

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ოთარი ჯაფარიძე

მცენარეული ბიომასის ნარჩენების თბოუნარიანობის
ექპერიმენტული გამოკვლევა

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა: „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“

შიფრი: 0405

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

თებერვალი, 2020 წ.

საავტორო უფლება © 2020 წელი, ოთარი ჯაფარიძე

თბილისი

2020 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ოთარი ჯაფარიძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „მცენარეული ბიომასის ნარჩენების თბოუნარიანობის ექპერიმენტული გამოკვლევა“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

.....,, 2020 წელი

ხელმძღვანელი: პროფესორი ო. კილურაძე

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2019

ავტორი: ოთარი ჯაფარიძე

თემის დასახელება: „მცენარეული ბიომასის ნარჩენების თბოუნარიანობის ექპერიმენტული გამოკვლევა“

ფაკულტეტი: ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის

აკადემიური ხარისხი: აკადემიური დოქტორი

სხდომა ჩატარდა:,, 2020 წ.

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემოთ მოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

ორგანული სათბობი-ენერჯის ერთ-ერთ ძირითად წყაროს წარმოადგენს ელექტრო ენერჯის გენერაციისათვის, მრავალრიცხოვანი ტექნოლოგიური პროცესების განსახორციელებისათვის, შენობების გათბობისათვის და სხვა სფეროში მოხმარებისათვის.

მზარდი მოთხოვნილებაა სხვადასხვა მყარ (ქვანახშირი, წვადი ფიქალები, ანტრაციტი, მურა ნახშირი, შეშა, ტორფი), თხევად (ბენზინი, ნავთი, მაზუთი და ნავთობის გადამუშავების სხვა პროდუქტები: სპირტი, ქვანახშირის ფისი და სხვა) და აირად საწვავზე (ბუნებრივი გაზი, ბრძმედის და კოქსის აირი და სხვა).

რადგან კლასიკური ორგანული სათბობის მოხმარება განუხრელად მზარდია დროის მცირე პერიოდის მიხედვით, ხოლო სათბობის ჩამოყალიბებას მილიონობით წლები სჭირდება, შედეგად იგი არაგანახლებად ენერჯის წყაროს წარმოადგენს.

სათბობის მარაგების სწრაფი ტემპით შემცირება და ამასთან ერთად მათი ღირებულების მუდმივი ზრდა მწვავედ აყენებს საკითხს ალტერნატიული სათბობის ძიების კუთხით. სათბობის ერთ-ერთ სახედ განიხილება ბიომასა, რომელიც მოიცავს: მცენარეულ და ცხოველურ ნარჩენებს; ტყის კულტურული ჭრის და მერქნის გადამუშავების ნარჩენებს; სასოფლო სამეურნეო მცენარეულ ნარჩენებს; საყოფაცხოვრებო და კვების მრეწველობის ნარჩენებს; ცხოველურ, საოჯახო, მუნიციპალურ და საკანალიზაციო ნარჩენებს.

ნარჩენებში შემავალი ორგანული წვადი ნაერთების დაწვით შესაძლებელია ნივთიერების ქიმიური ენერჯია გარდაიქმნას ეკვივალენტურ საჭირო თბურ ენერჯიად და შესაბამისად გარკვეული წილით ჩაანაცვლოს ტრადიციული ორგანული სათბობი.

სოფლად დიდი რაოდენობით გროვდება სასოფლო სამეურნეო მცენარეული ნარჩენები: სიმინდის ტარო, ღერო და ფოთოლი, მზესუმზირას ჩენჩო; ლობიოს ქერქი; ყურძნის ჩენჩო (ჭაჭა); ტყემლის კურკა; ხორბლის, ქერის და ნამჯას ნარჩენი; ხახვის ქერქი და მრავალი სხვა კულტურული მცენარეების ნარჩენები.

ნაშრომში განხილულია ნარჩენი ბიომასის სათბობად გამოყენების პერსპექტივა: მისი, როგორც განახლებადი სათბობის დაწვა შეშის ღუმელებში ძირითად სათბობთან - შეშასთან ერთად, ან სპეციალურად მომზადების (ბრიკეტირებით) შემდეგ, გამოყენება დამოუკიდებლადაც. ასეთი გზით შესაძლებელი გახდება ნარჩენების სითბოს უტილიზაცია და შეშის მოხმარების შემცირება, რაც ხელს შეუწყობს ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესებას - კლიმატის დარბილებას. ამრიგად, ნაშრომის მიზანი - მცენარეული ნარჩენი ბიომასის ალტერნატიულ სათბობად განხილვა და საჭირო თბოტექნიკური პარამეტრების ექსპერიმენტული გზით დადგენა აქტუალურ ამოცანას წარმოადგენს, რომელიც ეხმიანება სოფლის მოსახლეობის სოციალური პირობების გაუმჯობესებას და ასევე გარემოს გაჯანსაღებას.

სათბობს წაეყენება შემდეგი ძირითად მოთხოვნები: მაღალი ბუნებრივი რესურსი; ხელმისაწვდომობა გამოყენებისათვის; მისი წვადი ელემენტების ჟანგბადთან კარგი მიერთება; არ უნდა გამოყოფდეს ისეთ ტოქსიკურ ნივთიერებებს, რომელთა გაუვნებელყოფა შეუძლებელია და სხვა. სათბობში არსებული წვადი ნივთიერებების თბური ღირებულების მიხედვით წყდება მათი გამოყენების მიზანშეწონილობის საკითხი.

ლიტერატურული მონაცემების ანალიზის საფუძველზე დადგენილია სოფლის მეურნეობის სხვადასხვა ნარჩენების რაოდენობა, მათი განაწილება საქართველოს სხვადასხვა რეგიონების მიხედვით და შეფასებულია ჩატარებული ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე (სათბობის თბოუნარიანობა) ენერგეტიკული მოხმარებისათვის თბური პოტენციალის მაჩვენებლები.

სათბობის ერთ-ერთ ძირითად თბოტექნიკურ მახასიათებელს წარმოადგენს მისი სრული დაწვის დროს გამოყოფილი სითბოს ხვედრითი რაოდენობა- თბოუნარიანობა (კჯ/კგ)

თბოუნარიანობის დასადგენად ნაშრომში გამოყენებულია ექსპერიმენტული მეთოდი- “კალორიმეტრული ყუმბარის” მეთოდი.

თხევადი და მყარი ნივთიერებების თბოუნარიანობის გასაზომად გამოყენებული იყო საზომი პრეციზიული სტენდი რომლის ძირითადი ნაწილებია: თვით იზოთერმული კალორიმეტრული ხელსაწყო XRAY-1C; კალორიმეტრული „ყუმბარა“ - უჟანგავი ფოლადის ჰერმეტიკული სქელკედლა ჭურჭელი, რომელშიც თავსდება გამოსაცდელი ნიმუში (1-2გრამი); ჟანგბადის სისტემა, რომლის საშუალებითაც „ყუმბარა“-ში იქმნება 25-30 ბარი წნევის ჟანგბადის გარემო სათბობის სრულად დაწვისათვის; სამი ლიტრი ტევადობის დისტილირებული წყლით შევსებული უჟანგავი ფოლადის ფურცლისაგან დამზადებული ჭურჭელი, თერმომეტრით და სარეველათი; ცდის ჩატარების, შედეგების ფორმატირების პროგრამა კომპიუტერული სისტემით; ავტომატური პრეციზიული სასწორი; ავტომატური პრეციზიული საშრობი (RADWA-50R მარკის) და სხვა დამატებითი კვანძები. კალორიმეტრის კალიბრებისათვის გამოყენებულია მაღალი სისუფთავის სანიმუშო ნივთიერება - ბენზონის მჟავა.

ცდის ჩატარებამდე წინასწარ მოხდა საკვლევი ნიმუშების გამოშრობა RADWA-50R მარკის საშრობი ხელსაწყოთი 105 °C -110 °C ტემპერატურაზე.

თბოუნარის დასადგენად ექსპერიმენტები ჩატარებულია შემდეგ ნიმუშებზე: ლობიოს ქერქი; მზესუმზირის ჩენჩო; სიმინდის ტარო; სიმინდის ფოთოლი; სიმინდის ფუჩეჩი; ვაშლის ქერქი; ხახვის ქერქი; ყურძნის ჩენჩო; ხორბლის ნარჩენი; ქერის ნარჩენი; ნამჯა. შეფასებულია სხვადასხვა მცენარეული ნარჩენის ენერგეტიკული პოტენციალი.

ნაშრომში გამოყენებულია გარემოსთან თბოცვლის გათვალისწინებისათვის ექსპერიმენტული გრაფო-ანალიზური მეთოდი, რაც გაზომვის შედეგებში სისტემატიური ცდომილების წყაროზე შესწორების შეტანის და შედეგების სისწორის ამაღლების საშუალებას იძლევა.

Abstract

Organic fuels are one of the main sources of energy for power generation, implementation of numerous technological processes, heating of buildings and other uses.

There is a growing demand for various solid (coal, combustible shale, anthracite, brown coal, firewood, peat), liquid (gasoline, petroleum, mazut, and other petroleum refining products: alcohol, coal resin, etc.) and gaseous fuels (natural gas and diesel). Coke gas and others).

Because the consumption of classical organic fuels is steadily increasing over a short period of time, and it takes millions of years to build the fuels, it is a source of renewable energy.

The rapid decline in the supply of fuels and the constant increase in their value, raise the issue of finding alternative fuels.

One of the types of fuels considered biomass that includes: vegetable and animal waste, forest cuttings and wood processing waste, agricultural vegetable waste; Waste from the household and food industry; animal, domestic, municipal and sewage waste.

By combustion of waste organic compounds in the waste it is possible to convert the chemical energy of the substance into the equivalent heat energy needed and to replace it with a traditional share in a certain proportion.

In rural areas a large amount of agricultural vegetable waste is collected: corn tar, stem and leaf, sunflower; Bean crust; Grape (Chacha); Cherry plum freestone; Leftovers of wheat, barley and starch; Onion bark and remnants of many other crop plants.

The thesis discusses the prospect of using residual biomass for heating: burning it as a renewable fuel in the wood stove with the main fuel-firewood, or even using special briquetting independently. In this way, it will be possible to utilize waste heat and reduce the use of firewood, which will contribute to the improvement of ecological status - climate mitigation.

the purpose of the paper - to consider alternative residual biomass for fossil fuels and experimentally determine the required thermal parameters is an urgent task that addresses the improvement of social conditions of the rural population and also the improvement of the environment.

The following basic requirements will apply to greenhouses: high natural resources; Availability for use; Good attachment of oxygen to its combustible elements; Should not be provided with toxic substances that cannot be eliminated and more.

The issue of the feasibility of their use depends on the heat value of the combustible substances in the greenhouse

Based on the literature data, the number of different agricultural wastes, their distribution according to different regions of Georgia is determined and the potential thermal energy indices for energy consumption are estimated based on the experimental data (heat capacity).

One of the main thermal characteristics of a heating unit is the amount of heat released during its complete burning - heat capacity (kJ / kg). The paper uses an experimental method - the calorimetric grenade method to determine heat capacity. The paper uses an experimental method - the calorimetric grenade method to determine heat capacity.

A precision measuring stand was used to measure the heat capacity of liquids and solids: The isothermal calorimetric device XRAY-1C itself; Calorimetric "grenade" - a stainless steel hermetic shell containing a test sample (1-2 g); Oxygen system, which creates a 25-30 bar pressure oxygen environment in the grenade to fully burn the fuel; Three liters capacity stainless steel plate filled with distilled water, with thermometer and weed; Software for testing, formatting results with a computer system; Auto-tour precision scales; Automatic precision dryer (RADWA-50R mark) and other extras.

The calorimeter calibrator uses a high purity benzoic acid sample.

Prior to the test, the test specimens were pre-dried with the RADWA-50R mark dryer at 105 oC -110 oC.

Experiments have been carried out to determine the temperature: beans; Sunflower; Corn, cornstarch; Cornflakes; Apple bark; Onion; Grapes; Wheatgrass; Barley; Oats. The energy potential of different fuels is evaluated.

The paper employs an experimental graph-analytical method for estimating the ambient temperature, which allows for correcting the source of systematic error in the measurement results and increasing the accuracy of the results.

შინაარსი

88

შესავალი	17
თავი 1. ლიტერატურის მიმოხილვა	22
1.1. ორგანული სათბობი და მათი დეფიციტი	22
1.1.1. სათბობის შედგენილობა	24
1.2. ალტერნატიული სათბობი	26
1.2.1. ბიოგაზი	26
1.2.2. ნარჩენი ბიომასა	26
1.3. საქართველოს ტყის რესურსები და მოხმარება	33
1.4. სათბობში შემავალი ელემენტების თბოტექნიკური დახასიათება ...	38
1.5. სათბობის თბოუნარიანობა	43
თავი 2. შედეგები და მათი განსჯა	46
2.1. ბიომასიდან ბრიკეტის დაზადება	46
2.2. სათბობის ტენიანობის განსაზღვრა	51
2.3. კალორიმეტრული ცდის მეთოდიკა	54
2.4. ბენზონის მჟავა	57
თავი 3. ექსპერიმენტული ნაწილი	59
3.1. თბოუნარიანობის საზომი კალორიმეტრის თბური ექვივალენტის განსაზღვრა	59
3.2. მცენარეული ნარჩენი ბიომასის თბოუნარიანობის ექსპერიმენტული გამოკვლევა	68
3.2.1. კალორიმეტრული სისტემა	68
3.2.2. მცენარეული ნარჩენი ბიომასის თბოუნარიანობის ექსპერიმენტული შედეგები	71
3.3. კალორიმეტრული სისტემის გარე თბო ცვლის გრაფო-ანალიზური მეთოდი	92

3.4. საწყისი და საბოლოო პერიოდის ტემპერატურის ცვლილების ანალიზი	95
3.5. გარემოსთან თბოცვლით გამოწვეული ცდომილებები.....	99
3.6. ჩატარებული ცდების შედეგები და მათი ანალიზი.....	102
დასკვნა.....	112
გამოყენებული ლიტერატურა.....	114

ცხრილების ნუსხა

88

ცხრილი 1. სათბობის კლასიფიკაცია.....	22
ცხრილი 2. მყარი და თხევადი სათბობის ორგანული მასის შედგენილობა..	25
ცხრილი 3. მცხეთა- მთიანეთში მარცვლოვანი და პარკოსანი კულტურების ნარჩენი ბიომასა	29
ცხრილი 4 . ქვემო ქართლში მარცვლოვანი და პარკოსანი კულტურების ნარჩენი ბიომასა.....	29
ცხრილი 5. აჭარაში მარცვლოვანი და პარკოსანი კულტურების ნარჩენი ბიომასა	29
ცხრილი 6. იმერეთში მარცვლოვანი და პარკოსანი კულტურების ნარჩენი ბიომასა	30
ცხრილი 7. მცხეთა- მთიანეთში მარცვლოვანი და პარკოსანი კულტურების ნარჩენი ბიომასა	30
ცხრილი 8. გურიაში მარცვლოვანი და პარკოსანი კულტურების ნარჩენი ბიომასა	30
ცხრილი 9. სამცხე-ჯავახეთში მარცვლოვანი და პარკოსანი კულტურების ნარჩენი ბიომასა	31
ცხრილი 10. კახეთში მარცვლოვანი და პარკოსანი კულტურების ნარჩენი ბიომასა	31
ცხრილი 11. საქართველოში მცენარეული ნარჩენი ბიომასა	32
ცხრილი 12. მერქნის ყოველწლიური ნამატი	35
ცხრილი 13. სხვადასხვა სათბობში გოგირდის შემცველობა	39

ცხრილი 14. სხვადასხვა სათბობის ნაცრიანობის და დაყვანილი ნაცრიანობის მონაცემები	41
ცხრილი 15. სხვადასხვა ნივთიერებებისა და მასალების უდაბლესი თბოუნარიანობა	45
ცხრილი 16. საკვლევი ნიმუშების გამოშრობა საშრობ კარადაში.....	57
ცხრილი 17. კალორიმეტრიული რიცხვის გაზომვის მონაცემები.....	60
ცხრილი 18. ტენიანი ლობიოს ქერქის ექსპერიმენტული მონაცემები და თბოუნარიანობა	78
ცხრილი 19. გამომშრალი ლობიოს ქერქის ექსპერიმენტული მონაცემები და თბოუნარიანობა	79
ცხრილი 20. მზესუმზირის ნარჩენი ბიომასის (ჩენჩოს) ექსპერიმენტული მონაცემები და თბოუნარიანობა.....	80
ცხრილი 21. ტენიანი სიმინდის ნარჩენი ბიომასის (ტაროს) ექსპერიმენტული მონაცემები და თბოუნარიანობა	81
ცხრილი 22. გამომშრალი სიმინდის ნარჩენი ბიომასის (ტაროს) ექსპერიმენტული მონაცემები და თბოუნარიანობა	82
ცხრილი 23. სიმინდის ნარჩენი ბიომასის (დეროს) ექსპერიმენტული მონაცემები და თბოუნარიანობა.....	83
ცხრილი 24. სიმინდის ფუჩეჩის ექსპერიმენტული მონაცემები და თბოუნარიანობა	84
ცხრილი 25. ტყემლის კურკის ექსპერიმენტული მონაცემები და თბოუნარიანობა	85
ცხრილი 26. ვაშლის ნარჩენი ბიომასის (ქერქის) ექსპერიმენტული მონაცემები.....	86

ცხრილი 27. ხახვის ნარჩენი ბიომასის (ქერქის) ექსპერიმენტული მონაცემები.....	87
ცხრილი 28. ყურძნის ნარჩენი ბიომასის ჩენჩოს (ჭაჭა) ექსპერიმენტული მონაცემები და თბოუნარიანობა.....	88
ცხრილი 29. ხორბლის ნარჩენი ბიომასის ექსპერიმენტული მონაცემები და თბოუნარიანობა	89
ცხრილი 30. ქერის ნარჩენი ბიომასის ექსპერიმენტული მონაცემები და თბოუნარიანობა	90
ცხრილი 31. შვრიის ნარჩენების ექსპერიმენტული მონაცემები და თბოუნარიანობა	91
ცხრილი 32. კალორიმეტრული ცდის ტემპერატურული პერიოდები	93
ცხრილი 33. საწყისი პერიოდის ტემპერატურა და აპროქსიმაციის წრფიდან გადახრების კვადრატები	96
ცხრილი 34. კორელაცია ცდის საწყისი პერიოდისთვის	96
ცხრილი 35. კორელაცია ცდის საბოლოო პერიოდისთვის	98
ცხრილი 36. საბოლოო პერიოდის ტემპერატურა და აპროქსიმაციის წრფიდან გადახრების კვადრატები	98
ცხრილი 37. სიმინდის ფუჩეჩის თბური პარამეტრები	102
ცხრილი 38. ყურძნის ნარჩენის თბური პარამეტრები.....	103
ცხრილი 39. მხესუმზირის ნარჩენის თბური პარამეტრები	103
ცხრილი 40. ლობიოს ქერქის თბური პარამეტრები.....	104
ცხრილი 41. სიმინდის ნარჩენი ბიომასის ტაროს ნარჩენის თბური პარამეტრები.....	104

ცხრილი 42. ტყემლის კურკის თბური პარამეტრები	105
ცხრილი 43. ვაშლის ქერქის თბური პარამეტრები.....	105
ცხრილი 44. ხახვის ქერქის თბური პარამეტრები	106
ცხრილი 45. ხორბლის ნარჩენის თბური პარამეტრები.....	106
ცხრილი 46. ქერის ნარჩენის თბური პარამეტრები.....	107
ცხრილი 47. შვრიის ნარჩენის თბური პარამეტრები	107
ცხრილი 48. ენერჯის მისაღებად გამოსაყენებელი ბიომასის ენერგეტიკული პოტენციალის (გჯოულებში) და შესაბამისი ტონა პირობითი სათბობის მნიშვნელობები (ტპს).	110

ნახაზების ნუსხა

83.

ნახაზი 1. ემისიები საქართველოში	27
ნახაზი 2. საქართველოს ტყის ფონდი	34
ნახაზი 3. საშემე მერქნის პოტენციალი და მოხმარება (ათასი მ ³)	37
ნახაზი 4. ბრიკეტის დამზადების ეტაპები	48
ნახაზი 5. ბრიკეტირების პროცესი	49
ნახაზი 6. შნეკური ტიპის დანადგარი	49
ნახაზი 7. დოლური ტიპის საწნეხი	50
ნახაზი 8. დგუმისებრი წნეხი	51
ნახაზი 9. კალიბრება 1	63
ნახაზი 10. კალიბრება 2	64
ნახაზი 11. კალიბრება 3	65
ნახაზი 12. კალიბრება 4	66
ნახაზი 13. კალიბრება 5	67
ნახაზი 14. კალორიმეტრის- XRY-1C სქემა	69
ნახაზი 15. ლობიოს ქერქის ნარჩენი ბიომასის ექსპერიმენტის დიაგრამა ..	72
ნახაზი 16. მზესუმზირის ნარჩენი ბიომასის ექსპერიმენტის დიაგრამა	72
ნახაზი 17. სიმინდის ტაროს ნარჩენი ბიომასის ექსპერიმენტის დიაგრამა ..	73
ნახაზი 18. სიმინდის ღეროს ნარჩენი ბიომასის ექსპერიმენტის დიაგრამა ..	73
ნახაზი 19. სიმინდის ფუჩეჩის ნარჩენი ბიომასის ექსპერიმენტის დიაგრამა	74
ნახაზი 20. ტყემლის კურკის ნარჩენი ბიომასის ექსპერიმენტის დიაგრამა ..	74
ნახაზი 21. ვაშლის ქერქის ნარჩენი ბიომასის ექსპერიმენტის დიაგრამა	75
ნახაზი 22. ხახვის ქერქის ნარჩენი ბიომასის ექსპერიმენტის დიაგრამა	75

ნახაზი 23. ყურძნის ნარჩენი ნარჩენი ბიომასის (ჭაჭას) ექსპერიმენტის დიაგრამა	76
ნახაზი 24. ხორბალის ნარჩენი ბიომასის ექსპერიმენტის დიაგრამა.....	76
ნახაზი 25. ქერის ნარჩენი ბიომასის ექსპერიმენტის დიაგრამა.....	77
ნახაზი 26. შვრიის ნარჩენი ბიომასის ექსპერიმენტის დიაგრამა	77
ნახაზი 27. კალორიმეტრული ცდის სანიმუშო ცხრილი და გრაფიკი	94
ნახაზი 28. ცდის საწყისი პერიოდის აპროქსიმაციის წრფე	97
ნახაზი 29. ცდის საბოლოო პერიოდის აპროქსიმაციის წრფე	99
ნახაზი 30. საწყისი პერიოდის პოლინომის ექსტრაპოლაცია	100
ნახაზი 31. საბოლოო პერიოდის პოლინომის ექსტრაპოლაცია	100
ნახაზი 32. საწყისი და საბოლოო პერიოდების ტემპერატურათა ცვლილების შესწორება	101

მადლიერება

მადლობას ვუხდით დისერტაციის ხელმძღვანელს პროფესორ ო. კილურამეს და თბოენერგეტიკის და ენერგოეფექტურობის დეპარტამენტის წევრებს დისერტაციაზე მუშაობის დროს გაწეული დახმარებისათვის.

შესავალი

ადამინმა უხსოვარი დროიდან დაიწყო სათბობის გამოყენება. მის პრიმიტიულ ფორმას წარმოადგენდა ბუნებრივ პირობებში გამხმარი (გამომშრალი) მცენარეული მასა ან ხმელი ხის ტოტები, რომელსაც პირველყოფილი ადამიანები სითბოს მისაღებად იყენებდნენ. დროთა განმავლობაში სათბობად გამოსაყენებელი ნივთიერებათა რაოდენობა ადამინის თვლსაწიერის გაზრდასთან ერთად მკვეთრად გაიზარდა. მოხდა სათბობის კლასიფიკაცია მისი აგრეგტული მდგომარეობის მიხედვით და მყარ სათბობთან ერთად გამოიყენება, როგორც თხევადი ასევე აირადი სათბობი. აგრეთვე შეიცვალა ადამიანის წარმოდგენა იმის შესახებ, რომ წვადი ნივთიერებებისგან გარდა სითბოსი, რომელიც გასათბობად შეიძლება გამოვიყენოთ, შესაძლებელია მისი გარდაქმნა სხვა სახის ენერგიად და გამოყენება სხვადასხვა ტექნოლოგიური თუ სახოფაცხოვრებო მიზნებისთვის. გამომდინარე აქედან ადამიანმა დაიწყო სათბობის გამოყენება სხვადასხვა სფეროში. ამან რათქმაუნდა გამოიწვია სათბობის მარაგების შემცირება, რადგან მასზე მოთხოვნა წარსულიდან დღემდე და მომავალშიც გამუდმებით იზრდება.

დღეისათვის ელექტრო ენერჯის გენერაციისათვის, მრავალრიც-ხოვანი ტექნოლოგიური პროცესების განსახორციელებისათვის, შენობების გათბობისათვის და სხვა მომხმარებლებისათვის ორგანული სათბობი ენერჯის ერთ-ერთ ძირითად საწყის წყაროს წარმოადგენს.

მზარდი მოთხოვნილებაა სხვადასხვა მყარ (ქვანახშირი, წვადი ფიქალები, ანტრაციტი, მურა ნახშირი,შეშა, ტორფი), თხევად (ბენზინი,ნავთი, მაზუთი, და ნავთობის გადამუშავების სხვა პროდუქტები: სპირტი, ქვანახშირის ფისი და სხვა) და აირად საწვავზე (ბუნებრივი გაზი. ბრძმედის და კოქსის აირი და სხვა).

რადგან კლასიკური ორგანული სათბობის მოხმარება განუხრელად მზარდია დროის მცირე პერიოდის მიხედვით, ხოლო სათბობის

ჩამოყალიბებას მილიონობით წლები სჭირდება, შედეგად იგი არაგანხლებად ენერჯის წყაროს წარმოადგენს.

სათბობის მარაგების სწრაფი ტემპით შემცირება და ამასთან ერთად მათი ღირებულების განუხრელი ზრდა მწვავედ აყენებს საკითხს ალტერნატიული სათბობის ძიების კუთხით.

სათბობის ერთ-ერთ სახედ განიხილება ბიომასა, რომელიც მოიცავს: მცენარეულ და ცხოველურ ნარჩენებს; ტყის კულტურული ჭრის და მერქნის გადამუშავების ნარჩენებს; სასოფლო სამეურნეო მცენარეულ ნარჩენებს; საყოფაცხოვრებო და კვების მრეწველობის ნარჩენებს; ცხოველურ, საოჯახო, მუნიციპალურ და საკანალიზაციო ნარჩენებს.

ნარჩენებში შემავალი ორგანული წვადი ნაერთების დაწვით შესაძლებელია ნივთიერების ქიმიური ენერჯია გარდაიქმნას ეკვივალენტურ საჭირო თბურ ენერჯიად და შესაბამისად გარკვეული წილით ჩაანაცვლოს ტრადიციული ორგანული სათბობი.

სოფლად დიდი რაოდენობით გროვდება სასოფლო სამეურნეო მცენარეული ნარჩენები: სიმინდის ტარო, ღერო და ფოთოლი, მზესუმზირის ჩენჩო; ლობიოს ქერქი; ყურძნის ჩენჩო (ჭაჭა); ტყემლის კურკა; ხორბლის, ქერის და ნამჯას ნარჩენი; ხახვის ქერქი და მრავალი სხვა კულტურული მცენარეების ნარჩენები.

ნაშრომში განხილულია ნარჩენი ბიომასის სათბობად გამოყენების პერსპექტივა: მისი, როგორც განახლებადი სათბობის დაწვა შეშის ღუმელებში ძირითად სათბობთან-შეშასთან ერთად, ან სპეციალურად მომზადების (ბრიკეტირებით) შემდეგ გამოყენება დამოუკიდებლადაც. ასეთი გზით შესაძლებელი გახდება ნარჩენების სითბოს უტილიზაცია და შეშის მოხმარების შემცირება, რაც ხელს შეუწყობს ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესებას- კლიმატის დარბილებას.

კვლევის მიზანი. კვლევის მიზანს წარმოადგენს მცენარეული ნარჩენი ბიომასის ალტერნატიულ სათბობად განხილვა და საჭირო თბოტექნიკური პარამეტრების ექსპერიმენტული გზით დადგენა, რაც აქტუალურ ამოცანას

წარმოადგენს, რომელიც ეხმიანება სოფლის მოსახლეობის სოციალური პირობების გაუმჯობესებას და ასევე გარემოს გაჯანსაღებას.

ნაშრომში დასმული ერთ-ერთი ამ პრობლემატური საკითხის დადებითად გადაწყვეტა პოზიტიურად იმოქმედებს - საქართველოს უმრავლეს რეგიონში ფაქტიურად არსებული მდგომარეობის-შემის არა ნორმირებული ჭრის კატასტროფულად გაზრდილი მაჩვანებლის შემცირებაზე.

კვლევის ძირითადი ამოცანები. დასახული მიზნის მისღწევად დასმული იქნა შემდეგი ძირითადი ამოცანები:

- ალტერნატიული სათბობების განხილვა და მათი ენერგეტიკული და ეკოლოგიური როლის შეფასება;
- მცენარეული ნარჩენი ბიომასის სათბობად გამოყენების მიზნით წინა პირობების შესწავლა და საქართველოს რეგიონების მიხედვით მცენარეული ნარჩენი ბიომასის რაოდენობრივი ანალიზი;
- მცენარეული ნარჩენი ბიომასის თბოტექნიკური პარამეტრის-თბოუნარიანობის ექსპერიმენტული განსაზღვრის მეთოდოლოგიის შერჩევა;
- იზოთერმული კალორიმეტრის ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე გაზომვის შედეგებზე გარემოსთან თბოცვლით განპირობებული სისტემატიური ხასითის ცდომილებების შესწავლა, მისი მნიშვნელობის განსაზღვრა და შედეგების კორექტირება შესაბამისი შესწორების შეტანით;
- სხვადასხვა სახის მცენარეული ნარჩენი ბიომასის თბოუნარიანობის ექსპერიმენტული გამოკვლევა, შედეგების ანალიზი და რეკომენდაციები სათბობად გამოყენების მიზნით.

კვლევის ობიექტი, მეთოდები და ექსპერიმენტული ზაზა. კვლევის ობიექტად შერჩეულია საქართველოში დიდი რაოდენობით არსებული სხვადასხვა მცენარეული ნარჩენი ბიომასა, კერძოდ: ლობიოს ქერქი; მზესუმზირის ჩენჩო; სიმინდის ტარო, სიმინდის ფოთოლი; სიმინდის

ფუჩეჩი; ვაშლის ქერქი; ხახვის ქერქი; ყურძნის ჩენჩო; ხორბლის ნარჩენი; ქერის ნარჩენი; ნამჯა და სხვა. თბოუნარიანობის გამოსაკვლევად განხილულია როგორც თეორიული, ასევე ექსპერიმენტული მეთოდები. უპირატესობა კონკრეტული ამოცანების გადასაწყვეტად მიენიჭა თბოუნარიანობის განსაზღვრის ექსპერიმენტულ მეთოდს, როგორც შედეგების საიმედოობით უფრო სანდო მეთოდს. ექსპერიმენტული კვლევისათვის გამოყენებულია თანამედროვე დონის კალორიმეტრული სისტემა, რაც მიღებული შედეგების მაღალ სიზუსტესა და სისწორეს განაპირობებს.

ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე. პირველად ექსპერიმენტულად დადგენილია: სხვადასხვა მცენარეული ნარჩენი ბიომასის უმაღლესი მუშა თბოუნარიანობა; მიღებულია სათბობში გარე ტენის მიხედვით უდაბლესი თბოუნარიანობის გამოსათვლელი გამოსახულებები; თბოუნარიანობის მიღებული შედეგებზე დაყრდნობით შეფასებულია მცენარეული ნარჩენი ბიომასის ენერგეტიკული პოტენციალი და პირობითი სათბობის დაზოგვის მაჩვენებლები; ექსპერიმენტულ შედეგებში გათვალისწინებულია შესწორებები გარემოსთან თბოცვლით გამოწვეულ სისტემატიური ხასიათის ცდომილებებზე.

ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება- გამოყენების სფერო. ნაშრომში მიღებული შედეგების საფუძველზე გამოკვლეული მცენარეული ნარჩენი ბიომასა წარმატებით შეიძლება დანერგილი იქნეს სოფლად ფართო მასშტაბით გამოყენებული შეშის ღუმელებისათვის სათბობად, როგორც შემასთან ერთად ასევე დამოუკიდებლადაც, რაც დაზოგავს შეშის გამოყენებას და ხელს შეუწყობს გარემოს გააჯანსაღებას.

ნაშრომის აპრობაცია. ნაშრომის ძირითადი შედეგები წარმოდგენილი იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის, თბოენერგეტიკისა და ენერგოეფექტურობის დეპარტამენტში I, II და III კოლოქვიუმებზე და დისერტაციის წინასწარი დაცვის დეპარტამენტის ღია სხდომაზე. ასევე,

სტუ-ის სტუდენტთა 85-ე და 86-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციებზე 2017 და 2018 წლებში.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებულია 3 სამეცნიერო სტატია, სადისერტაციო საბჭოს მიერ რეკომენდებულ გამოცემებში.

