

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
ხელნაწერის უფლებით

მადლენა ჩხაიძე

სიმინდის ნარჩენიდან მიღებული ბიობენზინის საავტომობილო  
საწვავად გამოყენების შესაძლებლობის გამოკვლევა.

სადოქტორო საგანმანათლებლო პროგრამა „ტრანსპორტი“

შიფრი 0716

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარმოდგენილი დისერტაციის

**ავტორეფერატი**

თბილისი 2022

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
სატრანსპორტო სისტემებისა და მექანიკის ინჟინერიის ფაკულტეტის  
საავტომობილო ტრანსპორტისა და ლოგისტიკის აკადემიური დეპარტამენტის  
და თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის პეტრე მელიქიშვილის ფიზიკური  
და ორგანული ქიმიის ინსტიტუტში

ხელმძღვანელები: ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი,  
პროფესორი გიორგი აბრამიშვილი  
აკადემიური დოქტორი ქიმიაში,  
პროფესორი ნათელა ხეცურიანი

რეცენზენტები: 1. ტ.მ.დ. პროფესორი რ. ქავთარაძე  
2. აკად. დოქტორი დ. ალადაშვილი

დისერტაციის დაცვა შედგება 25 ივლისი 2022 წ. 14 სთ

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო სისტემებისა და  
მექანიკის ინჟინერიის ფაკულტეტის სადისერტაციო ნაშრომის დაცვის კოლეგიის  
სხდომაზე.

კორპუსი I, აუდიტორია 556, მისამართი: 0160, თბილისი მ. კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე.

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი

ასოცირებული პროფესორი ირინე უგრეხელიძე

## სამეცნიერო ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

**სამუშაოს აქტუალურობა:** წიაღისეული ენერგორესურსების მარაგების შემცირების გამო ნავთობური წარმოშობის ენერგომატარებლების დაზოგვითი ტექნოლოგიების განვითარება, გამონაბოლქვი ნაერთების ნორმების გამკაცრება, გარემოს დაბინძურება აიძულებს მსოფლიოს აითვისოს ენერჯის ახალი, განახლებადი წყაროები. დღეისათვის საწვავის ბაზრის განვითარების ძირითად ტენდენციად ბიოენერგეტიკა ითვლება, რომელიც უახლოესი 30-40 წლის განმავლობაში მსოფლიო ენერგეტიკული სისტემის ენერჯით უზრუნველყოფის განვითარებაში უპირატესობას შეინარჩუნებს.

წიაღისეული რესურსების წვა აჩქარებს გლობალური დათბობის პროცესს. წიაღისეული საწვავის წვის დროს გამოიყოფა მავნე ნივთიერებები, რომლებიც ქმნის „სათბურის ეფექტს“ და იწვევს გლობალურ დათბობას. ზემოაღნიშნულის გათვალისწინებით, დღის წესრიგში დადგა ალტერნატიული განახლებადი რესურსების ძიებისა და გამოყენების საკითხი, რომელიც უზრუნველყოფს ენერგორესურსებზე გაზრდილი მოთხოვნის დაკმაყოფილებას. თანამედროვე მსოფლიო ავტოპარკი ერთ მილიარდზე მეტ ერთეულს ითვლის და ყოველდღიურად სწრაფად იზრდება. როგორც ცნობილია, დიდი ქალაქების დაბინძურების მნიშვნელოვან წყაროს საავტომობილო ტრანსპორტი წარმოადგენს. ამიტომ საავტომობილო ძრავებში ტრადიციული საავტომობილო საწვავის გამოყენებასთან დაკავშირებული ეკონომიკური და ეკოლოგიური პრობლემები აქტუალურია ყველა ინდუსტრიული ქვეყნისთვის. შესაბამისად, უფრო მნიშვნელოვანია ავტოსატრანსპორტო საშუალებებში ალტერნატიული საწვავების გამოყენება, რაც ასევე განპირობებულია ავტომობილის ძრავებიდან გამონაბოლქვი აირებისადმი ეკოლოგიური მოთხოვნების გამკაცრებით.

