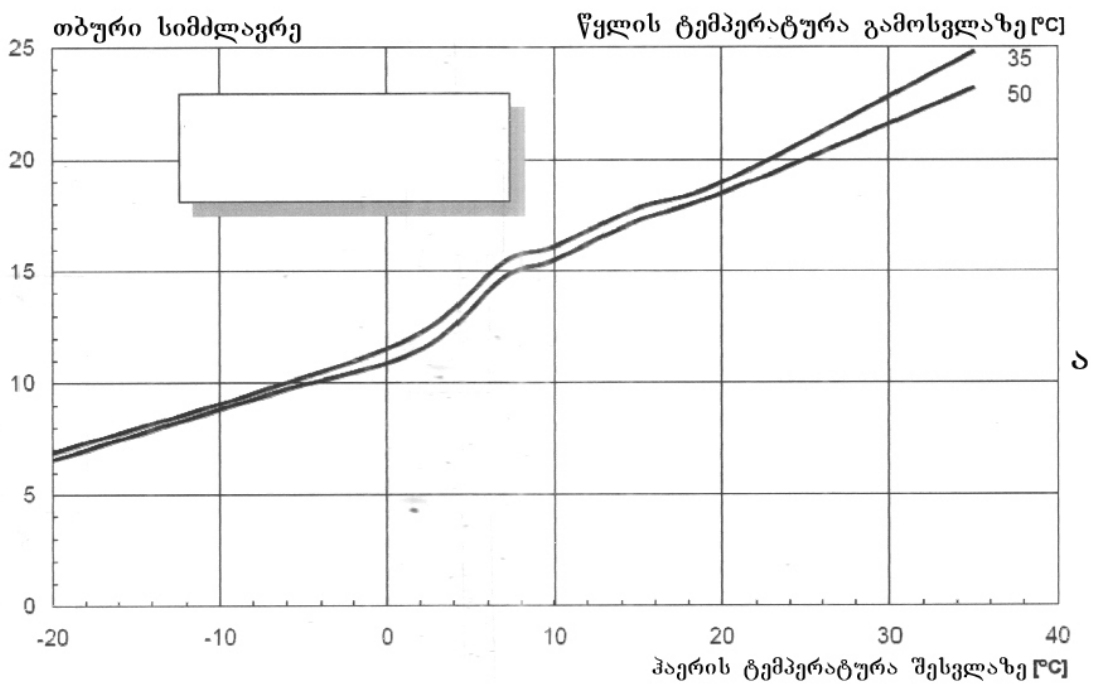
ნახაზი 7. „წყალ - წყლის თბური ტუმბოს: ა-სიმძლავრეები;

ბ- გარდაქმნის კოეფიციენტები

როგორც ამ გრაფიკებიდან ჩანს თბური ტუმბოს გარდაქმნის კოეფიციენტები 3,8-დან 7,2-მდე იცვლება ცივი წყლის ანუ პირველადი



თბოშემცველის  $6 \pm 25^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურის ფარგლებში. გარდაქმნის კოეფიციენტების ზრდის ეს კანონზომიერება კი გვისახავს თბურ ტუმბოებში საქართველოში უხვად არსებული გრუნტის და დაბალი პოტენციალის თერმული წყლების გამოყენების შესაძლებლობას. გარდა ამისა ასეთი მაღალი ენერგეტიკული მახასიათებლების გამო თბური ტუმბოები ასევე წარმატებით შეგვიძლია გამოვიყენოთ ჩამდინარე წყლებიდან სითბოს უტილიზაციის მიზნით.



ნახაზი 8. „ბაერ - წყლის თბური ტუმბოს: ა-სიმძლავრეები;

ბ- გარდაქმნის კოეფიციენტები

ნახ.8 ნაჩვენებია „ბაერი-წყლის“ თბური ტუმბოს სიმძლავრეები და გარდაქმნის კოეფიციენტების მნიშვნელობები გარე ბაერის  $-20^{\circ}\text{C}$ -დან  $+35^{\circ}\text{C}$  -

მდე ტემპერატურის დროს. ამ შემთხვევაში გარდაქმნის კოეფიციენტების მნიშვნელობები 1,6-დან 5-მდე იცვლება, რაც ამ სახის თბური ტუმბოების ფართო გამოყენების შესაძლებლობას იძლევა. როგორც ამ ნახაზიდან ჩანს გარე ჰაერის  $-20^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურის დროს თბური ტუმბო გამოიმუშავებს 5 კვტ თბურ ენერგიას, რომელიც სავსებით საკმარისია 170 კვ.მ ფართის გასათბობად პასიურ სახლებში, 100 კვმ ფართის გასათბობად თბოიზოლირებულ სახლებში, ხოლო ჩვეულებრივი აგურით ნაგებ სახლებში კი 43 კვ.მ. გასათბობად.

საქართველოს უმთავრესი რეგიონებისათვის სადაც საშუალო დღე-ღამური ტემპერატურა  $+5^{\circ}\text{C}$ -ია სიმძლავრის კოეფიციენტი 4-ის ტოლია. ამ ანალიზის საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ საქართველოს კლიმატური პირობებისათვის ზამთრის ჰაერის მაღალი ტემპერატურის გამო „ჰაერი-წყლის“ თბური ტუმბოს გამოყენება გამართლებულია როგორც ენერგეტიკულად ასევე ეკონომიკურად.

„ჰაერი - წყლის“ თბური ტუმბოს ერთ-ერთ ნაირსახეობას წარმოადგენს ცხელი წყალმომარაგების თბური ტუმბო, ასეთი თბური ტუმბოებში სითბოს პირველდ წყაროს წარმოადგენს ან გარემო ჰაერი ან კიდევ სავენტილაციო გამონახოლქვები.

გარე ჰაერზე მომუშავე ცხელი წყლის თბური ტუმბო წარმოადგენს ავზს ანუ მოცულობით წყალგამაცხელებელს გარკვეული ტევადობით 100, 200, 300 და ა.შ. ლიტრი, რომელსაც შესაბამისი ტემპერატურული რეჟიმისათვის მოწყობილი აქვს თბური ტუმბო, რომელიც გარემო ჰაერის სითბოს გადასცემს წყალსადენის ქსელიდან ავზში შემოსულ გასაცხელებელ წყალს. ეს თბური ტუმბო კონსტრუქციის მიხედვით შეიძლება იყოს როგორც მონობლოკი, ასევე განცალკევებული (სპლიტი). პირველ შემთხვევაში თბური ტუმბო მოთავსებულია წყალგამაცხელებელთან ერთიან კორპუსში, ხოლო მეორე შემთხვევაში იგი გატანილია გარეთ. ასეთი ტიპის წყალგამაცხელებელში თბური ტუმბოს კონდენსატორი უშუალოდ წყალგამაცხელებელ ავზზეა შემოხვეული კლაკნილა მილის სახით.