თავი 1. ლიტერატურის მიმოხილვა

1.1. ორგანული სათბობი და მათი დეფიციტი

სათბობი წარმოადგენს ბუნებრივ წვად წიაღისეულს ან ხელოვნური გზით მიღებულ ნივთიერებას, რომელიც უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ მოთხოვნებს: მისი წვადი ელემენტების ჟანგბადთან კარგი მიერთება, მაღალი ბუნებრივი რესურსი, ხელმისაწვდომობა სამრეწველო მასშტაბით, არ უნდა გამოყოფდეს ისეთ ტოქსინებს, რომელთა გაუვნებელყოფა შუძლებელია [1].

სათბობის კლასიფიკაცია ხდება სხვადასხვა მახასიათებლების მიხედვით: დანიშნულება; აგრეგატული მდგომარეობა; ალდგენადი და არაალდგენადი თვისება; ტენის შემცველობა; ნაცრიანობა და სხვა [2].

გამოყენების მიხედვით სათბობი ორი სახისაა: ენერგეტიკული და ტექნოლოგიური.

ენერგეტიკულია - გამოიყენება თბური და ელექტრო ენერჯის მისაღებად.

ცხრილი 1. სათბობის კლასიფიკაცია		
სათბობის აგრეგატული მდგომარეობა	მიღების მეთოდი	
	ბუნებრივი სათბობი	წარმოებული (ხელოვნური) სათბობი
მყარი	შეშა, ტორფი, ნახშირი, ქვანახშირი, წვადი მურა ფიქალები, ანტრაციტი	ხის ნახშირი, კოქსი, ნახევრად კოქსი, ბრიკეტები, გრანულები
თხევადი	ნავთობი	ბენზინი, ნავთი, მაზუთი, და ნავთობის გადამუშავების სხვა პროდუქტები: სპირტი, ქვანახშირის ფისი და სხვა
აირადი	ბუნებრივი გაზი	ხელოვნური გაზები: კოქსის, ბრმმედის, სანათი, გენერატორის და სხვა

ტექნოლოგურია - სათბობი, რომელიც გამოიყენება სხვადასხვა დანიშნულების ღუმელებში (სადნობი, გამაცხელებელი, გამოსაწვავი და სხვა).

აგრეგატული მდგომარეობის და სათბობის მიღების მეთოდების მიხედვით სათბობის კლასიფიკაცია მოცემულია ცხრ. 1. [3] .

მსოფლიოში ნავთობისა და გაზის დეფიციტის გამო აქტუალურია მათი ჩანაცვლების საკითხი - სხვა ალტერნატიული სათბობით, რომელსაც საყოფაცხოვრებო ან სხვა ტექნოლოგიური პროცესებისთვის გამოიყენებენ.

BP მსოფლიო ნავთობის მარაგების შესახებ გავრცელებულ ინფორმაციაში, 2014 წელს სავარუდო მონაცემებით, ეს რიცხვი 1687,9 მილიარდ ბარელს შეადგენს. 2014 წლის მონაცემები გასული წლის მაჩვენებელს 1.1%-ით აღემატება [4].

იმ შემთხვევაში, თუ კი ნავთობზე დღევანდელი მოთხოვნა იგივე დარჩა და მომავალში ახალი მარაგები ვერ იქნა აღმოჩენილი, ეს რაოდენობა მსოფლიოს 53,3 წლის განმავლობაში ეყოფა. 53 წელი არ წარმოადგენს ნავთობპროდუქტების სრულ ლიმიტს.

რაც შეეხება გაზის მარაგს მსოფლიოს დაახლოებით 250 წელი ეყოფა. მსოფლიოში მთლიანი გაზის მარაგი 920 ტრილიონი კუბური მეტრია. ეს 300-ჯერ მეტია, ვიდრე ამჟამინდელი წლიური მოთხოვნა ბუნებრივ აირზე.

გაზის მარაგის შეფასების ზრდა დაკავშირებულია არაკონვენციურ, კონკრეტულად ფიქალის გაზსა და ქვანახშირის შრეებიდან მიღებულ აირთან.

ყველაზე დიდი ზრდა ნავთობის მარაგების მოდის ამერიკაზე. ამერიკის შეერთებულ შტატებს BP-ის ანგარიშის თანახმად, 44 მილიარდი ბარელი ნავთობის რეზერვები აქვს, რაც წინა შეფასებას 26%-ით აღემატება . პროგნოზი გაკეთებულია ტეხასის შტატის ნავთობპოტენციალზე დაყრდნობით.

რუსეთის აღმოსავლეთში, ახალი საბადოების ამუშავებას უკავშირდება ქვეყნის მარაგების 4.2%-ით გაზრდა.

ახალი ტექნოლოგიები საშუალებას იძლევა კომპანიებმა უფრო ეფექტიანად მოიძიონ ნავთობი ოკეანის შეღებურ ზონაში. კონტინენტურ მოპოვებასთან შედარებით ყოველწლიურად იზრდება ოკეანური ნავთობის მოპოვება.

გაზის და ნავთობის რესურსი არის საქართველოშიც. გაზის და ნავთობის კორპორაციის ინფორმაციით საქართველოში დადასტურებული მარაგები 394 მლნ ტონას შეადგენს, ხოლო გაზის მარაგები 303.825 მლნ.მ³ ს.

საქართველოში 2017 წელს გადამუშავდა 23425.53 ტონა ნავთობი და მიღებულ იქნა [5]:

- ნავთი 3424.9 ტონა;
- ბენზინი 2197.7 ტონა;
- დიზელის საწვავი 9986.9 ტონა;
- მაზუთი 8751.9 ტონა.

1.1.1. სათბობის შედგენილობა

სათბობის შედგენილობაში შედის: წვადი ელემენტები-ნახშირბადი (C), წყალბადი (H) და გოგირდი (S); შიგა ბალასტი- ჟანგბადი (O) და აზოტი (N); გარე ბალასტი - ტენი (W) და ნაცარი (A) [6].

მყარი და თხევადი სათბობები შედგება რთული ნაერთებისაგან, ამასთან აირადი სათბობი მოიაზრებს საკუთარ შედგენილობაში შემდეგ გაზებს: წყალბადს, მეთანს ასევე სხვადასხვა უმაღლესი რიგის ნახშირწყალბადებსა და არაწვადი გაზების-ნახშირბადის ჟანგეულების, ჟანგბადის, აზოტის, წყლის ორთქლის მექანიკურ ნარევს.

უცნობია კავშირი მყარ და თხევად სათბობის ელემენტებს შორის, რის გამოც ცალკეული ელემენტების შემცველობის მიხედვით განისაზღვრება სათბობის შედგენილობა. ამიტომ სათბობი ელემენტარული (ელემენტების) პროცენტული შედგენილობის სახითაა მოცემული.

სათბობის მუშა შედეგნილობა გამოისახება (პროცენტულად) შემდეგი ტოლობით [7] :

$$C^{\theta} + H^{\theta} + O^{\theta} + N^{\theta} + S_{\text{აქრ}}^{\theta} + A^{\theta} + W^{\theta} = 100\%$$

სადაც, $S_{\text{აქრ}}^{\theta} = S_{\text{წვ}}^{\theta} + S_{\text{არაწვ}}^{\theta}$ და $W^{\theta} = W_{\text{გ}}^{\theta} + W_{\text{ჰიკორ}}^{\theta}$

მშრალი მასისათვის, (სათბობიდან ტენის სრულად მოცილების შემდეგ 105 გრადუსზე გამოშრობით) გამოსახულებას მშრალი შედეგნილობისათვის ექნება სახე:

$$C^{\theta\theta} + H^{\theta\theta} + O^{\theta\theta} + N^{\theta\theta} + S_{\text{აქრ}}^{\theta\theta} + A^{\theta\theta} = 100\%.$$

სათბობის წვადი მასა ნახშირბადის, გოგირდის და წყალბადისგან შედგება. მათ აგრეთვე ემატება ჟანგბადი და აზოტი. ამ უკანასკნელიდან მხოლოდ ჟანგბადი მონაწილეობს უშუალოდ წვაში. აზოტი ინერტული აირია. ამის გათვალისწინებით წვადი მასისთვის მიიღება გამოსახულება:

$$C^{\text{წვ}} + H^{\text{წვ}} + S_{\text{აქრ}}^{\text{წვ}} + O^{\text{წვ}} + N^{\text{წვ}} = 100\%.$$

წვადი მასიდან აქროლადი გოგირდის გამოთიშვით მიიღება ორგანული მასა (ცხრ.2):

$$C^{\text{ო}} + H^{\text{ო}} + O^{\text{ო}} + N^{\text{ო}} = 100\%.$$

ცხრილი 2. მყარი და თხევადი სათბობის ორგანული მასის შედეგნილობა %-ში

სათბობი		ორგანული მასის შედეგნილობა %				ორგანული მასის უმაღლესი წვის სითბო მჯ/კგ
		C	H	O	N	
1	მერქანი	50	6	43	1	18,86-20,1
2	ჰუმუსებრი: წარმონაქმნები(ტორფი)	53-60	6-5,5	39-33	2	21,4-24,7
	მურა ნახშირი	62-79	6,4	27-17	1,5	26,4-30,2
	ახალგაზრდა ქვანახშირები	75-83	6-5	9-7	1,7	31,4-34,8
	ანთრაციტები	93-97	3-1	3-1	0,8	33,73-35
3	საპროპელიტები: საწვავი ფიქალი	60-75	10-8	10-8	0,3-1,2	29,3-37,7
	ნავთობი	85-87	13-11	2-0,5	0,05-0,2	44-46,1

1.2. ალტერნატიული სათბობი

1.2.1. ბიოგაზი

ბიოგაზი, რომელიც გამოიყენებოდა ჯერ კიდევ ანტიკურ პერიოდში, ხელახლა “აღმოაჩინეს” ჩვენს დროში.

ბიოგაზი არის აირადი პროდუქტი, რომელიც სხვადასხვა ორგანული ნივთიერებების ფერმენტაციის პროცესში, უჟანგბადო გარემოში წარმოიქმნება [8].

სოფლად მთელი წლის განმავლობაში გროვდება მცენარეული, ცხოველური ნარჩენები, რომელთაც იყენებენ როგორც ორგანულ სასუქს. დღეისათვის სათბობის დანიშნულებით მოსახლეობის მხოლოდ უმცირესი ნაწილი იყენებს ნარჩენების გადამუშავებით მიღებულ ბიოგაზს.

თბური თვალსაზრისით საშუალოდ 1 მ³ ბიოგაზი ეკვივალენტურია 0,6მ³ ბუნებრივი გაზის, 0,4 ლიტრი ბენზინის, 0,7 ლიტრი მაზუტის და 3,5 კგ. შუშის.

თანამედროვე გერმანიის ტერიტორიაზე ჯერ კიდევ ჩვენს წელთაღრიცხვამდე მე-2 ათასწლეულში არსებობდა პრიმიტიული ბიოგაზის დანადგარები.

ფართო გამოიყენება აქვს მცირე, ასე ვთქვათ ერთი ოჯახისათვის განკუთვნილ, ბიოგაზის მოწყობილობებს საჭმლის მოსამზადებლად ისეთ ქვეყნებში როგორცაა ინდოეთი, ვიეტნამი, ნეპალი. აგრეთვე გამოიყენება: სპორტის სახდელ ქარხნებში, მეფრინველეობის ფაბრიკებში, შაქრის გადამამუშავებელ საწარმოებში და ხორცკომბინატებში [9].

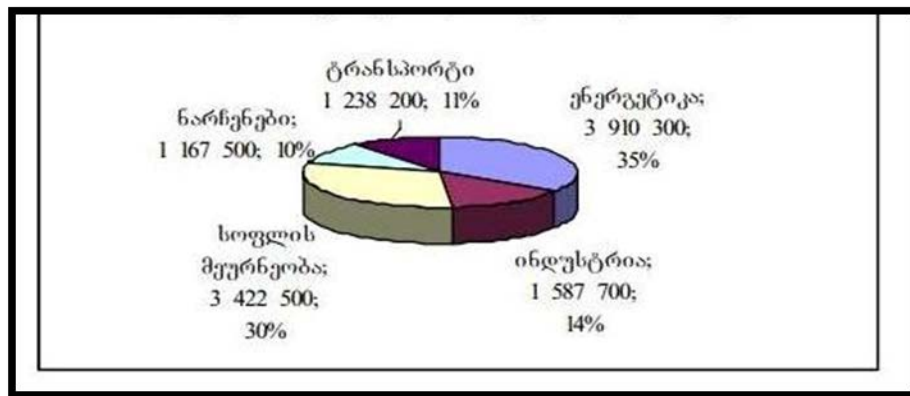
დაახლოებით 18 მლნ. ბიოგაზის დანადგარი ფუნქციონირებდა 2006 წლის ბოლოსათვის ჩინეთში რამაც 10,9 მლნ. ტონა პირობითი საწვავი ჩაანაცვლა.

1.2.2. ნარჩენი ბიომასა

ბიომასაში შედის მცენარეული და ცხოველური ნარჩენები: ტყის და ხის გადამუშავების ნარჩენები; კვების მრეწველობის ნარჩენები; სასოფლო

სამეურნეო, მცენარეული და ცხოველური ნარჩენები, საოჯახო, მუნიციპალური და საკანალიზაციო ნარჩენები და სხვა. ლპობის შედეგად ნარჩენები გამოყოფს მეთანს, რომელიც 21-ჯერ უფრო მავნეა გარემოსათვის ვიდრე CO₂. დაავადებული და ასაკს გადაცილებული ხეების ნარჩენები, თუ არ გამოიხშირა და არ გადამუშავდა გამოყოფს ასევე CO₂ [10].

საქართველოში დამოუკიდებლობის გამოცხადების შემდეგ ენერგოინტენსიური საწარმოები, რომლებიც სათბური გაზების ძირითად წყაროს წარმოადგენს, გაჩერდა. 1990 წელს საქართველო ატმოსფეროში გაისროდა 46 მლნ/ტონა CO₂-ის ეკვივალენტ ემისიებს, 2005 წელს ეს მონაცემი მხოლოდ 12 მილიონ ტონას შეადგენდა. “საქართველოს კლიმატური ცვლილებების ოფისის” მიერ 2005 წელს ჩატარებული ინვენტარიზაციის თანახმად, ამ პერიოდში საქართველოში ემისიების ძირითად წყაროებს სოფლის მეურნეობა, ენერგეტიკა, ინდუსტრია, და ტრანსპორტი წარმოადგენდა [11].



ნახზი 1. ემისიები საქართველოში

ნახ.1. ჩანს, რომ სოფლის მეურნეობა, ურბანული და სხვადასხვა ნარჩენები, ემისიების მნიშვნელოვან წყაროს წარმოადგენს და საქართველოსთვის მათი ნარჩენებისგან გასუფთავება არჩევანი კი არა, აუცილებლობაა.

ეს ხელსაყრელია როგორც სანიტარული და ესთეტიკური, ასევე ნარჩენებისგან ენერჯის მიღების და სუფთა განვითარების მექანიზმის გამოყენებით ემისიებით ვაჭრობაში მონაწილეობის თვალსაზრისითაც.

სოფლის მეურნეობის და მეცხოველეობის განვითარებასთან ერთად, სასოფლო სამეურნეო და მეცხოველეობის ნარჩენების რაოდენობა მკვეთრად გაიზარდა. Winrock International, რომელიც ამერიკის განვითარების სააგენტოს ქვეკონტრაქტორი ორგანიზაციაა, საქართველოს სოფლების განვითარების დახმარების მიზნით, მოსახლეობას მცირე ზომის ბიოდაიჯესტერების დამონტაჟებაში ეხმარება [8].

ბიოდაიჯესტერები საშუალებას აძლევს მოსახლეობას გაიჩინონ ბიოგაზის მიღების ინდივიდუალური, უფასო წყარო და ამასთან ერთად ჩაერთონ ქვეყნის ნარჩენებისგან გასუფთავების პროცესში. გაეროს განვითარების პროგრამა უწევს დახმარებას ბიოდაიჯესტერებისა და ენერგოეფექტური ღუმელების დამონტაჟებაში.

დასაბამიდან საქართველოს მოსახლეობა ტრადიციულად ეწევა ფერმერულ საქმიანობას როგორებიცაა: მემინდვრეობა, მებაღეობა, მეფრინველეობა, მეცხოველეობა, მევენახეობა და შსაბამისად ნარჩენი ბიომასის პოტენციურ წყაროებთან აქვთ კავშირი. სოფლის მოსახლეობას, ბიომასის გამოყენების გარკვეული გამოცდილება აქვთ საოჯახო მეურნეობაში [12].

განვითარებულ ქვეყნებში სადაც მრეწველობა მაღალ საფეხურზეა ყოველწლიური სტატისტიკური მონაცემები შინაური ცხოველების სულადობასა და მცენარეული კულტურების მოსავლიანობის შესახებ წინ უნდა უძღოდეს ნარჩენი ბიომასის ენერგეტიკული პოტენციალის შეფასებას ქვეყანაში [13].

ქვემოთ მოყვანილ ცხრ. (3-11) მოცემულია სასოფლო სამეურნეო მცენარეული კულტურების ნარჩენების რაოდენობა რეგიონულ ასევე კულტურათა სახეობების მიხედვით, რომელიც ემყარება საქართველოს ეკონომიკური განვითარების სამინისტროს სტატისტიკას [14]:

ცხრილი 3. მცხეთა - მთიანეთში მარცვლოვანი და პარკოსანი კულტურების ნარჩენი ბიომასა					
#	კულტურა	მოსავალი ტ	ნარჩენების კოეფიციენტი	ნარჩენების ალების კოეფიციენტი	ნარჩენების რაოდენობა ტ
1	ხორბალი	5344	1,75	0,85	7950
2	ქერი	840	1,5	0,85	1070
3	შვრია	600	1,5	0,85	760
4	სიმინდი	17473	1,2	0,7	14677
5	ლობიო	659	1,65	0,8	870
6	მზესუმზირა	61	3,7	0,7	158
7	სოიო	116	1,5	0,7	121

ცხრილი 4. ქვემო ქართლში მარცვლოვანი და პარკოსანი კულტურების ნარჩენი ბიომასა					
#	კულტურა	მოსავალი ტ	ნარჩენების კოეფიციენტი	ნარჩენების ალების კოეფიციენტი	ნარჩენების რაოდენობა ტ
1	ხორბალი	34167	1,75	0,85	50823
2	ქერი	6811	1,5	0,85	8684
3	შვრია	967	1,5	0,85	1233
4	სიმინდი	34889	1,2	0,7	29307
5	ლობიო	877	1,65	0,8	1158
6	მზესუმზირა	533	3,7	0,7	1381

ცხრილი 5. აჭარაში მარცვლოვანი და პარკოსანი კულტურების ნარჩენი ბიომასის					
#	კულტურა	მოსავალი ტ	ნარჩენების კოეფიციენტი	ნარჩენების ალების კოეფიციენტი	ნარჩენების რაოდენობა ტ
1	ლობიო	556	1,65	0,8	733
2	სიმინდი	11340	1,2	0,7	9525

ცხრილი 6. იმერეთში მარცვლოვანი და პარკოსანი კულტურების ნარჩენი ბიომასა					
#	კულტურა	მოსავალი ტ	ნარჩენების კოეფიციენტი	ნარჩენების ალების კოეფიციენტი	ნარჩენების რაოდენობა ტ
1	ხორბალი	5344	1,75	0,85	7950
2	ქერი	840	1,5	0,85	1070
3	შვრია	600	1,5	0,85	765
4	სიმინდი	107622	1,2	0,7	90403
5	ლობიო	2044	1,65	0,8	2699
6	სოიო	1578	1,5	0,7	1657

ცხრილი 7. მცხეთა- მთიანეთში მარცვლოვანი და პარკოსანი კულტურების ნარჩენი ბიომასა					
#	კულტურა	მოსავალი ტ	ნარჩენების კოეფიციენტი	ნარჩენების ალების კოეფიციენტი	ნარჩენების რაოდენობა ტ
1	ხორბალი	5344	1,75	0,85	7950
2	ქერი	840	1,5	0,85	1070
3	შვრია	600	1,5	0,85	760
4	სიმინდი	17473	1,2	0,7	14677
5	ლობიო	659	1,65	0,8	870
6	მზესუმზირა	61	3,7	0,7	158
7	სოიო	116	1,5	0,7	121

ცხრ. 8. გურიაში მარცვლოვანი და პარკოსანი კულტურების ნარჩენი ბიომასა					
	კულტურა	მოსავალი ტ	ნარჩენების კოეფი- ციენტი	ნარჩენების აღების კოეფი- ციენტი	ნარჩენების რაოდენობა ტ
1	სიმინდი	26778	1,2	0,7	22493
2	ლობიო	445	1,65	0,8	587
3	სოიო	116	1,5	0,7	121

ცხრილი 9. სამცხე-ჯავახეთში მარცვლოვანი და პარკოსანი კულტურების ნარჩენი ბიომასა					
#	კულტურა	მოსავალი ტ	ნარჩენების კოეფი-ციენტი	ნარჩენების აღების კოეფი- ციენტი	ნარჩენების რაოდენობა ტ
1	ხორბალი	5344	1,75	0,85	7950
2	ქერი	20067	1,5	0,85	25585
3	შვრია	1067	1,5	0,85	1360
4	სიმინდი	6071	1,2	0,7	5100
5	ლობიო	522	1,65	0,8	689

ცხრილი 10. კახეთში მარცვლოვანი და პარკოსანი კულტურების ნარჩენი ბიომასა					
#	კულტურა	მოსავალი ტ	ნარჩენების კოეფი- ციენტი	ნარჩენების აღების კოეფი- ციენტი	ნარჩენების რაოდენობა ტ
1	ხორბალი	88111	1,75	0,85	131095
2	ქერი	15433	1,5	0,85	19678
3	შვრია	600	1,5	0,85	760
4	სიმინდი	46578	1,2	0,7	39125
5	ლობიო	46578	1,2	0,7	39125
6	მზესუმზირა	22422	3,7	0,7	58074

ლიტერატურულ მონაცემებზე დაყრდნობით [14] განსაზღვრულია მარცვლოვანი და პარკოსანი კულტურების მოსავალი, ნარჩენების კოეფიციენტები და ნარჩენების რაოდენობა საქართველოს მასშტაბით. (ცხრ. 11).

ცხრილი 11. საქართველოში მარცვლოვანი და პარკოსანი კულტურების ნარჩენი ბიომასა				
კულტურა	მოსავალი (რასაც ადამიანი იყენებს) ტ	ნარჩენების კოეფიციენტი,	ნარჩენების ალების კოეფიციენტი	ნარჩენების რაოდენობა ტ
ხორბალი	181922	1,75	0,85	270609
ქერი	51133	1,5	0,85	65195
შვრია	4178	1,5	0,85	5327
სიმინდი	378501	1,2	0,7	317940
ლობიო	11133	1,65	0,8	14696
სოიო	3144	1,5	0,7	3302
მზესუმზირა	23078	3,7	0,7	59771

მარცვლოვანი და პარკოსანი კულტურების ნარჩენების რაოდენობის დადგენისათვის გამოიყენება ე.წ. „ნარჩენების კოეფიციენტი“ (მიწისზედა ნარჩენების მშრალი მასის ფარდობა ალებული მოსავლის რაოდენობასთან ნარჩენი ბიომასის 14%-იანი ტენიანობის პირობებში) და „ნარჩენების ალების კოეფიციენტი“ (ითვალისწინებს ნარჩენების შეგროვების ტექნიკურ შესაძლებლობებს). მოსავლის მთლიან რაოდენობის, „ნარჩენების კოეფიციენტისა“ და „ნარჩენების ალების“ კოეფიციენტი“-ს ნამრავლით მიიღება მარცვლოვანი და პარკოსანი კულტურების ნარჩენების რაოდენობა.

შემოთავაზებულ მეთოდიკაზე დაყრდნობით საქართველოსთვის მცენარეული კულტურების ბიომასის ნარჩენებისათვის მიღებულია „ნარჩენების კოეფიციენტების“ შემდეგი მნიშვნელობები: 1,2 (სიმინდი); 1,5 (ქერი და შვრია); 1,75 (ხორბალი); 1,65 (ლობიო და ბარდი); 3,7 (მზესუმზირა). „ნარჩენების ალების კოეფიციენტი“ მარცვლოვანი კულტურებისათვის იცვლება 0,7-დან 0,8-მდე.

მარცვლოვანი კულტურების ბიომასის მნიშვნელოვანი ნაწილი გამოიყენება, როგორც მრეწველობის სხვადასხვა დარგში, ასევე სოფლის მეურნეობაში ცხოველების საკვებად, შესაბამისად ენერგეტიკული თვალსაზრისით გამოსაყენებელი ბიომასის რაოდენობა კულტურების მიხედვით შეიძლება იცვლებოდეს, ნარჩენი ბიომასის 20-70%-ის ფარგლებში.

განახლებადი ენერჯის გავრცელებულ და თანმედროვე სახეობას წარმოადგენს ქარის და მზის ენერჯია, რომელიც დიდი პოპულარობით სარგებლობს სხვადასხვა წამყვან ქვეყნებში, უპირველასად მისი ეკოლოგიურად სუფთად გამომუშავებული ენერჯის გამო- არ აბინძურებს გარემოს განსხვავებით გაზით ან ნავთობით მიღებული ტექნოლოგიებისა.

განახლებადი ენერჯის წყაროებია, აგრეთვე:

- შეშა;
- სატყეო მეურნეობის ექსპლუატაციის ნარჩენები;
- სოფლის მეურნეობის მოსავლის ნარჩენები;
- აგროგადამამუშავებელი ინდუსტრიის ნარჩენები;
- მეცხოველეობის ნარჩენები;
- მუნიციპალური საყოფაცხოვრებო ნარჩენები.

როგორც შეშა, აგრეთვე სოფლის მეურნეობის სხვადასხვა ნარჩენები (იგივე ბიომასა) განახლებადია, მისი გამოყენება სითბური ენერჯის მისაღებად შედარებით ნაკლებად დააზიანებდა გარემოს და შეამცირებდა ხე ტყის მასიურ ჭრას.

1.3. საქართველოს ტყის რესურსები და მოხმარება

საქართველოს ტყეებს მრავალფეროვნებაზე რომ არაფერი ითქვას მას მრავალმიზნობრივი სოციალურ-ეკოლოგიური და ეკონომიკური ფუნქციები გააჩნია (ნიადაგდაცვითი, წყალმარეგულირებელი, სანიტარულ-ჰიგიენური, საკურორტო გამაჯანსაღებელი, რეკრეაციული და სხვა),

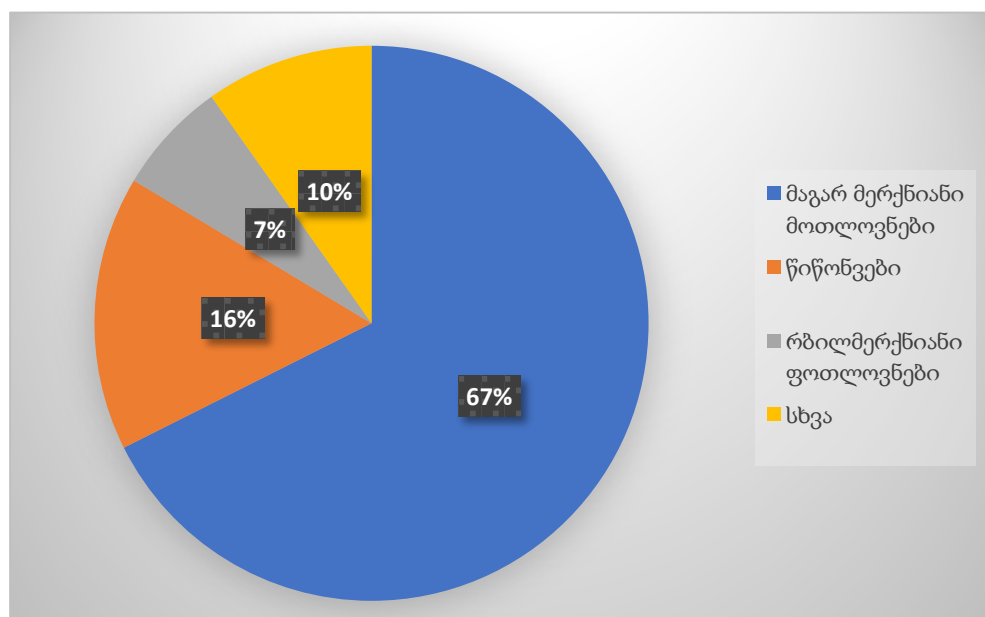
რომელთა შენარჩუნებას, გაძლიერებასა და რეგულირებას დიდი სახელმწიფოებრივი მნიშვნელობა ენიჭება.

2006 წლის მონაცემებით საქართველოს მთლიანი ტერიტორიის 40,6% ტყითაა დაფარული (2,82მლნ.ჰა). რომელთაგან ტყეების 40% განეკუთვნება კასპიის ზღვის აუზს, ხოლო 60% შავი ზღვის აუზს.

საქართველოს ტყეების სტრუქტურა შემდეგნაირია: 16% წიწვოვანი, 6,6% რბილმერქნიან ფოთლოვანი, 67,6% მაგარმერქნიანი ფოთლოვანი და 9,8% სხვა სახეობები.

ტყის მასივების 28% განლაგებულია მცირე კავკასიონის მთათა სისტემების ფერდობებზე, 69% კი მთავარი კავკასიონის მთათა სისტემების ფერდობებზე, 3% განეკუთვნება ბარის ტყეებს (2% კოლხეთის დაბლობს, 1% კი აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეების ჭალებს) (ნახ 2).

ტყის ნაირგვარობაზეა დამოკიდებული მისი ფონდის მწარმოებლობა და პროდუქტიულობა, ანუ ტყით დაფარული ფართობის სიმკვრივეზე და სახეობრივ შემადგენლობაზე. ტყის სახეობრივ სტრუქტურას მნიშვნელობა აქვს ტყის რესურსების პოტენციალის შემაფასებელ მაჩვენებლებში [14].



ნახაზი 2. საქართველოს ტყის ფონდი

ტყის მერქნის ნამატი მრავალ ფაქტორზეა დამოკიდებული: სიხშირეზე, ტყის შემადგენლობაზე, მათ პროდუქტიულობაზე, ხნოვანებაზე და ა.შ.

საქართველოს ტყის ხვედრითი ფართობი შეადგენს 107 მ³/ჰა., ყოველწლიური ნამატი კი შეადგენს 1,44 მ³/ჰა-ზე.

ნამატის გასაანგარიშებლად ცალკეული რეგიონებისთვის უპირველესად დგინდება ტყის სიხშირის ფაქტორი ამ რეგიონისთვის, რის შემდეგაც მერქნის ყოველწლიური ნამატი მარტივი პროპორციული დამოკიდებულებით იანგარიშება ამ რეგიონისთვის. ამ გაანგარიშების შედეგები მოცემულია ცხრილში 12 [14].

ტყის მდგრადი განვითარებისათვის, საჭიროა რაოდენობრივი ბალანსის დაცვა ტყის სანიტარულ ჭრას, ყოველწლიურ ნამატსა და ტყის რესურსების მთლიან მოხმარებას შორის. ხოლო ტყის ფონდის ყოველწლიურ ნამატისთვის, 1995 წლისთვის საქართველოსთვის დადგენილი იქნა, რომ ყოველ ერთ ჰექტარ ტყეზე მერქნის ნამატი - საშუალოდ 1,76 კბმ-ია.

ცხრილი 12. მერქნის ყოველწლიური ნამატი რეგიონების მიხედვით					
რეგიონი	მარაგი ათასი კბმ	ფართობი ათასი ჰა	ტყის სიხშირის ფაქტორი კბმ/ჰა	ნამატის შესწორებული კოეფიციენტი კბმ/ჰა	ნამატი ათასი კბმ
აჭარა	39445	193	204	2,74	528
გურია	11630	101	115	1,54	156
სამეგრელო ზემოსვანეთი	48185	306	157	2,11	645
რაჭა-ლეჩხუმი	39411	275	143	1,92	528
იმერეთი	33649	354	95	1,27	451
კახეთი	40637	384	106	1,42	544
მცხეთა-მთიანეთი	8578	277	31	0,41	115
სამცხე-ჯავახეთი	25022	183	137	1,83	335
ქვემო ქართლი	13616	166	82	1,10	182
შიდა ქართლი	7799	254	31	0,41	104
სულ	267973	2493	107	1,44	3590

აღსანიშნავია ისიც, რომ 1961 წლისთვის იგი შეადგენდა 2,03 კმ-ს. ბოლო წლებში ხე-ტყის მოხმარების ხასიათს თუ გავითვალისწინებთ დიდი ალბათობით შეგვიძლია ვივარაუდოთ, რომ ეს ციფრი კიდევ უფრო შემცირდა. ექსპერტების შეფასებით ეს სიდიდე 2010 წლისთვის შეადგენდა 1,44-ს.

ზემოთ მოყვანილი მონაცემების საფუძველზე ცხადია, რომ რომ საქართველოს ტყეები დეგრადაციას განიცდის და საჭიროა სასწრაფო ზომების მიღება მათ გადასარჩენად. ხე-ტყის რესურსების ეკონომიკურად და ეფექტურად მოხმარების დაგეგმისათვის აუცილებელია, ცალკეული რეგიონებისთვის მერქნის ნამატის პრაქტიკული მნიშვნელობების დადგენა.