ავტომობილის ძრავებიდან გამონაბოლქვი აირებისადმი ეკოლოგიური მოთხოვნების გამკაცრება ავტოსატრანსპორტო საშუალებების ალტერნატიულ საწვავებზე გადასვლის აუცილებლობას ქმნის. 2009/28/EC დირექტივის თანახმად ევროკავშირის ქვეყნებში მოხმარებული ენერჯის 30% განახლებადი წყაროებიდან უნდა იყოს წარმოებული, ხოლო აქედან ნახევარი, ანუ 15% ტრანსპორტის სექტორზე უნდა მოდიოდეს. საქართველო, როგორც ევროკავშირთან ასოცირების

ხელშეკრულების ხელმომწერი ქვეყანა, ვალდებულია უზრუნველყოს ევროკავშირის დირექტივების შესრულება და ალტერნატიული, განახლებადი ენერჯის წყაროებიდან მიღებული ბიოსაწვავების (ბიოეთანოლის და ბიობენზინის) წარმოება და გამოყენება. გარდა ამისა, მნიშვნელოვანია ის დოკუმენტები, რომლებიც დამტკიცებულია საქართველოს პარლამენტის მიერ 2019–2020წწ:

- )] საქართველოს კანონი „განახლებადი ენერჯის წყაროების შესახებ“
- )] „განახლებადი ენერჯის ეროვნული სამოქმედო გეგმა საქართველო“.
- )] „ნარჩენების მართვის კოდექსი“.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, საქართველოში არსებული სიმინდის ნარჩენიდან და სოფლის მეურნეობის სხვა ნარჩენებიდან ბიოეთანოლის მიღებისა და მისი საავტომობილო საწვავად გამოყენების შესაძლებლობის კვლევა აქტუალურია.

საქართველოში სოფლის მეურნეობის, კერძოდ სიმინდის ნარჩენიდან ბიოეთანოლის წარმოების განვითარებისთვის მნიშვნელოვანია შემდეგი ამოცანების განხორციელება:

- )] ბიოეთანოლის სანედლეულე ბაზის ანალიზი;
- )] ბიოეთანოლის მიღების თანამედროვე ტექნოლოგიების გათვალისწინებით საწარმოო პროცესის შერჩევა და ტექნიკური პარამეტრების შემუშავება;
- )] მიღებული ბიოეთანოლის გაუწყლოების მიზნით ადსორბერის ჩართვა, ბუნებრივი სორბენტების შერჩევა და ნამუშევარი სორბენტის რეგენერაცია;
- )] ბიობენზინების (E5, E10, E20) ნარევების დამზადება;
- )] საცდელი ნიმუშების – ნავთობური და ბიოსაწვავების სრული ანალიზი (ფიზიკურ–ქიმიური, სპექტრალური და ტექნიკური) საერთაშორისო სტანდარტების მოთხოვნების შესაბამისად;
- )] ნავთობური და ბიოსაწვავების შედარებითი დახასიათება;
- )] ავტომობილის ძრავას ეკოლოგიურობაზე ბიოდანამატების გავლენის შესწავლა;
- )] საწვავების შენახვის ხანგრძლივობის დადგენა;

**ნაშრომის მეცნიერული სიახლე:** ენერჯის განახლებადი წყაროების შესახებ არსებული მრავალრიცხოვანი ლიტერატურის ღრმა ანალიზის საფუძველზე დასაბუთებულია საქართველოში სიმინდის ნარჩენებისაგან ბიოეთანოლის დამზადების აქტუალურობა და პერსპექტიულობა.

) არსებული გამოცდილების გათვალისწინებით, დამუშავებულია სიმინდის ნარჩენებიდან ბიოეთანოლის მიღების ორიგინალური ტექნოლოგია, რომლის რეალიზება უზრუნველყოფს პროცესის მაღალ მწარმოებლობას და მაღალხარისხიანი (მაქსიმალურად მცირეწყლიანი) ეკოლოგიურად ეფექტური და იაფი ბიოეთანოლის მიღებას.

) თანამედროვე საკვლევი აპარატურის და კვლევის მეთოდების გამოყენებით ჩატარებული მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტების შედეგებით დადასტურებულია სიმინდის ნარჩენიდან მიღებული ბიოეთანოლის საავტომობილო ნავთობბენზინების დანამატად გამოყენების პერსპექტიულობა, მისი გავლენით ნავთობბენზინების მნიშვნელოვანი ეკონომიისა და ავტომობილის მაღალი ეკოლოგიურობის (განსაკუთრებით სათბური აირის CO<sub>2</sub>-ის გამონაბოლქვის შემცირების) უზრუნველყოფის თვალსაზრისით.

