

ალექსი კოპალიანი

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

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
2016წ.

©საავტორო უფლება „ალექსი კოპალიანი“ 2016 წ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
სამშენებლო ფაკულტეტი

ჩვენ ქვემოთ ხელის მომწერნი, ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ალექსი კოპალიანის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს: "არატრადიციული თბური წყაროები და მათი გამოყენების პერსპექტივები გათბობის, ვენტილაციის და ჰაერის კონდიციონირების სისტემებში" და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

ხელმძღვანელი: პროფესორი მამული გრძელიშვილი

რეცენზენტი: პროფესორი შოთა მესტვირიშვილი

რეცენზენტი: აკადემიური დოქტორი სიმონ ბარამიძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2016 წელი

ავტორი: ალექსი კოპალიანი

დასახელება: „არატრადიციული თბური წყაროები და მათი
გამოყენების პერსპექტივები გათბობის, ვენტილაციის
და ჰაერის კონდიციონირების სისტემებში“

ფაკულტეტი: სამშენებლო

აკადემიური

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: 2016 წლის 16 თებერვალს

ინდივიდუალური პიროვნების ან ინსტიტუტების მიერ ზემოთ მოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული დანიშნულებით 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 ციტირებებისა, რომლებიც მოითხოვს მხოლოდ სპეციფიკურ მიმართულებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომის შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

მსოფლიოს განვითარებულ ქვეყნებში გამოიმუშავებული ენერჯის 47% იხარჯება შენობებზე. ამ ენერჯის დაახლოებით 87% ხმარდება გათბობისა და ცხელწყალმომარაგების სისტემებს, რაც მთელი გამოიმუშავებული ენერჯის მესამედს შეადგენს. ამასთანავე აღსანიშნავია, რომ შენობათა განათებაზე იხარჯება მთელი ენერჯის მხოლოდ 1-2%. შენობათა გათბობისა და ცხელი წყლის მომარაგებისათვის თბური ენერჯის გამოიმუშავება ხდება ძირითადად წიაღისეული სათბობის (გაზი, თხევადი სათბობი, ქვანახშირი) ხარჯზე, რომლის მარაგიც ამოუწურავი არ არის. ცნობილია, რომ თუ ნავთობისა და გაზის მოხმარება შენარჩუნდება 2012 წლის დონეზე მაშინ მსოფლიო გაზის მარაგი კაცობრიობას ეყოფა დაახლოებით 55 წელი, ნავთობისა კი 88 წელი. ამასთანავე გამოთვლილია, რომ 2020 წლისთვის ნავთობისა და გაზის მოხმარება 2012 წელთან შედარებით გაორმაგდება, ხოლო 2030 წლისათვის გასამმაგდება. აქედან გამომდინარე კიდევ უფრო მალე ამოიწურება ბუნებრივი გაზისა და ნავთობის მარაგი. ამიტომ დღეს მწვავედ დგას საკითხი წიაღისეული სათბობის სხვა სახის, ალტერნატიული ენერჯით ჩანაცვლების შესახებ. შენობათა გათბობისა და ცხელი წყალმომარაგებისთვის საჭირო უზარმაზარი თბური ენერჯის ჩანაცვლება ჩვენს ირგვლივ არსებული განახლებადი ენერჯით უნდა მოხდეს. განახლებადი ენერჯის მრავალი სახე არსებობს, რომელთაგან გათბობის ტექნიკაში ყველაზე უფრო პერსპექტიულად ითვლება გრუნტი, წყალი (მდინარე, ტბა, ზღვა, გრუნტის წყალი) და ჰაერი. ეს დაბალპოტენციური თბური ენერჯოწყაროები უზომო რაოდენობითაა ჩვენს ირგვლივ. მათი რაციონალური გამოყენება მნიშვნელოვნად გააუმჯობესებს გარემოს ეკოლოგიურ მდგომარეობას და აამაღლებს შენობათა ენერგოეფექტურობას.

დაბალპოტენციური განახლებადი ენერჯოწყაროების გათბობის მიზნებისთვის გამოიყენება თბური ტუმბოს მეშვეობით ხდება იგი მუშაობს

კარნოს შებრუნებული ციკლით და ჩვეულებრივ საოჯახო მაცივრის პრინციპზეა აგებული.

გათბობის ტექნიკაში თბური ტუმბოების გამოყენება, მისი მუშაობის ანალიზი, ეკონომიკური და ენერგოეფექტური შეფასება თბოფიზიკური მახასიათებლების შესწავლა ნაშრომის სიახლედ უნდა მივიჩნიოთ.

კვლევის მეთოდოლოგია მდგომარეობს თბური ტუმბოების მეცნიერული კვლევების, სამეცნიერო-ტექნიკური ლიტერატურის, ნორმატიული და მეთოდური მასალების შესწავლასა და ანალიზში.

დისერტაციის მიზანს წარმოადგენს გათბობის ტექნიკაში თბური ტუმბოების პერსპექტიული გამოყენების შესაძლებლობის განსაზღვრა, საქართველოს პირობებში თბური ტუმბოს მუშაობის შესწავლა, მისი ეკოლოგიური, ეკონომიკური და ენერგეტიკული მახასიათებლების ანალიზი და საბოლოოდ ამ საკითხების შესწავლის საფუძველზე დაპროექტების მეთოდის დამუშავება.

დისერტაცია შედგება შესავლისგან (განახლებადი ენერჯის სახეები, მათი რესურსები, პერსპექტიული გამოყენების შესაძლებლობები) და ოთხი თავისაგან.

პირველ თავში განხილულია თბური ტუმბოს შექმნის და მისი განვითარების მოკლე ისტორია, მისი მოქმედების პრინციპი და მასში მიმდინარე ფიზიკური პროცესები, მათი თბო-ფიზიკური და ეკოლოგიური მახასიათებლები. განხილულია დაბალპოტენციური განახლებადი თბური ენერჯის წყაროები, მათი რესურსები და პოტენციალი.

მეორე თავი ეძღვნება თბური ტუმბოების კომპონენტების და კონსტრუქციების შესწავლას. განხილულია ჰაერის და გეოთერმული ტუმბოები, მათში დაბალპოტენციური ენერჯის წყაროების პოტენციალის გათბობის ტექნიკაში გამოყენებულ პოტენციალამდე გარდაქმნის პროცესები, სითბოს გენერაციის პროცესები „წყალი - წყლის“, „გრუნტი - წყლის“ და „ჰაერი - წყლის“ თბური ტუმბოებში.

მესამე თავში შესწავლილია თბური ტუმბოების ენერგეტიკული, ეკოლოგიური და ეკონომიკური ეფექტურობის საკითხები. განხილულია

თბური ტუმბოების მუშაობის მონოვალენტური, ბივალენტური და შერეული რეჟიმები. ნაჩვენებია ბივალენტობის წერტილის გავლენა გათბობის სისტემების მიერ შენობათა თბური უზრუნველყოფის რეჟიმზე.

მეოთხე თავში განხილულია თბურტუმბოვანი გათბობის სისტემების დაპროექტების და მონტაჟის თავისებურებები. განხილულია შენობათა თბური დატვირთვის ანგარიში. სხვადასხვა სახის დაბალპოტენციური ენერგოწყაროების გამოყენების შემხვევებისთვის წარმოდგენილია თბური ტუმბოს შერჩევის და ანგარიშის მეთოდები, თბური წყაროების და შენობათა თბური დატვირთვის ანგარიშის საფუძველზე დამუშავებულია თბურტუმბოვანი გათბობის სისტემების დაპროექტების რეკომენდაციები.

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.

ცხრილების ნუსხა

- ცხრილი 1.1. თბურ ტუმბოში გამოყენებული ძირითადი სამაცივრო აგენტები
- ცხრილი 1.2.. თბურ ტუმბოებში გამოყენებული ენერგოწყაროები
- ცხრილი 1.3. სხვადასხვა სახის გრუნტის თბოგაცემა
- ცხრილი 1.4. ჭაბურღილში სხვადასხვა სახის გრუნტის თბოგაცემა
- ცხრილი 1. 5. თბური ტუმბოების კლასიფიკაცია
- ცხრილი 3.1. გარდაქმნის კოეფიციენტები სხვადასხვა ტემპერატურული რეჟიმის დროს
- ცხრილი 3.2. თბური ტუმბოების ორგანულ სათბობზე მომუშავე ტრადიციულ საქვაბებთან შედარებით ეკოლოგიური ეფექტურობა
- ცხრილი 3.3. გარე ჰაერის ტუმპერატურის მიხედვით ბივალენტობის წერტილის მნიშვნელობები
- ცხრილი 4.1. ენერგიის მოხმარება სამოქალაქო სექტორში
- ცხრილი 4.2. სათბობი რადიატორების სიმძლავრეები
- ცხრილი 4.3. შენობების ხვედრითი თბური დატვირთვა
- ცხრილი 4.4. ღია აუზის საორიენტაციო თბური დატვირთვები მათი მაისიდან - სექტემბრის ჩათვლით ექსპლუატაციის პირობებში
- ცხრილი 4.5. დახურული საცურაო აუზის თბური დატვირთვების საორიენტაციო მაჩვენებლები
- ცხრილი 4.6. გრუნტიდან სითბოს ართმევის სპეციფიკური სიმძლავრე
- ცხრილი 4.7. ორმაგი U-სებური გრუნტის ზონდების სპეციფიკური თბური სიმძლავრე
- ცხრილი 4.8. წყლის მინარევების კონცენტრაციები უნდა იყოს შემდეგ ფარგლებში:
- ცხრილი 4.9. ბივალენტობის წერტილის მიხედვით თბური ტუმბოს მიერ თბური დატვირთვის დაფარვის წილი

ნახაზების ნუსხა

- ნახ. 1.1. ტომსონის თბური მანქანის თერმოდინამიკური ციკლი PV კოორდინატთა სისტემაში
- ნახ. 1.2 ორთქლის ენერჯის შეცულობა.
- ნახ. 1.3 თბური ტუმბოს ფუნქციონირების პრინციპული სქემა
- ნახ. 1.4 თბურ ტუმბოში მიმდინარე პროცესის ლოგარითმული დიაგრამა - წნევა/ენტალპია (თბომეცულობა)
- ნახ. 1.5 თბური ტუმბოს გარდაქმნის კოეფიციენტი
- ნახ. 1. 6 გარდაქმნის კოეფიციენტის დამოკიდებულება ტემპერატურულ სხვაობაზე
- ნახ. 1.7 თბურ ტუმბოებში გამოყენებული ძირითადი სამაცივრო აგენტების ხვედრითი თბური მწარმოებლობები.
- ნახ. 1.8 დედამიწის სიღრმეში (გრუნტში) ტემპერატურის წლიური განაწილება
- ნახ. 1. 9 გრუნტიდან სითბოს ართმევის პრინციპული სქემა
- ნახ. 1. 10 გრუნტის წყლიდან სითბოს ართმევის პრინციპული სქემა.
- ნახ. 1. 11 გარე ჰაერიდან სითბოს ართმევის პრინციპული სქემა
- ნახ. 1. 12 პირველადი თბური ენერგოწყაროების ეფექტურობა და ხელმისაწვდომობა.
- ნახ. 1. 13 სითბოს წყაროდან ჩამდინარე წყლების გამოყენების სქემა
- ნახ. 1. 14 თბური ტუმბოების კლასიფიკაცია თბური მწარმოებლობის მიხედვით
- ნახ. 1. 15 თბური ტუმბოების კლასიფიკაცია პირველადი წყაროს ენერგეტიკული პოტენციალის მიხედვით
- ნახ. 2. 1 თბურ ტუმბოში სითბოს გენერაციის პრინციპული სქემები.
- ნახაზი 2.2. თბური ტუმბოს სიმძლავრის რეგულირება ხშირი ტაქტირების თავიდან ასაცილებლად
- ნახ. 2.3. სიმძლავრის რეგულირება ინვერტორული კომპრესორით
- ნახ. 2.4 საფართოებელი სარქველის განლაგება თბურ ტუმბოში
- ნახ. 2.5. გრუნტის კოლექტორის თბურ ტუმბოსთან მიერთების პრინციპული სქემა.
- ნახ. 2. 6 U - სეზური გეოზონდი
- ნახ. 2.7 მარილხსნარ - წყლის თბური ტუმბოს სიმძლავრე.

- ნახ. 2.8 მარილხსნარ - წყალის თბური ტუმბოს გარდაქმნის კოეფიციენტები.
- ნახ. 2. 9 წყალი - წყლის თბური ტუმბოს პრინციპული სქემა
- ნახ. 2.10 თბურ ტუმბოში ფირფიტოვანი თბოგადამცემის გამოყენების თავისებურებანი
- ნახ. 2. 11 თბურ ტუმბოში შუალედური თბოგადამცემის ჩართვის სქემა
- ნახ. 2. 12 თბურ ტუმბოში შუალედური თბოგადამცემის ჩართვის ტემპერატურული რეჟიმები.
- ნახაზი 2.13. წყალ - წყლის თბური ტუმბოს სიმძლავრეები.
- ნახ. 2.14 წყალ - წყლის თბური ტუმბოს გარდაქმნის კოეფიციენტები
- ნახ. 2.15 ჰაერი - წყლის თბური ტუმბოს პრინციპული სქემა
- ნახ. 2. 16 ჰაერი წყლის თბური ტუმბოს სიმძლავრეები
- ნახ. 2. 17 ჰაერის წყლის თბური ტუმბოს გარდაქმნის კოეფიციენტები
- ნახ. 2.18 გარემო ჰაერზე მომუშავე ცხელი წყლის თბური ტუმბო
- ნახ. 2. 19 სავენტილაციო გამონაბოლქვზე მომუშავე ცხელი წყლის თბური ტუმბო
- ნახ. 3.1 თბური ტუმბოს გარდაქმნის კოეფიციენტების დამოკიდებულება დაბალპოტენციური სითბოს წყაროს ტემპერატურაზე
- ნახ. 3.2 თბური ტუმბოს სიმძლავრის კოეფიციენტები სხვადასხვა ტემპერატურული სხვაობის დროს
- ნახ. 3.3. CO₂ - ის გამონაბოლქვები გათბობის სხვადასხვა სისტემებისათვის.
- ნახ. 3. 4 თბოგადამცემების გარემოზე ზემოქმედების გრაფიკები.
- ნახ. 3.5 თბოგადამცემების ხვედრითი ენერჯის სიდიდეები
- ნახ. 3.6 თბოგადამცემების ეფექტურობა
- ნახ. 3.7. თბური ტუმბოს მუშაობის მონოვალენტური რეჟიმი
- ნახ. 3.8. თბური ტუმბოს მუშაობის ბივალენტურ-ალტერნატიული რეჟიმი
- ნახ. 3.9. თბური ტუმბოს მუშაობის ბივალენტურ-პარალელური და მონოენერგეტიკული რეჟიმები
- ნახ. 3. 10. დაბალი უარყოფითი ტემპერატურის დროს თბური ტუმბოს მწარმოებლობა
- ნახ. 4.1. გათბობის სისტემებში გამოყენებული პირველადი ენერჯის ურთიერშედარება
- ნახ. 4.2.. თბური ტუმბოს მუშაობის ტემპერატურული რეჟიმები
- ნახ. 4.3. თბური ტუმბოს წლიური მუშა და სიმძლავრის კოეფიციენტები

- ნახ. 4.4. გათბობის სისტემის წყლის საჭირო ტემპერატურების
ექსპერიმენტული განსაზღვრის დიაგრამა
- ნახ. 4.5. გრუნტის კოლექტორის პრინციპულ-ტექნოლოგიური სქემა
- ნახ. 4.6. მარილხსნარის კონტურების ჰიდრავლიური მიერთების სქემა
- ნახ. 4.7. გეოზონდების განლაგება გრუნტის წყლების მიმართ
და მათ შორის მინიმალური მანძილი
- ნახ. 4.8. U -სებური ორმაგი ზონდის ვერტიკალური და ჰორიზონტალური
ჭრილები
- ნახ. 4.9. გეოთერმული ზონდის თბურ ტუმბოსთან მიერთების პრინციპულ
ტექნოლოგიური სქემა
- ნახ. 4.10 წყალი წყლის თბური ტუმბოს მიმღები და ჩამშვებ ჭებთან
მიერთება
- ნახ. 4.11 შენობის თბური დატვირთვის განსაზღვრა
თბური ტუმბოს სიმძლავრის დიაგრამის მიხედვით
- ნახ. 4.12 ჰაერი -წყლის თბური ტუმბოს პრინციპულ-ტექნოლოგიური სქემა

შინაარსი

შესავალი	14
თავი I. თბური ტუმბოები და მათი ძირითადი სახეები	17
1.1. თბური ტუმბოს შექმნის და მისი განვითარების მოკლე ისტორიული მიმოხილვა	17
1.2. თბური ტუმბოს მუშაობის პრინციპი და მასში მიმდინარე ფიზიკური პროცესები	21
1.3. თბური გარდაქმნის და მუშაობის კოეფიციენტები	24
1.4. თბურ ტუმბოებში გამოყენებული სამაცივრო აგენტები	27
1.5. ენერჯის წყაროები თბური ტუმბოებისათვის და მათი პოტენციალი	30
1.6. თბური ტუმბოების კლასიფიკაცია	40
თავი II. გათბობის ტექნიკაში გამოყენებული თბური ტუმბოების კონსტრუქციები და მათი მახასიათებლები	45
2.1. თბური ტუმბოს ძირითადი კომპონენტები	48
2.2. გეოთერმული თბური ტუმბოები	52
2.3. ჰაერის თბური ტუმბოები	65
თავი III. თბური ტუმბოს ეფექტურობა და მისი მუშაობის რეჟიმები	73
3.1. თბური ტუმბოს ენერგეტიკული, ეკოლოგიური და ეკონომიკური ეფექტურობა და მათი გაზრდის გზები	73
3.2. თბური ტუმბოს მუშაობის რეჟიმები	89
თავი IV. თბურ ტუმბოვანი გათბობის სისტემების დაპროექტების თავისებურებები და სამონტაჟო რეკომენდაციები.	95
4.1. თბური ტუმბოს შერჩევა და მისი პარამეტრების ანგარიში	101
4.1.1. გათბობის არსებული სისტემის პარამეტრების ანგარიში თბური ტუმბოებით თბომომარაგების მოდერნიზაციის დროს	101
4.1.2. თბური ტუმბოები ახლად აშენებულ შენობებში	106
4.2. გრუნტის კოლექტორები	111
4.3. გრუნტის ზონდები	115
4.4. ჰაერი-წყლის თბური ტუმბოს შერჩევა და დაპროექტება	122
დასკვნები	128

გამოყენებული ლიტერატურა130

შესავალი

ჩვენი დროის ერთ - ერთი უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა გარემოს დაცვა და არაგანახლებადი, წიაღისეული სათბობის გამოყენების შემცირება. გათბობისა და ჰაერის კონდიცირების თანამედროვე სისტემებს წაყენებათ მავნე ნივთიერებათა, განსაკუთრებით კი CO₂ - 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 გვადიშვებს 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 თბური ტუმბოების დანერგვა 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 (ტარდიციული) 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.

თემის აქტუალობა. 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 CHU II-ები, DIN-ები EN-ები გარკვეულ სიძნელეებს უქმნის სპეციალისტებს პროექტირების დროს, რომელიც საქართველოს კლიმატურ - გეოგრაფიული 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 მეთოდიკის დამუშავებით.

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

თავი I. თბური ტუმბოები და მათი ძირითადი სახეები

1.1. თბური ტუმბოს შექმნის და მისი განვითარების

მოკლე ისტორიული მიმოხილვა

ადამიანმა როგორც თავის სხეულის ასევე ბინის გათბობა დაიწყო მაშინ როდესაც წარმოიშვა ცეცხლი ე.ი. ძალიან ადრე. რაც შეეხება საცხოვრებლის გაცივებას (გაგრილებას) ეს უკვე გვიან პერიოდში ხდება, სახელდობრ კი XX საუკუნის შუა წლებში, როდესაც გამოგონილი იქნა გაცივების პირველი ტექნოლოგია. სწორედ ამ დროს წარმოიქმნა სამაცივრო მანქანის შექმნის პირველი მცდელობა.

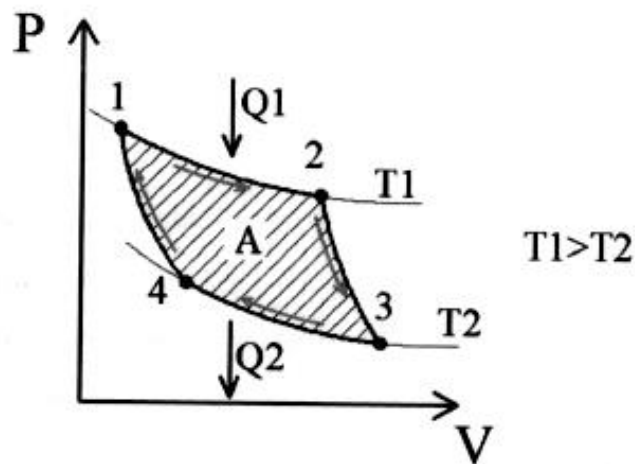
სამაცივრო მანქანის გამოსაგონებლად ადამიანები არც კი ფიქრობდნენ, რომ გამოეყენებინათ ენერჯის ბუნებრივი წყაროები, რომელსაც დაბალპოტენციურ ენერჯოწყაროებს უწოდებენ, მაგრამ როგორც კი შეიქმნა სამაცივრო მანქანა ადამიანებმა დიდი ყურადღება დაუთმეს ბუნებრივი წყაროებიდან თბური ენერჯის მიღების საკითხს. ამასთანავე მეცნიერება არ შემოიფარლა 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 საფუძვლად 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 ენერგეტიკული რესურსების შეზღუდულობა ვერ უზრუნველყოფს გათბობის მიზნით სათბობის მუდმივ წვას ღუმელში და რომ მის მიერ შემოთავაზებული „სითბოს გამამრავლებელი“ მოიხმარს სულ უფრო ნაკლებ ენერგიას ვიდრე ჩვეულებრივი ღუმლები.

ტომსონის მიერ შემოთავაზებული თბურ ტუმბოში მუშა სხეულად გამოიყენება ჰაერი. გარემო ჰაერი შეიწოვება ცილინდრში ფართოვდება და ამის გამო იგი ცივდება, შემდგომ გაივლის რა თბოგადამცემს იგი ცხელდება გარე ჰაერით. ატმოსფერულ წნევამდე შეკუმშული ჰაერი, ცილინდრიდან მიეწოდება გასათბობ სათავსს, რომლის ტემპერატურა გარემოზე მეტია.

ასეთი თბური მანქანის თერმო დინამიკური ციკლი, რომელიც ორი ადიაბატის და ორი იზოთერმისაგან შედგება PV კოორდინატთა სისტემაში წარმოდგენილია 1.1 ნახაზზე.



ნახ. 1.1. ტომსონის თბური მანქანის თერმოდინამიკური ციკლი
PV კოორდინატთა სისტემაში

(1– 2) - იზოთერმული პროცესი - ამ დროს სახურებლიდან მუშა (ნახ. 1.1.) გარემოს მიეწოდება Q_1 სითბო. ეს სითბო მიეწოდება წელა, პრაქტიკულად, სახურებელსა და მუშა გარემოს შორის, ნულოვანი

ტემპერატურული სხვაობის დროს. ამ დროს მუშა სხეულის მოცულობა იზრდება, (2 – 3) ადიაბატური გაფართოება - მუშა სხეული კვლავ ფართოვდება, გარემოსთან თბოგაცემის გარეშე, მისი ტემპერატურა T2სიდიდემდე მცირდება. (3 – 4) - იზოთერმული პროცესი - მუშა სხეული იკუმშება და მაცივარი ართმევს მას Q₂ სითბოს.

(4 – 1) ადიაბატური შეკუმშვა - მუშა სხეული განაგრძობს კუმშვას გარემოსთან თბოგაცემის გარეშე, მისი ტემპერატურა T1 სიდიდემდე იზრდება. აქ T1 სახურებლის ტემპერატურა, T2 კი მაცივრის.

მსგავსი მანქანა გამოყენებულ იქნა შვეიცარიაში. ცნობილია, რომ ტომსონმა მიუთითა, რომ თბურ ტუმბოს შეუძლია მოგვცეს საჭირო სითბოს რაოდენობა, თუ მასში გამოვიყენებთ შენობის პირდაპირი გათბობისათვის საჭირო ენერჯის მხოლოდ 3% - ს.

სამაცივრო მანქანების განვითარება დაიწყო XIX საუკუნის ბოლოს, ხოლო თბური ტუმბოების სწრაფი განვითარება დაიწყო XX საუკუნის 20 – 30 - იან წლებში. პირველი თანამედროვე თბური ტუმბოს კონსტრუქცია თავის სახლის გათბობის მიზნით შექმნა შოტლანდიელმა ინჟინერ ჰოდლეინმა 1927 წელს. ეს პირველი თბური ტუმბო წარმოადგენდა სამაცივრო მანქანას 5 კვტ სიმძლავრის მქონე ამძრავით. სითბოს წყაროდ ამ მანქანაში გამოიყენებოდა ქუჩის ჰაერი. გამოთვლილი იქნა ამ დანადგარის გარდაქმნის კოეფიციენტიც, რომელიც 2,3 - ს შეადგენდა.

თბური ტუმბო, რომელშიც სითბოს წყაროდ გამოიყენებოდა წყალი. ე.წ. „წყალი - წყალი“ შეიქმნა 1936 წელს. ასეთი დანადგარი 175 კვტ სიმძლავრით ქ. ციურიხში დაიდგა და იგი ცხელი წყლით ამარაგებდა ქალაქის რატუშას. პირველადი წყლის აღება ხდებოდა მდინარიდან. შემდგომ ეტაპზე შეიქმნა გეოთერმული თბური ტუმბო „გრუნტი - წყალი“. გასული საუკუნის 40 - იან წლებში გამომგონებელი რობერტ ვებერი ატარებდა რა ექსპერიმენტებს საყინულე კამერაზე შეეხო გამომავალ ცხელ მილს. ამ მილიდან სითბო უბრალოდ გაიბნეოდა გარემოში. ამ შემთხვევამ გამომგონებელს უბიძგა გაბნეული სითბოს გამოყენების შესაძლებლობაზე და შექმნა დანადგარი, რომელიც მის ოჯახს აწვდიდა უფრო მეტ სითბოს,

ვიდრე მოიხმარდა. ამავე გამომგონებელს მოუვიდა აზრად, რომ სითბოს წყაროდ შეიძლებოდა მიწის გამოყენებაც. მან სპილენძის მილები განალაგა გრუნტში და შეავსო ფრეონით. ფრეონი იღებდა სითბოს დედამიწიდან, რომელსაც კონდენსირების შედეგად აწვდიდა სახლს და კვლავ გრუნტში განლაგებულ მილებში ბრუნდებოდა.

წარმატების მიუხედავად თბურმა ტუმბოებმა ვერ ჰპოვა მკვეთრი განვითარება, სხვა სახის თბურ წყაროებთან შედარებით. თბური ტუმბოების ინტენსიურ განვითარებას ბიძგი მისცა 1973 წლის პირველმა ენერგეტიკულმა კრიზისმა, სულ რაღაც 3 წელიწადში აშშ - ში შეიქმნა 300 000 თბური ტუმბო, ეს რიცხვი რუსეთში 1000 - საც ვერ აღწევდა, ხოლო საქართველოში საერთოდ არ არსებობს.

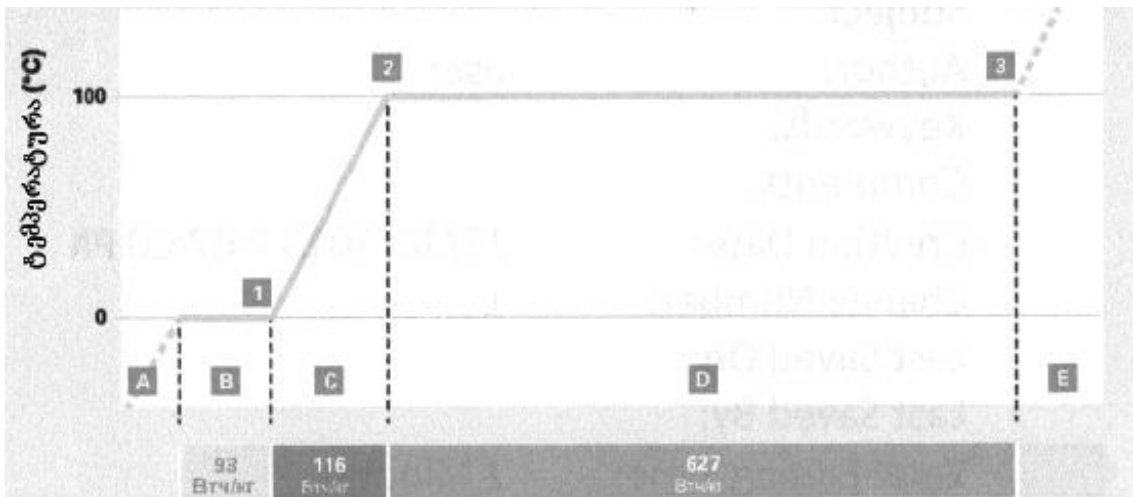
სადღეისოდ თბური ტუმბოს ზრდის ტემპი ყოველწლიურად 30 – 40 % - ით მატულობს. იაპონიაში დაყენებული თბური ტუმბოების რაოდენობა 10 მლნ - ს აღწევს, აშშ - ში ყოველწლიურად გამოდის 1 მლნ თბური ტუმბო, ხოლო შვედეთსა და გერმანიაში მოსახლეობის 50% თბური ტუმბოებით სარგებლობს. რაც შეეხება რუსეთს, მიუხედავად გათბობაზე სითბოს ეკონომიის აუცილებლობის და ქვეყნის გაზიფიკაციის სუსტი განვითარებისა, თბური ტუმბოები სუსტად ვითარდება. როგორც სპეციალისტები ვარაუდობენ უახლოეს 5 წელიწადში მოსალოდნელია თბური ტუმბოების რაოდენობის გასამმაგება.

საქართველოს გააჩნია თბური ტუმბოს გამოყენების ფართო შესაძლებლობა, რაც გაპირობებულია ბუნებრივი ენერგოწყაროების საუკეთესო მახასიათებლებით, მაგრამ დღეისათვის საქართველოში არ არსებობს არცერთი თბურტუმბოვანი დანადგარი და არც არავითარი კვლევა ამ მიზნით არ მიმდინარეობს. თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ პროფესორების ვ. გომელაურის და გ. რატიანის მიერ გასული საუკუნის 50 - იან წლებში შეიქმნა თბური ტუმბო, რომელიც გამოიყენებოდა ჩაის ფაბრიკაში, ჩაის შრობის მიზნით ამ ტუმბოში სითბოს წყაროდ გამოიყენებოდა ზღვის წყალი.

1.2. თბური ტუმბოს მუშაობის პრინციპი და მასში მიმდინარე ფიზიკური პროცესები

ძირითადი პრინციპები, 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.

ყოველი კონკრეტული სითხის ასაორთქლებლად საჭიროა გარკვეული ენერჯის მიწოდება, რომელსაც აორთქლების ენერჯია ეწოდება. ამ დროს მუდმივი წნევის პირობებში თვით მუშა სხეულის ტემპერატურა არ იცვლება, რადგანაც ხდება მისი გაჯერება გარემოს ორთქლით.

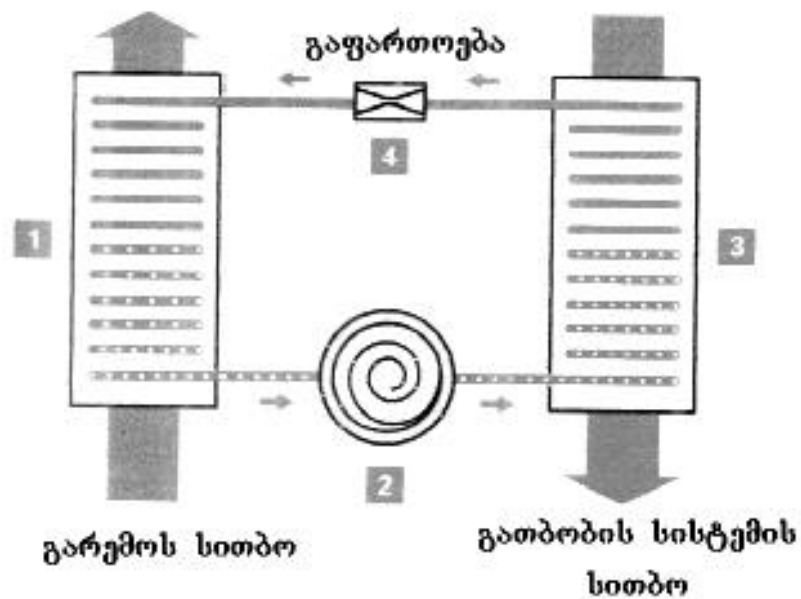


ნახ. 1.2 ორთქლის ენერჯის შეცულობა.

1 - გაყინვის წერტილი; 2 - დუღილის წერტილი; 3 - აორთქლების წერტილი; A - ყინული; B - ყინული + წყალი; C - წყალი; D - წყალი + ორთქლი; E - ორთქლი

ნახ. 1.2. ნაჩვენებია 1 ლ წყლის 0 - დან 100°C - მდე დახარჯული ენერჯის რაოდენობა, რომელიც 116, ვტ. სთ. ტოლია, წყლის 1°C - ით გასათბობად საჭიროა დაახლოებით 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

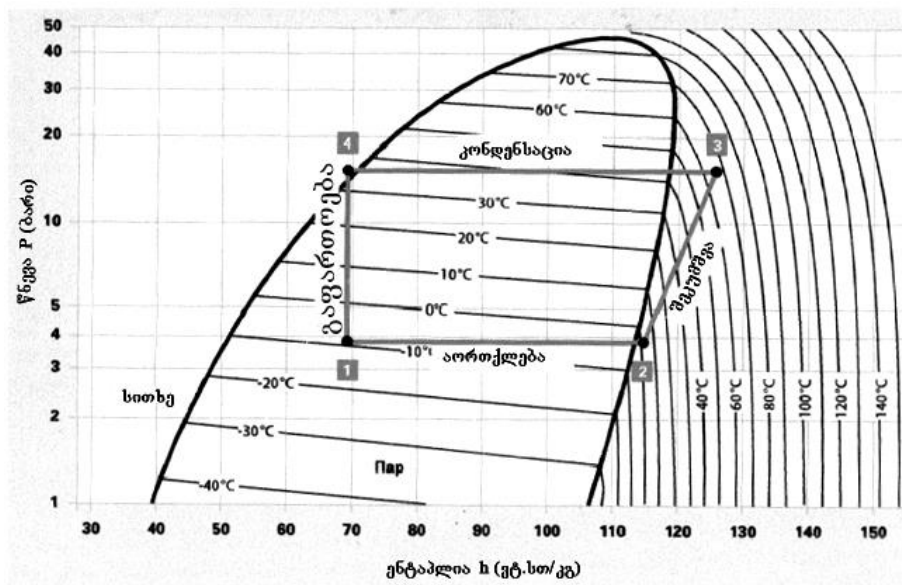
საჭირო ენერგიას. სწორედ ენერგიის ეს რაოდენობა თავისუფლდება უკუპროცესის გათხევადების (კონდენსაციის) დროს.



ნახ. 1.3 თბური ტუმბოს ფუნქციონირების პრინციპული სქემა 1 - ამორთქლებელი; 2 - კომპრესორი; 3 - კონდენსატორი; 4 - საფართოებელი სარქველი.

1.3. ნახაზზე ნაჩვენებია თბური ტუმბოს პრინციპიალური სქემა, რომელიც მოიცავს ფაზური გარდაქმნის ოთხ ძირითად საცირკულაციო პროცესს. თბური ტუმბოს ფუნქციონირებისათვის ძირითადი მნიშვნელობა აქვს სამაცივრო აგენტს, ანუ მუშა სხეულს (გარემოს). სამაცივრო აგენტს გააჩნია ძალიან დაბალ ტემპერატურაზე აორთქლების 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.



ნახ. 1.4 თბურ ტუმბოში მიმდინარე პროცესის ლოგარითმული დიაგრამა - წნევა/ენტალპია (თბოშეცულობა)

თბურ ტუმბოში მიმდინარე ფიზიკური პროცესი $lgp - i$ დიაგრამაზე ნაჩვენებია 1.4. ნახაზზე. თბური ტუმბოს მუშაობის დროს სამაცივრო აგენტი (მუშა სხეული) გადის ფაზური გარდაქმნის შემდეგ ეტაპებს.

1-2 აორთქლება. სამაცივრო აგენტი ორთქლდება, ამისათვის საჭირო ენერგია გადაეცემა გარემოს, მაგალითად ატმოსფეროს. 2 – 3 შეკუმშვა. მექანიკური ენერგიის დახმარებით კომპრესორი ზრდის სამაცივრო აგენტის წნევას და შესაბამისად ტუმპერატურასაც. ენტალპია ((თბოშეცულობა) იზრდება.

3-4 კონდენსაცია. შეკუმშვის შედეგად სამაცივრო აგენტი თხევადდება (კონდენსირდება) და გადასცემს აორთქლების და მექანიკური კუმშვის დროს მიღებულ ენერგიას.

4-1 გაფართოება. სპეციალური საფართოებელი სარქვლის საშუალებით სამაცივრო აგენტი ფართოვდება და უბრუნდება თავის პირვანდელ მდგომარეობას, შესაბამისი ტემპერატურით და წნევით. სამაცივრო აგენტი კვლავ აორთქლდება და პროცესი გამეორდება.

ამ ნახაზიდან ჩანს, რომ თუ მიმდინარეობს აორთქლება სითბოს რაოდენობის შემცირებით, გვაქვს სამაცივრო მანქანა. თუ მიმდინარეობს კონდენსაციის პროცესი თბური ენერჯის გამოყოფით, გვაქვს თბური ტუმბო.

1.3. თბური გარდაქმნის და მუშაობის კოეფიციენტები

გარდაქმნის კოეფიციენტი ანუ როგორც ხშირად მას უწოდებენ სიმძლავრის კოეფიციენტი არის თბური ტუმბოს მთავარი მახასიათებელი პარამეტრი და P – I დიაგრამის მიხედვით განისაზღვრება ფარდობით

$$\varepsilon = \frac{\tau_3 - i_4}{i_3 - i_4}$$

სადაც i_2 არის თბომეცულობა (ენტალპია) კუმშვის დაწყებისას i_3 - თბომეცულობა კუმშვის დამთავრებისას სითბოს გამოყოფის დასაწყისში)

i_4 - თბომეცულობა კონდენსაციის ბოლოს.

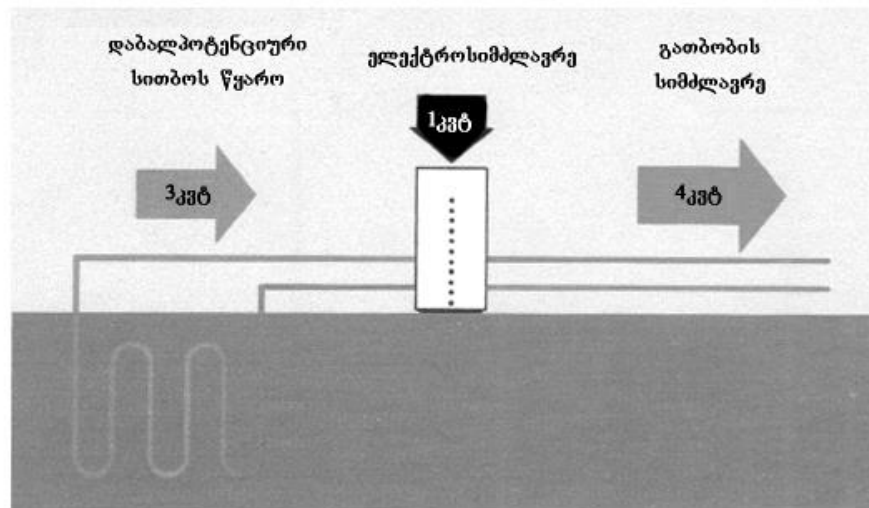
საერთაშორისო ტექნიკურ ლიტერატურაში გარდაქმნის კოეფიციენტი აღინიშნება როგორც COP (coefficient of performance) სხვანაირად, რომ ვთქვათ გარდაქმნის კოეფიციენტი არის თბური ტუმბოს მწარმოებლობის (თბურ ტუმბოს მიერ მოცემული სითბოს რაოდენობის) ფარდობა მასში დახარჯული ელექტროენერჯისთან

$$\varepsilon = \frac{Q}{E}$$

გარდაქმნის კოეფიციენტის მნიშვნელობა ნათლად წარმოდგენილია 1.5. ნახაზზე, როგორც ამ ნახაზიდან ჩანს თბური ტუმბოს მწარმოებლობა (თბური სიმძლავრე 4 - ჯერ აღემატება მოწოდებულ ელექტროენერჯის სიმძლავრეს, ე.ი. გარდაქმნის კოეფიციენტი 4 - ის ტოლია ანუ თბური

ტუმბო იძლევა 4 - ჯერ მეტ ენერგიას ვიდრე მასზე მიწოდებული ელექტროენერგია..