ჩვენს მიერ ცხელი წყლის თბური ტუმბოები როგორც გარე ჰაერზე ასევე სავენტილაციო გამონაბოლქვებზე შესწავლილ იქნა ქ. თბილისის პირობებისთვის. გარე ჰაერზე მომუშავე თბურ ტუმბოებისთვის ჰაერის ტემპერატურა იცვლებოდა  $+5$ - $+36^{\circ}\text{C}$ -ის ფარგლებში, ხოლო სავენტილაციო გამონაბოლქვებზე მომუშავე თბურ ტუმბოსათვის გასატყორცნი ჰაერის ტემპერატურა  $24$ - $36^{\circ}\text{C}$  ფარგლებში იცვლებოდა. პირველ შემთხვევაში თბური ტუმბო განლაგებული იყო ნახევრად სარდაფში, სადაც გარე ჰაერის მუდმივი განახლება ხდებოდა. ჰაერცვლის ჯერადობა  $6$ - $10$   $1/n$  მერყეობდა. მეორე შემთხვევაში კი თბური ტუმბო მიერთებული იყო ბინის გამწოვ სავენტილაციო სისტემასთან. გასაწოვი ჰაერის რაოდენობა იცვლებოდა  $160$ - $600$   $\text{მ}^3/\text{სთ}$  ფარგლებში, მისაწოდებელი ცხელი წყლის ტემპერატურა დარეგულირებული გვქონდა  $25$ - $65^{\circ}\text{C}$ -ის ფარგლებში ორივე შემთხვევაში თბური ტუმბოს სიმძლავრის (გარდაქმნის) კოეფიციენტი  $4,5$ - $6$ -ს ფარგლებში მერყეობდა. ამ დროს თბური ტუმბოს თბომწარმოებლობა  $1,4$ - $1,6$  კვტ. სთ. შეადგენდა, ხოლო სათანადო ელექტროენერჯის ხარჯი კი იყო  $0,23 \pm 0,3$  კვტ.სთ. უნდა აღინიშნოს, რომ მრავალწლიანი დკვირვების განმავლობაში თბური ტუმბო  $5$ - $6$  კაციან ოჯახს სრულიად აკმაყოფილებდა ცხელი წყლით.

### **თავი III. თბური ტუმბოს ეფექტურობა**

#### **და მისი მუშაობის რეჟიმები**

თბური ტუმბო, ისევე როგორც სამაცივრო მანქანა ახდენს შექცევადი (უკუ) თერმოდინამიკური ციკლის რეალიზებას და უფრო ცივი სხეულიდან სითბოს გადასცემს უფრო ცხელ სხეულს, რაც ხდება პირველადი ელექტრო ან თბური ენერჯის ხარჯზე, თანახმად თერმოდინამიკის II კანონისა. მომხმარებლის მიერ მიღებული თბური ენერჯის ფარდობა დახარჯულ პირველად ენერჯიაზე (თბურ ექვივალენტში) განსაზღვრავს თბურ ტუმბოს ენერგეტიკულ ეფექტურობას და მას სიმძლავრის ან გარდაქმნის კოეფიციენტს უწოდებენ:

$$\varepsilon = \frac{Q_1}{Q_2}$$

სადაც  $Q_1$ -თბური ენერგია რომელსაც ლეზულობს მომხმარებელი გადამაცივებლისა და კონდენსატორისაგან;

$Q_2$ -კომპრესორის ასამუშავებლად საჭირო სიმძლავრე თბურ ექვივალენტში

გარდაქმნის კოეფიციენტის მნიშვნელობა რენკინის შექცევად (უკუ) ციკლში, რომელიც თბურ ტუმბოში მიმდინარეობს ძირითადად დამოკიდებულია სითბოს ცივ და ცხელ ანუ პირველად და მეორად წყაროებზე და მათი ტემპერატურებით განისაზღვრება:

$$\varepsilon = v\varepsilon_c = v \frac{T_k + 273}{T_k - T_{aor}}$$

სადაც  $v$ -რეალური თერმოდინამიკური პროცესის სრულყოფის მაჩვენებელია, რომელიც რეალური თერმოდინამიკური ციკლის ყველა შეუქცევადი დანაკარგებს ითვალისწინებს,  $\varepsilon_c$  -კარნოს წრიული ციკლის გარდაქმნის კოეფიციენტი;  $T_{aor}$  და  $T_k$  სამაცივრო აგენტის აორთქლების და კონდენსაციის ტემპერატურები.

გამოსახულების ანალიზის საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ თბური ტუმბოს ენერგეტიკული ეფექტურობის გაზდის მიზნით სასურველია კონდენსაციის ტემპერატურის დაწვეა. ეს კი მიიღწევა დაბალტემპერატურული გათბობის სისტემის მოწყობით - მაგალითად იატაკის ან კედლის გათბობის სისტემის მოწყობით, სადაც კონდენსაციის ტემპერატურა იატაკის ზღვრული ტემპერატურიდან  $35^{\circ}\text{C}$  გამომდინარე  $t_{ატ}=30^{\circ}\text{C}$ -ს არ აღემატება, ან წყლით გათბობის სისტემაში დაბალტემპერატურული ( $t=35^{\circ}\div 45^{\circ}\text{C}$ ) შემბერი ვენტილატორული კონვექტორების გამოყენებით.

აქედან გამომდინარე გათბობის თბურტუმბოვანი სისტემის მოწყობა ძირითადად განისაზღვრება სითბოს წყაროს და სისტემის მუშაობის რეჟიმების სწორი შერჩევით.

ფორმულაში  $\nu=1$  იდეალური თბური ტუმბოს შემთხვევაში, რეალური პროცესების დროს დანაკარგების გათვალისწინებით  $\nu$  აიღება 0,5-ის ტოლი და გარდაქმნის კოეფიციენტი  $\varepsilon$  ანუ KOP გამოითვლება ფორმულით

$$\varepsilon = 0.5 \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

სადაც  $T_1$  არის მაღალი ტემპერატურა, ანუ კონდენსაციის ტემპერატურა, რომელიც გათბობის სისტემაში შემავალი წყლის ტემპერატურის ტოლია,  $^{\circ}\text{K}$ ;

$T_2$ -დაბალი ტემპერატურა ანუ აოთრქლების ტემპერატურა, რომელიც დაბალი პოტენციალის წყაროს ტემპერატურის ტოლი აიღება  $^{\circ}\text{K}$ .

თბური ტუმბოს მუშაობის პროცესში ამოთქმების ტემპერატურა მცირდება და იგი მუდმივ სიდიდეს არ წარმოადგენს, ამიტომ გარდაქმნის კოეფიციენტების გამოთვლის დროს დაბალპოტენციური წყაროს საანგარიშო ტემპერატურად აიღება გარკვეული სტაბილიზირებული ტემპერატურა, რომელიც დროის გარკვეულ მომენტში კონდენსატორის გარკვეულ ტემპერატურას შეესაბამება.

ქვემოთ ცხრილში ნაჩვენებია სხვადასხვა ტემპერატურული რეჟიმისათვის (3-3) ფორმულის საფუძველზე გამოთვლილი გარდაქმნის კოეფიციენტების მნიშვნელობები. როგორც ამ ცხრილიდან ჩანს კონდენსაციის დაბალი ტემპერატურის დროს გარდაქმნის კოეფიციენტი დიდია, ხოლო ამოთქმებელში წყლის საწყისი (სასტარტო) ტემპერატურის აწევით კონდენსატორში ხდება გათბობის სისტემის თბომომცველის უფრო მეტად გახურება. გარდაქმნის კოეფიციენტები მცირედ განსხვავდებიან ერთმანთისგან რაც იმით აისახება, რომ თბური ტუმბოს მუშაობის პროცესში მცირდება დაბალპოტენციური სითბოს მარაგი.

ცხრ.2

საწყისი ტემპერატურის ამოთქმებელზე	საანგარიშო ტემპერატურა $^{\circ}\text{C}$	საანგ. ტემპ. კონდენსატორზე $^{\circ}\text{C}$	$\varepsilon$ (KOP)

$t_{\text{აორ}}, ^\circ\text{C}$			
6	7	35	5,1
22	10	40	5,22
24	12	45	4,8
40	16	55	4,2

თბური ტუმბოს ეფექტური მუშაობის შესაფასებლად გამოიყენება თბური გარდაქმნის სეზონური ეფექტურობის მახასიათებლის ცნება

$$\varepsilon_{\text{sez}} = \sum_{i=1}^n \frac{QH_i}{EHi}$$

სადაც  $QH_i$  არის თვის განმავლობაში გამომუშავებული თბური ენერჯია კვტ.სთ.

