

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ხათუნა სიჭინავა

საქართველოს რეგიონების საჯარო სკოლებში
ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების ფართომასშტაბიანი
დანერგვის ენერგოეკონომიკური დასაბუთება

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2015 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის
თბო- და ჰიდროენერგეტიკული დანადგარების დეპარტამენტის
თბოენერგეტიკული დანადგარების სასწავლო-სამეცნიერო მიმართულებაზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფ. თენგიზ ჯიშკარიანი

რეცენზენტები: პროფ. ნ.ქეცხიშვილი

პროფ. თ.კანდელაკი

დაცვა შედგება 2015 წლის "--10----" ივნისს, ---12-00----- საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის

ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის

სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე,

კორპუსი VIII, აუდიტორია №123

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა – სტუ-ს ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი -----

სამუშაოს ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალურობა. საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტროს მიერ განხორციელებული არაერთი ღონისძიების მიუხედავად, ზამთრის სეზონისათვის მზადება და საჯარო სკოლების თბომომარაგება კვლავ აქტუალურ პრობლემად რჩება. ეს განსაკუთრებით ეხება მცირეკონტიგენტიან საჯარო სკოლებს საქართველოს რეგიონებში, რომელთა აბსოლუტური უმრავლესობა დეფიციტურია და საშემე მერქნის შესაძენ თანხას სამინისტროდან ღებულობს.

სტატისტიკური მონაცემების თანახმად საქართველოს რეგიონებში საჯარო სკოლების გასათბობად ყოველწლიურად გამოყენებული საშემე მერქნის რაოდენობა და მის შესაძენად გამოყოფილი თანხები საკმაოდ სოლიდურია (სულ მცირე 40-45 ათასი მ³ საშემე მერქანი და არანაკლებ 4-4,5 მლნ ლარი), რაც მძიმე ტვირთად აწევს როგორც განათლებისა და მეცნიერების სამინისტროს, ისე ადგილობრივ საგანმანათლებლო რესურსცენტრებსა და უშუალოდ საჯარო სკოლებს.

საჯარო სკოლების გათბობასთან (ზამთრის სეზონის მზადებასთან) დაკავშირებული პრობლემების გადასაჭრელად საჭიროა, ერთი მხრივ, თითოეული სკოლისათვის ლიმიტის ფარგლებში შეძენილი საშემე მერქნის არსებული მარაგების ეფექტურად გამოყენება და ამ გზით მისი მოხმარების მასშტაბების შემცირება, ხოლო მეორე მხრივ საშემე მერქნის ჩანაცვლება ალტერნატიული ბუნებრივი რესურსებითა და ენერგოეფექტური ტექნოლოგიებით.

ლიმიტის ფარგლებში შეძენილი საშემე მერქნის მარაგების ეფექტურად გამოყენება უშუალოდ არის დაკავშირებული მის ტენშემცველობაზე, მისი წვის პროცესის სრულყოფაზე და საჯარო სკოლის შენობების შემომზღუდი კონსტრუქციების ტექნიკურ მდგომარეობაზე. საშემე მერქნის წინასწარი შემოღობით, თანამედროვე ტექნიკით აღჭურვილი საშემე ღუმელების გამოყენებით და სკოლის შენობების დათბუნებით, შესაძლებელია საჯარო სკოლებში მოხმარებული საშემე მერქნის ხარჯის 3-4-ჯერ შემცირება.

ორგანული სათბობის ერთ-ერთ ალტერნატიულ სახეს წარმოადგენს ნარჩენი ბიომასა, რომელიც განიხილება, როგორც ყოველწლიურად განახლებული ენერჯის წყარო. ნარჩენი ბიომასის ტერმინის ქვეშ იგულისხმება მცენარეული და ცხოველური წარმოშობის ორგანული ნივთიერებების ერთობლიობა, კერძოდ: მცენარეული წარმოშობის ნარჩენებს მიეკუთვნება ხეტყის ნარჩენი ბიომასა (სატყეო მეურნეობის ექსპლუატაციისა და ხეტყის ინდუსტრიის ნარჩენები) და სოფლის მეურნეობის მოსავლისა და აგროგადამამუშავებელი ინდუსტრიის ნარჩენები (ნამჯა, სიმინდის ტაროს ნაჭურჩი, მზესუმზირის ჩენჩო, თხილის ნაჭუჭი და სხვა), ხოლო ცხოველურ

ნარჩებებს მიეკუთვნება მსხვილფეხა რქოსანი საქონლის, ღორის, ცხვრის, თხისა და ქათმის ნაკელი და ექსკრემენტი.

ნარჩენ ბიომასას გააჩნია უპირატესობების მთელი რიგი: ენერჯის განახლებადი წყაროა და ამიტომ აუმოწურავია; გავრცელებულია ქვეყნის თითქმის მთელ ტერიტორიაზე; წიაღისეულ სათბობთან შედარებით იაფია; შესაძლებელია მისი პირდაპირი გამოყენება; შესაძლებელია მისგან ბრიკეტებისა და პელეტების დამზადება; მნიშვნელოვნად ამცირებს სათბური გაზების ემისიას.

აქედან გამომდინარე, საქართველოს რეგიონების საჯარო სკოლებში ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების ფართომასშტაბიანი დანერგვის მიზნით შესასაწავლია საჯარო სკოლების თბომომარაგების პრობლემები და დასადგენია საჯარო სკოლებში საშემე მერქნის მოხმარების მასშტაბები, საშემე მერქნის ენერგეტიკული პოტენციალი და სკოლის შენობების შემომზღუდი კონსტრუქციების ტექნიკური მდგომარეობა; შესარჩევია სკოლის შენობების ენერგოაუდიტის ოპტიმალური მეთოდები და საშუალებები, ჩასატარებელია დეტალური ენერგოაუდიტები და დასაგეგმია ენერგომომარაგების ბიუჯეტი რეგიონების საჯარო სკოლებში, ენერგეტიკული გაანგარიშებებისათვის შესაძლებელია ნორვეგიული საკონსულტაციო კომპანიის Energy Saving International (ENSI) პროგრამული უზრუნველყოფის „საკვანძო რიცხვების“ გამოყენება; დასადგენია ნარჩენი ბიომასის ენერგეტიკული პოტენციალის გამოყენების შესაძლებლობა საქართველოს რეგიონების საჯარო სკოლების თბომომარაგებისათვის, შესარჩევია ნარჩენი ბიომასის წვის ოპტიმალური ტექნოლოგიები, დასადგენია საქართველოს რეგიონებში ნარჩენი ბიომასის ბრიკეტების წარმოებისა და საჯარო სკოლების თბომომარაგების სისტემებში მათი გამოყენების რენტაბელობის პარამეტრები

კვლევის მიზანი

კვლევის მიზანია საქართველოს რეგიონების საჯარო სკოლებში ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების ფართომასშტაბიანი დანერგვის ენერგოეკონომიკური დასაბუთება.

კვლევის ძირითადი ამოცანები

- საქართველოს რეგიონების საჯარო სკოლების თბომომარაგების პრობლემების შესწავლა;
- საქართველოს რეგიონების საჯარო სკოლებში საშემე მერქნის მოხმარების სტატისტიკური მონაცემების შეგროვება;
- საშემე მერქნის ენერგეტიკული პოტენციალისა და საქართველოში არსებული საყოფაცხოვრები შეშის ღუმელების ტექნიკური მახასიათებლების დადგენა;
- საქართველოს რეგიონების საჯარო სკოლის შენობების შემომზღუდი კონსტრუქციების ტექნიკური მდგომარეობის განსაზღვრა;

- საქართველოს რეგიონების საჯარო სკოლის შენობების ენერგოაუდიტის ოპტიმალური მეთოდებისა და საშუალებების შერჩევა;
- საქართველოს რეგიონების საჯარო სკოლებში დეტალური ენერგოაუდიტების განხორციელება და ენერგომომხმარებლის ბიუჯეტის დაგეგმვა;
- ენერგეტიკული გაანგარიშებებისათვის ნორვეგიული საკონსულტაციო კომპანიის Energy Saving International (ENSI) პროგრამული უზრუნველყოფის „საკვანძო რიცხვების“ გამოყენება;
- ნარჩენი ბიომასის ენერგეტიკული პოტენციალის ეფექტურად გამოყენების შესაძლებლობის დადგენა საქართველოს რეგიონების საჯარო სკოლების თბომომარაგებისათვის;
- ნარჩენი ბიომასის წვის ოპტიმალური ტექნოლოგიების შერჩევა;
- ნარჩენი ბიომასის ბრიკეტების დამამზადებელი ტექნოლოგიური ხაზის შერჩევა საქართველოს პირობებისათვის;
- საქართველოს რეგიონებში ნარჩენი ბიომასის ბრიკეტების წარმოების რენტაბელობის პარამეტრების განსაზღვრა;
- ნარჩენი ბიომასის ბრიკეტების გამოყენების რენტაბელობის პარამეტრების განსაზღვრა საქართველოს რეგიონების საჯარო სკოლების თბომომარაგების სისტემებში

ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე

გაანალიზებულია საქართველოს რეგიონების საჯარო სკოლების თბომომარაგების დღევანდელი პრობლემები, შესწავლილია საჯარო სკოლების ენერგეტიკული მოთხოვნილებები და განსაზღვრულია საშემე მერქნის წლიური ხარჯი თითოეული სკოლისათვის;

შეფასებულია საშემე მერქნის ენერგეტიკული პოტენციალი. გაკეთებულია დასკვნა, რომ მისი მაქსიმალურად გამოყენების შემთხვევაში მნიშვნელოვნად შემცირდება მოთხოვნილება საშემე მერქანზე;

შესწავლილია საჯარო სკოლებში გამოყენებული საყოფაცხოვრები შეშის ღუმელების ტექნიკური მდგომარეობა. დადგენილია, რომ მათი მაქსიმალური უმეტესობა დაბალი ენერგოეფექტურობით ხასიათდება;

შესწავლილია საჯარო სკოლის შენობების შემომზღვევი კონსტრუქციების ტექნიკურ მდგომარეობა. დადგენილია, რომ მიუხედავად გარკვეული მასშტაბის სარეტავრაციო სამუშაოების ჩატარებისა, სკოლის შენობების ტექნიკური მდგომარეობა მეტ ყურადღებას მოითხოვს;

დადგენილია, რომ საშემე მერქნის წინასწარი შეშრობით, თანამედროვე ტექნიკით აღჭურვილი საშემე ღუმელების გამოყენებით და სკოლის შენობების დათბუნებით, შესაძლებელია საჯარო სკოლებში მოხმარებული საშემე მერქნის ხარჯის 3-4-ჯერ შემცირება.

