

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ხატია არაბიძე

საქართველოს ელექტროგენერაციის სექტორში ნახშირორჟანგის
(CO₂) ემისიის შემცირების ენერგოეკონომიკური დასაბუთება

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

აკტორ ეფერატი

სადოქტორო პროგრამა „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“
შიფრი 0405

თბილისი
2018 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის
თბოენერგეტიკისა და ენერგოეფექტურობის დეპარტამენტში

სამეცნიერო ხელმძღვანელი:

თენგიზ ჯიშკარიანი - სტუ-ს ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის
პროფესორი, ტექნ. მეცნიერებათა დოქტორი

რეცენზენტები:

1. **ინგა ფხალაძე** - აკადემიური დოქტორი, საქართველოში UDAID-ის საგრანტო პროექტების ხელმძღვანელი;
2. **ნოდარ ქვეხიშვილი** - პროფესორი, მაღალტემპერატურული თბოფიზიკური პროცესების სასწავლო-საინჟინრო ცენტრის ხელმძღვანელი.

დაცვა შედგება 2018 წლის „ „ ივლისს, 12.00 საათზე საქართველოს
ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის
ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე,
კორპუსი VIII, აუდიტორია № 118.

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა – სტუ-ს ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი,

ასოცირებული პროფ.

გ.გიგინეიშვილი

სამუშაოს ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალურობა. კლიმატის ცვლილება ანუ გლობალური დათბობა, რომლის გამომწვევი ძირითადი მიზეზი ატმოსფეროში ნახშირორჟანგის, CO₂-ის, კოლოსალური რაოდენობით დაგროვებაა დღევანდელი მსოფლიო საზოგადოების განსაკუთრებულ შემფოთებას იწვევს. ორგანული სათბობის (ნავთობი, ნახშირი, ბუნებრივი აირი) წვის შედეგად მსოფლიოში ყოველწლიურად 6 გიგატონამდე ნახშირორჟანგი გამოიყოფა, რომლის ნახევარზე მეტი ატმოსფეროში ილექება. ბოლო 50 წლის განმავლობაში CO₂-ის კონცენტრაცია ატმოსფეროში ყოველწლიურად 1.6-2.0 ppm-ით იზრდება და მსოფლიო ეკონომიკის განვითარების ტემპების შემცირების შემთხვევაშიც კი (იგულისხმება ეკონომიკის განვითარების ტემპები, რომელიც არ უნდა აღემატებოდეს 2%-ს წელიწადში), 2050 წლისთვის 500 ppm-ს გადააჭარბებს, (ყოველ ერთ მილიონ ლიტრ ატმოსფერულ ჰაერში იქნება 500 ლიტრი CO₂), ხოლო საუკუნის ბოლოს 550-560 ppm-ს მიაღწევს. ნახშირორჟანგის აღნიშნული კონცენტრაცია გამოიწვევს 7⁰C-ით გლობალურ გათბობას, რაც კლიმატისა და ბიოსფეროს ცვლილებასთან, მთელი მსოფლიოს მასშტაბით სასოფლო-სამეურნეო ზონების რადიკალურ ძვრებთან, კონტინენტური ყინულების დიდ ნაწილის დნობასთან და სხვადასხვა ქვეყნის ტერიტორიების მასიურ დატბორვასთან არის დაკავშირებული.

გაეროს ჩარჩო კონვენცია კლიმატის ცვლილების შესახებ (რიო-დე-ჟანეირო, 1992 წ.), ისევე როგორც პარიზის 2015 წლის შეთანხმება, ყველაზე ფართომასშტაბიანი საერთაშორისო შეთანხმებაა კლიმატის ცვლილების საკითხებზე. ქვეყანები, რომლებმაც ხელი მოაწერეს ამ დოკუმენტებს, მათ შორის საქართველოც, იღებენ ვალდებულებას გაატარონ კლიმატის ცვლილების შერბილებასთან დაკავშირებული ღონისძიებები. ნორვეგიული გაერთიანების „ბელონას“ სცენარის მიხედვით, რომელიც ეყრდნობა საკუთარი კვლევებისა და საერთაშორისო ენერგეტიკული სააგენტოს (IEA) მონაცემებს, შეუძლებელია ნახშირორჟანგის ემისიის სერიოზულ შემცირება მხოლოდ ენერგოეფექტური და ენერგოდამზოგავი ღონისძიებების განხორციელებისა და განახლებადი ენერჯის წყაროების განვითარების გზით. მათთან ერთად, კლიმატის ცვლილებაზე ნახშირორჟანგის (CO₂) ზემოქმედების შერბილების მიზნით მსოფლიოს წამყვან ქვეყნებში ფართოდ ინერგება ახალი მეთოდები და ტექნოლოგიები. ერთ-ერთი ტექნოლოგია – „Carbon capture and storage (CCS)“ – ითვალისწინებს სათბობის წვის აირადი ნაწარმიდან (CO₂)-ის ჩაჭერას, მის შემდგომ გათხევადებასა და შენახვას დედამიწის გეოლოგიურ ფორმირებებში ან მის გამოყენებას მრეწველობის სხვადასხვა დარგებში, მედიცინასა და აგროსამრეწველო კომპლექსში.

CCS- ექნოლოგია ამჟამად ძალიან ძვირია, ისევე როგორც ნებისმიერი ახალი ტექნოლოგია. მაგრამ, განვითარებულ ქვეყნებში სამეცნიერო-

კვლევითი და საცდელ-საკონსტრუქტორო სამუშაოების მიმდინარეობის ტემპები და ფართო მასშტაბები იძლევიან იმის საფუძველს, რომ უკვე 2020 წლისათვის დამატებითი ენერგომომხარება ტექნოლოგიურ პროცესებზე და მასთან დაკავშირებული შესაბამისი ხარჯები მინიმუმამდე იქნება დაყვანილი.

მიუხედავად კოლოსალური ხარჯებისა, ინტერესი CCS - ტექნოლოგიის, როგორც საერთაშორისო მასშტაბის პროექტის მიმართ, იმდენად მაღალია, რომ მასში ჩართული არიან მსოფლიო წამყვანი უმსხვილესი ენერგეტიკული კორპორაციები, ევროკომისია, კლიმატის ცვლილების ექსპერტთა მთავრობათაშორისი ჯგუფები და არასამთავრობო ორგანიზაციები, სხვადასხვა ენერგეტიკული სააგენტოები, ევროვშირის წევრი სახელმწიფოების, აშშ, კანადის, დიდი ბრიტანეთის, ავსტრალიისა და ნორვეგიის მთავრობები და პოლიტიკური ლიდერები.

საქართველოს ელექტროგენერაციის სექტორში ნახშირორჟანგის ემისიისა და ატმოსფეროზე მისი გავლენის შემცირების მიზნით აუცილებელია დღეისათვის მოქმედ და უახლოეს მომავალში ასამოქმედებელ თბოელექტროსადგურებში ორგანიზაციული და ტექნოლოგიური ღონისძიებების ერთობლივი გატარება, და მსოფლიოს წამყვან ქვეყნებში უკვე აპრობირებული ნახშირორჟანგის ჩაჭერის, ტრანსპორტირებისა და შენახვის ახალი მაღალეფექტური ტექნოლოგიების შერჩევა და დანერგვა

კვლევის მიზანი

კვლევის მიზანია საქართველოს ელექტროგენერაციის სექტორებში ნახშირორჟანგის (CO₂) ემისიის შემცირების ენერგოეკონომიკური დასაბუთება.

კვლევის ძირითადი ამოცანები

- კლიმატის ცვლილების დღევანდელი მდგომარეობის შესწავლა და გაანალიზება;
- საქართველოს ელექტროგენერაციის სექტორში ნახშირორჟანგის მოსალოდნელი ემისიის განსაზღვრის მეთოდოლოგიის შემუშავება და ნახშირორჟანგის წლიური ემისიის გამოსათვლელი ფორმულების გამოყვანა;
- ნახშირორჟანგის ემისიის დონის მაჩვენებლის დამოკიდებულების დადგენა თბოელექტროსადგურის ძირითად პარამეტრებზე;
- საქართველოში ტრანსპორტირებული ბუნებრივი გაზის სტატისტიკური და ტექნიკური მონაცემების გაანალიზება და მოხმარებული ბუნებრივი გაზის წვის შედეგად წარმოქმნილი ნახშირორჟანგის ემისიის დონის განსაზღვრა;

- კლიმატის ცვლილებაზე ნახშირორჟანგის (CO₂) ზემოქმედების შესარბილებლად თანამედროვე მეთოდებისა და ტექნოლოგიების შესწავლა და გაანალიზება;
- მსოფლიოს წამყვან ქვეყნებში უკვე აპრობირებული ნახშირორჟანგის ჩაჭერის, ტრანსპორტირების, შენახვის და გამოყენების ახალი მაღალეფექტური ტექნოლოგიების შერჩევა საქართველოში მათი შემდგომი დანერგვის მიზნით;
- CCS - ტექნოლოგიის პრაქტიკული რეალიზების ეკონომიკური ასპექტების შესწავლა და ანალიზი.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე

გამოკვლევული და გაანალიზებულია კლიმატის ცვლილების დრევანდელი მდგომარეობა მსოფლიო მასშაბით. ნაჩვენებია, რომ უახლოეს მომდევნო ათწლეულებში პლანეტის მოსახლეობის რაოდენობის გაზრდა და მისი კეთილდღეობის დონის ამაღლება გამოიწვევს ენერჯიაზე და, შესაბამისად, ორგანულ სათბობზე მსოფლიო მოთხოვნილების 40-50%-იან ზრდას;

დადგენილია, რომ ორგანული სათბობის მოხმარების ზრდასთან ერთად გაიზრდება მისი წვის შედეგად ატმოსფეროში გამობოლქვილი ნახშირორჟანგის (CO₂) კონცენტრაციაც, რომლის მინიმალური დონე დღეისათვის 400 ppm-ს, ანუ 852 მლრდ ტონას აღწევს;

დადგენილია, რომ თუ 2050 წლისათვის ნახშირორჟანგის ემისიის 80-95%-ით შემცირების მიზნით, დაუყოვნებლივ არ დაიწყება მაღალეფექტური ტექნოლოგიების დანერგვა და ენერგოდამზოგი ღონისძიებების პრაქტიკული რეალიზება, ის საუკუნის ბოლოს 550-560 ppm-ს მიაღწევს და ეკოლოგიური კატასტროფა გარდაუვალი გახდება;

შემოთავაზებულია ნახშირორჟანგის ემისიის დონის განსაზღვრის მეთოდოლოგია და ნახშირორჟანგის წლიური ემისიის გამოსათვლელი ფორმულები როგორც სათბობის ელემენტარული შედგენილობის, ისე „ნახშირორჟანგის ემისიის ფაქტორის“ მიხედვით;

დადგენილია, რომ ცდომილება სათბობის ელემენტარული შედგენილობისა და „ნახშირორჟანგის ემისიის ფაქტორის“ მიხედვით გამოთვლილ ნახშირორჟანგის ემისიებს შორის, არ აღემატება 2%-ს, რაც საინჟინრო-ტექნიკური გამოთვლებისათვის შემოთავაზებული კორელაციების გამოყენების საიმედოობის გარანტიას იძლევა;

გაანალიზებულია გასულ, 2016 წელს საქართველოში ტრანსპორტირებული ბუნებრივი გაზის სტატისტიკური და ტექნიკური მონაცემები; განსაზღვრულია საქართველოში 2016 წელს მოხმარებული ბუნებრივი გაზის წვის შედეგად წარმოქმნილი ნახშირორჟანგის ემისიის სიდიდე;

შესწავლილია კლიმატის ცვლილებაზე ნახშირორჟანგის (CO₂) ზემოქმედების შერბილების თანამედროვე მეთოდები და ტექნოლოგიები.

დადგენილია, რომ მსოფლიოს წამყვან ქვეყნებში განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა ტექნოლოგიას „Carbon capture and storage (CCS)“ რომელიც ითვალისწინებს სათბობის წვის აირადი ნაწარმიდან (CO₂)-ის ჩაჭერას, მის შემდგომ გათხევადებას და შენახვას დედამიწის გეოლოგიურ ფორმირებებში;

დადგენილია, რომ (CCS) ტექნოლოგიის ყველაზე მეტად გავრცელებული მეთოდია ნახშირორჟანგის ჩაჭერა ორგანული სათბობის წვის შემდეგ, რომელიც ქიმიური ადსორბციის პროცესს ეფუძვნება და გამოირჩევა მაღალი ეფექტურობით (85-95%), ხოლო ნახშირორჟანგის შენახვის ობიექტად, შეიძლება გამოყენებულ იქნას მთელ მსოფლიოში გავრცელებული დედამიწის გეოლოგიური ფორმირებები.

