

საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტრო
აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ბაჩანა მარკელია

**სატრანსპორტო შიგაწვის ძრავებში შავი ზღვის ფსკერის
გოგირდწყალბადისაგან მიღებული წყალბადის ალტერნატიულ
საწვავად გამოყენების ტექნოლოგიური პროცესის დამუშავება**

ტრანსპორტის დარგში ინჟინერიის დოქტორის (0407) აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად წარმოდგენილი

ავტორეფერატი

ქუთაისი 2019

საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტრო
აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფესორი ირაკლი შარაბიძე

სამეცნიერო თანახელმძღვანელი: ასოც. პროფესორი ალექსანდრე კამლაძე

რეცენზენტები: -----

დისერტაციის დაცვა შედგება 2019 წლის ----- 14⁰⁰ საათზე

საინჟინრო -ტექნიკური ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს მიერ შექმნილ

სადისერტაციო კომისიის სხდომაზე. მისამართი: ქუთაისი, ახალგაზრდობისგამზირი 98,
VII კორპუსი, აუდ. №101.

დისერტაციის გაცნობა შესაძლებელია აკაკი წერეთლის სახელმწიფო
უნივერსიტეტის ბიბლიოთეკაში მისამართზე: 4600. ქუთაისი. თამარ მეფისქ. 59.

ავტორეფერატი დაიგზავნა “ _____” _____

(თარიღი)

სადისერტაციო საბჭოს

მდივანი ასოც.პროფესორი _____ /ნ. სახანბერიძე/

(ხელმოწერა)

სამუშაოს საერთო დახასიათება

თემის აქტუალობა: თანამედროვე ეპოქაში ენერგეტიკის და ტრანსპორტის ინტენსიურ განვითარებას კაცობრიობა მამტაბურ ენერგეტიკულ და ეკოლოგიურ პრობლემამდე მიჰყავს. დედამიწაზე მოსახლეობის ზრდასთან ერთად მოთხოვნები ენერგიაზე იზრდება, რაც იწვევს არსებული წიაღისეული საწვავი რესურსების შემცირებას, რომლის მსოფლიო მარაგი უახლოეს მომავალში ამოწურვადია. დღეისათვის მსოფლიოში ყოველდღიურად 4 მილიონი ბარელი ნავთობის დეფიციტია და სავარაუდოდ თანამედროვე მოხმარების ტემპების პირობებში მისი მარაგი 2050 წლისთვის ფაქტიურად გაქრება.

ტრადიციულ ენერგეტიკაზე დაფუძნებული ტექნიკური პროგრესი მთელ რიგ დადებით მხარეებთან ერთად უარყოფითად მოქმედებს გარემოზე და იწვევს გლობალურ კლიმატურ ცვლილებებს.

გარემოს დაბინძურების ძირითად წყაროს წარმოადგენს სატრანსპორტო შიგაწვის ძრავში მიმდინარე პროცესები, რადგან ძრავის ცილინდრსა და ატმოსფეროს შორის მიმდინარეობს სითბოსა და მასის ცვლის ურთულესი პროცესები და წვის პროდუქტები შეიცავს 200-ზე მეტი დასახელების სხვადასხვა სახის ნივთიერებას, რომელთა უმეტესობა მომწამლავია. მათ შორის განსაკუთრებით აღსანიშნავია: ნახშირბადის მონოოქსიდი (CO), ნახშირბადის დიოქსიდი (CO₂), სხვადასხვა სახის ნახშირწყალბადები (C_xH_y), აზოტისა და გოგირდის ოქსიდები; ტყვიის ნაერთები; მყარი ნაწილაკები ჭვარტლის სახით; მძიმე ლითონები და სხვ. გარდა ამისა დედამიწის ატმოსფეროს ყოველწლიურად გადაეცემა $14,5 \cdot 10^{18}$ კგ სითბო, რაც იწვევს ე.წ. თბური წონასწორობის რღვევას და ხელს უწყობს გლობალური დათბობის საშიშროების გაზრდას.

აღნიშნული პრობლემები ადასტურებს იმ ფაქტს, რომ საავტომობილო ტრანსპორტის საწვავის ეკონომიურობისა და ეკოლოგიური უსაფრთხოების ამღლების თემა მეტად აქტუალურია. ამიტომ ნებისმიერი ღონისძიება, რომელიც უზრუნველყოფს საავტომობილო ტრანსპორტზე საწვავის ეკონომიას და მის რაციონალურ გამოყენებას, აგრეთვე ეკოლოგიური უსაფრთხოების გაზრდას აქვს დიდი პრაქტიკული და სოციალური მნიშვნელობა.

სატრანსპორტო საშუალების ეკოლოგიური მახასიათებლების გაუმჯობესების მრავალი ცნობილი ღონისძიებებიდან, განსაკუთრებით ეფექტურია ალტერნატიული საწვავის გამოყენების გზების ძიება. ეკოლოგიური და ეკონომიკური თვალსაზრისით მომავლის ერთ-ერთი პერსპექტიული საწვავია წყალბადი, რომელიც სამყაროში ყველაზე მეტად გავრცელებული ელემენტია და დედამიწაზე მისი დიდი ნაწილი იმყოფება წყლის სახით. წყალბადის როგორც საწვავის საავტომობილო ტრანსპორტზე გამოყენების პერსპექტივა განპირობებულია მისი ეკოლოგიური სისუფთავით, ამოუწურავი მარაგით, განახლებადობით და შესანიშნავი თბური თვისებებით.

წყალბადზე კონვერტირებული ძრავების წვის პროდუქტებში საერთოდ არ არსებობს ისეთი ნაერთები როგორცაა CO, CO₂, CH₄, ჭვარტლის ნაწილაკები, ტყვია და სხვ. თუმცა ეკოლოგიურ პრობლემას წარმოადგენს აზოტის ოქსიდების

მინიმიზაცია. წყალბადის როგორც საავტომობილო ტრანსპორტის საწვავს გააჩნია გარკვეული დადებითი და უარყოფითი თვისებები რაც განხილულია სადოქტორო ნაშრომში.

სამუშაოს მიზანი: წყალბადის ენერგეტიკაზე გადასვლის არსებით პირობას წარმოადგენს წყალბადზე ან წყალბადშემცველ ნედლეულზე მომუშავე ეკონომიური და ეკოლოგიური საწვავი ელემენტის შექმნა. წყალბადშემცველ ნედლეულს შორის განსაკუთრებულ ყურადღებას იპყრობს გოგირდწყალბადი, რომლის შემცველობის მიხედვით შავი ზღვა ყველაზე დიდი აუზია მსოფლიოში. ე.ი. საქართველო წარმოადგენს ერთ-ერთ პერსპექტიულ ქვეყანას წყალბადის ენერგეტიკაზე გადასვლის თვალსაზრისით, თუმცა გოგირდწყალბადის შემცველობის მუდმივი განახლებადობა მომწამლავი მასის ზედაპირულ ფენებში ამოსვლას განაპირობებს და ძლიერი ეკოლოგიური საფრთხის შემცველია.

სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს, შავი ზღვის სიღრმისეული წყლებიდან გოგირდწყალბადის შემცველი წყალხსნარის ზედაპირზე ამოტანის მეთოდის დამუშავებას და მისგან მეთანისა და წყალბადის გამოყოფას მემბრანული ტექნოლოგიების გამოყენებით. შემდეგ ეტაპზე, სამუშაოს მიზანია წყალბადის შიგაწვის ძრავებში საწვავად გამოყენების თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების ანალიზი. ე.ი. სამუშაოს მიზანია, შავი ზღვის სიღრმისეული წყლების გოგირდწყალბადის შემცველი წყალხსნარისაგან, წყალბადის მიღების ტექნოლოგიის შესწავლიდან მიღებული წყალბადის სატრანსპორტო შიგაწვის ძრავებში გამოყენების ერთიანი ციკლის დამუშავება.

კვლევის მეთოდები: ნაშრომში გამოყენებულია თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევის მეთოდები. თეორიული კვლევა გამოყენებული იქნა სატრანსპორტო ნაკადის პარამეტრების დასადგენად გარემოს ეკოლოგიურ მაჩვენებლებზე ზემოქმედებისა და ეკოლოგიური უსაფრთხოების ლოჯისტიკური მართვის შესაფასებლად ქალაქის პირობებში. აირადი ნარევის მემბრანული განცალკევების მეთოდიკის საფუძველზე შეირჩა ადგილობრივი ბუნებრივი წარმოშობის ცეოლითები - ძეგვის დაუმუშავებელი ცეოლითი, ხეკორძულას N_1 -ით მოდიფიცირებული ცეოლითი და სინთეზური კათიონიტი KY-2-8 და დაგინდა, რომ ისინი შეიძლება გამოყენებული იქნას შავი ზღვის სიღრმისეულ წყლებში არსებული გოგირდწყალბადის მიმართ მაღალეფექტურ ადსორბენტად. წვის პროდუქტების შედგენილობის განსაზღვრა ჩატარდა ექსპერიმენტულად EURO სტანდარტის მოთხოვნების შესაბამისად შედგენილი მეთოდიკით, რისთვისაც გამოყენებული იქნა იტალიური წარმოების აირანალიზატორი Multitest 211.

სამეცნიერო სიახლე: დამუშავდა შავი ზღვის სიღრმისეული წყლებიდან გოგირდწყალბადის შემცველი წყალხსნარის ზედაპირზე ამოტანის და მემბრანული ტექნოლოგიებით წყალბადის მიღებიდან დაწყებული, შიგაწვის ძრავებში საწვავად გამოყენების ერთიანი ციკლი, რაც შესწავლილი იქნა ექსპერიმენტული კვლევის გზით.

ექსპერიმენტულ მონაცემებზე დაყრდნობით დამუშავდა მეთოდიკა, რომელიც საშუალებას მოგვცემს ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში განვსაზღვროთ ნარევი

წყალბადისა და ბენზინის ისეთი თანაფარდობა, რომელიც უზრუნველყოფს მუშა პროცესის მაღალ დონეზე განხორციელებას.

ექსპერიმენტული მონაცემებით დადგინდა რომ შავი ზღვის სიღრმისეულ წყლებში წყალხსნარის სახით არსებული გოგირდწყალბადის მიმართ მაღალეფექტური ადსორბენტი ადგილობრივი ბუნებრივი წარმოშობის ცეოლითები (ძეგვის დაუმუშავებელი კლინოპტილოლითი და ხეკორძულას N_1 -ით მოდიფიცირებული ცეოლითი) და სინთეზური კათიონიტი KY-2-8. ასევე მეთანის მიმართ მაღალი ადსორბიციული ტევადობით გამოირჩევა სინთეზური ცეოლითი CaA, ხოლო კათიონიტზე KY-2-8 მეთანი საერთოდ არ ადსორბირდება.