შერჩეულია საჯარო სკოლის შენობების ენერგოაუდიტის ოპტიმალური მეთოდები და საშუალებები, ჩატარებულია დეტალური ენერგოაუდიტები და

დაგეგმილია ენერგომომხმარების ბიუჯეტი რეგიონების საჯარო სკოლებში, ენერგეტიკული გაანგარიშებებისათვის გამოყენებულია ნორვეგიული საკონსულტაციო კომპანიის „Energy Saving International“ (ENSI) პროგრამული უზრუნველყოფის „საკვანძო რიცხვები“;

დადგენილია ნარჩენი ბიომასის ენერგეტიკული პოტენციალის გამოყენების შესაძლებლობა საქართველოს რეგიონების საჯარო სკოლების თბომომარაგებისათვის, შერჩეულია ნარჩენი ბიომასისი წვის ოპტიმალური ტექნოლოგიები;

განსაზღვრულია საქართველოს რეგიონებში ნარჩენი ბიომასის ბრიკეტების წარმოებისა და საჯარო სკოლების თბომომარაგების სისტემებში მათი გამოყენების რენტაბელობის პარამეტრები;

დადგენილია, რომ საქართველოს რეგიონების საჯარო სკოლებში ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების ფართომასშტაბიანი დანერგვა მნიშვნელოვნად შეამცირებს მოთხოვნილებას ხეტყის რესურსებზე.

ნაშრომის აპრობაცია

ნაშრომის ძირითადი დებულებები და შედეგები მოხსენების სახით წაკითხულ იქნა შემდეგ სემინარებზე, სესიებზე და სამეცნიერო-ტენიკური კონფერენციებზე: მე-2 საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“(ქუთაისი 2013 წ): ვახტანგ გომელაურისა და არჩილ ელიაშვილის ხსოვნისადმი მიძღვნილი საიუბილეო სესია „ენერგეტიკა და მართვის პროცესები“ (თბილისი, 2014 წ.); ევროკომისიის მერთა შეთანხმების ოფისის მიერ ჩატარებულ კონფერენციებზე გაკეთებული მოხსენებები: „BEI მეთოდოლოგიის მიმოხილვა“, ქ.ლვოვი, 19 ოქტომბერი, 2013; „განვითარების პროცესი, ნაბიჯი 2020 წლისთვის 20% ით მიზნის მისაღწევად“, ქ. კიევი, 19 ოქტომბერი, 2013; მწვანე ალტერნატივის მიერ ჩატარებული საერთაშორისო კონფერენცია , „საქართველოს გამოცდილება ენერგოეფექტურობასა და ენერგოდაზოგვაში“, ქ.თბილისი, 27 მაისი, 2014; GIZ მიერ ჩატარებული კონფერენციები: კვლევა საქართველოს საამშენებლო სექტორში, „პასიური სახლის სტანდარტები“ ქ.თბილისი, 27 აპრილი, 2015; „კვალიფიკაციის მოთხოვნა სამრეწველო სექტორში“, ქ.მიუნხენი, 19 მაისი. 2015

ნაშრომის პუბლიკაცია

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი მასალები გამოქვეყნებულია სამ სამეცნიერო სტატიაში.

ნაშრომის მოცულობა და სტრუქტურა.

ნაშრომის ტექსტი შედგება შესავლის, 6 თავისა და 34 დასახელების გამოყენებული ლიტერატურის ჩამონათვალისაგან. ნაშრომი მოცულობა შეადგენს 120 გვერდს ცხრილებისა და ნახაზების ჩათვლით.

სამუშაოს მოკლე შინაარსი

თავი 1. საქართველოს რეგიონებში საჯარო სკოლების თბომომარაგების პრობლემები და მათი გადაჭრის გზები

ნაშრომის პირველი თავი ეძღვნება საქართველოს რეგიონების საჯარო სკოლებში საშემე მერქანზე მოთხოვნილების შეფასებას, საშემე მერქნის ენერგეტიკული პოტენციალისა და ძირითადი თბოტექნიკური მახასიათებლების განსაზღვრას, საყოფაცხოვრებო შეშის ღუმელების ენერგოეფექტურობის დადგენას.

საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტროს მიერ განხორციელებული არაერთი ღონისძიების მიუხედავად, ზამთრის სეზონისათვის მზადება და საჯარო სკოლების გათბობა კვლავ აქტუალურ პრობლემად რჩება. ეს განსაკუთრებით ეხება მცირეკონტიგენტის საჯარო სკოლებს საქართველოს რეგიონებში, რომელთა აბსოლუტური უმრავლესობა დეფიციტურია და საშემე მერქნის შესაძენ თანხას სამინისტროდან ღებულობს.

სტატისტიკური მონაცემების ანალიზიდან ჩანს, რომ საქართველოს რეგიონებში საჯარო სკოლების გასათბობად ყოველწლიურად გამოყენებული საშემე მერქნის რაოდენობა და მის შესაძენად გამოყოფილი თანხები საკმაოდ სოლიდურია (სულ მცირე 40-45 ათასი მ³ საშემე მერქანი და არანაკლებ 4-4,5 მლნ ლარი), რაც მძიმე ტვირთად აწევს როგორც განათლებისა და მეცნიერების სამინისტროს, ისე ადგილობრივ საგანმანათლებლო რესურსცენტრებსა და უშუალოდ საჯარო სკოლებს.

საქართველოს რეგიონების საჯარო სკოლების გათბობასთან (ზამთრის სეზონის მზადებასთან) დაკავშირებული პრობლემების გადასაჭრელად საჭიროა, ერთი მხრივ, თითოეული სკოლისათვის ლიმიტის ფარგლებში შეძენილი საშემე მერქნის არსებული მარაგების

ეფექტურად გამოყენება და ამ გზით მისი მოხმარების მასშტაბების შემცირება, ხოლო მეორე მხრივ მისი ჩანაცვლება განახლებადი ბუნებრივი რესურსებითა და ენერგოეფექტური ტექნოლოგიებით.

საჯარო სკოლებში საშემე მერქნის ეფექტურად გამოყენებას საფუძვლად დაედოს მისი ენერგეტიკული პოტენციალის, წვის პროცესის სრულყოფის შესაძლებლობისა და სკოლის შენობის შემომზადებული კონსტრუქციების ტექნიკური მდგომარეობის შესწავლა.

საშემე მერქნის თბოუნარიანობაზე გადამწყვეტ გავლენას ახდენს მისი ტენშემცველობა. მერქნის თბოუნარიანობის გადაანგარიშება ტენიანობის ერთი მნიშვნელობიდან (W_1) სხვა ტენიანობის (W_2) მქონე იმავე მასის თბოუნარიანობაზე შესაძლებელია ფორმულით:

$$Q_2 = (Q_1 + 25,1 * W_1) * [(100 - W_2) / (100 - W_1)] - 25,1 * W_2, \quad (1)$$

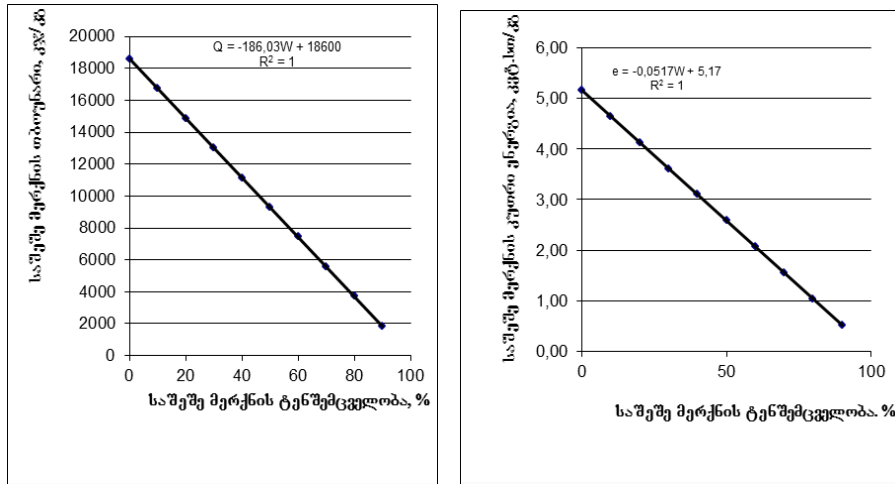
სადაც Q_1 საშემე მერქნის თბოუნარიანობაა W_1 ტენშემცველობის დროს, კჯ/კგ.

რადგან აბსოლუტურად გამომშრალი საშემე მერქნისათვის $Q_1 = 18600$ კჯ/კგ და $W_1 = 0$, მარტივი გარდაქმნების შედეგად მივიღებთ სხვადასხვა ტენშემცველობის მქონე საშემე მერქნის თბოუნარიანობის გამოსათვლელ გამოსახულებას:

$$Q^w = 18600 - 211 * W \quad (2)$$

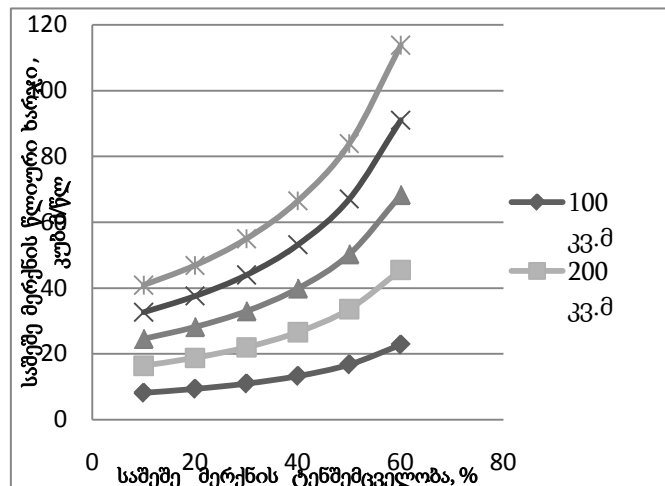
სადაც Q^w საშემე მერქნის თბოუნარიანობაა წინასწარ განსაზღვრული W ტენშემცველობის დროს (საშემე მერქნის ტენშემცველობის განსაზღვრა შესაძლებელია საანალიზოდ აღებული მერქნის ნიმუშის გამოშრობით საშრობ კარადაში, მყარი სათბობის ტენიანობის განსაზღვრის ცნობილი მეთოდის მიხედვით).