თანამედროვე თბური ტუმბოების გარდაქმნის კოეფიციენტი იცვლება 3,5 – 5,5 ფარგლებში.



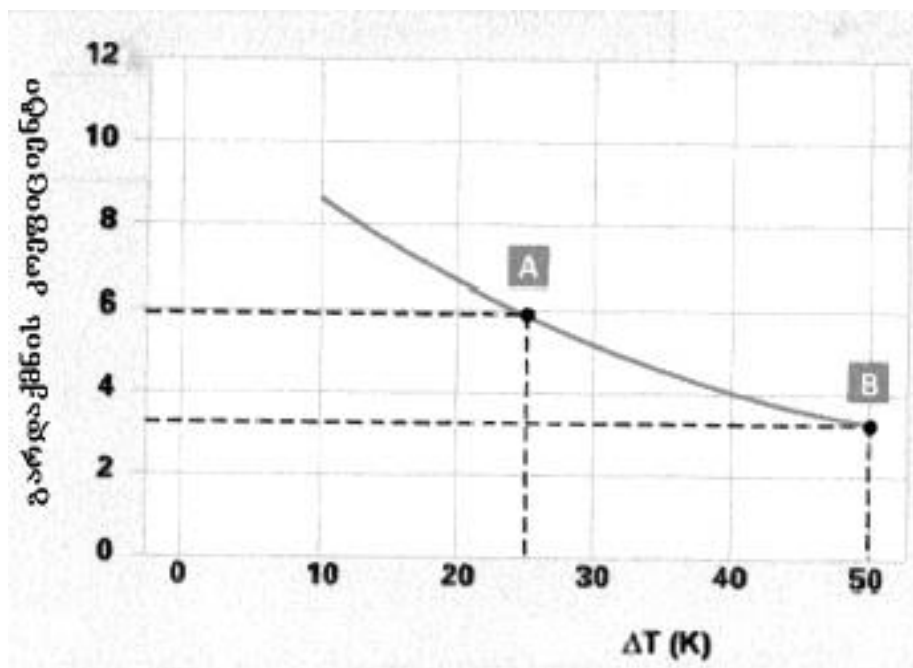
ნახ. 1.5 თბური ტუმბოს გარდაქმნის კოეფიციენტი

ზოგადად თბური ტუმბოების ძირითადი წესია, რომ მიწოდების ტემპერატურის 1° - ით შემცირებისას გარდაქმნის კოეფიციენტი 2,5% - ით იზრდება, ხოლო თუ თბური წყაროს ტემპერატურა 1° - ით იზრდება გარდაქმნის კოეფიციენტი 2,7% - ით იზრდება.

თბური ტუმბოს მიერ მოხმარებული და გამომუშავებული სიმპლავრეები დამოკიდებულია კომპრესორის ორივე მხარეს (შეწოვა და დაჭირხვნა) ფრეონის წნევაზე. წნევათა შორის დიდი სხვაობის დროს თბური ტუმბოს ეფექტურობა და სათანადოდ თბური მწარმოებლობა მცირდება და პირიქით.

თბური ტუმბოს გარდაქმნის კოეფიციენტის სიდიდე განისაზღვრება გათბობის სისტემაში მისაწოდებელი ტემპერატურის და თბური წყაროს პირველად ტემპერატურათა სხვაობით. რაც მცირეა ეს ტემპერატურული სხვაობა მით მეტია გარდაქმნის კოეფიციენტი.

გარდაქმნის კოეფიციენტის ტემპერატურულ სხვაობაზე დამოკიდებულება ნაჩვენებია 1.6. ნახაზზე.



ნახ. 1. 6 გარდაქმნის კოეფიციენტის დამოკიდებულება ტემპერატურულ სხვაობაზე: A - როდესაც $\Delta t=25^{\circ}\text{C}$ KOP=6; B - როდესაც $\Delta t =50 \text{ C}$ KOP=3,3

თბური ტუმბოს მეორე მნიშვნელოვანი მახასიათებელია მუშაობის კოეფიციენტი, რომელიც თბური ტუმბოს მიერ მოცემული თბური ენერჯის ფარდობაა დახარჯული ელექტროენერჯისთან დროის გარკვეულ პერიოდში (თვეში, გათბობის სეზონის პერიოდში, წლის განმავლობაში)

$$\beta = \sum_{n=1}^n \frac{Q}{E}$$

სადაც Q არის გამომუშავებული ანუ თბური ტუმბოს მიერ მიწოდებული თბური ენერჯია მაგალითად თვეში (კვტ. სთ) E კი დახარჯული ელექტროენერჯია იგივე პერიოდში (კვტ. სთ) n - გათბობის სეზონში თვეების რაოდენობა.

თუ გარდაქმნის კოეფიციენტი ϵ ვიჩვენებს გარკვეულ გარემოებებში მომენტალურ სიდიდეს, მუშაობის კოეფიციენტი β წარმოადგენს სიმპლავრეთა ფარდობას მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმებისათვის (მაგალითად გათბობის სეზონის განსაზღვრულ პერიოდში).

1. 4. თბურ ტუმბოებში გამოყენებული სამაცივრო აგენტები

სამაცივრო აგენტის დანიშნულებაა შეითვისოს სითბო ანუ პირველადი ენერჯია სითბოს პირველადი წყაროდან (გრუნტი, ჰაერი, წყალი) გარდაქმნას იგი (აორთქლება) და გადასცეს იგი მეორად თბოშემცველს (კონდენსაცია), რომელიც გათბობის სისტემაში ცირკულირებს. სამაცივრო აგენტებს ხშირად ფრეონებსაც უწოდებენ.

უნდა აღინიშნოს მუშა სხეული ანუ სამაცივრო აგენტი მუშა პროცესის ყოველ წერტილში ერთი და იგივეა. აქედან გამომდინარე თბურ ტუმბოში გამოყენებული სამაცივრო აგენტები ერთდროულად უნდა ფლობდნენ რამოდენიმე განსაკუთრებულ თვისებას. მათ ერთდროულად უნდა გააჩნდეს რაც შეიძლება დაბალი აორთქლების ტემპერატურა, ორთქლის შედარებით მცირე მოცულობა და პირველად მოცულობის მიმართ მაღალი სიცივის მწარმოებლობა. ამასთანავე უნდა იყვნენ ნეიტრალურები თბური ტუმბოს კონსტრუქციული მასალების მიმართ, იყვნენ ცეცხლ- და აფეთქებაუსაფრთხო, აგრეთვე უნდა გააჩნდეთ მინიმალური ტოქსიკურობა და მაღალი ეკოლოგიური მაჩვენებლები ოზონის შრის (ODP-Ozone depletion potenzil) და „სათბურის ეფექტის“ (GWP-Global warming potenzial) მიმართ.

ამ მოთხოვნებს ყველაზე უფრო მეტად ნაწილობრივ ჰალოგენირებადი ფტორნახშირწყალბადოვანი ნარევები (H-FKW) აკმაყოფილებენ. ამიტომაც თბურ ტუმბოებში უფრო მეტად ეს სამაცივრო აგენტები გამოიყენება. ცალკეულ შემთხვევებში ხელოვნურ (სინთეტიკურ) სამაცივრო აგენტების პარალელურად გამოიყენება ბუნებრივიც, მაგალითად CO₂, ბუტანი ან პროპანი. პროპანი და ბუტანი ითვლებიან აფეთქებად ნივთიერებებად, ამიტომ მათი გამოყენების დროს დაცული უნდა იქნას უსაფრთხოების განსაკუთრებული ზომები.

სამაცივრო აგენტების ჩამონათვალი განსაზღვრულია EN/DIN8960 სტანდარტით. ეს სტანდარტი იწყება R(refrigerant) ასოთი, ხოლო ციფრები მიუთითებენ ქიმიურ ურთიერთქმედების კავშირზე.

ყველა სამაცივრო აგენტი, რომელთა დასახელებაშიც R ასოს შემდეგ მოდის ციფრი 4, წარმოადგენს სხვადასხვა სამაცივრო აგენტების ნარევს. ეს ნარევები გარემოს მიმართ განსაკუთრებით მაღალი მახასიათებლებით და ეკოლოგიური უსაფრთხოებით გამოირჩევიან.

სამაცივრო აგენტების შერჩევა დამოკიდებულია თბური ტუმბოს ექსპლუატაციის პირობებზე, სითბოს პირველადი წყაროს და თბომომარაგების სისტემებისადმი წაყენებულ მოთხოვნილებებზე.

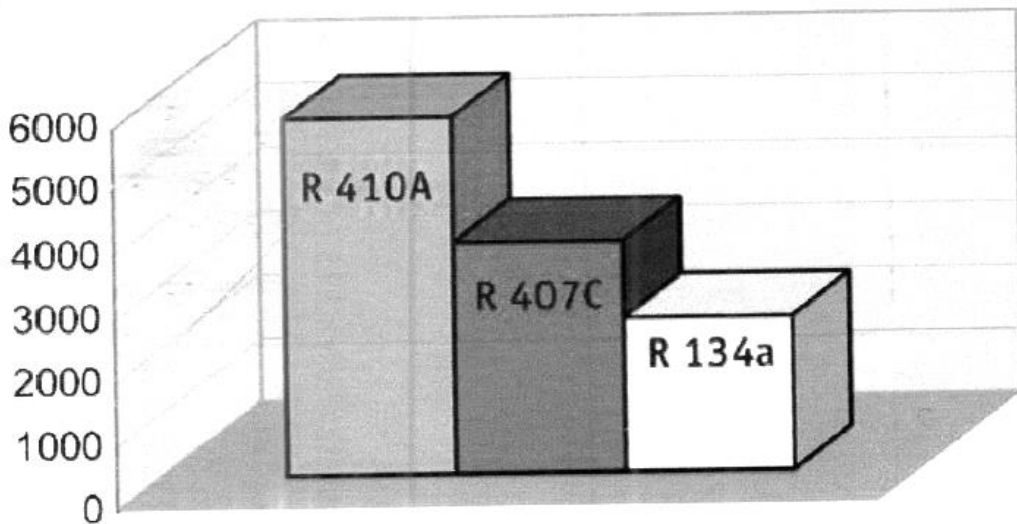
დღეისათვის თბური ტუმბოების წარმოებაში ძირითადად გამოყენებულია სამაცივრო აგენტები R134, R407C, R410A. ყველა ეს თანამედროვე სამაცივრო აგენტი ოზონოუსაფრთხოებია და გააჩნიათ კარგი თერმოდინამიკური მახასიათებლები. სამწუხაროდ, არ არსებობს ისეთი იდეალური სამაცივრო აგენტი რომელიც ყველა მოთხოვნილებას ერთდროულად დააკმაყოფილებს, ამიტომაც ცალკეული თბური ტუმბოსათვის სამაცივრო აგენტის შერჩევა ინდივიდუალურად წარმოებს.

სამაცივრო აგენტის შერჩევის დროს ისეთ თვისებებს გააჩნია მნიშვნელოვანი გავლენა, რომელიც განმსაზღვრელია დასაპროექტებელი მოწყობილობის მიმართ. მწარმოებელი ყოველთვის ცდილობს შექმნას ისეთი დანადგარი, რომელიც იქნება ენერგოეფექტური, კომპაქტური, იაფი და საიმედო. ამიტომაც საბოლოოდ თბური ტუმბოს შერჩევა ყოველთვის კომპრომისულია.

R-134A სამაცივრო აგენტი ძირითადად გამოიყენება წყალ - წყლის და მარილხსნარ - წყლის თბურ ტუმბოებში. ამ სამაცივრო აგენტს ბევრი დადებითი მხარე გააჩნია. უპირველესად კი ის, რომ იგი არის აზეოტროპული (ერთკომპონენტური) და ოზონოუსაფრთხო, ამიტომ ამ სამაცივრო აგენტიანი თბური ტუმბოების ექსპლუატაცია უპრობლემოა. სისტემიდან სამაცივრო აგენტის გაჟონვის შემთხვევაში შეიძლება მისი შევსება ისე, რომ არ დაირღვეს დანადგარის მახასიათებლები. R134 სამაცივრო აგენტის ყველაზე კარგ დადებით მხარედ მაინც მისი ენერგოეფექტურობა ითვლება. მისი სამაცივრო კოეფიციენტი R401A - სთან შედარებით 14% 0 ით ხოლო R407C - თან შედარებით 6% - ით მეტია.

სამაცივრო აგენტი R407C სამკომპონენტიანია და იგი R32, R-125 და R134A სამაცივრო აგენტისაგან შედგება, ამ სამაცივრო აგენტის უარყოფითი მხარე ისაა, რომ მისი შემადგენელი კომპონენტების აქროლადობა სხვადასხვა სიჩქარით მიმდინარეობს, ამიტომაც დანადგარიდან მისი გაჟონვის შემთხვევაში გვიხდება მისი სრული დაცლა, რადგანაც შეუძლებელია მისი მდგენელების თანაფარდობის დადგენა აქროლადობის სხვადასხვა სიჩქარეების გამო.

სამაცივრო აგენტი R410A ითვლება R407C ფრეონის შემცვლელად. იგი შედგება R-125 და R-32 ფრეონებისაგან. ეს სამაცივრო აგენტიც აზეოტროპულია და შეიცავს 50% დიფტორმეთანს, R-32 და 50% პენტაფტორმეთანს, R-125. არც ერთი ეს კომპონენტი ქლორს არ შეიცავს, ამიტომაც იგი ოზონოუსაფრთხოა (ოზონის დაშლის პოტენციალი ნულის ტოლია). ეს ფრეონი ძირითადად R- 22 ფრეონის შემცვლელია, რომელიც შლის ოზონის შრეს ამიტომაც მონრეალის ოქმის შესაბამისად მისი გამოყენება შუზღუდულია. R-410A სამაცივრო აგენტის მთავარი უპირატესობა მისი ძალიან მაღალი ხვედრითი სიცივის მწარმოებლობაა.



ნახ. 1.7 თბურ ტუმბოებში გამოყენებული ძირითადი სამაცივრო აგენტების ხვედრითი თბური მწარმოებლობები.

როგორც 1.7 ნახაზიდან ჩანს R410A ფრეონის ხვედრითი სიცივის მწარმოებლობა 50% - ით მეტია R407C ფრეონის, ხოლო 100% - ით მეტი R134H ფრეონის ხვედრითი სიცივის მწარმოებლობებზე.

1.1 ცხრილში ნაჩვენებია თუ თბური ტუმბოს, რომელი სახეობაში, რომელი სამაცივრო აგენტის გამოყენებაა უმჯობესი.

თბურ ტუმბოში გამოყენებული ძირითადი სამაცივრო აგენტები

ცხ. 1.1

სამაცივრო აგენტი		თბური ტუმბო		
ტიპი		მარილხსნარი წყალი	წყალ - წყალი	ჰაერი - წყალი
R-410A	50% R-32 (დიფტორეთანი) 50% R-125 (პენტაფტორეთანი)	X	X	X
R-407C	25% R- 125 23% R – 32 52% - R-134 (ტეტრაფტორეთანი)	X	X	X
R-134A	100% ტეტრაფტორეთანი	X	X	

1.5. ენერჯის წყაროები თბური ტუმბოებისათვის და მათი პოტენციალი

თბური ტუმბოს ტექნიკური და ეკონომიკური მახასიათებლები მჭიდრო კავშირშია თბური წყაროს მახასიათებლებთან. გათბობის სისტემებში გამოყენებული თბურ ტუმბოებისათვის თბური წყაროებს მთელი გათბობის სეზონის პერიოდში უნდა გააჩნდეთ მაღალი სტაბილური ტემპერატურა, ფლობდეს მაღალ ენერგეტიკულ პოტენციალს, არ უნდა იყვნენ აგრესიულები და დაბინძურებული, გააჩნდეთ ხელსაყრელი

თბოფიზიკური მახასიათებლები და მათი გამოყენება თხოულობდეს დაბალ საინვესტიციო და საექსპლუატაციო ხარჯებს. თბურ ტუმბოებში გამოიყენება როგორ დაბალპოტენციური ენერგოწყაროები (მზის რადიაცია, ჰაერი, წყალი, გრუნტი, ჩამდინარე წყლები, გრუნტის წყალი) ასევე მეორადი ანუ გადაგდებული თბური ენერგო წყაროები (კანალიზაცია და საკანალიზაციო ჩამონადენები, ნამუშევარი სავენტილაციო ჰაერი, ნამწვი გაზები და სხვა) ქვემოთ ცხრილში წარმოდგენილია თბური ტუმბოებში გამოყენებული ძირითადი ენერგოწყაროები და მათი სასურველი ტემპერატურული დიაპაზონები.

თბურ ტუმბოებში გამოყენებული ენერგოწყაროები ცხრ.1.2

№	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

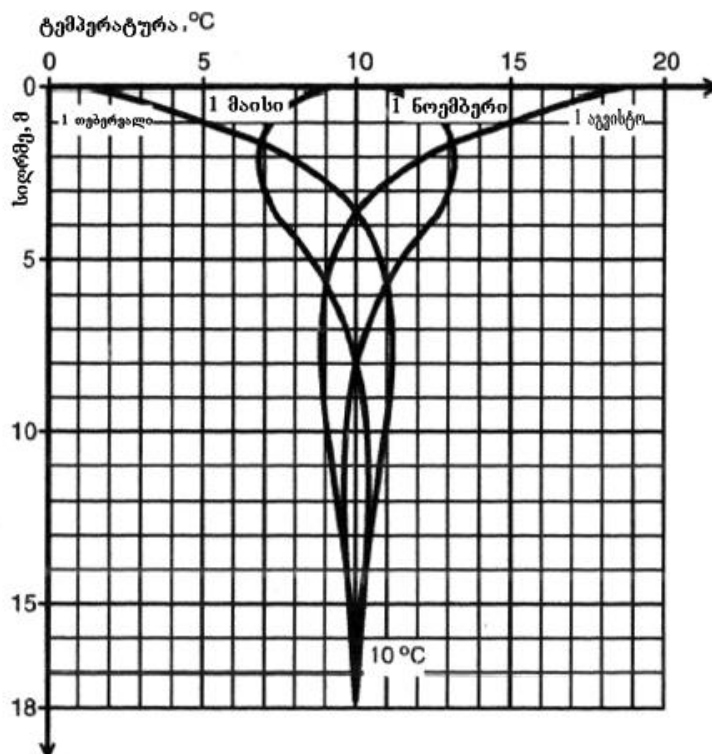
ატმოსფერული და ნამუშევარი ჰაერი, გრუნტი და გრუნტის წყლები ძირითადად გამოიყენება დაბალი მწარმოებლობის თბურ ტუმბოებში. ხოლო მდინარეები, ტბები, ზღვები, მთის ქანები და ჩამდინარე წყლები უმთავრესად გამოიყენება მაღალი მწარმოებლობის თბურ ტუმბოებში.

ჰაერი, გრუნტი და გრუნტის წყლები ჩვენს ირგვლივ უხვადაა. მათი საშუალებით შეგვიძლია გავათბოთ ყველა შენობა ისე, რომ არ დავწვათ წიაღისეული სათბობი. ჰაერში, გრუნტსა და გრუნტის წყლებში მზის

რადიაციის შედეგად დაგროვდა დიდი რაოდენობის სითბო. ეს ეკოლოგიურად სუფთა ენერგია კი წარმოადგენს თბურ ტუმბოების კვების წყაროს, მოკლედ დავახასიათოთ თბურ ტუმბოებში გამოყენებული ენერგიის წყაროები. გრუნტი არის დედამიწის ზედა ფენა და წარმოადგენს სითბოს სტაბილურ წყაროს.

სითბო მიწაში გროვდება, გაზაფხულის პირველივე დღეებიდან, როდესაც დედამიწის ზედაპირი იწყებს ღებობას. ისეთ ქვეყნებში კი სადაც გრუნტი არ იყინება, სითბო ზამთარშიც გროვდება. ეს შუა ზაფხულამდე მიმდინარეობს, ამ დროს მზის სხივების დაგროვება შუადღისას აღწევს დედამიწის სიღრმეში. შემოდგომისათვის უკვე გრუნტში გროვდება გათბობისათვის საჭირო ისეთი სითბოს რაოდენობა, რომელიც შენობას გაათბობს ყველაზე ცივ ზამთარშიც კი.

დედამიწის სიღრმეში დაახლოებით 3 მეტრზე ტემპერატურა შედარებით მუდმივია და იგი 7–13°C-ის ტოლია. ტემპერატურის წლიური განაწილება დედამიწის სიღრმეში წარმოდგენილი 1.8 ნახაზზე.



ნახ. 1.8 დედამიწის სიღრმეში (გრუნტში) ტემპერატურის წლიური განაწილება

გრუნტის სითბოს შეთვისება წარმოებს გრუნტში ჰორიზონტალურად ან ვერტიკალურად განლაგებულ თბოგადამცემის (კოლექტორი/ზონდი) საშუალებით, რომელიც გასათბობი შენობის მახლობლობაშია მოწყობილი, სითბო თბოშემცველის (მარილხსნარი) საშუალებით გრუნტიდან თბურ ტუმბოს გადაეცემა. გათბობის ასეთ თბურ ტუმბოვან სისტემას უწოდებენ „წყალ - წყლის“ სისტემას, რაც იმას ნიშნავს, რომ პირველად კონტურში (გრუნტში) იმყოფება თბოშემცველი (მარილხსნარი), ხოლო მეორე კონტურში (შენობის გათბობის სისტემა) - წყალი. პირველადი კონტური ითვისებს სითბოს, რომელიც გადაეცემა მზის რადიაციით, წვიმით ან მტკნარი წყლით.

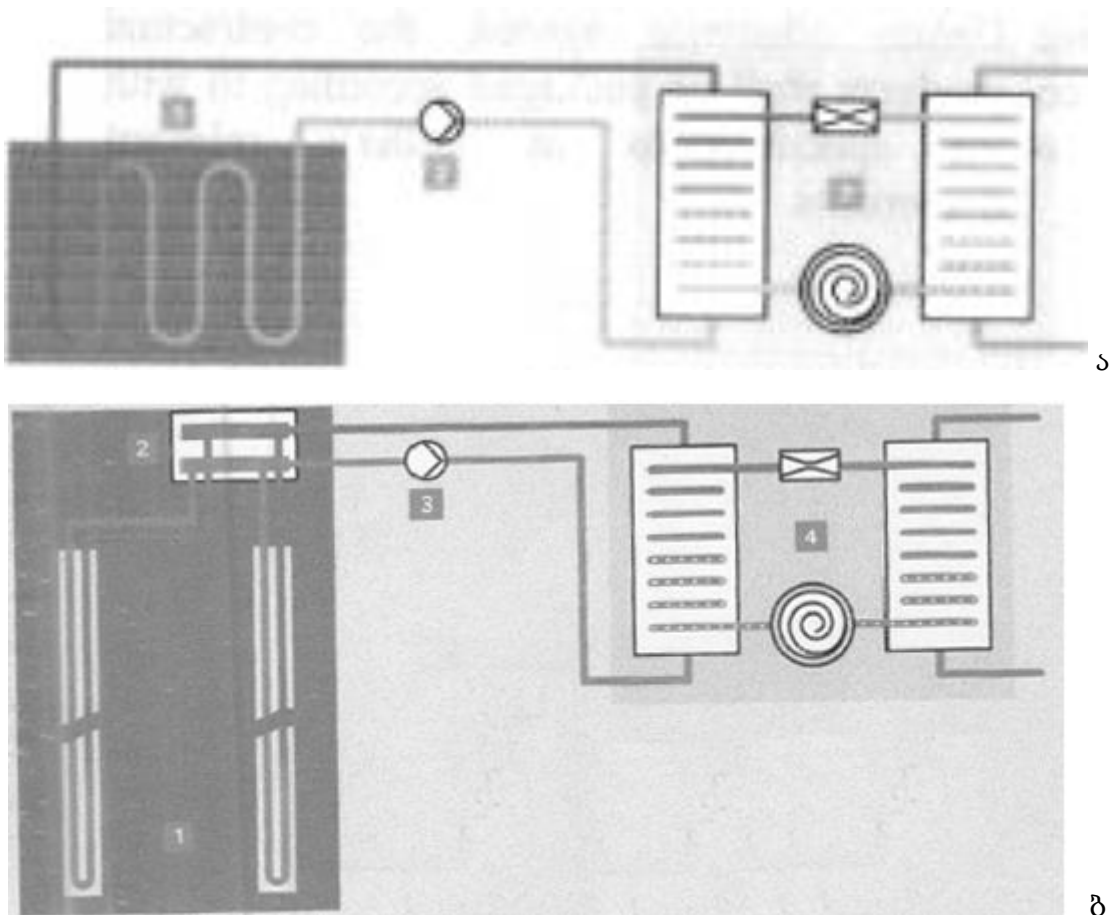
როგორც უკვე აღვნიშნეთ სითბოს გადაცემა ხდება გრუნტის კოლექტორის ან ზონდის საშუალებით.

გრუნტის კოლექტორის განლაგება ხდება დედამიწის ზედაპირიდან 1,2 – 1,5 მ სიღრმეზე. ამ სიღრმეზე ნიადაგის ტემპერატურა წლის განმავლობაში თითქმის მუდმივია. კოლექტორის უფრო მეტად ჩაღრმავება იწვევს სამშენებლო ხარჯების გაზრდას და იგი გამართლებულია მხოლოდ ცივი კლიმატური პირობებისათვის ან ხანგრძლივი ზამთრის მქონე რეგიონებისათვის.

თბური ტუმბოს მუშაობამ შეიძლება გამოიწვიოს გრუნტის კოლექტორის მიღების გაყინვა, მაგრამ ეს გავლენას არ ახდენს გრუნტის უსაფრთხოებასა და რეგენერაციაზე. ამასთანავე უნდა ვერიდოთ კოლექტორებზე ისეთი ხეების დარგვას, რომელთაც განვითარებული ფესვთა სისტემა აქვს. იმისათვის, რომ წლის თბილ პერიოდში მიწის ნაკვეთის სრული რეგენერაცია მოხდეს უნდა ვეცადოთ ამ მონაკვეთზე ნაკლები განაშენიანებისა და სათანადოდ ჩრდილის წარმოქმნის მოწყობას.

გრუნტის კოლექტორების მოსაწყობად დიდი მოცულობის მიწის სამუშაოებია საწარმოებელი. ახალი მშენებლობისათვის ეს სირთულეს არ წარმოადგენს, რადგანაც უმნიშვნელოდ ცვლის მშენებლობის საერთო ღირებულებას. ხოლო როდესაც საქმე გვაქვს უკვე არსებული გათბობის

სისტემის მოდერნიზაციასთან ხარჯები მნიშვნელოვნად იზრდება. ხშირ შემთხვევაში კოლექტორების მოწყობის ასეთი მეთოდისაგან გვიწევს თავის შეკავება გრუნტის კოლექტორის მოწყობის პრინციპული სქემა ნაჩვენებია 1.9 ნახაზზე. გრუნტზე სითბოს ართმევა



ნახ. 1. 9 გრუნტიდან სითბოს ართმევის პრინციპული სქემა

ა - სითბოს წყარო გრუნტის კოლექტორი

1 - გრუნტის კოლექტორი; 2 - მარილხსნარის კონტურის ტუმბო; 3 - მარილხსნარ წყლის თბური ტუმბო

ბ - გრუნტის ზონდებიდან (გეოზონდებიდან) სითბოს ართმევა 1 - ზონდი; 2 - გამანაწილებელი კოლექტორი; 3 - მარილხსნარის კონტურის ტუმბო; 4 - თბური ტუმბო.

დამოკიდებულია გრუნტის თბოფიზიკურ მახასიათებლებზე, მზის გამოსხივებასა და შენობის განლაგების კლიმატურ ზონაზე. სითბოს ართმევაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს აგრეთვე გრუნტის ტენშეცულობა. ამ მხრივ ეფექტურია ტენით გაჯერებული მკვრივი

ნიადაგები, მაგალითად თიხოვანი ნიადაგები. სხვადასხვა სახის გრუნტის (ცხრ.1.3) თბოგაცემა 10-35ვტ/მ² - ის ფარგლებში მდებარეობს.

სხვადასხვა სახის გრუნტის თბოგაცემა ცხრ.1.3

გრუნტი	თბოგაცემა ვტ/მ ²
მშრალი, ქვიშიანი	10-15
ტენიანი, ქვიშიანი	15-20
ტენიანი თიხოვანი	20-25
გრუნტის წყლებით	25-30
გაჯერებული	30-35

გრუნტის ზონდი. თუ ჰორიზონტალურად განლაგებული 1კვ. მ გრუნტის კოლექტორს ესაჭიროება დიდი მოცულობის მიწის სამუშაოები, ვერტიკალური ზონდები თხოულობენ შედარებით მცირე მიწის სამუშაოებს. მათი მოწყობა მიმდინარეობს საბურღი დანადგარების მეშვეობით და გაცილებით მცირე დროს მოითხოვენ. ამ დროს მთავარი ყურადღება ექცევა ჭაბურღილის განლაგებას და მათ სიღრმეს. გრუნტის ზონდის თბურ ტუმბოსთან მიერთების პირნციპული სქემა ნაჩვენებია 1.9 ბ ნახაზზე. ზონდი ეწყობა წინასწარ გაბურღულ ჭაბურღილში, რომელიც შემდეგომ უნდა შეივსოს სპეციალურ თბოგამტარ ხსნარით. თბური ტუმბოს სწორი დაპროექტებისა და შერჩევისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს ჭაბურღილის მთელ სიღრმეზე გრუნტის შედგენილობის განსაზღვრას, გრუნტის წყლების არსებობას, გრუნტის ფენების წყლით გაჯერებას და ზონდების მიწისქვეშა წყლების კალაპოტებში მოქცევას. ნორმალურ ჰიდროგეოლოგიურ პირობებში, ჭაბურღილის საშუალო თბოგაცემა დამსხვილებულად განისაზღვრება 50 ვტ - ის ოდენობით გრძივ მეტრზე (VDI4640). თუ ზონდი მოთავსებულია მაღალი ტენშეცულობის ნიადაგში ეს სიდიდე უფრო მეტია. 30 კვტ - მდე სიმძლავრის თბური ტუმბოებისათვის გრუნტის სიმძლავრე აიღება ცხრ.1.4 თანახმად.

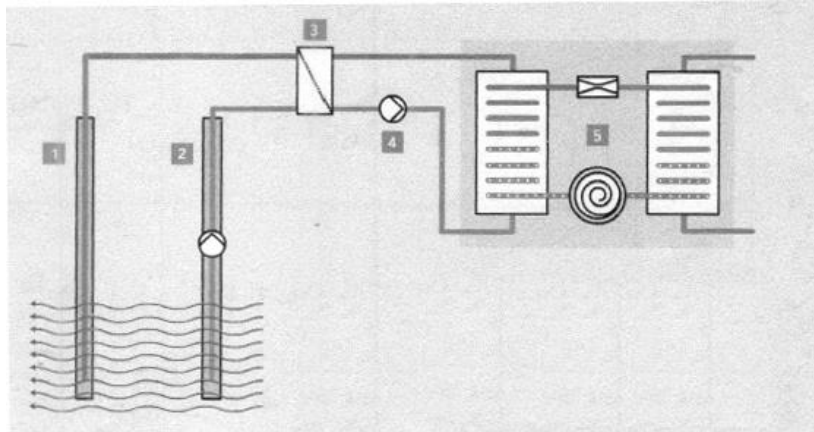
ჭაბურღილში სხვადასხვა სახის გრუნტის თბოგაცემა ცხრ.1. 4

გრუნტის სახე	თბოგაცემა ვტ/მ
გრუნტი, გრუნტის წყლების ძლიერი ნაკადით	100
კლდოვანი ქანი მაღალი თბოგამტარობით	80
კლდოვანი ქანი ნორმალური ფუძით	55
ცუდი ფუძე, მშრალი დანალექებით	30

თბური ტუმბოებისათვის 30 კვტ მეტი სიმძლავრით საჭიროა ციფრული მოდელირება, რაც იმას ნიშნავს, რომ მივიღოთ სითბოს ართმევის და პერსპექტიული დამუშავების ზუსტი მონაცემები. ამ დროს საჭიროა ტემპერატურული ტესტირება ანუ ენერჯის გარკვეული რაოდენობა გადაეცემა რა გრუნტის ზონდს ჭაბურღილიდან გამოსვლის წერტილში იზომება რამდენიმე დღის განმავლობაში, ასეთი ტესტის ჩატარება იძლევა ჭაბურღილის მთელ სიღრმეზე სიმძლავრეების განსაზღვრის ზუსტ საშუალებას.

გრუნტის წყალი აგრეთვე არის თბური ტუმბოს კარგი პირველადი ენერგოწყარო. ზამთრის ცივ თვეებშიც კი გრუნტის წყლები ინარჩუნებენ მუდმივ ტემპერატურას 7 – 12 °C ფარგლებში. გრუნტის წყლების გამოყენების დროს ეწყობა ორი ჭაბურღილი მიმწოდებელი და უკუ-მიმწოდებელი ჭაბურღილი ეწყობა გრუნტის წყლის დინების ზემო ნაწილში. ამ ჭაბურღილის საშუალებით გრუნტის წყალი მიეწოდება თბურ ტუმბოს. თბურ ტუმბოში სითბოს გადაცემის შემდეგ გაცივებული წყალი უკუჭაბურღილის საშუალებით კვლავ გრუნტის წყალში ჩაედინება. უკუ ჭაბურღილი კეთდება გრუნტის წყლის დინების ქვემო ნაწილში, მიმწოდებელი ჭაბურღილიდან არა უმეტეს 5 – 6 მეტრი მანძილისა.

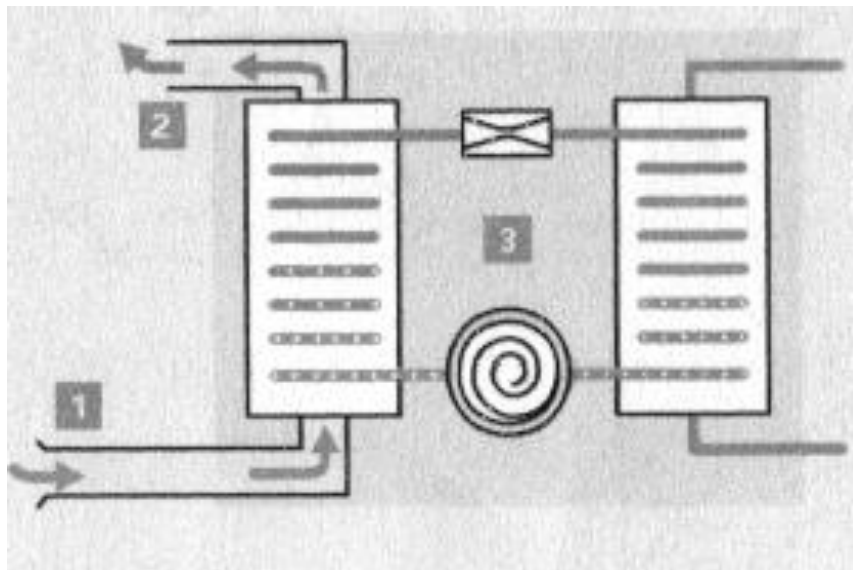
გრუნტის წყლის თბურ ტუმბოსთან მიერთების პრინციპული სქემა ნაჩვენებია 1.10 ნახაზზე.



ნახ. 1. 10 გრუნტის წყლიდან სითბოს ართმევის პრინციპული სქემა. 1 - ჩამშვები ჭაბურღილი; 2 - მიმღები ჭაბურღილი; 3 - შუალედური თბოგადამცემი; 4 - საცირკულაციო ტუმბო; 5 - წყალი - წყლის თბური ტუმბო.

სითბოს პირველად წყაროდ შეიძლება გამოყენებული იქნას აგრეთვე ზედაპირული გრუნტის წყლები, მაგრამ უნდა გვახსოვდეს, რომ მათი ტემპერატურა წლის განმავლობაში მკვეთრად იცვლება.

გარემო ჰაერს, როგორც პირველად სითბოს წყაროს შედარებით მცირე მატერიალური დანახარჯები გააჩნია. თბურ ტუმბოში გარემო ჰაერის პირველად ენერგოწყაროდ გამოყენების პრინციპული სქემა სქემა ნაჩვენებია 1.11 ნახაზზე.

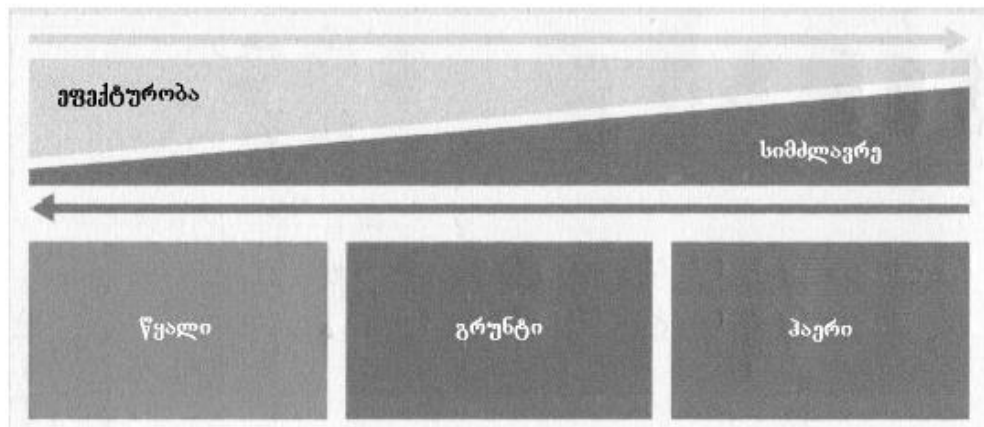


ნახ. 1. 11 გარე ჰაერიდან სითბოს ართმევის პრინციპული სქემა: 1 - მიმწოდებელი არხი; 2 - გამწოვი არხი; 3 - ჰაერ - წყლის თბური ტუმბო.

ჰაერი ვენტილატორის საშუალებით მიეწოდება თბური ტუმბოს ამორთქლებელს, სადაც იგი ცივდება და კვლავ გარემოში გაიტყორცნება. თბურ ტუმბოს შეუძლია გარემო ჰაერის - 20°C ტემპერატურის დროსაც კი უზრუნველყოს შენობის გათბობა. უფრო დაბალი ტემპერატურის დროს თბური ტუმბო უძლურია უზრუნველყოს შენობის გათბობა. ამ დროს დამატებითი თბოგენერატორია საჭირო. ჰაერი - წყლის თბურ ტუმბოებში დიდი რაოდენობის ჰაერია საჭირო, ამიტომ ყურადღება უნდა მიექცეს ჰაერმიმღების სწორ განლაგებას, რათა მცხოვრებთათვის უზრუნველყოფილ იქნას კომფორტული პირობები.

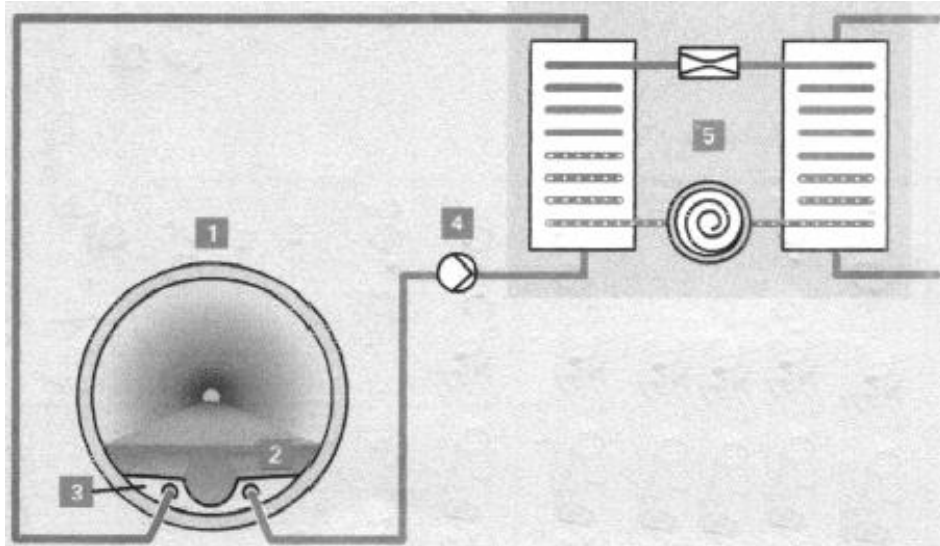
ზემოთ ჩვენ განვიხილეთ თბურ ტუმბოებში გამოყენებული ყველაზე უფრო გავრცელებული პირველადი ენერგოწყაროები: წყალი, გრუნტი, ჰაერი. ამ პირველადი თბური წყაროების თბოფიზიკური და ტექნიკური მახასიათებლების ანალიზის საფუძველზე შეგვიძლია შევაფასოთ მათი ეფექტურობა და ხელმისაწვდომობა. ყველაზე მაღალი ეფექტურობა „წყალ - წყლის“ თბურ ტუმბოებს გააჩნიათ ამასთანავე წლის განმავლობაში გრუნტის წყლის ტემპერატურის მუდმივობა განაპირობებს მის მაღალ მწარომოებლობას. გარემო ჰაერს, როგორც სითბოს პირველად წყაროს განუსაზღვრელი შესაძლებლობები გააჩნია, მაგრამ გარემო ჰაერის ტემპერატურის მნიშვნელოვანი ცვლილება წლის და დღე - ღამის განმავლობაში ამცირებს ამ სახის თბური ტუმბოების გამოყენების ეფექტურობას.