**ნაშრომის პრაქტიკული მნიშვნელობა.** ბიოსაწვავის წარმოების ეფექტურობის შეფასება, განახლებადი ენერჯის წყაროების და სოფლის მეურნეობის ნარჩენებიდან, უზრუნველყოფს ენერგოდაზოგვით, ენერგეტიკულ და ეკოლოგიურ უსაფრთხოებას. შემუშავებული რეკომენდაციების საშუალებით შესაძლებელია ტრადიციული ნახშირწყალბადური ენერჯის და ბიოენერგეტიკის მართვა. განახლებადი ენერჯის წყაროების და ბიონარჩენების რაციონალური უტილიზაცია უზრუნველყოფს საწვავი ეთანოლის წარმოებას და ბიოსაწვავების დამზადებას ქვეყანაში არსებული სატრანსპორტო საშუალებისთვის, ბიოსაწვავების ეკოლოგიური მახასიათებლების (მავნე ემისიების შემცირებას) გაუმჯობესებას, ენერგოდაზოგვითი ტექნოლოგიების და ბიოენერგეტიკული სფეროების განვითარებას. პირველად განხორციელდება საქართველოში საწვავი ეთანოლის მიღება და დამზადდება ბიობენზინები, რაც უზრუნველყოფს გამონაბოლქვი აირების და შესაბამისად „სათბური ეფექტის“ შემცირებას და გაზრდის გარემოსთვის საწვავების ეკოლოგიური უსაფრთხოების დონეს.

**ნაშრომის აპრობაცია.** დისერტაციის მასალების მიხედვით გამოქვეყნებულია 5 სამეცნიერო ნაშრომი; მათ შორის ერთი საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის თეზისი და ოთხი სამეცნიერო სტატია.

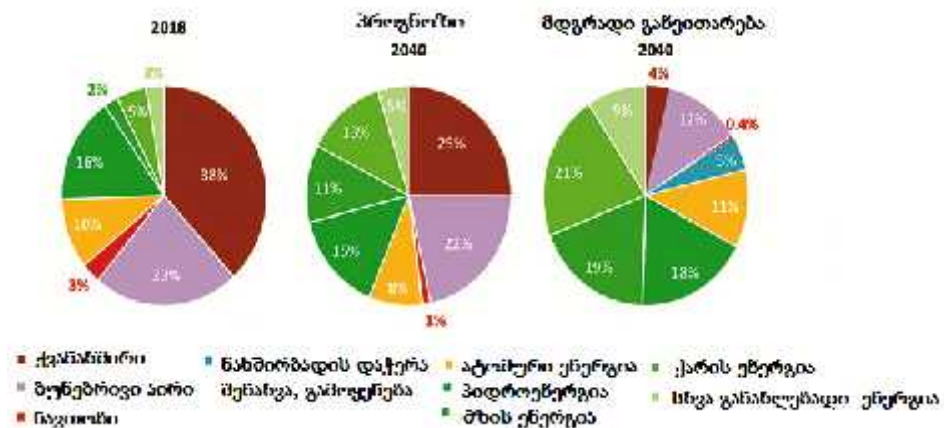
**სადისერტაციო ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა:** დისერტაცია მოიცავს 115 გვერდს, იგი შედგება შესავლის, ლიტერატურული მიმოხილვის, ექსპერიმენტული ნაწილის, დასკვნების, 93 ციტირებული ლიტერატურის ნუსხისგან. დისერტაციის მასალა ილუსტრირებულია 43 ნახაზით და 15 ცხრილით.

## სადისერტაციო ნაშრომის მოკლე შინაარსი

ნაშრომის პირველი თავი - ლიტერატურული მიმოხილვა - შედგება შვიდი ქვეთავისგან, სადაც განხილულია შემდეგი თემები: განახლებადი ენერჯის წყაროები; ბიოსაწვავის სახეები; თხევადი ბიოსაწვავი; ძრავას გამონაბოლქვი აირების ტოქსიკურობა; გამონაბოლქვი აირების შემადგენლობა; ბიოდანამატები - ბიოეთანოლი; ბიოეთანოლის გავლენა შიგა წვის ძრავაზე.

წარმოდგენილია ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მექანიზმის - განახლებადი ენერჯის წყაროების გამოყენების შესაძლებლობები.