დამუშავდა მეთოდიკა ავტომობილის ბენზინი + წყალბადი და ბუნებრივი აირი + წყალბადი საწვავზე მუშაობისას გამოყოფილი მავნე ნივთიერებების მიერ გარემოზე მიყენებული ზიანის (ლარებში) გასაანგარიშებლად. აღნიშნული მეთოდიკის საფუძველზე, გაანგარიშებული იქნა ავტომობილის ეკოლოგიური მახასიათებლების გაუმჯობესებით (საბაზოსთან შედარებით) მიღებული სოციალურ-ეკონომიკური ეფექტი.

პრაქტიკული ღირებულება: XXI საუკუნე წყალბადის ენერგეტიკის საუკუნეა. საქართველო მიეკუთვნება ისეთი ქვეყნების რიცხვს რომლებსაც არ გააჩნიათ ნავთობისა და გაზის წიაღისეული საბადოები. ამიტომ არატრადიციული ენერჯის წყაროების და მათ შორის წყალბადის მოპოვება და გამოყენება საავტომობილო ტრანსპორტზე ან სხვა ენერგეტიკულ დანადგარებში გადაჭრის ჩვენი ქვეყნის ენერგეტიკულ და ეკონომიკურ პრობლემებს. გამომდინარე აქედან ნაშრომში წარმოდგენილი სქემა, შავი ზღვის სიღრმისეული წყლებიდან გოგირდწყალბადის ამოღებისა და მემბრანული ტექნოლოგიით მისი განცალკევების შესახებ (მეთანის და წყალბადის მიღება) პრაქტიკული ღირებულებისაა, რადგან სპეციალურ აირშიიდებში დაგროვილი წყალბადი და მეთანი შესაძლებელია გამოვიყენოთ როგორც საავტომობილო ტრანსპორტზე, ასევე თბოელექტრო სადგურებში ენერჯის მისაღებად და საყოფაცხოვრებო მოხმარებისათვის. ჩატარებული ექსპერიმენტული კვლევა კიდევ ერთხელ მიუთითებს ეკოლოგიის თვალსაზრისით წყალბადის, როგორც საავტომობილო ტრანსპორტის უპირატესობაზე სხვა სახის საწვავთან შედარებით და ერთგვარი რეკომენდაციაა საავტომობილო პარკის ამ ტიპის საწვავზე გადასაწყობად.

სამუშაოს განხილვა: სადისერტაციო ნაშრომის შედეგების შესახებ მოხსენებები გაკეთდა:

1. აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მშენებლობისა და ტრანსპორტის დეპარტამენტის ტრანსპორტის მიმართულების სამეცნიერო-პრაქტიკული სემინარები, აწსუ, ქუთაისი, 2014–2016 წწ.
2. III ქართულ-პოლონური საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია „სატრანსპორტო ხიდი ევროპა-აზია“. აწსუ, ქუთაისი, 24-26.10.2017 წ.
3. IV სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია „სატრანსპორტო ხიდი ევროპა-აზია“, სტუ, თბილისი, 8-11.10.2018 წ.
4. V საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. აწსუ, ქუთაისი, 25-26.10.2018 წ.

5. International Scientific-Technical Conference trans&MOTAUTO'17. Burgas, Bulgaria, 24-27.06.2017.
6. Conference on Transport Sciences Győr 2019, Széchenyi István University, Győr, Hungary.
7. International Scientific-Technical Conference trans&MOTAUTO'19. Varna, Bulgaria, 17-21.06.2019.

გამოქვეყნებული მასალები: დისერტაციის მასალების მიხედვით გამოქვეყნებულია 10 ნაშრომი, მათ შორის ხუთი საერთაშორისო რეფერირებად და ERIH PLUS-ის ბაზებში ინდექსირებულ ჟურნალებში, რომელიც რეკომენდირებულია აწსუ–ს საინჟინრო–ტექნიკური ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს მიერ.

სამუშაოს სტრუქტურა და მოცულობა: დისერტაცია შედგება ოთხი თავისაგან და შეიცავს 22 ცხრილს, 36 ნახაზს, ლიტერატურის 80 დასახელებას. საერთო მოცულობა შეადგენს 140 გვერდს.

სამუშაოს შინაარსი

პირველი თავი მოიცავს იმ ლიტერატურული წყაროების ანალიზს, რომლებშიც განხილულია სატრანსპორტო სისტემის გავლენა ეკოსისტემაზე და მათი გადაჭრის გზები. მოცემულია სატრანსპორტო ნაკადის გავლენის შეფასება სამხრეთ კავკასიის რეგიონის ეკოლოგიურ მდგომარეობაზე და ტრანსპორტის ეკოლოგიური უსაფრთხოების ლოჯისტიკური მართვა ქალაქის პირობებში.

თანამედროვე ეტაპზე ეკოლოგიური სიტუაცია მსოფლიოს მთელ რიგ რეგიონში და მათ შორის საქართველოში მკვეთრად გაუარესებულია, რადგან ნედლეულის თუ მზა პროდუქციის ტრანსპორტირება და მგზავრთა გადაყვანის გაზრდილი მოთხოვნების დაკმაყოფილება შეუძლებელია სატრანსპორტო სისტემის განვითარების გარეშე, რომელთა შორის ერთ-ერთი წამყვანი როლი ეკუთვნის საავტომობილო ტრანსპორტს, რომელმაც არნახული განვითარება ჰპოვა, როგორც რაოდენობრივად ისე ხარისხობრივად. დღეისთვის მსოფლიო საავტომობილო პარკმა მილიარდს გადააჭარბა (საქართველოში 1,2 მილიონზე მეტი) და მაგისტრალური საავტომობილო გზების სიგრძე შეადგენს 11,5 მლნ კმ-ს.

სატრანსპორტო გზებზე ერთეული სატრანსპორტო საშუალებების მოძრაობა, რათქმუნდა მნიშვნელოვან გავლენას ვერ მოახდენს გარემოსა და ეკოსისტემაზე, მაგრამ სულ სხვა მდგომარეობაა, როცა განიხილება სატრანსპორტო ნაკადის გადაადგილება ტვირთების გადაზიდვისა და მგზავრთა გადაყვანის პირობებში.

სატრანსპორტო საშუალების ნაკადის მიერ მაგისტრალის მოცემულ მონაკვეთზე გამოყოფილი მავნე ნივთიერებების რაოდენობა (კგ/სთ) განისაზღვრება ფორმულით:

$$Y = \sum_{i} \sum_{j} \sum_{K} W_j \cdot P_{Ki} \cdot N_a \quad (1)$$

სადაც W_i - გამოყოფილი რომელიმე კომპონენტის რაოდენობა ან საწვავის ხარჯია გარბენის პერიოდში გრ/კმ;

P_{Ki} - K ჯგუფის სატრანსპორტო საშუალების ნაკადში i სიჩქარით დიაპაზონში მოხვედრის ალბათობა;

N_a - ნაკადის ინტენსივობა ავტ/სთ.

განსაკუთრებული ყურადღება უნდა დაეთმოს, მსხვილ ქალაქებში სატრანსპორტო ნაკადში M_1 და M_2 კატეგორიის ავტოსატრანსპორტო საშუალებების მობილობის რაციონალურ მართვას. (M_1 და M_2 წარმოადგენს სამგზავრო სატრანსპორტო საშუალებების კატეგორიას 2500 კგ-მდე და 2500-5000 კგ სრული მასის ზღვრებში. ამასთან M_1 კატეგორიის შემთხვევაში მგზავრთა რაოდენობა არ აღემატება რვას, ხოლო M_2 -ის შემთხვევაში კი რვაზე მეტია).

თუ გავითვალისწინებთ იმ ფაქტს, რომ მსხვილ და რაიონული დანიშნულების ქალაქებში სატრანსპორტო ნაკადის ძირითადი წილი მოდის M_1 და M_2 კატეგორიის სატრანსპორტო საშუალებებზე, ადვილი წარმოსადგენია ამ ტიპის ობიექტების როლი გარემოს სატრანსპორტო დაბინძურების მიმართულებითაც. დგინდება, რომ

საშუალო წლიური გარბენის შემთხვევაში ამ კატეგორიის სატრანსპორტო საშუალებებზე მოდის ქალაქის დაბინძურების 70-80%.

კავკასიაში ისევე როგორც მსოფლიოს მრავალ რეგიონში მეტად მწვავედ დგას ეკოლოგიური პრობლემები, რომელთა შორის აღსანიშნავია: ატმოსფეროს, წყლის რესურსებისა და ნიადაგის დაბინძურება. ქ. თბილისში ატმოსფეროში ყოველწლიურად დაახლოებით 276 500 ტონა მავნე ნივთიერება გამოიყოფა, რომლის 83,3% ავტოტრანსპორტზე მოდის. ქ. ქუთაისში ატმოსფეროში მოხვედრილი გამონაბოლქვი ნივთიერებების მასა 76 200 ტონას შეადგენს, ხოლო ქ. რუსთავიდან ატმოსფეროში საშუალოდ 168 700 ტონა მავნე ნივთიერება ხვდება.