წლის გრუნტის და ჰაერის თბური ტუმბოების ეფექტურობა და ხელმისაწვდომობა ნაჩვენებია 1.12 ნახაზზე.



ნახ. 1. 12 პირველადი თბური ენერგოწყაროების ეფექტურობა და ხელმისაწვდომობა.

გარდა ზემოთ განხილული პირველადი თბური წყაროებისა გათბობის თბურ ტუმბოიანი სისტემებში წარმატებით შეიძლება იქნას გამოყენებული ჩამდინარე ან ტექნოლოგიური წყლები და სავენტილაციო გამონაბოლქვები როდესაც მეორადი სითბო გამოიყენება ან ცხელი წყლის მოსამზადებლად ან მისაწოდებელი სავენტილაციო ჰაერის შესატბობად. ჩამდინარე წყლებიდან კარგად ხდება სითბოს რეკუპერაცია, მაგრამ ამისათვის საჭიროა გამოყენებული იქნას ფოლადის, მაღალი კოროზიამდეეგი თბოგადამცემი შუალედური თბოშემცველით. 1.13 ნახაზზე ნაჩვენებია თბური ტუმბოს გამოყენების სქემა, როდესაც პირველად სითბოს წყაროდ გამოყენებულია ჩამდინარე წყლები. ჩამდინარე წყლები წარმოადგენენ მაღალ ტემპერატურული სითბოს წყაროებს. სამრეწველო და სამოქალაქო შენობების თბურ ტუმბოვან სისტემებში ჩამდინარე წყლების გამოყენების ნაკლი ისაა, რომ სითბოს წყარო მიმღებისაგან ძალიან შორსაა განლაგებული. გარდა ამისა სითბოს ეს წყარო ხასიათდება ჩამდინარე წყლების არამუდმივობით. ჩამდინარე წყლები სითბოს იდეალური წყაროა სამრეწველო დანიშნულების თბური ტუმბოებისათვის როდესაც გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს ენერჯის ეკონომიას.



ნახ. 1. 13 სითბოს წყაროდან ჩამდინარე წყლების გამოყენების სქემა: 1 - ჩამდინარე წყლების არხი; 2 - ჩამდინარე წყლები; 3 - თბოგადამცემი; 4 - საცირკულაციო ტუმბო; 5 - თბური ტუმბო.

1.6. თბური ტუმბოების კლასიფიკაცია

თბურ ტუმბოებს ჩვენ ვხვდებით ყოველდღიურ ცხოვრებაში, ეს არის მოწყობილობა, რომელიც წააგავს საყოფაცხოვრებო მაცივარს, მაცივრის მუშაობის დროს პროდუქტებიდან და ჰაერიდან სითბოს მუდმივი ართმევა და სათავსში გადაცემა მიმდინარეობს, მაცივრის უკანა კედელზე მოწყობილი თბოგადამცემის (კონდენსატორის) მეშვეობით, თუ წარმოვიდგენთ, რომ მაცივრის საყინულე მოთავსებულია მიწაში (ან წყალში ან ღია ჰაერზე), მაშინ ჩვენ სითბოს ავართმევთ გარე წყაროს (გრუნტი, წყალი, ჰაერი) და გადავცემთ სათავსის ჰაერს, ამ დროს „ენერჯის ტრანსფორმატორად“ გამოიყენება კომპრესორი.

რა თქმა უნდა თბური ტუმბო, რომელშიც სამაცივრო დანადგარის პრინციპი გამოიყენება, არ წარმოადგენს მიწაში ჩაფლულ საყინულეს. იგი მაღალ ტექნოლოგიური მოწყობილობაა, რომელიც სრულ ავტომატურ რეჟიმში მუშაობს, თბური ტუმბოს ფუნქციონირებისათვის აუცილებელია კომპრესორის და საცირკულაციო ტუმბოების არსებობა. ამ მოწყობილობის ასამუშავებლად საჭირო ელექტროენერგია გამომუშავებული ენერჯის 25%-ს შეადგენს, ხოლო დანარჩენი 75% დაბალპოტენციური ენერჯიაა (ჰაერი,

გრუნტი, წყალი და ა.შ). დახარჯულ და მიღებულ ენერგიებს შორის თანაფარდობაა 1:4. იატაკის გათბობის სისტემებისათვის ეს თანაფარდობა 1:7-ის ტოლია, ხოლო აუზში წყლის 28°C-მდე გასათბობად იგი 1:12-ის ტოლია.

უნდა აღინიშნოს, რომ წლის განმავლობაში მუდმივი დაბალი ტემპერატურის წყაროს არსებობისას თბური ტუმბო შეიძლება გამოყენებულ იქნას როგორც კონდიციონერი. ამ დროს რადიატორების ნაცვლად გამოიყენება ვენტილატორული კონვექტორები.

თბურ ტუმბოებში გამოყენებულ პირველად ენერგო წყაროების ნაირსახეობა და თბური პოტენციალის სიმრავლე გვკარნახობს მათი სხვადასხვა სახის კონსტრუქციების შექმნას, აქედან გამომდინარე თბური ტუმბოების კლასიფიკაცია სხვადასხვა ნიშნების მიხედვით წარმოებს.

თბური ტუმბოების ძირითადი კლასიფიკაცია ნაჩვენებია ცხ.1. 5-ში.

ცხ.1. 5

თბური ტუმბოების კლასიფიკაცია

№	კლასიფიკაციის ნიშანი	სახე
1	მოქმედების პრინციპი	ორთქლკომპრესიული, აბსორბციული
2	სითბოს წყარო	<p>გარე ჰაერი</p> <p>წყალსაცავები და ბუნებრივი წყლის ნაკადები (ტბა, ზღვა, მდინარე და ა.შ.)</p> <p>გრუნტის და მიწისქვეშა წყლები</p> <p>გრუნტი (დედამიწის ზედაპირული და სიღრმისეული ფენები)</p> <p>დაბალი პოტენციური სითბოს ხელოვნური წყაროები</p> <ul style="list-style-type: none"> - სავენტილაციო გამონაბოლქვები; - საკანალიზაციო ჩანადენები; ჩამდინარე წყლები; - სამრეწველო ნარჩენები;

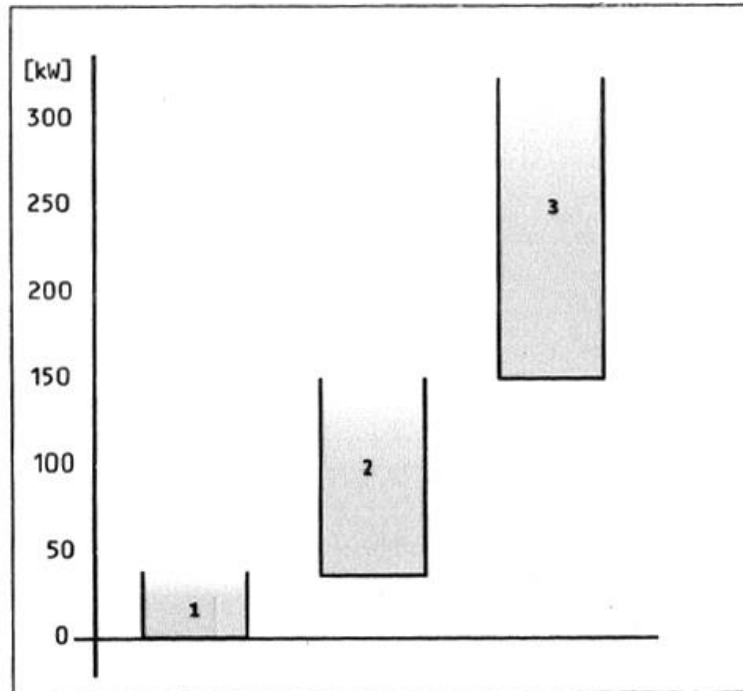
		- ტექნოლოგიური პროცესების სითბო; - საყოფაცხოვრებო სითბოს გამონაყოფები და ა.შ.
3	თბოგადამცემების ტიპი	წყალი-წყალი წყალი-ჰაერი ჰაერი-ჰაერი ჰაერი-წყალი გრუნტი-წყალი გრუნტი-ჰაერი
4	მუშა გარემოების ურთიერქმედების პრინციპი	ღია ციკლი; ჩაკეტილი ციკლი
5	თბური ტუმბოს ოპერატიული ფუნქცია (სითბოს მომხმარებელი)	გათბობის სისტემა; ცხელი წყალმომარაგების სისტემა; აუზის შეთბობის სისტემა; გაცივების სისტემა; ინტეგრირებული სისტემა (თბური ტუმბო უზრუნველყოფს სითბოთი გათბობის, ცხელწყალმომარაგების და კონდიციონერების სისტემებს)
6	თბური ტუმბოების ექსპლუატაციის რეჟიმები	მონოვალენტური; მონოენერგეტიკული; ბივალენტური: -მონაცვლეობითი; -პარალელური; -ნაწილობრივ პარალელური.

გარდა ცხრილ 5-ში ნაჩვენები კლასიფიკაციებისა თბური ტუმბოები კიდევ იყოფა:

მწარმოებლობის მიხედვით - მსხვილ, საშუალო და მცირე; ტემპერატურულ რეჟიმის მიხედვით - მაღალ, -საშუალო და დაბალტემპერატურულ; მუშაობის რეჟიმის მიხედვით - სტაციონარულ, არასტაციონარული] უწყვეტი ან ციკლური;

თანამედროვე პირობებში ყველაზე მეტად გავრცელებულია თბური ტუმბოები ელექტროამძრავით, ან ელექტრული თბური ტუმბოები. თბურ ტუმბოებში გასაცხელებელ თბომომცველს უმთავრესად წყალი წარმოადგენს. ასეთი სახის თბური ტუმბოები გამოიყენება ყველა სახის საცხოვრებელ და არასაცხოვრებელ შენობებში.

1.14 ნახაზზე ნაჩვენებია თბური ტუმბოების კლასიფიკაცია თბური მწარმოებლობის მიხედვით



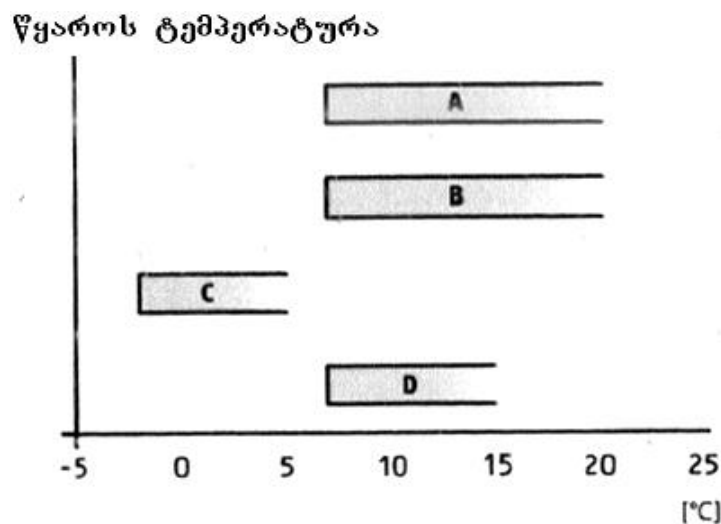
ნახ. 1. 14 თბური ტუმბოების კლასიფიკაცია თბური მწარმოებლობის მიხედვით: 1 - მცირე; 2 - საშუალო; 3 - დიდი სიმძლავრის თბური ტუმბოები.

მათი თბომწარმოებლობის მიხედვით. მცირე სიმძლავრის თბური ტუმბოები (1) როგორც წესი სერიული ან ინდივიდუალური წარმოებისაა და ისინი გათბობის სისტემაში სტანდარტული სქემის მიხედვით ირთვება. საშუალო კლასს მიეკუთვნება სერიული წარმოების თბური ტუმბოები,

რომლებიც მათ პროექტირებას და მონტაჟს უფრო სერიოზულ მოთხოვნებს უყენებს, დიდი სიმძლავრის თბური ტუმბოები (3) უფრო ხშირად მოწყობილობათა კომპლესს (კასკადს) წარმოადგენენ და ისინი ინდივიდუალური პროექტის ან სერიული წარმოების დეტალებით მზადდება. მაღალი სიმძლავრის თბური ტუმბოები, როგორც სითბოს გენერატორები გამოიყენება მრასალსართულიანი საცხოვრებელი სახლების საზოგადოებრივი და სამრეწველო შენობების გასათბობად. თბურ ტუმბოვანი სისტემების ეფექტურობის დამატებით გაზრდის მიზნით მათ იყენებენ სამრეწველო პროცესებში, მაგალითად ტექნოლოგიური წყლის გამოყენებისას სითბოს რეკუპერაციის სისტემებში.

საშუალო და მაღალი სიმძლავრის თბური ტუმბოები ყოველთვის არ იძლევიან დამაკმაყოფილებელ რეზულტატებს ანუ წლიურ მუშა კოეფიციენტებს, ამიტომ მათი მცირე სიმძლავრის თბური ტუმბოებისაგან მნიშვნელოვანი განსხვავების ცოდნა და ანალიზი წარმოატების მნიშვნელოვანი ფაქტორია.

სითბოს პირველადი წყაროს მიხედვით თბური ტუმბოების კლასიფიკაცია მათი ენერგეტიკული პოტენციალის მიხედვით წარმოადგენილია 1.15 ნახაზზე.



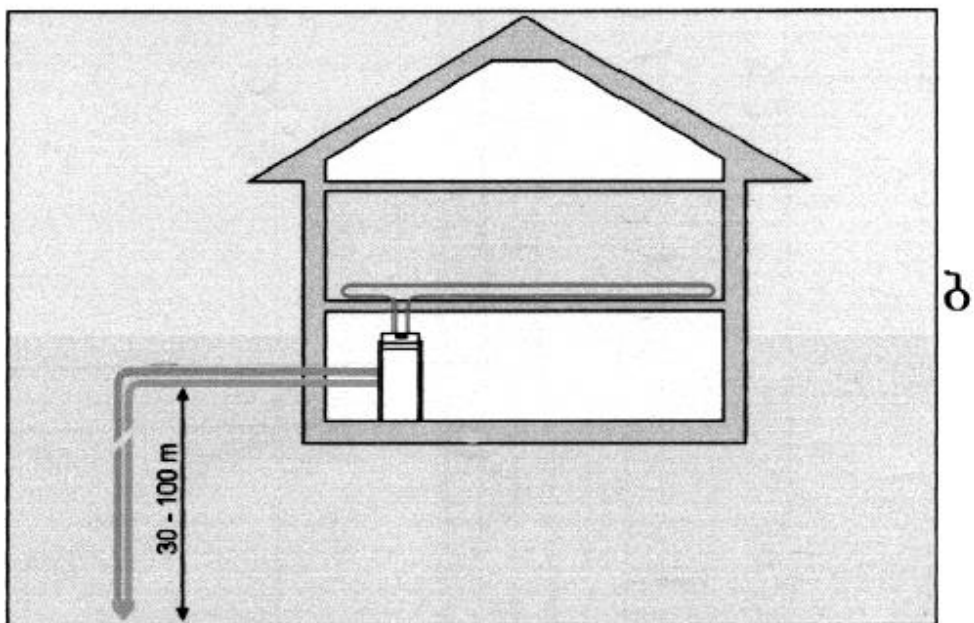
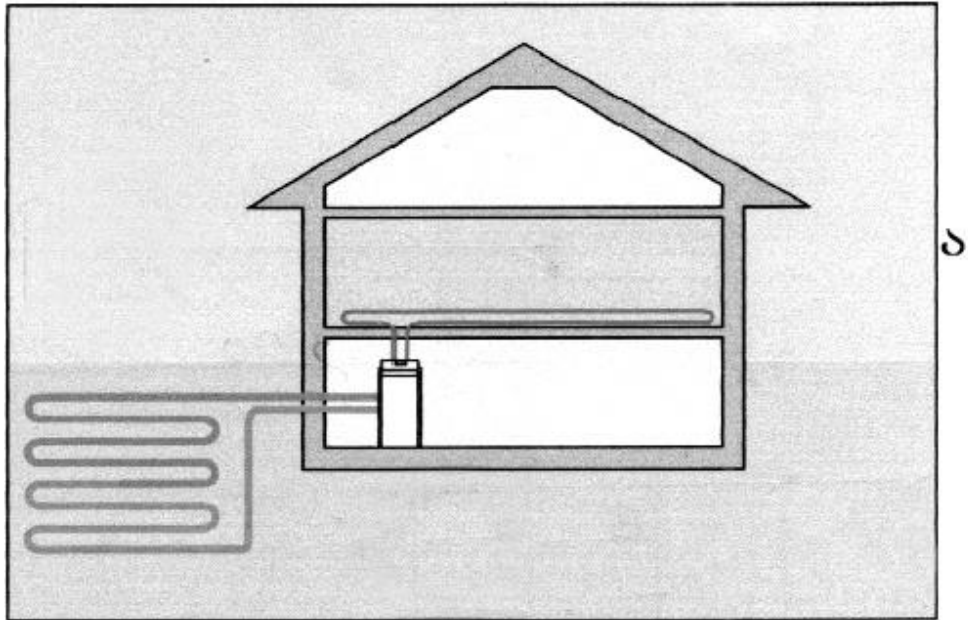
ნახ. 1. 15 თბური ტუმბოების კლასიფიკაცია პირველადი წყაროს ენერგეტიკული პოტენციალის მიხედვით: A - ტექნოლოგიური წყალი; b- ჩამდინარე წყალი; C- გეოთერმული ზონდი; D - გრუნტის წყლები.

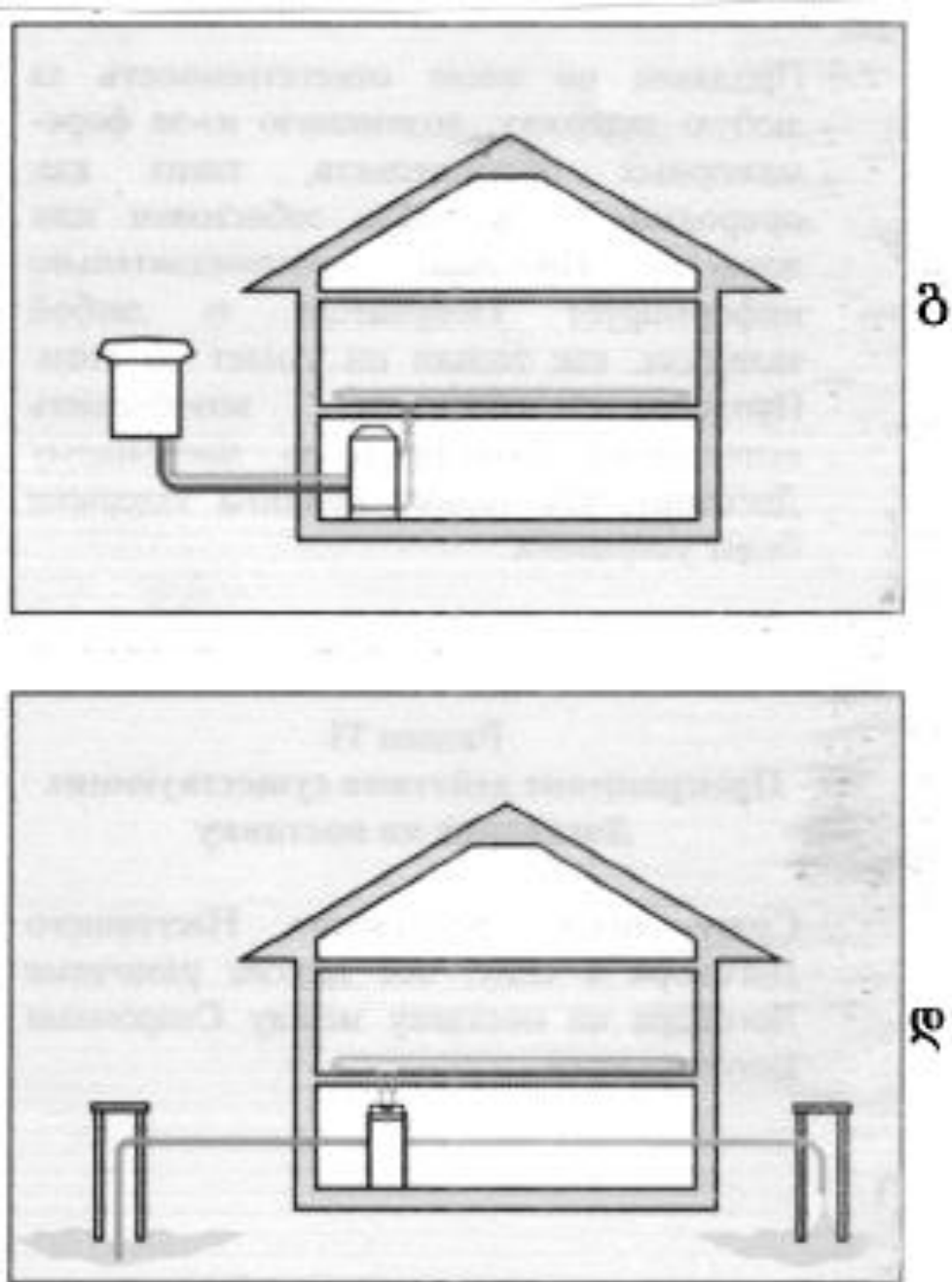
თავი II. გათბობის ტექნიკაში გამოყენებული თბური ტუმბოების კონსტრუქციები და მათი მახასიათებლები

როგორც უკვე ზემოთ განვიხილეთ თბური ტუმბოების კლასიფიკაცია მრავალი ნიშნით ხდება. მშენებლობაში ანუ შენობათა მიკროკლიმატის (გათბობა, ვენტილაცია, ჰაერის კონდიცირება) უზრუნველყოფის მიზნით ძირითადად გამოიყენება ორთქლკომპრესიული თბური ტუმბოები, რომელთა კლასიფიკაცია წარმოებს სითბოს ანუ თბური ენერჯის 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 2.1. ნახაზზე. „გრუნტი-წყლის“ თბურ ტუმბოებში თბური ენერჯის პირველადი წყაროს წარმოადგენს გრუნტი (მიწა), ხოლო სითბოს გენერაცია კი ხდება ორი სქემით მიწაში მოშეობილი კოლექტორებით (ნახ. 2.1. ა) ან სპეციალური თბური ზონდებით, რომელსაც გეოზონდი ეწოდება (ნახ. 2.1.ბ). „წყალი წყლის“ თბურ ტუმბოებში (ნახ.2.1გ) 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 წყლის“ თბურ ტუმბოებში ენერჯის პირველადი წყაროდ შეიძლება გამოყენებულ იქნას აგრეთვე სხვა წყარო. მდინარე, ტბა, ზღვა, წყალსაცავი და სხვა.

„ჰაერი - წყლის“ თბურ ტუმბოებში ენერგიის პირველად წყაროს წარმოადგენს გარემო ჰაერი, რომელიც მინუს 25°C ტემპერატურამდეც კი უზუნველყოფს შენობის ეფექტურ გათბობას.





ნახ. 2. 1 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 თბომომცველის ერთი

და იგივე პარამეტრებს, მაგრამ გააჩნიათ სხვადასხვა ზომის კონსტრუქციული, თბოფიზიკური, ენერგეტიკული და ეკონომიკური მახასიათებლები.

2.1. თბური ტუმბოს ძირითადი კომპონენტები

მაღალეფექტურ თბურტუმბოვან გათბობის სისტემებს უნდა ახასიათებდეთ ექსპლუატაციაში მაღალი საიმედოობა. ამიტომ საჩჭიროა მათი მაღალხარისხოვანი კომპონენტებით აღჭურვა, რომლებიც უზრუნველყოფენ ამ მოთხოვნის სითბოს გენერაციის ყველა ეტაპზე დაკმაყოფილებას. თბური ტუმბოს პირველადი კონტური (ნახ2.1) შეიცავს ენერჯის პირველადი წყაროდან სითბოს მიმღებ ელემენტებს - თბოგადამცემი, საცირკულაციო ტუმბო ან ვენტილატორი, ხოლო „წყალი-წყალი“ თბურ ტუმბოებში დამატებით კიდევ შუალედურ თბოგადამცემებს.

მეორადი კონტური კი შეიცავს ენერჯის გარდამქმნელ და მომხმარებლისათვის მიმწოდებელ კომპონენტებს.

კომპრესორი, თბური ტუმბოს ერთ-ერთი ძირითადი კომპონენტია. მის გამო ჰქვია დანადგარს ტუმბო. კომპრესორი იწოვს გაზისებრ სამაცივრო აგენტს და კუმშავს მას. ყველა კომპრესორი კუმშავს გაზს და იგი შეიძლება დაზიანდეს თუ სამაცივრო აგენტის ორთქლში მოყვება ტენი. ამიტომ კომპრესორში შესვლამდე ხდება სამაცივრო აგენტის ოდნავ გადახურება. ეს კი ხდება საფართოებელი სარქვლის მეშვეობით, რომელიც თბური ტუმბოს ეფექტური მუშაობის მნიშვნელოვან კომპონენტს წარმოადგენს.

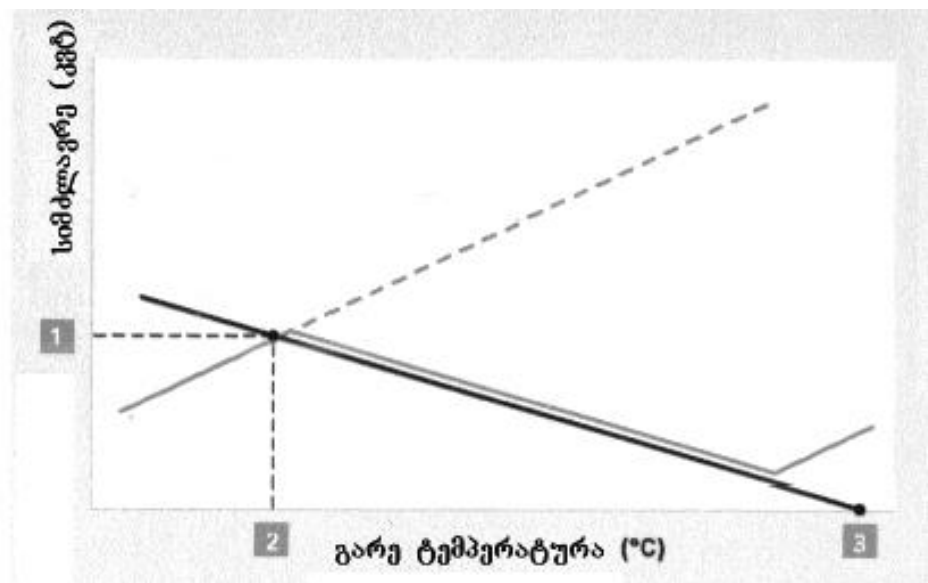
თბური ტუმბოს ეფექტური მუშაობის გადამწყვეტ ფაქტორს კუმშვის პროცესი წარმოადგენს. კომპრესორების მრავალი სახე არსებობს და სადღეისოდ მისი ინტენსიური კვლევა და დახვეწა მიმდინარეობს. თანამედროვე თბურ ტუმბოებში ყველაზე უფრო ოპტიმალურად scroll-ის ტიპის სპირალური კომპრესორები ითვლება.

ეს კომპრესორები შედგება ორი ურთიერდაკავშირებული სპირალისგან, რომლებიც სამაცივრო აგენტის მამჭიდროვებელ ეფექტს

ქმნიან. ეს კომპრესორები უხმაუროა, მუშაობენ ვიბრაციის გერაშე. ამიტომაც საიმედოა და არ საჭიროებენ ტექნიკურ მომსახურებას.

თბური ტუმბოს ეფექტური მუშაობისათვის მნიშვნელოვანია კომპრესორის მწარმოებლობის რეგულირება. ეს განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია „ჰაერ-წყლის“ თბური ტუმბოებისათვის, რომლებიც სითბოს გარე ჰაერიდან იღებენ. ამ შემთხვევაში წლის განმავლობაში გარე ჰაერის მაღალი ტემპერატურული რხევები წარმოიქმნება. მაქსიმალური ტემპერატურული რხევა აისახება გარდაქმნის კოეფიციენტის (COP) სიდიდეში. გარდამავალ რეჟიმებში ტაქტირების თავიდან ასაცილებლად თბური ტუმბო ავტომატურად ახდენს წნევის და ტემპერატურის ცვლილებას.

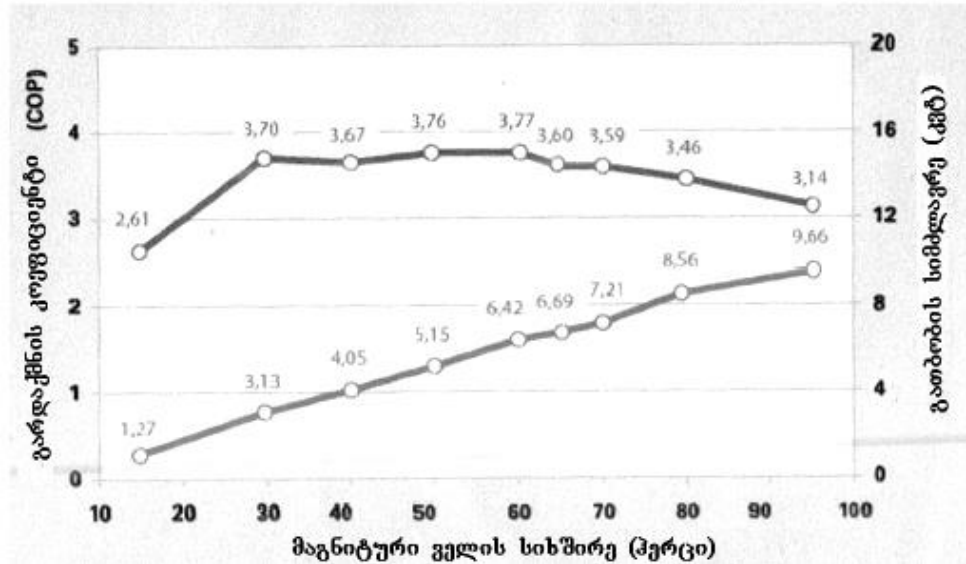
თბური ტუმბოს მწარმოებლობის რეგულირება ხშირი ტაქტირების თავიდან ასაცილებლად ნაჩვენებია 2.2. ნახაზზე.



ნახაზი 2.2. თბური ტუმბოს სიმძლავრის რეგულირება ხშირი ტაქტირების თავიდან ასაცილებლად 1- საანგარიშო სიმძლავრე; 2 - საანგარიშო ტემპერატურა; 3-გათბობის ტემპერატურის მაჩვენებელი.

კომპრესორის თბური მწარმოებლობის რეგულირება დანადგარის სხვადასხვა ტემპერატურული რეჟიმებში ექსპლუატაციის დროს მისი ეფექტური მუშაობის განმსაზღვრელია.

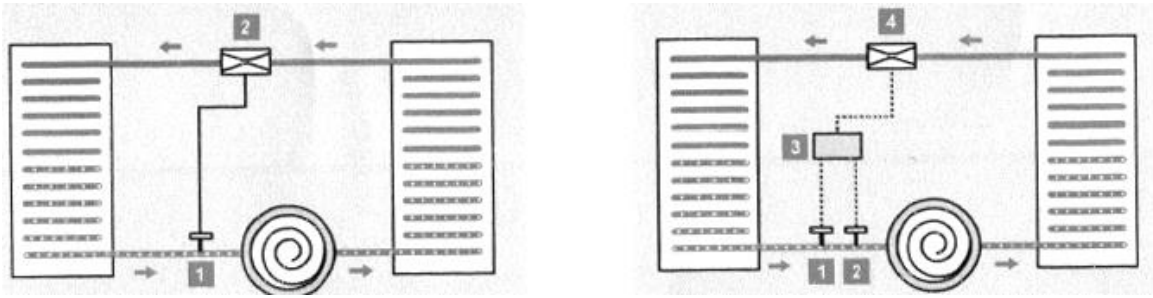
კომპრესორის სიმძლავრის რეგულირება პრაქტიკაში სხვადასხვა ხერხებით ხდება, რომელთაგან დღეისათვის ყველაზე მეტად გავრცელებულია რეგულირება ინვერტორული ტექნოლოგიის გამოყენებით, რომელიც კომპრესორის სპირალის ბრუნვის სიხშირის ცვალებადობით ცვალებადი დენის მუდმივში გარდაქმნას გულისხმობს.



ნახაზი 2.3. სიმძლავრის რეგულირება ინვერტორული კომპრესორით

2.3. ნახაზზე ნაჩენებია სიმძლავრის რეგულირება ინვერტორული კომპრესორის საშუალებით. ამ ნახაზზე ნათლად ჩანს კომპრესორის სიმძლავრის ზრდა მისი ბრუნთა რიცხვის გაზრდით.

თბური ტუმბოს კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი კომპონენტია საფართოებელი სარქველი, რომლის დანიშნულებაა სამაცივრო აგენტის წნევის და ფაზური გარდაქმნის შემცირება მას შემდეგ, რაც მაღალტემპერატურული სამაცივრო აგენტი სითბოს გადასცემს გათბობის სისტემას. ე.ი. საფართოებელი სარქველი სამაცივრო აგენტს მის პირველდელ მდგმარეობაში აბრუნებს და იგი კვლავ აწარმოებს გარემოს სითბოს შეთვისებას. თბურ ტუმბოს კონსტრუქციაში საფართოებელი სარქველი ამართლებლის და კონდენსატორის შემაერთებელ ხაზზეა განლაგებული (ნახ. 2.4)



ნახ. 2.4 საფართოებელი სარქვლის განლაგება თბურ ტუმბოში, 1-თერმოსტატი, 2,4-საფართოებელი სარქველი, 3-რეგულატორი

საფართოებელი სარქველი დამატებით კიდევ არეგულირებს სამაცივრო აგენტის რაოდენობას, რაც მისი სრული აორთქლების გარანტიაა.

ეს კი გამორიცხავს კომპრესორში წვეთების მოხვედრას, რაც აგვაცილებს კომპრესორის მექანიკურ დაზიანებას. თბური ენერჯის პირველადი წყაროს ტემპერატურის და თბური ნაკადის რხევა თანამედროვე თბურ ტუმბოებში საფართოებელი სარქვლის გამოყენების აუცილებლობას განაპირობებს. თბურ ტუმბოებში გამოიყენება როგორც თერმოსტატიკური, ასევე ელექტრული საფართოებელი სარქველი. თერმოსტატიკური საფართოებელი სარქველი ტემპერატურის გადამწოდის შემდგომად განლაგებული. იგი კომპრესორის შემწოვ მილში ზომავს ტემპერატურას და ახდენს ამაორთქლებელში შემავალი სამაცივრო აგენტის რეგულირებას.

ელექტრულ საფართოებელი სარქვლის საშუალებით იზომება ტემპერატურა და წნევა კომპრესორის წინ. იგი სწრაფად და ზუსტად არეგულირებს სამაცივრო აგენტის ხარჯს, რაც იძლევა ტემპერატურის მუდმივ დონეზე შენარჩუნების საშუალებას თბური ტუმბოს მუშა სიმძლავრის მთელ დიაპაზონში.

თბოგადამცემები წარმოადგენენ თბური ტუმბოს კიდევ ერთ ძირითად კომპონენტს. ყოველი თბურ ტუმბოში მოთავსებულია ორი თბოგადამცემი-ამაორთქლებელი და კონდენსატორი. როგორც ამაორთქლებელი ასევე კონდენსატორი ძირითადად გამოიყენება კომპაქტური ფირფიტოვანი თბოგადამცემები, რომელთაც მაღალი

მწარმოებლობა გააჩნიათ. ზოგიერთ შემთხვევაში მაგალითად „წყალი-წყალის“ თბურ ტუმბოებში გამოიყენება კოაქსიალური თბოგადამცემები. ისინი უზრუნველყოფენ მაღალ საიმედოობას და ხანრძლივ საექსპლუატაციო პერიოდს ძლიერ დაბინძურებულ წყლის შემთხვევაში. თუ სითბოს პირველად ენერგოწყაროს ჩამდინარე სითხე წარმოადგენს გამოიყენება სპეციალური კონსტრუქციის თბოგადამცემები. მაღალი მწარმოებლობის მისაღწევად ფირფიტოვან თბოგადამცემებს გააჩნიათ გამანაწილებელი მოწყობილობა, რომელიც სამაცივრო აგენტს თანაბრად ანაწილებს თბოგადამცემის ზედაპირზე, რაც გამორიცხავს ჰიდრავლურ დარტყმებს, ხოლო თბოცვლის მთელ ზედაპირს ოპტიმალურად იყენებს.

ამრიგად თბურ ტუმბოს უმარტივესი მოწყობილობაა რომელიც შედგება ორი თბოგადამცემის, კოპრესორის და საფართოებელი სარქველისაგან. ამ კომპონენტებს მსოფლიოს მრავალი წარმოება უშვებს. ამიტომ თბური ტუმბოს აწყობა ნებისმიერ ქვეყანაში მათ შორის საქართველოშიც თავისუფლად არის შესაძლებელი, ხოლო მათი გამოყენება შენობათა გათბობის მიზნით გვაძლევს საშუალებას გამოვიყენოთ გარემოში დაგროვილი უფასო ენერგია და დავზოგოთ წიაღისეული სათბობის ენერგია ან გამოვიყენოთ იგი სხვა დანიშნულებისათვის.

2.2. გეოთერმული თბური ტუმბოები

გეოთერმული თბური ტუმბოების ქვეშ იგულისხმება ის თბური ტუმბოები, რომლებიც შენობათა გასათბობად იყენებს მზის ენერგიას, რომელიც გრუნტის სიღრმეში არის დაგროვილი.

მიწაში სითბო გროვდება გაზაფხულის პირველივე დღეებიდან, როდესაც უკვე დედამიწის ზედაპირი იწყებს ღებობას, თითქმის შუა ზაფხულამდე, როდესაც მზის სხივები შუადღისას ღრმად აღწევენ დედამიწის სიღრმეში. შემოდგომის ბოლოსათვის გრუნტში გროვდება ისეთი რაოდენობის თბური ენერგია, რომელიც გათბობს შენობას ყველაზე მოსალოდნელ ცივ ზამთარშიც კი.

შენობათა გათბობის მიზნით თბური ტუმბო იყენებს დედამიწის ანუ გრუნტის „ზედაპირული ფენების“ სითბოს.

გეოლოგიაში ზედაპირული ფენები ეწოდება დედამიწის ზედაპირიდან 100 მეტრ სიღრმემდე ფენებს, ეს სიღრმე გამოიყენება გეოკოლექტორების ენერგეტიკული ხიმინჯების და გეოზონდების მოსაწყობად. 20 მეტრამდე გრუნტის სიღრმეში ტემპერატურის წლიური განაწილება ნაჩვენებია 1.8 ნახაზე.1,2 მ-დან 1,5-მ-მდე სიღრმეში ტემპერატურა იცვლება 7-დან 13 გრადუსამდე ხოლო 18მ სიღრმიდან უფრო ქვეშ მთელი წლის განმავლობაში 10°C-მდეა შენარჩუნებული და შემდგომ ყოველ 100 მ სიღრმეში 2-3°C-ით მატულობს, 100 მ-სიღრმეში გრუნტის ტემპერატურა 12°C-მდე, ხოლო 200მ სიღრმეში 15°C-მდეა.

ტემპერატურის ეს მნიშვნელობა ეფექტურად შეიძლება გამოყენებულ იქნას თბური ტუმბოთი შენობის გასათბობად ან სამაცივრო დანადგარის (ჩილერის) საშუალებით შენობის გასაცივებლად ან შენობის პირდაპირ გასაცივებლად (სამაცივრო დანადგარის გარეშე).