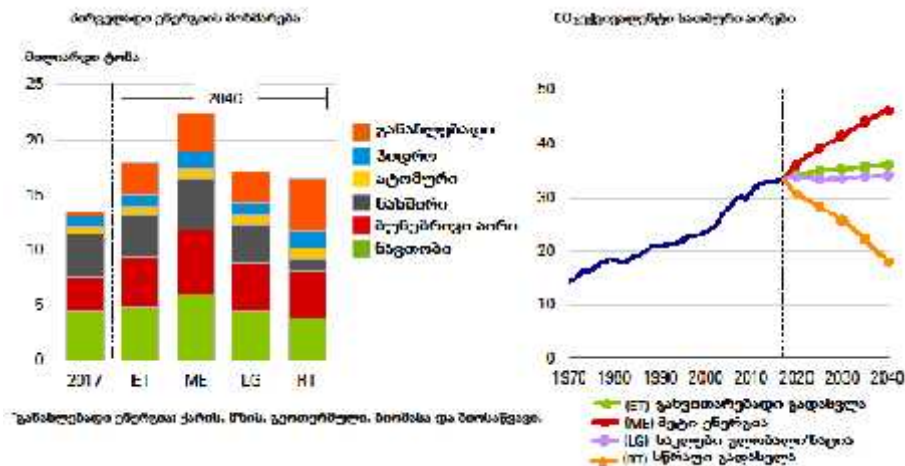
თანამედროვე მსოფლიოში ენერგეტიკულ რესურსებს მნიშვნელოვანი როლი აკისრია ქვეყნის ეკონომიკურ განვითარებაში. ენერგეტიკულ რესურსებს (ქვანახშირი, ნავთობი, ბუნებრივი აირი, ჰიდრო და თბოენერჯია) შორის ნავთობი წარმოადგენს ერთადერთ ძირითად წყაროს, რომელიც აკმაყოფილებს სხვადასხვა შიგაწვის ძრავების მქონე სატრანსპორტო საშუალებებს (საავტომობილო, საჰაერო, საზღვაო, სარკინიგზო და სხვ.) საწვავით, რომლის რაოდენობა შეადგენს წარმოებული ნავთობის 50%-ზე მეტს. დღეისათვის მსოფლიოში ნავთობური მოტორული საწვავების წლიური მოხმარება 1,8 მლრდ ტონას შეადგენს. 2019 წლის მონაცემებით პირველადი ენერჯის მსოფლიო მოხმარება წინა წელთან შედარებით 1,3%-ით გაიზარდა. ენერგომატარებლების მსოფლიო მოხმარება სქემატურად წარმოდგენილია ნახაზზე 1.



ნახაზი 1. ენერგომატარებლების მსოფლიო მოხმარება

ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესების ერთ-ერთი მექანიზმი განახლებადი ენერჯის წყაროების გამოყენებაა. ეს ტენდენციები მკვეთრად აისახება ამერიკის შეერთებული შტატების, ევროკავშირის და სხვა მოწინავე ქვეყნების ენერჯეტიკის განვითარების პროგრამებში, სადაც 2040 წლისთვის განახლებადი ენერჯის წყაროების წილი გლობალური პირველადი ენერჯის მოხმარებაში გაიზრდება 30%-მდე.

BP Energy Outlook 2018 წლის ანგარიშში (ნახაზი 2) წარმოდგენილია ენერჯო რესურსების პროგნოზი 2040 წლამდე, სადაც მსოფლიო ენერჯეტიკულ ბაზარზე ენერჯის განახლებადი წყაროების მკვეთრი გაზრდა და წარმოქმნილი თბური აირების 50%-ით შემცირებაა ნავარაუდები.



ნახაზი 2. ენერჯო რესურსების პროგნოზი 2040 წლამდე

ენერჯის განახლებადი წყაროების გამოყენება იწვევს ენერჯის დაბალ ნახშირბადშემცველ ნარევეებზე გადასვლის აუცილებლობას, რაც დადებით ეფექტს გვაძლევს როგორც ეკონომიკური, ასევე ეკოლოგიური კუთხით.