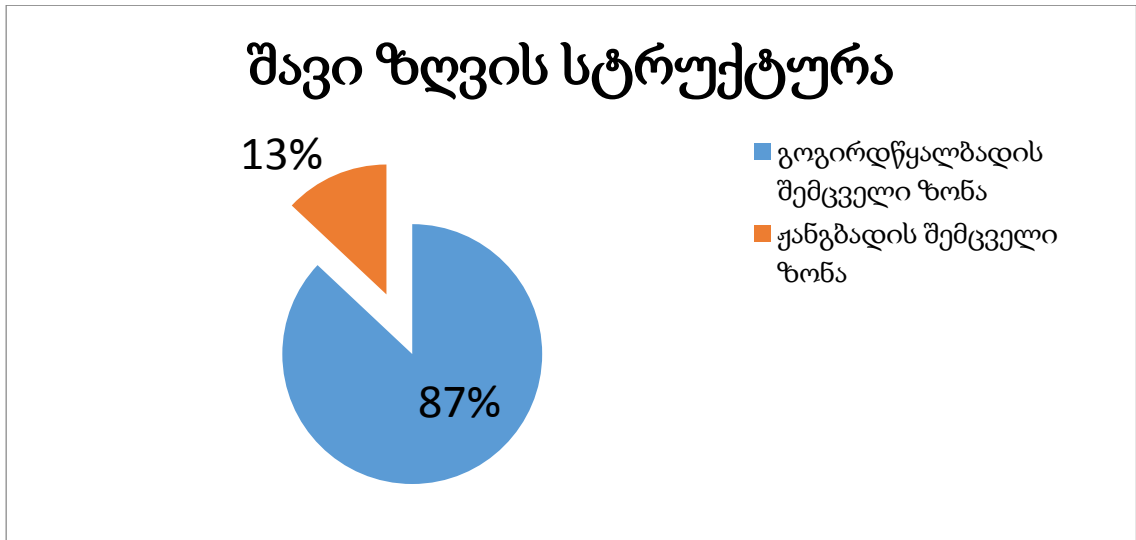
წყალბადის როგორც საწვავის საავტომობილო ტრანსპორტზე გამოყენების პერსპექტივა განპირობებულია მისი ეკოლოგიური სისუფთავით, ამოუწურავი მარაგით, განახლებადობით და შესანიშნავი თბური თვისებებით. ამასთან, როგორც საწვავი იგი შეიძლება შევინახოთ შეკუმშულ, გათხევადებულ ან ბმულ მდგომარეობაში. თუმცა შესაძლებელია მისი მიღება უშუალოდ სატრანსპორტო საშუალებაზე.

გამომდინარე აქედან სხვა ალტერნატიულ წყაროებთან ერთად აქტიურად განიხილება სატრანსპორტო შიგაწვის ძრავებში წყალბადის გამოყენების პერსპექტივები, რადგან წყალბადის ენერგეტიკა ფაქტიურად ნიშნავს ქვეყნის ენერგოდამოუკიდებლობას.

მეორე თავი ეძღვნება შავი ზღვის ეკოლოგიურ პრობლემებს და მისი სიღრმისეული წყლებიდან გოგირდწყალბადის მიღების პროცესის გამოკვლევას. აქვე მოცემულია შავი ზღვის სიღრმიდან ზედაპირზე აირადი ნარევების ამოტანა და დაყოფის მეთოდები. ამავე თავში მოცემულია გოგირდწყალბადიდან წყალბადის მიღების მემბრანული პროცესის თეორიული და ექსპერიმენტული პროცესების გამოკვლევა.

დღეისთვის შავი ზღვის ეკოლოგიური მდგომარეობის განსაზღვრისას ერთ-ერთ ძირითად პრობლემას წყლის ქვედა ფენებში მეთანისა და გოგირდწყალბადის არსებობა წარმოადგენს, რომელთა შემცველობა დაბინძურების გამო ყოველწლიურად იზრდება.

ზღვის გარემოს შესწავლის შედეგებმა აჩვენა, რომ შავი ზღვის სასიცოცხლო მახასიათებლები თანდათან უარესდება, რადგან გოგირდწყალბადის შემცველ ზონას მთელი წყლის 87% უკავია (ნახ. 1.), რაც ძლიერ საფრთხეს წარმოადგენს როგორც ადამიანებისთვის ისე ზოგადად სიცოცხლისთვის. თუ არ მოხდება ზემოხსენებულ პროცესებში ჩარევა შესაძლებელია შავი ზღვა მოიწამლოს გოგირდწყალბადით, რაც გამოიწვევს წყლის ქიმიური შედგენილობის შეცვლას და შესაბამისად გაღარიბდება ზღვის ფლორა და ფაუნა.



ნახ. 1. შავი ზღვის სტრუქტურა

შავი ზღვის წყლებიდან გოგირდწყალბადის ამოღების მეთოდებიდან აღსანიშნავია:

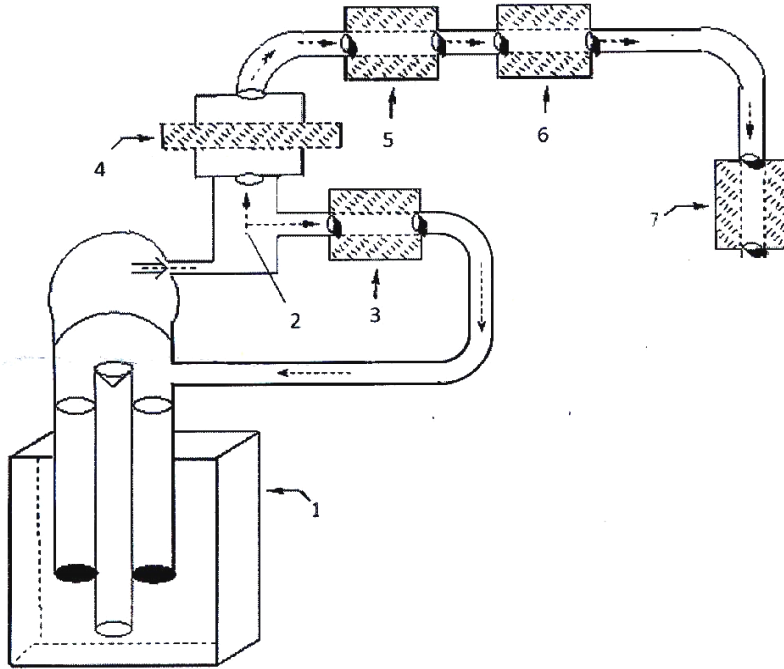
მყარი ვერტიკალური არხის ტუმბოთი წყლის პირველადი ამოღების შემდეგ შესაძლებელია აირწყლიანი შადრევნის მიღება, ზღვაში არხის ქვედა განყოფილების დონეზე ჰიდროსტატიკური წნევისა და ამავე დონეზე არხის შიგნით აირთხევადი ნარევის წნევათა სხვაობის ხარჯზე. ამ დროს საჭირო არაა დამატებითი ენერჯის დახარჯვა, გოგირდწყალბადის წყალხსნარის სიღრმიდან ზედაპირზე ამოსატანად, ე.წ. აირფილტრის ეფექტის ხარჯზე.

უკანასკნელ პერიოდში სწრაფად განვითარდა აირადი ნარევების დაყოფის მემბრანული მეთოდები, რაც საშუალებას იძლევა უშუალოდ სიღრმეებში განხორციელდეს ზღვის წყლიდან გოგირდწყალბადის გამოყოფა. ამ მხრივ აღსანიშნავია პოლიმერულ მემბრანებში განხორციელებული იონური ცვლისა და სელექტიური სორბციის მეთოდები, რომელიც ემყარება ნახევრადმელწევადი ჰიდროფობური მემბრანის თვისებას გაატაროს აირი და დაიჭიროს წყალი.

შავი ზღვის სიღრმისეულ წყლებში არსებული გოგირდწყალბადის პრაქტიკულად გამოყენების ამოცანის განსახორციელებლად საჭიროა სხვადასხვა ქიმიური და ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდების გაერთიანება კომპლექსურ კვლევებში. კერძოდ, საყურადღებოა სასარგებლო კომპონენტების ამოღების ეფექტური მეთოდის შერჩევა, ამოღებული კომპონენტებისაგან წყლის მოშორება; აირთა ნარევების მინიმალური ენერგოდანახარჯებით დაყოფა; მიღებული წყალბადის ტექნიკური და ეკონომიკური თვალსაზრისით ეფექტური შენახვის მეთოდების შერჩევა.

შავი ზღვის სიღრმისეული წყლებიდან ჩვეულებრივი მილსადენის გამოყენებით გოგირდწყალბადის ამოღების და შემდგომ მისი ელემენტებად დაყოფის მეთოდი ეფუძვნება ბუნებრივი წყალსატევების სიღრმეებიდან ზედაპირზე H₂S-ის შემცველი წყლის ამოღებას, რომელსაც ზღვის ზედაპირსა და მიმდებ უბანში არსებული წნევათა სხვაობა განაპირობებს.

შავი ზღვის სიღრმისეული წყლებიდან ამოღებული აირადი ნარევების განცალკევებისა და დაყოფისთვის ეფექტურია მემბრანული და სორბციული მეთოდების გამოყენება.



ნახ. 2. შავი ზღვის სიღრმისეული წყლებიდან აირადი ნარევების განცალკევებისა და დაყოფის სქემა მემბრანული ტექნოლოგიების და სორბციული მეთოდების გამოყენებით.

1. ზღვის სიღრმიდან წყლის ამოსაღები დანადგარი;
2. ზღვის სიღრმიდან ამოღებული წყალი აირთა ნარევით ($H_2; CH_4; K^+; NH_4^+; H_2S$)
3. ცეოლითური მოდული K^+ და NH_4^+ -ის ადსორბციისათვის;
4. მემბრანული მოდული წყლისგან აირთა ნარევების ($H_2; CH_4; H_2S$) განცალკევებისთვის;
5. მემბრანული მოდული წყალბადის ადსორბციისათვის;
6. მემბრანულ-ცეოლითური მოდული მეთანის ადსორბციისათვის;
7. მემბრანულ-ცეოლითური მოდული გოგირდწყალბადის ადსორბციისათვის.

ზღვის წყლიდან ადსორბციული კონცენტრირების მეთოდით გოგირდწყალბადის ამოღების მიზნით ჩატარებული იქნა კვლევები ადგილობრივი წარმოშობის ხეკორძულას N_1 -ით მოდიფიცირებული კლინოპტილოლითით და ძეგვის დაუმუშავებელი ბუნებრივი კლინოპტილოლითით, გარდა ამისა გამოყენებულ იქნა სინთეზური ცეოლითი კათიონიტი KY-2-8.

გამოსაკვლევ ხსნარებად გამოყენებული იქნა დასავლეთ საქართველოს ხობისა და ცაიშის ბუნებრივი გოგირდშემცველი წყლები. ამასთან ხობის წყალში გოგირდწყალბადის შემცველობა შეადგინა $4,76 \pm 6,8$ მგ/ლ $pH=9,65$; ხოლო ცაიშის წყალში $20,22 \pm 22,1$ მგ/ლ $pH=8,85$.

ცხრილი 1.

ცეოლითებით გოგირდწყალბადის ადსორბცია ხობის გოგირდშემცველი წყლიდან ($C_0=5,1$ მგ/ლ H_2S , $V_0=250$ მლ; $m=40$ გ.)