შესწავლილია CCS - ტექნოლოგიის პრაქტიკული რეალიზების ეკონომიკური ასპექტები. დადგენილია, რომ მიუხედავად ამჟამად არსებული კოლოსალური თანხებისა განვითარებულ ქვეყნებში სამეცნიერო-კვლევითი და საცდელ-საკონსტრუქტორო სამუშაოების მიმდინარეობის ტემპები და ფართო მასშტაბები იძლევიან იმის საფუძველს, რომ უკვე 2020 წლისათვის დამატებითი ენერგომოხმარება ტექნოლოგიურ პროცესებზე და მასთან დაკავშირებული შესაბამისი ხარჯები მინიმუმამდე იქნება დაყვანილი.

ნაშრომის აპრობაცია

ნაშრომის ძირითადი დებულებები და შედეგები მოხსენების სახით წაკითხულ იქნა შემდეგ სემინარებზე, სესიებზე და სამეცნიერო-ტენიკური კონფერენციებზე: მე-3 საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“ (ქუთაისი 2015 წ.); IV საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია: „ენერგეტიკა - რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“ (ქუთაისი 2016 წ.); საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია (USAID, Governing for Growth in Georgia, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. „ახალგაზრდა ექსპერტების როლი საქართველოს ენერგეტიკული სექტორის განვითარებაში“ (თბილისი 2017 წ.); სტუდენტთა 84-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია (თბილისი 2017 წ.); სტუდენტთა ღია სამეცნიერო კონფერენცია „ენერგეტიკა და გარემო“ (თბილისი 2018 წ.).

ნაშრომის პუბლიკაცია

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი მასალები გამოქვეყნებულია ოთხ სამეცნიერო სტატიაში.

ნაშრომის მოცულობა და სტრუქტურა

ნაშრომის ტექსტი შედგება შესავლის, 8 თავისა და 50 დასახელების გამოყენებული ლიტერატურის ჩამონათვალისაგან. ნაშრომი მოცულობა შეადგენს 103 გვერდს 31 ცხრილებისა და 24 ნახაზების ჩათვლით.

სამუშაოს მოკლე შინაარსი

თავი პირველი. საქართველოს ეკონომიკისა და ენერგეტიკის სექტორების დღევანდელი მდგომარეობა და ენერგეტიკის ეროვნული სამიზნე მაჩვენებლები

ნაშრომის პირველი თავი ეძღვნება საქართველოს სახელმწიფო ენერგეტიკული სტრატეგიის მთავარ მიმართულებების განხილვას, რომლის მიზანია ქვეყნის ენერგოდამოუკიდებლობის ამაღლების სრულყოფა და იმპორტზე დამოკიდებულების შემცირება. განხილულია საქართველოს მთავრობის დადგენილებები, სახელმწიფო პროგრამები და მარეგულირებელი აქტები, მოცემულია ქვეყნის ძირითადი ეკონომიკური მაჩვენებლები და ელექტროენერჯის მოხმარების დინამიკა, ადგილობრივი ენერგეტიკული რესურსების მაქსიმალურად გამოყენების შესაძლებლობები და ენერგოეფექტურობის ამაღლების გზები.

თავი მეორე. საქართველოს მრეწველობის, საყოფაცხოვრებო და ენერგეტიკის სექტორებში ნახშირორჟანგის (CO₂) ემისიის შემცირების ორგანიზაციული და ტექნოლოგიური ღონისძიებები

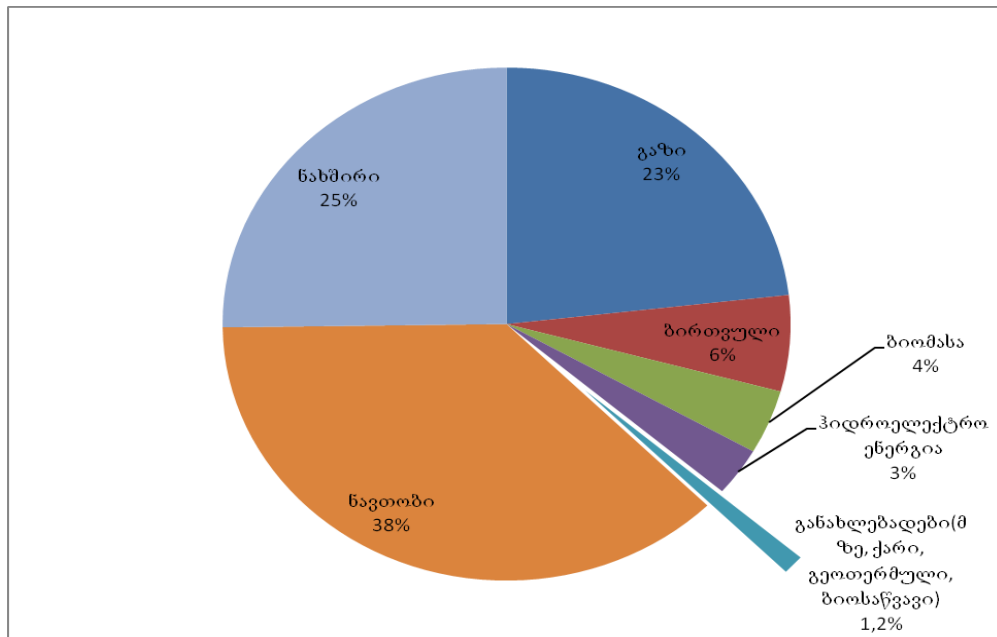
ნახშირორჟანგის (CO₂) ემისიის შეზღუდვა ატმოსფეროში და კლიმატის ცვლილების სიჩქარის შემცირება უშუალოდ არის დაკავშირებული ენერგეტიკის, მრეწველობის და საყოფაცხოვრებო სექტორებში სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების რაციონალურად გამოყენებასთან, მაღალეფექტური ტექნოლოგიების დანერგვასა და ენერგოდამზოგი ღონისძიებების პრაქტიკულ რეალიზებასთან.

მეორე თავი მთლიანად ეძღვნება აღნიშნულ სექტორებში ნახშირორჟანგის (CO₂) ემისიის შეზღუდვის შესაძლო ორგანიზაციული და ტექნოლოგიური ღონისძიებების განხილვას და გაანალიზებას.

თავი მესამე. კლიმატის ცვლილების დღევანდელი მდგომარეობა

ნაშრომის მესამე თავი ეძღვნება კლიმატის ცვლილების გამომწვევი ძირითადი მიზეზების შეფასებას, მსოფლიოში კლიმატის ცვლილების არსებული მდგომარეობის შესწავლას და ამ გლობალური პრობლემის გადაჭრის ძირითადი მიზნების დადგენას.

კლიმატის ცვლილების გამომწვევი ძირითადი მიზეზი ატმოსფეროში ორგანული სათბობის წვის შედეგად მიღებული ნახშირორჟანგის (CO₂) დიდი რაოდენობით დაგროვებაა. მომდევნო ათწლეულებში პლანეტის მოსახლეობის რაოდენობის გაზრდა და მისი კეთილდღეობის დონის ამაღლება გამოიწვევს ენერგიაზე მსოფლიო მოთხოვნილების 40-50%-იან ზრდას. ენერჯის ძირითად წყაროდ ამ წლების მანძილზე კვლავ დარჩება ორგანული სათბობი (ქვანახშირი, ნავთობი და გაზი), რომლის წილი მსოფლიო ენერგოგენერაციაში დღეისათვის 85%-ს აღწევს (ნახ.1.)



ნახ.1. სხვადასხვა ენერჯის წყაროების მიერ ენერგოგენერაციის პროცენტული განაწილება

ორგანული სათბობის მოხმარების ზრდასთან ერთად იზრდება მისი წვის შედეგად ატმოსფეროში გამობოლქვილი ნახშირორჟანგის (CO₂)

კონცენტრაციაც, რომელმაც დღეისათვის შემაშფოთებელ დონეს მიღწია და შეუქცევადად აგრძელებს ზრდას. სკრიპსის (აშშ) ოკეანეგრაფიის ინსტიტუტის მეცნიერთა ინფორმაციით 2016 წელს ატმოსფერულ ჰაერში ნახშირორჟანგის მინიმალური დონეც კი არ დაწეულა 0.04%-ზე, ანუ 400 მემილიონედ ნაწილზე (ppm-ზე) დაბლა (ყოველ ერთ მილიონ ლიტრ ატმოსფერულ ჰაერში არის 400 ლიტრი CO₂). დადგენილია, რომ ერთი მემილიონერი ნაწილი (ppm) პირობითად 2,13 მლრდ ტონა ნახშირორჟანგს უტოლდება, რაც იმას ნიშნავს, რომ დღეისათვის ატმოსფეროში 852 მლრდ ტონა ნახშირორჟანგია. აღსანიშნავია, რომ უკანასკნელი 800 ათასი წლის მანძილზე ჰაერში ნახშირორჟანგის კონცენტრაციის ნიშნული არ ასცილებია 300 ppm -ს (ნახ.2.).

ბოლო 50 წლის განმავლობაში CO₂-ის კონცენტრაცია ატმოსფეროში ყოველწლიურად 1.6-2.0 ppm-ით იზრდება და მსოფლიო ეკონომიკის განვითარების ტემპების შემცირების შემთხვევაშიც კი, 2050 წლისთვის 500 ppm -ს გადააჭარბებს, ხოლო საუკუნის ბოლოს 550-560 ppm -ს მიაღწევს.



ნახ. 2. ნახშირორჟანგის კონცენტრაციის დონე ატმოსფეროში (© climate.nasa.gov)

ნახშირორჟანგის აღნიშნული კონცენტრაცია (550-560 ppm) გამოიწვევს 7⁰C-ით გლობალურ დათბობას, რაც კლიმატისა და ბიოსფეროს ცვლილებასთან, მთელი მსოფლიოს მასშტაბით სასოფლო-სამეურნეო ზონების რადიკალურ ძვრებთან, კონტინენტური ყინულების დიდ ნაწილის დნობასთან და სხვადასხვა ქვეყნის ტერიტორიების მასიურ დატბორვასთან არის დაკავშირებული.

შექმნილი სიტუაცია მოითხოვს ურთიერთგამორიცხავი გლობალური პრობლემის გადაჭრას - 2050 წლისთვის 80-95%-ით შემცირდეს CO₂-ის კონცენტრაციის დონე ატმოსფეროში, მაშინ, როდესაც პლანეტის მოსახლეობა განუხრელად ცდილობს გაიუმჯობესოს თავისი ცხოვრების დონე, რაც უშუალოდაა დაკავშირებული ორგანული სათბობის მოხმარებისა და შესაბამისად, ნახშირორჟანგის ემისიის ზრდასთან.

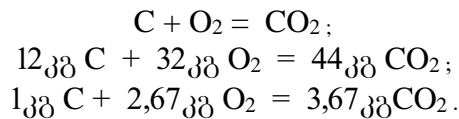
თავი მეოთხე. ნახშირორჟანგის ემისიის განსაზღვრის მეთოდოლოგია თბოელექტროსადგურები

თბოელექტროსადგურებში (თეს-ში), როგორც ელექტროენერჯის გენერაციის ძირითად სექტორში, ნახშირორჟანგის ემისიის შემცირების მნიშვნელოვანი პოტენციალი არსებობს. მაგრამ, ატმოსფეროზე მავნე ნივთიერებების გავლენის შემცირების მიზნით სათანადო ორგანიზაციული და ტექნოლოგიური ღონისძიებების გატარებამდე, აუცილებელია ნახშირორჟანგის ემისიების განსაზღვრის მეთოდოლოგიის შემუშავება და თესების მუშაობის რეჟიმების დადგენა.

ნახშირორჟანგის ემისია თბოელექტროსადგურებში განისაზღვრება აქ მოხმარებული სათბობის წლიური ხარჯის მიხედვით, რომელიც, თავის მხრივ, დამოკიდებულია თესების მუშაობის მახასიათებელ ძირითად პარამეტრებზე (თესის სიძლავრე, მისი მქ კოეფიციენტი და მუშაობის

ხანგრძლივობა) და ერთეული მასის ან მოცულობის ორგანული სათბობის სრული წვის დროს მიღებული ნახშირორჟანგის რაოდენობაზე.