ვინაიდან გრუნტის თბოგამტარობა შეზღუდულია და მისი თბოგამტარობის კოეფიციენტი $\lambda=1-3\text{ვტ/მ}^{\circ}\text{K}$ ფარგლებშია, გრუნტის სითბოს გამოყენება გარკვეული დროის განმავლობაშია შესაძლებელი. მუდმივი რეგენერირებადი თბური ნაკადების უზრუნველყოფა მხოლოდ გეოზონდების და გეოკოლექტორების ირგვლივ მყოფ სივრცეშია შესაძლებელი და მისი მნიშვნელობა $0,015 -0.1\text{ვტ/მ}^{\circ}\text{K}$ ფარგლებშია. თბოგამტარობის კოეფიციენტების ეს მნიშვნელობები თანახმად VDI-640-ისა მხოლოდ მცირე სიმძლავრის (30 კვტ-მდე) თბური ტუმბოებისათვის არის შესაძლებელი, უფრო დიდი სიმძლავრის თბური ტუმბოების შემთხვევაში საჭიროა გრუნტის ტემპერატურული ველის დეტალური შესწავლა.

გეოთერმული თბურ ტუმბოებს მიეკუთვნება მარილხსნარ-წყლის“ და „წყალი-წყლის“ თბური ტუმბოები. მარილხსნარ-წყლის თბურ ტუმბოებში პირველად თბომემცველად გამოიყენება მარილისხსნარი, რომელიც დაბალი პოტენციალის წყაროდან გრუნტი, წყალი და ა.შ. სითბოს

აწვდის უშუალოდ თბურ ტუმბოს, სადაც ხდება მისი ტრანსფორმაცია და უკვე მაღალი პარამეტრებით თბური ენერგია გადაეცემა შენობის გათბობის სისტემას.

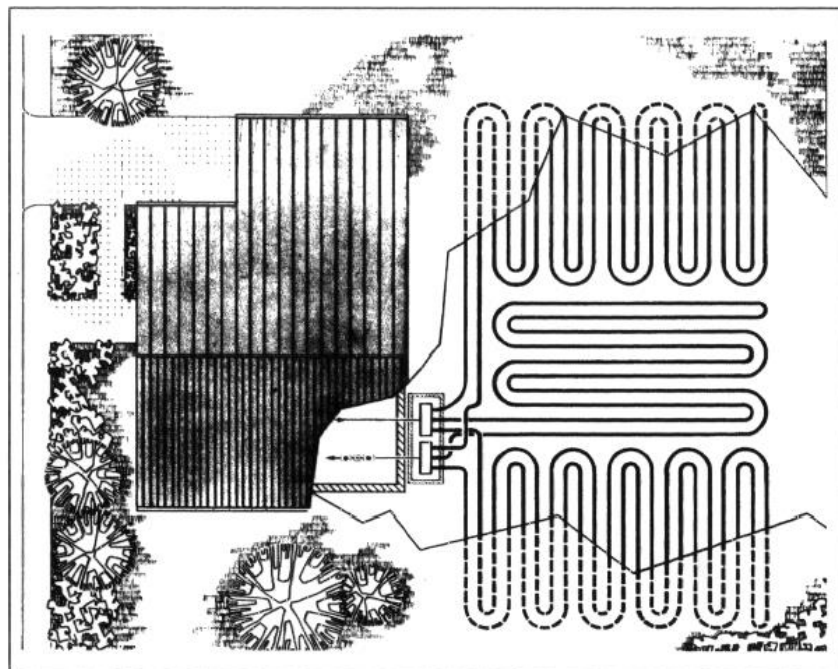
„მარილხსნარ წყლის“ თბური ტემპოებში დაბალი პოტენციალის თბური წყაროდან სითბოს ართმევის რამდენიმე კონსტრუქციაა ცნობილი. როდესაც სითბოს წყაროდ გვაქვს გრუნტი (მიწა) ასეთ თბურ ტუმბოებს გრუნტის თბურ ტემპოებს ანუ „გრუნტი-წყლის“ თბურ ტემპოებსაც ვუწოდებთ. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ ასეთ თბურ ტემპოებში პირველად ენერგიის წყაროდ გამოიყენება, გრუნტის ანუ დედამიწის ზედაპირული ფენები.

გრუნტის სითბოს მისაღებად ძირითადად ორი კონსტრუქციაა ცნობილი, გრუნტის ანუ ნიადაგის კოლექტორები და ჭაბურღილში მოთასებული სპეციალური გეოლოგიური ზონდები ანუ გეოზონდები.

გრუნტის (ნიადაგის) კოლექტორებში სითბოს ღებულობენ დედამიწის ზემო ფენებიდან დაახლოებით 2 მ სიღრმეზე. სითბოს აღება ხდება გასათბობ შენობის მიმდებარე დაუმუშავებელ მიწის ნაკვეთიდან. ნიადაგის სითბოს მიღების დროს გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს ნიადაგის სისქეში დაგროვილ მზის ენერგიას, რომელიც პიდაპირი სხივფენით და ატმოსფერული ნალექებით გადაეცემა დედამიწას, ატმოსფერული ნალექებიც წარმოადგენენ ენერგეტიკულ წყაროს, რომელზეც გათბობის სეზონის განმავლობაში გადაცივებული გრუნტის სწრაფ რეგენერაციას უწყობს ხელს. დედამიწის სიღრმისეული სითბო, რომელიც დედამიწის ზედაპირისკენ მიედინება სიმცირის გამო (დაახლოებით 0,05-0,12 ვტ/მ²) მხედველობაში არ მიიღება. უტილიზირებული (დედამიწიდან ართმეული) სითბოს რაოდენობა და შესაბამისად სითბოს ართმევის ფართობი ძირითადად დამოკიდებულია გრუნტის თბოფიზიკურ მახასიათებელზე და გამოსხივების ენერგიაზე, ანუ ადგილმდებარეობის კლიმატურ პირობებზე. გრუნტის თბოფიზიკური მახასიათებლები, როგორცაა მისი თბოტევადობა და თბოგამტარობა განისაზღვრება გრუნტის შედგენილობით და სტრუქტურით. ამ შემთხვევაში განმსაზღვრელი

პარამეტრებად პირველ რიგში მიიღება წყლის და მინერალური კომპონენტების (კვარცი ან მინდვრის შპატი) შეცულობა. აგრეთვე გრუნტში ჰაერით, შევსებული ფორების ზომები და რაოდენობა. ანუ შეიძლება დავასკვნათ, რომ მაკუმულირებელი უნარიანობა და თბოგამტარობა, მით მეტია რაც მეტი იქნება გრუნტში მინერალური შემადგენლების და რაც მცირე იქნება ფორების წილი. გრუნტის თბოგადაცემა დამოკიდებულია მის ხარისხზე და იგი დაახლოებით $10-40 \text{ ვტ/მ}^2$ -ის ტოლია თუ გაყვანილობის ზომაა $0,5-0,8 \text{ მ}$, ხოლო გრუნტის სიღრმე $1,2-1,5 \text{ მ}$.

გრუნტის კოლექტორის პრინციპიალური სქემა და მისი მიერთება შენობის გაბობის სისტემასთან ნაჩვენებია 2.5 ნახაზზე.



ნახაზი 2.5. გრუნტის კოლექტორის თბურ ტუმბოსთან მიერთების პრინციპული სქემა.

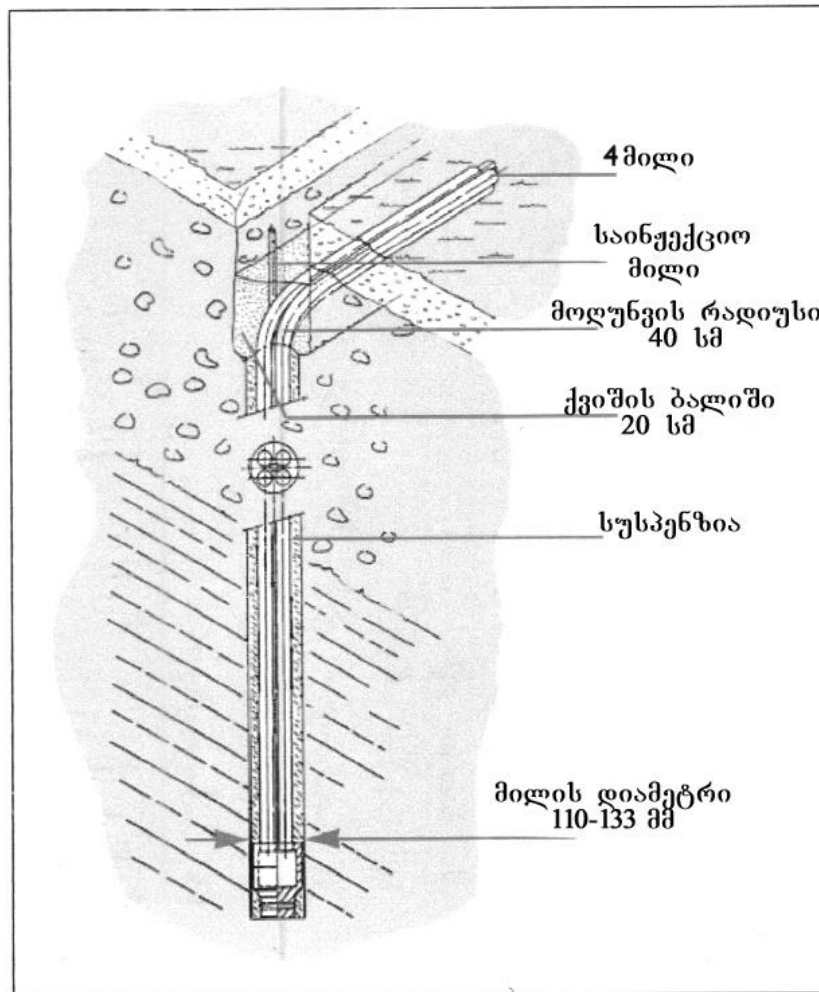
სითბოს მისაღებად გრუნტიდან მასში ეწყობა პლასტიკური მილების კლანკილები (გრუნტის კოლექტორები), რომელშიც ცირკულირებს თბომატარებელი. ეს კოლექტორი გრუნტიდან ართმეულ სითბოს გადასცემს თბურ ტუმბოს. კოლექტორებში გამოიყენებულ თბომემცველებს უნდა გააჩნდეთ საკმარისი ყინვამედეგობა. გარდა ამისა ჰერმეტიზაციის

დარღვევის შემთხვევაში არ წამოადგენენ საშიშროებას მიწისქვეშა წყლების დაბინძურების თვალსაზრისით.

შენობის თბური დატვირთვისა და ნიადაგის სტრუქტურის მიხედვით განისაზღვრება მიწის ნაკვეთის ის ფართი, საიდანაც უნდა მოხდეს სითბოს ართმევა, ეს ფართი კი თბური ტუმბოს სიცივის მწარმოებლობით განისაზღვრება. თბური ტუმბოს სიცივის მწარმოებლობა ($Q_{სცი}$) წარმოადგენს მის თბომწარმოებლობას ($Q_{სით}$) და საჭიროა ელექტროენერგიას (P) შორის სხვაობას

$$Q_{სცი} = Q_{სით} - P$$

გეოთერმული ზონდების საშუალებით ხდება გრუნტის სიღრმისეული სითბოს მიღება, რისთვისაც საჭიროა ბურღვითი სამუშაოების წარმოება. გეოთერმული ზონდი (ნახ. 2.6) შედგება ფუძისა და ვერტიკალური მილებისაგან.



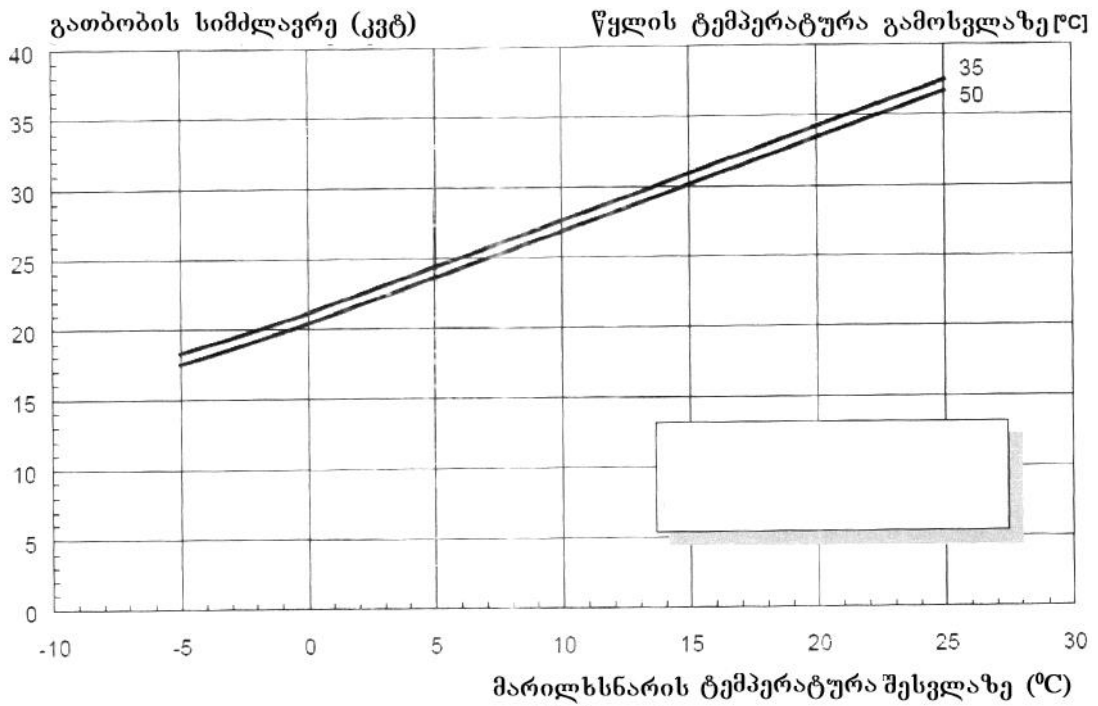
ნახ. 2.6 U - სებური გეოზონდი

ამ ნახაზზე ნაჩვენებია ყველაზე მეტად გავრცელებული U სეზური ორმაგი ზონდი შედუღებული ფუძით. მილების დიამეტრები ნორმალიზებულია და ტოლია 25x2,3მმ 60 მ სიღრმემდე და 32x3მმ 150 მ სიღრმემდე. ზონდი იდება გამზადებულ ჭაბურღილში. მილსადენის მონტაჟის შემდეგ ჭაბურღილში წნეის ქვეშ იხმება სუსპენზია (მაგალითად ბეტონიტი), რომელიც უზრუნველყოფს ზონდის ჰერმეტიკულ, ხანგრძლივ და ფიზიკურად მდგრად შერწყმას გარემოსთან, რაც უზრუნველყოფს სითბოს კარგ ართმევას, ზონდის მუშა პარამეტრები განისაზღვრება გრუნტის თბოგამტარობით და გრუნტის წყლების დინების მიმართულებით. დიდი თბური დატვირთვის მქონე სისტემებში ეწყობა პარალელურად მიერთებული ზონდები, რათა დედამიწაზე ართმეულ იქნას ენერჯის საჭირო რაოდენობა.

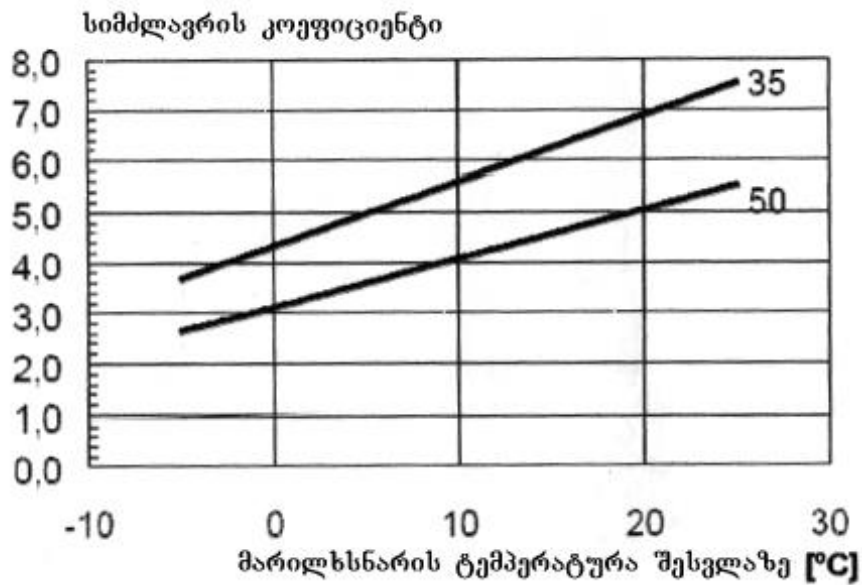
გეოთერმული ზონდებით შესაძლებელია დიდი რაოდენობით გრუნტის თბური ენერჯის მიღება. მათ გააჩნიათ კარგი თბოფიზიკური მახასიათებლები, რაც გრუნტის სიღრმეში შედარებით მაღალი სტაბილური ტემპერატურით არის განპირობებული მაგრამ ძვირადღირებული ბურღვითი სამუშაოების გამო ძვირდება გათბობის სისტემაც.

ბოლო წლებში გერმანელი სპეციალისტების მიერ დამუშავებული იქნა გეოზონდის ე.წ. სპირალური გეოზონდის ახალი კონსტრუქცია, რომელიც მცირე სიღრმიდან იღებს სითბოს მნიშვნელოვან რაოდენობას. ასეთი ტიპის ზონდებისათვის სულ რაღაც 5 მ სიღრმის ჭაბურღილია საჭირო. ასეთი გეოზონდების მწარმოებლობა გრუნტის ტიპისა და მასში გრუნტის წყლის არსებობის მიხედვით 700 ვტ-მდეა, საშუალოდ ასეთი ზონდების თბომწარმოებლობა 400 ვტ-ია.

მარილხსნარ-წყლის თბური ტუმბოს მწარმოებლობა ტუმბოს ამორთქლებზე მიწოდებული მარილხსნარის ტემპერატურის მიხედვით ნაჩვენებია 2.7 ნახაზზე, ხოლო 2.8 ნახაზზე ნაჩვენებია თბური ტუმბოს გარდაქმნის კოეფიციენტები (COP).



ნახაზი 2.7 მარილხსნარ - წყლის თბური ტუმბოს სიმძლავრე.



ნახაზი 2.8 მარილხსნარ - წყლის თბური ტუმბოს გარდაქმნის კოეფიციენტები.

გრაფიკები აგებულია გათბობის სისტემაში მიწოდებული თბოქმცველის (წყლის) ორი მნიშვნელობისათვის $t_{\text{გ}}=35^{\circ}\text{C}$ და $t_{\text{გ}}=50^{\circ}\text{C}$

-5°C გრუნტის ტემპერატურის დროს გარდაქმნის ანუ სიმძლავრის კოეფიციენტი 3-4 ფარგლებში მდებარეობს. $+10^{\circ}\text{C}$ გრუნტის ტემპერატურის დროს გარდაქმნის კოეფიციენტი 4-5,5 ფარგლებშია გრუნტის 15°C

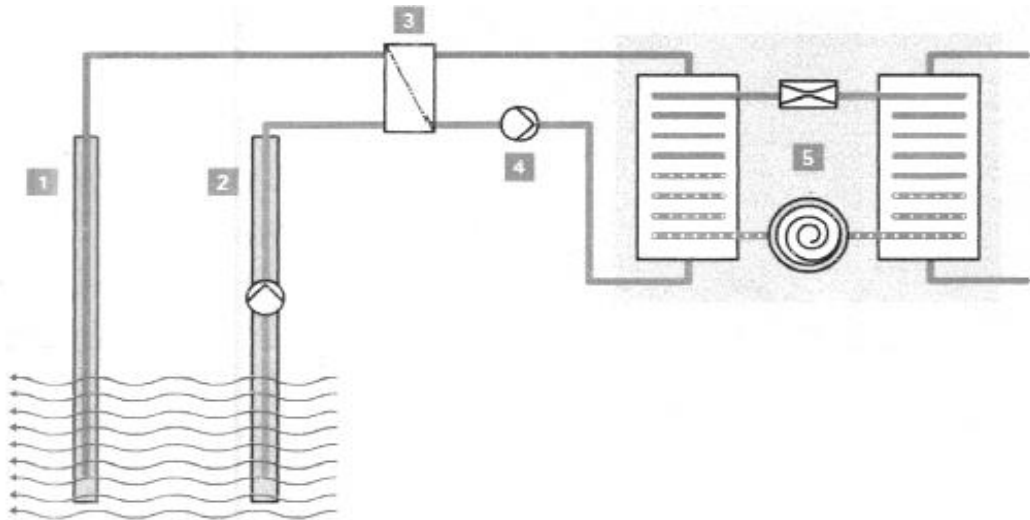
ტემპერატურის დროს გარდაქმნის კოეფიციენტის მცირე მნიშვნელობა შეესაბამება გათბობის სისტემაში $t_{\text{ტბ}}=50^{\circ}\text{C}$ ხოლო მაღალი მნიშვნელობა $t_{\text{ტბ}}=35^{\circ}\text{C}$ წყლის მიწოდებას, რაც სავსებით დამაკმაყოფილებელია დაბალტემპერატურული გათბობის სისტემებისათვის. როგორც 1.8 გრაფიკიდან ჩანს 15 მ სიღრმეში გრუნტის ტემპერატურა 10°C -ია, ხოლო დასაწყისში (ნოემბერში) კი გრუნტის ტემპერატურა 5 მ სიღრმეშიც კი 12°C -ია. რაც გრუნტის თბური ტუმბოს გამოყენებით საუკეთესო პირობებს ქმნის საერთოდ. საქართველოს პირობებში კი გრუნტის ჩაყინვის დონის არც თუ ისე დიდი მნიშვნელობის გამო ($R < 1\text{მ}$) თბური ტუმბოს გამოყენება ასევე წარმატებით შეიძლება გრუნტის კოლექტორული სისტემის დროსაც. ამ დროს გარდაქმნის კოეფიციენტის მნიშვნელობა 4-ს აჭარბებს. 2.7 ნახაზზე წარმოადგენილი თბური მწარმოებლობები შეესაბამება ერთ კომპრესორიან თბურ ტუმბოებს. ორ კომპრესორიანი თბური ტუმბოს შემთხვევაში მისი თბომწარმოებლობა ორმაგდება.

„წყალ-წყლის“ თბური ტუმბოები გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როდესაც პირველადი ენერჯის წყაროს წარმოადგენს გრუნტის წყალი. გრუნტის წყლები წარმოადგენენ როგორც თბურ ენერჯის ეფექტურ წყაროს ასევე ეფექტურ გამაცივებლებსაც. გრუნტის წყლის თბური ტუმბოს გამოყენების დროს საჭიროა დამატებითი შუალედური ჰიდრავლიკური კონტურის შემქნა, რომელიც ერთმანეთისგან განაცალკევებს წყალსა და თბომომცველს. სიღრმისეულ გრუნტის წყლებს, წლის განმავლობაში გააჩნიათ შედარებით მუდმივი ტემპერატურა $7-12^{\circ}\text{C}$ ფარგლებში. გრუნტის წყალი საცირკულაციო ტუმბოს საშუალებით ჭაბურღილიდან მიეწოდება თბურ ტუმბოს, გადასცემს რა თბურ ენერჯიას იგი გაცივებული კვლავ ჭაბურღილში ბრუნდება. ზედაპირული წყლების გამოყენების დროს ყურადღება უნდა მიექცეს იმ ფაქტს, რომ მისი ტემპერატურა შეიძლება იცვლებოდეს წლის განმავლობაში. განვითარებულ ქვეყნებში გრუნტის წყლების გამოყენება გათბობის მიზნით დაიშვება შესაბამისი საზედამხედველო ორგანოებთან შეთანხმებით და ექვემდებარება შესაბამის გადახდას ამ რესურსის გამოყენების გამო.

პირველადი ენერჯის სახით გრუნტის წყლების გამოყენების დროს როგორც მინიმუმ საჭიროა 2 ჭაბურღილი. ბურღვით სამუშაოებს სპეციალიზირებული ორგანიზაცია აწარმოებს, რომელსაც გააჩნია ბურღვით სამუშაოების საწარმოებლად ნებადართვა.

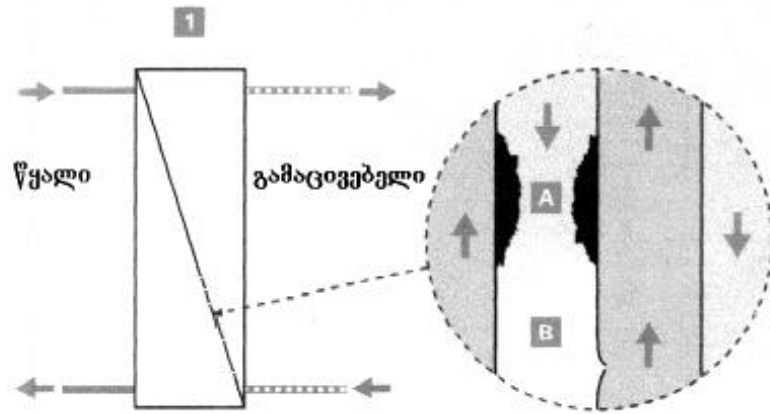
სწორედ დაპროექტებული თბურ ტუმბოვანი სისტემები, რომლებიც შესრულებულია სათანადო წესების დაცვით იძლევიან მაღალი წლიური მწარმოებლობის მიღწევის საშუალებას, რაც პირველადი წყაროს მაღალი ტემპერატურის გამოა შესაძლებელი. თბური ტუმბოს ეფექტური მუშაობა „წყალი-წყლის“ თბურ ტუმბოებში ისევე როგორც „მარილხსნარ-წყლის“ თბურ ტუმბოებში განისაზღვრება პირველად კონტურში ტემპერატურული სხვაობით. ტემპერატურათა სხვაობა 3°C ფარგლებშია დასაშვები, მაქსიმუმ 5გრად. წყლის ტემპერატურის ეს მაქსიმალური მნიშვნელობა არავითარ შემთხვევაში არ შეიძლება გაიზარდოს უფრო მეტად. ზამთარში გრუნტის წყლებს გააჩნია მდგრადი ტემპერატურა. ამ დროს მაღალმა ტემპერატურულმა სხვაობამ შეიძლება თბოგადამცემის გაღობა გამოიწვიოს.

„წყალი-წყლის“ თბური ტუმბოს პრინციპული სქემა ნაჩვენებია 2.9. ნახაზზე. მიმღები და ჩამშვები ჭაბურღილების განლაგება დამოკიდებულია გრუნტის წყლების დინების მიმართულებაზე. მიმღები ჭაბურღილი 2 კეთდება გრუნტის წყლის დინების ზემო ნაწილში, ხოლო ჩამშვები ჭაბურღილი 1 დინების ქვემო ნაწილში.



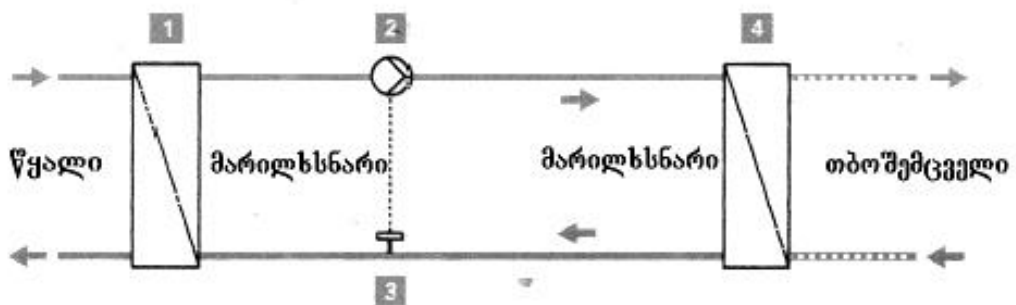
ნახ. 2. 9 წყალი - წყლის თბური ტუმბოს პრინციპული სქემა 1-
 უკუჭაბურღილი; 2 - მიმწოდებელი ჭაბურღილი; 3 - შუალედური
 თბოგადამცემი; 4 - საცირკულაციო ტუმბო; 5 - წყალი - წყლის თბური
 ტუმბო.

“წყალი-წყლის” თბური ტუმბოებში ყურადღება უნდა მიექცეს პირველადი კონტურის თბოშემცველის ხარისხს, რათა გამორიცხულ იქნას თბოგადამცემის ზედაპირზე მარილების გამოლექვა, რაც კოროზიის გამომწვევი ძირითადი მიზეზია. გამოლექილი მარილებით ლოკალური დაბინძურება იწვევს ე.წ. „ყინულის საცობის“ ეფექტს (ნახ. 2.10) ამ დროს ნაკადის სიჩქარის შემცირება და წარმოქმნილი ჭუჭყის ნაწილაკები იწვევენ წყლის გაყინვას და სათანადოდ ყინულის საფარის წარმოქმნას. ამ დროს თბოგადამცემი კარგავს ჰერმეტიულობას, რაც თბური ტუმბოს მთელი კონსტრუქციის მწყობრიდან გამოსვლას იწვევს.



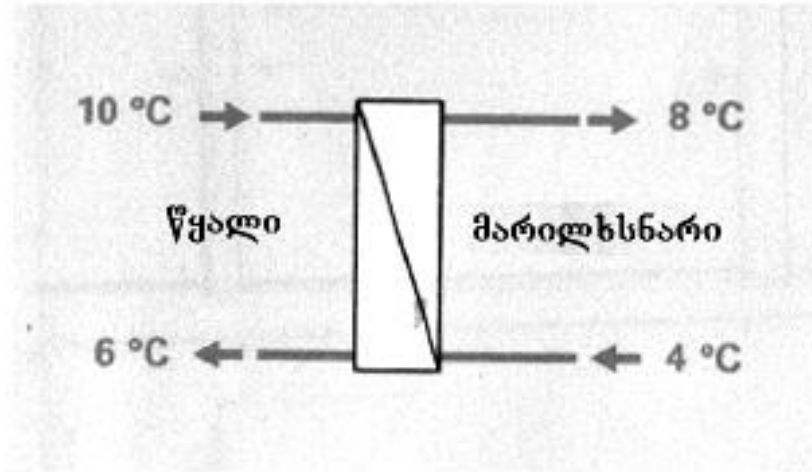
ნახ. 2.10 თბურ ტუმბოში ფირფიტოვანი თბოგადამცემის გამოყენების თავისებურებანი 1 - თბოგადამცემი; A - ჭუჭყი; B - ყინულის წარმოქმნა; C - სამაცივრო აგენტი; D - წყალი.

გათბობის სისტემაში წყლის ხარისხით წარმოქმნილი მსგავსი დარღვევა იძულებულს გვხდის თბური ტუმბოს კონსტრუქციაში გამოვიყენოთ შუალედური თბოგადამცემი (ნახ. 2.11). თბოგადამცემის შუალედური კონტურის ანგარიშის დროს რეკომენდებულია ვიხელმძღვანელოთ შემდეგი ტემპერატურული დიაპაზონით: წყლის ტემპერატურული სხვაობა 6-10°C-ის, ხოლო თბომემცველის 4-8°C-ის ფარგლებში.



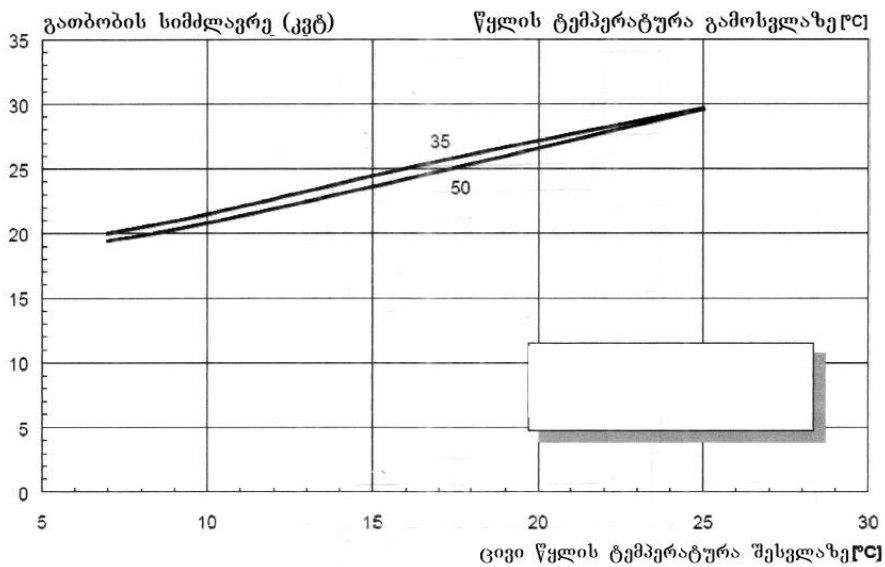
ნახ. 2. 11 თბურ ტუმბოში შუალედური თბოგადამცემის ჩართვის სქემა 1 - შუალედური თბოგადამცემი; 2 - შუალედური კონტურის ტუმბო; 3 - ტემპერატურის რეგულატორი ($\geq 3.5^{\circ}\text{C}$); 4 - ამორთქლებელი

„წყალი-წყლის“ და „მარილხსნარ-წყლის“ თბურ ტუმბოებში შუალედური თბოგადამცემის ჩართვის ტემპერატურული რეჟიმები ნაჩვენებია 2.12 ნახაზზე.

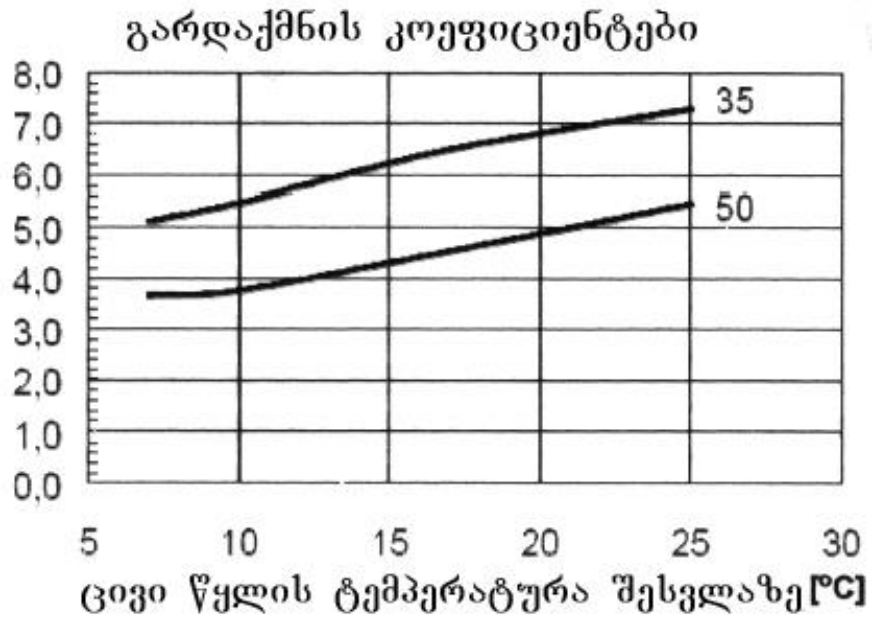


ნახ. 2. 12 თბურ ტუმბოში შუალედური თბოგადამცემის ჩართვის ტემპერატურული რეჟიმები.

„წყალი-წყლის“ თბური ტუმბოს მწარმოებლობა ნაჩვენებია 2.13 ნახაზზე. აბსცისათა ღერძზე გადაზომილია თბურ ტუმბოში შემავალი ცივი წყლის (პირველადი თბური წყარო) ტემპერატურა. „წყალი - წყლის“ თბური ტუმბოს სიმძლავრის ანუ გარდაქმნის კოეფიციენტები ნაჩვენებია 2.14 ნახაზზე.



ნახაზი 2.13. წყალ - წყლის თბური ტუმბოს სიმძლავრეები.



ნახაზი 2.14 წყალ - წყლის თბური ტუმბოს გარდაქმნის
კოეფიციენტები

გრაფიკები აგებულია გათბობის სისტემაში მისაწოდებელი ცხელი წყლის ორი ტემპერატურული რეჟიმისათვის.

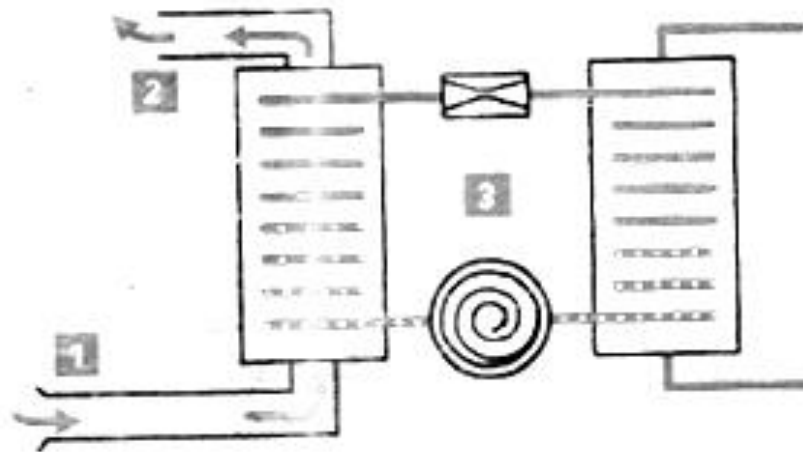
$t_{\text{ცხ}}=35^{\circ}\text{C}$ და $t_{\text{ცხ}}=50^{\circ}\text{C}$. როდესაც გრუნტის წყლის ანუ პირველადი სითბოს წყაროს ტემპერატურა 5°C ფარგლებშია გარდაქმნის კოეფიციენტი, გათბობის სისტემაში მისაწოდებელი წყლის ტემპერატურის შესაბამისად 3,5:5-ის ფარგლებშია. 15° -იანი ცივი წყლის შემხთვევაში გარდაქმნის კოეფიციენტი 6-ის ტოლია და ა.შ. პირველადი წყლის ტემპერატურის მატება გარდაქმნის კოეფიციენტის თითქმის 8-მდე ზრდის. ეს კანონზომიერება კი გვისახავს თბურ ტუმბოებში საქართველოში უხვად არსებული თერმული წყლების გამოყენების შესაძლებლობას. გარდა ამისა ასეთი მაღალი თბოფიზიკური მახასიათებლების გამო თბური ტუმბოები ასევე შეგვიძლია წარმატებით გამოვიყენოთ ჩამდინარე წყლებიდან სითბოს უტილიზაციის მიზნით.

2.3. ჰაერის თბური ტუმბოები

ჰაერის თბურ ტუმბოებში ენერჯის პირველადი წყაროს წარმოადგენს ჰაერი, ეს ჰაერი შეიძლება აღებულ იქნას გარემოდან ან სავენტილაციო გამონაბოლქვიდან.

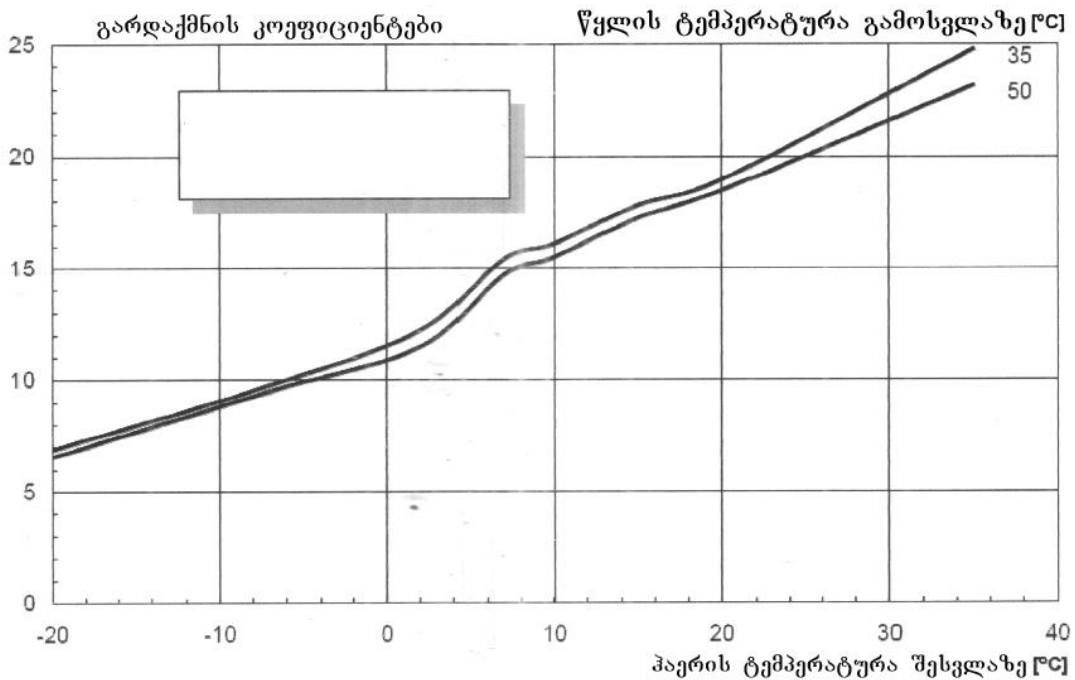
გარემოდან ჰაერის ვენტილატორის საშუალებით მიეწოდება თბურ ტუმბოს, გადასცემს რა სითბოს ცივდება ამორთქლებელში და კვლავ „გარემოში გაიტყორცნება, ასეთ ტუმბოებს „ჰაერ-წყლის“ თბური ტუმბოები ეწოდება.