საშეშე მერქნის ენერგეტიკული პოტენციალის დამოკიდებულება მის ტენშემცველობაზე მოცემულია ნახ. 1-ზე.



ნახ. 1. საშეშე მერქნის ენერგეტიკული პოტენციალის დამოკიდებულება მის ტენშემცველობაზე

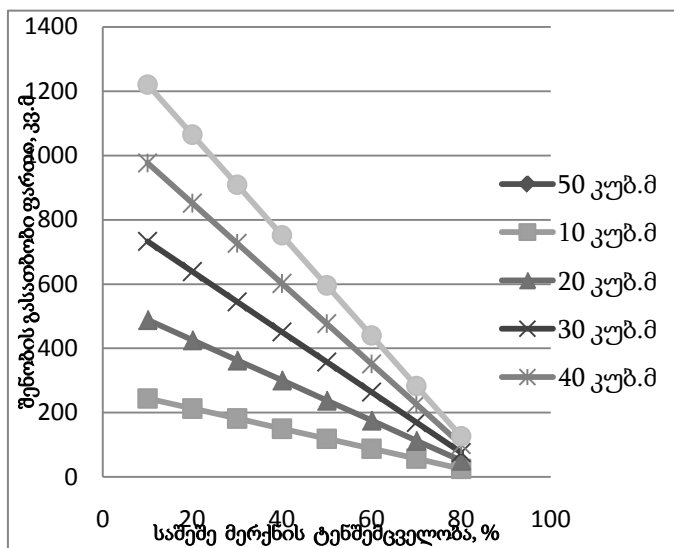
როგორც ნახ. 1-დან ჩანს, საშუალოდ, ყოველ 10% ტენიანობაზე თბოუნარიანობა მცირდება დაახლოებით 2100 კჯ/კგ-ით. ამიტომ, ახლადმოჭრილი საშეშე მერქნის თბოუნარიანობა, მისი მაღალი ტენშემცველობის (55-60%) გამო, 5934 კჯ/კგ-მდე ეცემა. შესაბამისად, მცირდება კუთრი ენერგიაც (1,65 კვტ.სთ/კგ-მდე) რაც მისი ხარჯის გაზრდასაც იწვევს. საშეშე მერქნის წლიური ხარჯის დამოკიდებულება მის ტენშემცველობაზე მოცემულია ნახ. 2-ზე.



ნახ. 2. საშეშე მერქნის წლიური ხარჯის დამოკიდებულება მის ტენშემცველობაზე

ნახ. 2-ზე მოცემული გრაფიკიდან ჩანს, რომ სკოლის შენობის ერთი და იმავე ფართის გასათბობად 60% ტენშემცველობის მქონე საშეშე მერქნის ხარჯი თითქმის 3-ჯერ აღემატება 10% ტენშემცველობის მქონე საშეშე მერქნის ხარჯს. მაგალითად, სასკოლო შენობის 500 მ² ფართის გათბობა, ერთნაირ პირობებში, შესაძლებელია როგორც 60% ტენშემცველობის მქონე 114-115 მ³ საშეშე მერქნით, ისე 10% ტენშემცველობის მქონე 40-41 მ³ საშეშე მერქნითაც.

თავის მხრივ, საშეშე მერქნის ტენშემცველობაზეა დამოკიდებული სასკოლო შენობის გასათბობი ფართიც. მაგალითად, გათბობის სეზონში მოხმარებული 50 მ³ 10%-იანი ტენშემცველობის საშეშე მერქნით შესაძლებელია სასკოლო შენობის 1200 მ² ფართის გათბობა, მაშინ როდესაც 60% ტენშემცველობის მქონე საშეშე მერქნით მხოლოდ 440 მ² ფართის გათბობაა შესაძლებელი (ნახ.3).

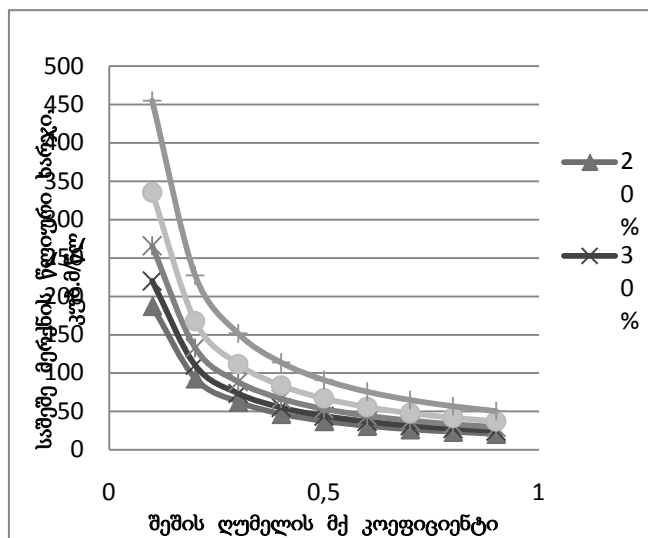


ნახ.3. შენობის გასათბობი ფართის დამოკიდებულება საშეშე მერქნის ტენშემცველობაზე

მეორე მნიშვნელოვანი ფაქტორი, რომელიც გადამწყვეტ გავლენას ახდენს საშეშე მერქნის ხარჯზე, მისი წვის პროცესის სრულყოფაა.

ცნობილია, რომ საჯარო სკოლებში არსებული შეშის ღუმელების უმეტესობა დაბალეფექტურია და მათი სავარაუდო ეფექტურობა 30-40%-ს არ აღემატება. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ მერქნის ენერგეტიკული პოტენციალის (მაგალითად, 18600 კჯ/კგ) მხოლოდ მესამედის (საშუალოდ 6500 კჯ/კგ) გამოყენებაა შესაძლებელი სასარგებლოდ.

ნახ.4-ზე ნაჩვენებია საშეშე მერქნის წლიური ხარჯის დამოკიდებულება შეშის ღუმელის მქ კოეფიციენტზე. როგორც გრაფიკიდან ჩანს, ღუმელების ენერგოეფექტურობის გაზრდა მნიშვნელოვნად ზრდის საშეშე მერქნის ენერგეტიკული პოტენციალის გამოყენების შესაძლებლობას და შესაბამისად, მნიშვნელოვნად შეამცირებს მასზე მოთხოვნილებას საჯაროს კოლებში.



ნახ. 4. საშეშე მერქნის წლიური ხარჯის დამოკიდებულება შეშის ღუმელის მქ კოეფიციენტზე

საშეშე მერქნის ხარჯზე გადამწყვეტ გავლენას ახდენს, აგრეთვე, სკოლის შენობის შემომზღუდი კონსტრუქციების (კედლები, სახურავი, იატაკი, ფანჯრები) ტექნიკური მდგომარეობა. გარე კედლების დაბალი თერმული წინაღობა, სხვენიანი გადახურვების დამატბუნებელი შრის არარსებობა ან არასაკმარისი სისქე, ერთმაგი შემინვა, ფანჯრის ჩარჩოებსა და სარდაფის თავზე ან მიწისპირზე მოწყობილ იატაკებზე არსებული

ღრეჩოები, განაპირობებს სკოლის შენობათა თბურ დაუცველობას და, შესაბამისად, მათი ენერგომომხმარებისა და საშეშე მერქნის ხარჯის გაზრდას 30-50%-ით.

ზემოთ აღნიშნული სამივე ფაქტორის (მერქნის ენერგეტიკული პოტენციალი, საშეშე ღუმელის მქ კოეფიციენტი და სკოლის შენობის შემომზღუდი კონსტრუქციების ტექნიკური მდგომარეობა) გათვალისწინებით, საჯარო სკოლებში საშეშე მერქნის წლიური ხარჯის გამოსათვლელად შეიძლება გამოვიყენოთ გამოსახულება:

$$B = (3600 * N_{შენ} * \tau_1 * \tau_2) / (Q_w * \xi_{შ.ღ} * \rho_{ს.გ}), \quad (3)$$

სადაც $N_{შენ}$ სკოლის შენობის ენერგომომხმარებაა, კვტ; τ_1 –სკოლის შენობის გათბობის სეზონის ხანგრძლივობა, დღე/წლ; τ_2 – ყოველდღიური სამუშაო საათები, სთ/დღე; Q_w –საშეშე მერქნის თბოუნარიანობა წინასწარ განსაზღვრული W ტენშემცველობის დროს, კვ/კგ; $\xi_{შ.ღ}$ –შეშის ღუმელის მქ კოეფიციენტი; $\rho_{ს.გ}$ –საშეშე მერქნის სიმკვრივე, კგ/მ³.

თავი 2. შენობის ენერგოაუდიტის ოპტიმალური მეთოდები და საშუალებები

შენობების სექტორში (მათ შორის საჯარო სკოლის შენობების) ენერგორესურსების დაზოგვის შეფასებისა და შენობათა თბოტექნიკური მახასიათებლები გაანგარიშების დროს განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა ენერგოაუდიტის ჩატარებას ენერგომომხმარებელთან. სწორედ მისი შედეგების საფუძველზე ისაზღვრება ენერგომომხმარების მიმდინარე მდგომარეობა, ენერგოდაზოგვის სხვადასხვა ღონისძიებები, ამ ღონისძიებების რეალიზაციისათვის საჭირო ტექნიკური საშუალებები და შრომითი რესურსები, იგეგმება ფინანსური დანახარჯები პროექტის

განსახორციელებლად, პროექტის რეალიზაციის ვადები და უკუგების პერიოდი.

შენობათა ენერგეტიკული მახასიათებლების სწრაფი გაანგარიშების მიზნით, ნორვეგიული კონსალტინგური კომპანიის ENSI-ს (Energy Saving International) მიერ შემუშავებული იქნა პროგრამა „Key number“ (საკვანძო რიცხვები), რომელიც მისაღებია როგორც ახალი შენობების დაპროექტების და შენობების რეკონსტრუქციის დროს, ისე არსებული შენობების ენერგოდამზოგი ღონისძიებების შეფასებისათვის.