სათბობის საწვავი ელემენტების დაჟანგვის პროცესის სტექიომეტრიული რეაქციების შესაბამისად ნახშირბადის ნახშირორჟანგად დაჟანგვისას ადგილი ექნება შემდეგი სახის მატერიალურ ბალანსს:



სადაც, 12 და 32 შესაბამისად, ნახშირბადისა და ჟანგბადის მოლეკულური წონებია. მაშასადამე, 1 კგ ნახშირბადის დასაწვავად საჭიროა 2.67 კგ ჟანგბადი და მიიღება 3.67 კგ ნახშირორჟანგი. ამის საფუძველზე, შეიძლება წარმოვადგინოთ ერთეული მასის მყარი ან თხევადი სათბობის სრული წვის დროს მიღებული ნახშირორჟანგის კუთრი რაოდენობის (კგ/კგ) გამოსათვლელი ფორმულა:

$$M_{CO_2} = 3.67 \cdot C / 100 = 0.0367 \cdot C, \quad (1)$$

სადაც, C ნახშირბადის პროცენტული შემცველობაა მყარი ან თხევადი სათბობის შემადგენლობაში.

ბუნებრივი აირის სრული წვის შემთხვევაში ნახშირორჟანგის კუთრი რაოდენობა (კგ/მ³) შეიძლება გამოითვალოს ფორმულით:

$$M_{CO_2} = 0.01 \cdot (CO_2 + \sum m C_m H_n) \cdot \rho_{CO_2}, \quad (2)$$

სადაც, CO₂ არის ბუნებრივი აირის მდგენელი ნახშირორჟანგის რაოდენობა, %; C_mH_n - ნახშირწყალბადების პროცენტული შემცველობა ბუნებრივი აირის შემადგენლობაში; ρ_{CO₂} = 1,966 კგ/მ³ – ნახშირორჟანგის სიმკვრივე.

როგორც (1) და (2) ფორმულებიდან ჩანს, ორგანული სათბობის სრული წვის შედეგად მიღებული ნახშირორჟანგის რაოდენობა სათბობის ელემენტარული შედგენილობის მიხედვით გამოითვლება. ელემენტარული შედგენილობით გამოითვლება, აგრეთვე, სათბობის თბოუნარიანობა ანუ

დაწვის სითბო, კჯ/კგ (კჯ/მ³) და „სათბობის ენერგეტიკული პოტენციალი“, კვტ.სთ/კგ (კვტ.სთ/მ³). მარტივი გარდაქმნების შედეგად შეგვიძლია დავადგინოთ როგორც ნახშირორჟანგის კუთრი რაოდენობის, ისე ე.წ. „ნახშირორჟანგის ემისიის ფაქტორის“ (ერთ კვტ.სთ-ზე დაყვანილი ნახშირორჟანგის რაოდენობა, კგCO₂/კვტ.სთ) უშუალო დამოკიდებულება სათბობის ენერგეტიკულ პოტენციალზე.

ცხრილში 1 მოცემულია „ნახშირორჟანგის ემისიის ფაქტორის“ მნიშვნელობა სხვადასხვა თბოუნარიანობისა და ელემენტარული შედგენილობის ქვანახშირებისათვის, ხოლო ცხრილში 2 - სხვადასხვა თბოტექნიკური მახასიათებლების მქონე ბუნებრივი აირებისათვის.

ცხრილი 1.

„ნახშირორჟანგის ემისიის ფაქტორის“ დამოკიდებულება ქვანახშირების თბოუნარიანობასა და ელემენტარულ შედგენილობაზე“

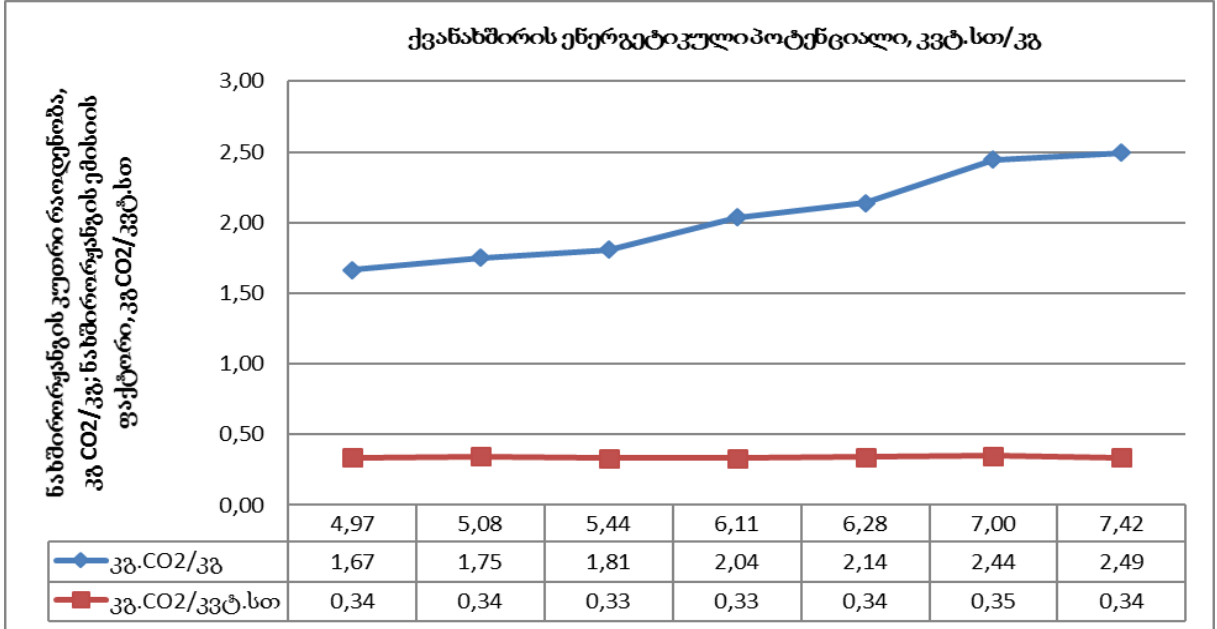
№	ენერგეტიკული პოტენციალი		ელემენტარული შედგენილობა, %							ნახშირორჟანგი (CO ₂)		
	კჯ/კგ	კვტ.სთ/კგ	C	H	O	N	S	A	W	მ ³ /კგ	კგ/კგ	კგ/კვტ.სთ
1	17900	4,972	45,4	3,5	8,9	0,9	1,3	27	13,0	0,85	1,67	0,34
2	18300	5,083	47,7	3,2	8,8	1,3	2,6	25,4	11,0	0,89	1,75	0,34
3	19600	5,444	49,3	3,6	8,3	1,0	3,0	21,8	13,0	0,92	1,81	0,33
4	22000	6,111	55,5	3,7	7,5	0,9	2,6	19,7	10,1	1,04	2,04	0,33
5	22600	6,278	63,8	1,2	1,3	0,6	1,7	22,9	8,5	1,19	2,34	0,35
6	25200	7,000	66,6	2,6	1,5	1,0	2,4	20,9	5,0	1,24	2,44	0,35
7	26700	7,417	67,9	4,7	8,8	0,8	0,6	9,2	8,0	1,27	2,49	0,34

ცხრილი 2

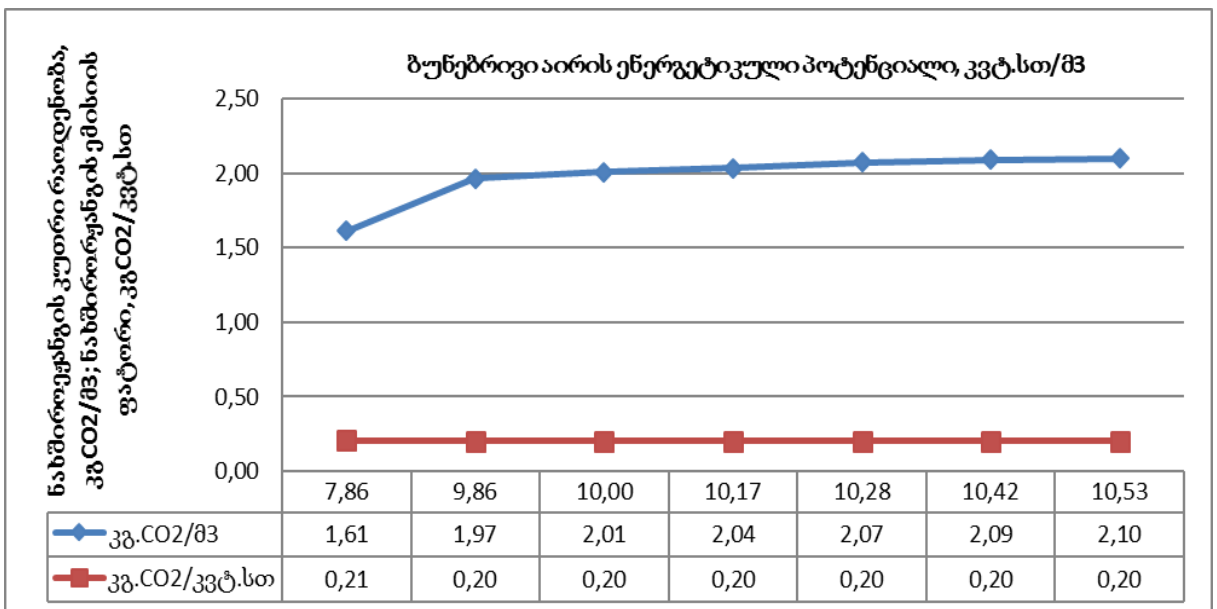
„ნახშირორჟანგის ემისიის ფაქტორის“ დამოკიდებულება ბუნებრივი აირის თბოუნარიანობასა და ელემენტარულ შედგენილობაზე

№	ენერგეტიკული პოტენციალი		ელემენტარული შედგენილობა, %							ნახშირორჟანგი CO ₂		
	კჯ/მ ³	კვტ.სთ/მ ³	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₃ H ₆	C ₄ H	C ₅ H ₁₂	N ₂	CO ₂	მ ³ /მ ³	კგ/მ ³	კგ/კვტ.სთ
1	28300	7,861	62,4	3,6	2,6	0,9	0,2	30,2	0,1	0,821	1,612	0,205
2	35500	9,861	95,6	0,7	0,4	0,2	0,2	2,8	0,1	1,001	1,966	0,199
3	36000	10,000	93,8	2,0	0,8	0,3	0,1	2,6	0,4	1,023	2,009	0,200
4	36600	10,167	92,8	2,8	0,9	0,4	0,1	2,5	0,5	1,037	2,037	0,200
5	37000	10,278	91,2	3,9	1,2	0,5	0,1	2,6	0,5	1,056	2,074	0,201
6	37500	10,417	93,8	3,6	0,7	0,2	0,4	0,7	0,6	1,065	2,092	0,200
7	37900	10,528	94,1	3,1	0,6	0,2	0,8	01.	0	1,069	2,100	0,199

ნახშირორჟანგის კუთრი რაოდენობისა და „ნახშირორჟანგის ემისიის ფაქტორის“ დამოკიდებულება სხვადასხვა შედგენილობის მყარი და აირადი სათბობების ენერგეტიკულ პოტენციალზე ნაჩვენებია ნახ.1 და 2-ზე.



ნახ.3 ნახშირორჟანგის კუთრი რაოდენობისა და ნახშირორჟანგის „ემისიის ფაქტორის“ დამოკიდებულება სხვადასხვა შედგენილობის მყარი სათბობის ენერგეტიკულ პოტენციალზე



ნახ.4 ნახშირორჟანგის კუთრი რაოდენობისა და „ნახშირორჟანგის ემისიის ფაქტორის“ დამოკიდებულება სხვადასხვა შედგენილობის აირადი სათბობის ენერგეტიკულ პოტენციალზე

როგორც გრაფიკებიდან ჩანს, მიუხედავად ნახშირორჟანგის კუთრი რაოდენობის ცვლილებისა, „ნახშირორჟანგის ემისიის ფაქტორი“ ფაქტიურად არა არის დამოკიდებული სათბობის შედგენილობაზე და განისაზღვრება მხოლოდ სათბობის აგრეგატული მდგომარეობით. კერძოდ, მყარი სათბობისათვის მის საშუალო მნიშვნელობად შეგვიძლია მივიჩნიოდ $m_{CO_2}=0,343$ კგ $CO_2/კვტ.სთ$, ხოლო ბუნებრივი აირისათვის - $m_{CO_2}= 0,201$ კგ $CO_2/კვტ.სთ$.