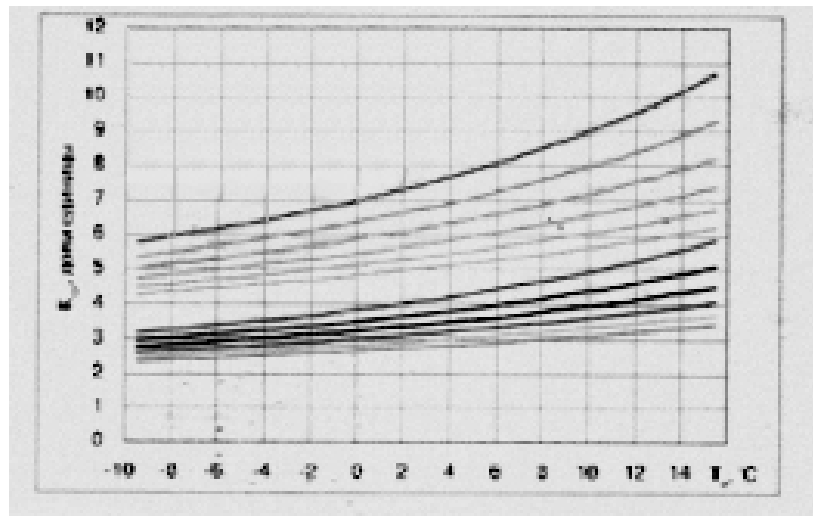
$EHi$ - თვის განმავლობაში მოხმარებული ელექტროენერჯის რაოდენობა, კვტ. სთ.

$n$ - გათბობის სეზონში თვეების რაოდენობა.

ევროპული დირექტივების თანახმად სწორედ ეს მახასიათებელი გამოიყენება თბური ტუმბოს ენერგოეფექტურობის ეკონომიკურ მაჩვენებლად მთელი გათბობის სეზონის განმავლობაში. მასში განიხილება როგორც თბური ენერჯიის გამომუშავება, ასევე მოხმარება გათბობის სეზონის მანძილზე გათბობის ყველა წყაროს მიერ: თბური ტუმბო, ჰელიოკოლექტორები, ქვაბი და სხვა, რომლებიც შედიან ერთიანი თბომომარაგების სისტემაში. რაც მეტია ეს მახასიათებელი მით უფრო ეფექტურია სისტემა ენერგეტიკული თვალსაზრისით და ნაკლებია ფინანსური საექსპლუატაციო ენერგოდანახარჯები გათბობის სეზონის განმავლობაში.

წინა თავში თბური ტუმბოების კონსტრუქციების და მათი თბოფიზიკური მახასიათებლების შესწავლის დროს ნაჩვენები გვექონდა ცალკეული სახის თბური ტუმბოს მწარმოებლობის და გარდაქმნის კოეფიციენტების მნიშვნელობების ორი ტემპერატურული რეჟიმისათვის 35 და 50°C.

ზემოთ განხილული მეთოდისა და ევრონორმების EN255 მოთხოვნილებათა შესაბამისად ქვემოთ 9. ნახაზზე წარმოადგენილია თბური ტუმბოს გარდაქმნის კოეფიციენტების რეალური მნიშვნელობები საქართველოს კლიმატური პირობებისათვის დამახასიათებელი დაბალპოტენციური, სითბოს პირველადი წყაროს ტემპერატურების მიხედვით გათბობის სისტემაში მიწოდებული წყლის ტემპერატურის ფართო დიაპაზონისათვის.



ნახ. 9. თბური ტუმბოს გარდაქმნის კოეფიციენტების დამოკიდებულება დაბალპოტენციური სითბოს წყაროს ტემპერატურაზე

გრაფიკის ზემო ნაწილში მოცემული მრუდები შეესაბამება კარნოს იდეალურ ციკლს, ხოლო ქვემო ნაწილი რეალურ ციკლს. რეალური ციკლის შემთხვევაში გარდაქმნის კოეფიციენტების მნიშვნელობები სითბოს ნებისმიერი დაბალპოტენციური წყაროსთვის 3,5-დან თითქმის 6-მდე იცვლება, რაც საქართველოს პირობებში თბური ტუმბოების გამოყენების საუკეთესო პირობებს ქმნის.

ყველაზე დაბალი ენერგეტიკული მახასიათებლები, როგორც წესი „ჰაერი-წყლის“ თბურ ტუმბოებს გააჩნიათ. საქართველოს პირობებისთვის ეს თბური ტუმბოებიც ჩარმატებით შეიძლება იქნას გამოყენებული, რადგანაც ამ ტუმბოებს საკმაოდ მაღალი გარდაქმნის კოეფიციენტები გააჩნიათ,  $-10+6^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურის დიაპაზონში თბური ტუმბოს

გარდაქმნის კოეფიციენტი 2,5-დან -4,5-ის ფარგლებში იცვლება „ჰაერი-წყლის“ თბური ტუმბოები სავსებით თავისუფლად შეიძლება გამოყენებულ იქნას გარე ჰაერის  $-20^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურამდე.

თბური ტუმბოს სიმძლავრის კოეფიციენტის დამოკიდებულება ამორთქლებელსა და კონდენსატორს შორის ტემპერატურათა სხვაობაზე ნაჩვენებია 9 ნახაზზე. როგორც ამ გრაფიკიდან ჩანს სიმძლავრის კოეფიციენტი სამკაოდ დიდ ფარგლებში იცვლება  $\varepsilon=2.8-9.6$ . ამიტომ თბური ტუმბოს გამოყენების შემთხვევაში მისი მაღალი ენერგეტიკული ეფექტრობის შენარჩუნების მიზნით გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს გათბობის სისტემების სწორად შერჩევას და თბური ტუმბოს პარამეტრების ოპტიმალური რეჟიმების დადგენას. ეს უკანასკნელი კი თავის მხრივ თბური ტუმბოს მუშაობის რეჟიმებზეა დამოკიდებული.

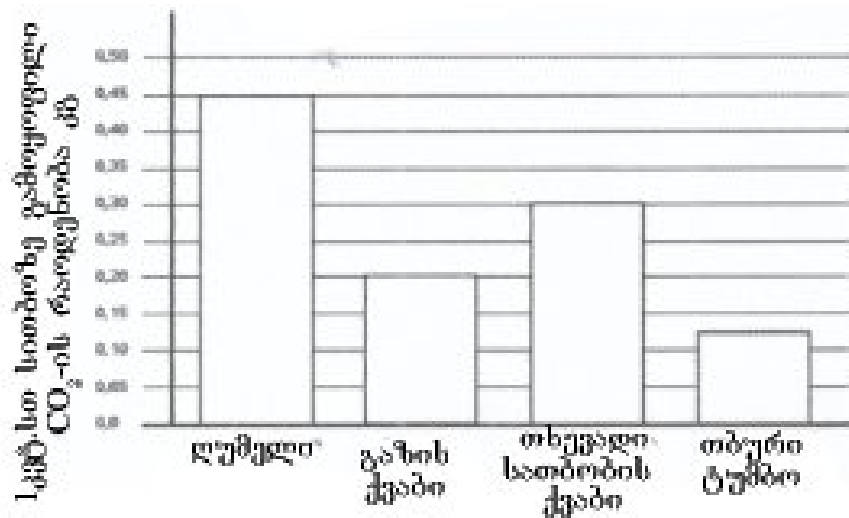
როგორც 9. ნახაზიდან ჩანს თბური ტუმბოს იდეალური ციკლით მუშაობის შემთხვევაში მისი სიმძლავრის ანუ გარდაქმნის კოეფიციენტების მნიშვნელობები მთელი რიგით მაღლა დგას რეალურ ციკლთან შედარებით. ამიტომ თბური ტუმბოების შემდგომი დახვეწა და იდეალური ციკლთან უფრო მეტად მიახლოება თბური ტუმბოს ენერგეტიკული ეფექტრობის გაზრდის საწინდარია.