ბიოეთანოლის საწვავად გამოყენების იდეა აქტუალური გახდა მე-20 საუკუნის 90-იან წლებში, ნავთობის კრიზისის დროს, როდესაც მსოფლიოში ნავთობის ფასები მკვეთრად გაიზარდა და ბევრ ქვეყანაში საწვავის დეფიციტი შეიქმნა. პრაქტიკულად სწორედ მაშინ დაიწყო ბიოსაწვავის პირველი მსხვილი საწარმოების შექმნა, რამაც თანდათან სტრატეგიული მნიშვნელობაც შეიძინა. ამას თან დაერთო გლობალური დათბობა და კლიმატის ცვლილება, რაც



თანამედროვე მსოფლიოს პრობლემად იქცა, რომლის მთავარ მიზეზი ნახშირწყალბადების (გაზი, ნავთობი) სულ უფრო ინტენსიური მოხმარებაა.

საერთაშორისო ენერგეტიკული სააგენტოს (IEA) ანგარიშის მიხედვით მსოფლიოში არსებული პანდემიის მიუხედავად განახლებადი ენერჯის წყაროების ზრდამ 45%-ს მიაღწია. ეს არის ყველაზე დიდი წლიური ზრდა 2019 წლის შემდეგ. (IEA) ანგარიშის მიხედვით 2020 წელს განახლებადი ენერჯის წყაროები იყო „ენერჯის ერთადერთი წყარო, რომელზედაც მოთხოვნა გაიზარდა, მაშინ როდესაც ყველა სხვა საწვავის მოხმარება შემცირდა“.

თანამედროვე ენერგეტიკის განვითარების ერთ-ერთ მიმართულებას ბიოსაწვავი წარმოადგენს, რომელიც მიიღება განახლებადი ენერჯის წყაროებიდან. საწვავის წარმოების თანამედროვე ტენდენციების შესწავლისას მეცნიერებმა დაადასტურეს, რომ უახლოეს 20-30 წელიწადში ბიოსაწვავი ენერჯის მნიშვნელოვანი წყარო გახდება და სხვა სახის ენერგომატარებლებს ნაწილობრივ ჩაანაცვლებს, ამიტომ ბიოსაწვავის ინდუსტრიის განვითარების საკითხი სულ უფრო აქტუალურია.

ბიოსაწვავის სახეებიდან ანსხვავებენ თხევად ბიოსაწვავს (შიგაწვის ძრავასათვის – ბიოეთანოლი, ბიომეთანოლი, ბიოდიზელი), მყარ ბიოსაწვავს (ბრიკეტები, პელეტები) და აირადი წარმოშობის ბიოსაწვავს (ბიოაირი, ბიოწყალბადი). ბიოსაწვავის არსებული კლასიფიკაცია დაფუძნებულია გამოყენებული ნედლეულის სახეებზე. ასევე არსებობს პირველი, მეორე და მესამე თაობის ბიოსაწვავები, რომლის დასამზადებლად სხვადასხვა სახის ნედლეულია გამოყენებული.

გერმანული ფირმის „Choren Industres GmbH“ კვლევების საფუძველზე დადგენილია, რომ მეორე თაობის ბიოეთანოლს გააჩნია შემდეგი უპირატესობები: ის შეიძლება პირდაპირ იქნეს მიწოდებული ავტოტრანსპორტის საწვავით მომარაგების გამანაწილებელ ინფრასტრუქტურაში. მეორე თაობის ბიოეთანოლი პრაქტიკულად არ შეიცავს გოგირდსა და არომატულ ნახშირწყალბადებს და ნავთობური წარმოშობის ენერგომატარებლებთან შედარებით მისი გამონახობლქვი ატმოსფეროში 30–50%–ით ნაკლებია. მზის და ქარის გენერაციებთან შედარებით მას უფრო მაღალი პოტენციალი აქვს,

რადგან მცენარეები ყოველთვის ხელმისაწვდომია. მეორე თაობის ბიოეთანოლი ვარგისია შორეული გადაზიდვების დროს. მისი წარმოება შესაძლებელია მოხმარების/გამოყენების ადგილზე. ბიოეთანოლი თვისებებით უტოლდება გაზიდან მიღებულ სინთურ საწვავს. მას აქვს უფრო მაღალი გამოსავალი: 1 ჰექტარიდან შესაძლებელია 2500 ლიტრი ბიოეთანოლის მიღება; ბიოეთანოლის ძირითად უპირატესობას თანამედროვე ეტაპზე წარმოადგენს ის, რომ მეორე თაობის ბიოეთანოლი იწარმოება არასასურსათო პროდუქტებიდან და შესაბამისად არ ახდენს გავლენას კვების ბაზარზე.