მოქმედ თეს-ებში, როდესაც ცნობილია მათი მუშაობის მახასიათებელი ძირითადი პარამეტრები (სიმძლავრე, მუშაობის წლიური ხანგრძლივობა, მქ კოეფიციენტის მნიშვნელობა) და სათბობის თბოტექნიური მახასიათებლები (თბოუნარიანობა, ელემენტარული შედგენილობა), ნახშირორჟანგის წლიური ემისიის გამოსათვლელად გთავაზობთ ფორმულას:

$$G_{CO_2} = (3,6 \cdot N_{თეს} \cdot \tau_{თეს} \cdot M_{CO_2}) / (Q_{სათ} \cdot \eta_{თეს}), \quad (3)$$

სადაც, G_{CO_2} არის ნახშირორჟანგის წლიური ემისია, ტ/წ; $N_{თეს}$ —თესის სიმძლავრე, მგვტ; $\tau_{თეს}$ —თესის მუშაობის წლიური ხანგრძლივობა, სთ/წ; M_{CO_2} – სათბობის სრული წვის დროს მიღებული ნახშირორჟანგის კუთრი რაოდენობა, კგ/კვ (კგ/მ³), რომლის მნიშვნელობა გამოითვლება (1) და (2) ფორმულებით; $Q_{სათ}$ —სათბობის თბოუნარიანობა, მჯ/კვ ან მჯ/მ³; $\eta_{თეს}$ —თესის მქ კოეფიციენტი.

სათბობის ტექნიკური მახასიათებლების შესახებ იმფორმაციის არ არსებობის შემთხვევაში, ნახშირორჟანგის წლიური ემისიის გამოთვლელად გთავაზობთ ფორმულებს: ქვანახშირისათვის

$$G_{CO_2} = (0,343 \cdot N_{თეს} \cdot \tau_{თეს}) / \eta_{თეს} \quad (4)$$

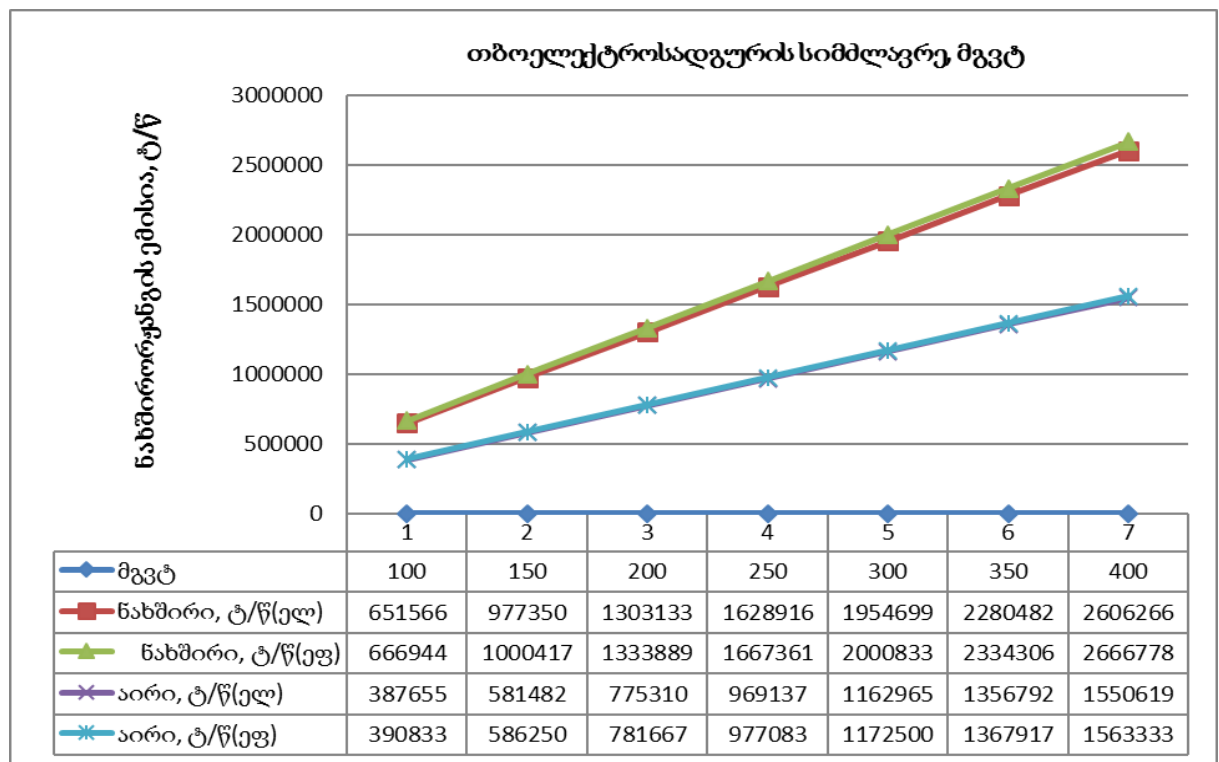
ბუნებრივი აირისათვის

$$G_{CO_2} = (0,201 \cdot N_{თეს} \cdot \tau_{თეს}) / \eta_{თეს} \quad (5)$$

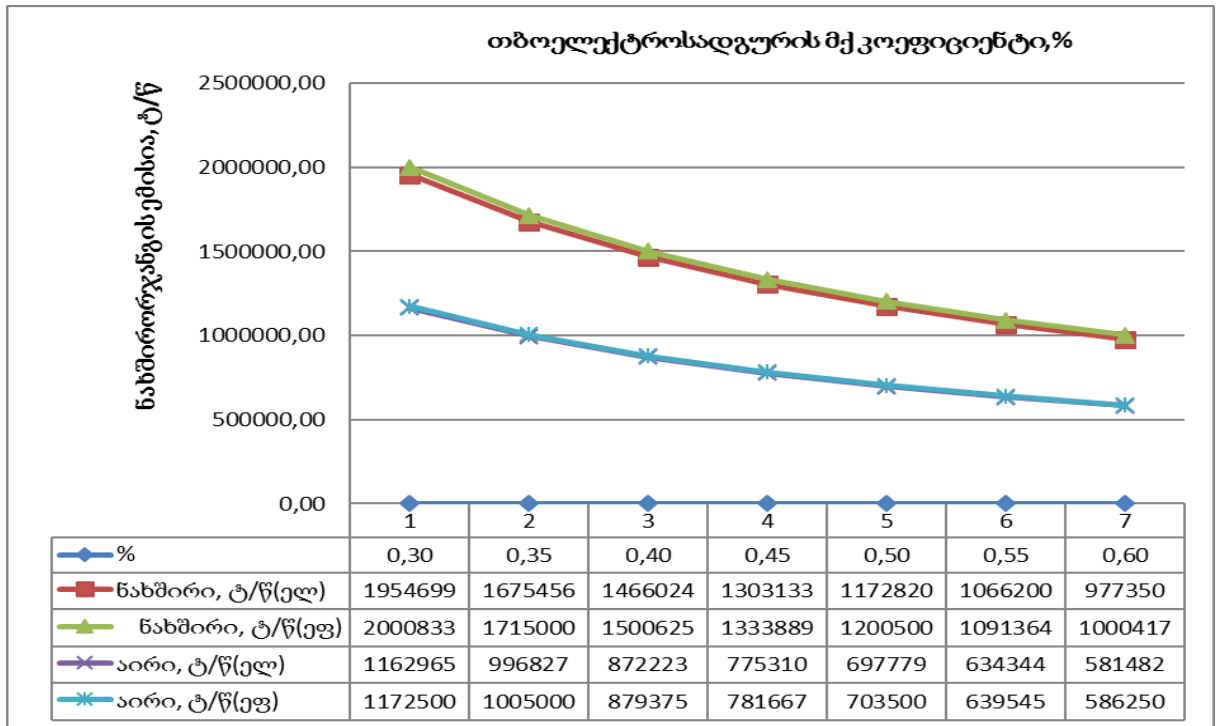
სადაც, G_{CO_2} არის ნახშირორჟანგის წლიური ემისია, $ტCO_2/წ$; $N_{თეს}$ - თესის სიმძლავრე, მგვტ; $\tau_{თეს}$ –თესის მუშაობის წლიური ხანგრძლივობა, სთ/წ; $0,343 კგCO_2/კვტ.სთ$ - „ნახშირორჟანგის ემისიის ფაქტორი“ ქვანახშირისათვის; $0,201 კგCO_2/კვტ.სთ$ „ნახშირორჟანგის ემისიის ფაქტორი“ ბუნებრივი აირისათვის.

როგორც უკვე ავღნიშნეთ, ნახშირორჟანგის ემისია თბოელექტროსადგურებში დამოკიდებულია მის სიმძლავრეზე, მქ კოეფიციენტსა და მუშაობის ხანგრძლივობაზე. კერძოდ, თესის სიმძლავრისა და მუშაობის ხანგრძლივობის გაზრდით ემისია მატულობს, ხოლო მქ კოეფიციენტის გაზრდით - კლებულობს.

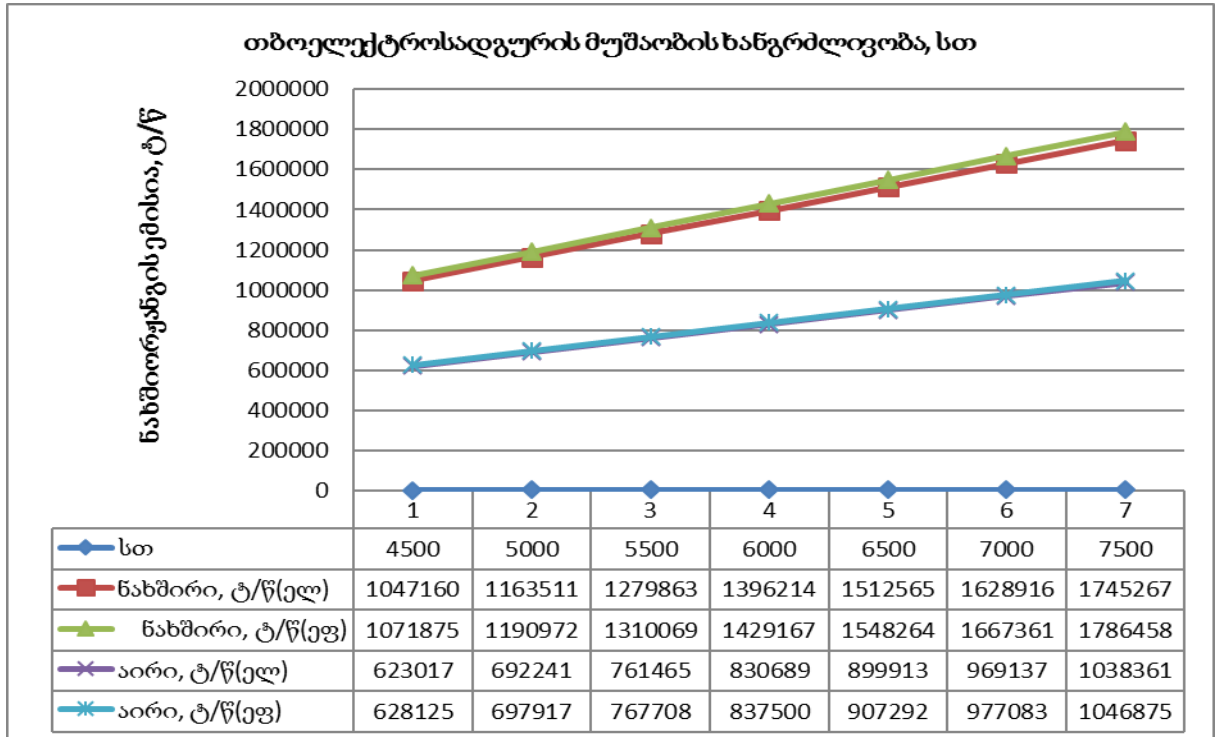
(3), (4) და (5) ფორმულებით გამოთვლილი ნახშირორჟანგის ემისიის დამოკიდებულება თეს-ის სიმძლავრეზე, მის მქ კოეფიციენტზე და მუშაობის ხანგრძლივობაზე, მოცემულია გრაფიკებზე (ნახ.3; ნახ.4 და ნახ.5).