თბური ტუმბოს ენერგეტიკული ეფექტრობის გაზრდის მიზნით დღეს მსოფლიოში მრავალი ფირმა მუშაობს და მიმდინარეობს თბური ტუმბოს კონსტრუქციული ელემენტების (კომპრესორები, თბოგადამცემები, დროსელ სარქველები და ა.შ.) დახვეწა.

თბური ტუმბოს მეორე ყველაზე მნიშვნელოვანი მახასიათებელია მისი ეკოლოგიურობა. თბური ტუმბო ახდენს რა ჩვენს ირგვლივ დაგროვილი მზის ენერჯის გარდაქმნას სითბოდ, რომელიც შენობათა გათბობისა და ცხელი წყალმომარაგებისათვის გამოიყენება, მნიშვნელოვნად ამცირებს  $\text{CO}_2$ -ის გამოყოფას გარემოში, ვიდრე სხვა სახის გათბობის სისტემები, რომლებიც პირველად ენერჯიად გამოიყენებენ წიაღისეულ სათბობს.



სხვადასხვა სახის გათბობის სისტემებისათვის გარემოში გაფრქვეული CO<sub>2</sub>-ის რაოდენობა წარმოდგენილია გრაფიკზე (ნახ. 10).



ნახ. 10. CO<sub>2</sub> - ის გამონაბოლქვები გათბობის სხვადასხვა სისტემებისათვის.

ანალიზი გვიჩვენებს, რომ თუ ევროპაში მშენებარე 1 მლნ ახალი სახლი აღიჭურვება თბური ტუმბოთი, მაშინ CO<sub>2</sub>-ის გამონაბოლქვი ყოველწლიურად 3600000 ტონით შემცირდება.

ნაშრომში განხილულია თბური ტუმბოს შედარებითი ეკოლოგიური ეფექტურობა მყარ, თხევად და გაზისებურ სათბობზე მომუშავე და ელექტროსაქვებთან (რომლებიც ელექტროენერგიას თბოელექტრო-სადგურებიდან იღებენ) შედარებით.

თბოტუმბოს გამონაბოლქვები გარდაქმნის კოეფიციენტის შესაბამისად 3-ნ-ჯერ ნაკლებია ელექტროქვებთან შედარებით.

თეც-იდან მიღებული ელექტროენერგიაზე მომუშავე თბურ ტუმბოებს ტრადიციულ საქვებებთან შედარებით გააჩნიათ ნახშირზე მუშაობის შემთხვევაში 2-ჯერ მაზუთის შემთხვევაში 1,5-ჯერ, ხოლო ბუნებრივი გაზის შემთხვევაში 30%-ით ნაკლები მავნე გამონაბოლქვები.

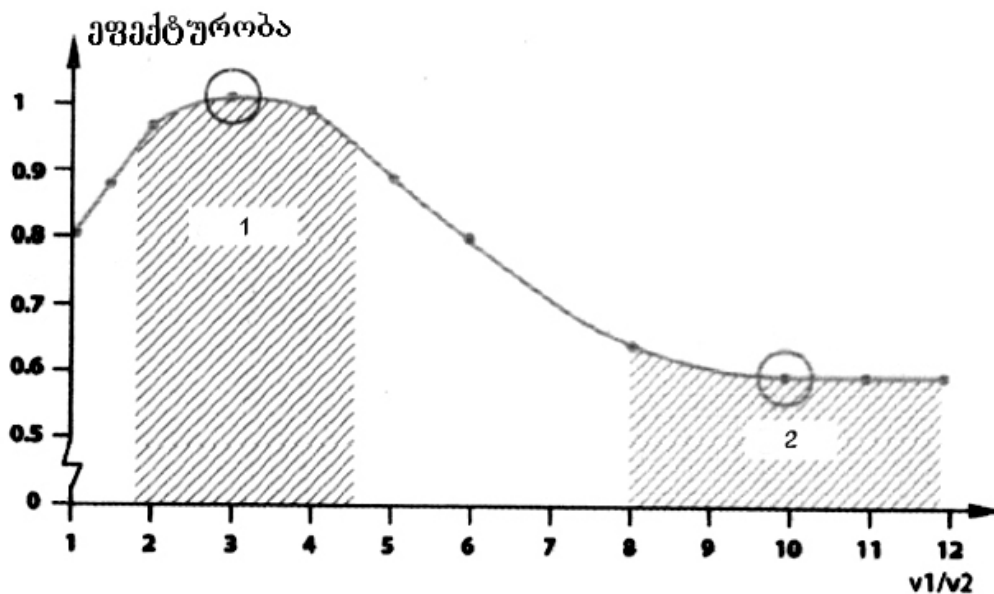
ცნობილია, რომ 1 ტ პირობითი სათბობის დაწვის შედეგად გამოიყოფა 17000 კგ CO<sub>2</sub>. თბური ტუმბოების გამოყენება 3-4-ჯერ ამცირებს მავნეობის გამოყოფის რაოდენობას. მისი კიდევ უფრო შემცირება შესაძლებელია თბური ტუმბოს კონსტრუქციების დახვეწით. დიდი წილი

გამოყოფილი მავნეობების შემცირებაში და თბური ტუმბოს ეკოლოგიური ეფექტურობის გაზრდაში მოდის ძირითადად თბოგადამცემებზე (ამართქლებელი, კონდენსატორი).

ფირმა დანფოსის მიერ დამუშავებულია ახალი თაობის მიკროარხული თბოგადამცემების გამოყენების შემთხვევაში გარემოში გაფრქვეული CO<sub>2</sub>-ის რაოდენობა 40%-ით მცირდება მირჩილული ტიპის თბოგადამცემებთან შედარებით, რომლებიც ძირითადად XX საუკუნეში გამოიყენებოდა. ამ თბოგადამცემების გამოყენებით მნიშვნელოვნად მცირდება როგორც თბოგადამცემების დაამზადებლად საჭირო მასალა, ასევე გამოყენებული სამაცივრო აგენტის მოცულობა. თბურ ტუმბოებში მათი გამოყენებით მინიმუმამდე დაიყვანება გარემოზე მავნე ზემოქმედება.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე მიკროარხული თბოგადამცემების დანერგვა მნიშვნელოვან წილად ზრდის თბური ტუმბოს ერთ-ერთ ყველაზე მთავარ, ეკონომიკური ეფექტურობის მახასიათებლებს. როგორც ცნობილია თბური ტუმბოების ფუნქციონირება სეზონური ხასიათისაა. მიკროარხული თბოგადამცემები კი გამოირჩევა გაზრდილი სეზონური მწარმოებლობით, რაც გამოიხატება მათი მაღალი საექსპლუატაციო მაჩვენებლებით, როგორც სრულ ასევე ნაწილობრივი დატვირთვის პირობებშიც. საუკეთესო ეკოლოგიურ და ეკონომიკურ მახასიათებლებს გვაძლევს მიკროარხული თბოგადამცემი და თბურ ტუმბოში გამოყენებულია ბრუნვის ცვალებადი სიჩქარიანი კომპრესორები. ამ თბოგადამცემების მაღალი ეკონომიკური ეფექტურობა განპირობებულია მათი მცირე ენერგოდანახარჯებით. ამ თბოგადამცემების გადახურების ზონაში ტენიანი ორთქლის სიმცირე უმნიშვნელო გადახურების შემთხვევაში უზრუნველყოფს დანადგარის საიმედო მუშაობას.

ნახ. 11-ზე ნაჩვენებია მიკრო არხული თბოგადამცემების ხვედრითი ენერგიის სიდიდე, რომელიც ამ თბოგადამცემის ენერგოდაზოგვის მახასიათებელია



ნახ. 11. თბოგადამცემების ეფექტურობა 1 - მირჩილული თბოგადამცემები;  
2 - მიკროარხული თბოგადამცემები.