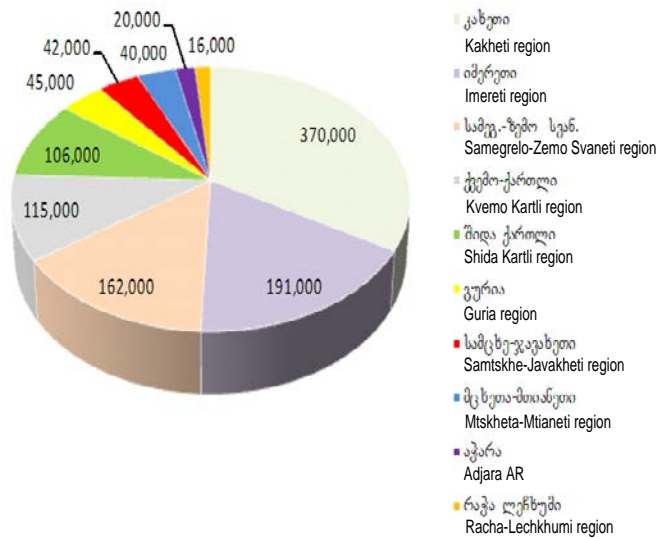
საკვანძო რიცხვები ასახავს შენობის კუთრი ენერგომომხმარების ეტალონურ მნიშვნელობებს, რომლებიც ითვალისწინებენ ყველა აღნიშნულ ფაქტორს. ენერგომომხმარების გაზომილი და გაანგარიშებული სიდიდეების შედარება საკვანძო რიცხვებთან შენობის ენერგოეფექტურობის და ენერგოდაზოგვის პოტენციალის სწრაფი შეფასების საშუალებას იძლევა.

თავი მესამე. ნარჩენი ბიომასის ენერგეტიკული პოტენციალის გამოყენების შეაძლებლობა საქართველოს რეგიონების საჯარო სკოლების თბომომარაგებისათვის

ნარჩენი ბიომასა ორგანული სათბობის ერთ-ერთ ალტერნატიული სახეა. ნარჩენი ბიომასის ტერმინის ქვეშ იგულისხმება მცენარეული და ცხოველური წარმოშობის ორგანული ნივთიერებების ერთობლიობა: ხეტყის ნარჩენი ბიომასა (სატყეო მეურნეობის ექსპლუატაციისა და ხეტყის ინდუსტრიის ნარჩენები), სოფლის მეურნეობის მოსავლისა და აგროგადამამუშავებელი ინდუსტრიის ნარჩენები (ნამჯა, სიმინდის ტაროს ნაჭურჩი, მზესუმზირის ჩენჩო, თხილის ნაჭუჭი და სხვა), მსხვილფეხა რქოსანი საქონლის, ღორის, ცხვრის, თხისა და ქათმის ნაკელი და ექსკრემენტი.

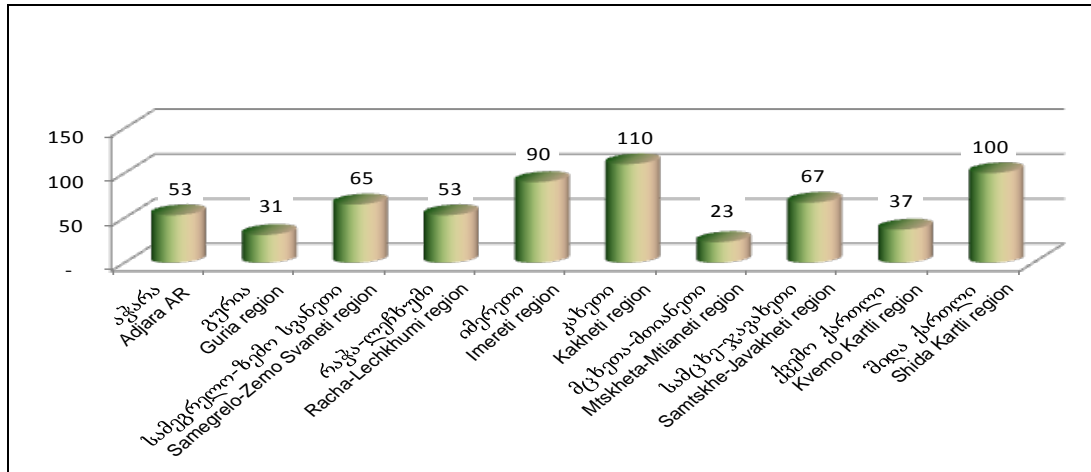
ნარჩენ ბიომასას გააჩნია უპირატესობების მთელი რიგი: ენერჯის განახლებადი წყაროა და ამიტომ აუმოუწურავია; გავრცელებულია ქვეყნის თითქმის მთელ ტერიტორიაზე; წიაღისეულ სათბობთან შედარებით იაფია; შესაძლებელია მისი პირდაპირი გამოყენება; შესაძლებელია მისგან ბრიკეტებისა და პელეტების დამზადება; მნიშვნელოვნად ამცირებს სათბური გაზების ემისიას.

ჩატარებული ფართომასშტაბიანი კვლევის საფუძველზე საქართველოს იურისდიქციაში მყოფი ათივე რეგიონისათვის დადგენილია მცენარეული და ცხოველური წარმოშობის ნარჩენი ბიომასის ენერგეტიკული პოტენციალი. მცენარეული წარმოშობის ნარჩენი ბიომასის ენერგეტიკული პოტენციალი საქართველოს რეგიონებისათვის მოცემულია ნახ.6-ზე.



ნახ. 5. მცენარეული წარმოშობის ნარჩენი ბიომასის ენერგეტიკული პოტენციალი საქართველოს რეგიონებისათვის

რაც შეეხება ხეტყის ნარჩენი ბიომასის ენერგეტიკულ პოტენციალს, მიღებულია, რომ საქართველოს ცალკეულ რეგიონებში ენერგეტიკული მიზნებისათვის შესაძლებელია მერქნის ყოველწლიური ნამატის მაქსიმუმ 20%-ის გამოყენება. ხეტყის ნარჩენი ბიომასა საქართველოს რეგიონებისათვის მოცემულია ნახ.7-ზე.



ნახ.6. ხეტყის ნარჩენი ბიომასა საქართველოს რეგიონებისათვის (ათასი მ³)

სტატისტიკური მონაცემები საქართველოს რეგიონების საჯარო სკოლის შენობების ფართის შესახებ, საშუალებას იძლევა საბაზისო ენერჯის კუთრი მოხმარების ენერგოაუდიტით განსაზღვრული მნიშვნელობის მიხედვით (74 კვტ.სთ/მ²წ) გამოითვალოს მათი გათბობისათვის საჭირო ენერჯის რაოდენობა (ცხრილი 1).

ცხრილი 11

სტატისტიკური მონაცემები საქართველოს რეგიონების საჯარო სკოლების შესახებ

#	რეგიონი	სკოლების რაოდენობა	სავარაუდო ფართი, მ ²	საჭირო ენერჯია მგვტ.სთ	მცენარეული ბიომასის პოტენციალი მგვტ.სთ	პროცენტული რაოდენობა, %
1	სამეგრელო, ზემო სვანეთი	264	250 000	18 500	263 000	7.0
2	რაჭა-ლეჩხუმი, ქვემო სვანეთი	68	65 000	4 800	98 000	4.9
3	გურია	101	96 000	7 100	93 000	7.6
4	იმერეთი	401	380 000	28 000	330 000	8.5
5	სამცხე-ჯავახეთი	206	196 000	14 500	145 850	9.9
6	შიდა ქართლი	172	163 000	12 000	261 000	4,6
7	მცხეთა-მთიანეთი	88	84 000	6 200	75 650	8.2
8	ქვემო ქართლი	269	255 000	18 900	172 000	11.0
9	კახეთი	193	183 000	13 500	540 000	2.5
10	აჭარა	256	243 000	18 000	102 000	17.6
	სულ	2 018	1 915 000	141 500	2 080 500	6.8

როგორც ცხრილი 1-დან ჩანს საქართველოს რეგიონებში 2018 საჯარო სკოლის სავარაუდო ფართის (1915000 მ²) გასათბობად საჭიროა 141 500

მგვტ.სთ ენერჯია, ხოლო სოფლის მეურნეობის მოსავლისა და ხეტყის ნარჩენი ბიომასის საერთო ენერგეტიკული პოტენციალის საშუალო წლიური მნიშვნელობა 2080500 მგვტ.სთ-ს შეადგენს. ეს იმას ნიშნავს, რომ საქართველოს რეგიონების საჯარო სკოლების თბომომარაგებისათვის ნარჩენი ბიომასის ენერგეტიკული პოტენციალის გამოყენების სრული შესაძლებლობა არსებობს.

თავი მეოთხე. ნარჩენი ბიომასის წვის ოპტიმალური ტექნოლოგიების შერჩევა საქართველოს პირობებისათვის

მცენარეული ნარჩენების ბიომასის გამოყენების პერსპექტივების შესაფასებლად, გარდა ენერგეტიკული პოტენციალისა და თბოტექნიკური მახასიათებლების დადგენისა, აუცილებელია მისი დაწვის ოპტიმალური ტექნოლოგიებისა და რეჟიმების შერჩევა. კონკრეტული ტექნოლოგიის შერჩევა უნდა ეფუძნებოდეს ეკონომიკურ გაანგარიშებებს, საცეცხლე მოწყობილობის კონსტრუქციისა და სათბობის მომზადების ღირებულების გათვალისწინებით

ნარჩენი ბიომასის წვის ოპტიმალური ტექნოლოგიების შერჩევის პროცესში ჩვენი არჩევანი შეჩერდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის პროფესორის, ნ.ქევხიშვილის ავტორობით შექმნილ სამამულო წარმოების პიროლიზურ ქვაბზე, რომელიც დამზადებულია სააქციო საზოგადოება „სარინის“ მიერ რუსთავის ლითონთა კონსტრუქციების ქარხანაში. ქვაბმა უკვე გაიარა სამწლიანი წარმატებული აპრობაცია სოფ. ნატახტარის საჯარო სკოლაში.

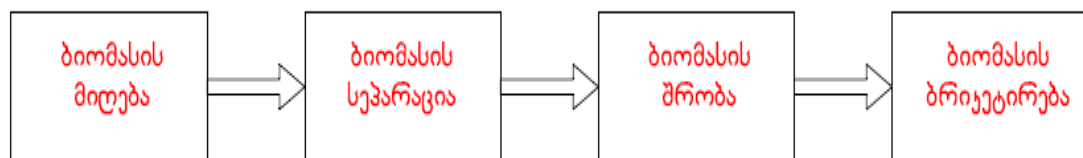
ბოლო დროს, სპეციალისტების სულ უფრო და უფრო მეტ ყურადღებას იქცევს ნარჩენი ბიომასის ბრიკეტირების პროცესი. ნარჩენი ბიომასის ბრიკეტების ენერჯიის გამოყენება საქართველოსათვის, როგორც იმპორტირებულ ენერჯიაშემცველებზე ორიენტირებული ქვეყნისათვის,

განსაკუთრებით აქტუალურია. ის არა მარტო ენერგეტიკული უსაფრთხოების უზრუნველყოფის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი წინაპირობაა, არამედ უშუალოდ არის დაკავშირებული წიაღისეულ სათბობზე მოთხოვნისა და შესაბამისად „სათბურის გაზების“ რაოდენობის შემცირებასთან.