საქართველოს რეგიონებისთვის ოფიციალურად ნებადართული ჭრები შეადგენს 0,7 მლნ კმ-ს (აფხაზეთის და სამხრეთ ოსეთის გამოკლებით).

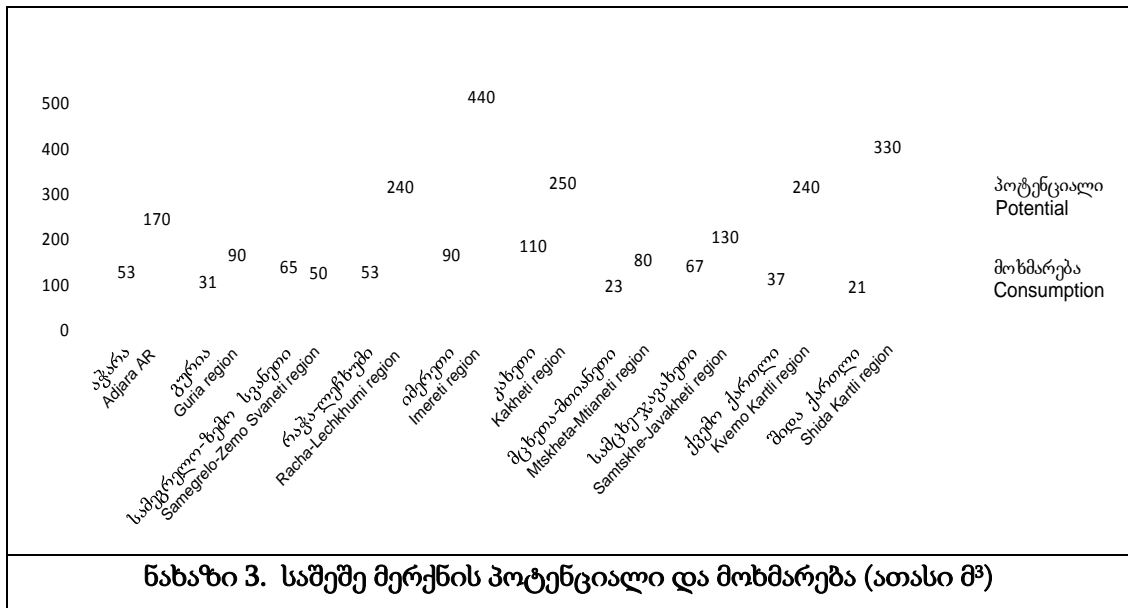
საქართველოს ტყეების ყოველწლიური ნამატის 3,6 მლნ კმ პირობებში ოფიციალურად ნებადართული ჭრები ყოველწლიური ნამატის დაახლოებით 20%-ს შეადგენს.

სხვა ქვეყნების მონაცემებთან შედარებით (უკრაინა 16%, ბელორუსია 17% და ა.შ.) და აგრეთვე ზემოთ მოყვანილ ანალიზის შესაბამისად, საქართველოსთვის 0,7 მლნ კმ ზღვრულ სიდიდეს წარმოადგენს.

მსოფლიო ბანკის 2000 წლის შეფასება საქართველოში მერქნული ნედლეულის მოხმარების სტრუქტურის თანახმად, ჭრა შეადგენს 2 500 000 კმ-ს (ყოველწლიური ნამატის 70%), საიდანაც 2 000 000 კმ - არის შეშა (55%).

იმ ფაქტის გავითვალისწინებით, რომ 2000 წლის შემდეგ სიტუაცია მხოლოდ უმნიშვნელოდ შეიცვალა საქართველოს ტყეების ექსპლოატაციის საქმეში, საქართველოს ტყეების გადასარჩენად სასწრაფო ზომების მიღება გახდა საჭირო. პირველ რიგში აუცილებელია ჭრის ნორმების დადგენა-

კორექტირება და მათი უცილობელი დაცვა. ნახ. 3-ის მონაცემებიდან ჩანს, რომ ერთადერთი რეგიონი სადაც შეშის მოხმარება ნაკლებია ტყის ნამატზე არის სამეგრელო, ზემო სვანეთი. დანარჩენ რეგიონებში სურათი არის კატასტროფული და საჭიროა გადამჭრელი ზომების მიღება.



საქართველოში ტყე ქვეყნის საერთო ტერიტორიის 38.2%-ს მოიცავს. ტყის 95-98% ბუნებრივი წარმოშობისაა და თითქმის მთლიანად (97.7%) მთის ფერდობებზეა.

2012 წელთან შედარებით, 2013 წელს საქართველოში ტყის მოცულობა 2.3%-ით შემცირდა და ქვეყნის საერთო ტერიტორიის 38.2%-ს, 2,66 მილიონ ჰექტარს მოიცავდა. (2000, 2005, 2010, 2011 წლებში ტყეზე მოდიოდა ქვეყნის საერთო ტერიტორიის 39.9%).

2013 წელს ტყის ჭრით მიღებული ხე-ტყის მოცულობა 702 137მ³ იყო, უკანონო ჭრით მიღებული მოცულობა კი - 5 283. აღსანიშნავია, რომ 2013 წელს ტყის უკანონო ჭრის მონაცემები გაცილებით მცირეა სხვადასხვა წლებში დაფიქსირებულ მოცულობებზე - 2001წ. - 43 287 მ³, 2005წ. - 62 764 მ³, 2008წ. - 21 331 მ³, 2009წ. - 30 684 მ³, 2010წ. - 32 936 მ³, 2011წ. - 7 060 მ³, 2012წ. - 6 104 მ³.

1.4. სათბობში შემავალი ელემენტების თბოტექნიკური დახასიათება

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული სათბობი შედგება შემდეგი ელემენტებისგან: C^a ; H^a ; O^a ; N^a ; $S^a_{კრ}$; A^a ; W^a . ცალკეული ელემენტი ხასიათდება სხვადასხვა თავისებურებებით.

ნახშირბადი (C), რომელიც სათბობის საწვავი მასის ძირითად ელემენტს წარმოადგენს, განაპირობებს სათბობის სითბოს ძირითადი ნაწილის გამოყოფას. სათბობში ნახშირბადის შემცველობის ზრდა იწვევს სათბობის წვის სითბოს ზრდას [15].

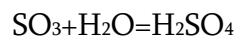
წყალბადი (H) - საწვავი მასის კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი ელემენტია. მისი რაოდენობა სათბობის საწვავ მასაში იცვლება 2 დან 10 % მდე. წყალბადი დიდი რაოდენობითაა ბუნებრივ აირებში. წყალბადის წვის პროდუქტს წარმოადგენს წყალი: $2H_2+O_2=2H_2O$. 1 კგ წყალბადის სრული დაწვით მიიღება 130 მგჯ სითბო. წყალბადის წვის დროს გამოიყოფა 3,5 ჯერ მეტი სითბო ვიდრე იმავე რაოდენობის ნახშირბადის დაწვისას.

გოგირდი (S) რიგით მესამე სათბობის არასასურველ შემადგენელ ელემენტს წარმოადგენს, მიუხედავად იმისა რომ მისი დაწვითაც სითბო გამოიყოფა ტოქსიკური ნაერთების გამოყოფის გამო სათბობის არასასურველი ელემენტია.

სათბობის ტექნოლოგიურ ღირებულებას გოგირდის შემცველობა განსაზღვრავს. მაგალითისთვის კოქსში არსებული გოგირდი ნაწილობრივ გადადის გამოსადნობ ლითონში, რაც მეტად არასასურველია. აღნიშნულის გათვალისწინებით, გოგირდს ქიმიურად აკავშირებენ კირთან და გადაყავთ წიდაში რათა თავიდან იქნას აცილებული აღნიშნული ფაქტი. ამასთან ადგილი აქვს ბრძმედის მწარმოებლურობის შემცირებას ბალასტის გაზრდის გამო.

ცხრილი 13. გოგირდის შემცველობა სხვადასხვა სათბობში					
სათბობი	გოგირდის შემცველობა წვად მასაში, %	გოგირდის დაყვანილი შემცველობა მუშა მასაში, %	სათბობი	გოგირდის შემცველობა წვად მასაში, %	გოგირდის დაყვანილი შემცველობა მუშა მასაში, %
შეშა	0	0	ყარაგანდის ქვანახშირი	1	0,2
ბუნებრივი აირი	0	0	ეკობასტუსკის ქვანახშირი	1	0,2
ბენზინი	0,15	0,015	ჩელიაბინსკის მურა ნახშირი	2	0,3
ტორფი	0,3	0,05	დონეცკის კოქსი	1,8	0,3
მცირეგოგირდიანი მაზუთი	0,5	0,05	დონეცკის ანტრაციტი	2	0,3
ნავთი	1	0,1	დონეცკის ქვანახშირი	3-5	0,4-0,8
დიზელის საწვავი	1	0,1	ესტონეთის საწვავი ფიქალები	4	0,6
მაღალგოგირდიანი მაზუთი	2	0,2	ვოლგისპირეთის საწვავი ფიქალები	10-13	2,5

წვის პროდუქტების ძლიერი გაჭუჭყიანების მიზეზია გოგირდის ანჰიდრიდი SO₂, რომელიც სათბობში წვადი გოგირდის დიდი რაოდენობით შემცველობის შემთხვევაში მიიღება. SO₂ გარდაიქმნება SO₃ - ად დაჟანგვის შემდეგ ჰაერის სიჭარბის მაღალი კოეფიციენტის შემთხვევაში და წყლის ორთქლის კონდენსატთან შეერთებით მიიღება გოგირდმჟავა, რომელიც იწვევს ლითონის ძლიერ კოროზიას:



გარემოს მავნე გაზებით დაბინძურების შესამცირებლად, იყენებენ ძვირად ღირებულ მაღალ საკვამლე მილებს და აგრეთვე წვის პროდუქტების გამწმენდ მოწყობილობებს (სპეციალურ ფილტრებს).

ჟანგბადი- O, რომელიც მიეკუთვნება სათბობის შიგა ბალასტს, წვაში არ მონაწილეობს (არ იწვის), ის მხოლოდ ხელს უწყობს წვას. სხვადასხვა სათბობში მისი შემცველობა არის 0,5%-დან-40 %-მდე. სათბობის წვად მასაში მისი არსებობა იწვევს სათბობის სითბური ღირებულების

შემცირებას (მისი არსებობით მაღალი წვის სიბოხს მქონე ნახშირბადის და წყალბადის შემცველობა სათბობის საწვავ მასაში მცირდება) [16-18].

აზოტი-N. ჟანგბადთან ერთად აზოტიც სათბობის შიგა ბალასტს წარმოადგენს. მისი შემცველობაც ასევე ამცირებს სათბობის სითბურ ღირებულებას. აზოტის შემცველობა მყარ სათბობში 0,5-3%-ს შეადგენს.

ზოგიერთი სათბობი გაზები როგორცაა ბრძმედის და გენერატორის გაზები დიდი რაოდენობით შეიცავს აზოტს, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს სათბობის სითბურ ღირებულებას.

აღსანიშნავია, ისიც, რომ ასეთი გაზები აზოტის მაღალი შემცველობით წარმატებით გამოიყენება, როგორც ძვირფას ნედლეული მინერალური სასუქების საწარმოებლად.

ნაცარი- A სათბობის გარე ბალასტია, ისევე როგორც ტენი. ნაცარი წარმოადგენს სათბობის მინერალური მინარევების დაჟანგვით (MgO , CaO , N_2O , SiO_2 , FeO , Fe_2O_3 , Al_2O_3 და სხვა) მიღებულ მინერალურ ნარჩენს. სათბობიდან აირადი მინერალური მინარევების გამოსვლა, ამცირებს ნაცრის მასას სათბობის საწყის მინერალურ მინარევებთან შეფრდებით.

მინერალური მინარევები მყარ სათბობში იცვლება დიდ დიაპაზონში, შემაში 1%-დან - წვად ფიქალებში 60 %-მდე. მინერალების ბალასტი ამცირებს, სათბობში წვადი ელემენტების შემცველობას და ამის შედეგად სათბობის სითბურ ღირებულებას.

მაღალი ნაცრიანობით სათბობი, ითვლება ადგილობრივი დანიშნულების სათბობად, რომლის ტრანსპორტირება მიზანშეუწონელია დიდ მანძილზე.

სათბობის დაწვის შედეგად მნიშვნელოვანია წარმოშობილი ნაცრის, როგორც რაოდენობა ისე მისი შედგენილობაც. ნაცარი ხასიათდება ორი მაჩვენებლით: აბრაზიულობით და დნობის ტემპერატურით. ნაცარი სათბობის წვის პროცესში შეიძლება, მყარი მდგონარეობიდან გადავიდეს თხევად მგომარეობაში. დნობის ტემპერატურის მიხედვით ანსხვავებენ: ძნელად დნობადი (დნობის ტემპერატურა მეტია $1425^{\circ}C$) და ადვილად

დნობადი (დნობის ტემპერატურა ნაკლებია 1200 °C), საშუალოდ დნობადი (1200-1425 °C).

ცხრილი 14. სხვადასხვა სათბობის ნაცრიანობის და დაყვანილი ნაცრიანობის მონაცემები					
სათბობი	საერთო ნაცრიანობა, %	დაყვანილი ნაცრიანობა, %	სათბობი	საერთო ნაცრიანობა, %	დაყვანილი ნაცრიანობა, %
ბენზინი	0	0	კანსკო-აჩინ-სკის მურა ნახშირი	15	3
ნავთი	0,005	0,0005	ყარაგანდის ქვანახშირი	25	5
დიზელის საწვავი	0,02	0,002	ჩელიაბინსკის მურა ნახშირი	28	6
მაზუთი	0,3	0,03	კიზელოვსკის ქვანახშირი	30	6
შეშა	1	0,2	ეკიბასტუსკის ქვანახშირი	40	9
ტორფი	10	2	მოსკოვისპირა მურა ნახშირი	35	9
კუზნეცკის ქვანახშირი	15	2,5	ესტონეთის საწვავი ფიქალები	40	15
დონეცკის ქვანახშირი	18	3	ვოლგისპირეთის საწვავი ფიქალები	60	40

ხურების ზედაპირებიდან მაღალი დნობის ტემპერატურის მქონე ნაცრის მოცილება შედარებით მარტივია, რადგან იგი ფხვიერი მასის მდგომარეობაში იმყოფება, ხოლო ადვილად დნობადი ნაცარი - გარდაიქმნება მყარ მკვრივ ნარჩენად (წიდა), მთლიანი შეცხოვრილი მასის სახით. ასეთი წარმონაქმნები აფერხებს წვის პროცესს (ძნელდება ჟანგბადის შეღწევა სათბობში) და ზედაპირებიდან წიდის მოცილება დიდ სიძნელებთანაა დაკავშირებული.

დიდი თერმული წინაღობის გამო წიდის არსებობა, ასევე აძნელებს სითბოს გადაცემის პროცესს, ნამწვი გაზებიდან -ხურების ზედაპირებზე.

სათბობის წვის პროდუქტებში ნაცარი თავისი აბრაზიული თვისებებით იწვევს აგრეგატების ლითონის მექანიკურ ცვეთას.

ტენი- W. ნაცართან ერთად სათბობის გარე ბალასტის კიდევ ერთი ელემენტი არის ტენი- W , იგი ისევე, როგორც ნაცარი იწვევს სათბობის სითბური ღირებულების შემცირებას. სათბობის დაწვის დროს გამოყოფილი სითბოს ნაწილი, იხარჯება ტენის აორთქლებაზე და აორთქლებული ტენი ადაბლებს წვის პროდუქტების ტემპერატურას. ეს იწვევს გადაცემული სითბოს რაოდენობის შემცირებას აგრეგატების ხურების ზედაპირებზე და აგრეგატის მწარმოებლურობის შემცირებას.

არჩევნ ტენის ორ სახეს: გარე და შიგა ტენი. გარე ტენი სათბობში ხვდება გარემოდან სათბობის მოპოვების დროს. გარე ტენის შემცველობა სათბობში იცვლება დიდ დიაპაზონში და რამოდენიმე ათეულ პროცენტს აღწევს. მისი მოცილება შესაძლებელია გამოშრობით (ბუნებრივი ან ხელოვნური გზით).

შიგა ტენი - სათბობის ორგანულ ნივთიერებებთან და მის მინერალურ მინარევებთან არის დაკავშირებული. იგი ორი სახისაა: ჰიგროსკოპიული-კოლოიდურ მდგომარეობაში, რომელიც თანაბრად არის განაწილებული სათბობის მთელ მასაში და ჰიდრატული ტენი, რომელიც სათბობის მინერალურ ნაერთებშია.

განგარიშებების დროს ტენიანობის გავლენის შეფასება, შედარებითი მოხერხებულია დაყვანილი ტენიანობის პარამეტრით: ($W_{დაყ}$), რომელიც წარმოადგენს სათბობში ტენის შემცველობა დაყვანილი უდაბლესი თბოუნარიანობის 1000 კკალორიაზე: $W_{დაყ} = 1000W^{\theta} / Q_{\text{თბ}}$

სადაც, $Q_{\text{თბ}}$ -არის სათბობის უდაბლესი მუშა თბოუნარიანობა, კკალ/კგ, W^{θ} - სათბობში ტენის პროცენტული რაოდენობა (მასური %).

უფრო ახალგაზრდა წიაღისეული სათბობები (ტორფი, შეშა, მურა ნახშირი) ქვანახშირებთან და ანტრაციტთან შედარებით ნაკლები სიმკვრივით და მაღალი ფორიანობით და შესაბამისად მაღალი ტენიანობით ხასიათდება.

1.5. სათბობის თბოუნარიანობა

თბოუნარიანობა ახასიათებს სათბობის სრული დაწვით მიღებულ სითბოს რაოდენობას (ჯოული ან კალორია). თბოუნარიანობა დაყვანილი ერთეულ მოცულობაზე (აირადი ნივთიერებისთვის) არის ხვედრითი მოცულობითი თბოუნარიანობა ($\text{ჯ}/\text{მ}^3$) და თბოუნარიანობა დაყვანილი ერთეულ მასაზე (მყარი და თხევადი სათბობისათვის) არის ხვედრითი მასური თბოუნარიანობა ($\text{ჯ}/\text{კგ}$)[19].

სათბობის ქიმიური შედგენილობის მიხედვით შესაძლებელია სათბობის თბოუნარიანობის გაანგარიშება. სათბობის შემადგენლობაში შემავალი საანგარიშო ელემენტებია წყალბადი (H), ნახშირბადი (C) , ნაცარი (A) გოგირდი (S), ტენი (წყალი) (W) და აზოტი (N).

არსებობს თბოუნარიანობის რამდენიმე სახე:

- თბოუნარიანობა დაყვანილი მშრალ მასაზე (Q^m) - არის თბოუნარიანობა სათბობის ისეთი მასის, რომელიც ტენს არ შეიცავს;
- მუშა თბოუნარიანობა (Q^d) - არის თბოუნარიანობა სათბობის მუშა მასისათვის (მუშა მასა არის სათბობი, რა სახითაც მიეწოდება მომხმარებელ აგრეგატს);
- თბოუნარიანობა, დაყვანილი წვად მასაზე (Q^{vs}) - არის თბოუნარიანობა სათბობის ისეთი მასის, რომელიც არ შეიცავს ნაცარს და ტენს.

განსხვავებულია უმაღლესი - $Q_{\text{უმა}}$ და უდაბლესი - $Q_{\text{უდა}}$

თბოუნარიანობები. სათბობის სრული დაწვის დროს გამოყოფილ სითბოს რაოდენობა ხასითდება უმაღლესი თბოუნარიანობით (რომელიც მოიცავს წვის პროდუქტებში არსებული წყლის ორთქლის კონდენსაციის სითბოს)

უდაბლესი თბოუნარიანობის შემთხვევაში სათბობის სრული დაწვის დროს გამოყოფილი სითბოს აკლდება სათბობში არსებული წყალბადის

დაწვით მიღებული ტენის და სათბობში არსებული ტენის აორთქლებაზე დახარჯული სითბო.

შესაბამისად უმაღლესი და უდაბლესი თბოუნარიანობები დაკავშირებულია ერთმანეთთან ფორმულით:

$$Q_{უმ} = Q_{ულ} + k(W^{\partial} + 9H^{\partial}) \quad (1)$$

ფორმულაში (1) $k = 25$ კჯ/კგ (6კკალ/კგ) კოეფიციენტი არის წყლის აორთქლებაზე დახარჯული სითბოს რაოდენობის მეასედი ნაწილი; H^{∂} - წყალბადის რაოდენობა სათბობში მასური %; W^{∂} - წყლის რაოდენობა სათბობში მასური % [20]. უდაბლესი თბოუნარიანობის გამოსათვლელი ფორმულას ექნება სახე:

$$Q_{ულ} = Q_{უმ} - 2514 \cdot (9H^{\partial} + W^{\partial}) / 100 \quad (2)$$

(2) ფორმულაში კოეფიციენტი - 9 წარმოადგენს წყლის რაოდენობას, რომელიც 1კგ წყალბადის დაწვითაა მიღებული; 2514 კჯ/კგ - წყლის აორთქლების სითბო 100 °C ტემპერატურაზე და ატმოსფერული წნევის პირობებში. H^{∂} და W^{∂} - მუშა სათბობში წყალბადის და ტენის შემცველობა %.

თუ ცნობილია სათბობის ელემენტარული შედგენილობა უდაბლესი თბოუნარიანობის გაანგარიშება შესაძლებელია მენდელეევის ფორმულით:

$$Q_{ულ} = 339 \cdot C^{\partial} + 1256 \cdot H^{\partial} - 109 \cdot (O^{\partial} - S_{აქრ}^{\partial}) - 25,14 \cdot (9H^{\partial} + W^{\partial}), \text{ კჯ/კგ, } \quad (3)$$

ან

$$Q_{ულ} = 81 \cdot C^{\partial} + 246 \cdot H^{\partial} - 26 \cdot (O^{\partial} - S_{აქრ}^{\partial}) - 6 \cdot (9H^{\partial} + W^{\partial}), \text{ კკალ/კგ, } \quad (4)$$

სადაც $C^{\partial}, H^{\partial}, O^{\partial}, S_{აქრ}^{\partial}, H^{\partial}, W^{\partial}$ - არის სათბობის მუშა მასაში

წყალბადის, ნახშირბადის, აქროლადი გოგირდის, ჟანგბადის და ტენის პროცენტული შემცველობა (მასური %).

გაანგარიშებების დროს გამოიყენება პირობითი სათბობის ცნება, რომლის ხვედრითი თბოუნარიანობა ტოლია 29308 კჯ/კგ (7000კკალ/კგ).

ცხრილი 15. სხვადასხვა ნივთიერებებისა და მასალების უდაბლესი თბოუნარიანობა

ნივთიერებები და მასალები	უდაბლესი თბოუნარიანობა მგჯ/კგ
ბენზინი	41,87
ნავთი	43,54
ქაღალდი	13,40
შეშა ტენიანობით 14%	13,80
ნატურალური კაუჩუკი	44,73
ლინოლიუმი პოლივინილქლორიდის	14,31
რეზინა	33,52
ქსოვილი	13,80
პოლიეთილენი	47,14
პენოპოლისტიროლი	41,60
ბამბა	15,70

ცხრ.15-ში მოცემულია სხვადასხვა ნივთიერებებისა და მასალების უდაბლესი თბოუნარიანობების მნიშვნელობები.

ზოგიერთ ქვეყანაში სარგებლობენ უმაღლესი თბოუნარიანობის მონაცემებით, ხოლო ზოგიერთში - უდაბლესით. ასე მაგალითად : აშშ-ში, დიდ ბრიტანეთში და საფრანგეთში - უმაღლესით, რუსეთში - უდაბლესით. დიდ ბრიტანეთში და აშშ-ში მეტრული სისტემის შემოღებამდე სარგებლობდნენ ბრიტანული თბური ერთეულებით.

თავი 2. შედეგები და მათი განსჯა

2.1. ბიომასიდან ბრიკეტის დამზადება

სოფლის მეურნეობის ნარჩენების მოგროვების და თავმოყრის შემდეგ სათბობი მასის დასაწვავად მომზადება მოითხოვს გარკვეული ოპერაციების ჩატარებას, რათა ნარჩენებს მიეცეს ერთიანი სახე, მაგალითად, ბრიკეტირების გზით. სათბობს ბრიკეტის სახით გააჩნია უპირატესობები შენახვის, ტრანსპორტირების და დაწვის დროს მოხერხებულობის თვალსაზრისით. გარდა აღნიშნულისა წვის პროცესი წარმართება უფრო ეფექტურად და რაციონალურად.

ბიომასისგან დამზადებული ბრიკეტი (სურათი1) წარმოადგენს მცენარეების, ხე-ტყის, მერქნის, (აგრეთვე ნახერხის) და სოფლის მეურნეობის ნარჩენებისგან მიღებულ დაპრესილ მასას, რომელიც ძირითადად აგურის ან ცილინდრული ფორმითაა წარმოდგენილი [21].



სურ. 1. ბიობრიკეტი

ბრიკეტის საწარმოებლად საჭიროა თავდაპირველად შეგროვებული ნარჩენი პროდუქტი დაქუცმაცდეს მათი შემდგომი დამუშავების (ბრიკეტირების) გასაადვილებლად.

სათბობის ბრიკეტირება ნიშნავს, შეგროვებული ნარჩენების შედარებით ფხვიერი და რბილი მასიდან დაწნევის, დაპრესვის შემდგომ მისი მყარ, უფრო მაგარ (მტკიცე) მდგომარეობაში გადასვლას. სათბობი იღებს ერთიან მკვრივ ფორმას.

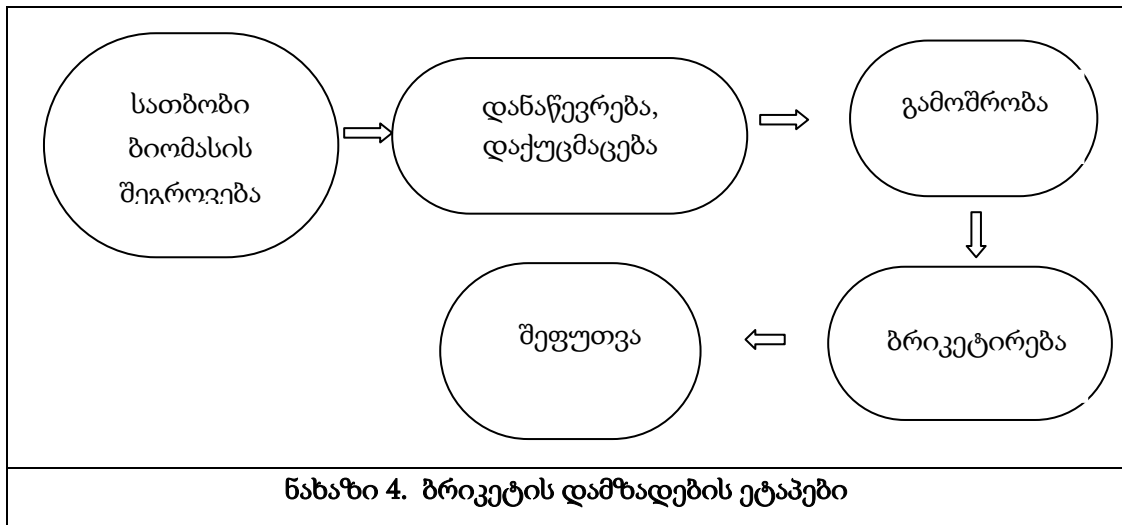
ბიობრიკეტის უპირატესობებია:

- ბრიკეტის მოხმარებით ხელი ეწყობა ტყის ეკოსისტემის შენარჩუნებას და კლიმატის ცვლილების პროცესის შერბილებას, მცირდება დანახარჯები საჭმლის მომზადებასა და გათბობაზე;
- მისი შენახვა და ტრანსპორტი გაადვილებულია;
- ბიომასის ბრიკეტი წარმოადგენს ერთი ზომის და ხარისხის პროდუქტს;
- მასში ტენი შედარებით მცირეა (8-10%), რის გამოც წვის პროცესი უფრო სუფთად და ეფექტურად მიმდინარეობს;
- მავნე აირების და ნარჩენების გამოყოფა მინიმუმამდეა დაყვანილი;
- მისი გამოყენება შესაძლებელია საქართველოში არსებული პრაქტიკულად ნებისმიერი ტიპის შეშის ღუმელში.

ბრიკეტს ძირითადად პიროლიზის და პირდაპირი დაწნევის მეთოდით ღებულობენ [22]:

1. პირველ შემთხვევაში ხდება ბიომასის დაშლა (პიროლიზი), შემდეგ ერევა შემკვრელი ნივთიერება და ხდება დაწნევა.
2. პირდაპირი დაწნევის დროს, ჯერ სჭიროა ბიომასის გამოშრობა, შემდეგ კი მაღალი წნევის და ტემპერატურის პირობებში დაწნევა.

ნახ.4 -ზე ნაჩვენებია ბრიკეტის დასამზადებელი პროცედურები.



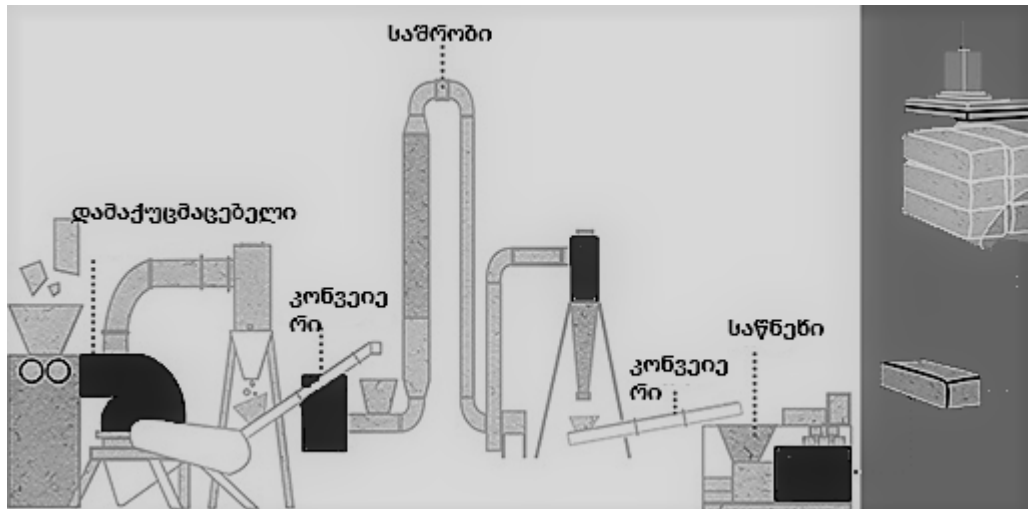
დაპრესვის დროს, ყურადღება უნდა მიქცეს ბალანსს წნევის ძალასა და ბიომასის ხარისხს შორის. თუ დაპრესვის შემდეგ მიღებული ბრიკეტები ადვილად სკდება, სავარაუდოდ ეს შედეგი მასზე მაღალი წნევით დაპრესვით არის გამოწვეული.

აგრეთვე ის ფაქტიც, რომ თუკი წვისას ბრიკეტი არ იშლება, ესეც სავარაუდოდ მაღალი წნევით დაპრესვის გამოა, ხოლო როცა პირიქით წვის დროს ბრიკეტი მალე იშლება მაშინ სავარაუდოდ, რომ დაპრესვა საჭიროზე ნაკლები წნევით შესრულდა.

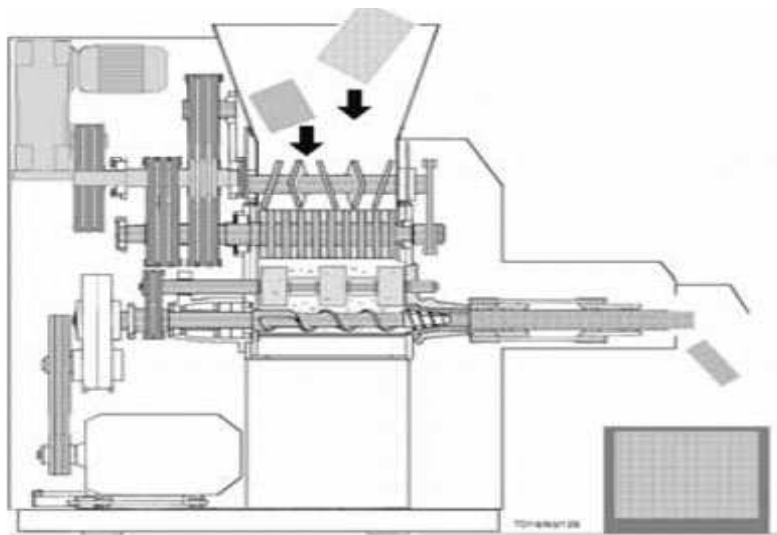
ნახ.5-ზე ნაჩვენებია სათბობის ბრიკეტირების სქემა. ყველაზე მნიშვნელოვანი კვანძია სათბობის საწნეხი მოწყობილობები [23,24].

საწნეხი დაზგა ემსახურება დაქუცმაცებული სათბობის დაპრესვას და ბრიკეტირებას. მუშაობის პრინციპის მიხედვით რამდენიმე ტიპის საპრესი მოწყობილობა არსებობს.