იმისათვის, რომ შევაფასოთ გამოყენების ეფექტურობა გაზის ქვაბთან შედარებით, შეიძლება ვისარგებლოთ შემდეგი დამოკიდებულებით: გაზსა და ელექტროენერჯის ფასების ფიქსირებული თანაფარდობის დროს არსებობს თბური ტუმბოს გარდაქმნის კოეფიციენტის (COP) ისეთი მნიშვნელობა, რომლის მიღწევის დროსაც ექსპლუატაციაში თბური ტუმბო უფრო იაფია ვიდრე გაზი, ეს სიდიდე დამოკიდებულია აგრეთვე გაზის თბოუნარიანობაზე, რომელზეც მუშაობს შესადარებელი გაზი, რადგან ეს სიდიდე იცვლება უმნიშვნელოდ. შეფასებითი ანგარიშის წარმოების დროს შეგვიძლია მივიღოთ რომ იგი  $1\text{m}^3$  გაზისათვის 10 კვტ.სთ ტოლია.

სამი სიდიდე: გაზის თბოუნარიანობა, გარდაქმნის კოეფიციენტი (COP) და მასთან თანაფარდობა ერთმანეთთან შემდეგი უტოლობითაა დაკავშირებული

$$g/COP \geq 10$$

სადაც  $g$  არის  $1\text{m}^3$  გაზის და 1 კვტ.სთ ელექტროენერჯის თანაფარდობა.

დღეისათვის ქ. თბილისში გაზის ფასი 0,456 ლარია, ხოლო ელექტროენერჯის 0,215 ლ მათი თანაფარდობა შედაგენს  $\frac{0.456}{0.213} = 2.12$  მაშინ (3-5) ფორმულის თანახმად გარდაქმნის კოეფიციენტის ის მინიმალური მნიშვნელობა რომლის დროსაც თბური ტუმბოს გამოყენება ეფექტური იქნება

$$COP \geq \frac{10}{2.12} = 4.7$$

თბური ტუმბოების ეკონომიკური ეფექტურობის შეფასების დროს ხშირად მიუთითებენ მისი მოწყობისათვის საჭირო მაღალ კაპიტალურ დანახარჯებს, რომლებიც გაზის ქვების ღირებულებას თითქმის 2-3-ჯერ აჭარბებს. ასეთი შეხედულება რა თქმა უნდა მცდარია. არსებობს რამოდენიმე ფაქტორი, რომელიც ამ სხვაობის უაზრობას და თბური ტუმბოს უპირატესობას გვიჩვენებს.

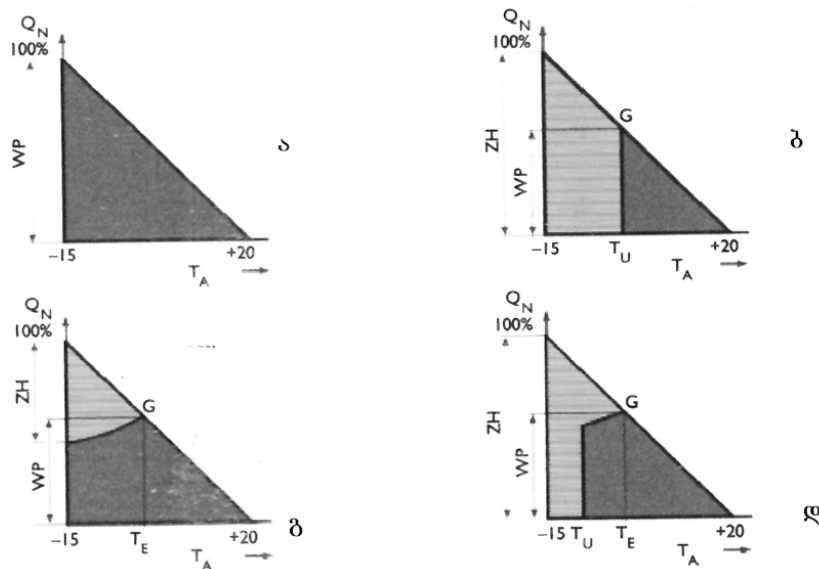
ჯერ ერთი, თუ გასათბობი ობიექტი დაცილებულია გაზის მაგისტრალიდან მაშინ გაზის ქვების დაყენების შემთხვევაში საჭირო ხდება გაზსადენის გაყვანა, რაც რა თქმა უნდა ზრდის კაპიტალდაბანდებებს, ელექტრო სადენის გასაყვანად ასეთი პრობლემა გამორიცხულია.

მეორე ის, რომ გაზის ქვების დაყენების შემთხვევაში, მომხმარებელი დამატებით იძენს კონდიციონერს, რაც ზრდის კაპიტარულ ხარჯებს, გაზის ქვების ღირებულებას ემატება კონდიციონერის ფასი, მაშინ როდესაც რევერსიულ რეჟიმზე მომუშავე კონდიციონერისთვის გაზის ქვაბი საჭირო აღარ არის.

მესამე - ენერგორესურსებზე ზემოთ პროგნოზირებული ფასთა სხვაობა საბოლოოდ მიაღწევს ევროპული ფასების დონეს, სადაც გაზის ფასი რამდენჯერმე მეტია ვიდრე ელექტროენერჯის, ამას დამატებული თბური ტუმბოების ტექნიკისა და ტექნოლოგიის მზარდი განვითარება რა თქმა უნდა გამოიწვევს გადაქმნის კოეფიციენტის ზრდას, რაც პირდაპირ კავშირშია თბურტუმბოვანი გათბობის სისტემების ეფექტურობასთან.

სიმძლავრის მაღალი კოეფიციენტების მიღწევის მიზნით თბურ ტუმბოში მიმდინარე ფიზიკური პროცესების განმსაზღვრელი პარამეტრების (წნევა და ტემპერატურა) ოპტიმიზაცია. საუკეთესო შედეგების მიღწევა შეიძლება გათბობის სისტემის თბოშემცველის ტემპერატურის შემცირებით 30-35°C-მდე, ახალ მშენებლობებზე, იატაკის გათბობის სისტემის მოწყობით.

ამავე თავში განხილულია თბური ტუმბოს მუშაობის საექსპლუატაციო რეჟიმები: მონოვალენტური, ბივალენტური, მონოენერგეტიკული, ბივალენტურ-ალტერნატიული და ბივალენტურ-კომბინირებული . (ნახ. 12) ამ რეჟიმებისთვის განსაზღვრულია ბივალენტობის წერტილის დადგენა და ის ტემპერატურული რეჟიმები, რომლის დროსაც გათბობის სისტემაში საჭირო ხდება დამატებითი თბოგენერატორის ჩართვა.