ნარჩენი ბიომასის ბრიკეტის, ისევე როგორც საშეშე მერქნის , დაწვის სითბო ანუ თბოუნარიანობა დამოკიდებულია მათ ტენიანობაზე - რაც ნაკლების ტენიანობა, მით მეტია მათი დაწვის სითბო. განსხვავებით საშეშე მერქნისა, რომლის ტენიანობა 30-50%-ს აღწევს, ბრიკეტის ტენიანობა არ აღემატება 8-12%-ს, ამიტომ ის ხასიათდება მაღალი თბოუნარიანობით, რომელიც 16 000-18 000კჯ/ჯგ-ს უტოლდება. შესაბამისად მაღალია მისი ენერგეტიკული პოტენციალიც - 4.4-5.0 კვტ.სთ/კგ.

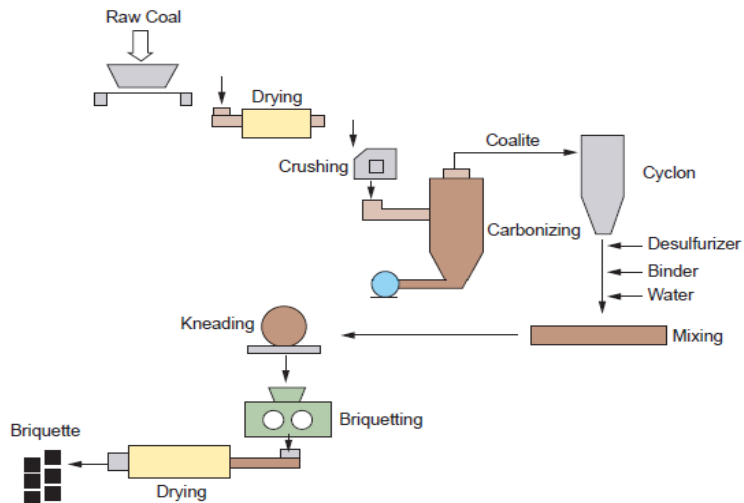
ნარჩენი ბიომასის ბრიკეტების გამოყენების კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი უპირატესობაა, მათი მაღალი სიმკვრივე და სტანდარტული კონფიგურაცია, რაც ძალზე აადვილებს მათ ტრანსპორტირებასა და დასაწყობების პროცესს.

ნარჩენი ბიომასის ბრიკეტების საწარმოო ტექნოლოგიური ხაზი მოიცავს: მიმღებ ხვიმირას, სეპარატორს, საშრობს, კონვეიერს და წნეხს. ნარჩენი ბიომასა თავსდება მიმღებ ხვიმირაში, საიდანაც გადამტანი ელევატორის საშუალებით მიეწოდება სეპარატორს. სეპარაციის შემდეგ ბიომასა გადადის საშრობში, სადაც შრება მოცემულ ტენიანობამდე. გამომშრალი ბიომასა კონვეიერის საშუალებით გადაადგილდება წნეხის მიმღებ ბუნკერში, საიდანაც ხდება მისი უწყვეტი მიწოდება წნეხში (ნახ.3.)



ტექნოლოგიური პროცესში ყველაზე მნიშვნელოვანი ეტაპებია ბიომასის გამოშრობა დაახლოებით 10 - 12%-მდე და დაწნეხვა. დაწნეხვის პროცესზე დიდ მნიშვნელობას ახდენს ბიომასის დისპერსიულობა, რადგან ნედლეულის ფრაქციის ზომებთან ერთად იცვლება ბრიკეტირების პროცესის რეჟიმული პარამეტრები, ხოლო შრობის პროცესზე ნედლეულის დისპერსიულობასთან ერთად მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ნედლეულის ენდემურობა - წარმომავლობა.

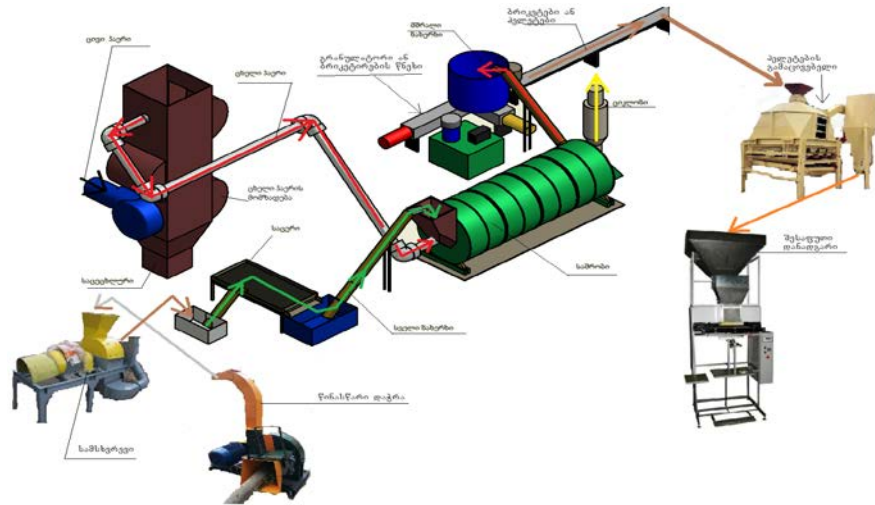
ამ ფაქტორების გათვალისწინებით, ბრიკეტირების ტექნოლოგიური ხაზისათვის შემუშავებულია მრავალი სხვადასხვა ტიპის და ქმედების საწნეხი დანადგარები. აღნიშნული დანადგარების მრავალფეროვნება განპირობებულია იმით, რომ პრაქტიკულად ბრიკეტირების და პელეტირების პროცესის დროს წარმოქმნილი რეჟიმული პარამეტრები მნიშვნელოვნად იცვლება.



ნახ.8. ბრიკეტების წარმოების სქემა

ტექნოლოგიური ხაზები გვხვდება, როგორც უწყვეტი, ასევე პერიოდული ქმედების, შესაბამისად ტექნოლოგიურ ხაზში შემავალი დანადგარები კლასიფიცირდებიან უწყვეტი და პერიოდული ქმედების მანქანებად. საწნეხი მანქანა - დანადგარები, კონსტრუქციების მიხედვით

ძირითადად გვხვდება სამი ტიპის, ესენია: შნეკური ტიპის, დოლური ტიპის და დგუშისებური ტიპის, თითოეულ მათგანს გააჩნია თავისი დადებითი და უარყოფითი მხარეები, რაც შესაბამისად გავლენას ახდენს მთლიანი ტექნოლოგიური პროცესის მიმდინარეობაზე.



ნახ. 9. ბრიკეტების საწარმოო ტექნოლოგიური ხაზი.

დღეისათვის დასასრულს უახლოვდება მუშაობა მობილური, 500 კგ/სთ მწარმოებლობის, ნარჩენი ბიომასის ბრიკეტების საწარმოო ტექნოლოგიური ხაზის შექმნაზე, რომლის ამოქმედების შემდეგ შესაძლებელი იქნება ყოველდღიურად ვაწარმოთ 10-12 ტ ბრიკეტი უშუალოდ ნარჩენი ბიომასის მოპოვების ადგილზე, რაც მკვეთრად შეამცირებს პროდუქციის თვითღირებულებას (ცნობილია, რომ ბრიკეტების დამზადებისას თვითღირებულების ხარჯებში ძალზე დიდია ბიომასის ტრანსპორტირებაზე გაწეული დანახარჯები);

ამავე დროს, საფუძველი ჩაეყრება საქართველოსათვის მეტად მნიშვნელოვან ახალ ინდუსტრიას - ნარჩენი ბიომასის დამზადების, მისგან ბრიკეტების წარმოებისა და ბრიკეტების გამოყენების ერთიან სისტემას, რაც საშუალებას მოგვცემს, გარკვეული მასშტაბით, უარი განვაცხადოთ ბუნებრივი

გაზის გამოყენებაზე და ტყის მასივების გაჩეხვა- განადგურებაზე, ეფექტურად გამოვიყენოთ განახლებადი ენერჯის წყროების ენერგეტიკული პოტენციალი და შევქმნათ დამატებითი სამუშაო ადგილები.

თავი მეხუთე. ნარჩენი ბიომასის ბრიკეტების წარმოება და მისი გამოყენება ქ.ქუთაისის საჯარო სკოლების თბომომარაგების სისტემებში

ქ.ქუთაისში არსებულ შენობა-ნაგებობათა რიცხვს მიეკუთვნება 38 საჯარო სკოლა, რომლებსაც საერთო ჯამში 187 555 მ² ფართობი უჭირავთ ვინაიდან ნორმატიული დოკუმენტების თანახმად ყველა საჯარო სკოლა უნდა აკმაყოფილებდეს სტანდარტულ მოთხოვნებს შენობების კონსტრუქციისადმი, ბუნებრივი და ხელოვნური განათებისადმი, სანიტარიულ-ტექნიკური მოწყობილობისადმი და სითბურ-საჰაერო რეჟიმისადმი, ქალაქის მერიის საბინაო-კომუნალური სამსახურის რეკომენდაციით ენერგოაუდიტისათვის შერჩეული იქნა №40 საჯარო სკოლა. როგორც ყველაზე ტიპიური.

ქ.ქუთაისის №40 საჯარო სკოლა განთავსებულია ოთხსართულიან, ბლოკით აგებულ შენობაში და წარმოდგენილია ერთმანეთთან გადასასვლელით დაკავშირებული ორი კორპუსით. შენობა აგებულია 1989 წელს, მისი გასათბობი საერთო ფართი 5 680 მ²-ია, ხოლო იატაკისა და ჭერის ფართი - 1 420 მ². გარემოსთან საკონტაქტო კედლების საერთო ფართი - 1 925 მ²-ია (აქედან, ჩრდილოეთი კედელი - 790 , აღმოსავლეთი კედელი - 205, სამხრეთ კედელი - 725 და დასავლეთ კედელი - 205 მ²), ორმაგი შემინვის მეტალოპლასტმასის ფანჯრების საერთო ფართი - 633 მ² (აქედან, ჩრდილოეთ კედელზე - 230, აღმოსავლეთ კედელზე - 54, სამხრეთ კედელზე - 295 და დასავლეთ კედელზე - 54 მ²). შენობის საერთო მოცულობა შეადგენს 17 000 მ³-ს.