ნახ.6-ზე ნაჩვენებია ეგრეთწოდებული შნეკური ტიპის დანადგარი, რომელიც ფართოდ გამოიყენება ბიობრიკეტის წარმოებაში.



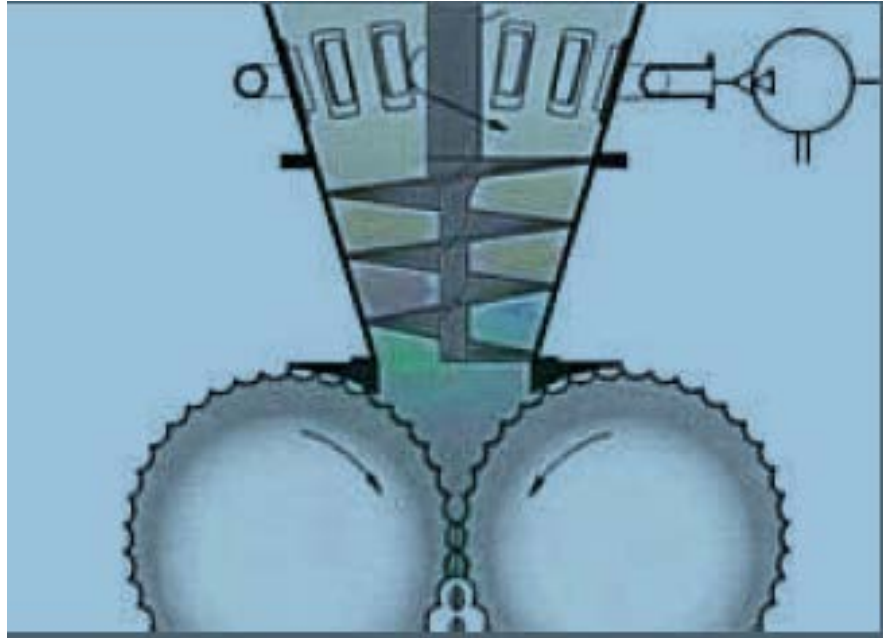
ნახაზი 5. ბრიკეტების პროცესი



ნახაზი 6. შნეკური ტიპის დანადგარი

შნეკური ტიპის დანადგარები გამოირჩევა დაწნეხვის კარგი ხარისხით, აგრეთვე მაღალი მწარმოებლურობით და კომპაქტურობით. დანადგარის უარყოფით მხარეს წარმოადგენს მისი საპრესი (შნეკი) მოწყობილობა, რომელსაც სჭირდება ხშირად ცვლა მისი ინტენსიური ცვეთის გამო. შედეგად დანადგარის მომსახურება მოითხოვს ძვირადღირებული დეტალების ხშირად შეცვლას და საექსპლუატაციო ხარჯების გაზრდას [25].

არსებობს დოლური ტიპის საწნეხი აპარატი, რომლის მწარმოებლობაც აგრეთვე მაღალია. იგი შედგება ურთიერთსაპირისპიროდ მოძრავი ორი დოლისგან საიდანაც მომდინარეობს მისი სახელწოდებაც.

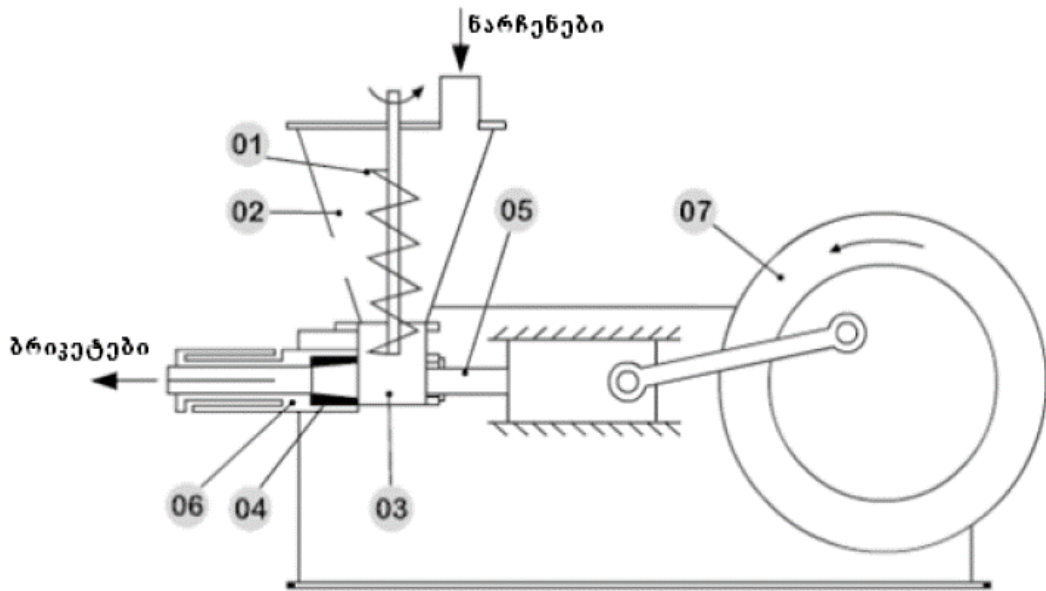


ნახაზი 7. დოლური ტიპის საწნეხი

ნახ.7-ზე მოცემულია დოლური ტიპის საწნეხი. დოლებზე ერთმანეთის თანხვედრად გაკეთებულია ჩაზნექილი ფორმები, ისე რომ როცა ნედლეული ხვდება ამ ჩაზნექილ ადგილებში დოლის შემობრუნება იწვევს ამ მასის დაბრიკეტებას, რომელიც ვარდება წნეხის ქვემოთ არსებულ ბუნკერში. ასეთი დანადგარები გამოირჩევა მაღალი მედეგობით, თუმცა დაწნეხვის ძალის რეგულირების ხარისხით შეზღუდულია. აგრეთვე მასალების დისპერსიულობის მიმართ ძალიან მგრძობიარეა. ბრიკეტების პრეცესის ეფექტურად და ხარისხიანად განხორციელებისათვის ნედლეული კარგად უნდა დამუშავდეს და ჭრილებში მოხვდეს გარკვეული ზომის და ფორმის სახით. ამგვარ დანადგარებს მეტწილად იყინებენ ქვანახშირის მტვრის და სხვა ფხვიერი მასის ბრიკეტებისთვის.

დგუშისებრი წნეხი რომელიც ყველზე მეტადაა გავრცელებული ბრიკეტის დასამზადებლად გამოირჩევა მაღალი საიმედოობით და

მექანიზმის სიმარტივით. ამგვარ დგუშებში შედარებით მცირეა დეტალების ცვეთა და გაადვილებულია მათი მომსახურება, რადგან ძვირადღირებულ ნაწილებს არ მოიხმარენ [26].



ნახაზი 8. დგუშისებრი წნეხი

წნეხი შედგება: ბუნკერისგანგან (1), სადაც ათავსებენ ნედლეულს, მოძრავი თვლისგან (7), რომელიც ამოძრავებს წინ და უკან დგუშს (5) და ახდენს დგუშში არსებული მასის ბრიკეტირებას.

2.2. სათბობის ტენიანობის განსაზღვრა

სათბობის თბოუნარიანობასთან ერთად, ტენიანობაც - სათბობის მნიშვნელოვანი ტექნიკური მახასიათებელია, რომელიც განსაზღვრავს სათბობის ხარისხს და სხვადასხვა დანიშნულებით გამოყენების შესაძლებლობას. სათბობში ტენიანობა სათბობის მოპოვების, შენახვის და გადამუშავების დროს იცვლება. იგი მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ნიმუშის შერჩევასა და ანალიზისთვის მომზადების მეთოდზე. სხვადასხვა სათბობში მუშა ტენიანობა საშუალოდ 2 პროცენტიდან 60 -65 % მდე მერყეობს.

სათბობიში ტენის არსებობა უარყოფითად მოქმედებს სათბობის თბოუნარიანობაზე. მაღალი ტენიანობის შემთხვევასი სათბობის დაწვის სითბო მცირდება ასევე ადგილი აქვს ხურების ზედაპირების კოროზიას. მაღალი ტენი შეიძლება გახდეს ქვანახშირების შეყინვის მიზეზი ზამთრის პერიოდში. ტენიანი სათბობის დაწვის შედეგად წყლის აორთქლებაზე და ამ ორთქლის გახურებაზე დახარჯული სითბოს გამო, მნიშვნელოვნად მცირდება წვის ტემპერატურა [27,15].

სათბობის ტენი არსებობს ორი სახის - გარეგანი და შინაგანი.

გარეგანი ტენი სათბობში ხვდება სათბობის მოპოვების, შენახვის და გადაზიდვის დროს. გრუნტის წყლები და ატმოსფერული ნალექების გარკვეული რაოდენობა სათბობში მექანიკურად შეკავდება, სათბობის ნამსხვრევების გარე ზედაპირზე. გარეგანი ტენის რაოდენობა დიდადაა დამოკიდებული სათბობის ფრაქციულ შემადგენლობაზე. მექანიკურად შეკავებული ტენის რაოდენობა სათბობის ნამსხვრევების ზომების შემცირებით იზრდება.

შინაგანს მიეკუთვნება კოლოიდური და ჰიდრატული ტენი.

კოლოიდური ტენი სათბობის შემადგენელი ნაწილია. მისი რაოდენობა დამოკიდებულია სათბობის ქიმიურ შემადგენლობაზე, აგრეთვე ატმოსფერული ჰაერის ტენშემცველობაზე. მაგალითად კოლოიდური ტენის დიდ რაოდენობას შეიცავს ტორფი, ხოლო მისი შემცველობა მნიშვნელოვნად ნაკლებია მურა ნახშირებში და აგრეთვე ქვანახშირებსა და ანთრაციტებში.

ჰიდრატული ტენი დაკავშირებულია ქიმიურად სათბობის მინერალურ მინარევებთან, ძირითადად კი კალციუმ კარბონატთან ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) და ალუმინის სილიკატთან ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). ჰიდრატული ტენის რაოდენობა შესამჩნევად იზრდება უხვნაცრიან სათბობებში.

ჰიგროსკოპული ტენი გააჩნია სათბობს (20 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურისა და (65 ± 5)% ფარდობითი ტენიანობის პირობებში ჰაერზე შემრობისას. ჰაერზე

შემშრალი სათბობი წარმოადგენს ჰიგროსკოპულ ტენიანობამდე მიყვანილ სათბობს [28].

სათბობის შრობის პროცესში მთლიანად ორთქლდება გარეგანი ტენი (მექანიკურად შეკავებული და კაპილარული), ხოლო ნაწილობრივ კოლოიდური ტენი. ჰიდრატული ტენის მოშორება შესაძლებელია მხოლოდ მაღალი ტემპერატურის პირობებში (800°C).

მყარი სათბობის ტენიანობის განსაზღვრისთვის არსებობს ორი მეთოდი: პირდაპირი და არაპირდაპირი.

არაპირდაპირი მეთოდის შემთხვევაში 1-2 გ მასის სათბობს, რომელიც არის წმინდად დაფქულ მდგომარეობაში ათავსებენ მინის ხუფიან ჭურჭელში (ამ ჭურჭლის მოცულობა არ უნდა აღემატებოდეს 100-120 სმ³-ს). აწონვის შემდეგ აღებენ ჭურჭელზე ხუფს ოდნავ და დგამენ საშრობ კარადაში, რომელიც გახურებულია (105-110)°C ტემპერატურამდე. შრობა მუდმივი ტემპერატურის პირობებში მიმდინარეობს გარკვეული დროის მიხედვით სხვადასხვა სათბობისთვის, ასე მაგალითად, ერთი საათის განმავლობაში ქვანახშირისთვის და ორი საათის განმავლობაში, ანტრაციტისა და მურა ნახშირისთვის.

პირდაპირია მეთოდი, როცა იზომება სათბობიდან გამოყოფილი წყლის მოცულობა. ამ შემთხვევაში სათბობის სინჯის წონის შემცირების საფუძველზე განისაზღვრება ტენიანობა.

არაპირდაპირი მეთოდი მდგომარეობს სათბობის სინჯის გამოშრობაში მუდმივი ტემპერატურის პირობებში. ამ დროს ტენიანობა განისაზღვრება სინჯის აწონვით.

გამოშრობის პროცესის დამთავრების შემდეგ, მინის ჭურჭელს ახურავენ ხუფს და აცივებენ ექსიკატორში ოთახის ტემპერატურამდე. მინის ჭურჭელს საანალიზო ნიმუშთან ერთად წონიან და ხელახლა ახდენენ ნიმუშის საკონტროლო გამოშრობას, ისევ დგამენ ნიმუშიან ჭურჭელს ნახევარი საათით საშრობ კარადაში და ამის შემდგომ წონიან. ამ პროცედურების გამეორება ხდება იმდენჯერ, სანამ მომდევნო ორ აწონვას

შორის სხვაობა 0,001 გ-ზე ნაკლები არ იქნება. აორთქლებული ტენის რაოდენობას განისაზღვრება ფორმულით:

$$W_{\text{ლ}} = W_{\text{ჰ}} = \frac{b}{a} \cdot 100\% , \quad (5)$$

სადაც (5) ფორმულიდან გამომდინარე b არის აორთქლებული ტენის წონა, ანუ საანალიზო სათბობის სინჯის წონის დანაკარგი, ხოლო a - საანალიზო სათბობის სინჯის საწყისი წონა.

2.3. კალორიმეტრული ცდის მეთოდოლოგია

კალორიმეტრული სისტემა არის ფიზიკურ სისტემა, რომელიც ცალკეული სხეულების ერთობლიობისაგან შედგება, მათ შორის ხორციელდება თბოცვლა კონვექციით; კალორიმეტრული სისტემის მდგომარეობა იცვლება თბოგამტარობით და გამოსხივებით სითბოს გამოყოფის ან შთანთქმის დროს.

თუ ცნობილია საწვავის ელემენტარული შედგენილობა, მაშინ დამენდელევევის ფორმულით შესაძლებელია თბოუნარიანობის ანალიზური გაანგარიშება, იმ დაშვებით, რომ სათბობში შემავალი ელემენტები იმყოფება მექანიკური ნარევის სახით. აღნიშნული მეთოდი მიახლოებითია და თბოუნარის განსაზღვრის ძირითად მეთოდად რჩება ექსპერიმენტული მეთოდი- კალორიმეტრული „ყუმბარის“ გამოყენებით .

კალორიმეტრული „ყუმბარა“ წარმოადგენს უჟანგავი ფოლადის ჰერმეტიკულ სქელკედლა ჭურჭელს, რომელშიც ექსპერიმენტის ჩასატარებლად თავსდება დაახლოებით 1 გრამი მასის მქონე საკვლევი ნივთიერება. „ყუმბარა“-ში შექმნილია 25-30 ბარი წნევის ჟანგბადის გარემო წვის სრული პროცესის განხორციელების მიზნით. კალორიმეტრული „ყუმბარა“ თავის მხრივ მოთავსებულია დისტილირებული წყლიან ჭურჭელში.

გარემო ტემპერატურული ზემოქმედების მნიშვნელოვნად შემცირების მიზნით კალორიმეტრი („ყუმბარა“ და დისტილირებული

წყლიანი ჭურჭელი- გამყოფი ჰაერის ფენით) მოთავსებულია დიდი რაოდენობის წყლის გარემოში (იზოთერმული გარემო) [29].

კალორიმეტრული ცდა იყოფა სამ პერიოდად: საწყისი, მთავარი და საბოლოო პერიოდებად. საწყისი და საბოლოო პერიოდების კალორიმეტრის ტემპერატურების მონაცემები საჭიროა გარემოსთან თბოცვლის შესაფასებლად და საბოლოოდ ტემპერატურული შესწორების გასაანგარიშებლად. კალორიმეტრში თბური წონასწორობის დამყარების შემდეგ სათბობს ანთებენ ელექტრული საფეთქით. გამოყოფილი სითბო განაპირობებს კალორიმეტრის წყლის ტემპერატურის გაზრდას, რომელიც იზომება პრეციზიული თერმომეტრით (0,001°C ცდომილებით).

ტემპერატურის ნაზრდის, საკვლევი ნიმუშის მასისა და კალორიმეტრული მუდმივას (კალიბრების მუდმივა) მონაცემებით განისაზღვრება სათბობის წვის სითბო-თბოუნარიანობა. კალორიმეტრული „ყუმბარის“ პირობებისათვის-ეგრეთწოდებული Q_4 რადგან კალორიმეტრულ „ყუმბარა“-ში ნამწვი გაზების საბოლოო ტემპერატურა ნაკლებია წყლის ორთქლის კონდენსაციის ტემპერატურაზე, სათბობის ნამწვი აირებში წყალი იქნება სითხის მდგომარეობაში, შედეგად მიიღება გოგირდმჟავა და მარილმჟავა და გამოიყოფა ეგზოთერმული რეაქციების სითბო ($Q_{გზ}$). რეალურ პირობებში საცეცხლეში ადგილი არ აქვს აღნიშნულ რეაქციებს (ნამუშევარი ნამწვი გაზების მაღალი ტემპერატურის გამო) და სათბობის მუშა მასის უმაღლესი მუშა თბოუნარი ($Q_{გზ}^0$) ტოლი იქნება :

$$Q_{გზ}^0 = Q_0 - Q_{გზ} \quad (6)$$

სათბობის წვის დროს წარმოქმნილი წყლის ორთქლი წარმოადგენს სათბობის მუშა მასაში არსებული ტენის ($W^0 / 100\text{კგ}$) აორთქლებით და სათბობის შედგენილობაში მყოფი წყალბადის ($H^0 / 100\text{კგ.}$) დაწვით მიღებული ტენის ($9H^0 / 100\text{კგ}$) აორთქლებით მიღებული ორთქლის ჯამს. კალორიმეტრულ „ყუმბარა“-ში ცდის ჩატარებისას ნამწვი გაზების საბოლოო ტემპერატურა ნაკლებია წყლის ორთქლის კონდენსაციის ტემპერატურაზე, ორთქლი კონდენსირდება და ამიტომ სათბობის სითბო,

რომელიც დაიხარჯა ტენის აორთქლებაზე $2514 \cdot (W^{\theta} / 100 + 9H^{\theta} / 100)$ კვ, (სადაც 2514 კვ არის წყლის ორთქლადქცევის სითბო) ტოლი კონდენსაციის სითბოს სახით უბრუნდება წვის პროდუქტებს. აღნიშნულს ადგილი არ აქვს ჩვეულებრივ საცეცხლის პირობებში და შესაბამისად სათბობის უდაბლესი მუშა თბოუნარი ტოლი იქნება

$$Q_{\text{უფ}}^{\theta} = Q_{\text{უფ}}^{\theta} - (W^{\theta} / 100 + 9H^{\theta} / 100) \cdot 2514. \quad (7)$$

ფორმულიდან (7), ჩანს, რომ მუშა მასის უდაბლესი მუშა თბოუნარი დამოკიდებულია სათბობში შემავალ წყალბადის რაოდენობაზე და სათბობში ტენის შემცველობაზე. მიზანშეწონილია კალორიმეტრული ცდების ჩატარება წინასწარი გამოშრობით მიღებული მშრალი სათბობის სინჯის გამოკვლევით და შემდეგში მშრალი მასის თბოუნარიანობის გადათვლა სათბობის სხვადასხვა ტენიანობის (W^{θ}) პირობებისათვის შემდეგი გამოსახულებით:

$$Q_{\text{უფ}}^{\theta} = Q_{\text{უფ}}^{\theta} \cdot (100 - W^{\theta}) / 100 \quad (8)$$

მცენარის მშრალი მასა საშუალოდ შეიცავს 45% ნახშირბადს, 42 % ჟანგბადს, 6,5% წყალბადს, 1,5% აზოტს და 5 % ნაცარს. ნაცრის ქიმიური შედგენილობა მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია ნიადაგის ქიმიურ შედგენილობაზე და ნაცარში არის ათობით სხვადასხვა ქიმიური ელემენტი.

წყალბადის შემცველობის გადათვლა მშრალი მასიდან მუშა მასაში შესაძლებელია ფორმულით $H^{\theta} = H^{\theta} \cdot (100 - W^{\theta}) / 100$.

სხვადასხვა მცენარეული ნარჩენი მასის ნიმუშების თბოუნარიანობა გამოკვლეული იყო პრეციზიული იზოთერმული კალორიმეტრული დანადგარის (კალორიმეტრული „ყუმბარა“) გამოყენებით. წინასწარ ჩატარებულმა კალორიმეტრის კალიბრების მაჩვენებელმა (სანიმუშო ნივთიერების ბენზონის მჟავას გამოყენებით) შეადგინა 14344 კვ/კ.

თბოუნარიანობის გაზომვის წინ ჩატარდა სიმინდის ქოჩრის, ფოთოლისა და ტაროს, ლობიოს პარკისა და მზესუმზირას ჩენჩოს საკვლევი ნიმუშების გამოშრობა საშრობ კარადაში RADWA.50.R. საკვლევი ნიმუშების მონაცემები მოცემულია ცხრ.16. [30].

ცხრილი 16. საკვლევი ნიმუშების გამოშრობა საშრობა კარადაში

ნარჩენების დასახელება	ნიმუშ. სველი მასა	ნიმუშის მშრალი მასა	ფარდობითი ტენიანობა	აბსოლუტური ტენიანობა	წყალბადის შემცველობა მშრალ მასაში H ^შ	წყალბადის შემცველობა მუშა მასაში H ^ბ
	გრამი	გრამი	%	%	%	%
სიმინდის ქოჩრი	1,8417	1,6730	9,16	10,08	6,5	5,90
სიმინდის ფოთოლი	1,0281	0,9785	4,82	5,06	6,5	6,19
სიმინდის ტარო (მარცვლების გარეშე)	2,3468	2,1973	6,37	6,80	6,5	6,09
ლობოს პარკი (ქერქი)	0,4651	0,4091	12,04	13,69	6,5	5,72
მზესუმზირა	0,4010	0,3669	8,5	9,29	6,5	5,95

2.4. ბენზონის მჟავა

სათბობის თბოუნარიანობის საზომი კალორიმეტრული სისტემის კალიბრებისთვის ანუ კალორიმეტრული სისტემის თბური ეკვივალენტის დასადგენად გამოყენებული იყო ბენზონის მჟავა, რომელიც 1922 წელს ლიონის საერთაშორისო ქიმიურ კონფერენციაზე კალორიმეტრული კვლევებისათვის სანიმუშო ნივთიერებად აღიარეს. რეკომენდაციების მიხედვით საკვლევი ნივთიერებები უნდა შეიცავდეს ერთდროულად წყალბადს, ნახშირბადს და ჟანგბადს, ან წყალბადს, ნახშირბადს, ჟანგბადს და გოგირდს. რუსეთში სათბობის თბოუნარიანობის გასაზომად ბენზონის მჟავა როგორც სანიმუშო ნივთიერება დამტკიცდა 1926 წელს [31,32].

„ყუმბარიანი“ კალორიმეტრის პირობებისათვის ბენზონის მჟავას თბოუნარიანობა, 1934-1968 წლების გაზომვების მიხედვით ტოლია $26460,1 \pm 0,8$ კჯ/კგ [33].

სხვადასხვა ლაბორატორიებში გაზომილი ბენზოინის მჟავას თბოუნარიანობების ერთმანეთთან შედარება მოხდა კალორიმეტრული ცდის მონაცემების ნორმალურ პირობებზე დაყვანის გზით შემდეგი პირობების დაცვით:

- ✓ ნიმუშის დაწვა ხორციელდება მუდმივი მოცულობის კალორიმეტრულ „ყუმბარაში“ ჟანგბადის სუფთა გარემოში, 25°C საწყისი ტემპერატურისა და 30 ბარი წნევის პირობებში.
- ✓ ნიმუშის მასის (გრამებში) შეფარდება, ყუმბარის შიგა მოცულობასთან (დმ³) უნდა იყოს 3-ის ტოლი.
- ✓ „ყუმბარაში“ ჩასხმული წყლის მასის (გრამებში) შეფარდება „ყუმბარის“ შიგა მოცულობასთან (დმ³) უნდა იყოს 3-ის ტოლია.

თუ ნორმალური პირობებიდან ბენზოინის მჟავის დაწვის პროცესი გადახრილია, მაშინ თბოუნარიანობის მიღებული მნიშვნელობის (კჯ/კგ) ნორმალურ პირობებზე გადასაყვანად საჭიროა გამოვიყენოთ მამრავლი კოეფიციენტი :

$$f = 1 + 10^{-6} \cdot [20 \cdot (p - 30) + 42 \cdot \left(\frac{m_b}{V} - 3 \right) + 30 \cdot \left(\frac{m_w}{V} - 3 \right) - 45 \cdot (t - 25)] \quad (9)$$

სადაც p არის ჟანგბადის საწყისი წნევა, t ტემპერატურაზე, რომელ ტემპერატურასაც მიეკუთვნება თბოუნარიანობის მნიშვნელობა, m_b - ბენზოინის მჟავას მასა გრამებში; V - ყუმბარის შიგა მოცულობა, დმ³; m_w - ყუმბარაში ჩასხმული წყლის მასა, გრამებში; ფორმულა სამართლიანია მაშინ, როცა შესრულებულია შემდეგი უტოლობები: $20 < P < 40$ ატმ; $2 < \frac{m_b}{V} < 4$ გ/დმ³; $2 < \frac{m_w}{V} < 7$ გ/დმ³; $20 < t < 30$ °C

ლიონის საერთაშორისო ქიმიურ კონფერენციაზე, რომელიც 1922 წლის ჩატარდა, რეკომენდირებულ იქნა სანიმუშო ნივთიერების - ბენზოინის მჟავას თბოუნარიანობისათვის მნიშვნელობა - 26434 ჯოული/ გ მასასზე, ეს რიცხვი განსაზღვრულია იზოთერმული პირობებში 20°C ტემპერატურაზე და ამასთანავე ნიმუშის მასა, განსაზღვრულია ვაკუუმში.

თავი 3. ექსპერიმენტული ნაწილი

3.1. თბოუნარიანობის საზომი კალორიმეტრის თბური ეკვივალენტის განსაზღვრა

კონკრეტული კალორიმეტრული სისტემისთვის თბური ეკვივალენტის ანუ ჯამური სითბოტევადობის განსაზღვრისათვის საჭიროა კალორიმეტრის კალიბრება [34,35]. კალიბრების მეთოდი ორი სახისაა – აბსოლუტური და ფარდობითი.

პირველი მეთოდის შემთხვევაში, სითბო გამოიყოფა კალორიმეტრში მოთავსებულ წინაღობაზე, ხოლო მის რაოდენობას განსაზღვრავენ წინაღობაში გამავალი დენისა და მასზე მოდებული ძაბვის საშუალებით.

ფარდობითი მეთოდის შემთხვევაში კი, როდესაც განისაზღვრება თბოუნარიანობა, ექსპერიმენტი ტარდება ისეთ სანიმუშო ნივთიერებაზე, რომლის თბოუნარიანობა ცნობილია მაღალი სიზუსტით.

ფარდობითი მეთოდის საშუალებით ექსპერიმენტის ჩატარება უფრო მოსახერხებელია. ამავდროულად იგი გაზომვების მაღალ სიზუსტეს უზრუნველყოფს. ნაშრომში არსებულ კვლევებისთვის არჩევანი სწორედ კალიბრების ფარდობით მეთოდზე შეირჩა. სტანდარტულად სანიმუშო ნივთიერებას წაეყენება სისუფთავის მიმართ მაღალი მოთხოვნები. მაგალითად, სანიმუშო ნივთიერება -ბენზოინის მჟავა უნდა შეიცავდეს 99,992% ძირითად ნივთიერებას. ასეთი სუფთა ნივთიერების მიღება დიდ სიძნელეებსა და შესაბამისად დიდ ხარჯებთანაა დაკავშირებული.

კალორიმეტრის კალიბრება ჩატარდა 99,992% სისუფთავის (ძირითადი ნივთიერება) მქონე ბენზოინის მჟავის გამოყენებით, რომლის თბოუნარიანობა სერტიფიკატის მიხედვით შეადგენს 26460 ჯ/გ-ს.

კალორიმეტრული ცდები ჩატარდა ბენზოინის მჟავის დაწვით კალიბრების რეჟიმში: გამოყოფილი სითბოს მიხედვით 26460 ჯ/გ განისაზღვრა კალორიმეტრული მუდმივა (K_c ;ჯ/°C). გაზომვების 9 მონაცემიდან (14286; 14246; 14189; 14218; 143386; 14077; 13985; 14123; 14163)

პირველი 4 მონაცემი აღებულია 2017 წლის გაზომვებიდან, ხოლო შემდეგი 5- წარმოადგენს 2018 წლის კალიბრების მონაცემებს. დროითი ფაქტორით დაყოფის შემთხვევაში მიიღება გაზომვების ორი ჯგუფი (ცხრ.17.).

ცხრილი 17. კალორიმეტრიული რიცხვის გაზომვის მონაცემები					
პირველი ჯგუფი			მეორე ჯგუფი		
<i>i</i>	K_i $^{\circ}\text{C}$	$(K_i - \bar{K})^2$ $(^{\circ}\text{C})^2$	<i>i</i>	K_i , $^{\circ}\text{C}$	$(K_i - \bar{K})^2$ $(^{\circ}\text{C})^2$
1	14286	13806,3	1	14386	57216,6
2	14246	26406,3	2	14077	4872,04
3	14189	6806,25	3	13985	16179,2
4	14218	16256,3	4	14123	566,44
			5	14163	262,44
ჯა-მი	56939	63275	ჯამი	70734	79096,8
საშ \bar{K}_I	14234.75		საშ \bar{K}_{II}	14146,8	

გაზომვების პირველი ჯგუფისათვის დისპერსია გაანგარიშებული ფორმულით (10) და სტანდარტული გადახრა ფორმულით (11) ტოლია:

$$S_I^2 = \frac{\sum_{i=1}^4 (K_i - \bar{K})^2}{n-1} = \frac{63275}{4-1} = 21091.7 \quad (10) \quad \text{და} \quad S_I = \sqrt{21091.7} = 145,23 \quad (11)$$

ექსპერიმენტული მონაცემების პირველ ჯგუფში შესაძლო უხეში შეცდომების არსებობის შესამოწმებლად პირველი ჯგუფის მონაცემების საშუალო მნიშვნელობიდან მაქსიმალური აბსოლუტური გადახრის- 51.2 $^{\circ}\text{C}$ მიხედვით გაანგარიშებულია კრიტერიუმი-

$$t_{\max} = 51.2 / S_I = 51.2 / 145,23 = 0.35 \quad (12)$$

სტიუდენტის კოეფიციენტის მნიშვნელობა [36,41] სარწმუნო ალბათობის 0,95 და თავისუფლების ხარისხის რიცხვის $k=n-1=4-1=3$ -ის მიხედვით ტოლია 3,18. რადგან $t_{\max} < 3.18$, პირველი ჯგუფის მონაცემები არ შეიცავს უხეშ ცდომილებებს.

ანალოგიურად მეორე ჯგუფისათვის:

$$S_{II}^2 = \frac{\sum_{i=1}^5 (K_i - \bar{K})^2}{n-1} = \frac{79096,8}{5-1} = 22274,2 \quad (13) \quad \text{და} \quad S_{II} = \sqrt{22274,2} = 149,2454 \quad (14)$$

მეორე ჯგუფის მონაცემების საშუალო მნიშვნელობიდან მაქსიმალური აბსოლუტური გადახრის $239,2\text{ჯ/}^{\circ}\text{C}$ შესაბამისად კრიტერიუმი - $t_{\max} = 239,2 / S_{II} = 239,2 / 149,2454 = 1,603$.

სტიუდენტის კოეფიციენტი სარწმუნო ალბათობის $0,95$ და თავისუფლების ხარისხის რიცხვის $k=n-1=5-1=4$ -ის მიხედვით ტოლია $2,78$. რადგან $t_{\max} < 2,78$, მეორე ჯგუფის მონაცემებიც არ შეიცავს უხეშ ცდომილებებს.

კალორიმეტრის მუდმივას საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა ტოლი იქნება:

$$\bar{K}_{I-II} = \frac{n_I}{n} \cdot K_I + \frac{n_{II}}{n} \cdot K_{II} = \frac{4}{9} \cdot 14234,75 + \frac{5}{9} \cdot 14146,8 = 14185,89, \text{ჯ/}^{\circ}\text{C}, \quad (15)$$

პირველი და მეორე ჯგუფის დისპერსიების შეფასებების გაბნევების ფარდობის მიხედვით $\frac{S_I^2}{S_{II}^2} = \frac{21091,7}{22274,2} = 0,9491$ ფიშერის კრიტერიუმით [40]

განისაზღვრება ორი ჯგუფი გაზომვების გაბნევების თავსებადობა.

ფიშერის კრიტერიუმის მნიშვნელობის ზედა ზღვარი განისაზღვრება ცხრილიდან [41] თავისუფლების ხარისხებისათვის $K_1=4-1=3$ და $K_2=5-1=4$ და სარწმუნო ალბათობის $\alpha=0,95$ დროს $F_B=10$ და კრიტერიუმი $F_H = 1 / F_B = 1 / 10 = 0,1$. რადგან შესრულებულია პირობა:

$$P(F_H < \frac{S_I^2}{S_{II}^2} < F_B) = P(0,1 < 0,9491 < 10) = 0,95 \quad (16)$$

შესაბამისდ პირველი და მეორე ჯგუფის დისპერსიების შეფასებების გაბნევა დასაშვებ საზღვრებშია.