№	ცეოლითების დასახელება	pH ექსპერიმენტის შემდეგ	დაყოვნების დრო. სთ.	H_2S კონცენტრაცია წყალში ადსორბციის შემდეგ, მგ/ლ	ადსორბციის სიდიდე α ; მგ/გ	H_2S -ის ამოღების ხარისხი E; %
1	ხეკორძულას N_1 -ით მოდიფიცირებული ცეოლითი	3,15	48	0,68	0,0276	86,7
2	ძეგვის დაუმუშავებელი ცეოლითი	8,5	48	2,55	0,0164	50
3	კათიონიტი KY-2-8	2,1	48	0,68	0,0276	86,7

კვლევის შემდეგ ეტაპზე შესწავლილი იქნა აგრეთვე H_2S -ის ადსორბციის კინეტიკა მოდიფიცირებულ ცეოლითზე, ძეგვის დაუმუშავებელ კლინოპტილოლითისა და სინთეზურ კათიონიტზე KY-2-8, ცაიშის გოგირდშემცველი წყლიდან H_2S -ის სხვადასხვა კონცენტრაციის დროს. ამასთან, თანაბარი მოცულობის საკვლევ წყალში მოთავსებული იქნა შერჩეული სახეობის ცეოლითების 0,5 გ. H_2S შემცველობაზე წყლის ანალიზი ხორციელდება ყოველი 15 წთ-ის შემდეგ, ცხრილი 2.

ცხრილი 2.

გოგირდწყალბადის ადსორბცია N_1 -ით მოდიფიცირებული ცეოლითით ცაიშის გოგირდშემცველი წყლიდან ($C_0=20,2$ მგ/ლ H_2S , $V_0=50$ მლ; $m=0,5$ გ.)

№	დაყოვნების დრო. წთ.	H_2S კონცენტრაცია წყალში ადსორბციის შემდეგ c , მგ/ლ	ადსორბციის სიდიდე α ; მგ/გ	H_2S -ის ამოღების ხარისხი E; %
1	15	4,76	1,55	76,5
2	30	4,25	1,60	78,9
3	45	4,25	1,60	78,9
4	60	4,25	1,60	78,9
5	75	4,25	1,60	78,9
6	90	4,25	1,60	78,9

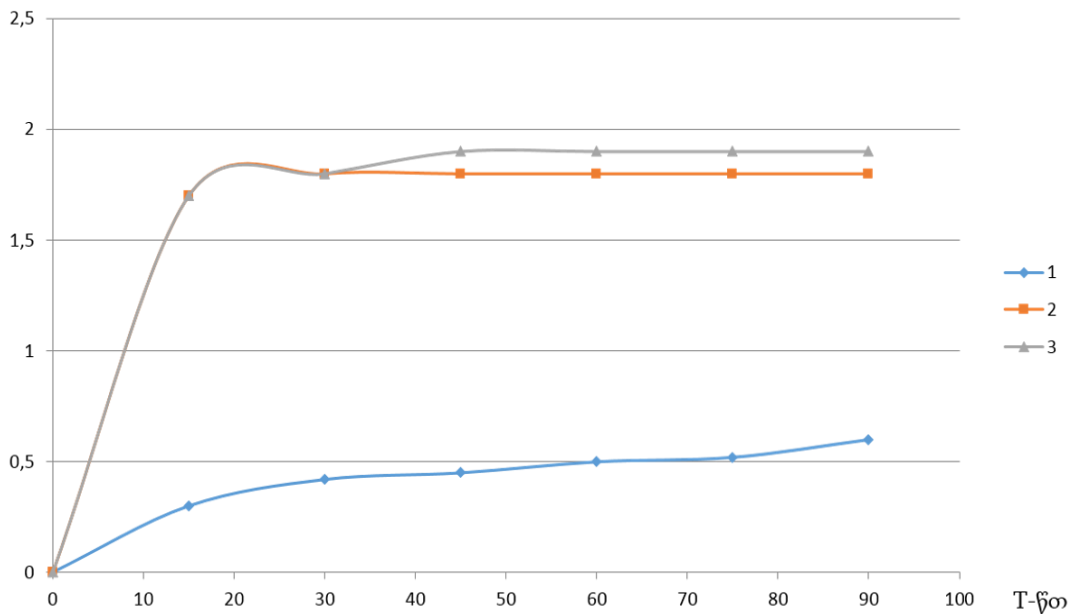
ექსპერიმენტების შეჯამებული შედეგები მოცემულია ცხრილში 3. ხოლო გოგირდწყალბადის ადსორბციის სიჩქარე ოთახის ტემპერატურაზე (25°C) ნახაზი 3.-ზე.

ცხრილი 3.

H₂S ამოღების ხარისხი (E%) ცაიშის ბუნებრივი გოგირდმემცველი წყლიდან (C₀=22,1 მგ/ლ).

კლინოპტილოლითი	დრო t, წთ					
	15	30	45	60	75	90
კათიონიტი KY - 2 – 8	76,2	80,5	82,8	82,8	82,8	82,8
ხეკორმულას N _i -ით მოდიფიცირებული ცეოლითი	76,43	78,96	78,96	78,96	78,96	78,96
ძეგვის დაუმუშავებელი ცეოლითი	14,71	19,91	24,43	27,15	27,6	28,05

H₂S მგ/გ



ნახ. 3. გოგირდწყალბადის ადსორბციის სიჩქარე ცეოლითებზე (25°C) .

1. ძეგვის დაუმუშავებელი კლინოპტილოლითი;
2. N_i- ით მოდიფიცირებული ცეოლითი ხეკორმულას კლინოპტილოლითი;
3. კათიონიტი KY-2-8.

ჩატარებული კვლევების საფუძველზე შეიძლება გავაკეთოთ დასკვნა: ადგილობრივი ბუნებრივი წარმოშობის ცეოლითები და სინთეზური კათიონიტი KY-2-8 შეიძლება გამოყენებული იქნას შავი ზღვის სიღრმისეული წყლებში არსებული გოგირდწყალბადის H_2S -ის მიმართ მაღალეფექტურ ადსორბენტად.

მესამე თავში განხილულია შიგაწვის ძრავებში წყალბადის, როგორც ალტერნატიული საწვავის გამოყენების თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების ანალიზი.

შიგაწვის ძრავების ენერგოეკოლოგიური მაჩვენებლები მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული გამოყენებული საწვავის სახეზე და ამ მაჩვენებლების ობიექტური შეფასება შესაძლებელია მუშა ციკლის თერმოდინამიკური პარამეტრების ანალიზის გზით. ამ მიზნით ვახდენთ თეორიული ციკლების გაანგარიშებას, როგორც ბენზინზე ასევე ბენზინი+წყალბადის ნარევის სხვადასხვა თანაფარდობისას ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტის (α) ფართო დიაპაზონში, კუმშვის ხარისხის (ϵ) ცვლილებისას.

ისმის კითხვა, როგორ მოქმედებს ბენზინისა და ჰაერის ნარევი წყალბადის დამატება ძრავის ინდიკატორულ და ეფექტურ მაჩვენებლებზე. ასეთ შემთხვევაში ინდიკატორული წნევის მაქსიმუმი ისევე, როგორც მხოლოდ ბენზინზე მუშაობისას მიიღწევა სტეჟიომეტრული ნარევის მახლობლობაში ($\alpha \approx 0,9$), რადგან ნარევის კომპოზიციაში წყალბადის მასური წილი არ აღემატება 0,03-0,04-ს. აღნიშნულის გამო მუშა პროცესი წარმართება თითქმის ისეთივე მაჩვენებლებით როგორც მხოლოდ ბენზინზე მუშაობისას, თუმცა შეინიშნება ციკლის მაქსიმალური ტემპერატურის და წნევის მიახლოებით 3%-ით მომატება.

ნარევი წყალბადის წილის მომატება იწვევს წვის პროცესის სიჩქარის ზრდას, რის გამოც მცირდება წვის ხანგრძლივობა და იზრდება სითბოს გამოყოფის სიჩქარე. კერძოდ, წყალბადის მასური ხარჯის $0 \div 0,1$ ზღვრებში გაზრდა, მაქსიმალური ტემპერატურის დროს ზრდის სითბოს აქტიური გამოყოფის კოეფიციენტს 0,772-დან 0,807-მდე ზღვრებში. საშუალო ინდიკატორული წნევა და ინდიკატორული მქკ მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს, როცა წყალბადის წილი ნარევი 0,03 \div 0,04 ზღვრებშია.

ექსპერიმენტალურ მონაცემებზე დაყრდნობით ჩვენ მიერ დამუშავებული იქნა მეთოდის, რომელიც საშუალებას მოგვცემს ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში განვსაზღვროთ ნარევი წყალბადისა და ბენზინის ისეთი თანაფარდობა, რომელიც უზრუნველყოფს მუშა პროცესის მაღალ დონეზე განხორციელებას. კერძოდ, ამ შემთხვევაში შეიძლება განვსაზღვროთ ბენზინის ისეთი მინიმალური რაოდენობა, რაც ნარევის გადარიბების მიუხედავად უზრუნველყოფს პროცესის ნორმალურად წარმართვას.

მეთოდის ემყარება წვის პროცესში გამოყოფილი სითბური ენერგიის რაოდენობის განსაზღვრას, რომელიც მოცემულ კონკრეტულ შემთხვევაში იანგარიშება ფორმულით:

$$Q = \beta G_{\text{ბო}} H_{u\text{ბ}} = G_{\text{ბ}} H_{u\text{ბ}} + G_{\text{წყ}} H_{u\text{წყ}} \quad (2)$$

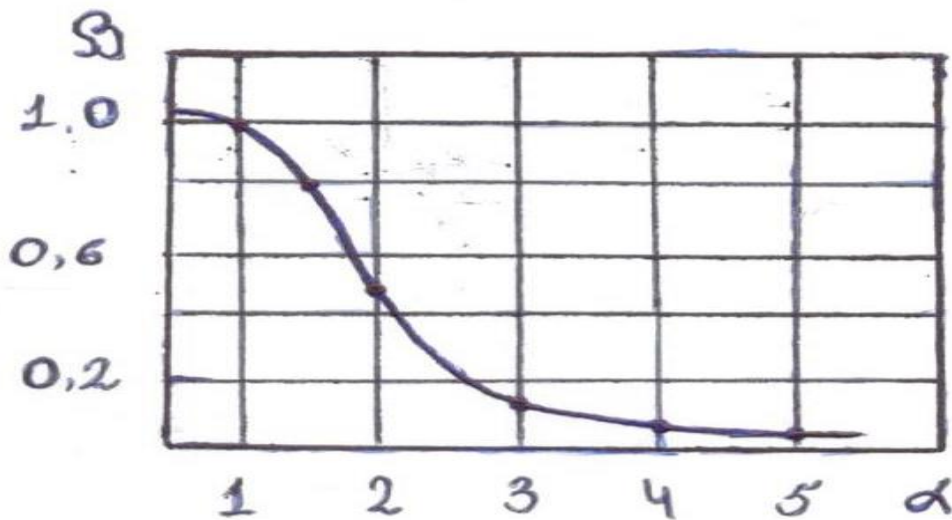
სადაც $G_{\text{ბო}}$ - არის ბენზინის ხარჯი წყალბადის დამატების გარეშე; $G_{\text{წყ}}$ - წყალბადის როგორც დანამატის ხარჯი; $G_{\text{ბ}}$ - ბენზინის ხარჯი წყალბადის დამატების