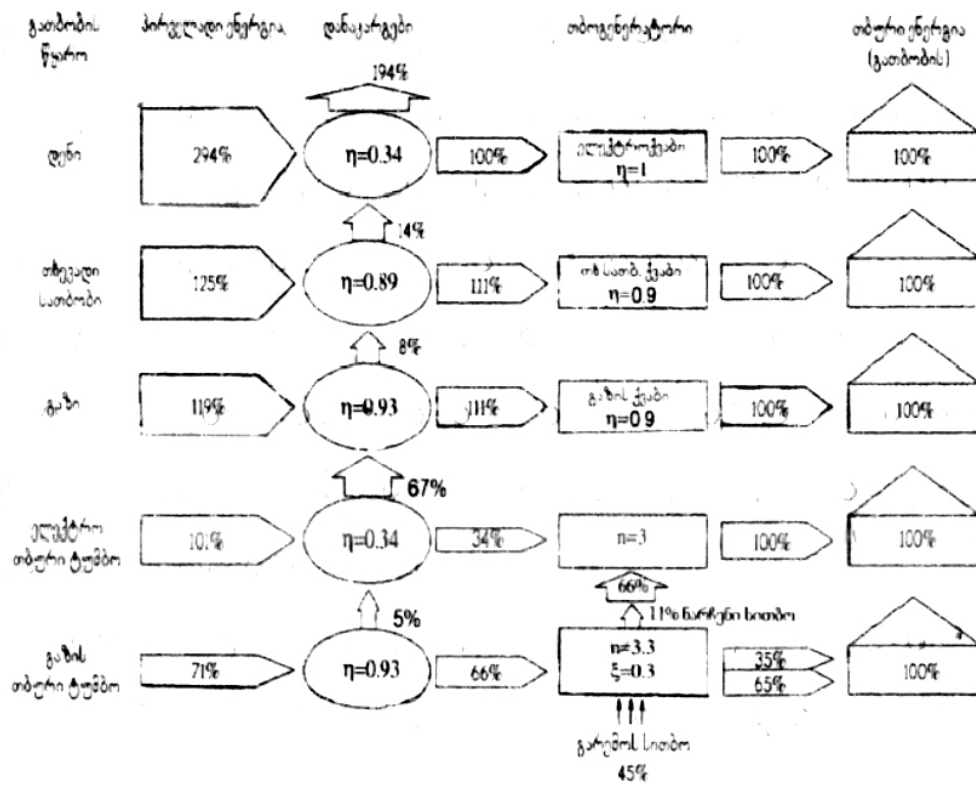
ნახ. 12. თბური ტუმბოს მუშაობის რეჟიმები: ა-მონოენერგეტიკული; ბ-ბივალენტური-ალტერნატიული; გ-ბივალენტურ-მონოენერგეტიკული; დ-ბივალენტურ-კომბინირებული. WP-თბური ტუმბო;  $Q_N$ -თბური მოთხოვნილება; G - ბივალენტობის წერტილი; ZH - დამატებითი გენერატორის სიმძლავრე;  $T_U$  - გადართვის წერტილი;  $T_E$  - დამატებითი თბოგენერატორის ჩართვის ტემპერატურა.

#### თავი IV. თბურტუმბოვანი გათბობის სისტემების დაპროექტების თავისებურებები და სამონტაჟო რეკომენდაციები

ამ თავში განხილულია თბური ტუმბოს და სხვა დამხმარე ნაწილების (კოლექტორები, ზონდები და ა.შ.) შერჩევა და ანგარიში. ჩამოყალიბებულია თბურტუმბოვანი გათბობის სისტემების დაპროექტების მეთოდოლოგია.

უშუალოდ შენობის გათბობის სისტემების დაპროექტება იწყება სითბოს წყაროს შერჩევით. მსოფლიოში ენერგომომარაგების განვითარების თანამედროვე ეტაპზე სითბოს წყაროდ გამოიყენება როგორც ტრადიციული ასევე არატრადიციული, განახლებადი ენერგოწყაროები, ტრადიციულ ენერგოწყაროებს მიეკუთვნება წიაღისეული სათბობი (გაზი, თხევადი სათბობი, ქვანახშირი) და მყარი ბიოსათბობი (შეშა, ტორფი და ა.შ.). არატრადიციულს მიეკუთვნება განახლებადი ენერგოწყაროები, როგორცაა ჩვენს ირგვლივ არსებული გარემოს(ჰაერი, გრუნტი, წყალი და ა. შ.) თბური ენერგია. გარემოს თბური ენერგიის გამოყენება კი თბური ტუმბოების საშუალებით ხდება. ამიტომაც გათბობის სისტემების დაპროექტების დროს წიაღისეულ სათბობზე მომუშავე გათბობის სისტემების თბოგენერატორებთან ერთად თბური ტუმბოებიც განიხილება. გარდა წიაღისეული და განახლებადი ენერგოწყაროებისა თბური ენერგიის პირველად წყაროდ ელექტროენერგიაც გამოიყენება.

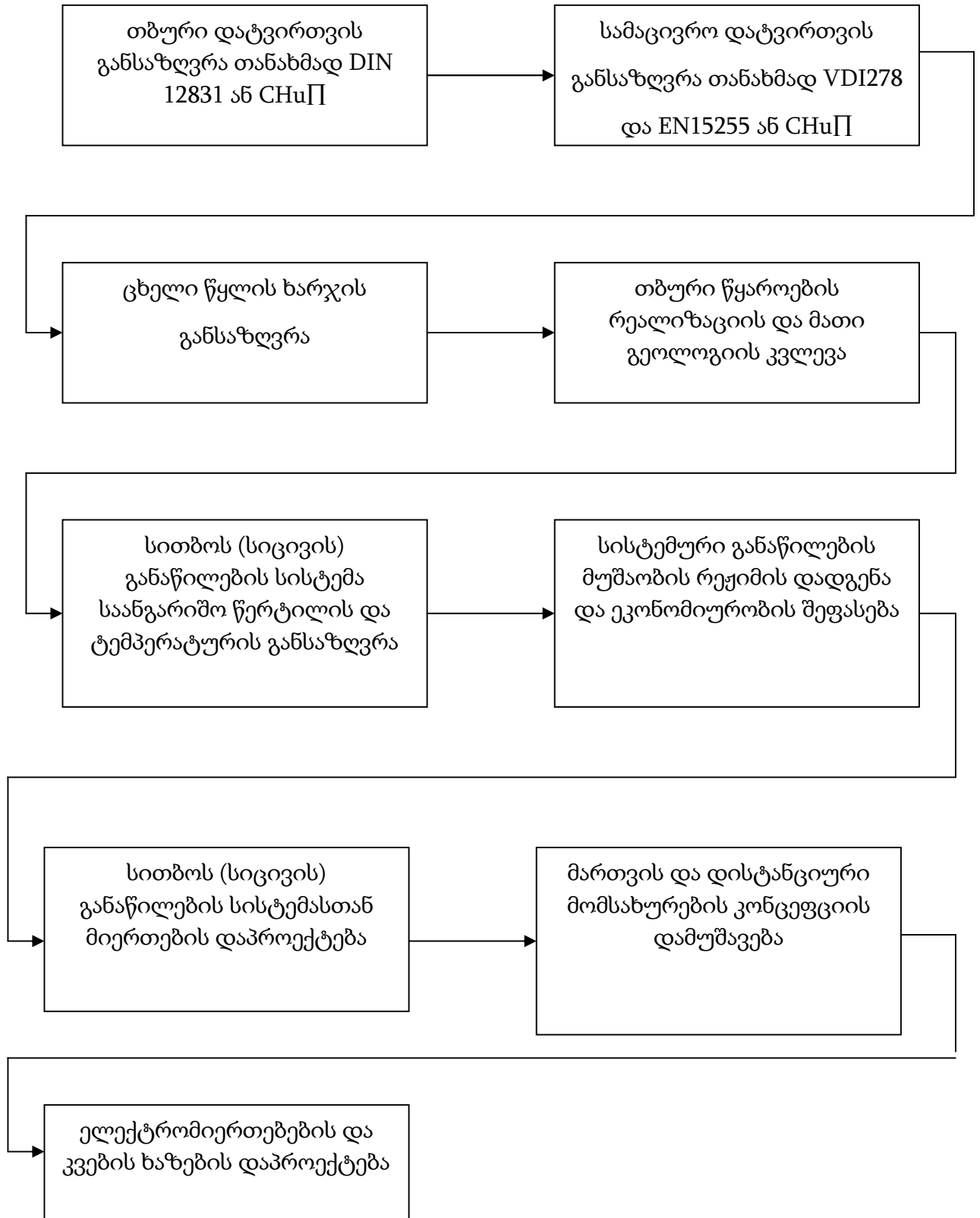
გათბობის სისტემების სხვადასხვა სახის თბურ გენერატორებში გამოყენებული პირველადი ენერგიის მიხედვით მათი ურთიერთშედარება წარმოდგენილია ნახ.13-ზე.