პირველი და მეორე ჯგუფების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობების გაბნევა ტოლია:

$$t = |\bar{K}_I - \bar{K}_{II}| \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{(n_1 + n_2)(n_1 \cdot S_I^2 + n_2 \cdot S_{II}^2)}} = |14317,5 - 14146,8| \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot 5(4+5-2)}{(4+5)(4 \cdot 21091,7 + 5 \cdot 22274,2)}} = 0,784 \quad (17)$$

სტიუდენტის კოეფიციენტი $t(\alpha, k)$ სარწმუნო ალბათობისათვის $\alpha = 0.95$ და

თავისუფლების ხარისხისათვის $k = n_1 + n_2 - 2 = 4 + 5 - 2 = 7$:
 $t(\alpha, k) = t(0.95; 7) = 2.36$

რადგან $t = 0.784 < 2.36$ პირველი და მეორე ჯგუფის საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობების გაბნევა შეიძლება ჩაითვალოს დასაშვებად.

ამრიგად, გაზომვების პირველი და მეორე ჯგუფი წარმოადგენს თანაბარგაბნევის მქონე მონაცემებს და საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობის სტანდარტული გადახრის შეფასება შეიძლება გამოითვალოს ფორმულით:

$$S_{\bar{k}} = \sqrt{\frac{1}{N(m-1)} \sum_{i=1}^m n_i \cdot (\bar{k}_i - \bar{K}_{I-II})^2}$$

$$S_{\bar{k}} = \sqrt{\frac{1}{9(2-1)} \cdot [4(14234.75 - 14185.89)^2 + 5(14146.8 - 14185.89)^2]} = 43.7 \quad (18)$$

კალორიმეტრის მუდმივას საშუალო არითმეტიკულის ზღვრული ცდომილება (Δ) ტოლია

$$\Delta = (0.95; 9) \cdot S_{\bar{k}} = 2.36 \cdot 43.7 = 103.13 \text{ ჯ/}^\circ\text{C} \quad (19)$$

ანუ

$$(\Delta / \bar{K}_{I-I}) \cdot 100 = 103.13 \cdot 100 / 14185.89 = 0.73\% \quad (20)$$

ამრიგად კალორიმეტრის მუდმივას საშუალო არითმეტიკულის ზღვრული ცდომილებაა 0,73 % .

ნახ (9-13) მოცემულია კალორიმეტრის კალიბრების 5 ცდა (ჩატარდა 2018 წელს)

Report (r) System setup (s) Help (h)

XRY-1C Oxygen Bomb Calorimeter

Formula

Regnault-Pfaundler

Bunte

Parameter of Determination

Name of the Sample :

Mass of sample (g): g

Heat capacity(W): J/K

Additive(Q): J

Calibrating parameter

Mass of Benzoic Acid (g): g

Calorific value (Q): J/g

Parameter of calculation

e1(HNO3): J Mt % Sb.ad %

e2(Firing wire): J Mad % Had %

Temperature

22.269

Time (s) Status bar

Function

Calibration

Determination

Fore period		Main period		After period	
1	21.368	21	22.266	1	22.268
2	21.367	22	22.267	2	22.268
3	21.366	23	22.267	3	22.267
4	21.366	24	22.268	4	22.267
5	21.365	25	22.269	5	22.266
6	21.364	26	22.268	6	22.266
				7	22.265
				8	22.264
				9	22.263
				10	22.263

Base T

Peak T

Period

Fore

Main

After

End

Calibration

Time	2018-03-23 1:14:28 PM	Formula	Bunte
Mass(g)	0.5071	Calorific(J/g)	26460

Capacity(J/K)	14077
---------------	-------

Operator :

ნახაზი 9. კალიბრება 1



XRY-1C Oxygen Bomb Calorimeter

Formula

Regnault-Pfaundler
 Bunte

Function

Calibration
 Determination

Parameter of Determination

Name of the Sample:

Mass of sample (g):

Heat capacity(W): J/K

Additive(Qf): J

Calibrating parameter

Mass of Benzoic Acid (g):

Calorific value (Q): J/g

Parameter of calculation

e1(HNO3): J Mt % Sb.ad %

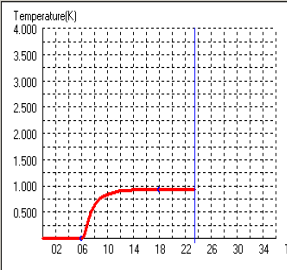
e2(Firing wire): J Mad % Had %

Temperature

Time (s)

Status bar

Fore period		Main period		After period	
1	20.511	1	20.553	1	21.440
2	20.511	2	20.821	2	21.439
3	20.510	3	21.010	3	21.438
4	20.510	4	21.131	4	21.438
5	20.509	5	21.212	5	21.437
6	20.509	6	21.273	6	21.436
		7	21.316	7	21.434
		8	21.343	8	21.433
		9	21.366	9	21.433
		10	21.385	10	21.431
		11	21.397		
		12	21.410		



Base T

Peak T

Period

Fore

Main

After

End

Calibration

Time	2018-03-22 4:26:34 PM	Formula	Bunte
Mass(g)	0.4990	Calorific(J/g)	26460

Capacity(J/K)	14386
---------------	-------

Operator :

ნახაზი 10 . კლაიბრება 2



XRY-1C Oxygen Bomb Calorimeter

Formula <input type="radio"/> Regnault-Pfaundler <input checked="" type="radio"/> Bunte	Parameter of Determination Name of the Sample : <input type="text" value="bali"/>	Calibrating parameter Mass of Benzoic Acid (g): <input type="text" value="0.5008"/> g Calorific value (Q): <input type="text" value="26460"/> J/g	Temperature <input type="text" value="20.510"/>
Function <input checked="" type="radio"/> Calibration <input type="radio"/> Determination <input type="button" value="Start"/> <input type="button" value="Stop"/>	Mass of sample (g): <input type="text" value="1.0000"/> g Heat capacity(W): <input type="text" value="13985"/> J/K Additive(Qf): <input type="text" value="0"/> J	Time (s): <input type="text" value="24'00"/> Status bar: <input type="text" value="It's finished!"/>	
Parameter of calculation e1(HNO3): <input type="text" value="00"/> J Mt <input type="text" value="0"/> % Sb,ad <input type="text" value="0"/> % e2(Firing wire): <input type="text" value="0"/> J Mad <input type="text" value="0"/> % Had <input type="text" value="0"/> %			

Fore period		Main period		After period	
1	19.597	5	20.308	1	20.518
2	19.597	6	20.350	2	20.517
3	19.596	7	20.393	3	20.516
4	19.596	8	20.424	4	20.516
5	19.595	9	20.444	5	20.515
6	19.594	10	20.460	6	20.514
		11	20.476	7	20.513
		12	20.486	8	20.512
		13	20.496	9	20.510
		14	20.503	10	20.509
		15	20.507		
		16	20.511		

Base T:

Peak T:

Period:

Fore

Main

After

End

Calibration

Time	2018-03-24 12:17:15 PM	Formula	Bunte
Mass(g)	0.5008	Calorific(J/g)	26460

Capacity(J/K)	13985
---------------	-------

Operator :

ნახაზი 11. კალიბრება 3



XRY-1C Oxygen Bomb Calorimeter

Formula
 Regnault-Pfaundler
 Bunte

Function
 Calibration
 Determination

Parameter of Determination
 Name of the Sample:
 Mass of sample (g): g
 Heat capacity(W): J/K
 Additive(Qf): J

Calibrating parameter
 Mass of Benzoic Acid (g): g
 Calorific value (Q): J/g

Parameter of calculation
 e1(HNO3): J Mt % Sb.ad %
 e2(Firing wire): J Mad % Had %

Temperature

Time (s) **Status bar**

Start **Stop**

Fore period		Main period		After period	
1	17.642	1	17.669	1	18.585
2	17.642	2	17.934	2	18.585
3	17.642	3	18.129	3	18.584
4	17.643	4	18.249	4	18.584
5	17.643	5	18.331	5	18.584
6	17.644	6	18.390	6	18.583
		7	18.427	7	18.583
		8	18.459	8	18.582
		9	18.486	9	18.582
		10	18.504	10	18.581
		11	18.521		
		12	18.533		

Base T
Peak T
Period
 Fore
 Main
 After
 End

Calibration

Time	2018-03-28 1.37.27 PM	Formula	Bunte
Mass(g)	0.5096	Calbrific(J/g)	26460

Capacity(J/K)	14123
---------------	-------

Operator :

ნახაზი 12. კალიბრება 4



XRY-1C Oxygen Bomb Calorimeter

Formula

Regnault-Pfaundler
 Bunte

Function

Calibration
 Determination

Parameter of Determination

Name of the Sample :

Mass of sample (g): g

Heat capacity(W): J/K

Additive(O₂): J

Calibrating parameter

Mass of Benzoic Acid (g): g

Calorific value (Q): J/g

Temperature

Time (s) **Status bar**

Parameter of calculation

e1(HNO₃): J Mt % Sb,ad %

e2(Firing wire): J Mad % Had %

Fore period		Main period		After period	
1	17.941	1	18.022	1	18.862
2	17.941	2	18.267	2	18.862
3	17.941	3	18.455	3	18.861
4	17.941	4	18.570	4	18.861
5	17.941	5	18.642	5	18.860
6	17.941	6	18.696	6	18.859
		7	18.734	7	18.859
		8	18.762	8	18.858
		9	18.784	9	18.857
		10	18.802	10	18.857
		11	18.815		
		12	18.826		

Temperature(K)

Base T

Peak T

Period

Fore

Main

After

End

Calibration

Time	2018-03-29 11:10:38 AM	Formula	Bunte
Mass(g)	0.5002	Calorific(J/g)	26460

Capacity(J/K)	14153
---------------	-------

Operator :

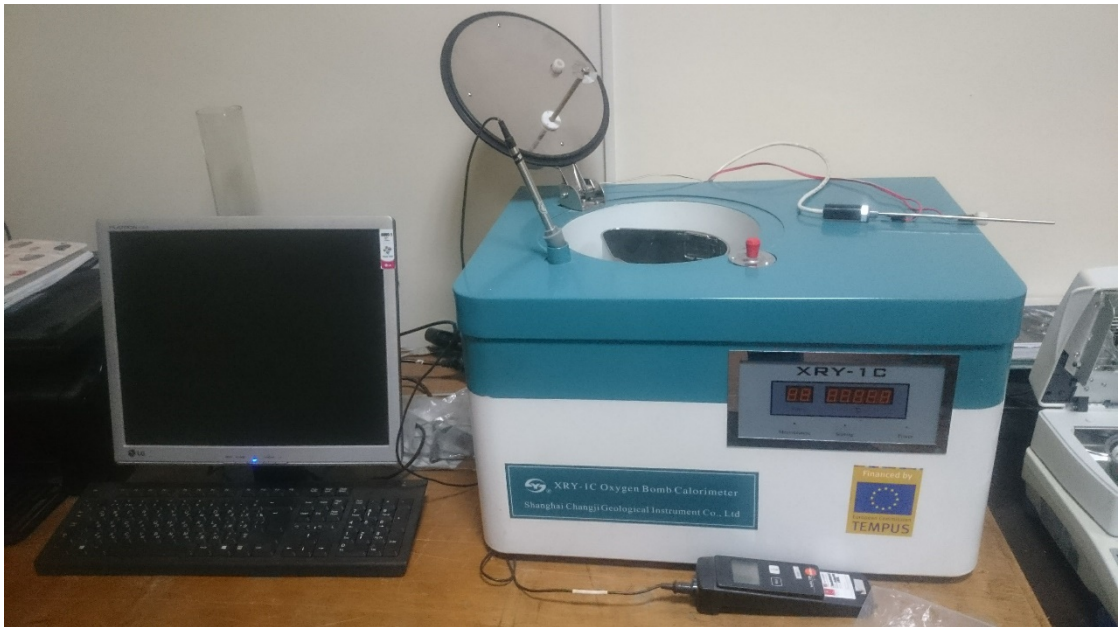
ნახაზი 13. კალიბრება 5

3.2. მცენარეული ნარჩენი ბიომასის თბოუნარიანობის ექსპერიმენტული გამოკვლევა

3.2.1. კალორიმეტრული სისტემა

მცენარეული ნარჩენი ბიომასის – თბოუნარიანობის ექსპერიმენტული გამოკვლევა ჩატარდა კალორიმეტრული ხელსაწყოს XRY-1C. (სურ. 2) გამოყენებით.

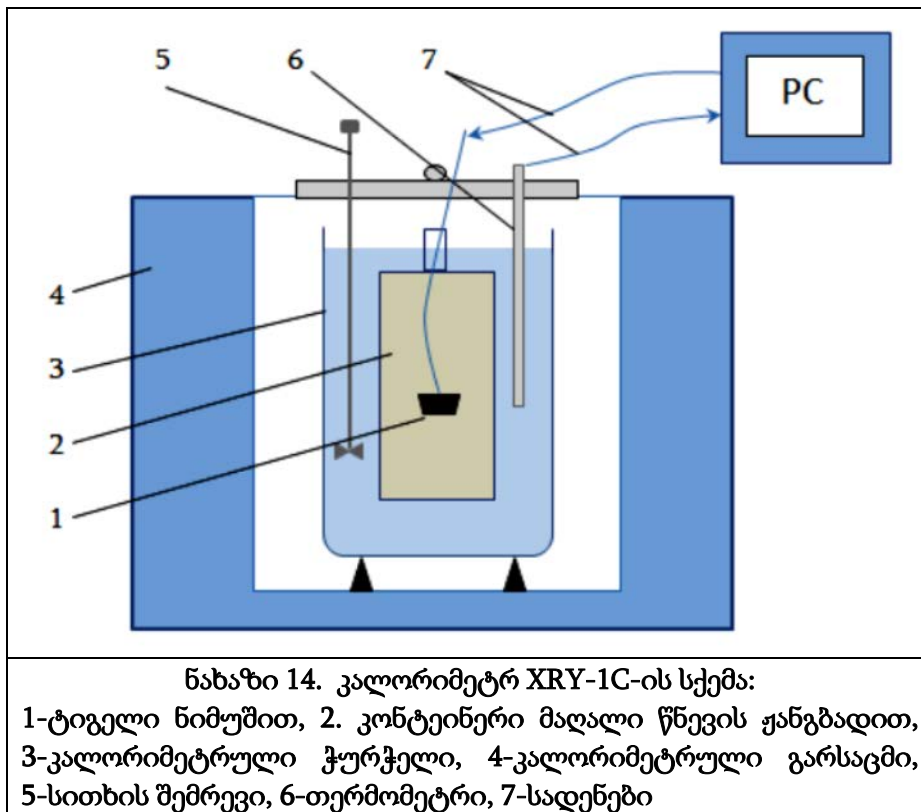
XRY-1C კალორიმეტრული ხელსაწყო წარმოადგენს იზოთერმულ კალორიმეტრს, რომელიც გამოიყენება თხევადი და მყარი ნივთიერებების



სურ. 2. კალორიმეტრი XRY-1C

თბოუნარიანობის განსაზღვრისათვის. ნახ.14 ნაჩვენებია კალორიმეტრი XRY-1C ხელსაწყოს სქემა შემადგენელი ელემენტებით.

ხელსაწყო შედგება წყლიანი ჭურჭლისგან (3), რომელშიც მოთავსებულია მაღალი წნევის კონტეინერი (2) ტიგელით (1) საკვლევ ნიმუშთან ერთად. კალორიმეტრული ჭურჭლის გარემოსთან თბოცვლის შესამცირებლად გათვალისწინებულია კალორიმეტრული გარსაცმი (4) შევსებული დიდი რაოდენობის წყლით.



სათბობის წვისთვის ხელსაყრელი პირობების შესაქმნელად (სრული წვის განსახორციელებლად) კონტეინერი შევსებულია 25 ატმოსფერული წნევის მქონე ჟანგბადით. კონტეინერი მოთავსებულია გამოხდილი წყლით შევსებულ (3 ლიტრის ოდენობით) კალორიმეტრულ ჭურჭელში (3), სპეციალური შემრევის (5) საშუალებით მიიღწევა სათბობის დაწვით გამოყოფილი სითბოს განაწილება და ტემპერატურის გათანაბრება წყლის მოცულობაში.

კომპიუტერული მართვის პროგრამა თერმომეტრის (6) გამოყენებით უზრუნველყოფს ტემპერატურის ცვლილების რეგისტრაციას და ცდის ხანგრძლივობისა და მახასიათებელი პერიოდების საზღვრების დადგენას.

სადენების (7) საშუალებით ირთავენ ელექტრულ წრედი, რაც ნიმუშთან წარმოქმნის ნაპერწკალს და ახდენს სათბობის დაწვას.

საკვლევი ნიმუშის სრული დაწვის შედეგად გამოყოფილი სითბო გადაეცემა კალორიმეტრულ ჭურჭელში მოთავსებულ გამოხდილ წყალს.

თბური ბალანსის ბაზაზე განისაზღვრება გამოხდილი წყლის მიერ მიღებული სითბოს რაოდენობა და საკვლევი ნიმუშის თბოუნარიანობა.

სურათ 3-ზე ნაჩვენებია მაღალი წნევის კალორიმეტრული „ყუმბარა“, რომელიც შვსებულია 25 ატმოსფერული წნევის ჟანგბადით. სურათ 4-ზე ნაჩვენებია ჟანგბადით შვსების სისტემა რომელიც გამოიყენება მაღალი წნევის კონტეინერისთვის. [37,36].



სურ. 3. მაღალი წნევის კონტეინერი



სურ. 4. მაღალი წნევის კონტეინერის ჟანგბადით შვსების სისტემა

კალორიმეტრულ სისტემაში ფიქსირდება სტაციონარული ტემპერატურული რეჟიმის დამყარება- ცდის საწყისი პერიოდის დასაწყისი (ტემპერატურის ცვლილება ერთ წუთში არ აღემატება 0,001 გრადუსს).

სტაციონარული რეჟიმის დამყარების შემდეგ მართვის პროგრამა ახორციელებს ნიმუშის დაწვას (ცდის მთავარი პერიოდის დასაწყისი). სათბობის დაწვის შედეგად გამოყოფილი სითბო გადაეცემა კალორიმეტრულ ჭურჭელში არსებულ გამოხდილი წყლს და მასში ტემპერატურის გათანაბრების შემდეგ მთავრდება ცდის მთავარი პერიოდი და იწყება საბოლოო პერიოდი (სტაციონარული რეჟიმი). სტაციონარული რეჟიმების ტემპერატურათა სხვაობით განისაზღვრება სათბობის დაწვით მიღებული თბური ეფექტი.

კალორიმეტრული სისტემის სითბურ ბალანს აქვს სახე:

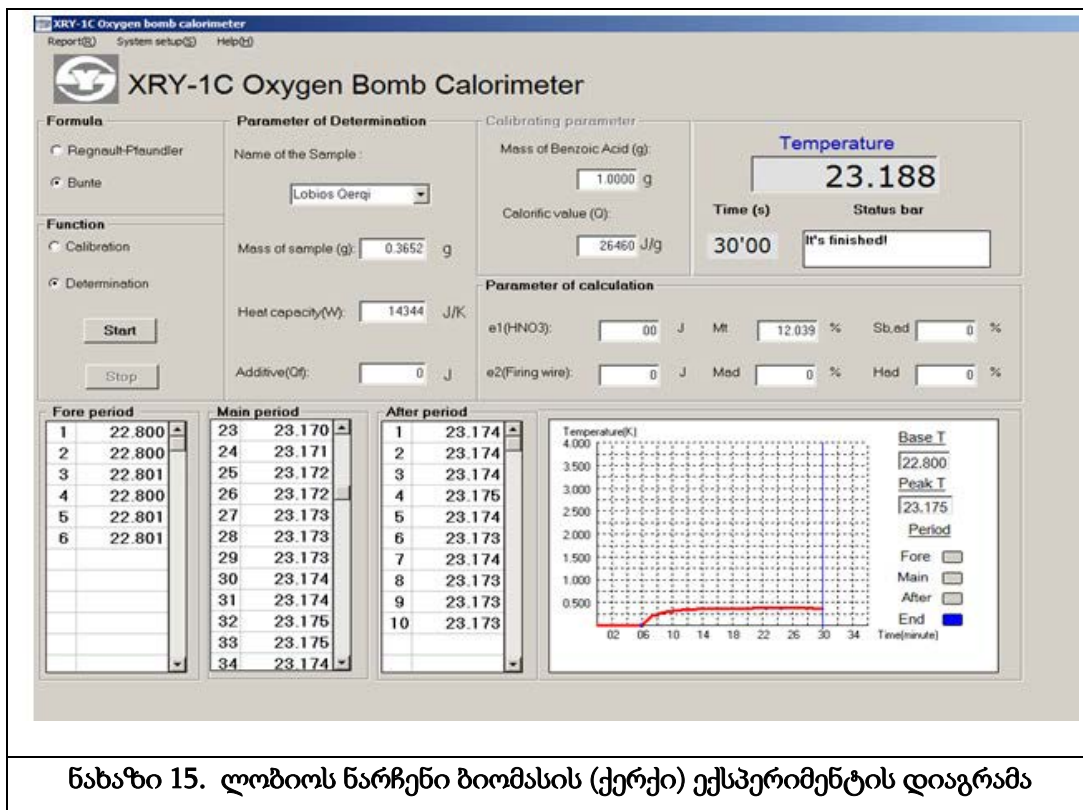
$$Q=H\cdot\Delta T \quad (21)$$

სადაც H კალორიმეტრული სისტემის ჯამური სითბოტევადობაა, ხოლო ΔT - სისტემის საწყის და საბოლოო ტემპერატურებს შორის სხვაობა.

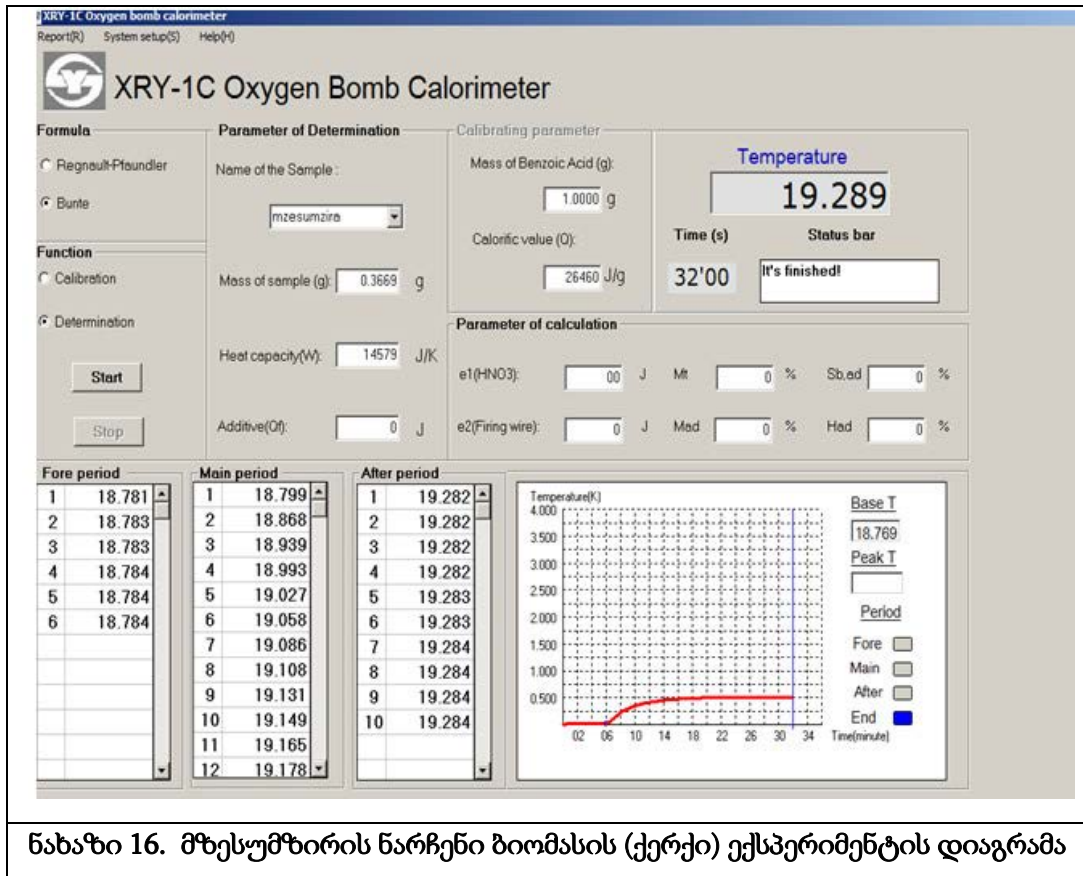
თბოუნარიანობის გამოსათვლელი (21) ფორმულიდან ჩანს, რომ სითბო, რომელიც ნიმუშის წვის შედეგად გამოიყოფა მთლიანად ხმარდება კალორიმეტრული სისტემის თბოშემცველობის გაზრდას.

3.2.2. მცენარეული ნარჩენი ბიომასის თბოუნარიანობის ექსპერიმენტული შედეგები

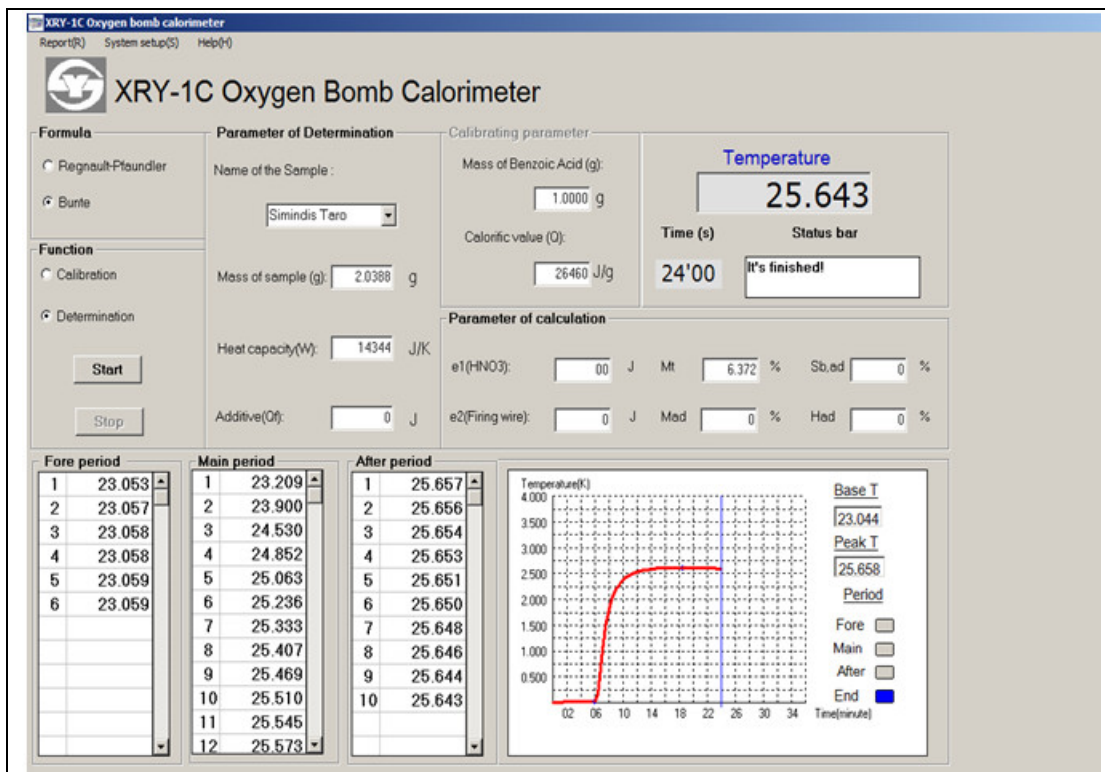
ნახ. 15-26 მოცემულია მცენარეული ნარჩენი ბიომასის გამოკვლეული ნიმუშების საწყისი მონაცემები და ცდის გრაფიკები, ხოლო ცხრილებში 18-31 შესაბამისი ექსპერიმენტული მონაცემები ცდის საწყისი, მთავარი და საბოლოო პერიოდების ტემპერატურების სახით და თბოუნარიანობის ექსპერიმენტული შედეგები.