შენობაში ყოველდღიურად იმყოფება 730 მოსწავლე 50 პერსონალი. შენობის გასათბობად გამოიყენება ბუნებრივ აირზე მომუშავე ორი წყალგამაცხელებელი ქვაბი. გათბობის სეზონი 15 ნოემბრიდან 15 აპრილამდე

გრძელდება. სკოლის შენობას ცხელი წყლით მომარაგების სისტემა არ გააჩნია. განათების სისტემა წარმოდგენილია 60 და 100 ვატიანი ვარვარა ნათურებით. მოთხოვნა განათების სისტემაზე 4 ვტ/მ²-ია, მუშაობის პერიოდი 10 სთ/კვირა და 39 კვირა/წელი. სხვა ელექტრომომწოდებლობის საშუალო მოთხოვნა შეადგენს 6 ვტ/მ², მუშაობის პერიოდი 90 სთ/კვირა და 39 კვირა/წელი.

ენერგოაუდიტის დროს მოპოვებული ინფორმაციის ანალიზი ქუთაისის №40 საჯარო სკოლაში ენერგოდაზოგვის შესაძლო ღონისძიებების დასახვის და მათი რეალიზების შედეგად მიღებული დანაზოგების განსაზღვრის საშუალებას იძლევა. ეს ღონისძიებებია:

- შენობის სახურავის თბოიზოლაცია;
- ენერგოეფექტური ნათურების დაყენება.

ქ.ქუთაისის №40 საჯარო სკოლაში ენერგოდაზოგვის ფაქტობრივი პოტენციალი, რომელიც შეფასებულია ენერგოაუდიტის ჩატარების ზემოთ მოყვანილი ოპტიმალური მეთოდებისა და პროგრამული უზრუნველყოფის ფორმატის გამოყენებით, მოცემულია ცხრილში 2.

ცხრილი 2

ენერგორესურსებისა და ემისიის დანაზოგი ქ.ქუთაისის №40 საჯარო სკოლაში

1	ენერჯის სახეები	ე ნ ე რ გ ი ა			ე მ ი ს ი ა			
		საბაზისო	დანაზოგ	დანაზოგ	ნორმა	საბაზის	დანაზოგი	დანაზოგი
		კვტ.სთ/წ	კვტ.სთ/წ	%	კვ/კვტ.სთ	ტ/წ	ტ/წ	%
2	გაზი	60 552	11 778	-	0,202	12,23	2,37	19,45
	ელენერჯია	19 755	3 390	-	0,136	2,68	0,46	17,16
	ჯამი	80 307	15 168	19.00	-	14,91	2,84	19,03

როგორც ცხრილიდან ჩანს, საჯარო სკოლაში ყოველწლიურად შეიძლება დაიზოგოს 15 168 კვტ.სთ ენერჯია, რაც საბაზისო ენერგომომხმარებლის (80 307 კვტ.სთ/წლ) 19%-ს შეადგენს. შესაბამისად, ყოველწლიურად 2.84 ტონით შეიძლება შემცირდეს ნახშირორჟანგის ემისიაც, რაც საბაზისო ემისიის (14.91 ტ/წლ) 19.03%-ის ტოლია.

ენერგოაუდიტის მონაცემების ანალიზისა და სათანადო გამოთვლების საფუძველზე დადგინდა, აგრეთვე, კუთრი ენერგოდაზოგვის ეტალონური

მნიშვნელობა ქ.ქუთაისის საჯარო სკოლებისათვის, რომელიც 2.78 კვტ.სთ/(მ²წლ)-ის ტოლია. აქედან, 2.00 კვტ.სთ/(მ²წლ) მოდის გათბობაზე და 0.78 კვტ.სთ/(მ²წლ) - ელექტრომომწოდებლობებზე.

ენერგორესურსებისა და ემისიის დაზოგვის ფაქობრივი პოტენციალი ქ.ქუთაისში არსებული ყველა საჯარო სკოლისათვის მოცემულია ცხრილში 3.

ცხრილი 3.

ენერგორესურსებისა და ემისიის დანაზოგი ქ.ქუთაისის ყველა საჯარო სკოლისათვის

ენერჯის ხარჯები	ე ნ ე რ გ ი ა		ე მ ი ს ი ა			
	საბაზისო	დანაზოგი	ნორმა	არსებული	დანაზოგი	დანაზოგი
	კვტ.სთ/წ	კვტ.სთ/წ	კვ/კვტ.სთ	ტ/წ	ტ/წ	%
სკოლებისთვის						
1. გათბობაზე	1856794,5	375110	0,202	375,07	75,77	20,20
2. ელექტრო მოწყობილობებზე	656442,5	146293	0,136	89,28	19,90	22,29
ჯამი	2513237	521403		464,35	95,67	20,60

ცხრილიდან ჩანს, რომ ქ.ქუთაისის საჯარო სკოლებში ენერგოდამზოგი ღონისძიებების (შენობის სახურავის თბოიზოლაცია და ენერგოეფექტური ნათურების დაყენება) განხორციელების შედეგად შესაძლებელია ყოველწლიურად დაიზოგოს 521 403 კვტ.სთ ენერჯია, რაც საბაზისო ენერგომომხმარების (2 513 237 კვტ.სთ/წლ) 21%-ს შეადგენს. შესაბამისად, 20.60%-ით (96.00 ტ/წლ) შემცირდება ნახშირორჟანგის (CO₂-ის) ყოველწლიური გამონაბოლქვი.

როგორც ცხრილი 11-დან ჩანს ქ.ქუთაისში არსებული 38 საჯარო სკოლის 187 555 მ² საერთო ფართის მქონე შენობების გათბობის სისტემა წელიწადში მოითხოვს 1 856 795 კვტ.სთ ენერჯიას. ამ შემთხვევაში ბუნებრივი გაზის წლიური ხარჯი იქნება:

$$1\ 856\ 795 / (8 * 0.9) = 257\ 888\ მ^3,$$

სადაც, 8 კვტ.სთ/მ³ არის ერთი კუბ.მ ბუნებრივი აირის ენერგეტიკული პოტენციალი, ხოლო 0,9 - თბოგენერატორის მქ კოეფიციენტი.

ბუნებრივი გაზის ტარიფის (0.75 ლარი/მ³) გათვალისწინებით მისი წლიური ღირებულება შეადგენს

$$257\ 888 \times 0.75 = 193\ 416 \text{ ლარს,}$$

ხოლო CO₂-ის წლიური ემისია

$$1\ 856\ 795 \times 0.202/1000 = 375.1 \text{ ტ-ს}$$

საჯარო სკოლის შენობების სხვენის თბოიზოლაცია

სხვენის თბოიზოლაცია თბოგადაცემის კოეფიციენტის შემცირებას 1.8 - დან 0.6 კვტ/მ² K-მდე. ამ შემთხვევაში, ENSI საკვანძო რიცხვების კომპიუტერული პროგრამით გამოთვლილი ყოველწლიურად დაზოგილი ენერჯის რაოდენობა 375 111 კვტ.სთ-ს ტოლი იქნება (ცხრილი 11). ენერჯის ამ რაოდენობის შესაბამისი ბუნებრივი გაზის ხარჯი იქნება

$$375\ 111 / (8 \times 0.9) = 52\ 099 \text{ მ}^3/\text{წ.}$$

გაზის ღირებულების გათვალისწინებით მისი წლიური ღირებულება შეადგენს:

$$52\ 099 \times 0.75 = 39\ 074 \text{ ლარს,}$$

ხოლო CO₂-ის ყოველწლიური ემისია

$$375\ 11 \cdot 0.202/1000 = 75.8\ \text{ტ/წ-ს.}$$

ე.ი. ქ.ქუთაისის საჯარო სკოლის შენობების სხვენის თბოიზოლაციით ყოველწლიურად შეიძლება დაიზოგოს 375 111 კვტ.სთ ენერგია, 52 099 მ³ ბუნებრივი აირი, 39 074 ლარი და 75.8 ტ ემისია.

5.2.2. საჯარო სკოლის შენობების გათბობის სისტემაში ბუნებრივი გაზის ჩანაცვლება ბიომასით

ენერგოდამზოგი ღონისძიებების ჩატარებამდე ქ.ქუთაისის საჯარო სკოლის შენობების გათბობის სისტემა წელიწადში მოითხოვდა 1 856 795 კვტ.სთ ენერგიას. შენობების სხვენის დათბუნების შემდეგ დაზოგილი 375 111 კვტ.სთ ენერგიის გათვალისწინებით გათბობის სისტემა მოითხოვს 1 856 795 – 375 111 = 1 481 684 კვტ.სთ ენერგიას.

ბუნებრივი გაზის წლიური ხარჯი ამ შემთხვევაში იქნება:

$$1\ 481\ 684 / (8 \cdot 0.9) = 205\ 789\ \text{მ}^3/\text{წ.}$$

ბუნებრივი გაზის ტარიფის გათვალისწინებით მისი წლიური ღირებულება შეადგენს

$$205\ 789 \cdot 0.75 = 154\ 341\ \text{ლარს,}$$

ხოლო CO₂-ის ემისია

$$1\ 481\ 684 \cdot 0.202/1000 = 299.3\ \text{ტ/წ.}$$

ნარჩენი ბიომასის სოლიდური რაოდენობის არსებობა იმერეთის რეგიონში (75-80 ათასი ტონა ნარჩენი ბიომასა) ადგილობრივი წარმოების

ბიოსაწვავის ფართომასშტაბიანი გამოყენების საშუალებას იძლევა. კერძოდ, ზემოთ აღწერილი მობილური 500 კგ/სთ მწარმოებლურობის ბრიკეტების საწარმოო ტექნოლოგიური ხაზის გამოყენების შემთხვევაში შესაძლებელია ყოველდღიურად მინიმუმ 3-4 ტონა ბიომასის ბრიკეტის დამზადება, რაც მთლიანად დააკმაყოფილებს საჯარო სკოლების მოთხოვნილებებს (დღეში დაახლოებით 2.5-3.0 ტონა).

ქ.ქუთაისის 38 საჯარო სკოლის შენობის გასათბობად ნარჩენი ბიომასის ბრიკეტების გამოყენების შემთხვევაში მისი წლიური ხარჯი იქნება:

$$1\ 481\ 684 / (4.44 * 0.9) = 370\ 792\ \text{კგ}$$

სადაც, 4.4 კვტ.სთ/კგ არის ბიომასის ენერგეტიკული პოტენციალი, ხოლო 0,9 - თბოგენერატორის მქ კოეფიციენტი.