ნახ. 13. გათბობის სისტემებში გამოყენებული პირველადი ენერჯიის ურთიერშედარება

როგორც ამ ნახაზიდან ჩანს პირველადი ენერჯიის ყველაზე დიდი ხარჯი (294%) ელექტროგათბობის იმ სისტემებზე მოდის, რომლებშიც თბოგენერატორებად ელექტროტუბები ან მსგავსი დანადგარები გამოიყენება. გაზის ჩვეულებრივი თბოგენერატორების გამოყენების დროს პირველადი ენერჯიის წილი 119% - მდებარეობს. ყველაზე ნაკლები ენერგომოთხოვნილება (71% - მდებარეობს) აქვთ გაზის თბური ტუმბოებს. ამიტომაც, გაზის თბური ტუმბოები ჩვეულებრივ ელექტრო თბური ტუმბოებსა და გაზის საკონდესაციო ტექნიკასთან შედარებით უფრო პერსპექტიულ თბომაგენერირებელ მოწყობილობად ითვლება გათბობის ტექნიკაში.

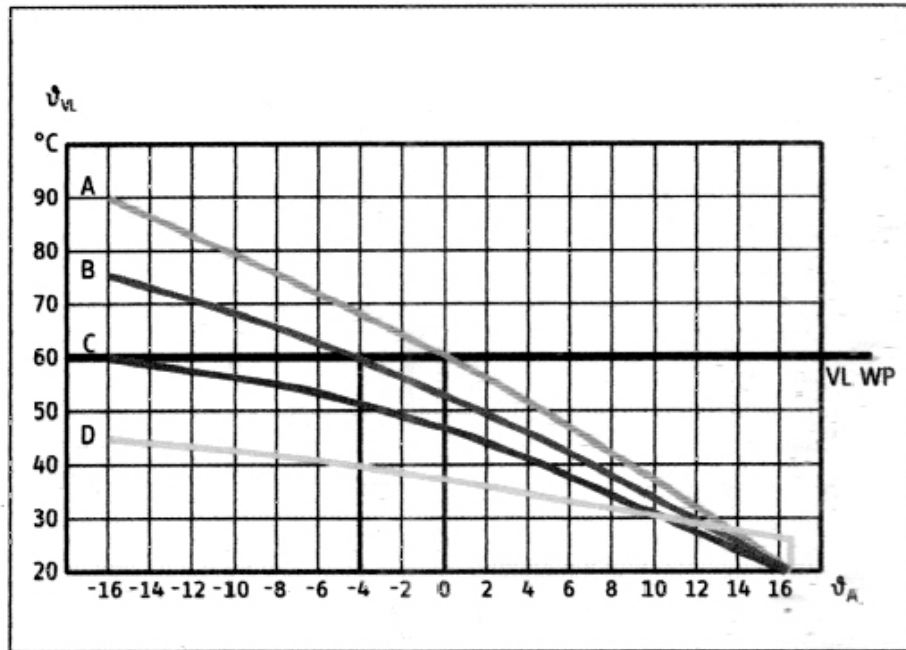
თბურტუმბოვანი გათბობის სისტემების დაპროექტების ბლოკ - სქემა ანუ დაპროექტების ეტაპები შეიძლება წარმოვიდგინოთ შემდეგი სახით:



გათბობის სისტემაში თბური ტუმბოს გამოყენების შემთხვევაში დაპროექტების სტადიაზე უნდა განისაზღვროს სისტემის მუშაობის რეჟიმზე ტუმპერატურული რეჟიმის გავლენა, ანუ სითბოს წყაროსა და



სითბოს ართმევის რეჟიმებისადმი მოთხოვნა, აგრეთვე მაქსიმალური და მინიმალური მუშა ტემპერატურები. ამ ტემპერატურათა შორის ზღვრების დაცვა წარმატებული ეკონომიკური ექსპლუატაციის მნიშვნელოვან ფაქტორს წარმოადგენს. თბური ტუმბოს მიწოდებისა და გარე ტემპერატურას შორის დამოკიდებულება ნახ.14-ზე.



ნახ. 14.. თბური ტუმბოს მუშაობის ტემპერატურული რეჟიმები

VL WP - თბური ტუმბოს მიწოდების ტემპერატურა;

$t_{VL}$  - გათბობის სისტემის მისაწოდებელი ტემპერატურა;

$t_A$  - გარე ჰაერის ტემპერატურა

მრუდი A გვიჩვენებს, რომ როდესაც მიწოდების ტემპერატურა  $90^{\circ}C$  - ია ბივალენტობის წერტილი  $0^{\circ}C$  ტოლია, რაც იმას ნიშნავს, რომ  $0^{\circ}C$  - ის-დროს საჭირო ხდება თბური ტუმბოს გადართვა დამატებით თბოგენერატორზე.

თბური ტუმბოს შერჩევის დროს საჭიროა მისი ძირითადი მუშა პარამეტრების განსაზღვრა. ეს პარამეტრებია თბური დატვირთვა, ანუ სითბოს ის რაოდენობა, რომელიც თბურმა ტუმბომ გათბობის სისტემას უნდა მიაწოდოს და გათბობის სისტემაში მისაწოდებელი წყლის ტემპერატურა.

თუ ვაწარმოებთ უკვე არსებული გათბობის სისტემის მოდერნიზაციას საჭიროა შენობის თბური დატვირთვა განისაზღვროს თავიდან, რადგანაც გათბობის სისტემაში არსებული (ან საერთოდ არ არსებული) საექვაბე, რომელიც გათვლილია წიაღისეულ სათბობზე (გაზი ან თხევადი სათბობი) ვერ ასახავს შენობის თბურ მოთხოვნილებას. როგორც ცნობილია გათბობის ქვაბი ყოველთვის შერჩეულია საკმაოდ დიდი მარაგით, რაც ბუნებრივია გამოიწვევს თბური ტუმბოს სიმძლავრის მკვეთრ გაზრდას. შენობის თბური დატვირთვის ანგარიში უმჯობესია ვაწარმოოთ ევრონორმების, მაგალითად DIN4701 - ის მიხედვით და ადგილობრივი პირობების გათვალისწინებით. საორიენტაციო ანგარიშები შეიძლება შესრულდეს წინა ანგარიშების +

$$Q_{saang} = \frac{T_x \cdot s_a T_b \cdot x \cdot a r j [l / w e l ]}{250 [l / w e l \cdot k v t]} k v t$$

$$Q_{saang} = \frac{b u n . g a z i s x a r j i [m^3 / w e l ]}{250 [m^3 / w e l \cdot k v t]} k v t$$

ახლად ასაშენებელი შენობების თბური დატვირთვა განისაზღვრება ქვეყანაში არსებული ნორმატიული მასალის საფუძველზე. დასაშვებია თბური დატვირთვის დათვლა დამსხვილებული საზომითაც. ახლად ასაშენებელი სახლის თბური დატვირთვის გამოსათვლელად მიზანშეწონილია ვისარგებლოთ ფართის მიხედვით ხვედრითი თბური დატვირთვის სიდიდით (ცხრ.3)

თბური დატვირთვა = გასათბობი ფართი X სპეც. თბური დატვირთვა

$$[k v t] = [m^2] \cdot [k v t / m^2]$$

ამ მონაცემებით სარგებლობისას საჭიროა არა მარტო მათი გამოყენება არამედ ამ პირობების შესრულებაც, რომელიც უნდა უზრუნველყონ შენობის შემომზღუდმა კონსტრუქციებმა.