შემდეგ; $H_{u\delta}$ და $H_{u\text{წყ}}$ - ბენზინისა და წყალბადის დაწვის უმდაბლესი სითბოა; β - ბენზინის შემცირების მაჩვენებელი კოეფიციენტი წყალბადის დამატების შემთხვევაში და გამოსახულებიდან

$$\beta = \frac{G_{\delta} \cdot H_{u\delta} + G_{\text{წყ}} \cdot H_{u\text{წყ}}}{G_{\delta 0} \cdot H_{u\delta}} = \frac{G_{\delta} + K \cdot G_{\text{წყ}}}{G_{\delta 0}} \quad (3)$$

სადაც $K = \frac{H_{u\text{წყ}}}{H_{u\delta}} = 2,73$

გამოსახულების ანალიზი გვიჩვენებს რომ β უგანზომილებო კოეფიციენტი და მასში შემავალი ყველა სიდიდე შეიძლება განისაზღვროს ექსპერიმენტულად, როცა $G_{\text{წყ}}=0$ და $\beta=1$. დიაგრამაზე ნახ. 4. მოცემულია β კოეფიციენტის ცვლილება ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტზე (α) დამოკიდებულებით.



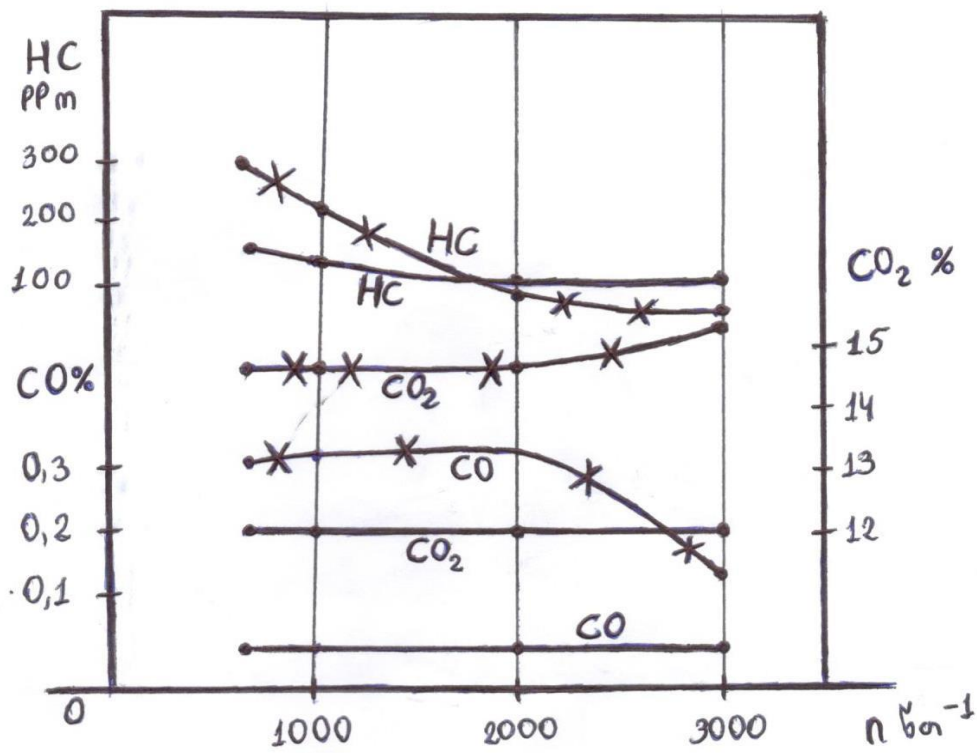
ნახ. 4. უგანზომილებო β კოეფიციენტის დამოკიდებულება ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტზე.

ჩვენს მიერ ჩატარებული კვლევის მიზანია ავტომობილის სხვადასხვა სახის საწვავზე (ბენზინი, ბუნებრივი აირი, წყალბადი+ბენზინი, წყალბადი+ბუნებრივი აირი) მუშაობისას ეკოლოგიური მახასიათებლების გაზომვა და შესაბამისი დასკვნების და რეკომენდაციების გაკეთება.

კვლევითი სამუშაოების ჩასატარებლად ჩვენს მიერ გამოყენებული იტალიური წარმოების აირანალიზატორი Multitest 211 დანიშნულია, ბენზინზე ან აიროვან საწვავზე მომუშავე სატრანსპორტო მოწყობილობების, ენერგეტიკული დანადგარების წვის პროდუქტებში სხვადასხვა სახის ტოქსიკური ნაერთების კონცენტრაციის განსაზღვრის მიზნით. მოწყობილობა მუშაობს როგორც სტატიკურ ასევე დინამიკურ რეჟიმებზე და მაყუჩიდან გამომავალი მილიდან ნამწვი აირების ართმევა ხორციელდება სპეციალური ზონდის საშუალებით. მოწყობილობის მუშაობის პროცესის და გაზომვითი სამუშაოების ჩატარების ინსტრუქცია შედგენილია UNR 10893:2000 სტანდარტის მოთხოვნების შესაბამისად.

ექსპერიმენტალური კვლევის მიზანია მოვახდინოთ სატრანსპორტო საშუალებების ეკოლოგიური მაჩვენებლების ანალიზი, როგორც ტრადიციულ საწვავზე (ბენზინი), ასევე ბუნებრივ აირსა და ბენზინი + წყალბადი, ბუნებრივი აირი + წყალბადი მუშაობის შემთხვევაში.

პირველ ეტაპზე კვლევის ობიექტად ავიღეთ მერსედესის ფირმის ავტომობილი MERCEDES-BENZ/ML 320, რომელიც მუშაობს ძირითადად ბენზინზე და კონვერტირებულია ბუნებრივ შეკუმშულ აირზე. ექსპერიმენტალური კვლევის ჩატარების მეთოდის საფიძველზე, ძრავის უქმი სვლის რეჟიმზე მუშაობისას ($n=700$ წთ⁻¹), როგორც ბენზინის ასევე ბუნებრივი აირის შემთხვევაში გავზომეთ სიდიდეები CO, CO₂, HC, O₂, NO_x და Λ (გვიჩვენებს ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტს). ორივე შემთხვევაში შენარჩუნებულია ძრავის თბური რეჟიმის იდენტურობა (გამაგრილებელი სითხის ტემპერატურაა 90°C). ანალოგიური გაზომვები ჩავატარეთ $n=2000$ წთ⁻¹ და $n=3000$ წთ⁻¹ დატვირთვის რეჟიმებზე მუშაობისას. სამივე შემთხვევაში ცდა ჩატარდა რამდენჯერმე და სიდიდეებს შორის განსხვავება უმნიშვნელოა. გაზომვის შედეგები მოცემულია ნახ. 5.



ნახ. 5. MERCEDES-BENZ/ML 320 ავტომობილის წვის პროდუქტების ანალიზი ძრავის ბრუნთა რიცხვზე დამოკიდებულებით

ბენზინი --X---X---X---X-- ბუნებრივი აირი —————

შედარებითი ანალიზის მიზნით ანალოგიური გაზომვები ჩავატარეთ სტაციონალური ძრავისთვის (გაზ-24) სასტენდო პირობებში. კერძოდ, უქმი სვლის

n=700 წთ⁻¹, n=2000 წთ⁻¹ და n=3000 წთ⁻¹ რეჟიმზე, როგორც ბენზინზე ასევე ბუნებრივ შეკუმშულ აირზე მუშაობისას. მონაცემები წარმოდგენილია ცხრილში 4.

ცხრილი 4.

ბენზინზე მომუშავე კარბურატორიანიძრავის და ბუნებრივ აირზე კონვერტირებული ძრავის წვის პროდუქტების ანალიზი ბრუნთა რიცხვზე დამოკიდებულებით

საწვავის სახე	CO%	CO ₂ %	HC/ppm	O ₂	Λ
n=700 წთ ⁻¹					
ბენზინი	2,45	8,4	470	7,3	1,332
ბუნებრივი აირი	0,05	4,5	443	11,28	2,38
n=2000 წთ ⁻¹					
ბენზინი	2,48	8,6	426	8,2	1,441
ბუნებრივი აირი	0,06	4,9	450	12,3	2,52
n=3000 წთ ⁻¹					
ბენზინი	2,46	8,9	402	9,1	1,63
ბუნებრივი აირი	0,06	5,2	455	12,8	2,56

ჩატარებული კვლევის ანალიზი გვიჩვენებს რომ MERCEDES-BENZ/ML, V_ლ=3.2 ფორმის ავტომობილის ბენზინზე მუშაობისას, ბრუნვის სიხშირის ზრდასთან ერთად ნახშირორჟანგის (CO) მნიშვნელობა მცირდება 0,31-დან 0,14-მდე, ხოლო CO₂-ის მნიშვნელობა პირიქით იზრდება 14,7-დან 15,3-მდე. ეს მიუთითებს იმაზე, რომ ცილინდრში მიმდინარე წვის პროცესი სრულყოფილია, რადგან მოხმარებული ჟანგბადის რაოდენობა მცირდება 0,5%-დან 0,05%-მდე. რაც შეეხება ნახშირწყალბადს HC-ს მისი მნიშვნელობა მცირდება 288 ppm-დან 58 ppm-მდე. წვის პროდუქტებში აზოტის ჟანგეულები საერთოდ არ შეინიშნება, რაც დამახასიათებელია ბენზინზე მომუშავე ძრავებისთვის.

იგივე ავტომობილის ბუნებრივ შეკუმშულ აირზე მუშაობისას წვის პროდუქტებში ნახშირორჟანგის და ნახშირორჟანგის ცვლილება ფაქტობრივად ბრუნთა რიცხვზე არ არის დამოკიდებული, ხოლო HC მნიშვნელობა მცირდება 140 ppm-დან 70 ppm-მდე. შესაბამისად მოხმარებული ჟანგბადის რაოდენობა იცვლება 0,05±0,25 ზღვრებში.