ნარჩენი ბიომასის ბრიკეტები მთლიანად ჩაანაცვლებენ ბუნებრივ გაზს და მისი წლიური ღირებულება $370\ 792 \times 0.2 = 74\ 158$ ლარს არ ასცდება. CO₂-ის ემისია, ამ შემთხვევაში, ნულის ტოლია (ცხრილი 1).

ცხრილი 17.

ენერგორესურსებისა და ემისიის შემცირება საჯარო სკოლების გათბობის სისტემაში

სიდიდე	სხვენის დათბუნება			ბიომასის ბრიკეტები		სულ
	ლონისძიე ბამდე	დანაზოგი	ლონისძიების შემდეგ	დანაზოგი	ლონისძიების შემდეგ	დანაზოგი
ენერგია კვტ.სთ/წ	1 856 795	375 111	1 481 684	0	1 481 684	375 111
ბუნებრივი გაზი, მ ³ /წ	257 888	52 099	205 789	205 789	0	257 888
ფასი ლარი/წ	193 416	39 074	154 342	80 184	74 158	119 252
ემისია ტ/წ	375.1	75.8	299.3	299.3	0	375.1

თავი მეექვსე. ნარჩენი ბიომასის ბრიკეტების წარმოებისა და გამოყენების რენტაბელობის პარამეტრები

როგორც ცხრილი 1-დან ჩანს ენერგოეფექტური ღონისძიებების

(შენობების სხვენის თბოიზოლაცია და ბუნებრივი გაზის ჩანაცვლება ნარჩენი ბიომასის ბრიკეტებით) გატარებისა და სწორი ენერგომენეჯმენტის შემთხვევაში ქ.ქუთაისის საჯარო სკოლის შენობებში, ყოველწლიურად შეიძლება დაიზოგოს 375 111 კვტ.სთ ენერგია, 257 888 მ³ ბუნებრივი გაზი და 119 257 ლარი, ხოლო CO₂-ის ემისია 375.1 ტონით შემცირდეს და ნულს გაუტოლდეს.

საქართველოს მასშტაბით, რეგიონებში არსებულ საჯარო სკოლის შენობების გათბობა დაახლოებით 142 მლნ კვტ.სთ ენერგიას მოითხოვს, რაც იმას ნიშნავს, რომ ანალოგიური ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების ფართომასშტაბიანი დანერგვით ყოველწლიურად დაიზოგება 15-20 მლნ მ³ ბუნებრივი გაზი ან 115-120 ათასი კუბ.მ საშემე მერქანი, ხოლო CO₂-ის ემისია ნულს გაუტოლდეს.

ნარჩენი ბიომასის ბრიკეტების წარმოების რენტაბელობა

შესასრულებელი ქმედებების მიხედვით, უშუალოდ ნარჩენი ბიომასის მოპოვების ადგილებზე, უნდა ამოქმედდეს 500 კვ/სთ მწარმოებლურობის ნარჩენი ბიომასის ბრიკეტების საწარმოო ტექნოლოგიური ხაზი, რაც საშუალებას მოგვცემს ყოველწლიურად ვაწარმოოთ მინიმუმ 3-4 ტ ბრიკეტი და ბრიკეტებით მოვამარაგოთ ქ.ქუთაისის საჯარო სკოლები.

ნარჩენი ბიომასის (ჩვენ კონკრეტულ შემთხვევაში, სატყეო მეურნეობის ექსპლუატაციისა და ხეტყის ინდუსტრიის ნარჩენები) მოპოვების ადგილი ამბროლაურის რაიონია, სადაც ფუნქციონირებს 7 ხის დამამუშავებელი ქარხანა. შესაბამისად, შესასრულებელი ქმედებები შემდეგი თანმიმდევრობით უნდა განხორციელდეს:

- ქ.ქუთაისის საჯარო სკოლის შენობებში გათბობისა და ცხელი წყლით მომარაგების სისტემების არსებული ტექნიკური მდგომარეობის

შესწავლა, შეფასება და ანალიზი. სტატისტიკური მონაცემების შეგროვება შენობის მიერ მოხმარებული ენერგორესურსების შესახებ;

- ნარჩენი ბიომასის ბრიკეტის დამამზადებელი ტექნოლოგიური ხაზის შერჩევა ტენდერის საშუალებით, ღირებულების განსაზღვრა, მათი ექსპლუატაციის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების, საიმედოობისა და ეფექტურობის შეფასება;
- ურთიერთობის დამყარება ტექნოლოგიური ხაზის მწარმოებელთან, დანადგარის შეკვეთა, შეძენა, ტრანსპორტირება;
- ნარჩენი ბიომასის მოპოვების ადგილზე ტექნოლოგიური ხაზის დამონტაჟება;
- ტექნოლოგიური ხაზის ტესტირება, საცდელი გაშვება და გამართვა;
- ტექნოლოგიური ხაზის საექსპლუატაციო ინსტრუქციის მომზადება;
- ენერგოეფექტურობაზე მონიტორინგისა და ანგარიშგების სახელმძღვანელო დოკუმენტის მომზადება
- მომსახურე ტექნიკური პერსონალის მომზადება

ცხრილი 4.

ნარჩენი ბიომასის ბრიკეტების წარმოების გეგმა და ბიუჯეტი

#	ღონისძიების დასახელება	შესრულების ვადა	ბიუჯეტი ლარი
1	ქ.ქუთაისის საჯარო სკოლის შენობებში გათბობის სისტემების არსებული ტექნიკური მდგომარეობის შესწავლა, შეფასება და ანალიზი. სტატისტიკური მონაცემების შეგროვება შენობის მიერ მოხმარებული ენერგორესურსების შესახებ.	1.0	2 000
2	ბრიკეტის დამამზადებელი ტექნოლოგიური ხაზის შერჩევა, ღირებულების განსაზღვრა, მათი ექსპლუატაციის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების შეფასება, საიმედოობა და ეფექტურობა.	0.5	500
3	ურთიერთობის დამყარება ტექნოლოგიური ხაზის მწარმოებელთან, დანადგარის შეკვეთა, შეძენა, ტრანსპორტირება	2.0	112 000
4	ადგილმდებარეობის შერჩევა და დამონტაჟება	1.0	1 500
5	ტესტირება, საცდელი გაშვება და გამართვა	1.0	1 500
6	საექსპლუატაციო ინსტრუქციის მომზადება	0.5	500
7	ენერგოეფექტურობაზე მონიტორინგისა და ანგარიშგების სახელმძღვანელო დოკუმენტის მომზადება	0.5	1 000
8	მომსახურე ტექნიკური პერსონალის მომზადება	0.5	1 000
	სულ	ხუთი	120 000

ნარჩენი ბიომასის ბრიკეტების წარმოების გრაფიკი

#	ღონისძიების დასახელება	თვე				
		I	II	III	IV	V
1	ქ.ქუთაისის საჯარო სკოლის შენობებში გათბობისა და ცხელი წყლით მომარაგების სისტემების არსებული ტექნიკური მდგომარეობის შესწავლა, შეფასება და ანალიზი. სტატისტიკური მონაცემების შეგროვება შენობის მიერ მოხმარებული ენერგორესურსების შესახებ.					
2	ბრიკეტის დამამზადებელი ტექნოლოგიური ხაზის შერჩევა, ღირებულების განსაზღვრა, მათი ექსპლუატაციის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების შეფასება, საიმედოობა და ეფექტურობა.					
3	ურთიერთობის დამყარება ტექნოლოგიური ხაზის მწარმოებელთან, დანადგარის შეკვეთა, შექმნა, ტრანსპორტირება					
4	ადგილმდებარეობის შერჩევა და დამონტაჟება					
5	ტესტირება, საცდელი გაშვება და გამართვა					
6	საექსპლუატაციო ინსტრუქციის მომზადება					
7	ენერგოეფექტურობაზე მონიტორინგისა და ანგარიშების სახელმძღვანელო დოკუმენტის მომზადება					
8	მომსახურე ტექნიკური პერსონალის მომზადება					

ღონისძიებების ბიუჯეტი

როგორც ცხრილიდან ჩანს, წინასწარი შეფასებით ნარჩენი ბიომასის ბრიკეტების მთლიანი ღირებულება შეადგენს 120 000 ლარს.

პროექტის რენტაბელობის პარამეტრები მოცემულია ცხრილში.

ნარჩენი ბიომასის ბრიკეტების წარმოების რენტაბელობის პარამეტრები

ღონისძიება	საინვესტიციო ღირებულება ლარი	უკუგება PB	შიდა უკუგების განაკვეთი IRR,%	წმინდა ამჟამინდელი ღირებულების კოეფიციენტი NPVQ	CO ₂ -ის შემცირება ტ/წ
ბრიკეტების წარმოება	120 000	1.9	53.0	4.05	375.1

ბიომასაზე მომუშავე ცენტრალური გათბობის სისტემის მოწყობის რენტაბელობა

როგორც უკვე ავლნიშნეთ, ბიომასის სათბობად გამოყენებისათვის გარდა მისი ენერგეტიკული პოტენციალის შეფასებისა აუცილებელია მისი დაწვის ოპტიმალური ტექნოლოგიებისა და რეჟიმების შერჩევა. ბიოსათბობის

წვის ტექნოლოგიების მრავალსახეობიდან განსაკუთრებული გამოყენება ხვდა წილად პიროლიზურ წყალსატობ ქვაბებს. პიროლიზური ქვაბები უზრუნველყოფენ სატობის სრული წვისა და წვის პროცესის რეგულირების შესაძლებლობას, რაც მისი მუშაობის ეკონომიურობის გარანტიას იძლევა. სატობის ორსაფეხუროვანი წვა და მაღალი ტემპერატურა წვის კამერაში მნიშვნელოვნად ამცირებს მავნე ნივთიერებების გამობოლქვას ატმოსფეროში. პიროლიზური ქვაბის მუშაობის ავტომატური მართვის შესაძლებლობა, მსგავსად ბუნებრივ გაზზე ან თხევად სატობზე მომუშავე ქვაბებისა, მნიშვნელოვნად აადვილებს მის ექსპლუატაციას.