ნახ.5 ნახშირორჟანგის ემისიის დამოკიდებულება თესის სიმძლავრეზე სათბობის ელემენტარული შედგენილობისა, ტ/წ(ელ) და „ნახშირორჟანგის ემისიის ფაქტორის“, ტ/წ(ეფ) მიხედვით



ნახ. 6. ნახშირორჟანგის ემისიის დამოკიდებულება თესის მქ კოეფიციენტზე სათბობის ელემენტარული შედგენილობისა, ტ/წ(ელ) და „ნახშირორჟანგის ემისიის ფაქტორის“ ტ/წ(ევ) მიხედვით



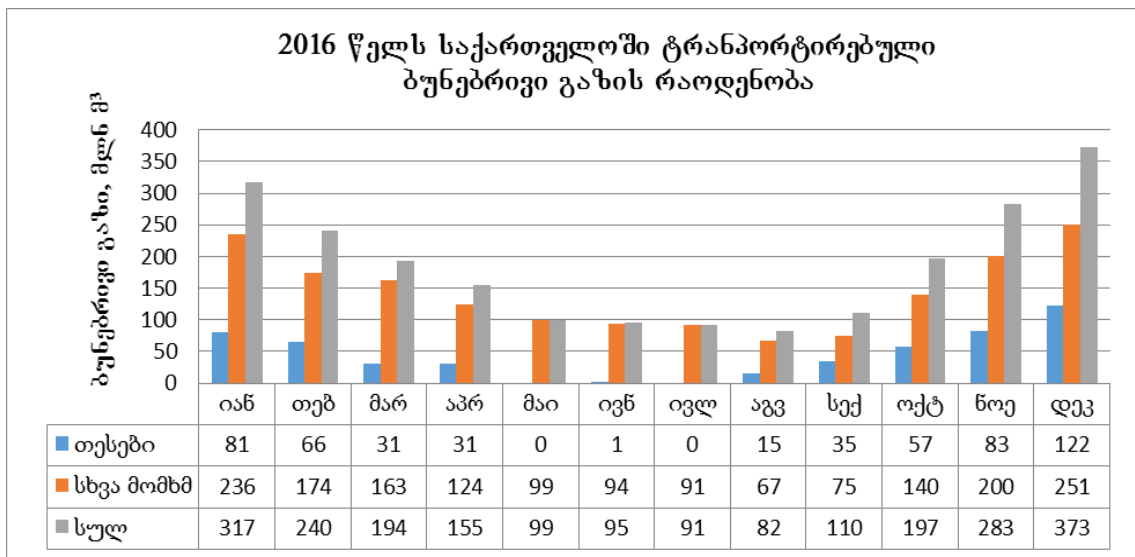
ნახ. 7. ნახშირორჟანგის ემისიის დამოკიდებულება თესის მუშაობის ხანგრძლივობაზე სათბობის ელემენტარული შედგენილობისა, ტ/წ(ელ) და „ნახშირორჟანგის ემისიის ფაქტორის“ ტ/წ(ევ) მიხედვით

როგორც გრაფიკებიდან ჩანს, ცდომილება ერთის მხრივ, სათბობის ელემენტარული შედგენილობის, ხოლო მეორეს მხრივ, „ნახშირორჟანგის ემისიის ფაქტორის“ მიხედვით გამოთვლილ ნახშირორჟანგის ემისიებს შორის, არ აღემატება 2%-ს, რაც საინჟინრო-ტექნიკურ გამოთვლებისათვის (4) და (5) ფორმულების გამოყენების საიმედოობის საფუძველს იძლევა.

თავი მეხუთე. ნახშირორჟანგის (CO₂) ემისია საქართველოს ელექტროგენერაციისა და მრეწველობის სექტორებში

საქართველოსათვის ენერჯის ერთ-ერთი უმთავრესი წყარო ბუნებრივი გაზია, რომელიც აკმაყოფილებს ენერჯის საბოლოო მოხმარების 33%-ს. გასულ, 2016 წელს, საქართველოში ტრანსპორტირებული 2 236 მლნ მ3 ბუნებრივი გაზიდან, 522 მლნ მ3 მოხმარდა თბოელექტროსადგურებს, ხოლო 1 714 მ3 – სხვა დანარჩენ მომხმარებელს (საყოფაცხოვრებო და არასაყოფაცხოვრებო მომხმარებლები და ავტოგაზგასამართი სადგურები) [5

საქართველოში ტრანსპორტირებული ბუნებრივი გაზის რაოდენობა 2016 წლის თვეების მიხედვით მოცემულია ნახ.8-ზე.

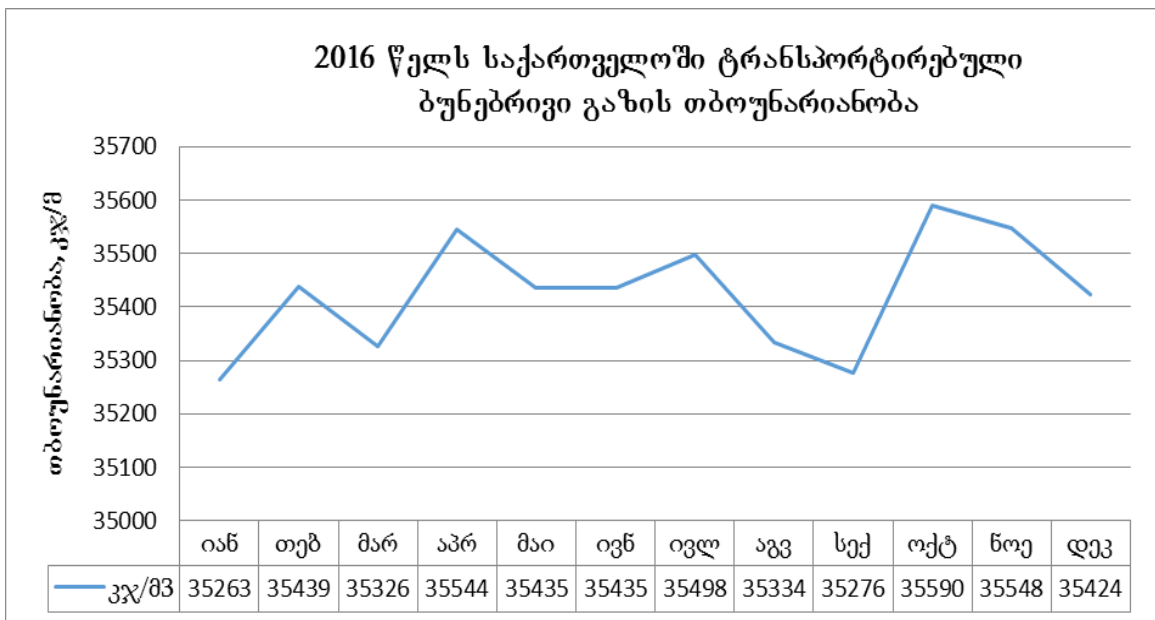


ნახ. 8. საქართველოში ტრანსპორტირებული ბუნებრივი გაზის რაოდენობა 2016 წლის თვეების მიხედვით

როგორც ნახ. 8-ზე მოცემული გრაფიკიდან ჩანს, საქართველოში მოქმედ თბოელექტროსადგურებში ნახშირორჟანგის ემისიის შემცირების მნიშვნელოვანი პოტენციალი არსებობს.

ატმოსფეროში გამობოლქვილი ნახშირორჟანგის (CO₂) ემისიაზე, გარდა ბუნებრივი გაზის რაოდენობისა, გადამწყვეტ გავლენას ახდენს მისი ხარისხიც (დაწვის სითბო ანუ თბოუნარიანობა). დღეს მოქმედი კანონმდებლობის მიხედვით, ბუნებრივი გაზის ხარისხი განსაზღვრულია სახელმწიფოთაშორისი სტანდარტით GOCT 5542-87, რომლის თანახმად მისი მინიმალური დასაშვები თბოუნარიანობა შეადგენს 31 844 კჯ/მ³-ს (7600 კკალ/მ³) სტანდარტულ პირობებში.

საქართველოში 2016 წელს იმპორტირებული გაზის ფაქტობრივი საშუალო თბოუნარიანობა თვეების მიხედვით მოცემულია ნახ.9-ზე



ნახ.9 საქართველოში იმპორტირებული ბუნებრივი გაზის საშუალო თბოუნარიანობა 2016 წლის თვეების მიხედვით

ნახ.9-ზე მოცემული გრაფიკიდან ჩანს, რომ საქართველოს ბუნებრივი გაზის ტრანსპორტირების სისტემაში 2016 წელს მიღებული ბუნებრივი გაზის მაქსიმალური და მინიმალური კალორიულობის ყოველთვიურ მაჩვენებლებს შორის განსხვავება მინიმალურია და არ აღემატება 1%-ს.

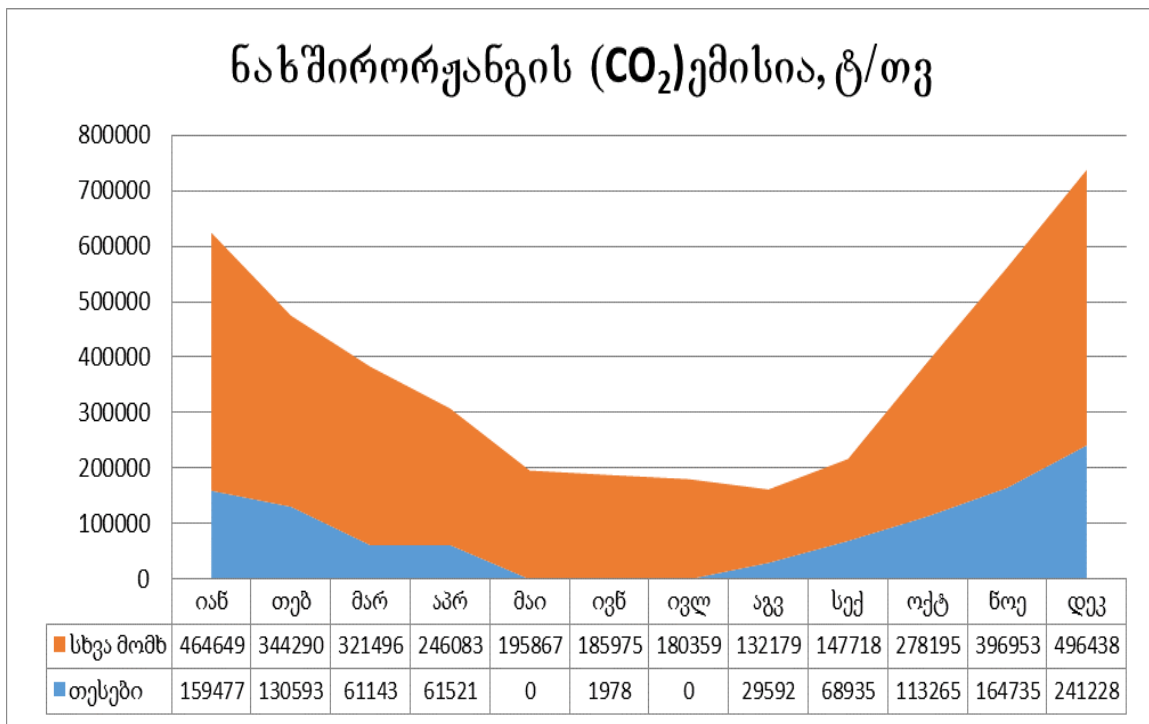
ამიტომ თბოუნარიანობის საშუალო მნიშვნელობად შეგვიძლია მივიჩნიოთ 35 425 კჯ/მ³.

როდესაც ცნობილია ბუნებრივი გაზის ყოველთვიური ხარჯი და მისი ენერგეტიკული პოტენციალისა და „ნახშირორჟანგის ემისიის ფაქტორის“ მნიშვნელობები, ნახშირორჟანგის ემისიის გამოსათვლელად შეიძლება გამოვიყენოთ ფორმულა:

$$G_{CO_2} = m_{CO_2} \cdot B_{სათ} \cdot q_{სათ} = 0.201 \cdot B_{სათ} \cdot q_{სათ} \quad (6)$$

სადაც, G_{CO_2} არის ნახშირორჟანგის ყოველთვიური ემისია, კგCO₂/თვ; m_{CO_2} = 0,201 კგCO₂/კვტ.სთ – ეწ. „ნახშირორჟანგის ემისიის ფაქტორი“ ბუნებრივი გაზისათვის; $B_{სათ}$ – ბუნებრივი გაზის ყოველთვიური ხარჯი, მ³/თვ; $q_{სათ}$ – ბუნებრივი გაზის ენერგეტიკული პოტენციალი, კვტ.სთ/მ³.

საქართველოში იმპორტირებული ბუნებრივი გაზის წვის შედეგად ატმოსფეროში გამობოლქვილი ნახშირორჟანგის ემისია 2016 წლის თვეების მიხედვით მოცემულია ნახ.3-ზე.