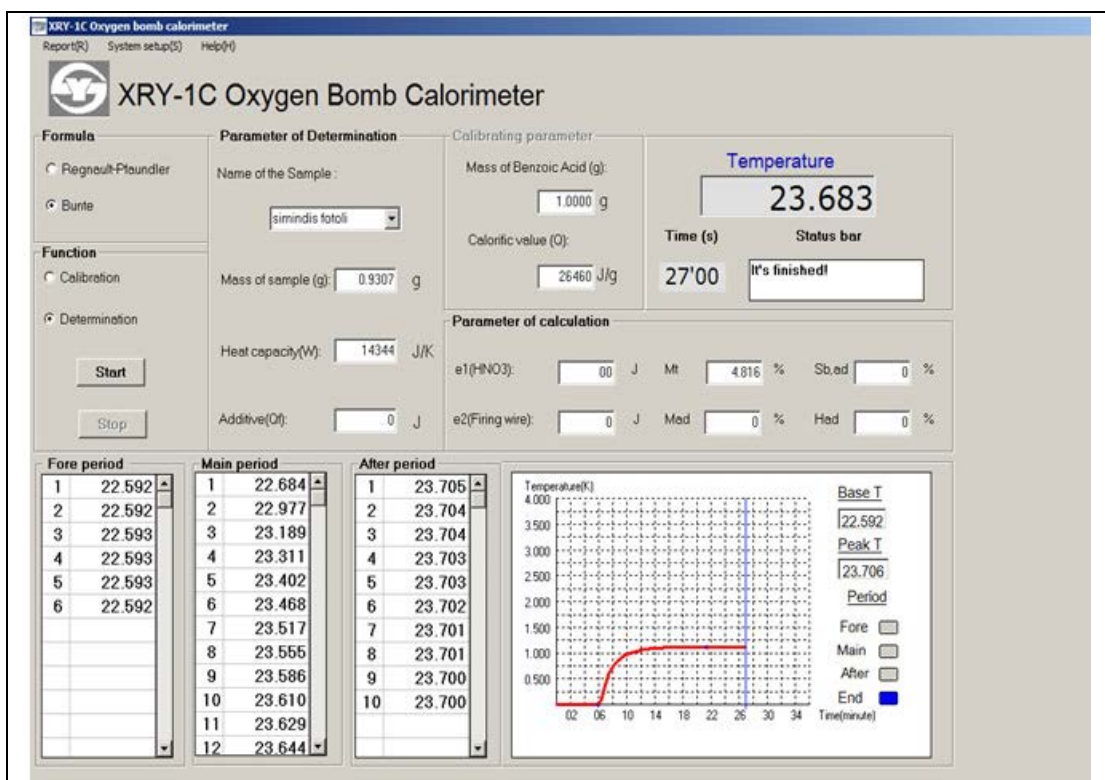
ნახაზი 15. ლობიოს ნარჩენი ბიომასის (ქერქი) ექსპერიმენტის დიაგრამა



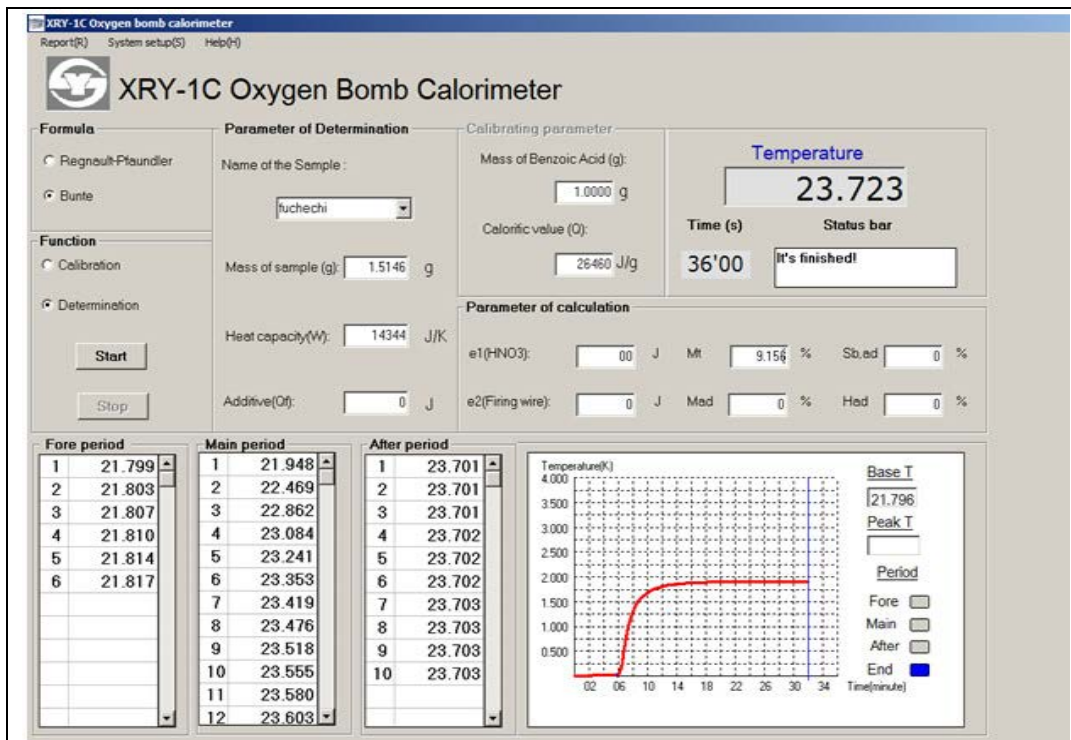
ნახაზი 16. მზესუმზირის ნარჩენი ბიომასის (ქერქი) ექსპერიმენტის დიაგრამა



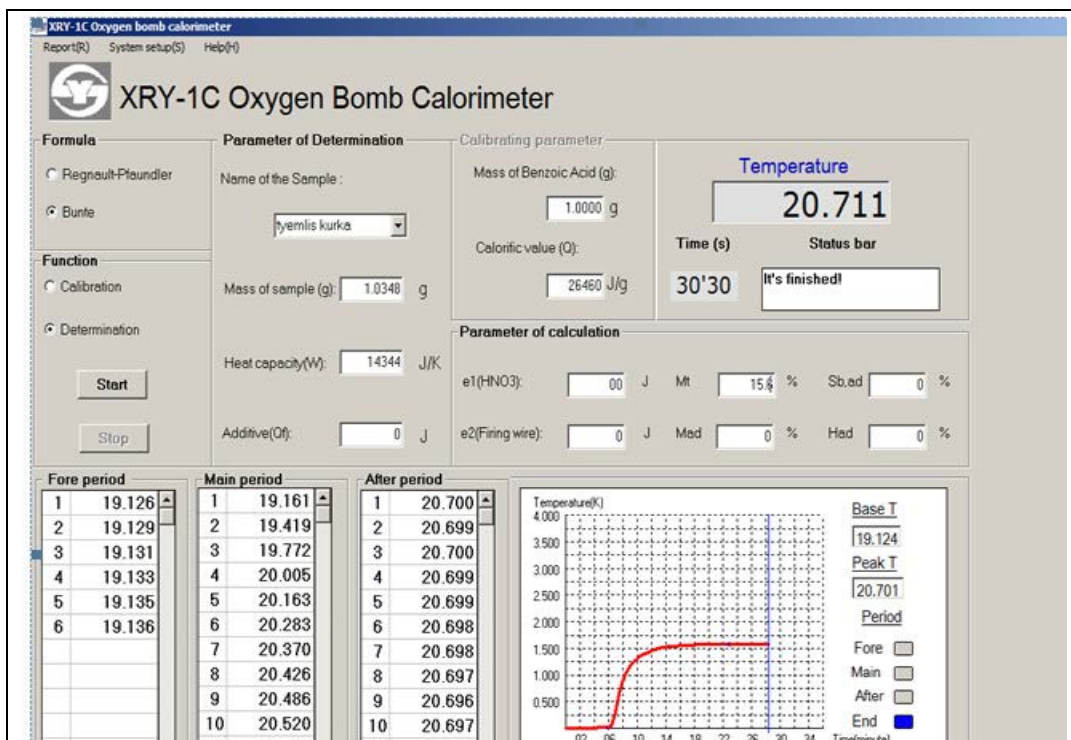
ნახაზი 17. სიმინდის ნარჩენი ბიომასის (ტარო) ექსპერიმენტის დიაგრამა



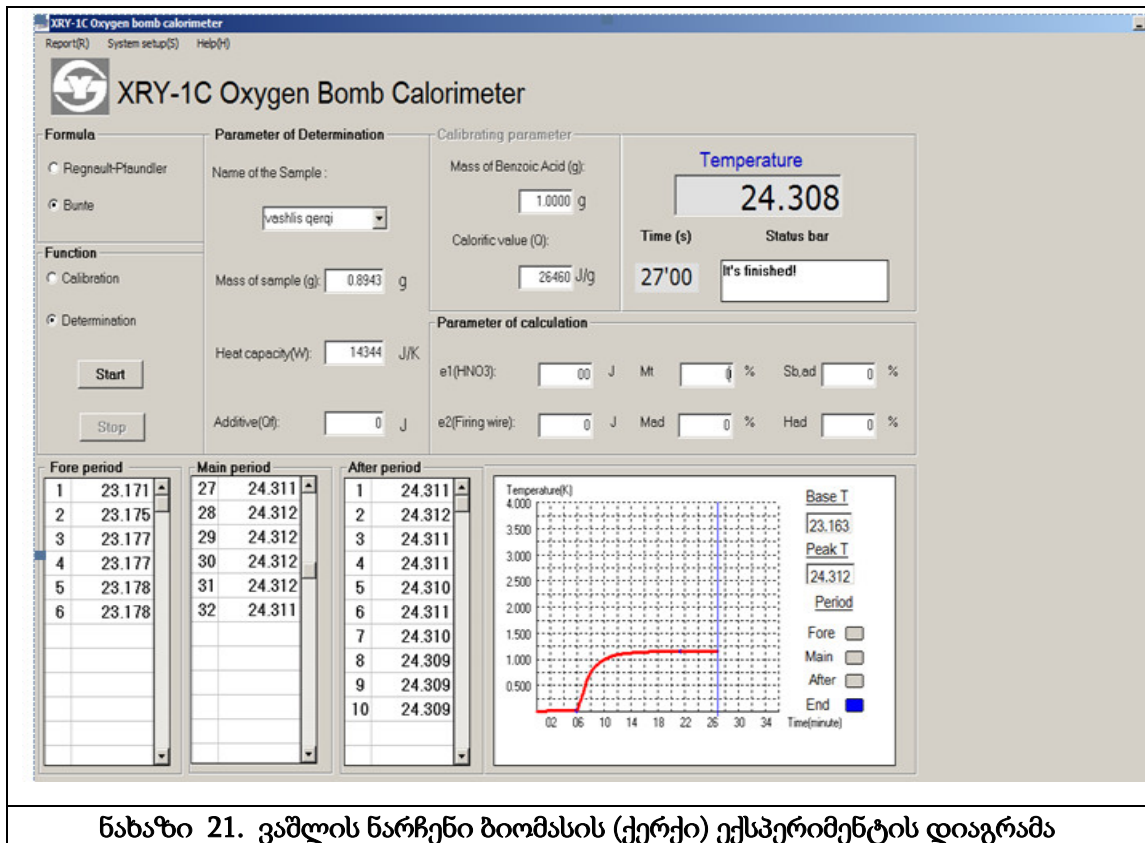
ნახაზი 18. სიმინდის ნარჩენი ბიომასის (ღერო) ექსპერიმენტის დიაგრამა



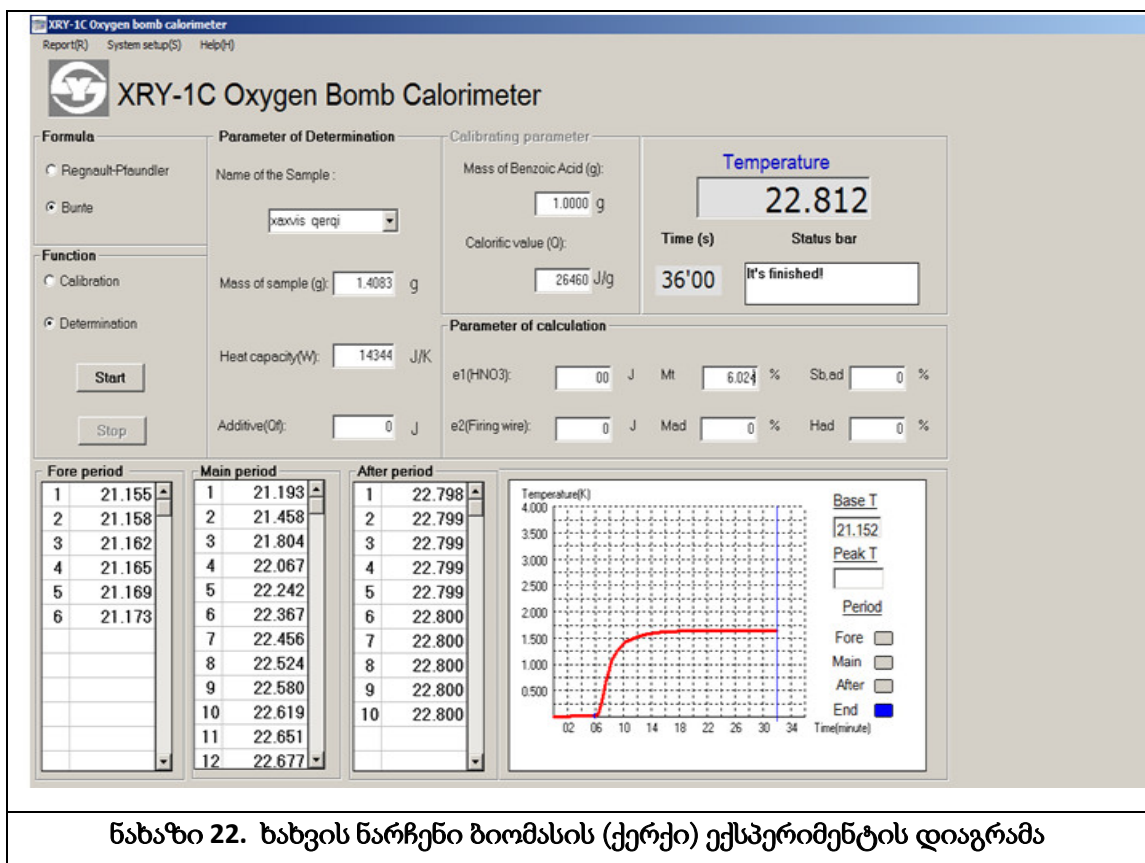
ნახაზი 19. სიმინდის ნარჩენი ბიომასის (ფურეჩი) ექსპერიმენტის დიაგრამა



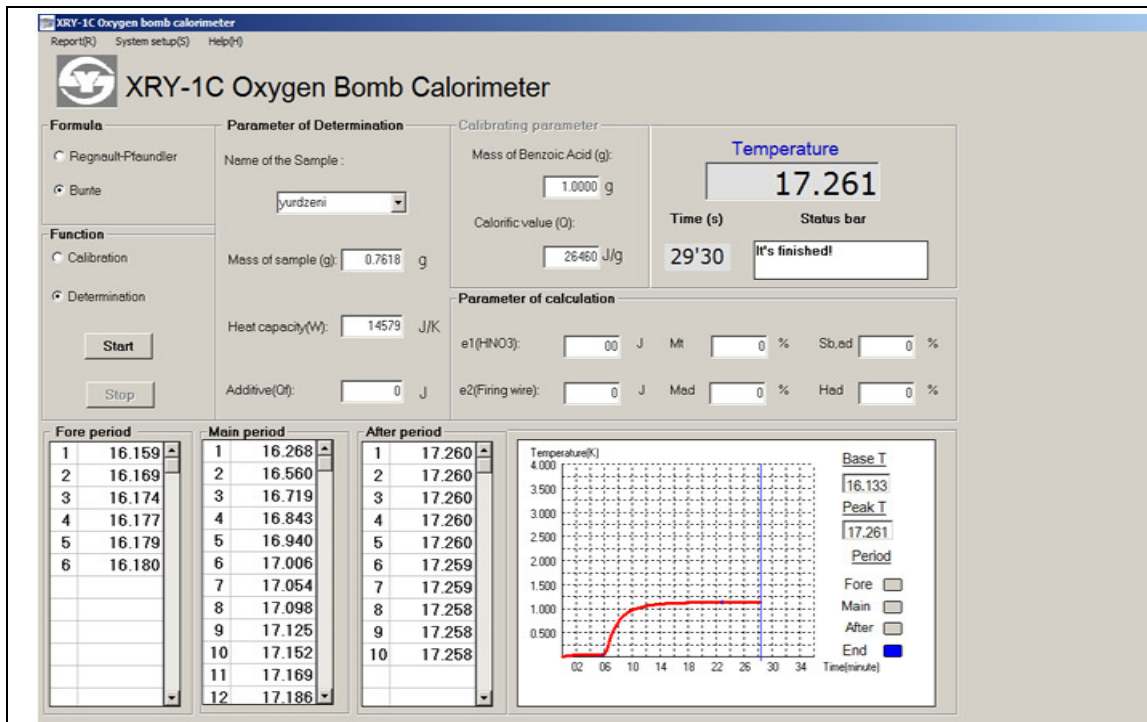
ნახაზი 20. ტყემლის ნარჩენი ბიომასის (კურკა) ექსპერიმენტის დიაგრამა



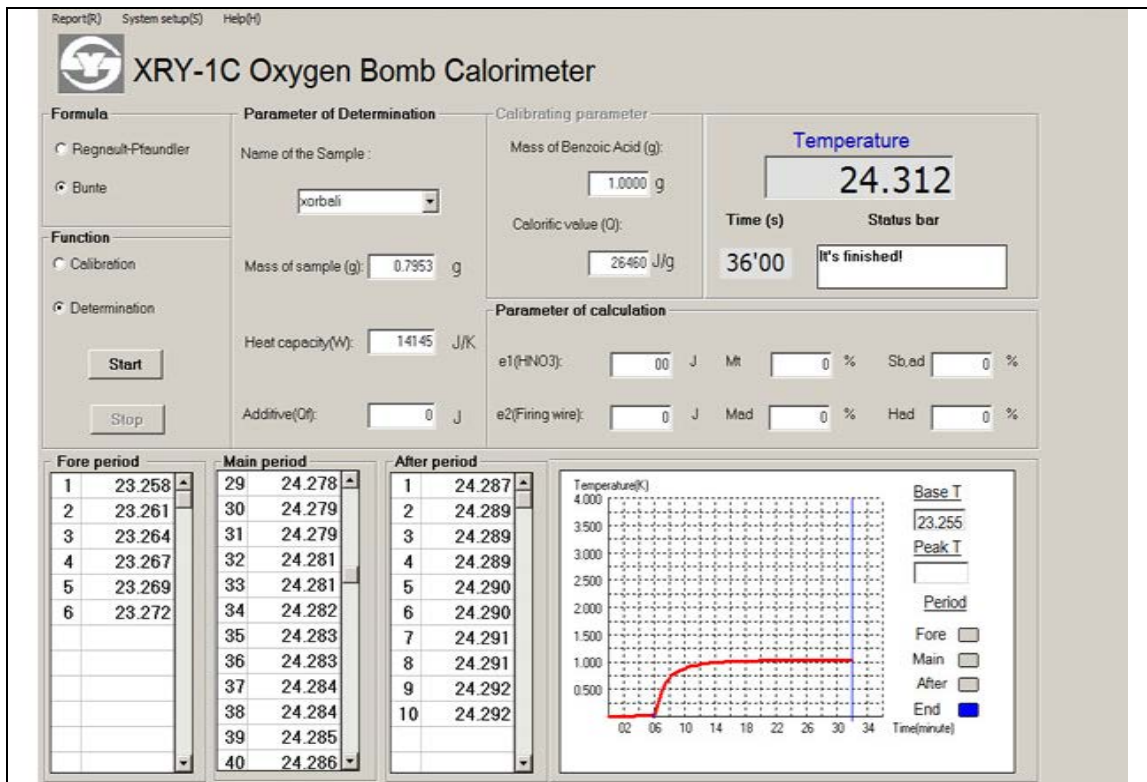
ნახაზი 21. ვაშლის ნარჩენი ბიომასის (ქერქი) ექსპერიმენტის დიაგრამა



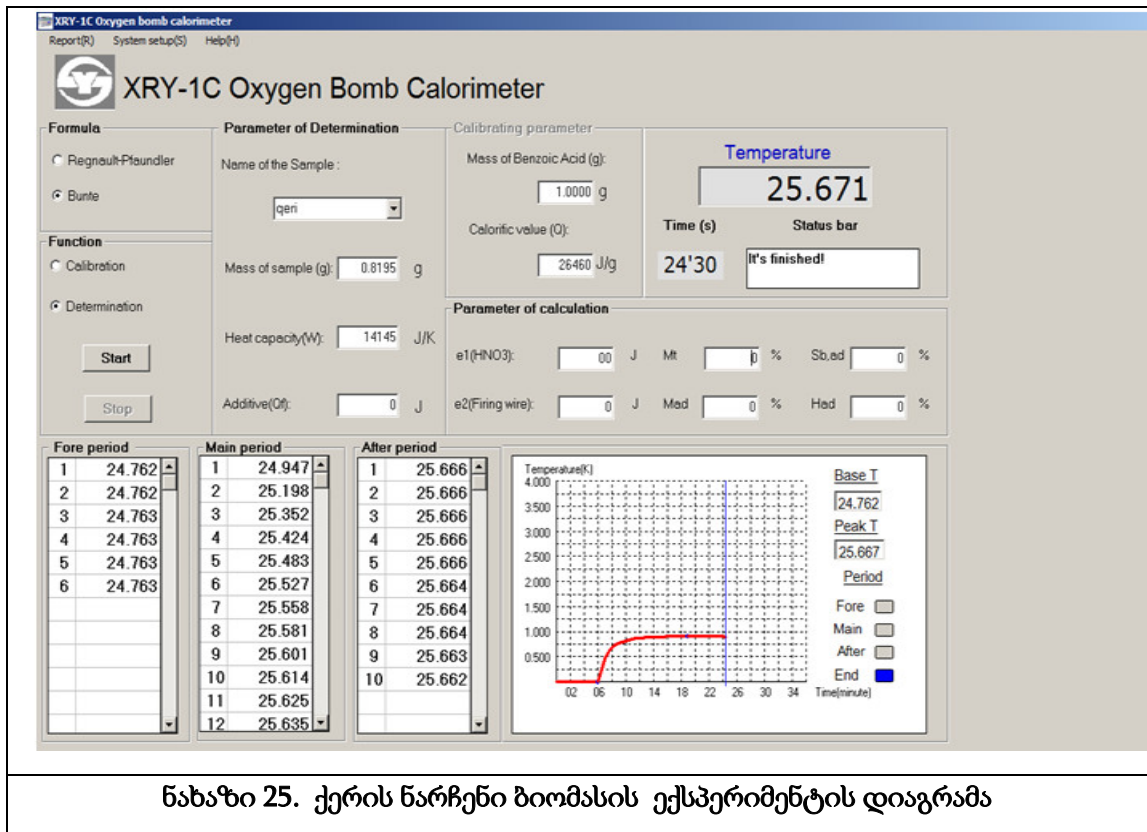
ნახაზი 22. ხახვის ნარჩენი ბიომასის (ქერქი) ექსპერიმენტის დიაგრამა



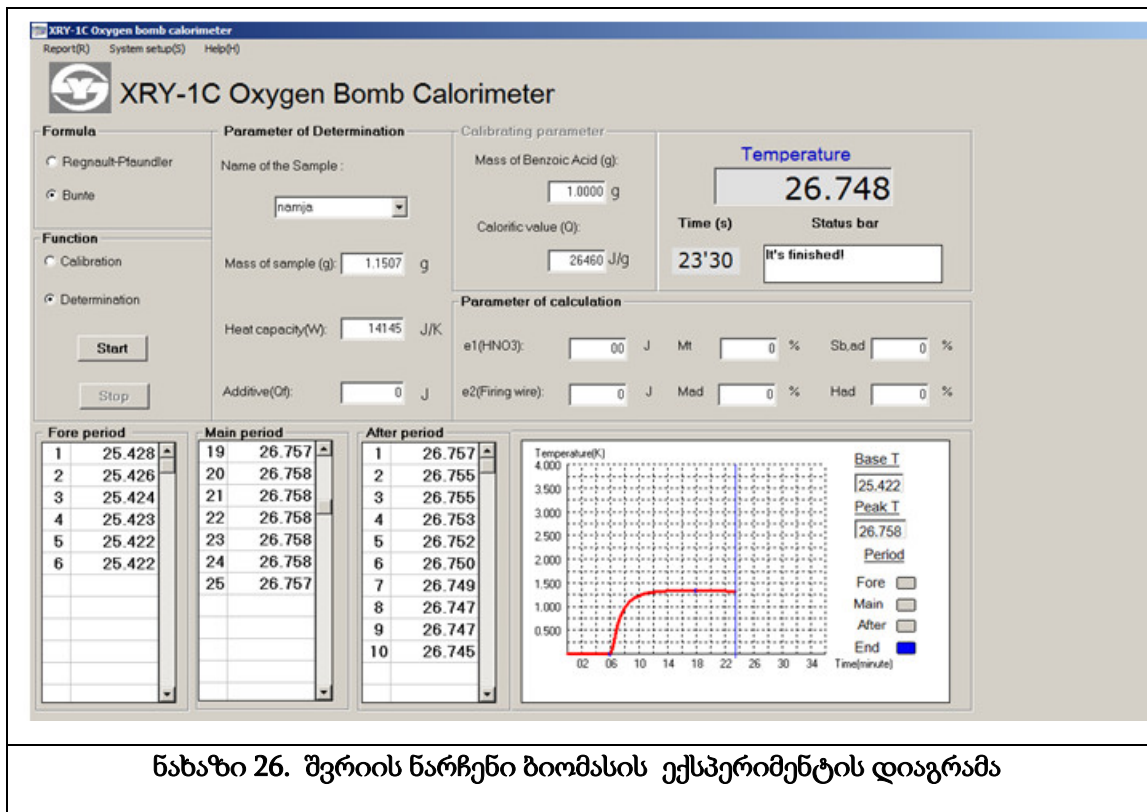
ნახაზი 23. ყურძნის ნარჩენი ბიომასის (ჭაჭა) ექსპერიმენტის დიაგრამა



ნახაზი 24. ხორბლის ნარჩენი ბიომასის ექსპერიმენტის დიაგრამა



ნახაზი 25. ქერის ნარჩენი ბიომასის ექსპერიმენტის დიაგრამა



ნახაზი 26. შვრის ნარჩენი ბიომასის ექსპერიმენტის დიაგრამა

SampleName: **ლუმინის ქარი** Operator:

SampleMass(g)	0.3652	Formula	Bunte
Capacity(J/K)	14344		
Mad(%)	0	Mt(%)	12.039
Sb,ad(%)	0	Had(%)	0

AutoID	Fore period	Main period	After period
1	22.800	22.855	23.174
2	22.800	22.951	23.174
3	22.801	23.032	23.174
4	22.800	23.032	23.175
5	22.801	23.058	23.174
6	22.801	23.080	23.173
7		23.098	23.174
8		23.109	23.173
9		23.119	23.173
10		23.125	23.173
11		23.134	
12		23.141	
13		23.146	
14		23.149	
15		23.156	
16		23.157	
17		23.159	
18		23.163	
19		23.165	
20		23.167	
21		23.168	
22		23.170	
23		23.170	
24		23.171	
25		23.172	
26		23.172	
27		23.173	
28		23.173	
29		23.173	
30		23.174	
31		23.174	
32		23.175	

33		23.175	
34		23.174	
35		23.175	
36		23.175	
37		23.175	
38		23.174	

Qb,ad(J/g)	Qgr,ad(J/g)	Qnet,ar(J/g)
14783	14720	14418
Time: 2017 -10-30 5:18:01 AM		

ცხრილი 18. ტენიანი ლობიოს ნარჩენი ბიომასის (ქერქი) ექსპ.მონაცემები და თბოუნარიანობა

Determination

SampleName: **ლობიოს ქაჩიძი** Operator:

SampleMass(g)	0.3652	Formula	Bunte
Capacity(J/K)	14344		
Mad(%)	0	Mt(%)	
Sb,ad(%)	0	Had(%)	0

AutoID	Fore period	Main period	After period
1	22.800	22.855	23.174
2	22.800	22.951	23.174
3	22.801	23.032	23.174
4	22.800	23.032	23.175
5	22.801	23.058	23.174
6	22.801	23.080	23.173
7		23.098	23.174
8		23.109	23.173
9		23.119	23.173
10		23.125	23.173
11		23.134	
12		23.141	
13		23.146	
14		23.149	
15		23.156	
16		23.157	
17		23.159	
18		23.163	
19		23.165	
20		23.167	
21		23.168	
22		23.170	
23		23.170	
24		23.171	
25		23.172	
26		23.172	
27		23.173	
28		23.173	
29		23.173	
30		23.174	
31		23.174	
--			
33		23.175	
34		23.174	
35		23.175	
36		23.175	
37		23.175	
38		23.174	

Qb,ad(J/g)	Qgr,ad(J/g)	Qnet,ar(J/g)
14783	14720	14720
Time: 2017 -10-30 5:18:01 AM		

ცხრილი 19. გამომშრალი ლობიოს ნარჩენი ბიომასის (ქერქი) ექსპერიმენტული მონაცემები და თბოუნარიანობა

Determination

SampleName: **მზესუმზირა** Operator:

SampleMass(g)	0.3669	Formula	Bunte
Capacity(J/K)	14344		
Mad(%)	0	Mt(%)	12.440
Sb,ad(%)	0	Had(%)	0

AutoID	Fore period	Main period	After period
1	18.781	18.799	19.282
2	18.783	18.868	19.282
3	18.783	18.939	19.282
4	18.784	18.993	19.283
5	18.781	19.027	19.283
6	18.784	19.058	19.284
7		19.086	19.284
8		19.108	19.284
9		19.131	19.284
10		19.149	
11		19.165	
12		19.178	
13		19.191	
14		19.201	
15		19.210	
16		19.219	
17		19.226	
18		19.233	
19		19.238	
20		19.243	
21		19.248	
22		19.253	
23		19.256	
24		19.258	
25		19.261	
26		19.264	
27		19.266	
28		19.268	
29		19.270	
30		19.271	
31		19.273	
32		19.274	
33		19.275	
34		19.276	
35		19.277	
36		19.278	
37		19.279	
38		19.279	
39		19.280	
40		19.280	

Qb,ad(J/g)	Qgr,ad(J/g)	Qnet,ar(J/g)
19364	19301	18989
Time: 2017-05-15 6:42:44 AM		

ცხრილი 20. მზესუმზირის ნარჩენი ბიომასის ექსპერიმენტული მონაცემები და თბოუნარიანობა

Determination

SampleName: **Simindis Taro** Operator:

SampleMass(g)	2.0388	Formula	Bunte
Capacity(J/K)	14344		
Mad(%)	0	Mt(%)	6.372
Sb,ad(%)	0	Had(%)	0

AutoID	Fore period	Main period	After period
1	23.053	23.209	25.657
2	23.057	23.900	25.656
3	23.058	24.530	25.654
4	23.058	24.852	25.653
5	23.059	25.063	25.651
6	23.059	25.236	25.650
7		25.333	25.648
8		25.407	25.646
9		25.469	25.644
10		25.510	25.643
11		25.545	
12		25.573	
13		25.595	
14		25.612	
15		25.623	
16		25.633	
17		25.641	
18		25.647	
19		25.651	
20		25.654	
21		25.656	
22		25.658	
23		25.658	
24		25.658	
25		25.658	
26		25.657	

Qb,ad(J/g)	Qgr,ad(J/g)	Qnet,ar(J/g)
18510	18447	18287
Time: 2017-12-01 10:43:40 AM		

ცხრილი 21. ტენიანი სიმინდის ნარჩენი ბიომასის (ტარო) ექსპერიმენტული მონაცემები და თბოუნარიანობა

Determination

SampleName: **Simindis Taro** Operator:

SampleMass(g)	2.0388	Formula	Bunte
Capacity(J/K)	14344		
Mad(%)	0	Mt(%)	0
Sb,ad(%)	0	Had(%)	0

AutoID	Fore period	Main period	After period
1	23.053	23.209	25.657
2	23.057	23.900	25.656
3	23.058	24.530	25.654
4	23.058	24.852	25.653
5	23.059	25.063	25.651
6	23.059	25.236	25.650
7		25.333	25.648
8		25.407	25.646
9		25.469	25.644
10		25.510	25.643
11		25.545	
12		25.573	
13		25.595	
14		25.612	
15		25.623	
16		25.633	
17		25.641	
18		25.647	
19		25.651	
20		25.654	
21		25.656	
22		25.658	
23		25.658	
24		25.658	
25		25.658	
26		25.657	

Qb,ad(J/g)	Qgr,ad(J/g)	Qnet,ar(J/g)
18510	18447	18447
Time: 2017-12-01 10:39:06 AM		

ცხრილი 22. გამომშრალი სიმინდის ნარჩენი ბიომასის (ტარო) ექსპერიმენტული მონაცემები და თბოუნარიანობა

Determination

SampleName: **simindis fotoli**

Operator:

SampleMass(g)	0.9307	Formula	Bunte
Capacity(J/K)	14344		
Mad(%)	0	Mt(%)	4.816
Sb,ad(%)	0	Had(%)	0

AutoID	Fore period	Main period	After period
1	22.592	22.684	23.705
2	22.592	22.977	23.704
3	22.593	23.189	23.704
4	22.593	23.311	23.703
5	22.593	23.402	23.703
6	22.592	23.468	23.702
7		23.517	23.701
8		23.555	23.701
9		23.586	23.700
10		23.610	23.700
11		23.629	
12		23.644	
13		23.656	
14		23.666	
15		23.675	
16		23.683	
17		23.687	
18		23.691	
19		23.695	
20		23.698	
21		23.700	
22		23.702	
23		23.704	
24		23.704	
25		23.705	
26		23.706	
27		23.706	
28		23.706	
29		23.706	
30		23.706	
31		23.706	
32		23.705	

Qb,ad(J/g)	Qgr,ad(J/g)	Qnet,ar(J/g)
17428	17365	17244
Time: 2017-12-10 2:39:28 PM		

ცხრილი 23. სიმინდის ნარჩენი ბიომასის (ფოთოლი) ექსპერიმენტული მონაცემები და თბოუნარიანობა

Determination

SampleName: **fuchechi**

Operator:

SampleMass(g)	1.5146	Formula	Bunte
Capacity(J/K)	14344		
Mad(%)	0	Mt(%)	9.156
Sb,ad(%)	0	Had(%)	0

AutoID	Fore period	Main period	After period
1	21.799	21.948	23.701
2	21.803	22.469	23.701
3	21.807	22.862	23.701
4	21.810	23.084	23.702
5	21.814	23.241	23.702
6	21.817	23.353	23.702
7		23.419	23.703
8		23.476	23.703
9		23.518	23.703
10		23.555	23.703
11		23.580	
12		23.603	
13		23.619	
14		23.633	
15		23.644	
16		23.654	
17		23.661	
18		23.667	
19		23.672	
20		23.676	
21		23.680	
22		23.682	
23		23.685	
24		23.687	
25		23.689	
26		23.690	
27		23.691	
28		23.692	
29		23.693	
30		23.694	

36		23.698	
37		23.698	
38		23.699	
39		23.699	
40		23.699	
41		23.700	
42		23.700	

Qb,ad(J/g)	Qgr,ad(J/g)	Qnet,ar(J/g)
17692	17629	17400
Time: 2017-12-01 1:22:59 PM		

ცხრილი 24. სიმინდის ნარჩენი ბიომასის (ფუჩეჩი) ექსპერიმენტული მონაცემები და თბოუნარიანობა

Determination

SampleName: **ტყეშლის კარკასი** Operator:

SampleMass(g)	1.0348	Formula	Bunte
Capacity(J/K)	14344		
Mad(%)	0	Mt(%)	0
Sb,ad(%)	0	Had(%)	0

AutoID	Fore period	Main period	After period
1	19.126	19.161	20.700
2	19.129	19.419	20.699
3	19.131	19.772	20.700
4	19.133	20.005	20.699
5	19.135	20.163	20.699
6	19.136	20.283	20.698
7		20.370	20.698
8		20.426	20.697
9		20.486	20.696
10		20.520	20.697
11		20.546	
12		20.574	
13		20.599	
14		20.615	
15		20.632	
16		20.643	
17		20.655	
18		20.663	
19		20.670	
20		20.675	
21		20.680	
22		20.684	
23		20.688	
24		20.691	
25		20.693	
26		20.695	
27		20.696	
28		20.698	
29		20.698	
30		20.699	
31		20.699	
32		20.700	

33		20.700	
34		20.701	
35		20.700	

Qb,ad(J/g)	Qgr,ad(J/g)	Qnet,ar(J/g)
21767	21705	21705
Time: 2017-10-24 11:45:31 PM		

ცხრილი 25. ტყეშლის კარკასის ექსპერიმენტული მონაცემები და თბოუნარიანობა

Determination

SampleName: **ვაშლის პერძი** Operator:

SampleMass(g)	0.8943	Formula	Bunte
Capacity(J/K)	14344		
Mad(%)	0	Mt(%)	12.78
Sb,ad(%)	0	Had(%)	0

AutoID	Fore period	Main period	After period
1	23.171	23.336	24.311
2	23.175	23.532	24.312
3	23.177	23.767	24.311
4	23.177	23.911	24.311
5	23.178	23.991	24.310
6	23.178	24.053	24.311
7		24.121	24.310
8		24.149	24.309
9		24.181	24.309
10		24.207	24.309
11		24.231	
12		24.247	
13		24.257	
14		24.269	
15		24.277	
16		24.284	
17		24.291	
18		24.294	
19		24.299	
20		24.302	
21		24.305	
22		24.307	
23		24.308	
24		24.310	
25		24.310	
26		24.311	
27		24.311	
28		24.312	
29		24.312	
30		24.312	
31		24.311	
32		24.312	

Qb,ad(J/g)	Qgr,ad(J/g)	Qnet,ar(J/g)
18287	18224	17903
Time: 2017-11-10 9:36:52 PM		