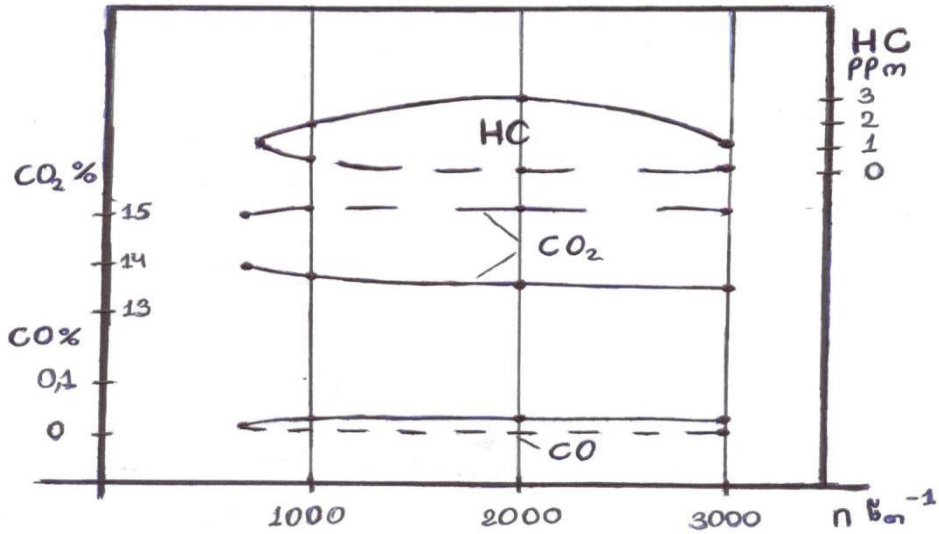
კვლევის მთავარ მიზანს წარმოადგენს საავტომობილო ტრანსპორტზე წყალბადის გამოყენების შესაძლებლობების შესწავლა და ძრავის მუშაობისას ეკოლოგიური მაჩვენებლების ანალიზი როგორც ტრადიციულ საწვავზე ბენზინზე, ასევე ბუნებრივ აირზე და ბენზინი + წყალბადი, ბუნებრივი აირი + წყალბადი კონვერტაციის დროს. ამ კვლევების ჩასატარებლად შერჩეულ იქნა ავტომობილი MITSUBISHI/OUTLANDER, რომლის ლიტრაჟია V_ლ=3. ავტომობილი აღჭურვილია საბაზო კვების სისტემით (მსუბუქი საწვავის შეფრქვევა), შეკუმშული აირის კვების

სისტემით და მოწყობილობით, რომელიც ძრავის მუშაობისას ახდენს ძირითად საწვავზე წყალბადის დამატებას. აღნიშნულ სისტემებზე ძრავის მუშაობის რეგულირება ხორციელდება სალონში განთავსებული გადამრთველი მოწყობილობის საშუალებით.

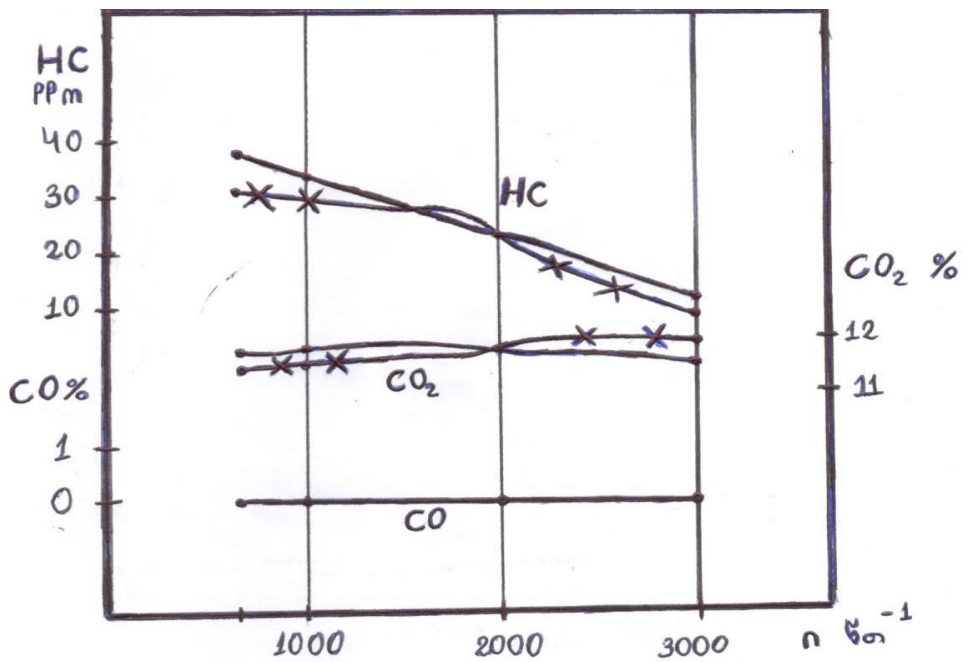
ცხრილი 5.

MITSUBISHI/OUTLANDER ავტომობილის წვის პროდუქტების ანალიზი მუხლა ლილვის ბრუნვის სიხშირესა და საწვავის სახეზე დამოკიდებულებით

საწვავის სახე	CO%	CO ₂ %	HC/ppm	O ₂ %	Λ
n=700 წთ ⁻¹					
ბენზინი	0,01	14,0	1	0,03	1,001
ბენზინი + წყალბადი	0,01	15,1	1	0,06	1,002
ბუნებრივი აირი	0	11,6	37	0,39	1,021
ბუნებრივი აირი + წყალბადი	0	11,5	31	0,36	1,02
n=2000 წთ ⁻¹					
ბენზინი	0,02	13,8	3	0,3	1,001
ბენზინი + წყალბადი	0,01	15,2	0	0,02	1,01
ბუნებრივი აირი	0	11,7	23	0,34	1,019
ბუნებრივი აირი + წყალბადი	0	11,6	23	0,32	1,018
n=3000 წთ ⁻¹					
ბენზინი	0,02	13,6	0	0	1,001
ბენზინი + წყალბადი	0,01	15,2	0	0,02	1,001
ბუნებრივი აირი	0	11,6	10	0,21	1,012
ბუნებრივი აირი + წყალბადი	0	11,7	9	0,20	1,011



ნახ. 6. MITSUBISHI/OUTLANDER მარკის ავტომობილის ეკოლოგიური მაჩვენებლები ბენზინზე და ბენზინი + წყალბადი მუშაობის პირობებში ბრუნთა რიცხვზე დამოკიდებულებით
 ბენზინი _____ ბენზინი + წყალბადი - - - - -



ნახ. 7. MITSUBISHI/OUTLANDER მარკის ავტომობილის ეკოლოგიური მაჩვენებლები ბუნებრივ აირზე და ბუნებრივ აირი + წყალბადი მუშაობის პირობებში ბრუნთა რიცხვზე დამოკიდებულებით
 ბუნებრივ აირი _____ ბუნებრივი აირი + წყალბადი --X---X---X---X---

პირველ რიგში განვიხილოთ ძრავის მუშაობა უქმი სვლის რეჟიმზე ($n=700$ წთ⁻¹). ბენზინზე და ბენზინი + წყალბადი ძრავის მუშაობისას CO-ს მნიშვნელობა

ორივე შემთხვევაში ერთნაირია, არ იცვლება ასევე HC-ს მნიშვნელობა, თუმცა მეორე შემთხვევაში შეინიშნება CO₂-ის მომატება, რაც იმით იხსნება რომ შესაბამისად იმატებს წვის პროცესში მონაწილე ჟანგბადის რაოდენობა (O₂ იზრდება 0,03%-დან 0,06%-მდე) და უმჯობესდება ნახშირბადის დაჟანგვის პროცესი. ე.ი. უქმი სვლის რეჟიმზე ფაქტობრივად წყალბადის დამატება ტრადიციულ საწვავზე მნიშვნელოვან გავლენას არ ახდენს ისეთ კომპონენტებზე როგორცაა CO და HC.

იმავე რეჟიმზე, როცა საწვავად გამოყენებულია ბუნებრივი შეკუმშული აირი და ბუნებრივი აირი + წყალბადი წვის პროდუქტებში CO-ს მნიშვნელობა საერთოდ არ ფიქსირდება, მაგრამ მეორე შემთხვევაში შეინიშნება CO, HC და O₂-ის მნიშვნელობების გარკვეული შემცირება.

თუ ორივე რეჟიმზე შევადარებთ ძრავის მუშაობას ბენზინსა და ბუნებრივ აირზე, მეორე შემთხვევაში CO და CO₂ მნიშვნელოვნად ნაკლებია ბენზინზე მომუშავე ძრავთან შედარებით, თუმცა HC მნიშვნელოვნად მომატებულია, რაც დამახასიათებელია აიროვან საწვავზე მომუშავე ძრავებისთვის.

ძრავის მუშაობისას დატვირთვის რეჟიმზე (n=2000 წთ⁻¹), როცა საწვავად გამოყენებულია ბენზინი და ბენზინი + წყალბადი, მეორე შემთხვევაში CO-სა და HC-ს მნიშვნელობები შესამჩნევად ნაკლებია პირველთან შედარებით, თუმცა შეინიშნება CO₂-ის გარკვეული მატება, რაც წვის პროცესის გაუმჯობესებაზე მიუთითებს. იმავე რეჟიმზე, როცა საწვავად გამოყენებულია ბუნებრივი აირი და ბუნებრივი აირი + წყალბადი წვის პროდუქტებში CO საერთოდ არ ფიქსირდება, ერთნაირია HC-ს მნიშვნელობა, თუმცა პირველ შემთხვევაში უმნიშვნელოდ მეტი ფიქსირდება CO₂. იმავე რეჟიმზე ძრავის ბენზინზე და ბუნებრივ აირზე მუშაობისას მონაცემთა ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ბუნებრივი აირის მოხმარების დროს შეიმჩნევა HC-ს მნიშვნელოვანი მომატება, სხვა შემთხვევაში ბევრად უარესია ბენზინზე მომუშავე ძრავი. ამასთან ბუნებრივ აირზე წყალბადის დამატებით ძრავის ეკოლოგიური მაჩვენებლები ფაქტიურად არ იცვლება, თუმცა შეინიშნება ძრავის სიმძლავრის მომატება 10-12%-ით.

ე.ი. კვლევის ანალიზი გვიჩვენებს რომ საბაზო საწვავთან (ბენზინი) შედარებით ალტერნატიული საწვავის სახით ბუნებრივი აირის და წყალბადის დანამატის სახით გამოყენება მნიშვნელოვნად ამცირებს წვის პროდუქტებში ტოქსიკური ნაერთების რაოდენობას, რაც კიდევ ერთხელ მიუთითებს სატრანსპორტო საშუალებებზე წყალბადის ენერგეტიკის დანერგვის პერსპექტივაზე.