ნახ.10. საქართველოში იმპორტირებული ბუნებრივი გაზის წვის შედეგად წარმოქმნილი ნახშირორჟანგის ემისია 2016 წლის თვეების მიხედვით

ნახ.10-ზე წარმოდგენილი ყოველთვიური მონაცემების მიხედვით ადვილი გამოსათვლელია გასულ, 2016 წელს, საქართველოში მოხმარებული ბუნებრივი გაზის წვის შედეგად წარმოქმნილი ნახშირორჟანგის ემისიის სიდიდე, რომელიც 4,42 მლნ ტონას უტოლდება (აქედან 1,03 მლნ ტონა მოდის თბოელექტროსადგურებზე, ხოლო 3,39 მლნ ტონა – სხვა დანარჩენ მომხმარებელზე).

ნახშირორჟანგის მოსალოდნელი ემისია საქართველოს თესების მაქსიმალურად დატვირთული მუშაობის პირობებისათვის მოცემულია ცხრილში 3.

ცხრილი 3

ნახშირორჟანგის მოსალოდნელი ემისია საქართველოს თესებში

№	თესის სახელწოდება	სიმძლავრე მგვტ	მკვ %	მუშაობა სთ/წ	ემისიის ფაქტორი	CO ₂ -ის ემისია ტ/წ
1	„თბილსრესი №3“	150	33.0	7 000	0,201	640 000
2	„თბილსრესი №4“	150	33.0	7 000	0,201	640 000
3	„მტკვარი-ენერგეტიკა №9“	300	37.0	7 000	0,201	1 141 000
4	გარდაბნის თბოსადგური-1”	230	52.5	7 000	0,201	617 000
5	გარდაბნის თბოსადგური-1”	230	52.5	7 000	0,201	617 000
6	„მტკვარი-ენერგეტიკა №10“	300	35.0	7 000	0,343	2 100 000
სულ						5 755 000

როგორც ცხრილი 3-დან ჩანს, ნახშირორჟანგის მოსალოდნელმა ემისიამ, საქართველოს ელექტროგენერაციის სექტორში, თესების მაქსიმალური დატვირთვის დროს, შეიძლება მიაღწიოს 5,7 მლნ ტონას წელიწადში.

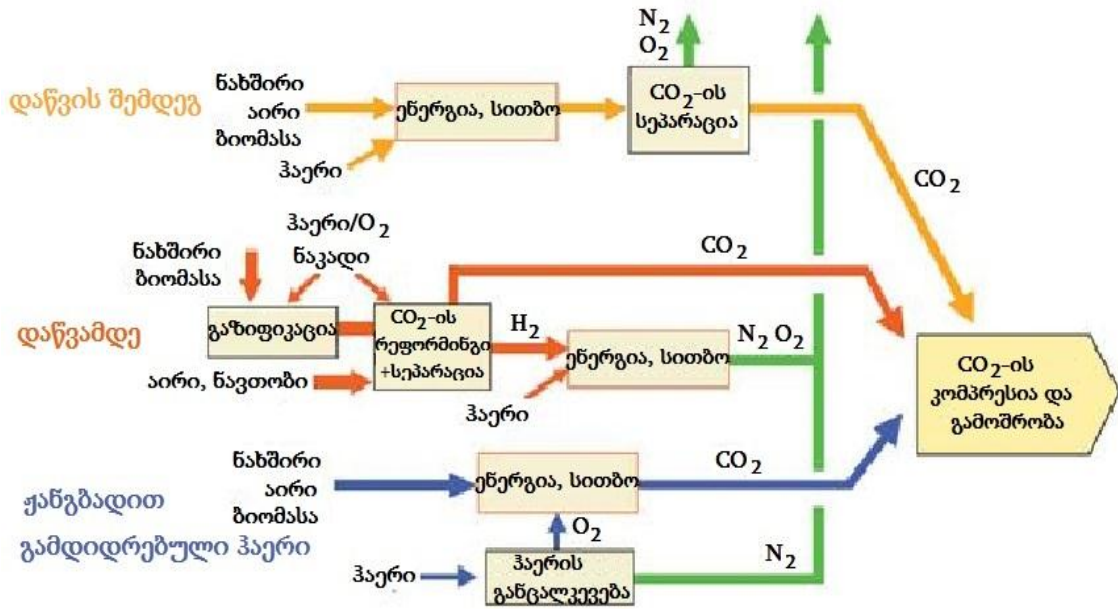
თავი მეექვსე. საქართველოს ელექტროგენერაციის სექტორში წარმოქმნილი ნახშირორჟანგის (CO₂) ჩაჭერის მეთოდები

ელექტროგენერაციის სექტორში ნახშირორჟანგის (CO₂-ის) წარმოქმნა ძირითადად ორგანული სათბობის წვასთან არის დაკავშირებული. ამიტომ, ნახშირორჟანგის გამონაბოლქვის შესამცირებლად მსოფლიოს წამყვან ქვეყნებში ფართოდ ინერგება ახალი მეთოდები და ტექნოლოგიები. ერთ-ერთი ტექნოლოგია – „Carbon capture and storage (CCS)“ – ითვალისწინებს

სათბობის წვის აირადი ნაწარმიდან (CO₂)-ის ჩაჭერას, მის შემდგომ გათხევადებას და შენახვას დედამიწის გეოლოგიურ ფორმირებებში.

არსებობს ნახშირორჟანგის ჩაჭერის სამი ძირითადი მეთოდი (ნახ. 4):

1. ჩაჭერა ორგანული სათბობის წვის შემდეგ;
2. ჩაჭერა ორგანული სათბობის წვამდე;
3. ჩაჭერა ჟანგბადით.



ნახ.11. ორგანული სათბობის წვის აირადი ნაწარმიდან ნახშირორჟანგის ჩაჭერის მეთოდები

დღეისათვის ყველაზე მეტად გავრცელებულ მეთოდათ ითვლება ნახშირორჟანგის ჩაჭერა ორგანული სათბობის წვის შემდეგ, რომელიც, თავის მხრივ, ეფუძვნება ქიმიური ადსორბციის პროცესს (სითხის ან მყარი სხეულის ზედაპირული შრის მიერ აირადი გარემოდან ან ხსნარიდან რომელიმე ნივთიერების შთანთქმა). ამ მეთოდის თანახმად, წვის აირად ნაწარმს ატარებენ საადსორბციო კომპლექსში (სვეტში), სადაც ე.წ გამხსნელი ნივთიერების (ადსორბენტის) ზედაპირული შრე შთანთქმავს წვის აირადი ნაწარმის მდგენელ CO₂-ს. ამის შემდეგ ადსორბენტი გადაყავთ სარეგენერაციო მოცულობაში,

სადაც ე.წ. დესორბციის პროცესში ხდება ადსორბირებული CO₂ გამოყოფა და ადსორბენტის რეგენერაცია, მისი მრავალჯერადი გამოყენების მიზნით.

დესორბციის პროცესის სიჩქარე დამოკიდებულია ტემპერატურაზე და მის განსახორციელებლად იყენებენ წყლის ორთქლს, ცხელ ჰაერს ან რომელიმე ინერტულ გაზს. ადსორბციის ოპტიმალური ტემპერატურაა 40°C, ხოლო დესორბციის - 110-120°C.

ქიმიური ადსორბციის მეთოდის დადებით მხარედ ითვლება ნახშირორჟანგის ჩაჭერის მაღალი ეფექტურობა, რომელიც 85-95%-ს შეადგენს და მისი დანერგვის შესაძლებლობა უკვე მოქმედ თბოელექტროსადგურებში აქ არსებული დანადგარების მოდერნიზაციის გარეშე, საკმარისია მხოლოდ ჩამჭერი სისტემის დამატება.

დღეისათვის ყველაზე გავრცელებულ ადსორბენტად ითვლება მონოეთანოლამინი (HO-CH₂CH₂-NH₂). ეს არის ძლიერი ტუტეთვისებების მქონე ორგანული ნაერთი, რომელიც მიიღება ამიაკის ან ამიაკის წყალხსნარის ეთილენის ჟანგთან შეერთებით.

ადსორბენტად შესაძლებელია პოტაშის ხსნარის (K₂CO₃) გამოყენებაც. ეს უკანასკნელი კვამლის აირებთან შეხების დროს შთანთქავს CO₂-ს, რასაც თან სდევს ბიკარბონატის წარმოქმნა ($K_2CO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow 2KHCO_3$), რომლის გაცხელების შემდეგ CO₂ უკან გამოიყოფა ($2KHCO_3 \rightarrow K_2CO_3 + CO_2 + H_2O$), ხოლო პოტაშის ხსნარი კვლავ იბრუნებს შთანთქმის უნარს.

გარდა აღწერილი ე.წ. „სითხიანი მეთოდისა“ არსებობს კვამლის აირებიდან CO₂-ის გამოყოფის „მშრალი მეთოდიც“. ამ შემთხვევაში ადსორბერად გამოყენებულია მყარი სორბენტის, შთანთქმელის ან კატალიზატორის უძრავი შრე, რომელიც პერიოდულად მოითხოვს რეგენერაციას ან შეცვლას.

კვამლის აირებიდან CO₂-ის გამოყოფის მესამე მეთოდი დაფუძნებულია მინარევების კონდენსაციაზე და დიფუზიურ პროცესებზე (თერმოდირფუზია, განცალკევება ფოროვანი ტიხრით).

ადსორბცია-დესორბციის პროცესი მოითხოვს დამატებით ენერგიას, რასაც თბოელექტროსადგურებში გამომუშავებული ენერჯისა და შესაბამისად, მისი მქ კოეფიციენტის შემცირება მოსდევს. მაგალითად, CO₂-ის გამოყოფის პროცესი მონოეთანოლამინის 15-30%-იანი წყალხსნარით, რომელიც 30 ატა-მდე წნევისა და 30-40°C ტემპერატურის პირობებში მიმდინარეობს, ყოველ 1000 ნმ³ აირზე მოითხოვს 0,05-0,5 კგ ამინს, 10 კვტ.სთ ელექტროენერჯისა და 300-დან 1000 კგ-მდე ორთქლს. ადსორბენტის რეგენერაცია პირობაა 120-130°C ტემპერატურა.

ენერგეტიკული დანაკარგების საკომპენსაციოდ შესაძლებელია მიღებული CO₂-ის შემდგომი რეალიზაცია. ამის მაგალითია ცხრილში 1 დასახელებული თბოელექტროსადგურები, სადაც უკვე ხორციელდება აღწერილი ტექნოლოგია და მიღებული ნახშიროჟანგის კომერციული მიზნებით გამოყენება.

ცხრილი 4

თბოელექტროსადგურები, სადაც ხორციელდება ნახშიროჟანგის სეპარაცია

№	თეს-ის სახელწოდება და მისი ადგილმდებარეობა	სიმძლავრე, მგვტ	მიღებული რაოდენობა ტ CO ₂ /დღელამე	CO ₂ -ის გამოყენება
1	Trona, California, USA	180	200	ცეცხლსაქრობისათვის
2	Shady Point, Oklahoma, USA	320	800	კვების პროდუქტების წარმოება

გარდა ცხრილში 4 დასახელებული ელექტროსადგურებისა, დღეისათვის მიმდინარეობს ინტენსიური საპროექტო და სამშენებლო სამუშაოები ნახშიროჟანგის სეპარაციის ადსორბციული ტექნოლოგიის სრულყოფის მიზნით. საპილოტო პროექტების სია მოცემულია ცხრილში 5.

ცხრილი 5

საპილოტო პროექტები ადსორბციის მეთოდის გამოყენებით

№	პროექტისა და მესაკუთრის დასახელება	დაგეგმილი სიმძლავრე, მგვტ	მიღებული ნახშიროჟანგის რაოდენობა, ათასი ტ/წ	სამუშაოების დაწყების დრო
1	Mountaineer; American Electric Power	20	110	2009
2	Northeastern; America Electric Power	200	1000	2012
3	Project Pioneer; TransAlta 200	200	1000	2012

კვამლის აირებიდან ნახშირორჟანგის სეპარაციის კიდევ ერთი ალტერნატიული მეთოდია სათბობის წვა ჟანგბადის არეში (გარემოში). ამ შემთხვევაში წვის ნაწარმი ძირითადად ნახშირორჟანგისა და წყლის ორთქლისაგან შედგება. ამასთან, სუფთა ჟანგბადის მიღება შესაძლებელია ჰაერგამყოფ დანადგარში ან რომელიმე ქიმიური რეაქციის შედეგად.