ცხრილი 26. ვაშლის ნარჩენი ბიომასის (კერქის) ექსპერიმენტული მონაცემები და თბოუნარიანობა

Determination

SampleName: **xaxvis qerqi** Operator:

SampleMass(g)	1.4083	Formula	Bunte
Capacity(J/K)	14344		
Mad(%)	0	Mt(%)	6.024
Sb,ad(%)	0	Had(%)	0

AutoID	Fore period	Main period	After period
1	21.155	21.193	22.798
2	21.158	21.458	22.799
3	21.162	21.804	22.799
4	21.165	22.067	22.799
5	21.169	22.242	22.799
6	21.173	22.367	22.800
7		22.456	22.800
8		22.524	22.800
9		22.580	22.800
10		22.619	22.800
11		22.651	
12		22.677	
13		22.697	
14		22.714	
15		22.729	
16		22.739	
17		22.749	
18		22.756	
19		22.763	
20		22.768	
21		22.773	
22		22.776	
23		22.780	
24		22.782	
25		22.785	
26		22.787	
27		22.788	
28		22.790	
29		22.791	
30		22.792	

34		22.795	
35		22.795	
36		22.796	
37		22.796	
38		22.797	
39		22.797	
40		22.798	
41		22.798	
42		22.798	

Qb,ad(J/g)	Qgr,ad(J/g)	Qnet,ar(J/g)
16392	16329	16178
Time: 2017-12-10 6:01:32 PM		

ცხრილი 27. ხახვის ნარჩენი ბიომასის (ქერქის) ექსპერიმენტული მონაცემები და თბოუნარიანობა

Determination

SampleName: **ჟურკივილი** Operator:

SampleMass(g)	0.7618	Formula	Bunte
Capacity(J/K)	14344		
Mad(%)	0	Mt(%)	0
Sb,ad(%)	0	Had(%)	0

AutoID	Fore period	Main period	After period
1	16.159	16.268	17.260
2	16.169	16.560	17.260
3	16.174	16.719	17.260
4	16.177	16.843	17.260
5	16.179	16.940	17.260
6	16.180	17.006	17.259
7		17.054	17.259
8		17.098	17.258
9		17.125	17.258
10		17.152	17.258
11		17.169	
12		17.186	
13		17.200	
14		17.211	
15		17.220	
16		17.228	
17		17.234	
18		17.239	
19		17.243	
20		17.247	
21		17.250	
22		17.252	
23		17.254	
24		17.256	
25		17.257	
26		17.258	
27		17.259	
28		17.259	
29		17.260	
30		17.260	
31		17.261	
32		17.260	

Qb,ad(J/g)	Qgr,ad(J/g)	Qnet,ar(J/g)
20640	20577	20577
Time: 2017-05-02 5:06:26 AM		

ცხრილი 28. ყურძნის ნარჩენი ბიომასის (ჭაჭა) ექსპერიმენტული მონაცემები და თბოუნარიანობა

Determination

SampleName: **xorbali**

Operator:

SampleMass(g)	0.7953	Formula	Bunte
Capacity(J/K)	14145		
Mad(%)	0	Mt(%)	0
Sb,ad(%)	0	Had(%)	0

AutoID	Fore period	Main period	After period
1	23.258	23.439	24.287
2	23.261	23.709	24.289
3	23.264	23.858	24.289
4	23.267	23.953	24.289
5	23.269	24.020	24.290
6	23.272	24.065	24.290
7		24.101	24.291
8		24.134	24.291
9		24.158	24.292
10		24.178	24.292
11		24.194	
12		24.209	
13		24.220	
14		24.229	
15		24.237	
16		24.243	
17		24.249	
18		24.253	
19		24.257	
20		24.261	
21		24.264	
22		24.267	
23		24.269	
24		24.271	
25		24.272	
26		24.273	
27		24.276	
28		24.277	
29		24.278	
30		24.279	
31		24.279	

ცხრილი 29. ხორბლის ნარჩენი ბიომასის ექსპერიმენტული მონაცემები და თბოუნარიანობა

Determination

SampleName: **qeri**

Operator:

SampleMass(g)	0.8195	Formula	Bunte
Capacity(J/K)	14145		
Mad(%)	0	Mt(%)	0
Sb,ad(%)	0	Had(%)	0

AutoID	Fore period	Main period	After period
1	24.762	24.947	25.666
2	24.762	25.198	25.666
3	24.763	25.352	25.666
4	24.763	25.424	25.666
5	24.763	25.483	25.666
6	24.763	25.527	25.664
7		25.558	25.664
8		25.581	25.664
9		25.601	25.663
10		25.614	25.662
11		25.625	
12		25.635	
13		25.642	
14		25.648	
15		25.652	
16		25.656	
17		25.659	
18		25.661	
19		25.662	
20		25.665	
21		25.665	
22		25.665	
23		25.666	
24		25.666	
25		25.666	
26		25.667	
27		25.666	

Qb,ad(J/g)	Qgr,ad(J/g)	Qnet,ar(J/g)
15793	15731	15731
Time: 2018-11-30 1:56:09 PM		

ცხრილი 30. ქერის ნარჩენი ბიომასის ექსპერიმენტული მონაცემები და თბოუნარიანობა

Determination

SampleName: **namja** Operator:

SampleMass(g)	1.1507	Formula	Bunte
Capacity(J/K)	14145		
Mad(%)	0	Mt(%)	0
Sb,ad(%)	0	Had(%)	0

AutoID	Fore period	Main period	After period
1	25.428	25.588	26.757
2	25.426	26.015	26.755
3	25.424	26.235	26.755
4	25.423	26.391	26.753
5	25.422	26.484	26.752
6	25.422	26.559	26.750
7		26.607	26.749
8		26.646	26.747
9		26.677	26.747
10		26.697	26.745
11		26.711	
12		26.724	
13		26.732	
14		26.740	
15		26.746	
16		26.750	
17		26.754	
18		26.756	
19		26.757	
20		26.758	
21		26.758	
22		26.758	
23		26.758	
24		26.758	
25		26.757	

Qb,ad(J/g)	Qgr,ad(J/g)	Qnet,ar(J/g)
16789	16726	16726
Time: 2018-11-30 3:20:47 PM		

ცხრილი 31. შვრიის ნარჩენი ბიომასის ექსპერიმენტული მონაცემები და თბოუნარიანობა

3.3. კალორიმეტრული სისტემის გარე თბოცვლის გრაფო-ანალიზური მეთოდი

სათბობის საანალიზო ნიმუშის დაწვის შედეგად გამოყოფილი სითბო ხმარდება დისტილირებული წყლის (≈3ლიტრი), აგრეთვე კალორიმეტრულ სისტემაში შემავალი: კალორიმეტრიული „ყუმბარის“, წყლიანი ავზის, თერმომეტრის და სხვა ნაწილების გაცხელებას.

სათბობის თბოუნარიანობის გაზომვა ხორციელდება გაზომვის ფარდობითი მეთოდით, რომლის მიხედვითაც წინასწარ განისაზღვრება კალორიმეტრის მუდმივა, სანიმუშო ნივთიერების - ბენზოინის მჟავის გამოყენებით. მისი სისფთავე ტოლია 99.992% და წარმოადგენს სტანდარტულ ნივთიერებას რომლის თბოუნარიანობა 26434კჯ/კგ. ცნობილია მაღალი სიზუსტით. კალიბრების დროს განისაზღვრება კალორიმეტრული სისტემის ყველა დამხმარე ნაწილის ხვედრითი სითბოს რაოდენობა ჯ/გრად. აღნიშნულის გათვალისწინებით განისაზღვრება უშუალოდ სათბობის სრული დაწვის შედეგად გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა, რომელიც დაიხარჯება საკონტროლო დისტილირებული წყლის გაცხელებაზე.

კალორიმეტრული სისტემის გარემოსთან თბოცვლის მინიმუმამდე დასაყვანად გააჩნია დიდი ტევადობის მქონე ჭურჭელი წყლით - იზოთერმული გარსაცმი. გარემოსთან თბოცვლის სრულად გამორიცხვა შეუძლებელია - გარკვეული სიდიდის თბოცვლას მაინც აქვს ადგილი: სითბოს გარკვეული ნაწილი მონაწილეობს საკონტროლო წყლის შეთბობაზე (სითბო გარემოდან მიეწოდება წყალს), ან გაცივებაზე (საკონტროლო წყლიდან სითბო მიეწოდება გარემოს).

კალორიმეტრიული ექსპერიმენტი მოიცავს: საწყის, მთავარ და საბოლოო პერიოდებს. ცდა იწყება სარეველას მუშაობაში მოყვანიდან 6-10 წუთის შემდეგ. ამ დროს ხდება კალორიმეტრულ ხელსაწყოსა და გარემოს შორის ტემპერატურათა გათანაბრება. შემდეგ ხორციელდება სათბობის

დაწვის პროცესი (მთავარი პერიოდი), რის შედეგადაც ადგილი აქვს ტემპერატურის მკვეთრ ზრდას. გარკვეულ დროის შემდეგ მიიღწევა კალორიმეტრულ სისტემაში ტემპერატურის გათანაბრება და საბოლოო პერიოდის ათვლა. ცდის მსვლელობისას ტემპერატურის ათვლა წარმოებს ერთი წუთის ინტერვალით. ცხრ.32-ში მოცემულია კალორიმეტრული ცდის სამივე პერიოდის ექსპერიმენტული მონაცემების ერთ-ერთი მაგალითი.

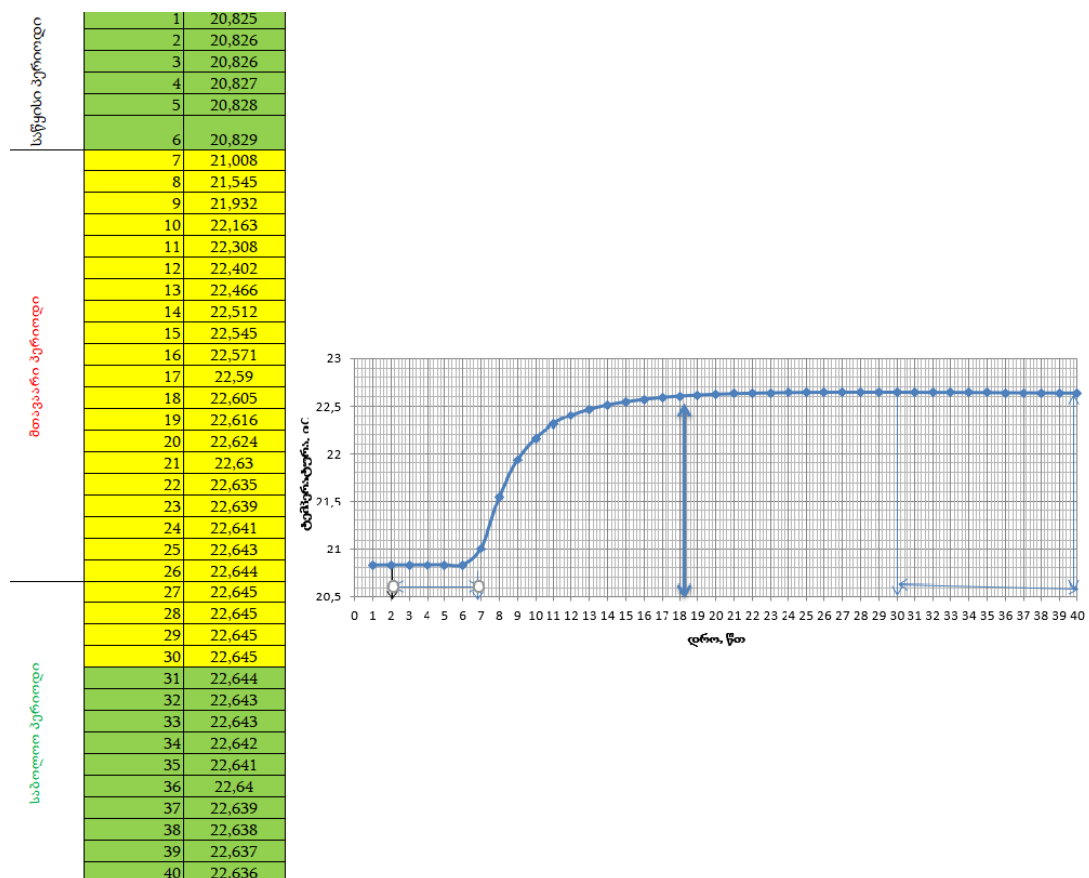
ცხრილი 32. კალორიმეტრული ცდის ტემპერატურული პერიოდები

საწყისი პერიოდი		მთავარი პერიოდი		საბოლოო პერიოდი	
1	20,825	7	21,008	32	22,643
2	20,826	8	21,545	33	22,643
3	20,826	9	21,932	34	22,642
4	20,827	10	22,163	35	22,641
5	20,828	11	22,308	36	22,64
6	20,829	12	22,402	37	22,639
		13	22,466	38	22,638
		14	22,512	39	22,637
		15	22,545	40	22,636
		16	22,571		
		17	22,59		
		18	22,605		
		19	22,616		
		20	22,624		
		21	22,63		
		22	22,635		
		23	22,639		
		24	22,641		
		25	22,643		
		26	22,644		
		27	22,645		
		28	22,645		
		29	22,645		
		30	22,645		
		31	22,644		

საწყისი პერიოდის საბოლოო ტემპერატურული ანათვალი იძლევა მთავარი პერიოდის საწყის ტემპერატურის მნიშვნელობას. საწყისი

პერიოდის დამთავრების შემდეგ ელექტროკვება მიეწოდება ყუმბარაში არსებულ საფალიე მავთულს, ხდება ნაპერწკლის წარმოქმნა და სათბობის მომენტალური დაწვა. სათბობის დაწვის დროს გამოყოფილი სითბო გადაეცემა დისტილირებულ წყალს და „ყუმბარის“ ელემენტებს. ადგილი აქვს წყლის ტემპერატურის მკვეთრ ზრდას (ცდის მთავარი პერიოდი). კალორიმეტრულ სისტემასი ტემპერატურის გათანაბრების შემდეგ დგება აითვლება საბოლოო პერიოდის დაწყების შესაბამისი ტემპერატურა. საბოლოო პერიოდში ათვლა წარმოებს ასევე, ერთწუთიანი ინტერვალით.

თვალსაჩინოებისთვის ნახ.27 წარმოდგენილია კალორიმეტრული ცდის სამივე პერიოდისათვის ტემპერატურის დროის მიხედვით ცვლილების ცხრილი და შესაბამისი გრაფიკი.



ნახ. 27. კალორიმეტრული ცდის სანიმუშო ცხრილი და გრაფიკი

როგორც ჩანს (ნახ.27.) პირველი 6 წუთის განმავლობაში (ცდის საწყისი პერიოდი) დისტილირებული წყლის ტემპერატურა უმნიშვნელოდ იცვლება, რაც მიუთითებს კალორიმეტრული სისტემის გარემოსგან კარგ თბოიზოლაციაზე. საწყისი პერიოდის ბოლოს ელექტრო ნაპერწკლით დაიწვება სათბობი, დაიწყება ცდის მთავარი პერიოდი, რომელიც გაგრძელდება კალორიმეტრულ სისტემაში ტემპერატურების გათანაბრებამდე (ცდის საბოლოო პერიოდის დასაწყისი). საშუალოდ საწყისი მთავარი და საბოლოო პერიოდების ხანგრძლივობებია შესაბამისად 6, 36 და 10 წუთი.

საწყის და საბოლოო პერიოდები ხასიათდება პრაქტიკულად სტაციონარული რეჟიმებით და დიაგრამაზე გამოსახულია შესაბამისი წრფეებით. რადგან კალორიმეტრული სისტემის გარემოსთან სრული თბური იზოლაცია შეუძლებელია საწყის და საბოლოო პერიოდებში და ასევე მთავარ პერიოდშიც ადგილი აქვს სათბობის მიერ გამოყოფილი სითბოს დანაკარგს გარემოში (ან სითბოს მიწოდებას გარემოდან კალორიმეტრულ სისტემაზე), რაც წარმოადგენს სისტემატიური ცდომილების გამომწვევ წყაროს. ცდების საწყისი და საბოლოო პერიოდების ტემპერატურული მონაცემების ანალიზი თბოცვლაზე შესწორების მნიშვნელობის განსაზღვრის საშუალებას იძლევა.

3.4. საწყისი და საბოლოო პერიოდის ტემპერატურის ცვლილების ანალიზი

ცხრ. 33-ში მოცემულია ცდის საწყისი პერიოდის ტემპერატურის მონაცემების დამუშავება უმცირესი კვადრატების მეთოდით, რომლის თანახმადაც, საწყისი პერიოდის ტემპერატურის მნიშვნელობებზე გატარებულია ისეთი წრფე რომლიდანაც ექსპერიმენტული წერტილების გადახრების კვატრატების ჯამი მინიმალურია.

ცხრილი 33. საწყისი პერიოდის ტემპერატურა და აპროქსიმაციის წრფიდან გადახრების კვადრატები			
დრო,წთ	საწყისი პერიოდი, გრად.	წრფიდან გადახრები	გადახრების კვადრატები
1	2	3	4
დრო,წთ	ტემპერატურა, °C	გრად	გრად ²
1	20,825	-0,00183333	3,36111E-06
2	20,826	-0,00083333	6,94444E-07
3	20,826	-0,00083333	6,94444E-07
4	20,827	0,000166667	2,77778E-08
5	20,828	0,001166667	1,36111E-06
6	20,829	0,002166667	4,69444E-06
საშუალო მნიშვნელობა	20,8268333	-1,7764E-14	1,08333E-05

ნახ.28-ზე მოცემულია საწყისი პერიოდის ტემპერატურების ექსპერიმენტული მონაცემები და აპროქსიმაციის წრფე. ამ უკანასკნელის კოეფიციენტები განსაზღვრულია რეგრესიული ანალიზით.

$$\alpha=0,00077143 \quad \beta=20,824133.$$

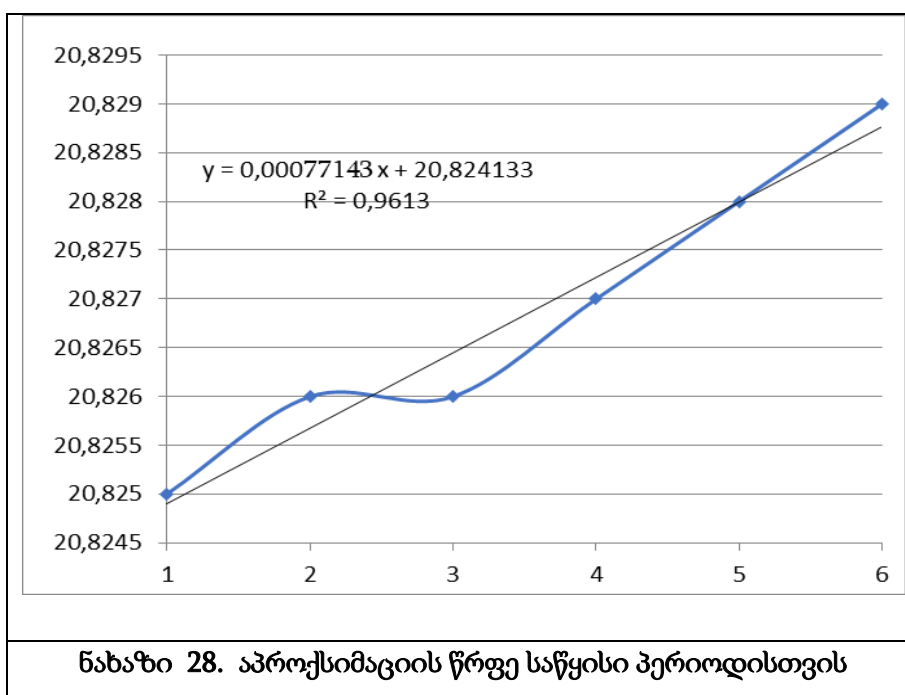
წრფივი აპროქსიმაციის ფორმულას აქვს სახე :

$$t= 0,00077143 * \tau + 20,824133$$

τ -დრო

ცხრილში 34 მოცემულია კორელაციური ძლიერი კავშირი ტემპერატურასა და დროს შორის. კორელაცია დადებითია (+0,98), დროის გაზრდით იზრდება ტემპერატურა

ცხრილი 34. კორელაცია საწყისი პერიოდისთვის		
	დრო,წთ	ტემპერატურა, °C
დრო,წთ	1	0,980468603
ტემპერატურა, °C	0,9804686	1



ნახაზი 28. აპროქსიმაციის წრფე საწყისი პერიოდისთვის

ცხრ. 33-ის პირველი სვეტში მოცემულია დრო წთ, მეორე სვეტში საწყისი პერიოდის ტემპერატურის მნიშვნელობები, მესამე სვეტში აპროქსიმაციის წრფიდან ექსპერიმენტული წერტილების გადახრები და მათი ჯამი (პრაქტიკულად ნულის ტოლია), ხოლო მე4 სვეტში გადახრების კვადრატები და მათი ჯამი $1,0833 \cdot 10^{-5}$

ცალკეული გაზომვის საშუალო კვადრატული ცდომილება იანგარიშება ფორმულით:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (t_i - t_{\text{ფრფ}})^2}{n - N - 1}} = \sqrt{\frac{1.08333 \cdot 10^{-5}}{6 - 1 - 1}} = 0.00165 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (22)$$

ხოლო საშუალო მნიშვნელობის საშუალო კვადრატული ცდომილება:

$$S_t = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{0.00165}{\sqrt{6}} = 0.00067 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (23)$$

სადაც t_i და $t_{\text{ფრფ}}$ - არის ექსპერიმენტული წერტილები და შესაბამისად წრფის წერტილები;

n- ექსპერიმენტული წერტილების რიცხვი;

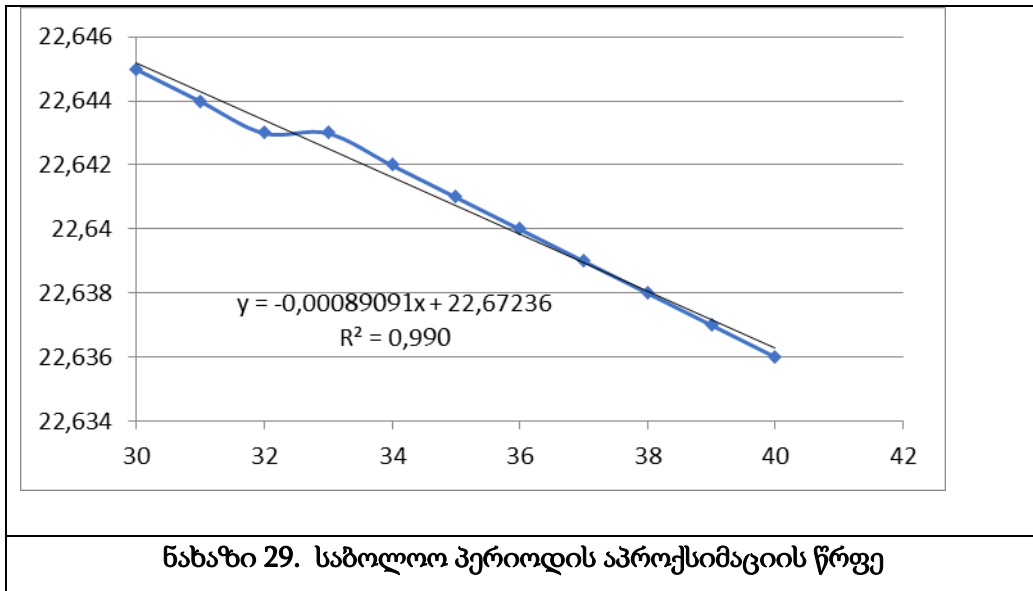
N- ექსპერიმენტული წერტილების აპროქსიმაციის პოლინომის მაჩვენებელი, კერძოდ N= 1.

ანალოგიურად დამუშავებულია კალორიმეტრული ცდის საბოლოო პერიოდი. ამ პერიოდისთვის კორელაცია (ცხრ.35) უარყოფითია -0.995 ე.ი. დროის მატებით ტემპერატურა მცირდება.

ცხრილი 35. კორელაცია საბოლოო პერიოდისთვის			
	დრო,წთ	ტემპერატურა, oC	
დრო,წთ	1	-0,99503924	
ტემპერატურა, oC	-		1
	0,99503924		

ცხრილი 36. საბოლოო პერიოდის ტემპერატურა და აპროქსიმაციის წრფიდან გადახრების კვადრატები			
დრო,წთ	საბოლოო პერიოდი, გრად.	წრფიდან გადახრები	გადახრების კვადრატები
1	2	3	4
დრო,წთ	ტემპერატურა, oC	გრად	გრად ²
30	22,645	0,004272727	1,82562E-05
31	22,644	0,003272727	1,07107E-05
32	22,643	0,002272727	5,16529E-06
33	22,643	0,002272727	5,16529E-06
34	22,642	0,001272727	1,61983E-06
35	22,641	0,000272727	7,43802E-08
36	22,64	-0,00072727	5,28926E-07
37	22,639	-0,00172727	2,98347E-06
38	22,638	-0,00272727	7,43802E-06
39	22,637	-0,00372727	1,38926E-05
40	22,636	-0,00472727	2,23471E-05

ცალკეული გაზომვის საშუალო კვადრატული ცდომილება $S=0.0031$ გრად, ხოლო საშუალო მნიშვნელობის საშუალო კვადრატული ცდომილება შეადგენს $S_s=0.009$ გრად.



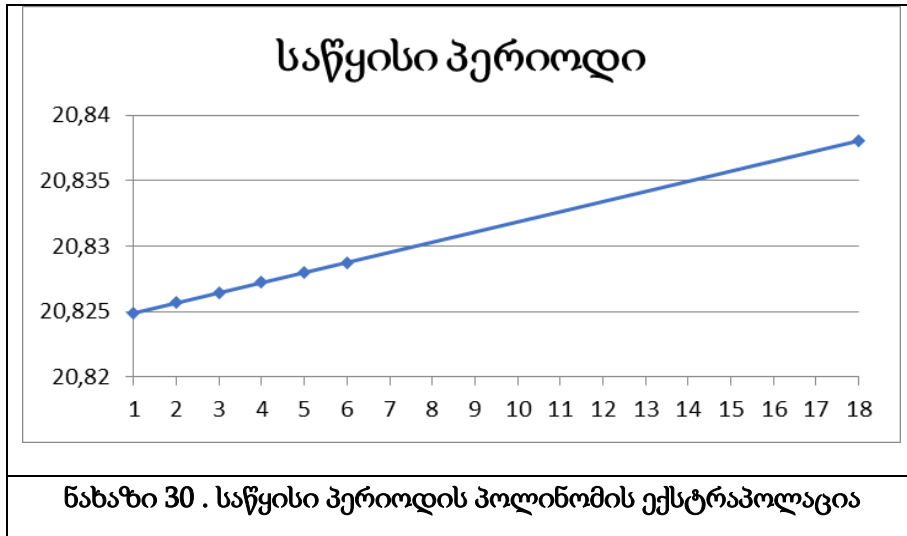
3.5. გარემოსთან თბოცვლით გამოწვეული ცდომილებები

კალორიმეტრული სითხის ტემპერატურის ნაზრდი გარემო თბოცვლის გათვალისწინების გარეშე შეადგენს გრადუს საბოლოო პერიოდის საწყისი ტემპერატურას $22,645^{\circ}\text{C}$ (ცხრ.36) მინუს საწყისი პერიოდის საბოლოო ტემპერატურა $20,829$ (ვცრ.33) , ანუ $1,816$ გრადუსი. მთავარ პერიოდში სათბობის დაწვით მიღებული სითბოსთან ერთად მოქმედებს გარემო თბოცვლით გამოწვეული სითბური ნაკადიც. აღნიშნულის გათვალისწინებისთვის საჭიროა საწყისი პერიოდის პოლინომის ექსტრაპოლაცია მთავარი პერიოდის შუა მომენტისათვის (18 წთ). შესაბამისი ტემპერატურა ტოლია $- 20.838^{\circ}\text{C}$ (ნახ 30).

შესაბამისად ცდომილება იქნება:

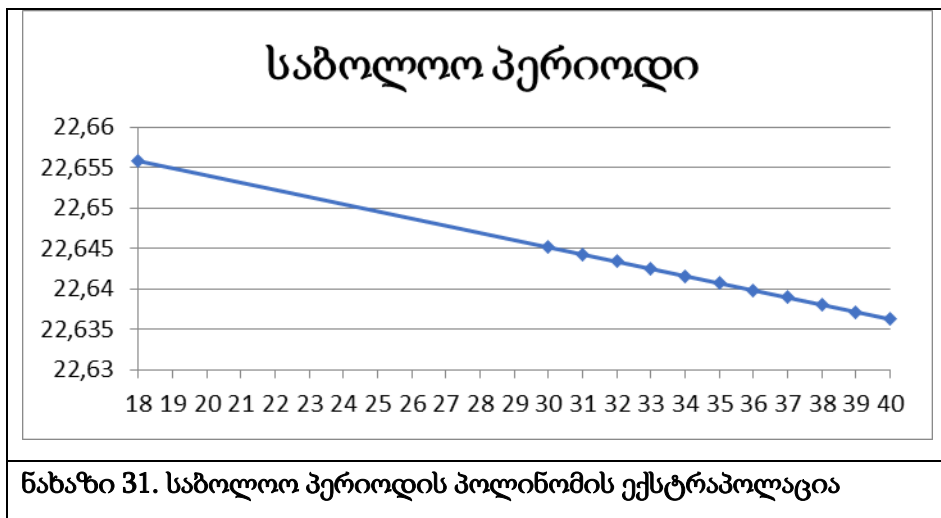
$$20.838^{\circ}\text{C} - 20,829^{\circ}\text{C} = 0,009^{\circ}\text{C}$$

ეს ცდომილება აღებული მინუს ნიშნით უნდა დაემატოს ბაზისურ ტემპერატურათა სხვაობას ე.ი $1,816^{\circ}\text{C} + (-0.009^{\circ}\text{C}) = 1,807^{\circ}\text{C}$.



ანალოგიურად საბოლოო პერიოდის პოლინომის ექსტრაპოლაციით (ნახ 31). მთავარი პერიოდის შუა წერტილამდე 22,645 გრად.-დან 22.645 გრად.-მდე გვაძლევს ცდომილებას :

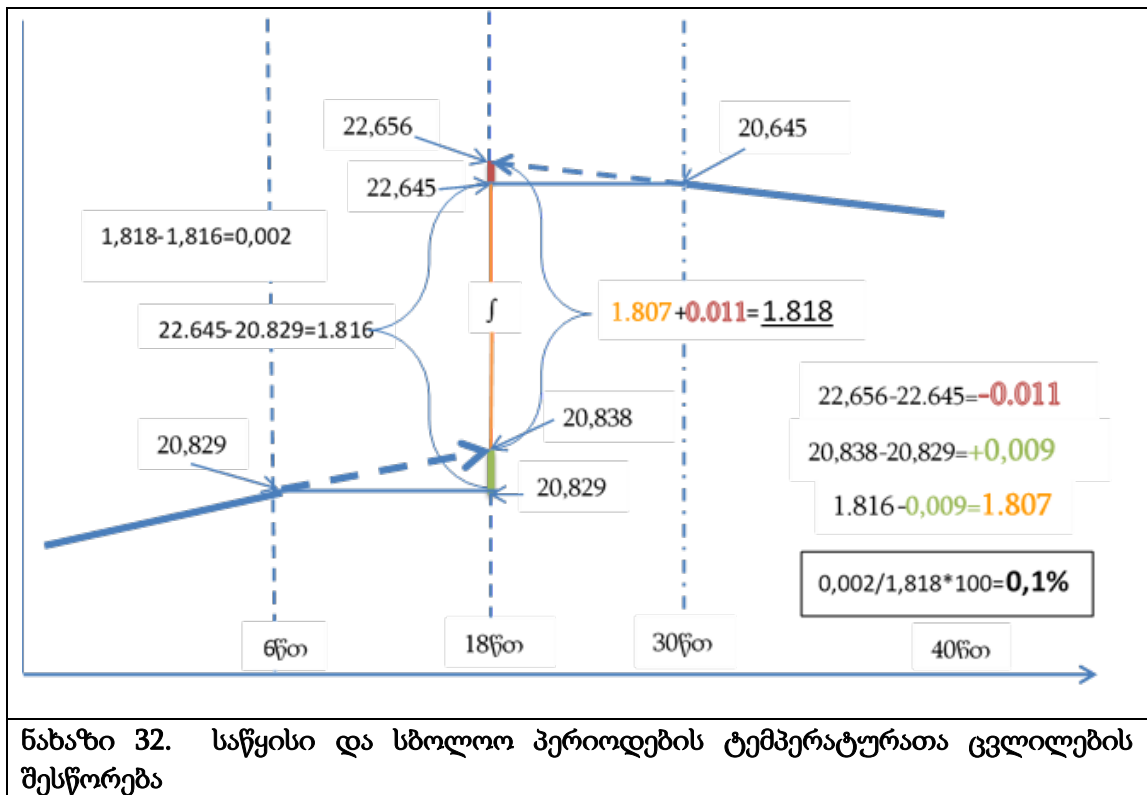
$$22,645^{\circ}\text{C} - 22,656^{\circ}\text{C} = -0,011^{\circ}\text{C} \text{ შესწორება კი ტოლი იქნება } 0,011^{\circ}\text{C}$$



შესაბამისად ტემპერატურათა სხვაობა, რომელშიც გათვალისწინებული იქნება კალორიმეტრული სისტემის გარემოსთან თბოცვლა, იქნება:

$$1,807^{\circ}\text{C} + 0,011^{\circ}\text{C} = 1,818^{\circ}\text{C} \quad (24)$$

ანუ თბოცვლაზე შესწორების გათვალისწინებით ტემპერატურის ფაქტიური ნაზრდი იქნება 1,818 გრადუსი.