ქ.ქუთაისის №40 საჯარო სკოლის შენობის გათბობისათვის გავითვალისწინებულია 250 კვტ სიმძლავრის სამამულო წარმოების პიროლიზური ქვაბი, რომელიც დამზადებულია სააქციო საზოგადოება „სარინის“ მიერ რუსთავის ლითონთა კონსტრუქციების ქარხანაში. შესაბამისად სამუშაოები შემდეგი თანმიმდევრობით უნდა განხორციელდეს:

1. ქ.ქუთაისის №40 საჯარო სკოლის შენობის გათბობის სისტემის არსებული ტექნიკური მდგომარეობის შესწავლა, შეფასება და ანალიზი. სტატისტიკური მონაცემების შეგროვება შენობის მიერ მოხმარებული ენერგორესურსების შესახებ;
2. პიროლიზური ქვაბის ტექნოლოგიის შერჩევა, ღირებულების განსაზღვრა, მათი ექსპლუატაციის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების შეფასება, საიმედოობა და ეფექტურობა;
3. ურთიერთობის დამყარება პიროლიზური ქვაბის მწარმოებელთან, დანადგარის შეკვეთა, შექმნა, ტრანსპორტირება, სხვა დამატებითი მოწყობილობებისა და მასალების შექმნა;
4. საქვაბის შენობის ადგილმდებარეობის შერჩევა, შენობის აგება და დამხმარე მოწყობილობების დამონტაჟება;

5. პიროლიზური ქვაბის დასამონტაჟებლად საჭირო მოსამზადებელი სამუშაოები, ქვაბის მონტაჟი;
6. პიროლიზური ქვაბის ტესტირება, საცდელი გაშვება და გამართვა;
7. სკოლის შენობის ენერგომენეჯმენტის ინსტრუქციის მომზადება;
8. სკოლის შენობის ენერგოეფექტურობაზე მონიტორინგისა და ანგარიშგების სახელმძღვანელო დოკუმენტის მომზადება;
9. პიროლიზური ქვაბის მომსახურე ტექნიკური პერსონალის მომზადება.

ცხრილი 7

ბიომასაზე მომუშავე ცენტრალური გათბობის სისტემის მოწყობის გეგმა და ბიუჯეტი

#	ღონისძიების დასახელება	შესრულების ვადა	ბიუჯეტი ლარი
1	ქ.ქუთაისის #40 სკოლის შენობის კონსტრუქციული და სითბური მახასიათებლების დადგენა. გათბობის სისტემის არსებული ტექნიკური მდგომარეობის შესწავლა, შეფასება და ანალიზი. სტატისტიკური მონაცემების შეგროვება შენობის მიერ მოხმარებული ენერგორესურსების შესახებ.	0.5	1 000
2	პიროლიზური ქვაბის ტექნოლოგიის შერჩევა, ღირებულების განსაზღვრა, მათი ექსპლუატაციის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების შეფასება, საიმედოობა და ეფექტურობა.	0.5	500
3	ურთიერთობის დამყარება პიროლიზური ქვაბის მწარმოებელთან, დანადგარის შეკვეთა, შექმნა, ტრანსპორტირება, სხვა დამატებითი მოწყობილობებისა და მასალების შექმნა.	0.5	23 000
4	საქვაბის შენობის ადგილმდებარეობის შერჩევა, შენობის აგება და დამხმარე მოწყობილობების დამონტაჟება	1.0	6 000
5	პიროლიზური ქვაბის დასამონტაჟებლად საჭირო მოსამზადებელი სამუშაოები, ქვაბის მონტაჟი.	0.5	2 000
6	პიროლიზური ქვაბის ტესტირება, საცდელი გაშვება და გამართვა	0.5	500
7	სკოლის შენობის ენერგომენეჯმენტის ინსტრუქციის მომზადება	1.0	500
8	სკოლის შენობის ენერგოეფექტურობაზე მონიტორინგისა და ანგარიშგების სახელმძღვანელო დოკუმენტის მომზადება	1.0	500
9	პიროლიზური ქვაბის მომსახურე ტექნიკური პერსონალის მომზადება	0.5	1 000
	სულ	ხუთი თვე	35000

ბიომასაზე მომუშავე ცენტრალური გათბობის სისტემის მოწყობის გრაფიკი

#	ლონისძიების დასახელება	თვე				
		I	II	III	IV	V
1	ქ.ქუთაისის #40 სკოლის შენობის კონსტრუქციული და სითბური მახასიათებლების დადგენა. გათბობის სისტემის არსებული ტექნიკური მდგომარეობის შესწავლა, შეფასება და ანალიზი. სტატისტიკური მონაცემების შეგროვება შენობის მიერ მოხმარებული ენერგორესურსების შესახებ.					
2	პიროლიზური ქვების ტექნოლოგიის შერჩევა, ღირებულების განსაზღვრა, მათი ექსპლუატაციის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების შეფასება, საიმედოობა და ეფექტურობა.					
3	ურთიერთობის დამყარება პიროლიზური ქვების მწარმოებელთან, დანადგარის შეკვეთა, შექმნა, ტრანსპორტირება, სხვა დამატებითი მოწყობილობებისა და მასალების შექმნა.					
4	საქვების შენობის ადგილმდებარეობის შერჩევა, შენობის აგება და დამხმარე მოწყობილობების დამონტაჟება					
5	პიროლიზური ქვების დასამონტაჟებლად საჭირო მოსამზადებელი სამუშაოები, ქვების მონტაჟი.					
6	პიროლიზური ქვების ტესტირება, საცდელი გაშვება და გამართვა					
7	სკოლის შენობის ენერგომენეჯმენტის ინსტრუქციის მომზადება					
8	სკოლის შენობის ენერგოეფექტურობაზე მონიტორინგისა და ანგარიშების სახელმძღვანელო დოკუმენტის მომზადება					
9	პიროლიზური ქვების მომსახურე ტექნიკური პერსონალის მომზადება					

ლონისძიებების ბიუჯეტი

ბიომასაზე მომუშავე ცენტრალური გათბობის სისტემა

წინასწარი შეფასებით პროექტის მთლიანი ღირებულება შეადგენს 35 000 ლარს, მათ შორის. პროექტის რენტაბელობის პარამეტრები მოცემულია ცხრილში.

ბიომასაზე მომუშავე ცენტრალური გათბობის სისტემის მოწყობის რენტაბელობის პარამეტრები

ლონისძიება	საინვესტიციო ღირებულება ლარი	უკუღება PB	შიდა უკუღების განაკვეთი IRR,%	წმინდა ამჟამინდელი ღირებულების კოეფიციენტი NPVQ	CO ₂ -ის შემცირება ტ/წ
გათბობის ცენტრალური სისტემა	35 000	5.5	31.0	1.95	12.2

ძირითადი დასკვნები

შესწავლილია საქართველოს რეგიონების საჯარო სკოლების თბომომარაგების დღევანდელი პრობლემები, გაანალიზებულია საჯარო სკოლების ენერგეტიკული მოთხოვნილებები და სტატისტიკური მონაცემები სკოლებში მოხმარებული საშემე მერქნის რაოდენობის შესახებ;

დაგენილია, რომ საქართველოს რეგიონების საჯარო სკოლები გათბობის სეზონში ყოველწლიურად მოიხმარება არა ნაკლებ 4-4,5 მლნ ლარის ღირებულების 40-45 ათას მ³ საშემე მერქანს;

შეფასებულია საჯარო სკოლებში მოხმარებული საშემე მერქნის ენერგეტიკული პოტენციალი, შესწავლილია საჯარო სკოლებში გამოყენებული შეშის ღუმელებისა და საჯარო სკოლის შენობების შემომზღუდი კონსტრუქციების ტექნიკურ მდგომარეობა;

დადგენილია, რომ საშემე მერქნის წინასწარი შეშრობით, თანამედროვე ტექნიკით აღჭურვილი საშემე ღუმელების გამოყენებით და სკოლის შენობების შემომზღუდი კონსტრუქციების თბოიზოლაციით, შესაძლებელია საჯარო სკოლებში მოხმარებული საშემე მერქნის ხარჯის 3-4-ჯერ შემცირება.

შერჩეულია საჯარო სკოლის შენობების ენერგოაუდიტის ოპტიმალური მეთოდები და საშუალებები, ჩატარებულია დეტალური ენერგოაუდიტები და დაგეგმილია ენერგომოხმარების ბიუჯეტი რეგიონების საჯარო სკოლებში, ენერგეტიკული გაანგარიშებებისათვის გამოყენებულია ნორვეგიული საკონსულტაციო კომპანიის „Energy Saving Intrnational“ (ENSI) პროგრამული უზრუნველყოფის „საკვანძო რიცხვები“;

დადგენილია ნარჩენი ბიომასის ენერგეტიკული პოტენციალის გამოყენების შესაძლებლობა საქართველოს რეგიონების საჯარო სკოლების თბომომარაგებისათვის, შერჩეულია ნარჩენი ბიომასისი წვის ოპტიმალური ტექნოლოგიები;

განსაზღვრულია საქართველოს რეგიონებში ნარჩენი ბიომასის ბრიკეტების წარმოებისა და საჯარო სკოლების თბომომარაგების სისტემებში მათი გამოყენების რენტაბელობის პარამეტრები;

დადგენილია, რომ საქართველოს რეგიონების საჯარო სკოლებში ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების ფართომასშტაბიანი დანერგვა მნიშვნელოვნად შეამცირებს მოთხოვნილებას ხეტყის რესურსებზე.

დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია შემდეგ ნაშრომებში:

1. ხ.სიჭინავა. ეკოლოგიურად ორიენტირებული მწვანე ეკონომიკის განვითარების ვალდებულებები საცხოვრებელი პირობების გაუმჯობესებისათვის. // შრომათა კრებული. მე-2 სამეცნიერო საერთაშორისო კონფერენცია - „ენერგეტიკა: რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. USAID – თანამედროვე ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების და განათების ინიციატივის პროექტი. ქ.ქუთაისი. 2013 წლის 25-26 მაისი. გვ.275-278;
2. ხ.სიჭინავა, გ.არაბიძე, თ.ჯიშკარიანი. საქართველოს რეგიონებში საჯარო სკოლების თბომომარაგების პრობლემები და მათი გადაჭრის გზები. // შრომათა კრებული. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, არჩილ ელიაშვილი მართვის სისტემების ინსტიტუტი. თბილისი. 2014. №18. გვ. 97-104;
3. ხ.სიჭინავა, თ.ჯიშკარიანი. ნარჩენი ბიომასის ენერგეტიკული პოტენციალის გამოყენების შესაძლებლობა მცხეთა-თიანეთის რეგიონის საჯარო სკოლების თბომომარაგებისათვის. //ენერგია. 2011. №(60). გვ.9-13;