ევროკავშირის პროგრამა ETP ZEP (European Technology Platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants) ითვალისწინებს CO₂-ის გამოყოფას ჯერ კიდევ სათბობის წვის პროცესის დაწყებამდე, რასაც საფუძვლად უნდა დაედოს გაზიფიკაციის ტექნოლოგია IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle). ამ ტექნოლოგიის თანახმად სათბობის გაზიფიკაციის შედეგად მიღებული სინთეზური გაზიდან (syngas), რომელიც წყალბადის, ნახშირორჟანგისა და ნახშირორჟანგის ნარევის წარმოადგენს, შესაძლებელია CO₂-ის გამოყოფა და მისი შემდგომი გამოყენება. ამავე პროგრამის თანახმად, დაგეგმილია სადემონსტრაციო დანადგარების დაპროექტება და დანერგვა ევროკავშირის მიერ სპეციალურად გამოყოფილი ფონდების საშუალებით.

მიუხედავად განვითარებულ ქვეყნებში მიმდინარე ფართომასშტაბიანი სამეცნიერო-კვლევითი და საცდელ-საკონსტრუქტორო სამუშაოებისა, ნახშირორჟანგის სეპარაციის დღეისათვის არსებული ყველა მეთოდი და ტექნოლოგია მოითხოვს შემდგომ დახვეწას და ეკონომიკურ დასაბუთებას, რომელთა დასრულება 2020 წლისათვისაა გათვალისწინებული. ამასთან ერთად, მთელ რიგ მშენებარე და სამოდერნიზაციო ელექტროსადგურებს მიენიჭათ Capture-Ready-ის სტატუსი, რაც იმას ნიშნავს, რომ ეს სადგურები მზად არიან ჩაატარონ შესაბამისი რეკონსტრუქციები და ექსპლუატაციაში შეიყვანონ ინსტალაცია CCS (Carbon Capture and Storage, ანუ ნახშირორჟანგის ფიქსაცია და შენახვა).

Capture-Ready-ის სტატუსის მქონე ელექტროსადგურები უნდა აკმაყოფილებდნენ შემდეგ მოთხოვნებს:

- უნდა ფლობდნენ ტერიტორიას ჰაერგამყოფი დანადგარის (თუ გათვალისწინებულია CO₂-ის გამოყოფის ჟანგბადიანი წვის ტექნოლოგი), ორთქლის საკონვერსიო რეაქტორის (CO₂-ის წინასწარი გამოყოფის ტექნოლოგია) ან საადსორბციო კოშკის (CO₂-ის გამოყოფის ქიმიური ადსორბციის მეთოდი) დასამონტაჟებლად;
- ელექტროსადგურის სიმძლავრე დაახლოებით 15%-ით უნდა აღემატებოდეს მის პიკურ დატვირთვას დამატებითი ენერჯის უზრუნველსაყოფად;
- შემუშავებული უნდა იქნას სარეალიზაციო ნახშირორჟანგის დასაწყობების გეგმა.

Capture-Ready-ის სტატუსის მქონე მშენებარე ელექტროსადგურების ჩამონათვალი მოცემული ცხრილში 6.

ცხრილი 6

Capture-Ready-ის სტატუსის მქონე მშენებარე ელექტროსადგურები

№	დასახელება	დაგეგმილი სიმძლავრე, მგვტ	მიღებული ნახშირორჟანგის რაოდენობა, მლნ.ტ/წ	ექსპლუატაციაში გაშვების წელი
1	Karsto, Norwegia	420	1,2	2012
2	Rotterdam, Holandia	1070	5,6	2013
3	Kingsnorth, Wielka Brytania	300	3,0	2014
4	Saline Joniche, Włochy	1320	3,9	2015
5	Ferrybridge, Wielka Brytania	500	1,7	2015
6	Tilbury, Wielka Brytania	1600	9,6	2016

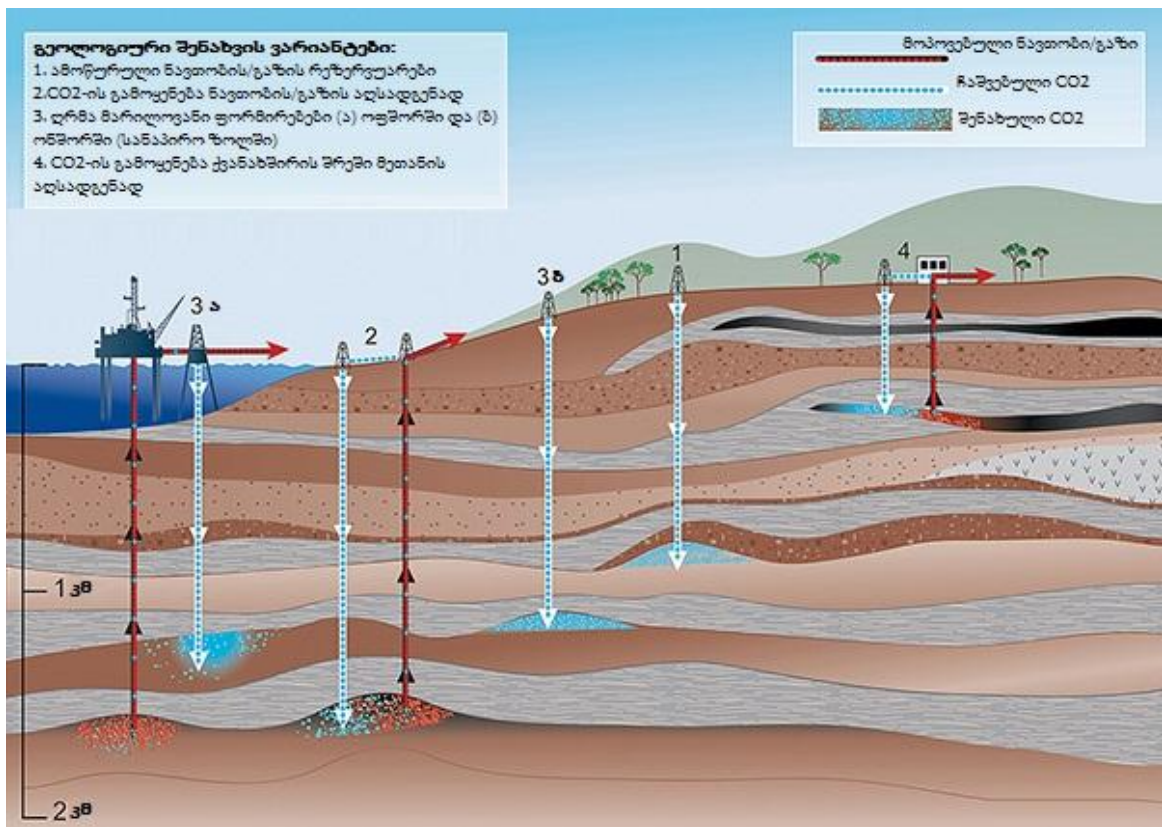
აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ნახშირორჟანგი ფართოდ გამოიყენება მრეწველობისა და აგროსამრეწველო კომპლექსის ყველა დარგში და ამიტომ მისი რეალიზაცია არ უნდა წარმოადგენდეს დიდ პრობლემას.

თავი მეშვიდე. თბოელექტროსადგურებში ჩაჭერილი ნახშირორჟანგის (CO₂) შენახვის მეთოდები

ნახშირორჟანგის იზოლაციის ტექნოლოგია მოიცავს კომპლექსურ ფიზიკურ და ქიმიურ პროცესებს – პირველ რიგში ნახშირორჟანგის ჩაჭერას ორგანული სათბობის წვის პროცესში წარმოქმნილი კვამლის

აირებიდან და მის გადატანას უსაფრთხო შენახვის ადგილზე მილსადენების ან სატრანსპორტო გემების საშუალებით.

ნახშირორჟანგის შენახვის ობიექტად, შეიძლება გამოყენებულ იქნას მთელ მსოფლიოში გავრცელებული დედამიწის გეოლოგიური ფორმირებები. შენახვის ადგილზე ტრანსპორტირების შემდეგ, ნახშირორჟანგი იტუმბება მიწისქვეშ არა ნაკლებ 800 მეტრის სიღრმეზე, სადაც გაზი ინახება თხევადი ფორმით, რაც ამცირებს მიწისქვეშა რეზერვუარისგან CO₂-ის გაჟონვის რისკს. ნახშირორჟანგის შენახვის ადგილის სწორი შერჩევის შემთხვევაში, გაჟონვის რისკი ძალიან დაბალია. სამეცნიერო კვლევა ადასტურებს, რომ ნახშირორჟანგის 99%-ზე მეტი შეიძლება უსაფრთხოდ შეინახოს მიწისქვეშა ათასობით წლის განმავლობაში (ნახ.12.).



ნახ. 12. დედამიწის გეოლოგიურ ფორმირებებში ნახშირორჟანგის დასაწყობისა და შენახვის შესაძლებლობები

გარდა ამისა, ათწლეულების შემდეგ და შემდეგ ასობით წლის განმავლობაში CO₂ თანდათანობით იხსნება მარილით გაჯერებულ მიწისქვეშა წყლებში. ხოლო ათასობით წლის შემდეგ, გეოლოგიურ ფორმირებაში შენახული ნახშირორჟანგი რეაქციაში შედის დედამიწის ქვეშ მყოფ მინერალებთან და თანდათანობით გადაიქცევა სტაბილური ქანებათ, მაგალითად, კირქვად.

დედამიწის გეოლოგიურ ფორმირებებში იგულისხმება მოპოვებული ნავთობისა და გაზის დაცარიელებულ მიწისქვეშა რეზერვუარები, მარილით გაჯერებულ მიწისქვეშა წყლოვან ჰორიზონტები, ქვანახშირის არასამრეწველო შახტები, ფორიან-წყლოვანი სტრუქტურები და ოლივინური სარტყლის გეოლოგიურ წარმონაქმნები. დადგენილია, რომ დედამიწის გეოლოგიური ფორმირებების ტევადობა საკმარისია კაცობრიობის მიერ არა თუ დღევანდელი, არამედ კიდევ ათეული ათასი წლის მანძილზე წარმოებული ნახშირორჟანგის ემისიის შესანახად.

ნახშირორჟანგის შესანახ ერთ-ერთ ყველაზე საიმედო და უსაფრთხო რეზერვუარად ითვლება მოპოვებული ნავთობისა და გაზის დაცარიელებულ მიწისქვეშა ფენები, რამდენადაც აქ ნავთობი და გაზი მილიონობით წლების მანძილზე ინახებოდა ბუნებრივ პირობებში. აღსანიშნავია, რომ CO₂-ის ჩატვირთვა ზოგიერთ ამ რეზერვუარში აქ ჩარჩენილი ნავთობის/გაზის მოპოვების განახლების (ხელახალი მოპოვების) საშუალებას იძლევა. მოპოვებული ნავთობიდან/გაზიდან მიღებული დამატებითი შემოსავალი ნახშირორჟანგის ჩაჭერასა და შენახვაზე გაწეული ხარჯების დასაფარავად გამოიყენება.

ნახშირორჟანგის დასაწყობებისა და შენახვის კოლოსალური პოტენციალი არსებობს მარილით გაჯერებულ მიწისქვეშა წყლოვან ჰორიზონტებში. ეს არის უზარმაზარი ტევადობის მარილიანი წყლის შემცველი ქვაქვიშიანი ფორმაცია, სადაც შესაძლებელია ნახშირორჟანგის

განუსაზღვრელი რაოდენობის უსაფრთხო შენახვა მრავალი წლის მანძილზე. ნოვეგიული პროექტის „სლეიპნერი“ თანახმად ყოველწლიურად ერთ მილიონამდე ტონა ნახშირორჟანგი იტვირთვება ჩრდილოეთის ზღვის ქვეშ განთავსებულ მარილით გაჯერებულ წყლოვან ჰორიზონტებში.

დიდი ყურადღება ექცევა ნახშირორჟანგის დასაწყობასა და შენახვას ქვანახშირის მიწისქვეშა საბადოებში, განსაკუთრებით ნახშირის იმ ფენებში, რომლებიც ძალზე ღრმად არიან განთავსებული და ამავე დროს შეიცავენ მეთანის მნიშვნელოვან რაოდენობას. დაზუსტებულია, რომ ნახშირორჟანგი CO₂ უფრო კარგად „ეწებება“ ნახშირს, ვიდრე მეთანი, რაც იმას ნიშნავს, რომ ნახშირორჟანგის ჩატვირტვისას მეთანი გამონთავისუფლდება და ნახშირის ფენა გადაიქცევა ბუნებრივი აირის წყაროდ. მოპოვებული ბუნებრივი აირის რეალიზაციის შემდეგ მიღებული თანხა მოხმარდება CO₂-ის ჩაჭერაზე, ტრანსპორტირებასა შენახვაზე გაწეულ ხარჯებს.