ბაზისურ ტემპერატურათა სხვაობასა დაზუსტებულ ტემპერატურათა სხვაობას შორის განსხვავება ტოლია:

$$1,818 - 1,816 = 0,002 \quad (25)$$

აქედან გამომდინარე ბაზისურ ტემპერატურათა სხვაობასა და დაზუსტებულ ტემპერატურათა სხვაობას შორის განსხვავება შეადგენს $0,002/1,818*100=0,1\%$ -ს.

განხილულ შემთხვევაში საწყისი და საბოლოო პერიოდებში ტემპერატურათა ცვლილების სიდიდეები სხვადასხვა ნიშნითაა, ამიტომ ცდომილებები ნაწილობრივ ერთმანეთს აბათილებენ. შესაძლებელია ისეთი შემთხვევებიც, როცა ორივე ცდომილება ერთნაირი ნიშნისაა, მაშინ შესწორება შედარებით უფრო მეტი აღმოჩნდება.

შესწორებები გამოწვეულია გარემოს ზემოქმედებით და ატარებს სისტემური ხასიათის ბუნებას. შესწორებების გათვალისწინება ცდის

შედეგებში ხდება მისი სიდიდისა და ნიშნის მიხედვით. აღნიშნული სისტემატიური ხასიათის ცდომილების წყაროს გათვალისწინება შესაბამისი შესწორებებით იწვევს შედეგის სისწორის გაზრდას.

3.6. ჩატარებული ცდების შედეგები და მათი ანალიზი

საქართველოს მთელი მოსახლეობის დაახლოებით ნახევარი ეწევა ფერმერულ საქმიანობას და ამდენად უშუალოდ კავშირი აქვს ნარჩენი ბიომასის ენერგეტიკულ წყაროსთან. ენერგეტიკული პოტენციალის შესაფასებელ ძირითად პარამეტრს წარმოადგენს საწვავი მასის თბოუნარიანობა (კჯ/კგ), რომელიც გამოიყენება თბოდანადგარების, როგორც პროექტირების, ასევე ექსპლუატაციის დროს, პროცესების ოპტიმიზაციის და დანადგარების მუშაობის ეკონომიკური მაჩვენებლების დასადგენად.

ცხრ. 37-47 მოცემულია ნიმუშების თბური პარამეტრები სხვადასხვა ტენიანობის დროს.

ცხრილი 37. სიმინდის ნარჩენი ბიომასის (ფუჩქი) თბური პარამეტრები

ნიმუშის დასახელება	პარამეტრები	გარე ტენი, %				
		0	10	20	40	9,16
სიმინდის ფუჩქი მასა 1.5146 ტენი 9,16	თბოუნარი ყუმბარის მიხედვით, $Q_{უმ}$, ჯ/გ	17692				
	ბრუტო თბოუნარი, $Q_{ბრ}$, ჯ/გ	17629				
	წყალბადის შემცველობა მშრალ მასაში, %, $H^{მშრ}$	6,06				
	წყალბადის შემცველობა მუშა მასაში, %, H^p	6,06	5,45	4,85	3,64	5,50
	წყალბადის დაწვით მიღებული ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ენერგია, ჯ/გ	1369	1232	1095	821	1244
	გარე ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ენერგია, ჯ/გ	0	251	502	1004	229,92
	ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ჯამური ენერგია	1369	1483	1597	1825	1473
	უდაბლესი მუშა თბოუნარი, $Q_{უდ}$, ჯ/გ	16260	16146	16032	15804	16156

ცხრილი 38. ყურძნის ნარჩენი ბიომასის (ჭაჭა) თბური პარამეტრები

ნიმუშის დასახელება	პარამეტრები	გარე ტენი,%				
		0	10	20	40	5,8
ყურძნის ნარჩენი (ჭაჭა) მასა 0, 7618 ტენი 5.8	თბოუნარი ყუმბარის მიხედვით, $Q_{ყუმბ}, \text{ჯ/გ}$	20640				
	ბრუტო თბოუნარი, $Q_{ბრ}, \text{ჯ/გ}$	20577				
	წყალბადის შემცველობა მშრალ მასაში, %, $H_{მშრ.}$	6,06				
	წყალბადის შემცველობა მუშა მასაში, %, H^{θ}	6,06	5,45	4,85	3,64	5,71
	წყალბადის დაწვით მიღებული ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ენერგია, ჯ/გ	1369	1232	1095	821	1290
	გარე ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ენერგია, ჯ/გ	0	251	502	1004	145,58
	ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ჯამური ენერგია	1369	1483	1597	1825	1435
	უდაბლესი მუშა თბოუნარი, $Q_{უდ}, \text{ჯ/გ}$	19208	19094	18980	18752	19142

ცხრილი 39. მზესუმზირის ნარჩენი ბიომასის თბური პარამეტრები

ნიმუშის დასახელება	პარამეტრები	გარე ტენი,%				
		0	10	20	40	8,5
მზესუმზირა მასა 0.3669 ტენი 8,5	თბოუნარი ყუმბარის მიხედვით, $Q_{ყუმბ}, \text{ჯ/გ}$	19364				
	ბრუტო თბოუნარი, $Q_{ბრ}, \text{ჯ/გ}$	19303				
	წყალბადის შემცველობა მშრალ მასაში, %, $H_{მშრ.}$	6,06				
	წყალბადის შემცველობა მუშა მასაში, %, H^{θ}	6,1	5,5	4,8	3,6	5,5
	წყალბადის დაწვით მიღებული ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ენერგია, ჯ/გ	1369	1232	1095	821	1253
	გარე ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ენერგია, ჯ/გ	0	251	502	1004	213,35
	ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ჯამური ენერგია	1369	1483	1597	1825	1466
	უდაბლესი მუშა თბოუნარი, $Q_{უდ}, \text{ჯ/გ}$	17934	17820	17706	17478	17837

ცხრილი 40. ლობიოს ნარჩენი ბიომასის (ქერქის)თბური პარამეტრები

ნიმუშის დასახელება	პარამეტრები	გარე ტენი,%				
		0	10	20	40	12,04
ლობიოს ქერქი მასა 0.3652 ტენი 12.04	თბოუნარი ყუმბარის მიხედვით, $Q_{ყუმბ}$, ჯ/გ	14783				
	ბრუტო თბოუნარი, $Q_{ბრ}$, ჯ/გ	14720				
	წყალბადის შემცველობა მშრალ მასაში, %, $H^{შრ}$.	6,06				
	წყალბადის შემცველობა მუშა მასაში, %, H^p	6,1	5,5	4,8	3,6	5,3
	წყალბადის დაწვით მიღებული ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ენერგია,ჯ/გ	1369	1232	1095	821	1204
	გარე ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ენერგია,ჯ/გ	0	251	502	1004	302,2
	ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ჯამური ენერგია	1369	1483	1597	1825	1506
	უდაბლესი მუშა თბოუნარი, $Q_{უდ}$, ჯ/გ	13351	13237	13123	12895	13214

ცხრილი 41. სიმინდის ნარჩენი ბიომასის (ტაროს)თბური პარამეტრები

ნიმუშის დასახელება	პარამეტრები	გარე ტენი,%				
		0	10	20	40	6,37
სიმინდის ტარო მასა 2.0388 ტენი 6,37	თბოუნარი ყუმბარის მიხედვით, $Q_{ყუმბ}$, ჯ/გ	18510				
	ბრუტო თბოუნარი, $Q_{ბრ}$, ჯ/გ	18447				
	წყალბადის შემცველობა მშრალ მასაში, %, $H^{შრ}$.	6,06				
	წყალბადის შემცველობა მუშა მასაში, %, H^p	6,06	5,45	4,85	3,64	5,67
	წყალბადის დაწვით მიღებული ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ენერგია,ჯ/გ	1369	1232	1095	821	1282
	გარე ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ენერგია,ჯ/გ	0	251	502	1004	159,89
	ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ჯამური ენერგია	1369	1483	1597	1825	1442
	უდაბლესი მუშა თბოუნარი, $Q_{უდ}$, ჯ/გ	17078	16964	16850	16622	17005

ცხრილი 42. ტყემლის ნარჩენი ბიომასის (კურკა) თბური პარამეტრები

ნიმუშის დასახელება	პარამეტრები	გარე ტენი,%				
		0	10	20	40	15,61
ტყემლის კურკა მასა 1.0348 ტენი 15,61	თბოუნარი ყუმბარის მიხედვით, $Q_{ყუმბ}$, ჯ/გ	21767				
	ბრუტო თბოუნარი, $Q_{ბრ}$, ჯ/გ	21705				
	წყალბადის შემცველობა მშრალ მასაში, %, $H^{მშრ}$	6,06				
	წყალბადის შემცველობა მუშა მასაში, %, H^p	6,06	5,45	4,85	3,64	5,11
	წყალბადის დაწვით მიღებული ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ენერგია,ჯ/გ	1369	1232	1095	821	1155
	გარე ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ენერგია,ჯ/გ	0	251	502	1004	391,81
	ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ჯამური ენერგია	1369	1483	1597	1825	1547
	უდაბლესი მუშა თბოუნარი, $Q_{უდ}$, ჯ/გ	20336	20222	20108	19880	20158

ცხრილი 43. ვაშლის ნარჩენი ბიომასის (ქერქი) თბური პარამეტრები

ნიმუშის დასახელება	პარამეტრები	გარე ტენი,%				
		0	10	20	40	12,78
ვაშლის კანი მასა 0.8943 ტენი 12,78	თბოუნარი ყუმბარის მიხედვით, $Q_{ყუმბ}$, ჯ/გ	18287				
	ბრუტო თბოუნარი, $Q_{ბრ}$, ჯ/გ	18224				
	წყალბადის შემცველობა მშრალ მასაში, %, $H^{მშრ}$	6,06				
	წყალბადის შემცველობა მუშა მასაში, %, H^p	6,1	5,5	4,8	3,6	5,3
	წყალბადის დაწვით მიღებული ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ენერგია,ჯ/გ	1369	1232	1095	821	1194
	გარე ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ენერგია,ჯ/გ	0	251	502	1004	320,78
	ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ჯამური ენერგია	1369	1483	1597	1825	1515
	უდაბლესი მუშა თბოუნარი, $Q_{უდ}$, ჯ/გ	16855	16741	16627	16399	16709

ცხრილი 44. ხახვის ნარჩენი ბიომასის (ქერქი) თბური პარამეტრები

ნიმუშის დასახელება	პარამეტრები	გარე ტენი,%				
		0	10	20	40	6,02
ხახვის ქერქი მასა 1.4083 ტენი 6,02	თბოუნარი ყუმბარის მიხედვით, $Q_{ყუმბ}$, ჯ/გ	16392				
	ბრუტო თბოუნარი, $Q_{ბრ}$, ჯ/გ	16329				
	წყალბადის შემცველობა მშრალ მასაში, %, $H^{მშრ}$.	6,06				
	წყალბადის შემცველობა მუშა მასაში, %, H^p	6,1	5,5	4,8	3,6	5,7
	წყალბადის დაწვით მიღებული ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ენერგია,ჯ/გ	1369	1232	1095	821	1287
	გარე ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ენერგია,ჯ/გ	0	251	502	1004	151,1
	ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ჯამური ენერგია	1369	1483	1597	1825	1438
	უდაბლესი მუშა თბოუნარი, $Q_{უდ}$, ჯ/გ	14960	14846	14732	14504	14891

ცხრილი 45. ხორბლის ნარჩენი ბიომასის თბური პარამეტრები

ნიმუშის დასახელება	პარამეტრები	გარე ტენი,%				
		0	10	20	40	7,3
ხორბალი წონა 0.7953 ტენი 7,3	თბოუნარი ყუმბარის მიხედვით, $Q_{ყუმბ}$, ჯ/გ	17585				
	ბრუტო თბოუნარი, $Q_{ბრ}$, ჯ/გ	17522				
	წყალბადის შემცველობა მშრალ მასაში, %, $H^{მშრ}$.	6,06				
	წყალბადის შემცველობა მუშა მასაში, %, H^p	6,06	5,45	4,85	3,64	5,62
	წყალბადის დაწვით მიღებული ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ენერგია,ჯ/გ	1369	1232	1095	821	1269
	გარე ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ენერგია,ჯ/გ	0	251	502	1004	183,23
	ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ჯამური ენერგია	1369	1483	1597	1825	1452
	უდაბლესი მუშა თბოუნარი, $Q_{უდ}$, ჯ/გ	16153	16039	15925	15697	16070

ცხრილი 46. ქერის ნარჩენი ბიომასის თბური პარამეტრები

ნიმუშის დასახელება	პარამეტრები	გარე ტენი,%				
		0	10	20	40	7,1
ქერი წონა 0.8195 ტენი 7.1	თბოუნარი ყუმბარის მიხედვით, $Q_{ყუმბ}$, ჯ/გ	15793				
	ბრუტო თბოუნარი, $Q_{ბრ}$, ჯ/გ	15731				
	წყალბადის შემცველობა მშრალ მასაში, %, $H^{შრ}$.	6,06				
	წყალბადის შემცველობა მუშა მასაში, %, H^p	6,1	5,5	4,8	3,6	5,6
	წყალბადის დაწვით მიღებული ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ენერგია,ჯ/გ	1369	1232	1095	821	1272
	გარე ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ენერგია,ჯ/გ	0	251	502	1004	178,21
	ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ჯამური ენერგია	1369	1483	1597	1825	1450
	უდაბლესი მუშა თბოუნარი, $Q_{უდ}$, ჯ/გ	14362	14248	14134	13906	14281

ცხრილი 47. შვრიის ნარჩენი ბიომასის თბური პარამეტრები

ნიმუშის დასახელება	პარამეტრები	გარე ტენი,%				
		0	10	20	40	5,4
შვრია წონა1.1507 ტენი 5,4	თბოუნარი ყუმბარის მიხედვით, $Q_{ყუმბ}$, ჯ/გ	16789				
	ბრუტო თბოუნარი, $Q_{ბრ}$, ჯ/გ	16726				
	წყალბადის შემცველობა მშრალ მასაში, %, $H^{შრ}$.	6,06				
	წყალბადის შემცველობა მუშა მასაში, %, H^p	6,1	5,5	4,8	3,6	5,7
	წყალბადის დაწვით მიღებული ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ენერგია,ჯ/გ	1369	1232	1095	821	1295
	გარე ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ენერგია,ჯ/გ	0	251	502	1004	135,54
	ტენის აორთქლებაზე დახარჯული ჯამური ენერგია	1369	1483	1597	1825	1431
	უდაბლესი მუშა თბოუნარი, $Q_{უდ}$, ჯ/გ	15357	15243	15129	14901	15295

ცხრილებში მოცემულია სხვადასხვა ალტერნატიული სათბობის: ლობიოს ქერქის, მზესუმზირის ჩენჩოს, სიმინდის ტაროს, ფოთლის და ფუჩქის, ტყემლის კურკის, ვაშლის და ხახვის ქერქის, ყურძნის ჩენჩოს, ხორბლის და ქერის ნარჩენების და ნამჯის ნიმუშების თბოუნარიანობის ექსპერიმენტული მონაცემები სხვადასხვა ფარდობითი ტენიანობის პირობებისათვის.

თბოუნარიანობის ექსპერიმენტული შედეგი, განსაზღვრულია “კალორიმეტრული ყუმბარის” საშუალებით. სათბობის თბოუნარიანობის პირველადი მონაცემი, რომელიც განისაზღვრება კალორიმეტრულ ცდაში წარმოადგენს სათბობის თბოუნარიანობას “კალორიმეტრული ყუმბარის” მიხედვით $Q_{ყუმბ.}$.

სათბობის თბოუნარიანობა “კალორიმეტრული ყუმბარის” მიხედვით არის ერთეული მასის სათბობის მიერ სრული დაწვის დროს გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა კალორიმეტრული ცდის პირობებისათვის: სათბობიდან გამოყოფილ სითბოს რაოდენობას ემატება საფალიე მავთულის დაწვით და ყუმბარაში აზოტმჟავას და გოგირდმჟავას წარმოქმნის ეგზოთერმული რეაქციებით გამოყოფილი სითბო. საფალიე მავთულის დაწვით მიღებული სითბო გათვალისწინებულია კალორიმეტრულ მუდმივაში კალიბრების დროს [41].

კალორიმეტრულ ყუმბარაში მჟავების წარმოქმნის ეგზოთერმული რეაქციების სითბოს $Q_{გზ.}$ გათვალისწინებით მიიღება სათბობის თბოუნარიანობის ბრუტო მნიშვნელობა $Q_{ბრუტო.}$:

$$Q_{ბრუტო.} = Q_{ყუმბ.} - Q_{გზ.} \quad (26)$$

სათბობის დაწვის დროს სითბოს გარკვეული ნაწილი იხარჯება სათბობში არსებული წყალბადის დაჟანგვით მიღებული $9H_2O/100$ კგ წყლის და სათბობში არსებული $W/100$ კგ ტენის აორთქლებაზე. პრაქტიკულად სითბოს მომხმარებელი დანადგარებისათვის ნამუშევარი ნამწვი გაზების ტემპერატურა (120-180°C) აღემატება გაზებში არსებული წლის ორთქლის „ნამის წერილის“ მნიშვნელობას, რის გამოც ტენის ორთქლადქცევაზე

დახარჯული სითბო წარმოადგენს სითბოს დანაკარგებს. კალორიმეტრული ყუმბართ სათბობის თბოუნარიანობის გაზომვის მეთოდის მიხედვით სათბობის დაწვის შედეგად მიღებული წვის პროდუქტები კალორიმეტრულ ყუმბარაში ცივდება დაახლოებით ოთახის ტემპერატურამდე და ადგილი აქვს ყუმბარაში წვის პროცესში მიღებული წყლის ორთქლის კონდენსაციას და შედეგად კალორიმეტრულ ყუმბარაში ორთქლადქცევის ტოლი კონდენსაციის სითბოს დაბრუნებას. ანუ მიიღება ბრუტო თბოუნარიანობა $Q_{ბრუტო}$.

ტექნიკური გაანგარიშებისათვის გამოიყენება ნეტო თბოუნარიანობა $Q_{ნეტო}$, რომელშიც გათვალისწინებულია თბოუნარიანობის შემცირება სათბობში არსებული წყალბადის დაწვით მიღებული ტენის და სათბობში არსებული წყლის აორთქლებაზე დახარჯული სითბოთა რაოდენობები:

$$Q_{ნეტო} = Q_{ბრუტო} - 25,14 * 9H^o/100 - 25,14 * W^o/100 \quad (27)$$

თბოუნარიანობების $Q_{ყუმბ}$, $Q_{ბრუტო}$, $Q_{ნეტო}$. მნიშვნელობები მოცემულია ექსპერიმენტული გამოკვლევების მიხედვით სხვადასხვა ნიმუშებისათვის. ზოგიერთი სათბობის ნიმუში წინასწარ გამოშრა საშრობ კარადაში 105 °C ტემპერატურაზე.

წინამდებარე ნაშრომის მიზანია სხვადასხვა მცენარეული კულტურების ენერგეტიკული პოტენციალის მონაცემების დაზუსტება ნარჩენების თბოუნარიანობის ექსპერიმენტული შესწავლის საფუძველზე.

სიმინდის მოსავლის ძირითადი ნაწილი: სიმინდის მარცვალი, ქოჩორი, ფოთოლი და ღერო გამოიყენება ცხოველების საკვებად, ხოლო ნარჩენი ბიომასა - ტარო, ღერო, შესაძლებელია განხილული იქნას როგორც ენერჯის ალერნატიული წყარო. ასევე ენერჯის ალტერნატიულ წყაროს წარმოადგენს ლობიოს პარკი, მზესუმზირის ნარჩენი ბიომასა და სხვა.

ცხრილი 48. ენერჯის მისაღებად გამოსაყენებელი ბიომასის ენერგეტიკული პოტენციალის (გიგა ჯოულებში) და შესაბამისი ტონა პირობითი სათბობის მნიშვნელობები (ტპს).

კულტურა	სიმინდი	მზესუმზირა	ლობიო	ხორბალი	ქერი	შვრია	სულ	
მოსავალი	378501	23078	11133	181922	51133	4178		
ნარჩენების კოეფიციენტი	1,2	3,7	1,65	1,75	1,5	1,5		
ნარჩ. აღების კოეფიციენტი	7	7	8	8,5	8,5	8,5		
ნარჩენების რაოდენობა	317941	59772	14696	270609	65195	5327		
ბიომასის თბოუნარიანობა	15027	15796	11673	16039	14248	15243		
ენერჯის მისაღებად გამოსაყენებელი ბიომასის რაოდენობა	%	50	70	65	20	20	20	
	ტ	158970	41840	10885	54122	13039	1065	
ბიომასის ენერგეტიკული პოტენციალი	გჯ	2233974	618345	103973	868062	185779	16234	4026367
	ტპს	76159	21080	3545	29593	6333	533	137 243

სიმინდის ტარო, ღერო, შესაძლებელია განხილული იქნას როგორც ენერჯის ალტერნატიული წყარო. ასევე ენერჯის ალტერნატიულ წყაროს წარმოადგენს ლობიოს პარკი , მზესუმზირის ნარჩენი და სხვა.

ცხრილში 48 მოყვანილი მონაცემები შეესაბამება ბიომასის 10 %-ანი ტენიანობის შემთხვევებში ექსპერიმენტულად მიღებულ უდაბლესი მუშა თბოუნარის მნიშვნელობებს.

სიმინდის, ლობიოს, მზესუმზირის, ხორბლის, ქერისა და შვრიის ნარჩენი ბიომასის ჯამურმა ენერგეტიკულმა პოტენციალმა შეადგინა 4026367გჯოუი, რაც ექვივალენტურია 137243 ტონა პირობითი სათბობის.

მცენარეული ნარჩენი ბიომასის გამოყენება ალტერნატიულ სათბობად შეშის ღუმელებში მერქნის დაზოგვით ხელს შეუწყობს ხე-ტყის ნამატის გაზრდას, შეასუსტებს ტყის გაკაფვის რისკებს და ხელს შეუწყობს ეკოსისტემის გაჯანსაღებას.

ნარჩენი ბიომასის ენერგეტიკული პოტენციალის შეფასებისათვის საჭიროა ქვეყნის მასშტაბით მცენარეული კულტურების ყოველწლიური

საშუალო მოსავლიანობის შესახებ სტატისტიკური მონაცემების საფუძველზე ნარჩენების განსაზღვრა და ნაშრომში მიღებული მცენარეული ნარჩენი ბიომასის ნეტო თბოუნარიანობების სიდიდეების ბაზაზე ენერგეტიკული პოტენციალის და პირობითი სათბობის დაზოგვის პროგნოზული მაჩვენებლების განსაზღვრა.

დასკვნა

1. მცენარეული ნარჩენი ბიომასის თბოუნარიანობის ექსპერიმენტული კვლევისათვის შერჩეულია იზოთერმული კალორიმეტრული „ყუმბარის“ მეთოდი და კალორიმეტრი XRY-1C, რაც დასმული ამოცანის გადაწყვეტის ოპტიმალურ ვარიანტს წარმოადგენს;
2. ჩატარებულია კალორიმეტრიული სისტემის კალიბრება სანიმუშო ნივთიერების - მაღალი სისუფთავის ბენზონის მჟავის გამოყენებით, რაც ექსპერიმენტული შედეგების მოთხოვნილი სიზუსტის (1-3% ცდომილება) მიღების ერთ-ერთ გარანტიას წარმოადგენს;
3. განხილულია მცენარეული ნარჩენი ბიომასის სათბობად გამოყენებისათვის ბიომასის ბრიკეტირების მეთოდი, რაც უზრუნველყოფს სათბობის იაფ ტრანსპორტირებას, დასაწვავად მოხერხებულობას და წვის პროცესის ეფექტურად წარმართვას;
4. შემუშავებულია კალორიმეტრის გარე თბოცვლაზე ტემპერატურების შესწორების განსაზღვრის გრაფო-ანალიზური მეთოდიკა, რაც ექსპერიმენტის მონაცემებში გათვალისწინებით შედეგებში სისტემატიური ხასიათის ცდომილებების მინიმუმამდე შემცირებას უზრუნველყოფს;
5. ექსპერიმენტულად გამოკვლეულია მარცვლოვანი კულტურების (ხორბალი, ქერი) თბოუნარიანობა;
6. ექსპერიმენტულად გამოკვლეულია კურკოვან კულტურათა (ვაშლის, ჭაჭა-ყურძნის ჩენჩო, ტყემლის კურკა) თბოუნარიანობა;
7. ექსპერიმენტულად გამოკვლეულია ბოსტნეულ კულტურების (ლო-ბიო, ხახვის ქერქი) თბოუნარიანობა;
8. ექსპერიმენტულად გამოკვლეულია ღეროვან კულტურების (მზესუმზირა, სიმინდი) თბოუნარიანობა;
9. ჩატარებული ექსპერიმენტების საფუძველზე შეფასებულია სხვადასხვა მცენარეული ნარჩენი ბიომასის (სიმინდი, მზესუმზირა,

ხორბალი, ქერი, შვრია, ლობიო) ჯამური ენერგეტიკული
პოტენციალი-4026367გჯ, და მიღებულია პირობითი სათბობის
დაზოგვის პროგნოზული მაჩვენებელი-137278 ტპს.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. კილურაძე ო. საინჟინრო თბური დიაგნოსტიკა. თბილისი: სტუ, 2019, 139 გვ.
2. Равич М. Б. Топливо и эффективность его использования. москва: "наука", 1971.
3. ყიფშიძე მ., ჯიშკარიანი თ., არაბიძე გ., ახალაია გ. საქვაბე დანადგარები. თბილისი: „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2000, 391 გვ.
4. BP: მსოფლიოში ნავთობის 53 წლის მარაგი დარჩა. <http://tbl.ge/edo>. ბოლოს შემოწმებულ იქნა 18.12.19.
5. ნავთობის მოპოვება და გადამუშავება საქართველოში. <https://forbes.ge/news/3448/navTobis-mopoveba-saqarTveloSi>. ბოლოს შემოწმებულ იქნა 18.12.19
6. ლომინაძე შ., ჯიშკარიანი თ., ყიფშიძე მ., სათბობის ტექნიკური ანალიზი და ორთქლგენერატორების საექსპლუატაციო გამოცდა. თბილისი: „სპი“, 1979.
7. ჯიშკარიანი თ., არაბიძე გ., ყიფშიძე მ., სათბობი და წვის თეორია. თბილისი: „სპი“, 1988.
8. Winrock international/USAID. ენერგეტიკის განვითარება სოფლად. საქართველო, 2007.
9. საქართველოს ენერგოეფექტურობის ცენტრი. ბიოგაზი საოჯახო მეურნეობაში. თბილისი, 2007.
10. საქართველოს სახელმწიფო პოლიტიკა ენერჯის განახლებადი წყაროების განვითარების მიმართულებით <https://www.transparency.ge/sites/default/files/Renewables%20potential-Geo.pdf>. ბოლოს შემოწმებულ იქნა 18.12.19
11. ჩიქოვანი ე. საქართველოს ბუნებრივი რესურსები და გარემოს დაცვა. სტატისტიკური კრებული. თბილისი: საქართველოს სტატისტიკის სახელმწიფო დეპარტამენტი, 2002, 138 გვ.
12. მაღნარაძე ვ. საქართველოს სოფლის მეურნეობა. სტატისტიკური კრებული 2006. თბილისი: საქართველოს ეკონომიკური განვითარების სამინისტრო, სტატისტიკის სახელმწიფო დეპარტამენტი. 2007, 113 გვ.

13. Соуфера С., Заборски О. Биомасса как источник энерги. Москва: Мир, 1985, 368 с.
14. არაბიძე გ., არაბიძე ქ., ზარანდია შ., კილურაძე ო., მიქიაშვილი თ. ნარჩენი ბიომასის ენერგეტიკული პოტენციალი საქართველოში (კადასტრი).თბილისი: სტუ, 2013.
15. საქართველოს მერქნული ენერგეტიკული რესურსების პოტენციალი და მისი ეფექტიანი გამოყენება. თბილისი, 2010.
16. ჯიშკარიანი თ., ლომინაძე შ., ყიფშიძე მ. სათბობის ტექნიკური ანალიზი და ორთქლგენერატორების საექსპლუატაციო გამოცდა. თბილისი: სპი, 1979.
17. ყიფშიძე მ., ჯიშკარიანი თ. სათბობის წვის თეორია და საქვაბე დანადგარები. I I I ნაწ. თბილისი: სტუ, 1998.
18. ყიფშიძე მ., ჯიშკარიანი თ. სათბობის წვის თეორია და საქვაბე დანადგარები. I I ნაწ. თბილისი: სტუ, 1997.
19. ყიფშიძე მ., ჯიშკარიანი თ., სათბობის წვის თეორია და საქვაბე დანადგარები. I ნაწ. თბილისი: სტუ, 1997.
20. Попов М. М. Термометрия и калориметрия. Москва: МГУ, 1954, 942 с.
21. ყიფშიძე მ., ჯიშკარიანი თ., არაბიძე გ., ახალაია გ. საქვაბე დანადგარები. თბილისი: "ტექნიკური უნივერსიტეტი", 2000, 391 გვ.
22. Deac T., Ros V., Mariasiu F., M. F. „THE INFLUENCE OF THE SAWDUST BRIQUETTES GEOMETRIC.“ Agricultural Science, 2011, vol(1), N43, pp.306-310.
23. Smits M., Kronbergs E., Repsa E. „EVALUATION OF BIOMASS COMPACTING MECHANISMS.“ Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference, 2012, Vol 1, Jelgava.
24. KRIŽAN P., ŠOOŠ L., MATUŠ M. „OPTIMALISATION OF BRIQUETTING MACHINE PRESSING CHAMBER GEOMETRY.“ Bratislava: Machine Design, 2011.
25. Tumuluru J. S., Wright C. T., Kenny K. L. Hess J. R. A Review on Biomass Densification Technologies for Energy Application. Idaho: U.S. Department of Energy, 2010, p. 85.

26. Repsa E., Kronbergs E., Smits M. „BRIQUETTING MECHANISM ANALYSIS FOR SOLID BIOFUEL“. Briquetting mechanism analysis for solid biofuel production, Jelgava, 2011.
27. Parikka M. „Resources, Global biomass fuel“. Biomass and Bioenergy, 2004, N27, Vol 6, pp. 613-620.
28. Левашова А. И., Маслов С. Г. Технический анализ твердых горючих ископаемых. Томск: ТПУ, 2015, 23с.
29. Равич М. Б. Топлива и эффективность его использования. Москва: „Наука“, 1971, 358 с.
30. ჯაფარიძე ო., ბერიძე გ., კილურაძე ო. მცენარეული ნარჩენი ბიომასის ენერგეტიკული პოტენციალი. „ენერჯია“, 2018, №1(85), გვ. 65-70.
31. ჯაფარიძე ო., კილურაძე ო., ბერიძე გ. ალტერნატიული სათბობი. „ენერჯია“, 2018, №1(85), გვ. 62-64.
32. Rossini F. D. Experimental thermochemistry. New York: Int. Publ, Vol 1, 1956.
33. Микина В. Д. Исследования в области тепловых и температурных измерений. 1962, N63, pp. 123-134.
34. Шураков А. Н. Испытание теплотворной способности топлива методом сжигания его в сжатом кислороде. Ленинерад: химико-техническое издательство, 1928, 263 с.
35. Wichers E. Schwab F. Preparation of benzoic acid high purity. Research of the National Bureau of Standards. 1940, Vol 25, N 33, 747 p.
36. Jessup R. S., Green C. B. Heat of combustion of standard sample benzoic acid. National Bureau of Standard. 1934, Vol 1, N213, 469 p.
37. ჯაფარიძე ო. კილურაძე ო. თბოუნარიანობის საზომი კალორიმეტრის თბური ეკვივალენტის განსაზღვრა. სტუ-ის სტუდენტთა 86-ე საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, თბილისი, 2018.
38. ჩხიკვაძე ქ. სათბობის თბოუნარიანობის საკვლევი ხელსაწყოთა თბური ეკვივალენტის განსაზღვრა. სტუ-ის შრომები, 2014, N494, ტომი 4, გვ. 19-22.
39. ჩხიკვაძე ქ., კილურაძე ო., ჩხიკვაძე თ. თხევადი და მყარი სათბობის

თბოუნარიანობის საზომი ხელსაწყო გამოკვლევა. სტუ-ის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული, 2014, N18, გვ. 111-115.

40. Олейник Б.Н., Точная калориметрия. М.: Из-во стандартов, 1973, 207 с.

41. ჯაფარიძე ო., კილურაძე ო. მცენარეული ნარჩენი ბიომასის თბური გამოკვლევა. „ენერჯია“, 2019, №3(91), გვ. 132-135.