„ჰაერ-წყლის“ თბური ტუმბოს პრინციპული სქემა 2.15 ნახაზზეა ნაჩვენები.



ნახაზი 2.15 ჰაერი - წყლის თბური ტუმბოს პრინციპული სქემა 1- მიმწოდებელი არხი, 2-გამწოვი არხი, 3-წყალი-ჰაერისთბური ტუმბო

„ჰაერი- წყლის“ თბური ტუმბოს ეფექტური მუშაობა განისაზღვრება ჰაერის ტემპერატურით და ეს თბური ტუმბოები წარმატებულად მუშაობენ გარე ჰაერის მინუს 20°C ტემპერატურამდე. -5 და -20°C ტემპერატურებს შორის საჭიროების შემთხვევაში შეიძლება, რომ გათბობის სისტემაში ჩაირთოს სითბოს დამატებითი წყარო. თბური ტუმბო შეიძლება დაიდგას როგორც შენობაში, ასევე მის გარეთ, ასეთი თბური ტუმბოებისათვის მისი კომპაქტურობის გამო მცირე ფართობია საჭირო.



ნახ. 2. 16 ჰაერი წყლის თბური ტუმბოს სიმძლავრეები

თბური ტუმბოს ჰაერი-წყლის თბოგადამცემს ესაჭიროება დიდი რაოდენობით ჰაერი. ინდივიდუალური - სახლებისთვის იგი დაახლოებით 3000:4500მ³/სთ ტოლია. ამის გამო საცხოვრებელ სახლებში მათი გამოყენების დროს მნიშვნელოვანია ჰაერმიმღების სწორი განლაგება.

ჰაერი - წყლის თბური ტუმბოების გამოყენების დროს სისტემის მოსაწყობად საჭირო ხარჯები 65%-მდე შეიძლება შევამციროთ, რადგანაც განსხვავებით გეოთერმული თბური ტუმბოებისაგან საჭირო არ არის ძვირად ღირებული ჭაბურღილების მოწყობა, ენერგომატარებლების ფასების მუდმივი ზრდის პირობებში ეს უპირატესობა გათბობის სისტემის ექსპლუატაციაში გაშვების პირველივე დღეებიდანვე იგრძნობა.

ზემოთ ჩვენ განვიხილეთ შენობათა გათბობის სისტემებში გამოყენებული ძირითადი თბური ტუმბოების კონსტრუქციები, ყველა ამ ტუმბოებს გააჩნია ერთი და იგივე მახასიათებლები, სახელდობრ:

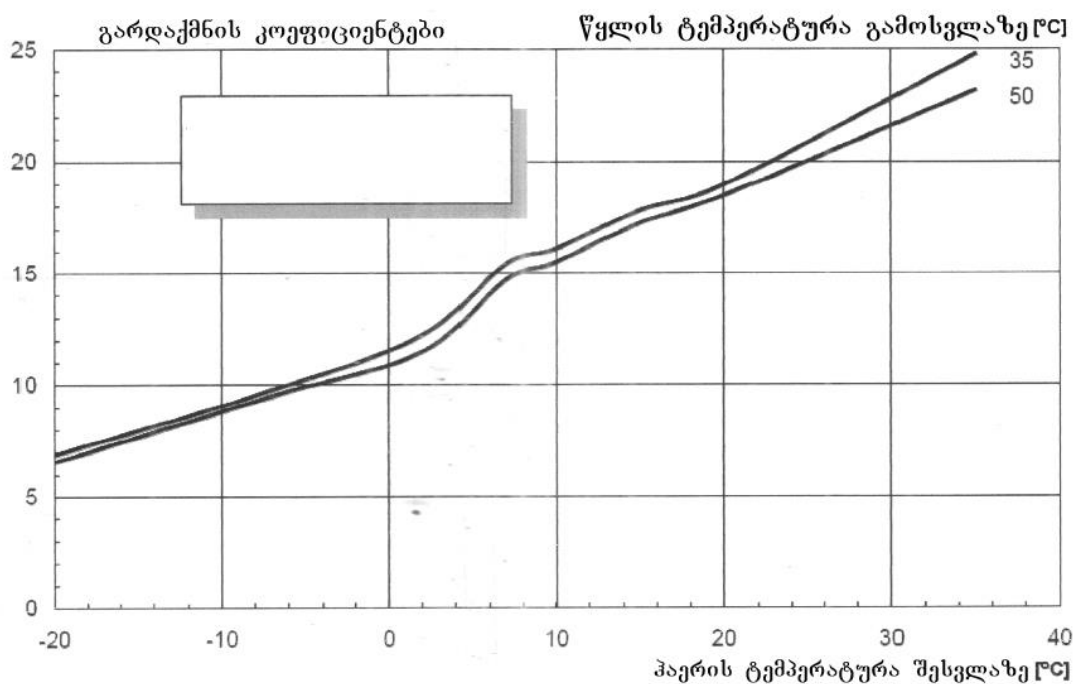
- ეს ტუმბოები კომპაქტურია, მარტივია მათი დაყენება, ექსპლუატაცია და ტექნიკური მომსახურება;
- მათი დაყენება შეიძლება ნებისმიერ გრუნტზე;

- ამ ტუმბოებს თავისი ფუნქციონირებისთვის შეუძლიათ გამოიყენონ პირველადი ენერჯის სხვადასხვა წყაროები;

- იდეალურია მათი გამოყენება გათბობის რადიატორულ და პანელურ სხივურ სისტემებში;

- მათი მუშაობისათვის საჭირო არ არის ბუნებრივი გაზი ან სხვა ნებისმიერი სათბობი, საკვამლე და სავენტილაციო სისტემები;

- ეს დანადგარები ხანგრძლივმდეგია, რაც ხანგრძლივი პერიოდის მანძილზე შენობის თბომომარაგების მნიშვნელოვან ეკონომიას იძლევა;



ნახ. 2. 17 ჰაერის წყლის თბური ტუმბოს გარდაქმნის კოეფიციენტები

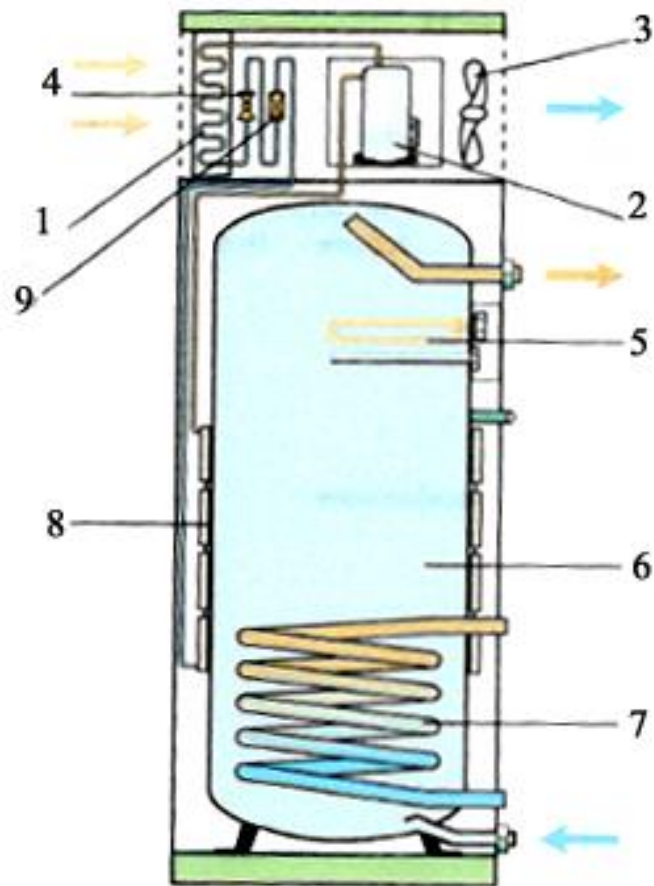
საქართველოს უმთავრესი რეგიონებისათვის სადაც საშუალო დღე-ღამური ტემპერატურა $+5^{\circ}\text{C}$ -ია სიმძლავრის კოეფიციენტი 4-ის ტოლია. ამ ანალიზის საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ საქართველოს კლიმატური პირობებისათვის ზამთრის ჰაერის მაღალი ტემპერატურის გამო „ჰაერი-წყლის“ თბური ტუმბოს გამოყენება გამართლებულია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

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, როდესაც წყალგამაცხელებელი და თბური ტუმბო ერთ კონსტრუქციაშია მოთავსებული ასევე სპლიტი, როდესაც უშუალოდ თბური ტუმბო მოთავსებულია გარეთ, ხოლო მოცულობითი წყალგამაცხელებელი კი შენობაში. მონობლოკის შემთხვევაში თბური ტუმბო მოთავსებულია შენობაში, ტექნიკურ სათავსში, ამ დროს თბური ტუმბო შეიძლება გამოყენებულ იქნას ჰაერის გამრობის მიზნით, განსაკუთრებით ტენიან სათავსებში.

გარემო ჰაერზე მომუშავე თბური ტუმბოს პრინციპული სქემა ნაჩვენებია 2.18 ნახაზზე.

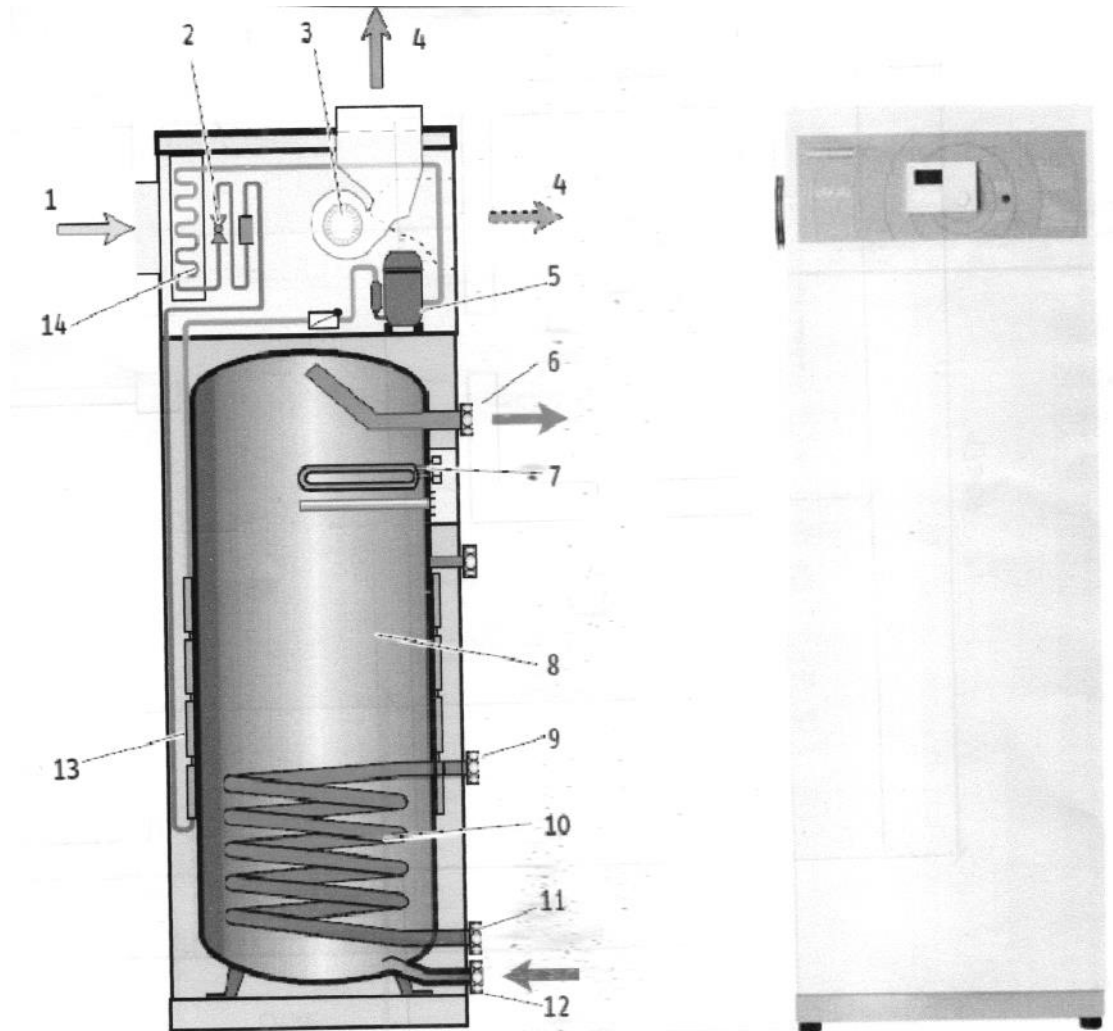


ნახაზი 2.18 გარემო ჰაერზე მომუშავე ცხელი წყლის თბური ტუმბო
 1-ამორთქლებელი; 2-კომპრესორი; 3-ვენტილატორი;
 4-საფართოებელი ვენტილი; 5-ელექტრო სახურებელი;
 6-ცხელი წყლის ავზი; 7-თბოგადამცემი; 8-კონდენსატორი;
 9-შემკრები.

განსხვავებით ჩვეულებრივი „ჰაერ-წყლის“ თბური ტუმბოსგან ცხელი წყლის თბურ ტუმბოში კონდენსატორი კლავნილა მილის სახით შემოხვეულია წყალგამაცხელებლის ავზზე, ხოლო თბური ტუმბოს დანარჩენი ელემენტები-კომპრესორი, ამორთქლებელი, სარედუქციო ვენტილი მონობლოკის შემთხვევაში ავზის ზემონაწილში თავსდება, ხოლო სპლიტის შემთხვევაში ეს ნაწილია გატანილი გარეთ და მილსადენით უკავშირდება ავზე შემოხვეულ კონდენსატორს.

ცხელი წყლის თბურ ტუმბოში გარე ჰაერის გარდა შეიძლება გამოყენებულ იქნას აგრეთვე გასაწოვი სავენტილაციო ჰაერი (ნახაზი 2.19).

ბინის პირობებში სამზარეულოდან, სააბაზანოდან, სანკვანძებიდან და სხვა სათავსებიდან გასაწოვი ჰაერი, რომლის ტემპერატურაც შეიძლება 35°C აღწევდეს გაივლის რა თბურ ტუმბოში აცხელებს სახმარ წყალს და შემდეგ გარემოში გაიტყორცნება.



ნახ. 2. 19 სავენტილაციო გამონაბოლქვზე მომუშავე ცხელი წყლის თბური ტუმბო

- 1 - გასაწოვი ჰაერი; 2 - საფართოებელი სარქველი;
 3 - ვენტილატორი; 4 - გაწოვილი ჰაერი; 5 - კომპრესორი; 6 - ცხელი წყალი; 7 - ელექტროგამაცხელებელი; 8 - წყალგამაცხელებელი ავზი; 9 - მიწოდება მზის კოლექტორიდან; 10 - მზის კოლექტორთან მიერთებული თბოგადამცემი; 11 - მზის კოლექტორთან უკუმიერთება; 12 - ცივი წყალი; 13 - კონდენსატორი; 14 - ამართქლებელი.

ასეთი თბური ტუმბოები ცხელი წყლის გარდა შეიძლება გამოყენებულ იქნას ბინის გასათბობადაც. ამ მიზნით ასეთ თბურ ტუმბოს უკეთდება დამატებითი კონდენსატორი რომელიც განკუთვნილია გათბობის სისტემის თბოშემცველის (წყლის) გასათბობად .

ჩვენს მიერ ცხელი წყლის თბური ტუმბოები როგორც გარე ჰერზე ასევე სავენტილაციო გამონაბოლქვებზე შესწავლილ იქნა ქ. თბილისის პირობებისთვის. გარე ჰერზე მომუშავე თბურ ტუმბოებისთვის ჰაერის ტემპერატურა იცვლებოდა $+5$ - $+36^{\circ}\text{C}$ -ის ფარგლებში, ხოლო სავენტილაციო გამონაბოლქვებზე მომუშავე თბურ ტუმბოსათვის გასატყორცნი ჰაერის ტემპერატურა 24 : 36°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 გამწვავ 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 ელექტრომომოთხოვნილება $1,4-1,6$ კვტ. სთ. შეადგენდა. უნდა აღინიშნოს, რომ მრავალწლიანი დკვირვების განმავლობაში თბური ტუმბო $5-6$ კაციან ოჯახს სრულიად აკმაყოფილებდა ცხელი წყლით.

ცხელი წყლის თბური ტუმბო დამატებით შეიძლება მიერთებულ იქნას მზის კოლექტორთან. ან გათბობის ქვაბთან. პირველ შემთხვევაში მზის მაღალი აქტივობის დროს უფასოდ მიიღება ცხელი წყალი. ამ დროს თბური ტუმბო ფაქტიურად გამორთულია და წყლის გასაცხელებლად საჭირო თბური ენერჯის ის $1/4$ ნაწილა აღარაა საჭირო, რომელსაც თბური ტუმბო მოითხოვს, ხოლო მეორე შემთხვევაში უარყოფითი დაბალი ტემპერატურების (-5°C და ქვემოთ) დროს ცხელი წყლით მომარაგება წყალსათბობი ქვაბიდან ხორციელდება.

გარდა ქვაბისა და მზის კოლექტორისა თბურტუმბოვან წყალგამაცხელებელს შეიძლება მიუერთდეს აგრეთვე 1500-1800 ვტ-იანი ელექტრო გამახურებელი, რომელიც მზის მიხედვით უამინდობის შემთხვევაში უზრუნველყოფს წყლის გაცხელებას 65°C-მდე. ჩვენს მიერ თბილისის პირობებისთვის შესწავლილ იქნას წყალგამაცხელებელი მუშაობის რეჟიმები, როდესაც დამატებით კვების წყაროს წარმოადგენდა გაზის ქვაბი ან ელექტროგამხურებელი. საერთო ჯამში ჰაერის თბური ტუმბოს გამოყენება ცხელწყალმომარაგების სისტემაში გაზის ჩვეულებრივ ქვაბთან შედარებით წლის განმავლობაში 40-50% ეკონომიას იძლევა.

გაზის საკონდენსაციო ქვაბის შემთხვევაში ეს ეკონომია 20-30% მცირდება.

გერმანული წარმოების ცხელი წყლის თბურ ტუმბოებში მათ უკეთდებათ აგრეთვე დამატებითი ელექტროკვება, რომელიც მზის ელექტრობატარეით მიიღწევა. ამ შემთხვევაში ცხელი წყალი ფაქტიურად უფასოდ მიიღება.

თავი III. თბური ტუმბოს ეფექტურობა და მისი მუშაობის რეჟიმები

ყველა ჩვენს მიერ წინა თავში განხილული თბური ტუმბოები მიეკუთვნება დაბალტემპერატურულ თბურ ტუმბოებს, რომელთათვისაც სითბოს წყაროს წარმოადგენს გრუნტი (ნიადაგი). გრუნტის წყალი და ჰაერი. ასეთი ტიპის თბური ტუმბოების მუშაობის შეფასება ძირითადად ხდება თბური ენერჯის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის სიდიდით, ხოლო თვით თბური ტუმბოს ეფექტურობის შეფასება სამ ძირითად მახასიათებელს მოიცავს: თბური ტუმბოს ენერგეტიკული, ეკოლოგიური და ეკონომიკური ეფექტურობა.

3.1. თბური ტუმბოს ენერგეტიკული, ეკოლოგიური და ეკონომიკური ეფექტურობა და მათი გაზრდის გზები

თბურტუმბოვანი სისტემის ენერგეტიკული ეფექტურობა ხასიათდება თბური ტუმბოს სიმძლავრის ანუ გარდაქმნის კოეფიციენტის სიდიდით, რომელიც რიცხოვრივად იმ სასარგებლო სითბოს წარმოადგენს რომელსაც გამოიმუშავენ თბური ტუმბო მასზე 1 კვტ. სთ ელექტროენერჯის დახარჯვის დროს.

გათბობის სისტემებში თბური ტუმბოების გამოყენების დროს პირველ რიგში საჭიროა გავარკვიოთ ამ დანადგარების მარგი ქმედების არსი, ლიტერატურაში ხშირად გვხვდება სტატიები, რომელთა ავტორებიც მიუთითებენ რომ თბური ტუმბოს მარგი ქმედების კოეფიციენტი 100%-ზე მეტია. კერძოდ კი უთითებენ, რომ ეს სიდიდე 300:400%-ის ფარგლებშია, ე.ი. გამოდის რომ თბური ტუმბო მუდმივ ძრავს წარმოადგენს, რაც წარმოუდგენელია, რადგან სკოლის ფიზიკის კურსიდან ჩვენ უკვე ვიცით, რომ მუდმივი ძრავი ბუნებაში არ არსებობს. ჯერ ერთი ეს აიხსნება იმით, რომ თბური ტუმბო ენერჯიას არ იღებს არსაიდან, არამედ იგი ენერჯიას იღებს გარემოდან, რომლის მასა და ზომები გაცილებით მეტია, ვიდრე

გასათბობი ობიექტი. მეორეც ის, რომ თბური ტუმბოს მთლიანი სისტემისათვის მართებული იქნება გამოთქმა (ცნება) სითბოს გადაცემის (ტარსპორტირების) კოეფიციენტის შესახებ და არა მარგი ქმედების კოეფიციენტის შესახებ. სინამდვილეში ვხარჯავთ, რა ქსელიდან ელექტროენერგიის გარკვეულ რაოდენობას თბური ტუმბოს ასამოქმედებლად იგი სითბოს სახით 5-6-ჯერ მეტ ენერგიას გვაწვდის, რომელიც გასათბობ ობიექტთან ერთად ერთ სისტემას წარმოადგენს, რაც არ გვაძლევს უფლებას ვუწოდოთ მას მარგი ქმედების კოეფიციენტი.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ 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 ენერგიის ხარჯზე, თანახმად თერმოდინამიკის II კანონისა. მომხმარებლის მიერ მიღებული თბური ენერგიის ფარდობა დახარჯულ პირველად ენერგიაზე (თბურ ექვივალენტში) განსაზღვრავს თბურ ტუმბოს ენერგეტიკულ ეფექტურობას და მას სიმძლავრის ან გარდაქმნის კოეფიციენტს უწოდებენ:

$$\varepsilon = \frac{Q_1}{Q_2} \quad (3-1)$$

სადაც Q_1 -თბური ენერგია რომელსაც ღებულობს 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:

$$\varepsilon = v\varepsilon_c = v \frac{T_k + 273}{T_k - T_{aor}} \quad (3-2)$$

სადაც v -რეალური თერმოდინამიკური პროცესის სრულყოფის მაჩვენებელია, რომელიც რეალური თერმოდინამიკური ციკლის ყველა

შეუქცევადი დანაკარგებს ითვალისწინებს, ε_c -კარნოს წრიული ციკლის გარდაქმნის კოეფიციენტი; $T_{აორ}$ და T_3 სამაცივრო აგენტის აორთქლების და კონდენსაციის ტემპერატურები.

(3-2) გამოსახულების ანალიზის საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ თბური ტუმბოს ენერგეტიკული ეფექტურობის გაზდის მიზნით სასურველია კონდენსაციის ტემპერატურის დაწევა. ეს კი მიიღწევა დაბალტემპერატურული გათბობის სისტემის მოწყობით - მაგალითად იატაკის ან კედლის გათბობის სისტემის მოწყობით, სადაც კონდენსაციის ტემპერატურა იატაკის ზღვრული ტემპერატურიდან 35°C გამომდინარე $t_{აბ}=30^{\circ}\text{C}$ -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.

(3-2) ფორმულაში $\nu=1$ იდეალური თბური ტუმბოს შემთხვევაში, რეალური პროცესების დროს დანაკარგების გათვალისწინებით ν აიღება 0,5-ის ტოლი და გარდაქმნის კოეფიციენტი ε ანუ KOP გამოითვლება ფორმულით

$$\varepsilon = 0.5 \frac{T_1}{T_1 - T_2} \quad (3-3)$$

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

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

თბური ტუმბოს მუშაობის პროცესში ამაორთქლებლის 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 (ნახ. 3.1) ნაჩვენებია სხვადასხვა ტემპერატურული რეჟიმისათვის (3-3) ფორმულის საფუძველზე გამოთვლილი გარდაქმნის კოეფიციენტების მნიშვნელობები. როგორც ამ ცხრილიდან ჩანს კონდენსაციის დაბალი ტემპერატურის დროს გარდაქმნის კოეფიციენტი დიდია, ხოლო ამორთქლებელში 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.

ცხრილი 3.1.

საწყისი ტემპერატურის ამორთქლებელზე $t_{\text{აორ}}, \text{ }^{\circ}\text{C}$	საანგარიშო ტემპერატურა $^{\circ}\text{C}$	საანგ. ტემპ. კონდენსატორზე $^{\circ}\text{C}$	ε (KOP)
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

$$\varepsilon_{\text{sez}} = \sum_{i=1}^n \frac{QH_i}{EHi} \quad (3-4)$$

სადაც QH_i არის თვის განმავლობაში გამომუშავებული თბური ნერგია კვტ.სთ.

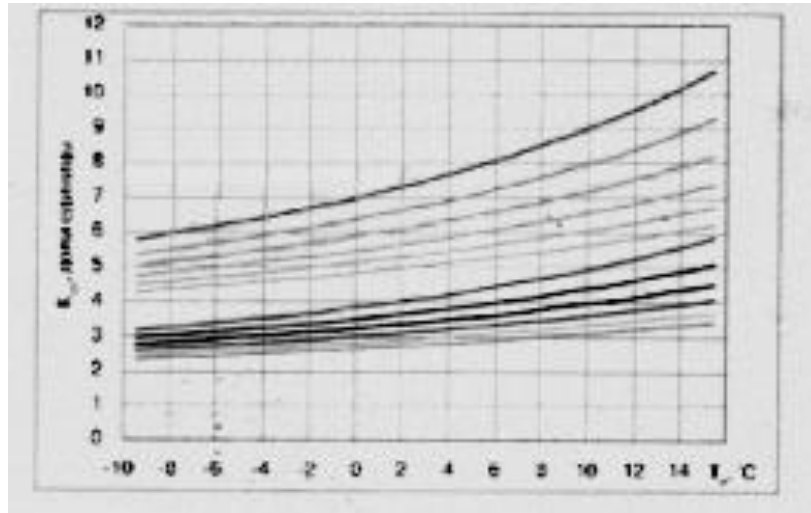
EQ_i - თვის განმავლობაში მოხმარებული ელექტროენერჯის რაოდენობა, კვტ. სთ.

n- გათბობის სეზონში თვეების რაოდენობა.

ევროპული დირექტივების თანახმად სწორედ ეს მახასიათებელი გამოიყენება თბური ტურბოს ენერგოეფექტურობის ეკონომიკურ მაჩვენებლად მთელი გათბობის სეზონის განმავლობაში. მასში განიხილება როგორც თბური ენერჯის 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 მნიშვნელობები სამი ტემპერატურული რეჟიმისათვის 35, 45 და 55°C.

ზემოთ განხილული მეთოდისა და ევრონორმების EN255 მოთხოვნილებათა შესაბამისად ქვემოთ 3.1. 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.



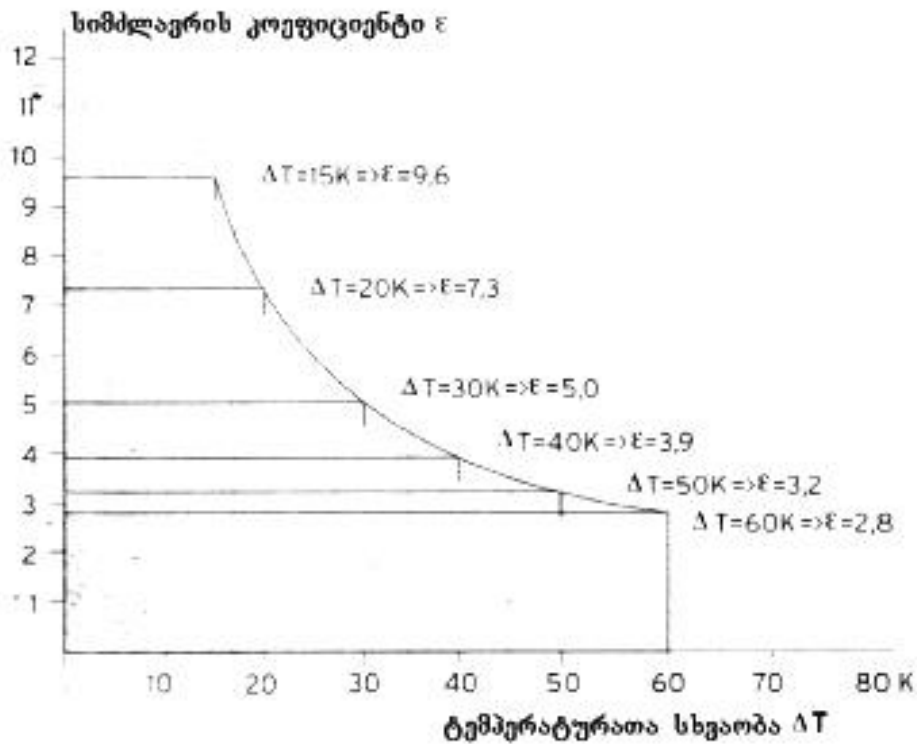
ნახ. 3.1 თბური ტუმბოს გარდაქმნის კოეფიციენტების დამოკიდებულება დაბალპოტენციური სითბოს წყაროს ტემპერატურაზე

გრაფიკის ზემო ნაწილში მოცემული მრუდები შეესაბამება კარნოს იდეალურ ციკლს, ხოლო ქვემო ნაწილი რეალურ ციკლს. რეალური ციკლის შემხთვევაში 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°C ტემპერატურამდე.

თბური ტუმბოს სიმძლავრის კოეფიციენტის დამოკიდებულება ამორთქლებელსა და კონდენსატორს შორის ტემპერატურათა სხვაობაზე ნაჩვენებია 3.2 ნახაზზე. როგორც ამ გრაფიკიდან ჩანს სიმძლავრის კოეფიციენტი სამკაოდ დიდ ფარგლებში იცვლება $\epsilon=2.8-9.6$. 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.



ნახ. 3.2 თბური ტუმბოს სიმძლავრის კოეფიციენტები სხვადასხვა ტემპერატურული სხვაობის დროს

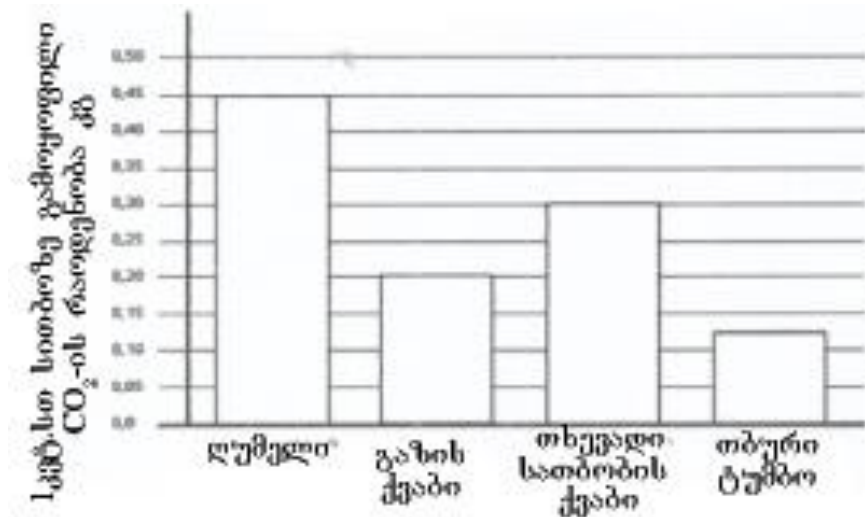
როგორც 3.1. ნახაზიდან ჩანს თბური ტუმბოს იდეალური ციკლით მუშაობის შემთხვევაში მისი სიმძლავრის ანუ გარდაქმნის კოეფიციენტების მნიშვნელობები მთელი რიგით მაღლა დგას რეალურ ციკლთან შედარებით. ამიტომ თბური ტუმბოების შემდგომი დახვეწა და იდეალური ციკლთან უფრო მეტად მიახლოება თბური ტუმბოს ენერგეტიკული ეფექტრობის 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 CO₂-ის გამოყოფას გარემოში, ვიდრე სხვა სახის გათბობის სისტემები, რომლებიც ირველადი ენერჯიად გამოიყენებენ წიაღისეულ სათბობს.

სხვადასხვა სახის გათბობის სისტემებისათვის გარემოში გაფრქვეული CO₂-ის რაოდენობა წარმოდგენილია გრაფიკზე (ნახ. 3.3).



ნახ. 3.3. CO₂ - ის გამონაბოლქვები გათბობის სხვადასხვა სისტემებისათვის.

თბური ტუმბოს გამოყენებით განსაკუთრებით სუფთავდება დედამიწის ირგვლივ გარემო. ასე მაგალითად თუ ევროპაში მშენებარე 1 მილიონი ახალი სახლი აღიჭურვება თბური ტუმბოთი, მაშინ 2016 წლისათვის CO₂-ის გამონაბოლქვი ყოველწიურად 3600000 ტონით შემცირდება. მსოფლიოში ანალოგიური ღონისძიებების გატარების შემთხვევაში გარემოს დაბინძურება მნიშვნელოვან წილად იქნება შემცირებული.

თბური ტუმბოების გამოყენებას უსაფრთხოების მაღალი დონე გააჩნია. მათი ექსპლუატაციის დროს არავითარი საშიში სიტუაცია არ წარმოიქმნება, რომელიც განსაკუთრებულ საგანგებო შემთხვევას შექმნის, გამორიცხულია თბური ტუმბოს აფეთქება ან მასში ხანძრის გაჩენა, რადგანაც მას სათბობთან ანუ ღია ცეცხლთან შეხება არა აქვს, რაც გამორიცხავს მომწამვლელ კვამლს და ოთრქლს, თბური ტუმბოს დეტალები იმდენად არ ცხელდება, რომ წვადი მასალების აალება გამოიწვიოს. აგრეგატის გაჩერებისას იგი არავითარ შემთხვევაში მწყობრიდან არ გამოვა და არ გაიყინება მასში სითხე, ანუ ზოგადად, რომ ვთქვათ მათ ისეთივე საფრთხე გააჩნიათ, როგორც მაცივარს.

ქვემოთ ცხრილში მოყვანილია თბური ტუმბოს შედარებითი ეკოლოგიური ეფექტურობა მყარ, თხევად და გაზიებურ სათბობზე მომუშავება და ელექტრო საქვაბებთან (რომლებიც ელექტროენერგიას თბოელექტროსადგურებიდან იღებენ) შედარებით. ანგარიშები ჩატარებულია 1,163 მგტ (1,0გკალ/სთ) სიმძლავრის საქვაბისათვის, რომლის წლიური გამომუშავება 2616 გკალ/სთ თბურ ენერგიას შეადგენს, თეც-ზე სათბობის ხარჯი -0,3 კგ პირობითი სათბობია 1კვტ.სთ ენერგიაზე.

სათბობის თბოუნარიანობად აღებულია მათი საანგარიშო მნიშვნელობები: ნახშირისათვის - 19,5მჯ/კგ; მაზუთისათვის -39 მჯ/კგ; ბუნებრივი გაზისთვის -33,24 მჯ/წმ³.

თბური ტუმბოების ორგანულ სათბობზე
მომუშავე ტრადიციულ საქვაბებთან
შედარებით ეკოლოგიური ეფექტურობა

ცხრილი 3.2.

	ტრადიციული საქვაბე			ელექტროსაქვაბეზე			თბური ტუმბო					
	მკვ=0,65	მკვ=0,8	მკვ=0,86				T=8°C; ε=3.0			T=40°C; ε=6.0		
სათბობი	ნახშირი	მაზუთი	ბუნ.გაზი	ნახშირი	მაზუთი	ბუნ.გაზი	ნახშირი	მაზუთი	ბუნ.გაზი	ნახშირი	მაზუთი	ბუნ.გაზი
სათბობის წლიური ხარჯი (ნახშირი, მაზუთ-ტონ, ბუნ.გაზი 1000 ნმ ³)												
წვა	უშუალოდ მომხმარებელთან			თეც-ისგან მოშორებით								
	586,3	351,6	374,7	1360	687	808,7	453,1	229,0	269,6	226,6	114,5	134,8
მავნე გამონაბოლქვები აზოტის ჟანგეულობის, გოგირდის, ნახშირბადის სახით - ტონა /წელ												
სითბოს გამომუშავეების ადგილას	16,31	8,98	2,48	-	-	-	-	-	-	-	-	-
სათბობის წვის (მათ შორის თეც) ადგილას	1743	1029,8	867,4	25,9	18,6	5,58	8,63	6,2	1,86	4,32	3,1	0,93
CO ₂ (სათბურის ეფექტი) გამონაბოლქვები, ტონა/წელ												
ატმოსფეროში	1743	1029,8	867,4	2768	1919	1499	922,5	639,7	500	461	319,8	250

ელექტროქვაბთან შედარებით (რომელიც ელექტროენერგიას იღებს თეც-დან) თბური ტუმბოს გამონაბოლქვები 3-ჯერ ნაკლებია, ხოლო იგივე გამონაბოლქვები, როდესაც გარდაქმნის კოეფიციენტში $\epsilon=6$ 2-ჯერ მცირდება, ვიდრე ეს არის $\epsilon=3$ -დროს.

როგორც ამ ცხრილიდან ჩანს თბურ ტუმბოებს გარდაქმნის კოეფიციენტით $\epsilon=3$ და $T=8^{\circ}\text{C}$ (თეც-ში ელექტროენერგიის გამომუშავების დროს) ტრადიციულ საქვაბებთან შედარებით გააჩნიათ:

ნახშირის დროს 2-ჯერ, მაზუთის შემთხვევაში 1,5-ჯერ, ხოლო ბუნებრივი გაზის შემთხვევაში 30%-ით ნაკლები მავნე გამონაბოლქვები.

ეკოლოგიურად სუფთა ენერჯის (მზე, ქარი, ჰიდრო) გამოყენების დროს ატმოსფეროში მავნე გამონაბოლქვების სიდიდე მინიმუმამდეა დაყვანილი.

თბური ტუმბოს გამოყენების დროს მავნე ნივთიერებების გამოყოფა უშუალოდ მათი დაყენების ადგილებში არ ხდება, არამედ მისგან მოშორებით იქ სადაც ელექტროენერჯის გამომუშავება ხდება სათბობის დაწვის ხარჯზე. ეკოლოგიური ეფექტურობის ძირითადი მაჩვენებელი კი წვის შედეგად გამოყოფილი მავნე ნივთიერებებია, რომლებიც ნამწვი პროდუქტების მიერ გარემოში გაიტყორცნება, რომლის მოცულობაც პირველადი ენერჯის (სათბობის) მოცულობის პროპორციულია. პირველადი ენერჯის 40%-ით შემცირება ნამწვი გაზებისა და შეასბამისად გარემოს დაბინძურებული ნივთიერებების 40% შემცირებას იწვევს.

ეკოლოგიური ეფექტურობის გაზრდის მიზნით საჭიროა დადგენილ იქნას წვის შედეგად გამოყოფილი CO_2 -ის რაოდენობა, რადგან გაზი იწვევს სათბურის ეფექტს. ცნობილია, რომ ბუნებრივი გაზის დაწვის შედეგად 1ტ პირობითი სათბობის მიერ გამოყოფა 17000 კგ CO_2 . თბური ტუმბოების გამოყენება 3-4-ჯერ ამცირებს ამ რაოდენობას მავნეობის გამოყოფას. მისი კიდევ უფრო შემცირება შესაძლებელია თბური ტუმბოს კონსტრუქციების დახვეწით. დიდი წილი გამოყოფილი მავნეობების შემცირებაში და თბური ტუმბოს ეკოლოგიური ეფექტურობის გაზრდაში მოდის ძირითად თბოგადამცემებზე (ამაორთქლებელი, კონდენსატორი).

დღეისათვის შექმნილია ახალი თაობის თბოგადამცემები, რომლებიც არა მარტო ზრდიან თბოგადაცემის მწარმოებლობას, არამედ მნიშვნელოვნად ამცირებენ გარემოზე მათ მავნე ზემოქმედებას. ასეთი სახის თბოგადამცემის შექმნა ტექნიკური მიღწევაა, რომელიც გვიწყობს ხელს ეკონომიკური და ეკოლოგიური ხასიათის ამოცანების გადაწყვეტაში.