CCS - ტექნოლოგია ამჟამად ძალიან ძვირია, ისევე როგორც ნებისმიერი ახალი ტექნოლოგია. მაგრამ, განვითარებულ ქვეყნებში სამეცნიერო-კვლევითი და საცდელ-საკონსტრუქტორო სამუშაოების მიმდინარეობის ტემპები და ფართო მასშტაბები იძლევიან იმის საფუძველს, რომ უკვე 2020 წლისათვის დამატებითი ენერგომოხმარება ტექნოლოგიურ პროცესებზე და მასთან დაკავშირებული შესაბამისი ხარჯები მინიმუმამდე იქნება დაყვანილი.

დღევანდელი მონაცემებით ერთი ტონა ნახშირორჟანგის ჩაჭერა თბოელექტროსადგურებში 25-60 ევრო ჯდება, ხოლო ერთი კვტ ენერჯის ფასი 1.3-3 ევროცენტით იზრდება. უახლოეს მომავალში ელოდებიან ამ ღირებულების განახევრებას. ჩაჭერილი ნახშირორჟანგის ტრანსპორტირების ღირებულება შედარებით დაბალია: თითოეული ტონა CO₂-ის გადატანა 100 კმ სიგრძის მილსადენის საშუალებით ეღირება ერთიდან ოთხ ევრომდე. ნახშირორჟანგის შენახვის ღირებულება კი დამოკიდებულია შესანახი

რეზერვუარის ტიპზე. მაგალითად, მარილით გაჯერებულ მიწისქვეშა წყლოვან ჰორიზონტებსა და ნავთობისა და გაზის დაცარიელებულ მიწისქვეშა რეზერვუარებში თითოეული ტონა CO₂-ის შენახვის ღირებულება 10-20 ევროს ფარგლებში იცვლება.

თავი მერვე. თბოელექტროსადგურებში ჩაჭერილი ნახშირორჟანგის (CO₂) გამოყენების შესაძლებლობები საქართველოში

თბოელექტროსადგურებში ჩაჭერილი ნახშირორჟანგის გამოყენება შესაძლებელია ადამიანის საქმიანობის ფართო სპექტრში. კერძოდ, ქიმიურ მრეწველობასა და ნავთობპროდუქტების წარმოებაში, ფარმაცევტიკაში და ბიოტექნოლოგიებში, კვების მრეწველობასა და სოფლის მეურნეობაში, მედიცინაში, მეტალურგიასა და მანქანათმშენებელში, ლაბორატორიულ კვლევებში, ქალაქის წარმოებაში, ელექტრონიკაში და სხვ.

დიდ ინტერესს იწვევს ნახშირორჟანგის გამოყენების საკითხი სასათბურე მეურნეობაში მცენარეების ზრდის პროცესის დაჩქარებისა და შესაბამისად, მისი მოსავლიანობის გაზრდის მიზნით. გარდაბნის თბოელექტროსადგურების მიმდებარე ტერიტორიაზე 12 ჰექტარ ფართობზე განლაგებულ „პლანტას“ სათბურებში ნახშირორჟანგის კონცენტრაციის 0,03%-დან 0,2%-მდე გაზრდის მიზნით გარდაბნის თბოელექტროსადგურებში ჩაჭერილი ნახშირორჟანგის გამოყენების შემთხვევაში, შესაძლებელი გახდება ბოსტნეული კულტურების მოსავლიანობის გაზრდა 35-40%-ით, რაც მნიშვნელოვან ეკონომიკურ სარგებელს მოუტანს სასათბურე მეურნეობას.

ქ.ტყიბულში ადგილობრივ ქვანახშირზე მომუშავე 300 მგვტ სიმძლავრის თბოელექტროსადგურის აშენების და მისთვის Capture-Ready-ის სტატუსის მინიჭების შემთხვევაში, შესაძლებელი გახდება დაახლოებით 2 000 000 ტ ნახშირორჟანგის ჩაჭერა და მისი გამოყენება მეთანშემცველი ნახშირის ფენებიდან მეთანის მოსაპოვებლად.

ძირითადი დასკვნები

შესწავლილი და გაანალიზებულია კლიმატის ცვლილების დრევანდელი მდგომარეობა მსოფლიო მასშაბით. ნაჩვენებია, რომ უახლოეს მომდევნო ათწლეულებში პლანეტის მოსახლეობის რაოდენობის გაზრდა და მისი კეთილდღეობის დონის ამაღლება გამოიწვევს ორგანულ სათბობზე მსოფლიო მოთხოვნილების 40-50%-იან ზრდას. შესაბამისად გაიზრდება მისი წვის შედეგად ატმოსფეროში გამობოლქვილი ნახშირორჟანგის (CO_2) კონცენტრაციაც, რომლის მინიმალური დონე დღეისათვის 400 ppm-ს, ანუ 852 მლრდ ტონას აღწევს და თუ დაუყოვნებლივ არ დაიწყება მაღალეფექტური ტექნოლოგიების დანერგვა და ენერგოდამზოგი ღონისძიებების პრაქტიკული რეალიზება, ის საუკუნის ბოლოს 550-560 ppm-ს მიაღწევს და ეკოლოგიური კატასტროფა გარდაუვალი გახდება;

შემოთავაზებულია თბოელექტროსადგურებში ნახშირორჟანგის ემისიის დონის განსაზღვრის მეთოდოლოგია და ნახშირორჟანგის წლიური ემისიის გამოსათვლელი ფორმულები როგორც სათბობის ელემენტარული შედგენილობის, ისე „ნახშირორჟანგის ემისიის ფაქტორის“ მიხედვით;

შესწავლილია კლიმატის ცვლილებაზე ნახშირორჟანგის (CO_2) ზემოქმედების შერბილების თანამედროვე მეთოდები და ტექნოლოგიები. დადგენილია, რომ მსოფლიოს წამყვან ქვეყნებში განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა ტექნოლოგიას „Carbon capture and storage (CCS)“ რომელიც ითვალისწინებს სათბობის წვის აირადი ნაწარმიდან (CO_2)-ის ჩაჭერას, მის შემდგომ გათხევადებას და შენახვას დედამიწის გეოლოგიურ ფორმირებებში ან მის გამოყენებას ადამიანის საქმიანობის ფართო სპექტრში;

დადგენილია, რომ CCS-ტექნოლოგიის ყველაზე მეტად გავრცელებული მეთოდია ნახშირორჟანგის ჩაჭერა ორგანული სათბობის წვის შემდეგ, რომელიც ქიმიური ადსორბციის პროცესს ეფუძვნება და გამოირჩევა მაღალი ეფექტურობით (85-95%), ხოლო თბოელექტროსადგურებში ჩაჭერილი ნახშირორჟანგის შენახვის ობიექტად, შეიძლება გამოყენებულ იქნას მთელ მსოფლიოში გავრცელებული დედამიწის გეოლოგიური ფორმირებები.

შესწავლილია CCS - ტექნოლოგიის პრაქტიკული რეალიზების ეკონომიკური ასპექტები. დადგენილია, რომ განვითარებულ ქვეყნებში სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების მიმდინარეობის ფართო მასშტაბები იძლევიან იმის საფუძველს, რომ უკვე 2020 წლისათვის დამატებითი ხარჯები ტექნოლოგიურ პროცესებზე მინიმუმამდე იქნება დაყვანილი.

გამოთქმულია აზრი, რომ გარკვეული პერიოდის შემდეგ, რომელიც საჭიროა შესაბამისი საექსპერტო კვლევების ჩასატარებლად და სათანადო ეკონომიკურ-ფსიქოლოგიური გარემოს შესაქმნელად, შესაძლებელი გახდება საქართველოში დაინერგოს კლიმატის ცვლილებაზე ნახშირორჟანგის ზემოქმედების შერბილების CCS-ტექნოლოგია.

დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია შემდეგ ნაშრომებში

1. არაბიძე ხ., ჯავშანაშვილი ნ., ჯიშკარიანი თ. ნახშირორჟანგის (CO₂) ემისიის შემცირების მეთოდები ენერგეტიკის სექტორში. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. მოხსენებათა კრებული. 2015 წლის 24-25 ოქტომბერი. ქუთაისი, გვ. 91-94.
2. არაბიძე ხ., ჯავშანაშვილი ნ., ჯიშკარიანი თ. „სამრეწველო სექტორში ნახშირორჟანგის (CO₂) ემისიების შემცირების ორგანიზაციული და ტექნოლოგიური ღონისძიებები“. IV საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია: „ენერგეტიკა - რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. მოხსენებათა კრებული. 2016 წლის 29 ოქტომბერი. ქუთაისი, გვ. 233-235;
3. არაბიძე ხ., ჯიშკარიანი თ. „საქართველოს ელექტროგენერაციის სექტორში წარმოქმნილი ნახშირორჟანგის (CO₂) ჩაჭერის მეთოდები“. „ენერჯია“, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი, №4(84)/2017. თბილისი. გვ.49-54;
4. არაბიძე ხ., ჯიშკარიანი თ. „ნახშირორჟანგის ემისია საქართველოს ელექტროგენერაციის სექტორში“. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომები, №4(470)/2017. თბილისი. გვ.27-31;
5. არაბიძე ხ. „თბოელექტროსადგურების ჩაჭერილი ნახშირორჟანგის(CO₂) შენახვის მეთოდები“. „ინტელექტუალი“ , საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი, №35(202)/2018. თბილისი. გვ.173-180.

მოხსენებები კონფერენციებზე:

1. არაბიძე ხ. „თბოელექტროსადგურებიდან გამონაბოლქვი ნახშირორჟანგის (CO₂-ის) შეკავების (ჩაჭერის) თანამედროვე ტექნოლოგიები“. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია (USAID, Governing for Growth in Georgia, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. „ახალგაზრდა ექსპერტების როლი საქართველოს ენერგეტიკული სექტორის განვითარებაში“. 2017 წლის 21 ივნისი. თბილისი;
2. არაბიძე ხ. „სამრეწველო ობიექტებიდან ნახშირორჟანგის (CO₂) ემისიის შემცირების ღონისძიებები“. სტუდენტთა 84-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. თეზისების კრებული. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“. 2017. თბილისი, გვ.61;

Abstract

Climate Changing or Global Warming generally caused by the accumulation of CO₂ in the atmosphere is the reason of global concern. Burning of fossil fuel such as oil, coal, natural gas, annually emits about 6 Giga-tons of carbon-dioxide and more than half is precipitated in the atmosphere. Last 50 years the concentration of CO₂ in the atmosphere is increasing by 1.6-2.0 ppm every year and it is predicted it will exceed to 500 ppm (in other words, in each million liter of atmospheric air will be included 500 liter CO₂) by 2050 even in terms of reduction of global economic development trend (here is considered economical development trend which must less than 2% for each year). In this regard CO₂ content will increase up to 550-560 ppm for the end of the century. Carbon dioxide concentration in the air mentioned above will cause global warming by 7°C which will cause climate and biosphere changes, melting of big share of ice-continents and flooding of several countries territories, dramatically changes of flora and fauna.

United Nations Framework Convention on Climate Change (Rio-De-Janeiro, 1992), as well as the Paris Agreement on Climate Change (2015) is the largest-scale international agreement on climate change related issues. The signatory countries of this document and among them Georgia, has taken responsibility to undertake mitigation measures concerning to the climate change.

According to scenario of Norwegian Bellona Foundation which is based on their own researches and data of International Energy Agency, large-scale reduction of CO₂ emission is impossible only undertaking energy efficient and energy saving measures and development of renewable energy sources, but at the same time newest methods and technologies are introducing in the developed countries in order to reduce impact on climate change by carbon dioxide emissions. One of such technology is Carbon Capture and Storage (CCS) which considers capture of CO₂ concentrated in the exhaust gases emitted by fuel burning process. According to this technology captured carbon dioxide is being liquefied and then stored in the soil geological formations or utilized for industrial or/and medical purposes.

Despite a number of unresolved issues, “Carbon Capture and Storage (CCS)” technology is a principal opportunity to mitigate of impact on Climate Change Georgia as a signatory of United Nations Climate Change Framework Convention of Paris Agreement takes responsibility to reduce CO₂ emissions about 15-25% by 2030. Thus, reduction of carbon dioxide emissions from Georgian electricity generation sector and its negative impact on the atmosphere, it is necessary for existing and planned thermal power plants to undertake organizational and technological measures, provide consequent expertise and research, establishment of proper physiological environment and introduction of Carbon Capture Storage (CCS) technology which is already approved by the developed countries.