მეოთხე თავში განხილულია გარემოში გამოყოფილი მავნე ნივთიერებებით მიყენებული სოციალურ-ეკონომიკური ზიანის გაანგარიშების მეთოდოლოგია და მათი შემცირებით მიღებული სოციალურ-ეკონომიკური ეფექტის გაანგარიშება.

გარემოს დაცვითი სამუშაოების ჩატარების გადაწყვეტილების და დაგეგმვის მისაღებად აუცილებელია წინასწარი ეკონომიკური ანალიზი, რაც ითვალისწინებს ეკოლოგიური და სოციალურ-ეკონომიკური შედეგების ერთმანეთთან შეჯერებას და ანალიზს. სოციალურ-ეკონომიკური ეფექტი ერთდროულად ასახავს, როგორც სოციალურ ისე ეკონომიკურ შედეგებს, რომელიც მიიღწევა გატარებული ბუნების დაცვითი ღონისძიებების გატარების შედეგად და გამოსახულია ღირებულებითი ფორმით. მაგალითად დაავადებათა შემცირება ერთის მხრივ აძლიერებს ადამიანის ჯანმრთელობას და მეორეს მხრივ ზრდის შესრულებული სამუშაოს დროის ფონდს.

საავტომობილო ტრანსპორტის მიერ გარემოში გამოყოფილი მავნე ნაერთების ზემოქმედებით მიყენებული სოციალურ-ეკონომიკური ზარალი (ლარი/წელი) შეიძლება ვიანგარიშოთ შემდეგი ფორმულის საფუძველზე.

$$Y = j \sigma f M \quad (4)$$

სადაც j მუდმივი სიდიდეა და მისი მნიშვნელობა დამოკიდებულია სატრანსპორტო საშუალების გამოშვების წელზე. 2005 წლამდე გამოშვებული სატრანსპორტო საშუალებებისთვის $j=2,4$ ხოლო 2005 წლის შემდეგ გამოშვებული ავტომობილებისთვის $j=2,0$.

f - უგანზომილებო სიდიდეა და საავტომობილო ტრანსპორტისათვის $f=10$.

σ - ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების საფრთხის ფარდობითი მაჩვენებელია და აიღება ცხრილიდან.

M -სატრანსპორტო საშუალების მიერ გარემოში გამოყოფილი მავნე ნივთიერებების წლიური დაყვანილი მასაა და იანგარიშება ფორმულით

$$M = \sum_{i=1}^n A_i m_i \quad (5)$$

ბუნებისდაცვითი ღონისძიებების გატარება შეუძლებელია წინასწარი ეკონომიკური ანალიზის გარეშე. ეს კი ნიშნავს იმას რომ ბუნებისდაცვის ღონისძიებებზე გაწეული ხარჯები უნდა შეესაბამებოდეს მიღწეულ ეკოლოგიურ და ეკონომიკურ შედეგებს. გატარებული ღონისძიებების შეფასების კრიტერიუმებს წარმოადგენს ისეთი მაჩვენებლები როგორცაა მოსახლეობის კეთილდღეობის ამალღება, დაავადებათა რისკის შემცირება, ადამიანის ფიზიკური და გონებრივი განვითარება, შრომის ნაყოფიერების ამალღება და სხვ.

ნამწვ აირებში ტოქსიკური ნაერთების შემცირებით მიღებული წლიური სოციალურ-ეკონომიკური ეფექტი კონკრეტული ტიპის საავტომობილო ძრავისთვის იანგარიშება ფორმულით

$$E = \left[C \cdot \left(\frac{B_{\text{მკ}}}{B_{\text{საბ}}} \cdot \frac{P_1 + E_n}{P_2 + E_n} - 1 \right) + E_j + Z - X \right] \cdot N \quad (6)$$

მოცემული მეთოდიკით გამოვთვალოთ ავტომობილის ეკოლოგიური მახასიათებლების გაუმჯობესებით მიღებული სოციალურ ეკონომიკური ეფექტი. გაანგარიშების საფუძველზე მივიღეთ რომ ალტერნატიული საწვავის გამოყენება (ბენზინი + წყალბადი) ტრადიციულ საწვავთან შედარებით იწვევს ერთი ავტომობილის მიერ გარემოზე მიყენებული ზიანის შემცირებას 0,32 ლ/ტ.კმ. ჩვენ შემთხვევაში საწვავის ხარჯის და გარემოში გამოყოფილი ტოქსიკური ნაერთების შემცირების გამო ერთი ძრავის მიერ მიღებული სოციალური ეფექტი შეადგენს 72,3 ლარს. რაც ათას ავტომობილზე გაანგარიშებით იძლევა 72 300 ლარის სოციალურ ეკონომიკურ ეფექტს წელიწადში.

საერთო დასკვნები და რეკომენდაციები

1. თანამედროვე ეტაპზე ეკოლოგიური სიტუაცია მსოფლიოს მთელ რიგ რეგიონში და მათ შორის საქართველოში მკვეთრად გაუარესებულია, რაც უშუალოდაა დაკავშირებული სატრანსპორტო სისტემის რიცხვის ზრდის სწრაფ ტემპებთან. ატმოსფეროს და საერთოდ ბუნებრივი გარემოს დამბინძურებლებიდან განსაკუთრებით აღსანიშნავია ნავთობი და მისი გადამუშავების პროდუქტები, რადგან ბენზინი, დიზელის საწვავი, შემზეთი მასალები და სხვა გარემოს აბინძურებენ ნებისმიერ აგრეგატულ მდგომარეობაში.

2. გარემოს დაბინძურების ძირითადი წყაროა სატრანსპორტო შიგაწვის ძრავებში მიმდინარე პროცესები, რადგან წვის პროდუქტები შეიცავს 200-ზე მეტი დასახელების სხვადასხვა სახის ნივთიერებას, რომელთაგან უმეტესობა მომწამლავია. განსაკუთრებით აღსანიშნავია ნახშირბადის დიოქსიდი (CO_2); ნახშირბადის მონოოქსიდი (CO); სხვადასხვა სახის ნახშირწყალბადები (C_xH_y); აზოტისა (NO_x) და გოგირდის ოქსიდები; ტყვიის ნაერთები; მყარი ნაწილაკები ჭვარტლის სახით; მძიმე ლითონები და სხვ. ჰაერის დაბინძურება ავტოტრანსპორტის მოძრაობის ინტენსივობის პროპორციულია და მოსახლეობა განიცდის მავნე ნივთიერებათა ზემოქმედებას.

3. იმასთან დაკავშირებით რომ საქართველო სატრანსპორტო დანიშნულების რეგიონია, აუცილებელია განსაკუთრებული ყურადღება მიექცეს ტრანსპორტით დაბინძურების შედეგად გამოწვეული უარყოფითი ეკოლოგიური მოვლენების შეფასებას. ამ ამოცანის გადაწყვეტა აუცილებელს ხდის უმოკლეს დროში ავტომაგისტრალების მიმდებარე ტერიტორიაზე ჩამოყალიბდეს ბუნების დაცვა-სარგებლობის ერთობლივი სისტემა, ეკოლოგიური მონიტორინგის თანამედროვე მოთხოვნათა გათვალისწინებით.

4. სატრანსპორტო საშუალებების კერძოდ საავტომობილო ტრანსპორტის ეკონომიკური და ეკოლოგიური მაჩვენებლების გაუმჯობესების ერთ-ერთი რეალური შესაძლებლობა ალტერნატიული საწვავის გამოყენების გზების ძიებაა. დღეისათვის საავტომობილო ტრანსპორტის ეკონომიურობისა და ეკოლოგიური უსაფრთხოების ამაღლების თემა მეტად აქტუალურია, ამიტომ ნებისმიერ ღონისძიებას რომელიც უზრუნველყოფს საავტომობილო ტრანსპორტზე საწვავის ეკონომიას და მის რაციონალურ გამოყენებას და ეკოლოგიური უსაფრთხოების გაზრდას აქვს დიდი პრაქტიკული და სოციალური მნიშვნელობა.

5. სატრანსპორტო საშუალებების, კერძოდ საავტომობილო ტრანსპორტის ეკონომიკური და ეკოლოგიური მაჩვენებლების გაუმჯობესების მომავლის პერსპექტივაა წყალბადის ენერგეტიკა, რადგან წყალბადი სამყაროში ყველაზე მეტად გავრცელებული ელემენტია და მისი დიდი ნაწილი დედამიწაზე იმყოფება წყლის სახით.

წყალბადის როგორც საწვავის საავტომობილო ტრანსპორტზე გამოყენების პერსპექტივა განპირობებულია მისი ეკოლოგიური სისუფთავით, ამოუწურავი მარაგით, განახლებადობით და შესანიშნავი თბური და „ძრავური“ თვისებებით. წყალბადის ენერგეტიკა ფაქტიურად ნიშნავს ქვეყნის ენერგოდამოუკიდებლობას.

6. წყალბადის ენერგეტიკაზე გადასვლის არსებითი პირობაა წყალბადზე მომუშავე საიმედო ეკონომიური და ეკოლოგიური ენერგეტიკული მოწყობილობების შექმნა. დღეისათვის წყალბადზე მომუშავე შიგაწვის ძრავების კვლევისა და დაყვანის

სამუშაოები მიმდინარეობს ისეთ მსხვილ საავტომობილო კომპანიებში როგორცაა BMW, HONDA, GM (GENERAL MOTORS), კორპორაცია FORD, MAZDA და სხვ. სადოქტორო ნაშრომში ჩვენს მიერ ჩატარებულია კვლევები წყალბადის, როგორც ტრადიციულ საწვავზე დანამატის გამოყენებისას ეკოლოგიური პარამეტრების ცვლილებების ანალიზის თვალსაზრისით.

7. საწვავ ელემენტებში გამოყენებულ წყალბადშემცველ ნედლეულს შორის განსაკუთრებულ ყურადღებას იპყრობს გოგირდწყალბადი, რომლის შემცველობის მიხედვით შავი ზღვა ყველაზე მსხვილი აუზია მსოფლიოში. შავ ზღვაში გოგირდწყალბადის მუდმივი განახლებადობა მომწამლავი გოგირდწყალბადის ზედაპირულ ფენებში ამოსვლას განაპირობებს და ძლიერი ეკოლოგიური საფრთხის შემცველია. ამ საფრთხის განეიტრალების მიზნით დამუშავდა ერთიანი მთლიანი ციკლი შავი ზღვის ავზიდან გოგირდწყალბადის ზედაპირზე ამოტანის, მისი წყალხსნარიდან გამოყოფის და მემბრანული ტექნოლოგიების გამოყენებით, მისგან წყალბადის და მეთანის მიღების და საავტომობილო შიგაწვის ძრავში საწვავად გამოყენების მიზნით.