მირჩილული ფირფიტოვანი თბოგადამცემების ტექნოლოგია რომლებიც გარცელებული იყო XX საუკუნეში, შეცვალა ახალმა პროგრესულმა მიკროარხულმა ტექნოლოგიამ, რომლის საფუძველზეც მნიშვნელოვნად მცირდება როგორც თბოგადამცემების დაამზადებლად საჭირო მასალა, ასევე გამოყენებული სამაცივრო აგენტის მოცულობა. თბურ ტუმბოებში მათი გამოყენებით მინიმუმამდე დაიყვანება გარემოზე მავნე ზემოქმედება.

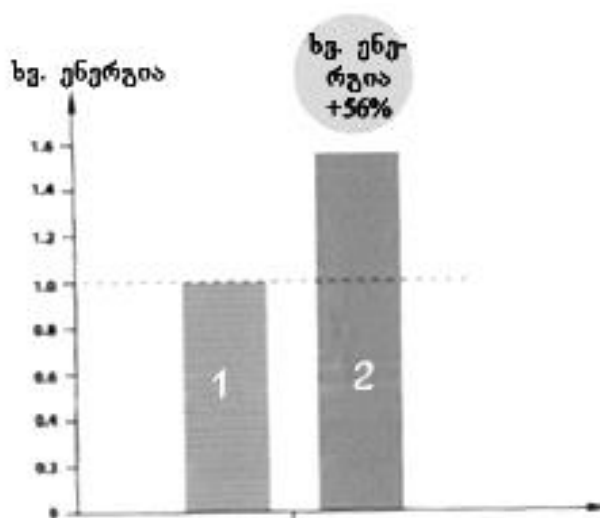
ნახაზზე 3.4, ნაჩვენებია მირჩილვის და მიკრო არხული ტექნოლოგიებით დამზადებული თბოგადამცემების გარემოზე ზემოქმედების გრაფიკები. მიკრო არხული თბოგადამცემების გამოყენებით 40%-ით მცირდება გარემოში გაფრქვეული CO₂-ის რაოდენობა. მიკროარხული თბოგადამცემის შემცირებული შიგა მოცულობა გვამღევეს სამაცივრო აგენტის რაოდენობის შემცირების საშუალებას. ეს კი ამცირებს როგორც დამზადების ხარჯებს ასევე CO₂-ის გამოყოფას გარემოში.



ნახ. 3. 4 თბოგადამცემების გარემოზე ზემოქმედების გრაფიკები. 1 - მირჩილული თბოგადამცემები 2- მიკროარხული თბოგადამცემები.

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 მწარმოებულობით, 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 გადახურვების შემთხვევაში უზრუნველყოფს დანადგარის საიმედო მუშაობას.

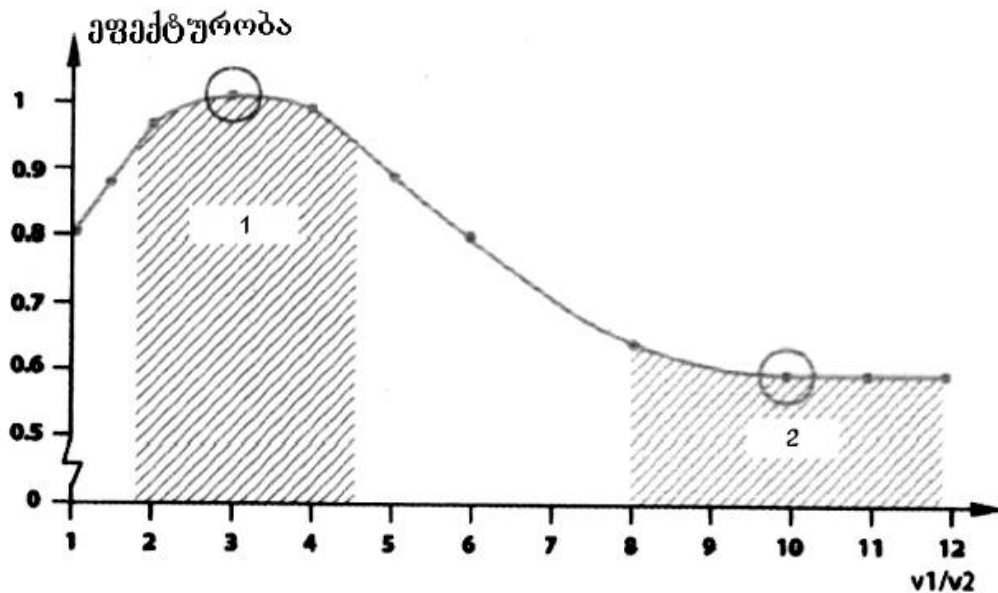
3.5. ნახაზზე ნაჩვენებია მიკრო არხული თბოგადამცემების ხვედრითი ენერგიის სიდიდე, რომელიც ამ თბოგადამცემის ენერგოდაზოგვის მახასიათებელია და იგი დამოკიდებულია სამ იძირითად ფაქტორზე: თბოგადაცემა, წნევის ვარდნა და გამოყენებული ნედლეულის რაოდენობა.



ნახ. 3.5 თბოგადამცემების ხვედრითი ენერგიის სიდიდეები 1 - მირჩილული თბოგადამცემები; 2 - მიკროარხული თბოგადამცემები.

მიკროარხული თბოგადამცემის ეფექტურობა, რაც მისი თბოგადაცემით გამოიხატება ნაჩვენებია 3,6 ნახაზზე. აბსცისათა ღერძზე ნაჩვენებია თბოგადაცემაში მოძრავი შემხვედრი ნაკადების სიჩქარეების ფარდობა. თბოგადამცემის გაზრდა, საერთო ხვედრითი ენერგიის ზრდას იწვევს.

ჩვენს მიერ ზემოთ განხილული თბური ტუმბოს ეფექტურობის სამი ძირითადი მახასიათებელი ენერგეტიკული, ეკოლოგიური და ეკონომიკური ერთმანეთში მჭიდრო კავშირშია, ერთმანეთის ავსებენ და ურთიერგანსაზღვრენ.



ნახ. 3.6 თბოგადამცემების ეფექტურობა 1 - მირჩილული თბოგადამცემები;
2 - მიკროარხული თბოგადამცემები.

იმისათვის, რომ შევაფასოთ გამოყენების ეფექტურობა გაზის ქვაბთან შედარებით, შიძლება ვისარგებლოთ შემდეგი დამოკიდებულებით: გაზსა და ელექტროენერგიის ფასების ფიქსირებული თანაფარდობის დროს არსებობს თბური ტუმბოს გარდაქმნის კოეფიციენტის (KOP) ისეთი მნიშვნელობა, რომლის მიღწევის დროსაც ექსპლუატაციაში თბური ტუმბო

უფრო იაფია ვიდრე გაზი, ეს სიდიდე დამოკიდებულია აგრეთვე გაზის თბოუნარიანობაზე, რომელზეც მუშაობს შესადარბელი გაზი, რადაგან ეს სიდიდე იცვლება უმნიშვნელოდ. შეფასებითი ანგარიშის წარმოების დროს შეგვიძლია მივიღოთ რომ იგი 1მ³ გაზისათვის 10 კვტ.სთ ტოლია.

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

$$g/eCOP \geq 10 \quad (3-5)$$

სადაც g/e არის 1მ³ გაზის და 1 კვტ.სთ ელექტროენერჯის თანაფარდობა.

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

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

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

ქვაბის 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 საჭირო თბურ ტუმბოში მიმდინარე ფიზიკური პროცესების განმსაზღვრელი პარამეტრების (წნევა და ტემპერატურა) ოპტიმიზაცია. საუკეთესო შედეგების მიღწევა შეიძლება გათბობის სისტემის თბომემცველის ტემპერატურის შემცირებით 30:35°C-მდე, რაც ადვილად მისაღწევია ახალ მშენებლობაზე, იატაკის გათბობის სისტემის მოწყობით.

არანაკლებ მნიშვნელოვანია თბური ტუმბოს კონსტრუქციული ელემენტების დახვეწა და გაუმჯობესება ერთ-ერთი მათგანი ჩვენ უკვე წარმოვადგინეთ ზემოთ თბოგადამცემის სახით გარდა ამისა თბური ტუმბოს უფრო მაღალი ეფექტურობის მიღების მიზნით რამოდენიმე მეთოდია ცნობილი;

- ელექტრონული დროსელების გამოყენება, მექანიკური დროსელის შეცვლა ელექტრონულით იძლევა წნევის უფრო ზუსტი უზრუნველყოფის საშუალებას და ერთი და იგივე რეჟიმების დროს 5-15%-ით მეტი სითბოს მიღებას უფრო მაღალ ეფექტურობით;

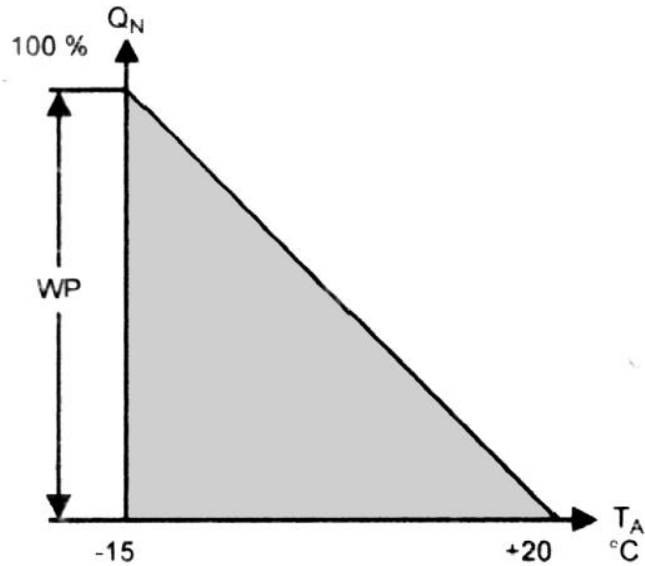
- კომპრესორების გამოყენება ოთრქლის დამატებითი გაფრქვევით. ასეთი კომპრესორების გამოყენება მოითხოვს თბური ტუმბოს კონტურში დამატებითი თბოგადამცემის ჩაყენებას, რომელშიც კონდენსატორიდან გამომავალი ფრეონის ნაკადი იყოფა და მისი ნაწილი უშუალოდ კომპრესორს მიეწოდება. ამ დროს მიიღწევა თბური ენერჯის გამომუშავების და შესაბამიად თბური გარდაქმნის 10-39%-ით მატება.

ასეთი ტიპის კომპრესორების გამოყენება ზრდის თბური ტუმბოს ფუნქციონირებისათვის საჭირო ტემპერატურულ დიაპაზონს. კერძოდ ჰაერი - წყლის თბური ტუმბოების გამოყენების დროს ჰაერის ტემპერატურა შეიძლება -20°C - მდე დაიწიოს ისე, რომ გათბობის სისტემაში თბოშემცველის ტემპერატურა იყოს $55-60^{\circ}\text{C}$, ხოლო პიკებში 65°C -ის ფარგლებში.

3.2. თბური ტუმბოს მუშაობის რეჟიმები

თბური ტუმბოს მუშაობის რეჟიმის და ნომინალური სიმძლავრის შერჩევა დამოკიდებულია როგორც დაბალპოტენციური სითბოს წყაროზე, ასევე შენობის გათბობის სისტემის სახეობაზე. საწყის ეტაპზე მნივწნელოვანია სწორედ განისაზღვროს თბური ტუმბოს მუშაობის შესაბამისი რეჟიმი და მისი სიმძლავრე. თბურტუმბოვანი გათბობის სისტემის ორი ძირითადი რეჟიმი არსებობს მონოვალენტური და ბივალენტური.

მონოვალენტურ რეჟიმში მუშაობის დროს თბური ტუმბო უზრუნველყოფს შენობის სრულ თბურ დატვირთვას გათბობასა და ცხელწყალმომარაგებაზე. ამ შემთხვევაში თბური ტუმბოს სიმძლავრე მეტი უნდა იყოს ვიდრე თბომომარაგების პიკური სიმძლავრეა (ნახ. 3.7). ამ დროს აუცილებელი პირობაა, რომ თბური ტუმბოს მიწოდების ტემპერატურა, გათბობის და ცხელწყალმომარაგების სისტემის ტემპერატურაზე მეტი იყოს.



ნახ. 3.7. თბური ტუმბოს მუშაობის მონოვალენტური რეჟიმი

WP – თბური ტუმბო; Q_N -თბური დატვირთვა; T_A -გარე ტემპერატურა.

თბური ტუმბოს მუშაობის ეს რეჟიმი განსაკუთრებით ახასიათებთ გრუნტისა და გრუნტის წყლის თბურ ტუმბოებს, რომლებიც სითბოს იღებენ სტაბილური ტემპერატურის დაბალპოტენციური წყაროებიდან, სითბოს სამრეწველო ნარჩენებიდან, ჩამდინარე წყლებიდან და სხვა. ამ რეჟიმში შეიძლება მუშაობდეს აგრეთვე ჰაერი - წყლის თბური ტუმბო თუ პირველადი წყაროს (გარე ჰაერის) ტემპერატურა $+ 5^{\circ} C$ და მეტია. მიუხედავად იმისა, რომ თბური ტუმბო ამ რეჟიმში სრულად აკმაყოფილებს შენობის თბომომარაგების პარამეტრებს, მას გააჩნია მოსაწყობად საჭირო, მაღალი საწყისი კაპიტალური ხარჯები.

მონოვალენტური რეჟიმის ნაირსახეობას წარმოადგენს თბური ტუმბოს მუშაობის მონოენერგეტიკული რეჟიმი. ამ დროს თბურ ტუმბოს დამატებით ჩაშენებული აქვს ელექტროგამხურებელი, რომელიც გათბობის სისტემის დამატებით კვების წყაროს წარმოადგენს. მისი ჩართვა გათბობის სისტემაში გარე ჰაერის დაბალი ტემპერატურის დროს ხდება, როდესაც თბური ტუმბო ვერ აკმაყოფილებს შენობის თბური დატვირთვისთვის მოთხოვნილებას გათბობასა და ცხელწყალმომარაგებაზე.

ბივალენტური რეჟიმი გულისხმობს თბური ტუმბოს მუშაობას სხვა, რომელიმე თბოგენერატორთან (გაზის, თხევადი ან მყარი სათბობის ან ელექტროქვაბი და სხვ). ასეთი რეჟიმის გამოყენება გაპირობებულია გათბობის სისტემაში უფრო მაღალი ტემპერატურის თბომომცველის მიწოდების საჭიროებით, გარე ჰაერის დაბალი ტემპერატურების დროს. გათბობის სისტემის პიკური (საანგარიშო) დატვირთვა იანგარიშება გათბობის სეზონში ყველაზე ცივი ხუთდღიურის მიხედვით. სინამდვილეში ასეთი ცივი ტემპერატურები ხშირად და ხანგრძლივად არ გვხვდება. გათბობის სეზონის განმავლობაში ასეთი პირობები მთელი სეზონის ხანგრძლივობის 20 – 40% - შეადგენს.

თბური ტუმბოს მუშაობის ბივალენტური რეჟიმი გამოიყენება გათბობის სისტემებში, რომელთა ტემპერატურა 60 ° C მეტია.

გათბობის სისტემაში მეორე გენერატორის ჩართვა ხდება როდესაც გარე ჰაერი ცივდება ბივალენტურობის წერტილამდე (ტემპერატურამდე). ეს კი ის მინიმალური ტემპერატურაა, რომლის ქვევით თბური ტუმბო შენობის თბურ მოთხოვნილებას ვერ აკმაყოფილებს და საჭირო ხდება კვების დამატებითი წყაროს ჩართვა. ბივალენტობის წერტილი განისაზღვრება ქვემოთ ცხრილში მოყვანილი გარე ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურების მიხედვით.

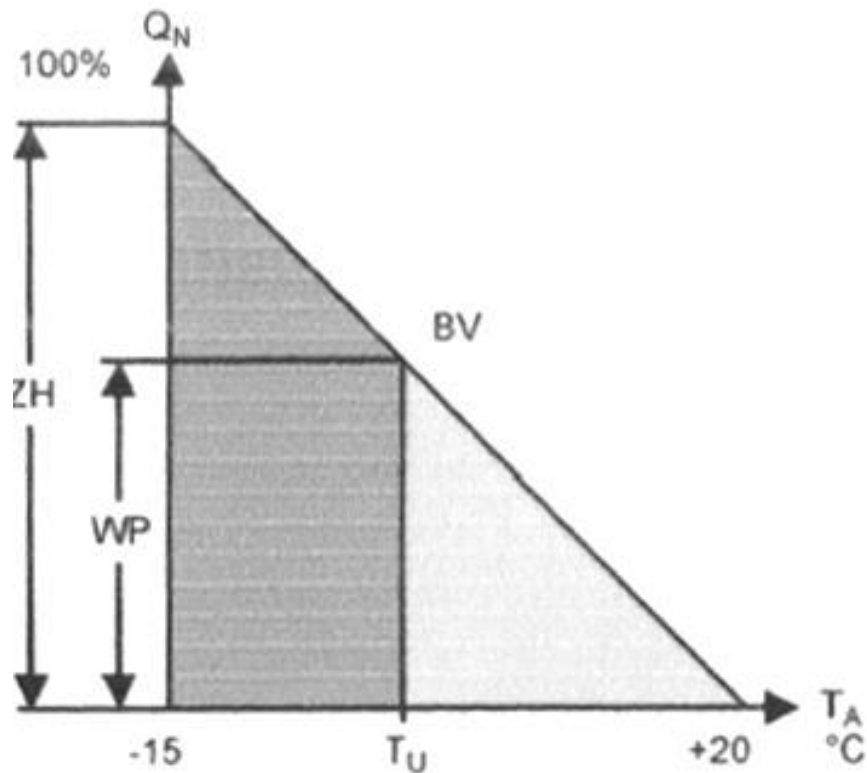
ცხრ.3.3

გარე ჰაერის ტემპერატურა	ბივალენტობის წერტილი
-16 ° C	- 4° C – 7° C
- 12° C	- 3° C – 6 ° C
-10 ° C	- 2° C - 5° C

თბური ტუმბოს მიერ შენობის თბური მოთხოვნილების დაკმაყოფილება ძალიან დაბალი ტემპერატურის დროსაც არის შესაძლებელი მაგრამ ამ დროს გარდაქმნის დაბალი კოეფიციენტების გამო დიდი სიმძლავრეებია საჭირო, რაც ეკონომიკურად გაუმართლებელია.

თბური ტუმბოს მუშაობის ბივალენტური რეჟიმი თავისთავად 3 ჯგუფად იყოფა: ბივალენტურ-ალტერნატიული, ბივალენტურ-პარალელური და ბივალენტურ- კომბინირებული.

ბივალენტურ- ალტერნატიული რეჟიმის დროს ნახ. 3.7. გათბობის სისტემაში თბური ტუმბოს გარდა გამოიყენება სხვა თბოგენერატორი. ამ დროს თბური ტუმბო უზრუნველყოფს გათბობის სისტემის თბური მოთხოვნილების სრულ დაკმაყოფილებას ვიდრე შენობის თბური დატვირთვა არ მიაღწევს ბივალენტობის წერტილს. ამის შემდეგ თბური ტუმბო გამოირთვება და მთელ დატვირთვას უზრუნველყოფს დამხმარე თბოგენერატორი.



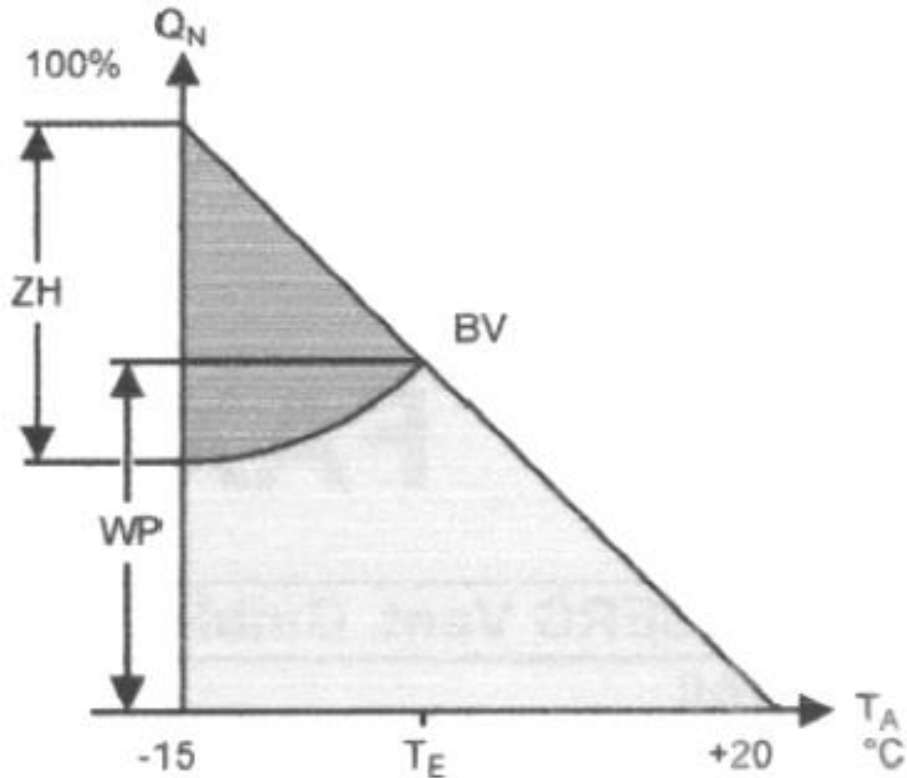
ნახ. 3.8. თბური ტუმბოს მუშაობის ბივალენტურ-ალტერნატიული რეჟიმი

BV-ბივალენტობის წერტილი; WP - თბური ტუმბო;

ZH-დამატებითი თბოგენერატორი; Q_N - თბური დატვირთვა;

T_U-გადართვის წერტილი; T_A - გარე ტემპერატურა

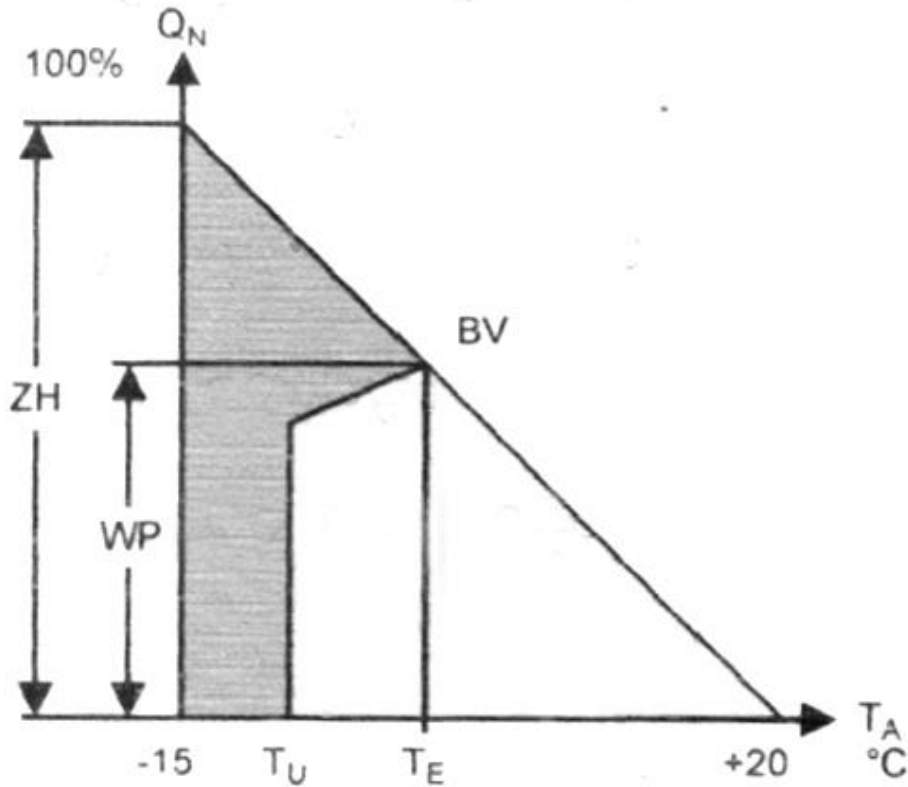
დამატებითი თბოგენერატორის შერჩევა მაქსიმალური ანუ საანგარიშო თბური დატვირთვის მიხედვით ხდება. მუშაობის ასეთი რეჟიმი ძირითადად გამოიყენება მაშინ, როდესაც დამატებით თბოგენერატორად გამოიყენება მყარი სათბობის ქვაბი ან ღუმელი, წყლის პერანგით.



ნახ. 3.9. თბური ტუმბოს მუშაობის ბივალენტურ-პარალელური და მონოენერგეტიკული რეჟიმები
 BV-ბივალენტობის წერტილი; WP- თბური ტუმბო;
 ZH-დამატებითი თბოგენერატორი; Q_N - თბური დატვირთვა;
 T_E -ჩართვა; T_A -გარე ტემპერატურა

ბივალენტურ - პარალელური რეჟიმის დროს (ნახ. 3.9.) თბური ტუმბო ისევე როგორც წინა შემთხვევაში სრულად აკმაყოფილებს შენობის თბურ დატვირთვას ბივალენტობის წერტილამდე, ხოლო ბივალენტობის წერტილის მიღწევის შემდეგ იგი განსხვავებით წინა შემთხვევისა კი არ გამოირთვება განაგრძობს დამატებით თბოგენერატორთან ერთად პარალელურ რეჟიმში მუშაობას. ასეთ რეჟიმში მუშაობის დროს დამატებითი თბოგენერატორის დანიშნულება უზრუნველყოს შენობის თბური დატვირთვა ბივალენტობის წერტილის მიღწევის შემდეგ. დამატებითი თბოგენერატორის სიმძლავრე შეირჩევა იმ ვარაუდით, რომ უზრუნველყოს საანგარიშო სითბოს ნაკლებობის დაფარვა, ხოლო თბური ტუმბო შეირჩევა ბივალენტობის წერტილამდე საჭირო სიმძლავრისათვის.

კომბინირებულ - ბივალენტურ რეჟიმში მუშაობის დროს (ნახ. 3. 10) თბური ტუმბო ითავსებს წინა ორი რეჟიმის მახასიათებლებს. ბივალენტობის წერტილის მიღწევის შემდეგ თბური ტუმბო კი არ გამოირთვება არამედ განაგრძობს მუშაობას დამხმარე თბოგენერატორთან ერთად ჰაერის შესაძლო მინიმალურ ტემპერატურამდე. მუშაობის ასეთი რეჟიმი ძირითადად ჰაერ - წყლის თბური ტუმბოებს ახასიათებთ.



ნახ. 3. 10. დაბალი უარყოფითი ტემპერატურის დროს თბური ტუმბოს მწარმოებლობა

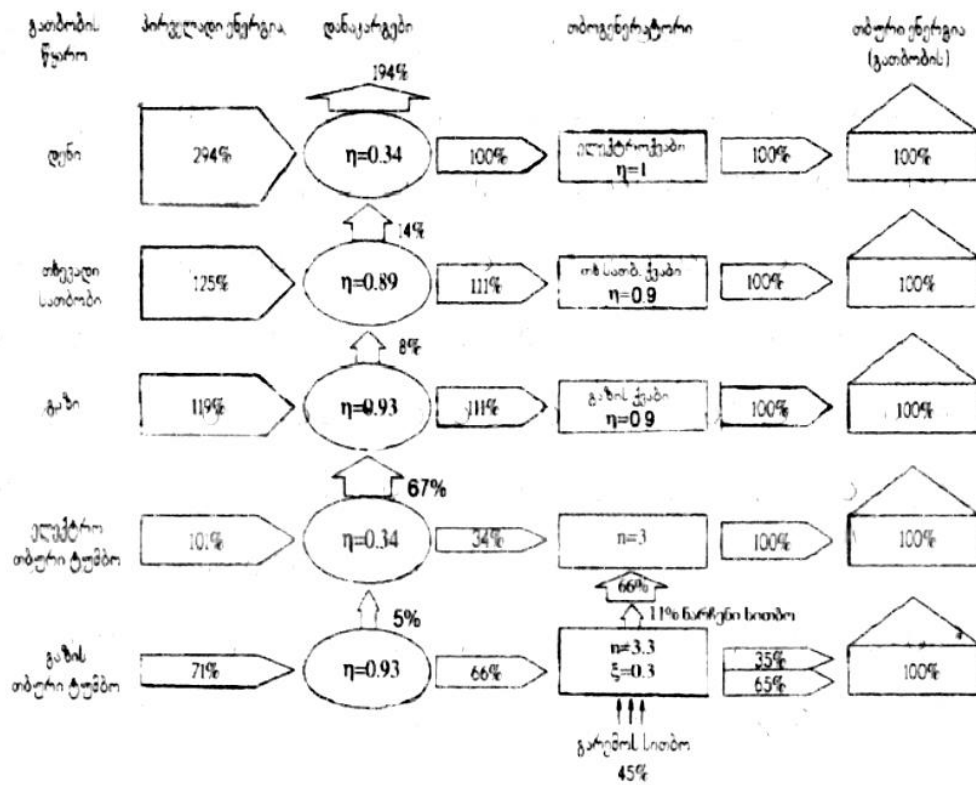
დაბალი უარყოფითი ტემპერატურის დროს თბური ტუმბოს მწარმოებლობა მნიშვნელოვნად მცირდება და მისი გამოყენების მიზანშეწონილობა კლებულობს. ამ დროს კომპრესორს უკვე აღარ შეუძლია სითბოს მიწოდება. დამატებითი თბოგენერატორის სიმძლავრე ანალოგიურად ალტერნატიულ-ბივალენტური რეჟიმისა პიკური თბური დატვირთვის დასაკმაყოფილებლად შეირჩევა.

თავი IV. თბურ ტუმბოვანი გათბობის სისტემების დაპროექტების თავისებურებები და სამონტაჟო რეკომენდაციები

ზოგადად შენობათა საინჟინრო სისტემების და მათ შორის გათბობის, ვენტილაციის ჰაერის კონდიციონირების და ცხელი წყალმომარაგების სისტემების დაპროექტება შენობათა არქიტექტურულ - სამშენებლო პროექტირებასთან ერთად იწყება. შენობათა საინჟინრო სისტემებით აღჭურვა ქალაქების და დასახლებული რაიონების განვითარების გენგეგმით განისაზღვრება.

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 ენერჯია. გარემოს თბური ენერჯიის 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 ენერჯიის პირველად წყაროდ ელექტროენერჯიაც გამოიყენება.

გათბობის სისტემების სხვადასხვა სახის თბურ გენერატორებში გამოყენებული პირველადი ენერჯიის მიხედვით მათი ურთიერთშედარება წარმოდგენილია 4.1. ნახაზზე.



ნახ. 4.1. გათბობის სისტემებში გამოყენებული პირველადი ენერჯიის ურთიერშედარება

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

სწორად დაპროექტებული და დამონტაჟებული თბური ტუმბო სხვა სახის თბურ წყაროებთან შედარებით მნიშვნელოვან ეკონომიკურ მახასიათებლებს აღწევს. ეკონომიკურობის დონე გათბობის სხვადასხვა სისტემისათვის განისაზღვრება მათი სახით, ექსპლუატაციის წესით და

თბური წყაროს მიერ გამოიმუშავებული თბური ენერჯის ერთეული კვტ - ის ღირებულებით.

სამოქალაქო სექტორში ენერგომოთხოვნილების სამაგალითო დაყოფა ნაჩვენებია 4.1. ცხრილში.

ენერჯის მოხმარება სამოქალაქო სექტორში

ცხრ. 4.1

დასახელება		დაყოფა	სულ
გათბობა		62%	სითბოს მოხმარება 87%
ცხელი წყალი		25%	
დანარჩენი	მაცივარი	6%	საყოფაცხოვრებო ხელსაწყოების მოხმარება 13%
	სარეცხი მანქანა, უთო	1,5%	
	საჭმლის მომზადება	3%	
	განათება	1,5%	
	სხვა	1%	

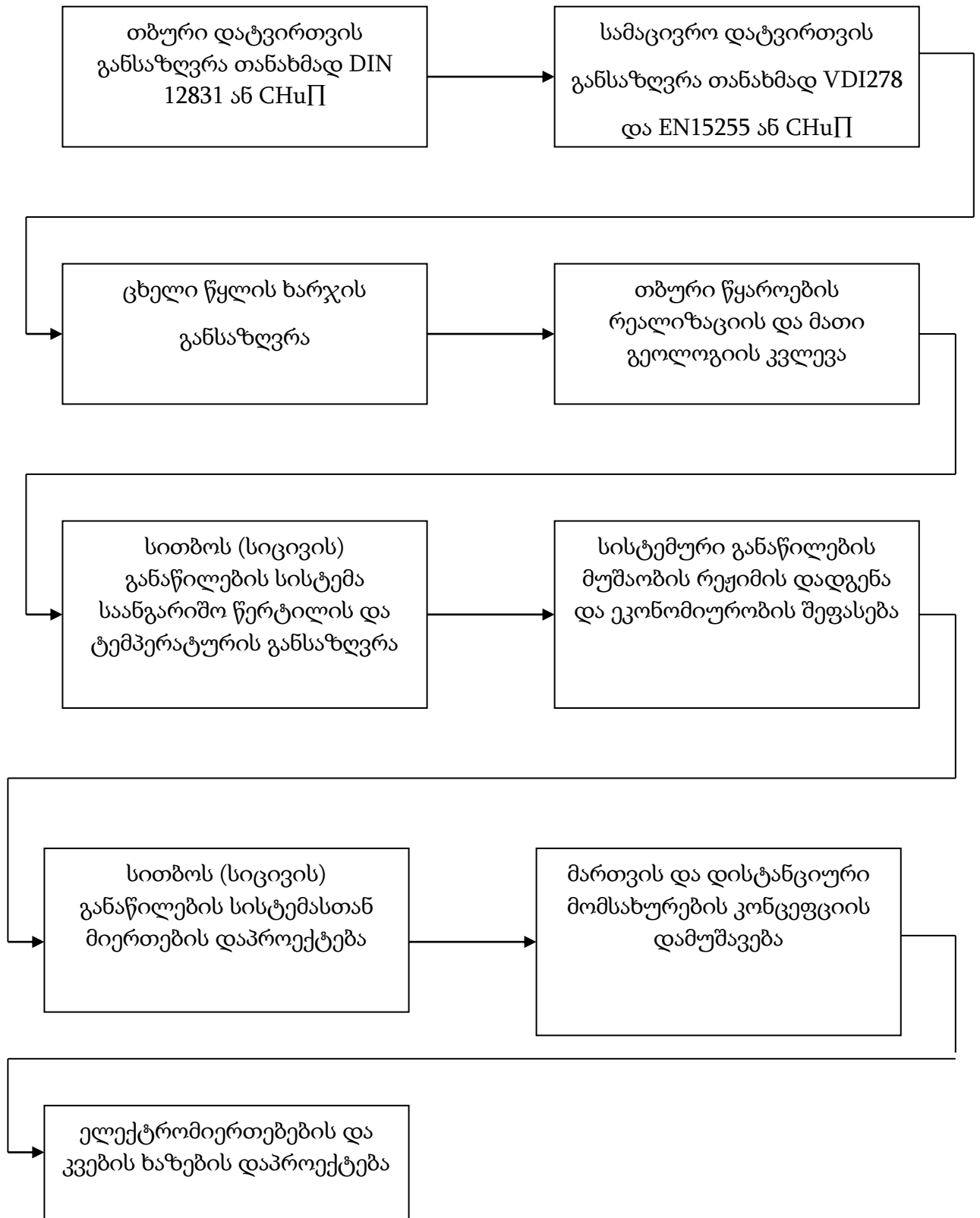
როგორც ამ ცხრილიდან ჩანს საყოფაცხოვრებო სექტორში ყველაზე დიდი წილი ენერჯის მოხმარებისა - 87% მოდის გათბობისა და ცხელი წყალმომარაგების სისტემაზე. სწორედ ამ სისტემების ეკონომიურობა განსაზღვრავს სახლში ენერგოდანახარჯების მნიშვნელოვან შემცირებას.

მას შემდეგ, რაც გადაწყვეტილი იქნა თუ სითბოს რომელ პირველად წყაროს ვიყენებთ შენობის გასათბობად ვიწყებთ გათბობის და ცხელი წყალმომარაგების კონკრეტული სისტემის დაპროექტებას. დაპროექტების წესები და ნორმები, რომელიც ჩვენთვის ცნობილია ძირითადად ეხება წიაღისეულ სათბობზე მომუშავე თბოგენერატორებს და მათზე მიერთებულ გათბობის ტრადიციულ სისტემებს.

რაც შეეხება თბოგენერატორებად თბური ტუმბოების გამოყენებას ჩვენს ლიტერატურაში მათი დაპროექტების მეთოდები ნაკლებადაა წარმოდგენილი. ამიტომ თბურტუმბოვანი გათბობის სისტემების

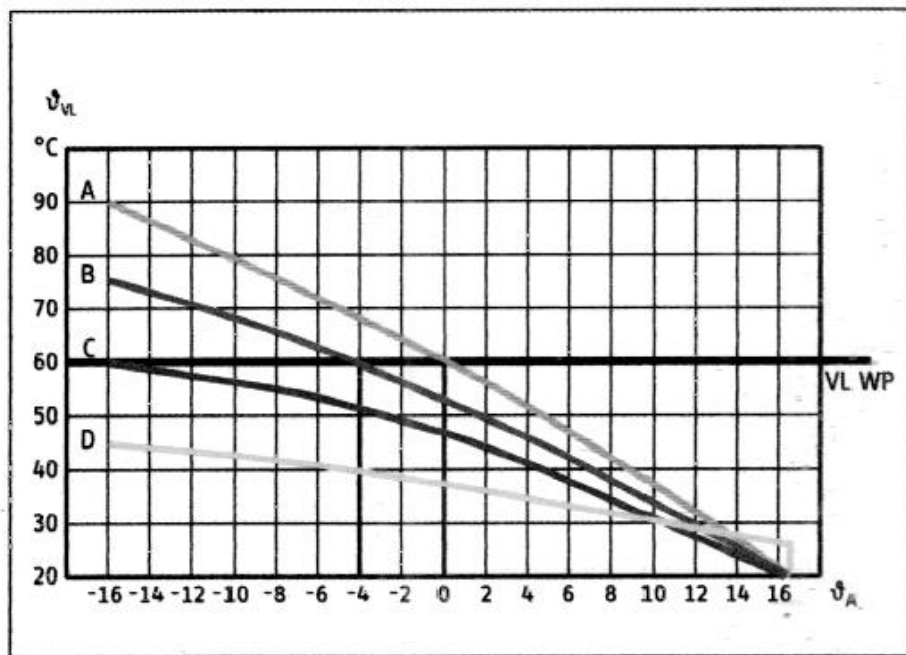
დაპროექტების მეთოდის დამუშავება მნიშვნელოვანია პრაქტიკაში ამ სისტემების დანერგვის თვალსაზრისით.

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 ტემპერატურული 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 ნაჩვენებია 4.2. ნახაზზე.

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



ნახ. 4.2.. თბური ტუმბოს მუშაობის ტემპერატურული რეჟიმები

VL WP - გარე ჰაერის ტემპერატურა

t_{VL} - გათბობის სისტემის მისაწოდებელი ტემპერატურა

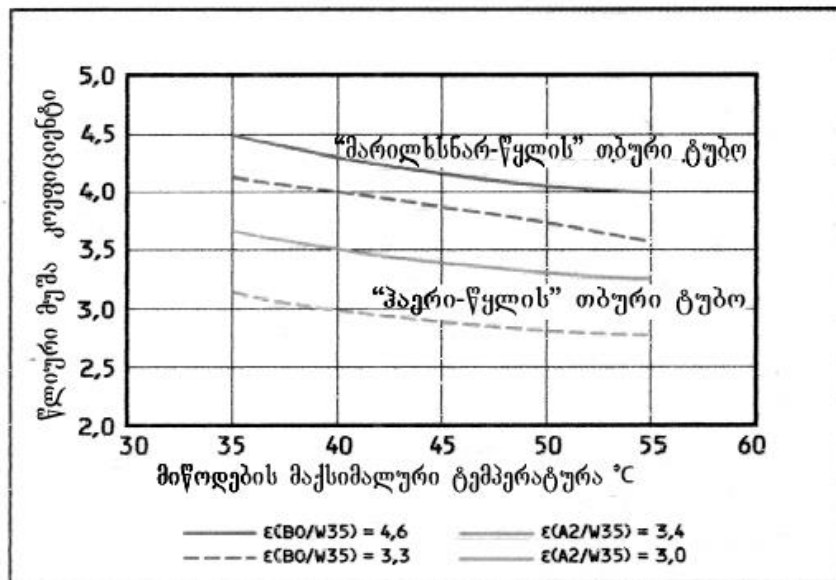
t_A - თბური ტუმბოს მიწოდების ტემპერატურა

მრუდი B გვიჩვენებს, რომ როდესაც მიწოდების ტემპერატურა 75°C - ია ბივალენტობის ტემპერატურა 4°C - ია ანუ ამ დროს საჭირო ხდება

დამატებითი თბოგენერატორის ჩართვა. მრუდი C: მიწოდების ტემპერატურა 60°C - ს არ აღემატება, ამ დრომ თბური ტუმბოს მუშაობის რეჟიმი მონოვალენტურია. მრუდი D: აქაც მიწოდების ტემპერატურა 60°C ნაკლებია, რაც თბური ტუმბოს მონოვალენტურ რეჟიმში მუშაობას განაპირობებს.