შენობების ხვედრითი თბური დატვირთვა ცხრ.3

q = 0,03 კვტ/მ <sup>2</sup>	პასიური სახლი
q = 0,05 კვტ/მ <sup>2</sup>	თბოიზოლირებული სახლები EnEE ნორმებით
q = 0,08 კვტ/მ <sup>2</sup>	შენობათა ნორმალური თბოიზოლაცია (1980 წ

	შემდეგ აშენებული სახლები)
q = 0,12 კვტ/მ <sup>2</sup>	ძველ, აგურის შენობები, თბოიზოლაციის გარეშე

მიმწოდებელი კონტურის ტემპერატურის განსაზღვრის დროს უნდა ვეცადოთ, რომ თბურტუმბოვანმა დანადგარმა უზრუნველყოს სისტემის თბური მოთხოვნილების დაკმაყოფილება მიმწოდებელი კონტურის შესაძლო მინიმალური ტემპერატურის დროს, რადგანაც ამ კონტურში ტემპერატურის 1 °C - ით შემცირება ელექტროენერჯის ღირებულების 2,5 % - ით დაზოგვას ნიშნავს. ამ შემთხვევაში იდეალური გადაწყვეტაა იატაკის გათბობის მოწყობა. მიმწოდებელი კონტურის ტემპერატურა ამ დროს 55°C არ უნდა აღემატებოდეს. თუ უფრო მაღალი ტემპერატურაა საჭირო უნდა გამოვიყენოთ საშუალო ან მაღალტემპერატურული თბური ტუმბო.

შენობათა თბური მოთხოვნილება უნდა განისაზღვროს გათბობაზე, ცხელი წყალზე (საყოფაცხოვრებო და საცურაო აუზის) და მიკროკლიმატის უზრუნველყოფის სხვა სისტემებზე. ნაშრომში მოყვანილი გვაქვს თბურტუმბოვანი სისტემების თბური ნორმები სხვადასხვა მომხმარებლისთვის.

დაბალტემპერატურული თბური წყაროებიდან ასართმევი სითბოს რაოდენობა იანგარიშება ფორმულებით: გეოთერმული თბური ტუმბოებისთვის

$$Q = \frac{Q_{Tb.t} \cdot (COP - 1)}{COP}$$

სადაც Q არის სითბოს ის რაოდენობა, რომელიც უნდა ავართვათ გრუნტს (წყალს) კვტ;

$Q_{Tb.t}$  - თბური ტუმბოს სიმძლავრე. კვტ;

P - თბური ტუმბოს გარდაქმნის ანუ სიმძლავრის კოეფიციენტი;

ჰაერი - წყლის თბური ტუმბოს თბური მწარმოებლობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$Q_{Tb.t} = Q_{Tb.t} - P$$

სადაც Q არის სითბოს ის რაოდენობა, რომელიც უნდა ავართვათ დაბალ პოტენციურ თბურ წყაროს, ჰაერს, კვტ;

Q<sub>თ.ტ</sub> - თბური ტუმბოს სიმძლავრე, კვტ;

P- თბური ტუმბოს მიერ მოხმარებულ ელექტროენერგია კვტ.

თბური ტუმბოების შერჩევის, ანგარიშის მუშა პარამეტრების და რეჟიმების დადგენის შემდეგ ვახდენთ თბურტუმბოვანი გათბობის სისტემების პირველადი და მეორადი კონტურების და მისი ელემენტების (გეოზონდები, კოლექტორები და ა.შ.) სისტემაში ჩართვას.

### დისერტაციის ძირითადი შინაარსი

#### გამოქვეყნებულია შემდეგ შრომებში:

1. მ. გრძელიშვილი, ო. გიორგობიანი, ა. კოპალიანი. თბური ტუმბოები და მათი გამოყენება გათბობის სისტემებში. სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „ჰიდროინჟინერია“. №1-2(11-12) სტუ. 2011
2. მ. გრძელიშვილი, ო. გიორგობიანი, ა. კოპალიანი. გაზის ინოვაციური ტექნიკა გათბობის სისტემებში. სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“. №2(25). 2012.
3. მ. გრძელიშვილი, ო. გიორგობიანი, ა. კოპალიანი. დეცენტრალიზებული ცხელწყალმომარაგება თბური ტუმბოს მეშვეობით. სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „ენერჯია“. №2(62), 2012
4. მ. გრძელიშვილი, ო. გიორგობიანი, ა. კოპალიანი. პელეტური გათბობა. სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“. №3(26). 2012.
5. მ. გრძელიშვილი, ო. გიორგობიანი, ა. კოპალიანი. შენობათა ენერგომომარაგება განაწილებადი ენერჯიის ბაზაზე. სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“. №4(27). 2012.
6. მ. გრძელიშვილი, ო. გიორგობიანი, ა. კოპალიანი. ჰაერის კონდიციონირების ცენტრალური სისტემის უსაფრთხოება სამაცივრო აგენტის ცვალებადი ნაკადის დროს. სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“. №1(28). 2013.

7. მ. გრძელიშვილი, ო. გიორგობიანი, ა. კოპალიანი. სითბოს გენერაცია გრუნტის თბურ ტუმბოებში. სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „ჰიდროინჟინერია“. სტუ. 2013

8. მ. გრძელიშვილი, ო. გიორგობიანი, ა. კოპალიანი. მზის თბომომარაგების სისტემები და მათი გამოყენების პერსპექტივები საქართველოში. სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“. №4(35), 2013

### **Abstract**

In developed countries 47% of the generated power is being spent on buildings. This energy approximately 87% is used for heating and hot-water supply system, it makes a whole third of the generated energy. Should be noted also that whole of energy spent on lighting of buildings only 1÷2%. The building heating and hot water in supplying heat power output occurs mainly of fossil fuels (gas, fuel oil, coal) at the expense, Of which resourceful are not unexpired. It is known that if oil and gas consumption in 2012 will be maintained at the level of the world's gas reserves will be enough for humans for about 55 years, the oil is 88 years. At the same time it is estimated that by 2020, oil and gas consumption of will be doubled compared to 2012, and in 2030 year tripled. Hence even more will be eradicated soon a natural gas and oil resourceful. Why today the question of fossil fuels and other alternative of energy substitution. The building of heating and hot water supplying necessary a huge heat energy the replacement of our existing with renewable energy should be made. There are many types of renewable energy, of which heating technology is the most prospectively of soil, water (river, lake, sea, soil, water) and air. This low potential thermal energy sources around us an enormous quantities. Their rational use of would significantly improve the environment ecology and enhance the energy efficiency of building.

Low potential of renewable energy for heating used for the purpose through becoming a thermal pump works in reverse Carnot cycle and is usually following the principle of family refrigerator.

Heating technology with heat pumps, its working analysis, the economic and energy-efficient innovations should be considered a work rate thermophysical studying the characteristics.

The research methods of heat pumps for scientific studies, scientific and technical literature, the normative and methodological materials for study and analysis.

Aim of the dissertation perspective possibility of using of thermal pumps for heating technology to determination conditions of the thermal pump working the study of the ecological, economic and energetic analysis of the characteristics of these issues based on the study design and finally method of processing.

The dissertation study consists of introduction (renewable energy types, their resources, promising application opportunities) and four chapters.

The first chapter discusses establishment and development of a brief history of the thermal pump, the principle of action and ongoing physical processes, their physical and ecological characteristics of the heat. low potential for renewable heat energy sources are considered, their resources and potential.

The second chapter is devoted to the study of structural components and of thermal pumps. Discussed air and geothermal pumps are, including the low potential energy sources for heating technology to be used to transform the potential of processes, heat generation processes "water - water", "soil - water" and "air - water" heat pumps.

The third chapter is studied of thermal pumps energetic, ecological and economic efficiency issues. Discusses of thermal pumps working monovalent, bivalent or mixed modes. Showing bivalent point the impact of heating systems in the building by providing thermal of the regime.

The fourth chapter discusses the thermal pump heating systems design and installation characteristics. Discusses the building heat load account. The use of different types of low potential energy sources are for the thermal pump selection and account methods of randomness, the thermal sources and The thermal loads in The building account the basis of the developed thermal pump for heating system designing recommendations.