8. ნაშრომში განხილულია შავი ზღვის სიღრმისეული წყლებიდან აირადი ნარევების განცალკევებისა და დაყოფის სქემა მემბრანული ტექნოლოგიების და სორბციული მეთოდების გამოყენებით. ზღვის წყლიდან ადსორბციული კონცენტრირების მეთოდით გოგირდწყალბადის ამოღების მიზნით ჩატარებული იქნა კვლევები ადგილობრივი წარმოშობის ხეკორძულას N_i -ით მოდიფიცირებული კლინოპტილოლითით, ძეგვის დაუმუშავებელი კლინოპტილოლითით და სინთეზური კათიონიტით KY-2-8. გამოსაკვლევ ხსნარებად გამოყენებულ იქნა საქართველოს ხობისა და ცაიშის ბუნებრივი გოგირდშემცველი წყლები. ჩატარებული ექსპერიმენტული მონაცემები გვიჩვენებს, რომ მოდიფიცირებული ცეოლითები და სინთეზური კათიონიტი ხასიათდება გოგირდწყალბადის ადსორბციის დიდი დიაპაზონით. შედარებით ნაკლებ ადსორბციის უნარს ავლენს ძეგვის დაუმუშავებელი კლინოპტილოლითი, ამასთან ადსორბციის პროცესზე მნიშვნელოვანია დროის ფაქტორის გავლენა.

9. შიგაწვის ძრავების ენერგოეკოლოგიური მაჩვენებლები მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული გამოყენებული საწვავის სახეზე და ამ მაჩვენებლების ობიექტური შეფასება შესაძლებელია მუშა ციკლის თერმოდინამიკური პარამეტრების ანალიზის გზით. ამ მიზნით მოვახდინეთ თეორიული ციკლების გაანგარიშება როგორც ბენზინზე, ასევე ბენზინი + წყალბადის ნარევის სხვადასხვა თანაფარდობისას, ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტის (α) ფართო დიაპაზონში კუმშვის ხარისხის (ϵ) ცვლილებისას. ამ მიზნით ჩვენს მიერ თეორიულად ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე დამუშავდა მეთოდოლოგია, რომლის საფუძველზეც შეიძლება განვსაზღვროთ ნარევი ბენზინისა და წყალბადის ისეთი თანაფარდობა, რომელიც ძრავის ნებისმიერ რეჟიმზე მუშაობისას უზრუნველყოფს ძრავის ცილინდრში წვის პროცესის ნორმალურ განვითარებას.

10. საავტომობილო ტრანსპორტის ტოქსიკურობის პრობლემების გადაწყვეტის ერთ-ერთი რეალური გზაა ალტერნატიული საწვავის გამოყენების მიმართულებით ჩატარებული კვლევების ანალიზი. ჩვენს მიერ ჩატარებული კვლევების მიზანია ავტომობილის სხვადასხვა სახის საწვავზე (ბენზინი, ბუნებრივი აირი, ბენზინი + წყალბადი, ბუნებრივი აირი + წყალბადი) მუშაობისას ეკოლოგიური

მახასიათებლების გაზომვა და შესაბამისი დასკვნების და რეკომენდაციების გაკეთება. კვლევითი სამუშაოების ჩასატარებლად გამოყენებული იქნა იტალიური წარმოების აირანალიზატორი Multitest 211, რომელიც მუშაობს როგორც სტატიკურ ასევე დინამიკურ რეჟიმებზე.

პირველ ეტაპზე კვლევის ობიექტად ავიღეთ ავტომობილი MERCEDES-BENZ/ML 320, რომელიც მუშაობს ძირითადად ბენზინზე და კონვერტირებულია ბუნებრივ შეკუმშულ აირზე. შედარებითი ანალიზის საფუძველზე ვაკეთებთ დასკვნას მოცემული კვლევის ობიექტისთვის თანაბარ პირობებში მუშაობისას ეკოლოგიური თვალსაზრისით ბუნებრივი აირი უფრო მისაღებია ვიდრე ბენზინი.

ექსპერიმენტული კვლევის ჩასატარებლად შერჩეული იქნა ავტომობილი MITSUBISHI/OUTLANDER, რომელიც აღჭურვილია საბაზო კვების სისტემით (ბენზინის შეფრქვევა), შეკუმშული აირის კვების სისტემით და მოწყობილობით, რომელიც ძრავის მუშაობისას ახდენს ძირითად საწვავზე წყალბადის დამატებას. კვლევის ანალიზმა აჩვენა, რომ წყალბადის დამატებისას ძირითადი საწვავის ეკონომია დაახლოებით 10%-ია, სიმძლავრე იზრდება 10-12%-ით და მნიშვნელოვნად მცირდება წვის პროდუქტებში ტოქსიკური ნაერთების რაოდენობა, რაც კიდევ ერთხელ მიუთითებს სატრანსპორტო საშუალებებზე წყალბადის ენერგეტიკის დანერგვის პერსპექტივაზე.

11. გარემოს დაცვითი სამუშაოების ჩატარების გადაწყვეტილებების და დაგეგმვის მისაღებად აუცილებელია წინასწარი ეკონომიკური ანალიზი, რაც ითვალისწინებს ეკოლოგიური და სოციალურ-ეკონომიკური ეფექტების ერთმანეთთან შეჯერებას. სოციალურ-ეკონომიკური ეფექტი ერთდროულად ასახავს როგორც სოციალურ ისე ეკონომიკურ ეფექტს, რომელიც მიიღწევა ბუნებისდაცვითი ღონისძიებების გატარების შედეგად და გამოისახება ღირებულებითი ფორმით. მაგ. დაავადებათა შემცირება ერთის მხრივ აძლიერებს ადამიანის ჯანმრთელობას და მეორეს მხრივ ზრდის შესასრულებელი სამუშაოს დროის ფონდს. გაანგარიშების საფუძველზე მივიღეთ, რომ ალტერნატიული საწვავის გამოყენება (ბენზინი + წყალბადი) ტრადიციულ საწვავთან შედარებით იწვევს ერთი ავტომობილის მიერ გარემოზე მიყენებული ზიანის შემცირებას. ჩვენს შემთხვევაში საწვავის ხარჯისა და გარემოში გამოყოფილი ტოქსიკური ნაერთების შემცირების გამო ერთი ძრავის მიერ მიღებული სოციალური ეფექტი შეადგენს 72,3 ლარს, რაც ათას ავტომობილზე გაანგარიშებით იძლევა 72300 ლარის სოციალურ-ეკონომიკურ ეფექტს წელიწადში.

12. ჩატარებული კვლევის შედეგების ანალიზი საშუალებას გვაძლევს დავასკვნათ, რომ წყალბადის ენერგეტიკა საავტომობილო ტრანსპორტზე მიზანშეწონილია, როგორც ეკოლოგიური პრობლემების გადაჭრის ასევე ქვეყნის სოციალურ-ეკონომიკური მდგომარეობის გაუმჯობესების თვალსაზრისით. წყალბადის მოპოვება და ენერგეტიკის განვითარება ჩვენი ქვეყნის მომავლის საქმეა.

დოქტორანტ ბაჩანა მარკელიას ავტორობით და თანაავტორობით გამოქვეყნებული შრომები (სულ 9 ნაშრომი)

1. ბ. მარკელია, ი. შარაბიძე სატრანსპორტო შიგაწვის ძრავებში ალტერნატიულ საწვავად წყალბადის გამოყენების პერსპექტივები და პრობლემები. III ქართულ-პოლონური საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია „სატრანსპორტო ხიდი ევროპა-აზია“ შრომები. 24-26.10.2017წ. აწსუ, ქუთაისი. გვ. 91-95.

2. ბ. მარკელია, ი. შარაბიძე, ა. კამლაძე შავი ზღვის გოგირდწყალბადისაგან წყალბადის მიღების და ნელსვლიან დიზელეებში მისი საწვავად გამოყენების პერსპექტივები. IV სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია ”სატრანსპორტო ხიდი ევროპა-აზია”, შრომები. 8-11.10.2018წ. სტუ, თბილისი. გვ 67-70.
<http://gtu.ge/Science/Conference/>

3. ბ. მარკელია, ა. კამლაძე, ი. დანგაძე წყალბადის ძრავის მუშა პროცესის გამოკვლევა. V საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“ მოხსენებების კრებული. 25-26.10.2018წ. აწსუ, ქუთაისი. გვ. 55-60.

4. ბ. მარკელია, ა. კამლაძე, ი. დანგაძე წყალბადი როგორც სუფთა საწვავი. V საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“ მოხსენებების კრებული. 25-26.10.2018წ. აწსუ, ქუთაისი. გვ. 78-81.

5. Markelia B., Kamladze A., Kochadze T. **THE EFFECTS OF TRANSPORT ON THE ECOSYSTEM AND HUMAN HEALTH.** International scientific journal “transport&MOTAUTO WORLD”. YEAR II, Issue 5/2017. WWW.stumejournals.com

6. Markelia B., Sharabidze I., Kochadze T. **PROSPECTS AND CHALLENGES OF USING HYDROGEN AS AN ALTERNATIVE FUEL IN THE INTERNAL COMBUSTION ENGINES OF VECHICLES.** Bulletin of Science and Practice, №12, 2017, doi:10.5281/zenodo.1112415. <http://www.bulletennauki.com>

7. Markelia B., Kamladze A., Kochadze T. **THE DIFFICULTIES OF THE EXTRACTION OF HYDROGEN SULFIDE FROM THE BLACK SEA WATER AND METHODS TO OVERCOME THEM.** Bulletin of Science and Practice, v.4, 2018 (5), doi:10.5281/zenodo.1246167. <http://www.bulletennauki.com>

8. Markelia B., Sharabidze I., Kochadze T. **Structured PhD programme Organization and management of transport processes.** Conference on Transport Sciences Győr 2019, Széchenyi István University, Győr, Hungary. <https://uni.sze.hu>

9. Markelia B., Kochadze T., Gvarishvili B. **TRANSPORTATION OF LIQUEFIED FUEL GAS IN CONTAINERS.** International scientific journal **Innovations**. Vol. 7 (2019), Issue 2. www.stumejournals.com