ზემოთ განხილული შემთხვევებიდან გამომდინარე დაპროექტების სტადიაზე საჭიროა შემდეგი აუცილებელი წესის დაცვა:

რაც დაბალია გათბობის სისტემაში მიწოდების ტემპერატურა მით მეტია თბური ტუმბოს სიმძლავრის კოეფიციენტი. გათბობის სისტემები, რომელთა მიწოდების ტემპერატურა 60°C მეტია უნდა დაპროექტდეს ბივალენტურ რეჟიმში მუშაობით. უფრო დაბალი ტემპერატურების დროს კი გათბობის სისტემის ექსპლუატაცია მონოვალენტურ რეჟიმშია შესაძლებელი. თბური დატვირთვის დაფარვის ხარისხი და წლიური მუშა კოეფიციენტი თბურტუმბოვანი სისტემებისათვის (ნახ, 4.3.) დამოკიდებულია არა მარტო შენობის თბურ დატვირთვაზე არამედ სისტემაში წყლის მიწოდების ტემპერატურაზეც.



ნახ. 4.3. თბური ტუმბოს წლიური მუშა და სიმძლავრის კოეფიციენტები

როგორც ამ ნახაზიდან ჩანს რაც, უფრო დაბალია გათბობის სისტემაში მისაწოდებელი წყლის ტემპერატურა მით მაღალია თბური

ტუმბოს წლიური მუშა კოეფიციენტი. ამიტომაც ახალი შენობების დაპროექტების ან გათბობის სისტემების მოდერნიზაციის დროს მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნას დაბალტემპერატურული გათბობის სისტემები ე.წ. პანელური გათბობის სისტემები. იატაკის, ჭერის ან კედლის, სათბობი პანელები გათვლილ უნდა იქნას 35 - 25⁰ C ტემპერატურული სხვაობით.

გარდა პანელური გათბობისა დაბალტემპერატურული გათბობის დროს სათბობ ხელსაწყოებად მიზანშეწონილია შემბერი ვენტილატორული კონვექტორების გამოყენება.

დაპროექტების შემდეგ ეტაპზე უნდა განისაზღვროს თბური ტუმბოა საექსპლუატაციო მუშაობის რეჟიმი, მონოვალენტური, ბივალენტური, შერეული და დადგენილ იქნას ბივალენტობის წერტილი ანუ ის ტემპერატურა, როდესაც გათბობის სისტემაში უნდა ჩაერთოს დამატებითი თბოგენერატორი. თბური ტუმბოს საექსპლუატაციო მუშა რეჟიმები განხილური გვაქვს მე-3 თავში.

4.1. თბური ტუმბოს შერჩევა და მისი პარამეტრების ანგარიში

4.1.1. გათბობის არსებული სისტემის პარამეტრების ანგარიში თბური ტუმბოებით თბომომარაგების მოდერნიზაციის დროს

თბური ტუმბოს შერჩევის დროს საჭიროა მისი ძირითადი მუშა პარამეტრების განსაზღვრა. ეს პარამეტრებია თბური დატვირთვა, ანუ სითბოს ის რაოდენობა, რომელიც თბურმა ტუმბოს 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) საქვაბე, რომელიც გათვლილია წიაღისეულ სათბობზე (გაზი ან თხევადი საწვავი) 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 საფუძველზე, ხვედრითი სითბოს მოთხოვნების იხედვით.

$$Q_{saang} = \frac{Tx.saTb.xa \text{ [n/wel]}}{250[d/wel \cdot kvt]} kvt \quad (4.1.)$$

$$Q_{saang} = \frac{bin.gazis \text{ xarji[m}^3\text{/wel]}}{250[m^3/wel \cdot kvt]} kvt \quad (4.2)$$

ხვედრითი თბური დატვირთვის სიდიდეები 1980-1994 წლებში აშენებული შენობებისათვის შეადგენს 80 ვტ/მ², ხოლო 1980 წლამდე აშენებულ შენობებში, სადაც არ არის გათვალისწინებული დამატებითი თბოიზოლაცია ეს სიდიდე 100 – 120 ვტ/მ² - ის ტოლია. თუ ამ შენობებს აღვჭურავთ თბური ტუმბოებით აუცილებელია მოხდეს შენობის სამშენებლო კონსტრუქციების და მთლიანად შენობის თბოფიზიკური მახასიათებლების გადამოწმება. შენობის თბური დატვირთვების განსაზღვრისას შეგვიძლია ვისარგებლოთ აგრეთვე გათბობის თბური კუთრი მახასიათებლების ცნებითაც. თბური დატვირთვის შეფასებითი ანგარიშების დროს შესაძლებელია ეს სიდიდე მნიშვნელოვნად განსხვავდებოდეს სტანდარტულისაგან.

გაზის ან თხევადი სათბობის უმეტეს საქვაბებში ქვაბის თერმოსტატი დარეგულირებულია 70 ± 75 °C - ზე. საბჭოთა პერიოდის გათბობის სისტემებში ეს ტემპერატურა მინიმუმ 95 °C - ით განისაზღვრებოდა. ასეთი მაღალი ტემპერატურები გაპირობებულია მხოლოდ ცხელი წყალმომარაგების მოთხოვნებით. გათბობის სისტემაში მოწყობილი მარეგულირებელი მოწყობილობა შემრევი და თერმოსტატიკური სარქველების სახით გამორიცხავს შენობის გადახურებას. გათბობის სისტემაში ქვაბის თბური ტუმბოთი შეცვლის

შემთხვევაში აუცილებელია მისაწოდებელი და უკუ წყლის რეალური საჭირო ტემპერატურების განსაზღვრა, რათა სწორად მოვახდინოთ სარეკონსტრუქციო ღონისძიებები.

მიმწოდებელი და უკუწყლის ტემპერატურების განსაზღვრის ორი მეთოდი არსებობს:

1.თბური დატვირთვის ანგარიში, როდესაც ცნობილია ცალკეული სათავსების თბური დატვირთვები.

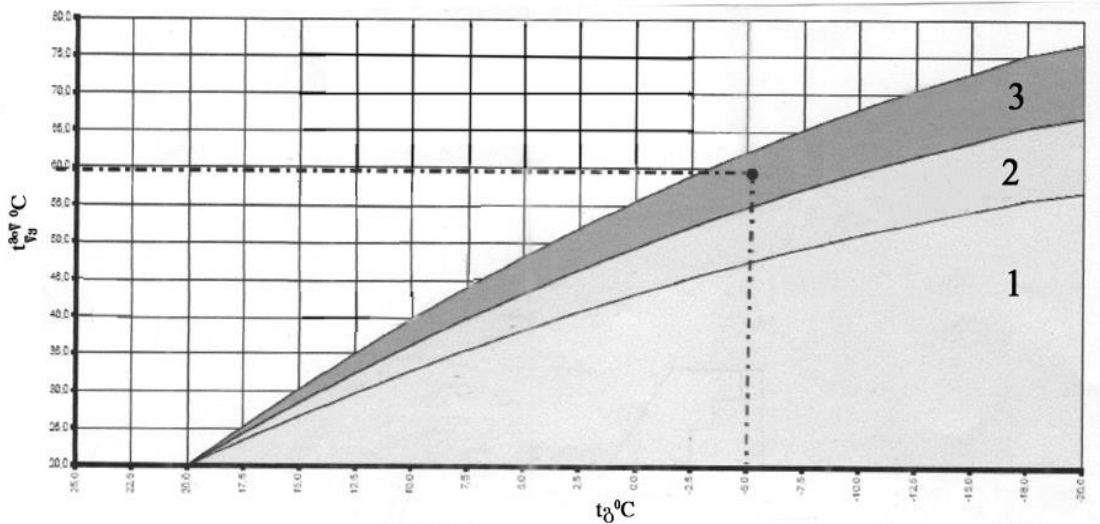
სათბობი რადიატორების სიმძლავრეების ცხრილებში (ცხრ. 4.2) ნაჩვენებია რადიატორის სიმძლავრე მისაწოდებელი და უკუწყლის საშუალო ტემპერატურების დროს. სათავსო რომლისთვისაც მაქსიმალური ტემპერატურაა საჭირო ითვლება გათბობის სისტემაში მისაწოდებელი წყლის მაქსიმალური ტემპერატურის განმსაზღვრელად.

ცხ. 4.2.

თუჯის რადიატორები										
სიმაღლე	მმ	980			580			430		280
სიგანე	მმ	70	160	220	110	160	220	160	220	250
ცალკეული	50°C	45	83	106	37	51	66	38	50	37
სექციის	60°C	67	120	153	54	74	97	55	71	55
სიმძლავრე	70°C	90	162	206	74	99	129	75	96	74
ვტ. წყლის საშ. ტემპ. დროს	80°C	111	204	260	92	126	162	93	122	92
ფოლადის რადიატორები										
სიმაღლე	მმ	1000			600			450		300
სიგანე	მმ	110	160	220	110	160	220	160	220	250
ცალკეული	50°C	50	64	84	30	41	52	30	41	32
სექციის	60°C	71	95	120	42	58	75	44	58	45
სიმძლავრე	70°C	96	127	162	58	77	102	59	77	61
ვტ. წყლის საშ. ტემპ. დროს	80°C	122	157	204	73	99	128	74	99	77

2) წყლის ტემპერატურის განსაზღვრა გათბობის პერიოდში.

გათბობის პერიოდის განმავლობაში თერმოსტატ - ვენტილის სარქელის სრულად გაღების შემთხვევაში მისაწოდებელი და უკუ წყლის ტემპერატურები მცირდება ვიდრე სათავსში არ დამყარდება 20 – 22 °C. სათავსში სასურველი ტემპერატურს მიღწევისას მიმწოდებელი და უკუწყლის, აგრეთვე გარე ჰაერის ტემპერატურები ჩაინიშნება და დაიტანება დიაგრამაზე (ნახ. 4.4.). ამ დიაგრამის დახმარებით დატანილი მნიშვნელობებიდან შეიძლება გამოთვლილ იქნას რეალურად საჭირო ტემპერატურული (მინიმალური, საშუალო, მაქსიმალური) მნიშვნელობები.



ნახ. 4.4. გათბობის სისტემის წყლის საჭირო ტემპერატურების ექსპერიმენტული განსაზღვრის დიაგრამა
1— $t_{air} < 55^{\circ}\text{C}$; 2— $t_{air} = 55-65^{\circ}\text{C}$; 3- $t_{air} = 65-75^{\circ}\text{C}$

თბომომარაგების არსებული სისტემების თბური ტუმბოებით მოდერნიზაციის დროს დაპროექტების სტადიაზე საჭირო მათი ენერგოდამზოგ რეჟიმში მუშაობის ღონისძიებების დასახვა.

დაბალი ტემპერატურა. მიმწოდებელი კონტურის ტუმპერატურა ყველა სათავსისათვის მაქსიმუმ 55 °C - ია. ამ დროს არავითარი დამატებითი ღონისძიება საჭირო არაა და შეიძლება გამოყენებულ იქნას ნებისმიერი დაბალტემპერატურული თბური ტუმბო.

საშუალო ტემპერატურა. მიმწოდებელი კონტურის ტემპერატურა ზოგ სათავსში აჭარბებს 55°C. ამ შემთხვევაში მიმწოდებელი კონტურის ტემპერატურის დასაწევად მხოლოდ ამ სათავსებში საჭიროა რადიატორების შეცვლა იმისათვის, რომ გამოვიყენოთ დაბალტემპერატორული თბური ტუმბო.

იმ შემთხვევაში თუ ყველა სათავსში მიმწოდებელი კონტურის ტემპერატურა აჭარბებს 55°C და საჭიროა ამ ტემპერატურის 55 - 65°C ფარგლებში დაჭერა აუცილებელია რადიატორების შეცვლა ყველა სათავსში ან მაღალტემპერატორული თბური ტუმბოს გამოყენება.

მაღალი ტემპერატურა. მიმწოდებელი კონტურის ტემპერატორული დიაპაზონი თითქმის ყველა სათავსში მერყეობს 65 ÷ 75°C ფარგლებში. ამ დროს საჭიროა გათბობის მთელი სისტემის ხელმეორედ გამართვა და დარეგულირება. თუ ეს შეუძლებელია საჭიროა მაღალტემპერატორული თბური ტუმბოს გამოყენება.

თბომომარაგების სისტემის თბური ტუმბოთი მოდერნიზაციის დროს საჭიროა სისტემის თბური დატვირთვის შემცირება:

- ფარჯრების შეცვლით
- სავენტელაციო დანადგარების შემცირებით
- სართულშუა გადახურვების, ფასადების და ა. შ. დათბუნებით.

ასეთი ღონისძიებების გატარების შემთხვევაში გათბობის სისტემის თბური ტუმბოებით აღჭურვა იძლევა ეკონომიას ოთხი სხვადასხვა გზით:

ა) თბური დატვირთვების შემცირების ხარჯზე გამოყენებული იქნება უფრო მცირე ზომის და შესაბამისად უფრო მცირე ღირებულების თბური ტუმბო.

ბ) მცირე თბური დატვირთვა იძლევა წლიური თბური ენერჯის შემცირების შესაძლებლობას, რომელიც მთლიანად თბური ტუმბოთი იქნება დაფარული.

გ) სითბოს შემცირებული მოთხოვნილება იძლევა მიმწოდებელი კონტურის დაბალი ტემპერატურის დროს სისტემის თბური ენერჯით უზრუნველყოფის საშუალებას.

დ) ხარისხიანი თბოიზოლაცია ზრდის შემომზადებული კონსტრუქციების საერთო ზედაპირულ ტემპერატურას. ეს კი სათავსში დაბალი ტემპერატურის დროს სასურველი კომფორტის მიღწევის საშუალებას იძლევა.

თბომომარაგების სისტემის მოდერნიზაციის დროს უკვე აშენებულ სახლებში უკვე გაშენებული ბალებით გრუნტის კოლექტორების, გეოზონდების, გრუნტის წყლის ვერტიკალური ადების გამოყენება ძალიან იშვიათადაა შესაძლებელი. ამ შემთხვევაში სითბოს მიღწევად ერთადერთ წყაროს ჰაერი წარმოადგენს. გარდა ამისა ჰაერი ყველგან მიღწევადია და მის გამოსაყენებლად არავითარი ნებართვა არ არის საჭირო. მათი წლიური გამოყენების კოეფიციენტი უფრო დაბალია ვიდრე გეოთერმული თბური ტუმბოების, სამაგიეროდ იაფია რადგანაც მცირდება სისტემის სითბოს წყაროსთან მიერთების ხარჯები.

4.1.2. თბური ტუმბოები ახლად აშენებულ შენობებში

შენობის 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. 4.3)

თბური დატვირთვა = გასათბობი ფართი X სპეც. თბური დატვირთვა

$$[კვტ]=[მ^2] \cdot [კვტ/მ^2]$$

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

შენობების ხვედრითი თბური დატვირთვა ცხრ. 4.3.

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

	შემდეგ აშენებული სახლები)
$q = 0,12 \text{ კვტ/მ}^2$	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 $1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ - ით შემცირება ელექტროენერგიის 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.

გადაწყვეტილება იმის შესახებ თუ რომელი თბური ტუმბო შევირჩიოთ ჰაერის თუ გეოთერმული (გრუნტის კოლექტორი, ზონდი, წყალი) უნდა მივიღოთ შემდეგი ორი პირობის მიხედვით:

ა) დანახარჯები მოწყობილობის შეძენასა და დაყენებაზე. ამ შემთხვევაში გათბობის სისტემისა და თბური ტუმბოს შეძენის ხარჯებს ემატება თბური წყაროდან თბურ ტუმბომდე ენერგიის ტრანსპორტირების კაპიტალური ხარჯები.

ბ) საექსპლუატაციო დანახარჯები. ამ დანახარჯებზე გადამწყვეტი გავლენა შეიძლება იქონიოს მოსალოდნელ თბურტუმბოვანი დანადგარის წლიური მუშა კოეფიციენტის სიდიდემ.

ეს ორი მაჩვენებელი ძირითადად დამოკიდებულია ისეთ ფაქტორებზე, როგორცაა თბური ტუმბოს ტიპი, თბური წყაროს საშუალო ტემპერატურა და გათბობის სისტემის მიმწოდებელი კონტურის საჭირო ტემპერატურა.

ცხელი წყალმომარაგებისათვის თბური დატვირთვა განისაზღვრება $80 - 100 \text{ ლ წყლის რაოდენობით დღედამეში ერთ ადამიანზე } 45^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურის პირობებისათვის. ამ შემთხვევაში თბური სიმძლავრე აიღება $0,2 \text{ კვტ}$ ერთ ადამიანზე. იმ შემთხვევაში თუ გათბობა და ცხელი

წყალმომარაგება სხვადასხვა თბური ტუმბოებით ხორციელდება, მაშინ ამ ორი სახის თბური დატვირთვის დაჯამება საჭირო არაა. იმ შემთხვევაში თუ გათბობისა და ცხელი წყლის სისტემების თბური ენერგიით უზრუნველყოფა ერთი თბური ტუმბოთი ხორციელდება, მაშინ საანგარიშო თბური დატვირთვა ამ ორი დატვირთვის ჯამის ტოლია.

ცხელ წყალმომარაგების სისტემაში საჭირო სარეცირკულაციო მილსადენი ზრდის თბურ დატვირთვას და იგი დამოკიდებულია სარეცირკულაციო მილსადენის სიგრძესა და მისი თბოიზოლაციის ხარისხზე. იმ შემთხვევაში თუ დიდი განფენილობის სარეცირკულაციო მილსადენის ამოგდება არ ხერხდება საჭიროა ამ მილსადენზე საცირკულაციო ტუმბოს დაყენება.

EnEV წესების თანახმად გასათბობ ზონაში ხვ. თბური დატვირთვა რეცირკულაციის შემთხვევაში ორჯერ იზრდება და იგი ტოლია

- რეცირკულაციის შემთხვევაში 9, 8 [კვტ. სთ/მ² წელ]
- რეცირკულაციის გარეშე 4,2 [კვტ. სთ/მ² წელ]

საცურაო აუზში წყლის გასაცხელებლად საჭირო თბური დატვირთვა დამოკიდებულია აუზის სახეზე.

ღია საცურაო აუზების შემთხვევაში თბური დატვირთვები განისაზღვრება ინდივიდუალური მოთხოვნების საფუძველზე. საცურაო აუზის თბური დატვირთვა გათბობაზე სახლის თბურ დატვირთვასაც შეიძლება უტოლდებოდეს. ამ დროს მისი ცალკე ანგარიშია საჭირო. თუ აუზის წყლის გათბობა დროგამოშვებით წარმოებს ზაფხულში (ამ დროს გათბობის სისტემა გამორთულია) მაშინ გარკვეული პირობების დროს იგი არ გაითვალისწინება.

ღია საცურაო აუზის თბური დატვირთვა დამოკიდებულია აუზის ტემპერატურაზე, ქარის მიმართულებაზე, კლიმატურ პირობებზე, გამოყენების დროსა და აუზის ზედაპირის დაფარვაზე.

თბური დატვირთვის სიდიდეები ღია აუზის შემთხვევაში ნაჩვენებია 4.4. ცხრილში.

ღია აუზის საორიენტაციო თბური დატვირთვები მათი მაისიდან -
სექტემბრის ჩათვლით ექსპლუატაციის პირობებში

ცხ 4.4.

აუზის ტიპი	წყლის ტემპერატურა		
	20 °C	24 °C	28 °C
დაფარვით	100 ვტ/მ ²	150 ვტ/მ ²	200 ვტ/მ ²
დაფარვის გარეშე ქარისაგან დაცული	200 ვტ/მ ²	400 ვტ/მ ²	600 ვტ/მ ²
დაფარვის გარეშე ქარისაგან ნაწილობრივ დაცული	300 ვტ/მ ²	500 ვტ/მ ²	700 ვტ/მ ²
დაფარვის გარეშე ქარის ზემოქმედების ქვეშ	400 ვტ/მ ²	800 ვტ/მ ²	1000 ვტ/მ ²

საცურაო აუზის პირველადი შეთბობის დროს სითბოს ხარჯი, წყლის 20 °C- მდე შეთბობისათვის აიღება 12 კვტ. სთ მ³ აუზის ერთ მ³ - ზე. აღსანიშნავია ისიც, რომ აუზის წყლის შეთბობას მისი მოცულობის მიხედვით ერთიდან სამ დღემდე ჭირდება.

დახურული საცურაო აუზის შემთხვევაში თბური ენერგია ესაჭიროება როგორც შენობის ასევე აუზის წყლის გათბობას.

შენობის გათბობა უნდა განხორციელდეს ან რადიატორული გათბობის სისტემით ან იატაკის გათბობით.

აუზის წყლის გასათბობად საჭირო თბური დატვირთვა დამოკიდებულია აუზის წყლის და სათავსის ჰაერის ტემპერატურაზე (ცხრ. 4.5.)

დახურული საცურაო აუზის თბური დატვირთვების საორიენტაციო მაჩვენებლები

ცხრ. 4.5.

სათავსოს ჰაერის ტემპერატურა	წყლის ტემპერატურა		
	20 °C	24 °C	28 °C
23 °C	90 ვტ/მ ²	165 ვტ/მ ²	265 ვტ/მ ²
25 °C	65 ვტ/მ ²	140 ვტ/მ ²	240 ვტ/მ ²

28 °C	20 ვტ/მ ²	100 ვტ/მ ²	195 ვტ/მ ²
-------	----------------------	-----------------------	-----------------------

კერძო საცურაო აუზებში სადაც წყლის ზედაპირზე სპეციულური საფარი ეწყობა და მისი გამოყენება დღე - ღამეში 2 სთ - ს არ აღემატება დანახარჯები სითბოს წარმოებაზე შეიძლება 50 % - ით შემცირდეს.

ამრიგად განსაზღვრულია თბური ტუმბოს შერჩევისათვის საჭირო ძირითადი მონაცემები: შენობის თბური დატვირთვა გათბობისა და ცხელ წყალზე, გათბობის სიტემის პირველადი კონტურის და დაბალტემპერატურული თბური წყაროს ტემპერატურები, თბური წყაროს სახე და თბური ტუმბოს მუშაობის სავარაუდო რეჟიმები (მონოვალენტური, ბივალენტური, შერეული).

ამის შემდეგ საჭიროა განისაზღვროს თბური ტუმბოს სიმძლავრე. თბური ტუმბოს სიმძლავრე კი მისი სიმძლავრის კოეფიციენტით განისაზღვრება.

გეოთერმული თბური ტუმბოებისათვის სითბოს რაოდენობა, რომელიც უნდა ავართვათ გრუნტს (წყალს) გამოითვლება ფორმულით:

$$Q = \frac{Q_{Tb.t} \cdot (COP - 1)}{COP} \quad (4 - 1)$$

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:

$$Q_{Tb.t} = Q_{Tb.t} - P \quad (4 - 2)$$

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

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

P- თბური ტუმბოს მიერ მოხმარებულ ელექტროენერგია კვტ.

თბურტუმბოვანი გათბობის სისტემის დაპროექტების შემდეგ ეტაპზე საჭიროა უკვე მოხდეს სითბოს მიმღები მოწყობილობის - გრუნტის ანუ გეოთერმული კოლექტორების ან ჰაერის მიმღები დანადგარების დაპროექტება.

4.2. გრუნტის კოლექტორები

ენერგია, რომელსაც გრუნტი შეიცავს ძირითადად გრუნტის ზედაპირულ ფენებშია განთავსებული. ამასთანავე ნალექები და მზის დასხივება ენერგიის მნიშვნელოვან მიმწოდებლად ითვლება. ამიტომ გრუნტის კოლექტორების განლაგება განაშენიანებულ ან ჰაერ - და წყალგაუმტარ ფენებში არ არის რეკომენდებული. გრუნტის სიღრმისეული ფენებიდან სითბოს გადატანა ზედაპირისაკენ უმნიშვნელოა. იგი დაახლოების 0,1 ვტ/მ² ტოლია. ამიტომ ანგარიშების დროს მას უგულებელვყოფთ.

გრუნტის ზედაპირული ტემპერატურა, დაახლ 1 მეტრამდე სიღრმეში + 3... + 17 °C ფარგლებშია, ხოლო უფრო სიღრმისეულ ფენებში იგი + 8... + 12 °C. ტემპერატორული დიაპაზონი, რომელიც გრუნტის ენერგოწყაროდ გამოყენების ოპტიმალურ პირობებს ქმნის -... + 25 °C.

გრუნტი, როგორც დაბალპოტენციური ენერგოწყარო თბური ტუმბოს მუშაობის ყველა რეჟიმისათვის (მონოვალენტული, ბივალენტური, შერეული, ალტერნატიული და ა. შ.) გამოიყენება.

გრუნტის ზედაპირიდან 1 მ სიღრმემდე გრუნტის ტემპერატურა აღწევს გაყინვის ტემპერატურას სითბოს ართმევის გარეშე. 2 მ სიღრმეში კი მისი ტემპერატურა 5 °C - ია. სიღრმის მატებასთან ერთად ტემპერატურა მატულობს. ზედაპირიდან თბური ნაკადი კი კლებულობს. აქედან გამომდინარე გაყინული გრუნტის გაღობა გაზაფხულზე მოსალოდნელი არ არის, ამიტომ გრუნტის კოლექტორის ჩაღრმავება 0,2 ÷ 0,3 მ მანძილზე უნდა მოხდეს გრუნტის ჩაყინვის დონიდან. საქართველოს პირობებისათვის ეს სიღრმე 1, 0 ÷ 1,5 მეტრია.

ზედაპირიდან მილის ჩაღრმავების მანძილთან ერთად მნიშვნელოვანია მილებს შორის მანძილის განსაზღვრა. მილებს შორის მანძილის განსაზღვრა იმ ვარაუდით უნდა მოხდეს, რომ უზრუნველყოფილ იქნას მილის ირგვლივ გაყინული გრუნტის გაღვლილობისა წარმოქმნილი წყლის დაწრეტვა ისე, რომ მის შეგუბებას არ ქონდეს ადგილი. გრუნტის კოლექტორის მოწყობის დროს მილებს შორის უნდა დავიცვათ $0,5 \pm 0,8$ მ მანძილი. ამ დროს სასურველია შემდეგი ორი პირობის დაცვა: 1 - რაც უფრო ხანგრძლივია მაქსიმალური გაყინვის პერიოდი მით მეტი მანძილი უნდა ავიღოთ მილებს შორის;

2 - გრუნტის ცუდი თბოგამტარობის დროს (მაგ. ქვიშნარი) ერთი და იგივე ფართობის დროს საჭიროა მილებს შორის მანძილის შემცირება და ამ გზით მილების საერთო სიგრძის გაზრდა.

გრუნტის კოლექტორები როგორც წესი ჰორიზონტალურად ეწყობა ისევე როგორც იატაკის გათბობა. ჰორიზონტალური გრუნტის კოლექტორის საჭირო ფართი შემდეგ ფაქტორებზეა დამოკიდებული:

- თბური ტუმბოს მწარმოებლობაზე;
- გათბობის სეზონში თბური ტუმბოს გამოყენების ხანგრძლივობაზე;
- გრუნტის სახეზე და მასში ტენის რაოდენობაზე;
- ყინვის პერიოდის მაქსიმალურ ხანგრძლივობაზე.

გრუნტის კოლექტორის ფართის განსაზღვრა შემდეგი მიმდევრობით უნდა მოხდეს:

1. განისაზღვროს თბურტუმბოვანი გათბობის სისტემის დატვირთვა;

2. თბური დატვირთვის (მოთხოვნილების) შესაბამისად განისაზღვროს თბური ტუმბოს სიმძლავრე და ელექტროენერგიის ხარჯი. (4.1.) ფორმულის საფუძველზე.

3. განისაზღვროს თბური ტუმბოს ექსპლუატაციის საათების რაოდენობა წელიწადში.

ევროპული გამოცდილების მიხედვით თბური ტუმბოს მონოვალენტურ რეჟიმში მუშაობის დროს წლიური საათების რაოდენობა 1800 სთ. ტოლია. ბივალენტობის ტემპერატურის მიხედვით საექსპლუატაციო საათების რაოდენობა მონოვალენტური და ბივალენტური თბური ტუმბოებისთვის 2400 სთ - მდე იზრდება.

4. სითბოს ართმევის სპეციფიკური სიმძლავრე (ცხრ. 4.6) გრუნტის სახეობის და საექსპლუატაციო საათების რაოდენობის მიხედვით DIN4640 მოთხოვნილებათა შესაბამისად აიღება

ცხრ. 4.6

გრუნტის სახე	სითბოს ართმევის სპეც. სიმძლავრე	
	1800 სთ	2400 სთ.
მშრალი ფხვიერი გრუნტი (ქვიშა)	10 ვტ/მ ²	8 ვტ/მ ²
ტენიანი შემჭიდროებული გრუნტი	25 ვტ/მ ²	20 ვტ/მ ²
ტენით გაჯერებული გრუნტი (ქვიშა, ღორღი)	40 ვტ/მ ²	32 ვტ/მ ²

5. თბური ტუმბო მწარმოებლობისა და სითბოს ართმევის სპეციფიკური სიმძლავრე მიხედვით გამოითვლება გრუნტის კოლექტორის ფართობი ფორმულით

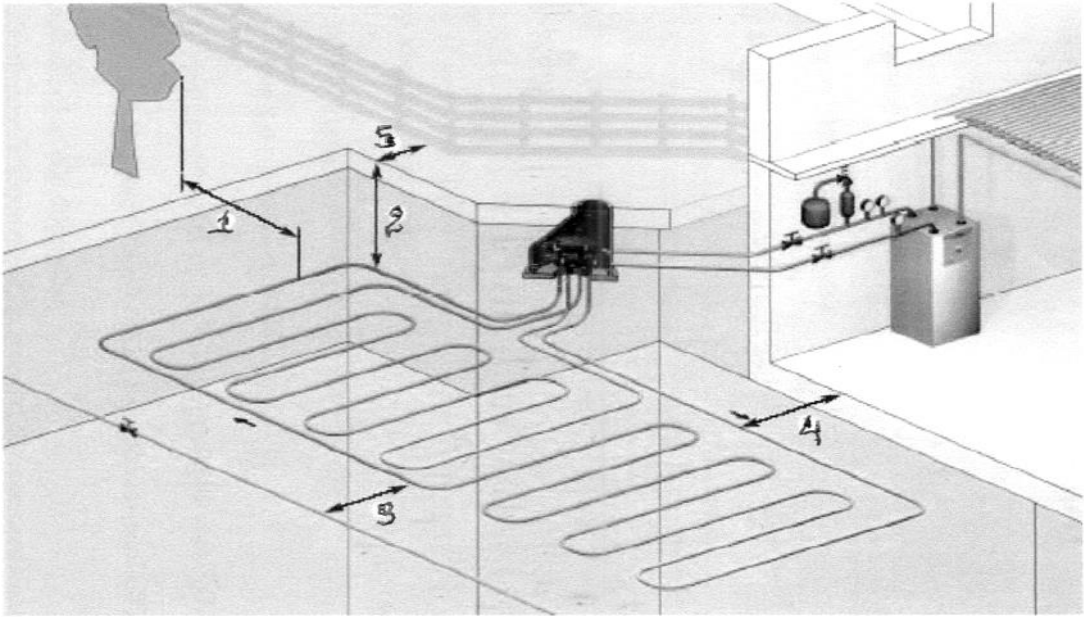
$$F=Qq \quad (4-3)$$

სადაც Q - თბური ტუმბო მწარმოებლობა, კვტ

q -გრუნტიდან სითბო ართმევის სპეციფიკური სითბო და აიღება 4.6 ცხრილიდან.

ვიცით რა გრუნტის კოლექტორის საჭირო ფართი, პოლიეთილენის d=32x2.9მმ დიამეტრის მილებით ვადგენთ მილსადენის კონტურს, რომელიც ჩაიდება გრუნტში.

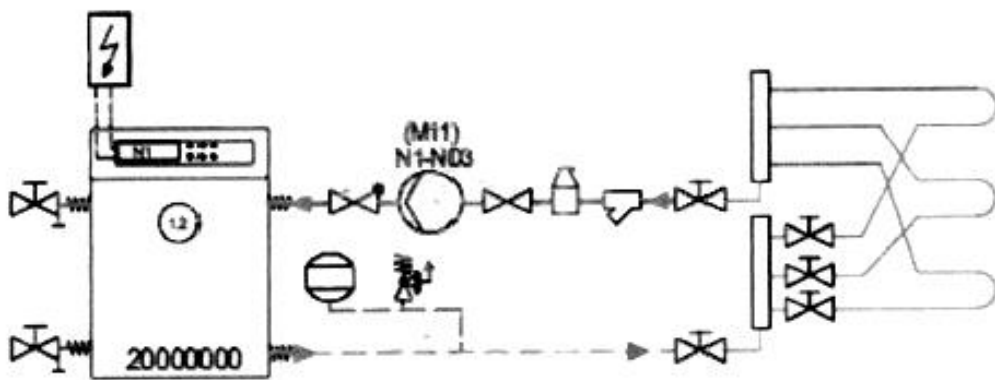
გრუნტის კოლექტორის პრინციპულ - ტექნოლოგიური სქემა ნაჩვენებია 4.5 ნახაზზე.



ნახ. 4.5. გრუნტის კოლექტორის პრინციპულ-ტექნოლოგიური სქემა

1. 0,5მ დაცილება ხის ყველაზე განიერი ზედაპირიდან;
2. 1÷1,4მ განლაგების სიღრმე;
3. 1,5 მ დაცილება სასმელი წყლის ან კანალიზაციის მილსადენიდან;
4. 1,5 მ დაცილება შენობის საძირკვიდან;
5. 1 მ დაცილება ღობის საძირკვიდან.

გრუნტის კოლექტორი შემკრები და გამანაწილებელი სავარცხელის საშუალებით უერთდება თბურ ტუმბოს (ნახ. 4.6.)



ნახ. 4.6. მარილხსნარის კონტურების ჰიდრავლიური მიერთების სქემა

დამონტაჟებული კოლექტორში მარილხსნარი მოძრაობს საცირკულაციო ტუმბოს მეშვეობით, გადააქვს რა ამ დროს გრუნტში

დაგროვილი სითბო, რომლის უტილიზაციასაც თბური ტუმბო ახდენს გათბობის სისტემაში. მარილხსნარიანი მილების განლაგების ზონაში არ არის რეკომენდებული ღრმა ფესვებიანი მცენარეების დარგვა.

გაცივებული გრუნტის რეგენერაცია გათბობის სეზონის მეორე ნახევარში იწყება, როდესაც უკვე მომატებულია მზის გამოსხივება და ნალექები. ასე რომ გრუნტი, როგორც „სითბოს აკუმულატორი“ კვლავ გამოსადეგია გათბობის მიზნებისათვის.

გრუნტის კოლექტორების გამოყენების დროს მიწის საკმაოდ იდიდ ფართობია საჭირო. არსებობს ასეთი მარტივი წესი, რომ გრუნტის კოლექტორით თბური ტუმბოს გამოყენების დროს მიწის ნაკვეთის ფართობი გასათბობი შენობის ფართობს მისი თბოიზოლაციის ხარისხის მიხედვით 2-3-ჯერ უნდა აღემატებოდეს.

4.3 გრუნტის ზონდები

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ გრუნტის კოლექტორების გამოყენების დროს საკმაოდ დიდი ზომის მიწის ნაკვეთებია საჭირო. ამიტომ გრუნტის კოლექტორები უმთავრესად მცირე მოცულობის შენობებშია რეკომენდებული, მაგალითად საცხოვრებელი ინდივიდუალური სახლები, მცირე ზომის საოფისე ნაკვეთები და სხვა, სადაც მიწის საკმაოდ დიდი ნაკვეთებია თავისუფალი. ამიტომ გრუნტიდან სითბოს აღება მიზანწონილია ვერტიკალური კოლექტორების ანუ გეოზონდების საშუალებით მოხდეს. გეოზონდების სახით მოწყობილი თბოგადამცემების სისტემა ეწყობა 10-100მ სიღრმის ჭაბურღილში. საშუალოდ ორმაგი U-სებრი ზონდის მოწყობის დროს თბური წყაროს ანუ გრუნტის თბური სიმძლავრე ზონდის ყოველ 1 გრმ მეტრზე 50 ვტ -ის ტოლი აიღება. გრუნტის თბოტექნიკური მახასიათებლების გასაანგარიშებლად გეოლოგიური და ჰიდროგეოლოგიური პირობებია გასათვალისწინებელი. ცნობილია, რომ წლის განმავლობაში 15 მ სიღრმის ქვევით გრუნტის ტემპერატურა 10°C-ია (იხ.ნახ.1.8).

გრუნტის თბური ზონდების მიერ ჭაბურღილიდან ასართმევი სითბოს რაოდენობა ე.წ. სითბოს ართმევის სპეციფიკური სიმძლავრე გრუნტის სახეობის და წლის განმავლობაში თბური ტუმბოს მუშაობის საათების მიხედვით აიღება 4.7 ცხრილიდან.

ორმაგი U-სებური გრუნტის ზონდების სპეციფიკური თბური
სიმძლავრე

ცხრილი 4.7

გრუნტის სახეობა	სითბოს ართმევის სპეციფიკური სიმძლავრე	
ზოგადი სასაორიენტაციო მნიშვნელობები:	1800 სთ	2400 სთ
ცუდი ფუძის გრუნტი (მშრალი, დანალექი) 1,5 ვტ/მ ² °C	25 ვტ/მ ²	20 ვტ/მ ²
ჩვეულებრივი გრუნტის ფუძე ქვიანი ტენგაჯერებული		
ჯიშების დანალექი ქანების $\lambda=1,5-3,3$ ვტ/მ ² °C	60	50
მყარი ქვიანი ჟიშები მაღალი თბოგამტარობით $\lambda \geq 3$ ვტ/მ ² °C	84	70
ცალკეული სამთო ჟიშები:		
ღორღი, ქვიშა, მშრალი	<25	<20
ღორღი, ქვიშა, წყალშემცველი	65-80	55-65
ღორღ, ქვიშა, გრუნტის წყლის ძლიერ ნაკადში	80-100	80-100
თიხა, თიხნარი, ტენიანი	35-50	30-40
კირქვა (მასიური)	55-70	45-60
ქვიშნარი	65-80	55-65
მაგმური მჟავა ქანები (მაგ. გრანიტი)	65-85	55-70
მაგმური ქანები ძირითადი შემადგენლობის (მაგ. ბაზალტი)	40-65	35-55
გნეისი	70-85	60-70

ამ ცხრილის მონაცენები დასაშვებია გათბობისა და ცხელი წყალმომარაგების თბური ტუმბოებისათვის 30 კვტ-მდე თბური სიმძლავრით თუ:

- ცალკეული გრუნტის ზონდების სიგრძეა 40:100 მ;
- მინიმალური მანძილი გრუნტის ორ ზონდს შორის -6 მ;
- გრუნტის ზონდებად გამოიყენება ორმაგი U-სებური ზონდი მილის დიამეტრით 32 და 40 მმ.

4.7 ცხრილში წარმოდგენილი სითბოს ართმევის სიმძლავრეები დასაშვებია მხოლოდ მცირე სიმძლავრის გრუნტის სტანდარტული ზონდებისათვის. თბური ტუმბოს უფრო ხანგრძლივი დროის მუშაობის პირობებში გარდა ცხრილში წარმოდგენილი სითბოს ართმევის სპეციფიკური სიმძლავრეებისა უნდა გავითვალისწინოთ სითბოს ართმევის წლიური ხვედრითი სიმძლავრე, რომელიც განსაზღვრავს სითბოს მოდინებას დროის ხანგრძლივი მონაკვეთის განმავლობაში.

თბურტუმბოვანი დანადგარების ანგარიში თუ:

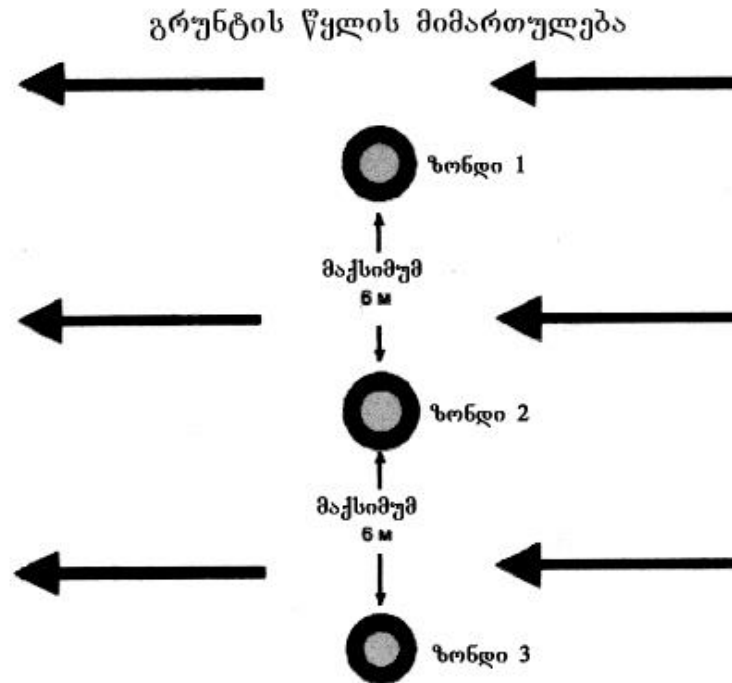
- ისინი შედგებიან რამდენიმე ცალკეული დანადგარისგან;
- თბური ტუმბოს მუშაობის ხანგრძლივობა აღემატება 2400 სთ/წელ;
- გამოიყენება როგორც გათბობისათვის ასევე გაცივებისათვის;
- გააჩნიათ საერთო თბური სიმძლავრე 30 კვტ-ზე მეტი.

უნდა იქნას დაპროექტებული გეოთერმული კვლევის შემდგომ.

წინასწარ საძიებო სამუშაოების ჩატარება და თბური დატვირთვების ანალიზური ანგარიში ხანგრძლივი პერიოდისათვის, მოგვცემს მოსალოდნელი პროცესის წინასწარ გამოცნობის საშუალებას, რაც აუცილებლად უნდა გავითვალისწინოთ დაპროექტების დროს.

გეოზონდების საშუალებით გრუნტიდან სითბოს ართმევის მიზნით საჭიროა ბურღვითი სამუშაოების წარმოება. ბურღვა უნდა მოხდეს იმ ვარაუდით, რომ ცალკეული ზონდებს შორის მანძილი 6 მეტრზე ნაკლები არ იყოს, რათა გამორიცხულ იქნას მათ ურთიერთ გავლენა და უზრუნველყოფილი იქნას ზაფხულის პერიოდში რეგენერაცია.

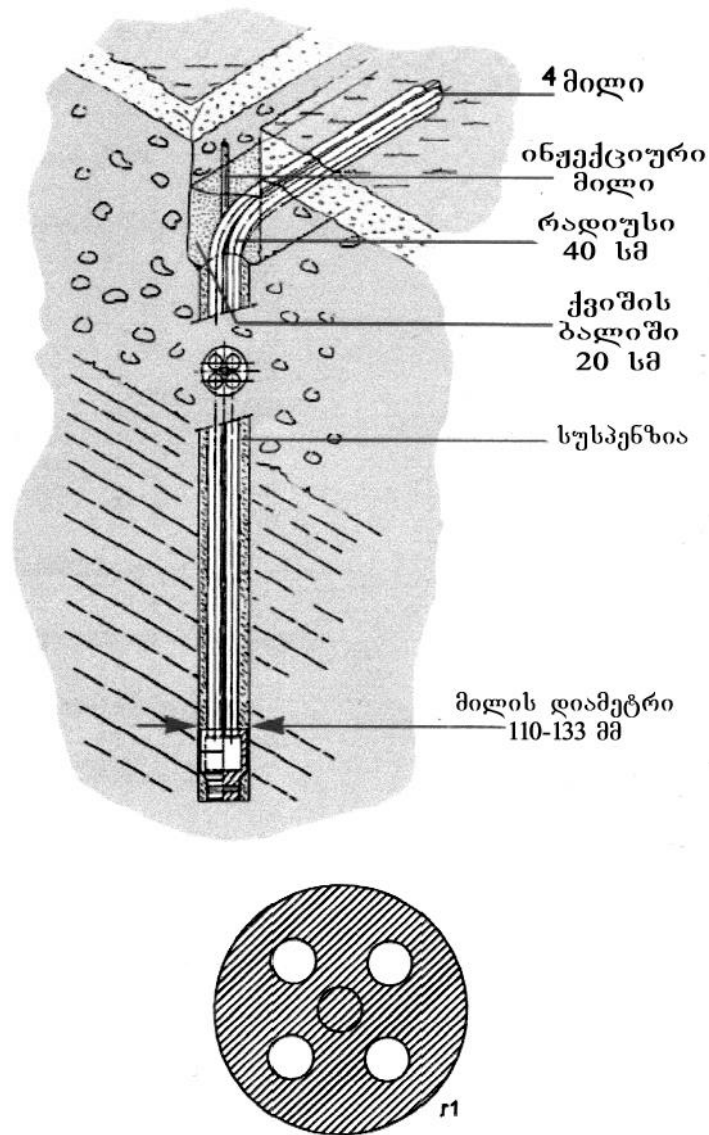
თუ ანგარიშით რამდენიმე ზონდი გამოდის საჭიროა მათი განლაგება გრუნტის წყლის დინების პერპენდიკულარულად და არაპარალელურად (ნახ. 4.7.)



ნახ. 4.7. გეოზონდების განლაგება გრუნტის წყლების მიმართ და მათ შორის მინიმალური მანძილი

4.8. ნახაზზე ნაჩვენებების თბური ტუმბოებში გამოყენებული ორმაგი U სებური ზონდის ჭრილი. ამ ტიპის ზონდებისათვის იბურლება ჭაბურღილი r_1 რადიუსით. ჭაბურღილში ეწყობა ზონდის 4 და 1 შემავსებელი მილი. შემდეგ ჭაბურღილი ივსება ცემენტ-ბეტონიტის ხსნარით. ზონდის ორი მილის საშუალებით მუშა სითხე მოძრაობს ზემოდან ქვემოთ, ორი მილის საშუალებით კი ქვემოდან ზემოთ. ქვედა ბოლოში მილები ერთმანეთთან შეერთებულია ზონდის თავაკით, რაც ზონდში იწვევს ჩაკეტილ ცირკულაციას.

ჭაბურღილის საზღვარზე ანუ r_1 რადიუსზე განისაზღვრება ჭაბურღილის ტემპერატურა t_3 . როდესაც მუშა სითხე გამოდის ზონდიდან მისი ტემპერატურა თბური წყაროს ტემპერატურის ტოლია.



ნახ. 4.8. U -სებური ორმაგი ზონდის ვერტიკალური და ჰორიზონტალური ჭრილები

გეოთერმული ზონდის თბურ ტუმბოსთან მიერთების პრინციპულ-ტექნოლოგიურ სქემა ნაჩვენებია 4.9. ნახაზზე.

წყალი-წყლის თბური ტუმბოების გამოყენების დროს დაბალპოტენციური სითბოს წყაროს გრუნტის წყლები წარმოადგენს. თუ გრუნტის წლის ტემპერატურა $7-12^{\circ}\text{C}$ ფარგლებშია მაშინ ეს წყალი შეგვიძლია უშუალოდ გამოვიყენოთ მუშა სითხედ. იმ შემთხვევაში კი როდესაც უფრო დაბალი ტემპერატურის გვაქვს ან ამ წყლის გამოყენება მისი ხარისხიდან გამომდინარე დაუშვებელია, (ნახ 4.9) ვიყენებთ

მარილხსნარ-წყლის თბურ ტუმბოს ისევე როგორც გრუნტის შემთხვევაში იმ განსხვავებით რომ ამ დროს დაბალპოტენციური სითბოს წყაროს წარმოადგენს გრუნტის წყალი და არა თვით გრუნტი. გრუნტის წყალი შეიძლება გამოყენებულ იქნას მუშაობის როგორც მონოვალენტურ ასევე ბივალენტურ რეჟიმში. თბურ ტუმბოვან გათბობის სისტემებში გამოიყენება სიღრმისეული გრუნტის წყლები, რომლებიც გრუნტი 8-10 მ სიღრმეზე გაედინება. გრუნტის წყლების თბური ენერჯის გამოსაყენებლად, ევროპულ ქვეყნებში კანონმდებლობის თანახმად საჭიროა წყლის რესურსების დამცავი ორგანიზაციების ნებართვა. ასეთი ნებართვის გაცემა უპრობლემოდ ხდება წყალდამცავი ზონების გარეთ, მაგრამ ისეთი გარკვეული პირობების გათვალისწინებით როგორცაა ასაღები წყლის მაქსიმალური რაოდენობა და წყლის ხარიხი.

წყალი-წყლის თბური ტუმბოს გამოყენების გადაწყვეტილების მისაღებად აუცილებელია წყლის ანალიზის ჩატარება.

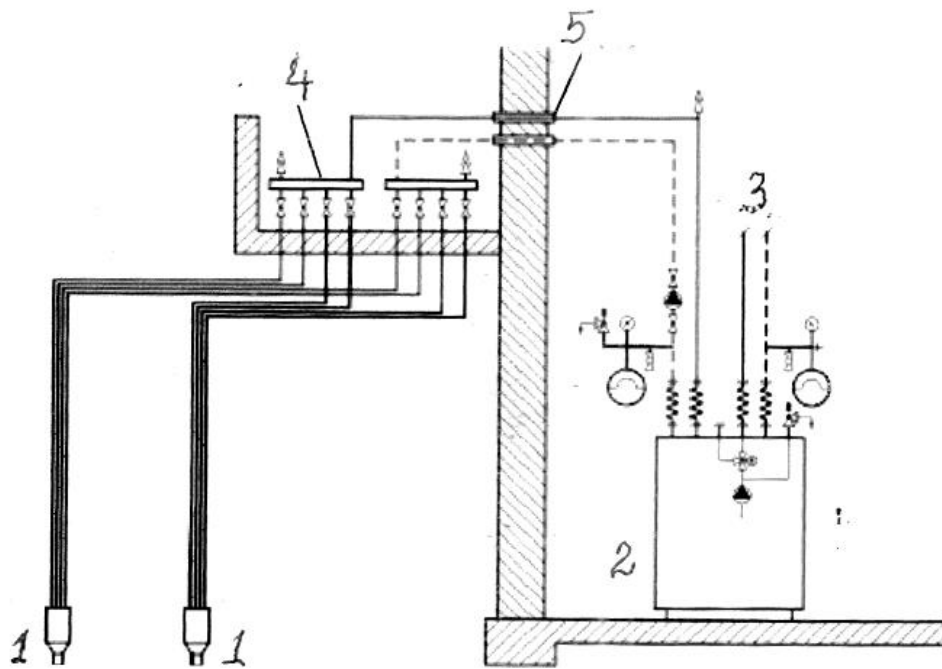
წყლის მინარევების კონცენტრაციები უნდა იყოს შემდეგ ფარგლებში:

ცხ.4.8

PH	6.5:9
ქლორიდი	<300მგ/ლ
თავისუფალი ქლორიდები	<0,5მგ/ლ
ნიტრატი	<100მგ/ლ
სულფატი	<100მგ/ლ
თავისუფალი ნახშირმჟავა	<20გ/ლ
რკინა და მარგანეცი	<1მგ/ლ*
ჟანგბადი	<2მგ/ლ
ელექტროგამტარობა	50-1000მს/სმ

* მინარევების ამ რაოდენობის არსებობა წყალში აუცილებელია რათა გამორიცხულ იქნას ამართქლებლის და მისი მიმყვანების გაჭუჭყიანება, აგრეთვე შემწოვი ჭის ჟანგმიწით გაჭუჭყიანება. მუშაობა ზედაპირული ან მლაშე წყლით დაუშვებელია.

გრუნის წყლების სითბოს გამოსაყენებლად საჭიროა ორი მიმღები და ჩამშვები ჭის(ნახ.4.10) მოწყობა. მანძილი ამ ორ ჭას შორის უნდა იყოს არა ნაკლებ 15 მეტრისა. გრუნტიდან ამოღებული წყალი თბურ ტუმბოში გაცივების შემდეგ ჩამშვები ანუ საფილტრაციო ჭის გავლით კვლავ გრუნტის წყალს უბრუნდება. დაუშვებელია თბურ ტუმბოში გაცივებული წყლის კვლავ მიმღებ ჭაში მოხვედრა. ჭებისათვის საჭირო ჭაბურღილების სიღრმე გრუნტის წყლის სიღრმეზეა დამოკიდებული და იგი 5-15 მ ფარგლებში მერყეობს.

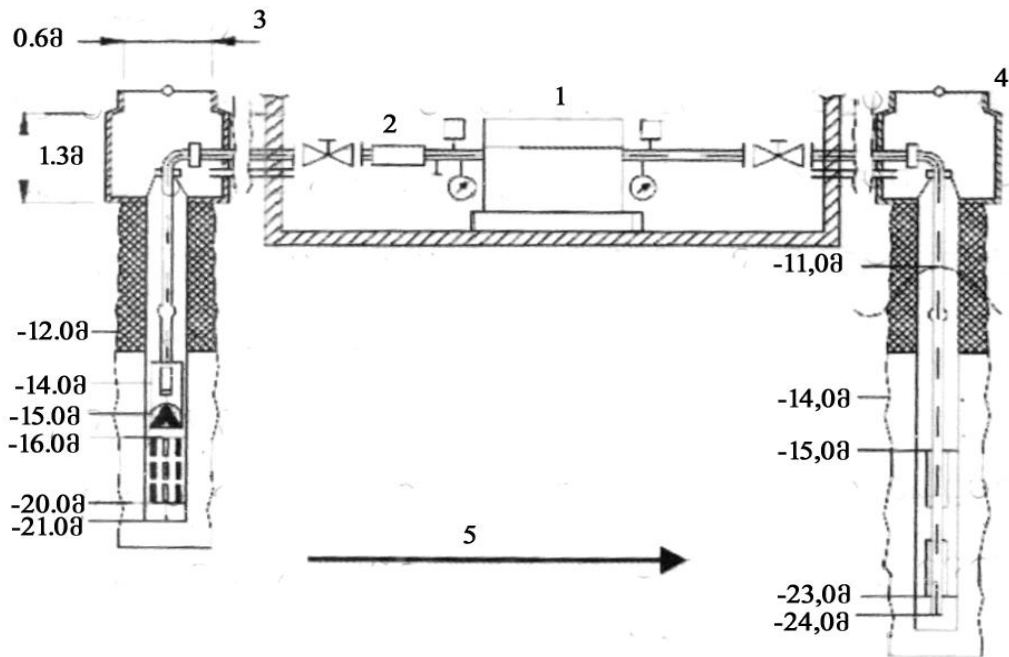


ნახ. 4.9. გეოთერმული ზონდის თბურ ტუმბოსთან მიერთების პრინციპულ ტექნოლოგიური სქემა: 1-გეოთერმული ზონდებ; 2-თბური ტუმბო; 3-გათბობის სისტემა; 4-თბური ტუმბო; 5-კედელში გასვლა.

4.4 ჰაერი-წყლის თბური ტუმბოს

შერჩევა და დაპროექტება

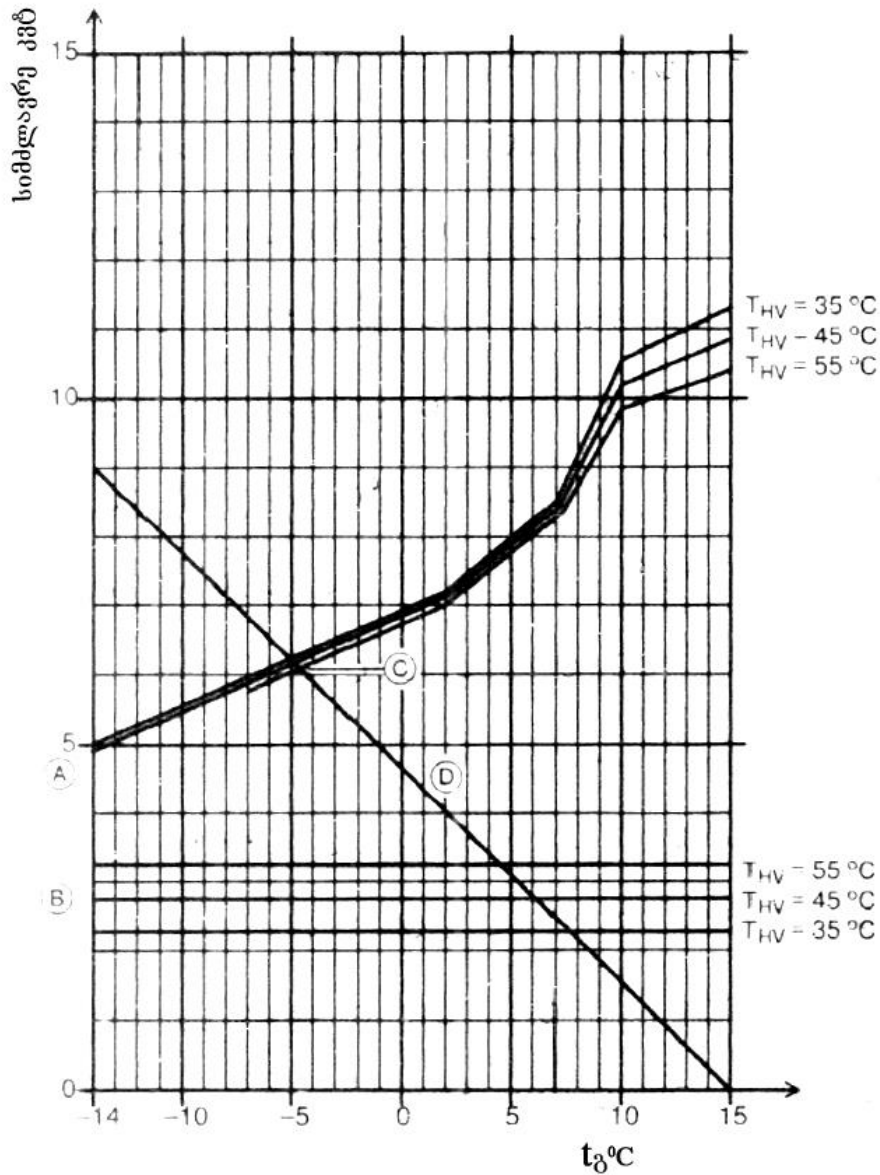
„ჰაერი-წყლის“ თბური ტუმბოში დაბალი პოტენციურ ენერგოწყაროდ გამოიყენება გარე ანუ ატმოსფერული ჰაერი ტემპერატურით -20°C მდე. ეს თბური ტუმბოები კარგად მუშაობენ მონოვალენტურ რეჟიმში, რაც იმას ნიშნავს, რომ გათბობის სისტემას სხვა დამატებითი სითბო წყარო არ ესაჭიროება. 4.4 ნახაზზე ნაჩვენებია გარე ჰაერის ტემპერატურის ცვლილების გრაფიკი. როგორც ამ გრაფიკიდან ჩანს შენობის საანგარიშო თბური დატვირთვა ანუ თბური მოთხოვნილება წლის განმავლობაში სულ რაღაც რამდენიმე დღეა საჭირო.



ნახ. 4.10 წყალი-წყლის თბური ტუმბოს მიმღები და ჩამშვებ ჭებთან მიერთება: 1-თბური ტუმბო; 2- ფილტრი; 3-მიმღები ჭა; 4-ჩამშვები ჭა; 5- ნაკადის მიმართულება

დაახლოებით 10 დღე გათბობის სისტემას უწევს გარე ჰაერის -10°C -ზე უფრო დაბალ ტემპერატურის პირობებში მუშაობა რაც ძირითადად საქართველოს კლიმატური პირობებისათვისაა დამახასიათებელი, ამიტომ „ჰაერი-წყლის“ თბურ ტუმბოებში მინუს 5°C მიღებულია ბივალენტობის წერტილად, რაც იმას ნიშნავს, რომ თბური ტუმბო კარგად მუშაობს -5°C

ტემპერატურამდე ე.ი. სრულიად აკმაყოფილებს შენობის თბურ მოთხოვნილებას, ხოლო ჰაერის უფრო დაბალი ტემპერატურის დროს საჭირო ხდება დამატებითი სითბოს წყაროს გამოყენება. დამატებითი წყაროდ შეიძლება გამოყენებულ იქნას ელექტროგამხურებელი, რომელიც ჩაშენებულია თბური ტუმბოს კონსტრუქციაში. ამ დროს თბური ტუმბო მუშაობს მონოენერგეტიკულ რეჟიმში. -20°C ტემპერატურამდე თბური ტუმბო ასევე მაღალი გარდაქმნის კოეფიციენტით იმუშავებს მონოვალენტურ რეჟიმში, მაგრამ ამ დროს საჭიროა უფრო დიდი სიმძლავრის თბური ტუმბოს გამოყენება, რაც ტექნიკო-ეკონომიკური თვალსაზრისით გაუმართლებელია. გათბობის სეზონის განმავლობაში თბური ტუმბოს ასეთი დიდი ზომები გამოუყენებელია. ტექნიკური და ეკონომიკური მოსაზრებებიდან გამომდინარე თბური ტუმბო გათვლილი უნდა იქნას გათბობის საანგარიშო სიმძლავრის 70-80%-ზე. 4.11 ნახაზზე ნაჩვენების ჰაერი-წყლია თბური ტუმბოს სიმძლავრის დიაგრამა, ერომელზეც დატანილია აგრეთვე თბური მოთხოვნილების მრუდი D.



ნახ. 4.11 შენობის თბური დატვირთვის განსაზღვრა

თბური ტუმბოს სიმძლავრის დიაგრამის მიხედვით A-თბური სიმძლავრე;
 B- საჭირო ელექტროდატვირთვა; C-ბივალენტობის წერტილი; D-თბური
 მოთხოვნილება

ბივალენტობის წერტილამდე (C(-5°C)) მთელ თბურ დატვირთვას დაფარავს თბური ტუმბოს ხოლო უფრო დაბალ ტემპერატურზე ჩაირთვება ან მეორე თბოგენერატორი ან დამატებითი ელექტროგამხურებელი, ხოლო თბური ტუმბო გაზრდის გათბობის სისტემის უკუ წყლის ტემპერატურას. დამატებითი გამხურებლის ამ მეორე თბოგენერატორის თბური

დატვირთვის წილი ამ დროს სულ რღაც 2%-ს შეადგენს. ქვემოთ ცხრილში ნაჩვენებია მონოენერგეტიკული ან ბივალენტური რეჟიმში მომუშავე თბური ტუმბოს მიერ თბური დატვირთვის დაფარვის წილი ბივალენტობის წერტილის მიხედვით.

ცხრილი 4.9

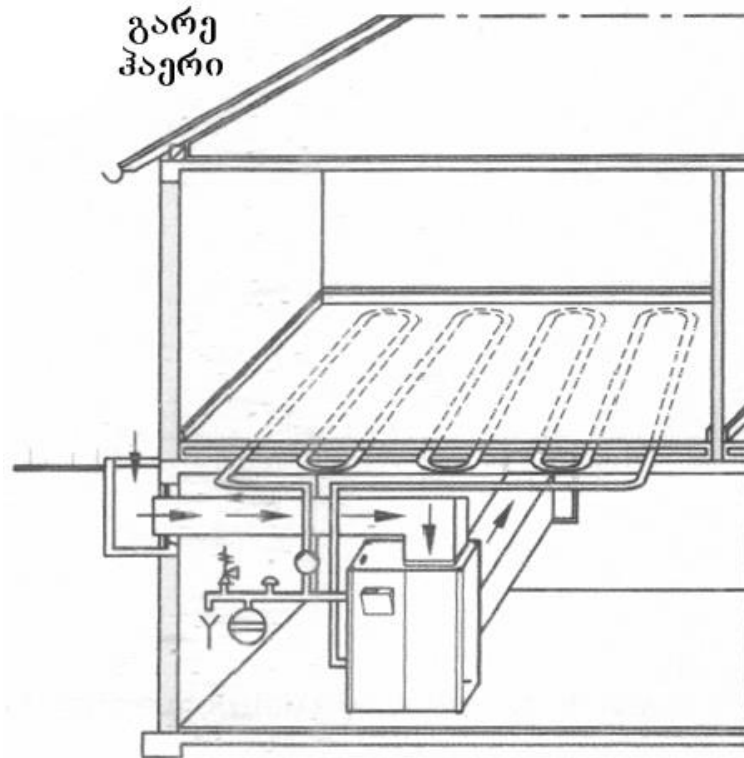
ბივალენტობის წერტილი °C	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3
დაფარვის წილი ბივალენტურ-პარალელურ რეჟიმში	1	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96
დაფარვის წილი ბივალენტურ - მონაცვლეობით რეჟიმში	0,96	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,87	0,83

ბივალენტობის წერტილი °C	-2	-1	0	1	2	3	4	5
დაფარვის წილი ბივალენტურ-პარალელურ რეჟიმში	0,95	0,93	0,90	0,87	0,83	0,77	0,70	0,61
დაფარვის წილი ბივალენტურ - მონაცვლეობით რეჟიმში	0,78	0,71	0,64	0,55	0,46	0,37	0,28	0,19

როგორც ამ ცხრილიდან ჩანს -5°C ტემპერატურის დროს თბური ტუმბო ფარავს შენობის თბურ დატვირთვის 98%-ს, ხოლო 2% მოდის ან დმატებით გამხურებელზე ან მეორე თბოგენერატორზე.

თბური ტუმბოს პარამეტრების ნგარიში ხდება შენობის თბური დატვირთვის მიხედვით, რომელიც აიღება დაახული რაიონის საანგარიშო გარე ტემპერატურის დროს. თბური ტუმბოს გარდაქმნის კოეფიციენტების (სიმძლავრის) დიაგრამაზე დაგვაქვს შენობის თბური დატვირთვის მრუდი D (ნახ 4.11) აბსცისათა ღერძზე ამ მრუდის გადაკვეთა შეესაბამება სათავსის ჰაერის ტემპერატურას ($t_y=15^{\circ}\text{C}$) ხოლო ორდინატთა ღერძთან გადაკვეთა გვაძლევს საანგარიშო თბურ დატვირთვას. თბური დატვირთვის მრუდის სათანადო სიმძლავრის (რომელიც განისაზღვრება გათბობის სისტემაში მისაწოდებელი წყლის ტემპერატურით $T=35, 45, 55^{\circ}\text{C}$ თბურ ტუმბოსთან გვაძლევს ბივალენტობის წერტილს C. ბივალენტობის წერტილზე უფრო

დაბალი ტემპერატურების (-8, -10, -15°C) ვერტიკალური მონაკვეთი შენობის თბური დატვირთვის მრუდისა და თბურ ტუმბოს სიმპლავრეს მრუდებს შორის გვიჩვენებს იმ დამატებით სითბოს რომელიც უნდა მოგვცეს დამატებითმა ელექტრო გამხურებელმა ან მეორე თბოგენერატორმა.



ნახ. 4.12 ჰაერი -წყლის თბური ტუმბოს პრინციპულ-ტექნოლოგიური სქემა

მას შემდეგ რაც დავადგენთ თბური ტუმბოს მუშაობის რეჟიმებს და საანგარიშო (ძირითადი +დამატებითი) თბურ დატვირთვას და მუშა პარამეტრებს ვიწყებთ თბურტუმბოვანი გათბობის სისტემის თბური პუნქტის დაპროექტებას ჰაერი-წყლის თბური ტუმბო არის ორი შესასრულებელი შიგა და გარე. გარე შესრულების თბური ტუმბო ნიშნავს, იმას, რომ მისი დადგმა შეიძლება შენობის გარეთ. ამ დროს იგი უნდა მოეწყოს ატმოსფერომედეგი შესრულებით. იმ შემთხვევაში თუ თბური ტუმბო იდგმება შენობაში მაშინ დაპროექტების სტადიაზე უნდა გავითვალისწინოთ მისი მონტაჟის და შემდგომი ექსპლუატაციის თავისებურებები. თბური ტუმბოს დადგმა საცხოვრებელ ზონაში

დაუშვებელია. ექსტრემალურ შემთხვევაში თბურ ტუმბოში გაიდევნება ძალიან დაბალი ტემპერატურის (-25°C-მდე) ჰაერი. ამ დროს მაღალი ტენიანობის სათავსებში (მაგ. დამხმარე სათავსი), კედლის ლიობებში და ჰაერსადენის მიერთების ადგილებში შეიძლება წარმოიქმნას კონდენსატი, რაც შემდგომში შენობის სერიოზულ დაზიანებას გამოიწვევს ჰაერის 50% ფარდობითი ტენიანობის და 0°C ტემპერატურის დროს ხაისხიანი იზოლაციის დროსაც კი კონდენსატის წარმოქმნის აღმოფხვრა შეუძლია. ამიტომ თბური ტუმბო როგორც წესი დამხმარე სათავსში (სარდაფი, გარაჟი, ინვენტარის შესანახი, საცხოვრებელი სათავსების თავზე განლაგებისას) საჭიროა გადახურვის მზიდუნარიანობის შემოწმება. ხის გადახურვაზე მათი დადგმა არ შეიძლება.

თბური ტუმბოს მონტაჟი და გაშვება სათანადო ნორმების დაცვით უნდა განხორციელდეს.

„ჰაერი-წყლის“ თბური ტუმბოს გათბობის სისტემაში ჩართვის პრინციპულ-ტექნოლოგიური სქემა ნაჩვენებია 4.12 ნახაზზე.

თბურტუმბოვანი გათბობის სისტემის ძირითადი ტექნოლოგიური ნაწილის შემდეგ საჭიროა გაკეთდეს დამხმარე მოწყობილობების - საფართოებელი ღურღელი, საცირკულაციო ტუმბო, შემვსებ -დამცლელი მოწყობილობა შერცევა, წყლის, კანალიზაციის და ა.შ. კომუნიკაციების, ჰაერსადენების მიერთების დაპროექტება და განისაზღვროს სამშენებლო - სამონტაჟო სამუშაოების ჩამონათვალი და სამუშაოთ წარმოების კალენდარული გეგმა.

დასკვნები

1. განვითარებულ ქვეყნებში გამოიმუშავებული ენერჯის ყველაზე დიდი წილი, დაახლოებით 42% მოდის შენობა-ნაგებობებზე, რომლის 87% ხმარდება მათ გათბობასა და ცხელწყალმომარაგებას. ეს კი ხორციელდება ძირითადად წიაღისეული სათბობის ხარჯზე. აქედან გამომდინარე შენობა - ნაგებობები წარმოადგენენ გარემოს დამაბინძურებელ მნიშვნელოვან წყაროებს.
2. წიაღისეულ სათბობზე ფასების და ამასთანავე მათზე მოთხოვნების ყოველწლიური ზრდა გვაიძულებს გათბობისა და ცხელწყალმომარაგების სისტემებისათვის ვეძიოთ ალტერნატიული გზები, სახელდობრ კი მოვახდინოთ წიაღისეული სათბობის ენერჯის განახლებადი ენერჯით ჩანაცვლება, რომელიც გარდა იმისა, რომ იაფია მნიშვნელოვან წილად აუმჯობესებს გარემოს ეკოლოგიურ მდგომარეობას.
3. განახლებადი ენერჯის მრავალი სახე არსებობს, რომელთაგან ყველაზე მნიშვნელოვანია ისეთი დაბალპოტენციური თბური ენერჯოწყაროები, რომელსაც შეიცავს გრუნტი, ჰაერი და წყალი (როგორც გრუნტის ასევე ზედაპირული). ეს ენერჯია სხვა არაფერია თუ არა მზის ენერჯია, რომლის აკუმულაციაც წლის განმავლობაში ჩვენს ირგვლივ უხვად ხდება და რომლის გამოყენებაც გათბობისა და ცხელწყალმომარაგების სისტემებში ამ დარგის პრიორიტეტულ მიმართულებად ითვლება.
4. დაბალპოტენციური თბური წყაროებიდან სითბოს გენერაცია და მისი პარამეტრების გარდაქმნა გათბობისა და ცხელწყალმომარაგების სისტემებისათვის საჭირო პარამეტრებადმე თბური ტუმბოების საშუალებით ხდება, რომლის მოქმედების პრინციპიც მეცნიერებისათვის თითქმის 200 წელი ცნობილია, მაგრამ მის განვითარებას და პრაქტიკულ გამოყენებას მსოფლიოში დასაბამი 1973 წლის პირველმა ენერჯეტიკულმა კრიზისმა მისცა. საქართველოში ეს

დარგი მიუხედავად გასული საუკუნის სპეციალისტთა მცდელობისა ჯერ კიდევ ჩანასახის მდგომარეობაშია.

5. სამეცნიერო ტექნიკური ლიტერატურის, ნორმატიული და მეთოდური დოკუმენტაციის შესწავლისა და ანალიზის საფუძველზე დადგენილია გათბობისა და ცხელწყალმომარაგების სისტემების ის ოპტიმალური პარამეტრები, რომლებიც თბური ტუმბოს მუშაობის მაღალ ეფექტურ ეკონომიკურ და ეკოლოგიურ მახასიათებლებს უზრუნველყოფს.
6. შესწავლილია თბური ტუმბოს სიმძლავრის ანუ გარდაქმნის კოეფიციენტების მნიშვნელობები გათბობის სისტემაში მისაწოდებელი თბომომცველის სხვადასხვა პარამეტრებისათვის როგორც გეოთერმული ასევე ჰაერის თბური ტუმბოებისათვის დაბალტემპერატურულ თბური ენერგოწყაროების სხვადასხვა ტემპერატურული რეჟიმის პირობებში.
7. განხილულია თბური ტუმბოების ეკოლოგიური და ეკონომიკური მახასიათებლების გაზრდის საკითხები. ცნობილია, რომ თბური ტუმბოების გამოყენება გათბობის სისტემებში CO₂-ის გამოყოფას 3-4-ჯერ ამცირებს გაზის ქვავებთან შედარებით. მისი კიდევ უფრო შემცირება შესაძლებელია თბური ტუმბოების ახალი თაობის მიკროარხული თბოგადამცემების გამოყენებით ამორთქლებლისა და კონდენსატორის სახით.
8. დამუშავებულია თბურტუმბოვანი გათბობის სისტემების ისეთი საკითხები როგორცაა შენობების თბური დატვრთვის განსაზღვრა, სისტემის ძირითადი ნაწილების გრუნტის კოლექტორების და გეოზონდების შერჩევა და ანგარიში, გეოზონდების და ჰაერის თბური ტუმბოების გათბობის სისტემებთან მიერთების სქემები.
9. ახალი და ექსპლუატაციაში მყოფი შენობების თბურტუმბოვანი გათბობის სისტემებით აღჭურვის მიზნით დამუშავებულია რეკომენდაციები დაბალტემპერატურული გათბობის ისეთი სისტემების მოწყობის შესახებ როგორცაა იატაკის, კედლის და შემბერ კონვექტორებიანი გათბობა.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. გ. დარჩია. გათბობა. თბილისი 1989
2. გ. რატანი, მ. გრძელიშვილი. სამშენებლო თბოფიზიკა, თბილისი, 1979
3. მ. გრძელიშვილი, ო. გიორგობიანი. გათბობა. თბილისი 2015
4. მ. გრძელიშვილი, ო. გიორგობიანი. არატრადიციული, განახლებადი ენერჯით გათბობა. თბილისი. 2012
5. მ. გრძელიშვილი, ო. გიორგობიანი. გაზით გათბობა. თბილისი. 2011
6. მ. გრძელიშვილი, ო. გიორგობიანი. თხევადი და მყარი სათბობით გათბობა. თბილისი. 2011
7. მ. გრძელიშვილი, ო. გიორგობიანი. გაზის ტექნიკის ძირითადი ცნებები. თბილისი. 2010
8. გ. რატანი, ო. ფურცელაძე. ჰაერის კონდიცირება და სიცივით მომარაგება. თბილისი 2015
9. История развития тепловых насосов. www.prgress21.com.UA
10. История разработки и создания тепловых насосов.БАЛТИКА КОМФОРТ, 2013. www/baltcomfort.ru
11. Гелперин Н. И. Тепловой насос. Л. ГНТИ.1932.
12. Мартиновский В. С. Тепловые насосы-М. Л. Госэнергоиздат. 1955
13. Гомелаური В. И., Везиришвили О. Ш. Опыт разработки и применения теплонасосных установок – теплоэнергетика-4, 1978
14. Янговский Е. И., Пустоволов Ю. В., Яковлев В. С. Теплонасосные станции в энергетике, теплоэнергетика-4, 1978.
15. Лебедев П. Д. Теплообменные, сушильные и холодильные установки, М. Энергия. 1972
16. Янговский Е. И., Янов В. С. Использование теплоты оборотной воды. – Промышленная энергетика, №5, 1980.
17. И. С. Жидович. Применение тепловых насосов в системах теплоснабжения и горячего водоснабжения многоквартирного жилого фонда на принципах энергосбережения. Минск, 2014

18. Основы методики проектирования теплонасосных систем с горизонтальными грунтовыми теплообменниками, Электронный журнал «Экологические системы» №4. апрель 2008
19. С. О. Филатов, Влияние теплофизических характеристик грунта на размеры вертикальных грунтовых теплообменников тепловых насосов. <http://holodilshcik.ru>. Выпуск 12(108) декабрь. 2013г.
20. Табунщиков Ю. А., Бродач М. М., Шилькин Н. В. Энергоэффективные здания. НП АВОК, М. 2003
21. Табунщиков Ю. А. Энергоэффективные здания и инновационные инженерные системы. Журнал АВОК 1-2014, Москва.
22. Эффективные системы и возобновляемые источники энергии. Форум по технологиям и источникам энергии Издатель: концерн Energie Umwelt Feuerungen GmbH, Кельн, 2011.
23. Дональд Росс – Проектирование систем ОВК высотных общественных многофункциональных зданий. М. 2004
24. В. Юданов. Тепловые насосы, Бишкек 2013
25. Волов Г. П. Моделирование работы вертикальных грунтовых теплообменников в теплый и холодный периоды (основы методики)/Энергия и менеджмент. 2010. №4
26. Волов Г. Я. Проектирование вертикальных грунтовых теплообменников с применением результатов по тепловому тесту скважин «Энергия и менеджмент», ноябрь –декабрь, 2010
27. R. Kohher, O. Bartek, M. Sevcik/ Проектирование и реализация системы с тепловым насосом. HOTJET-2012
28. Vaillant, Тепловые насосы-техническое обучение, 2011
29. Wolf-Документация по проектированию, тепловые насосы, 4800630 0410RUS [www. Wolf-heiztechnik.de](http://www.Wolf-heiztechnik.de)
30. Кое-что из американского опыта проектирования тепловых насосов, Электронный журнал «Экологические системы», №1, январь 2011
31. Расчет и проектирование тепловых насосов. [www. Termostar.ru](http://www.Termostar.ru)

32. Viessman, Planundungshandbuch, Solarthermie. Viessmanwerke, Allendorf-2008
33. I. Tiator, heizungsanlagen, Wurzburg-Vogel, 1998
34. Viessman, Системы тепловых насосов, инструкция по проектированию 5829-2ПГЫ 2/2000
35. Danfoss, Пластинчатые теплообменники на основе микроканальной технологии, 03-2011. [www. Danfoss.com/ru](http://www.Danfoss.com/ru)
36. Суслов А. В. Применение воздушных тепловых насосов в условиях холодного климата, Аква-Терм-2009-№3
37. Васильев Г. П. Эффективность и перспектива использования тепловых насосов в городском хозяйстве Москвы НП АВОК, журнал энергосбережение. №8, 2007
38. Stiebel Eltron/ Waermerpumpen, Planung und Instalation -2013. www.stiebel-eltnon.de
39. Stiebel Eltron, Тепловые насосы, Планирование и установка-2010
40. Stiebel Eltron, рекуперативные системы вентиляции. www.stiebel-eltron.ru
41. Bosch Термотехника, Эффективные системы отопления для защиты климатических условий. [www. Bosch-climate.ru](http://www.Bosch-climate.ru)
42. Buderus, Документация по проектированию систем отопления. Техническая библиотека Buderus-2015.
43. Nibe, Тепловые насосы для многоквартирных домов и для промышленного применения-Nibe 2012. www.nibe-evan-ru
44. Ochsner, тепловые насосы большой мощности-2013.www.ochsner.de
45. Altherma-Daikin-Тепловые насосы-2015.www.sacnw.ru
46. Ariston – водонагреватели со встроенным тепловым насосом. www/ariston/com
47. А. Мировски, Г. Ланге, И. Елень-материалы для проектирования котельных и современных систем отопления. Изд. Виссман, 2005г.