მეორე თაობის ბიოეთანოლი იწარმოება ფერმენტების გამოყენებით, რომლებიც ცელულოზას გარდაქმნის შაქრად. მსოფლიო ენერგეტიკული საბჭოს ექსპერტებმა დაასკვნეს, რომ მეორე თაობის ბიოსაწვავის გამოყენებას, ანუ ბიომასის თხევად საწვავად გარდაქმნას და ცელულოზისგან ეთანოლის მიღებას, შეუძლია შეამციროს სათბურის აირების ემისიები 90%-ით. მსოფლიოში განახლებადი ბიო რესურსების (RRB) მთლიანი მოცულობა 1800 მილიარდ ტონაზე მეტია. RRB წლიური ზრდის მაჩვენებელი 130-დან 200 მილიარდ ტონამდეა (აქედან დაახლოებით 40 მილიარდი ტონა არის სატყეო მეურნეობის ნარჩენები). ნახაზზე 3 წარმოდგენილია სახამებლის და ცელულოზას შემცველი ნედლეულის კონვერსია.



ნახაზი 3. სახამებლის და ცელულოზას შემცველი ნედლეულის კონვერსია

ნარჩენი ბიომასის მნიშვნელოვანი პოტენციალი არსებობს საქართველოშიც, რომელიც შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ენერგეტიკული

მიზნებისათვის. ნარჩენები მიიღება სოფლის მეურნეობის ერთწლიანი (ხორბალი, სიმინდი, ქერი, შვრია, მზესუმზირა) და მრავალწლიანი (ყურძენი, ხეხილი, თხილი, დაფნა) კულტურებისაგან, ისევე როგორც ტყის სანიტარული და მოვლითი ჭრების ღონისძიებებიდან. ყოველწლიურად საქართველოში 1,5 მლნ ტ. სასოფლო სამეურნეო ნარჩენი და 1 მილიონ მ<sup>3</sup>-ზე მეტი ტყის ნარჩენია 36,5 PJ გენერირების პოტენციალით, რაც საქართველოს საცხოვრებელი სექტორის ენერგომომხმარების 70% -ს შეადგენს. სიმინდის ნარჩენი სასოფლო სამეურნეო ნარჩენების ყველაზე დიდი პოტენციური წყაროა დაახლოებით მილიონი ტონა წლიური წარმოებით.

ავტოტრანსპორტის გარემოზე ანთროპოგენური ზემოქმედება ვლინდება ძირითადად „სათბურის ეფექტისა“ და გამონაბოლქვი მავნე ნივთიერებების სახით, რაც ადამიანის ჯანმრთელობაზე მნიშვნელოვან უარყოფით გავლენას ახდენს. როგორც გამოკვლევები ცხადყოფს, სწორედ ავტოტრანსპორტის წილად მოდის ქვეყნის მასშტაბით 74%, ხოლო თბილისში 79% ატმოსფეროში გაფრქვეული მავნე ემისიები. საქართველოში მხოლოდ ბოლო ათწლეულში რესპირატორული და ონკოლოგიური დაავადებების რაოდენობა 20%-ითაა გაზრდილი.

თანამედროვე მსოფლიოში კლიმატის ცვლილება - ერთ-ერთი ყველაზე სერიოზული ეკოლოგიური პრობლემა - ასოცირდება "სათბურის ეფექტთან", რაც გამოწვეულია ნახშირორჟანგის (CO<sub>2</sub>) კონცენტრაციის მკვეთრი მატებით. ბიომასისგან წარმოებული საწვავი ეთანოლის ბენზინთან ნარევის უპირატესობა ის არის, რომ იგი ამდიდრებს საწვავს ჟანგბადით და უზრუნველყოფს სრულ წვას, რაც ხელს უწყობს გარემოს მდგომარეობის გაუმჯობესებას, საწვავის ოქტანის რიცხვის გაზრდას და შესაბამისად, დეტონაციის შემცირებას. გარდა ამისა, საწვავი ეთანოლის გამოყენება ეთანოლ/ბენზინის ნარევების სახით შესაძლებელს ხდის მნიშვნელოვნად შემცირდეს გამონაბოლქვ აირებში მავნე ემისიების შემცველობა. ბიოეთანოლის დანამატი საავტომობილო ბენზინზე ამცირებს თბური აირების წარმოქმნას, ამცირებს გამონაბოლქვ აირებში ტოქსიკური ნივთიერებების რაოდენობას და საწვავის ხარჯს.

ბიო ეთანოლის სხვადასხვა პროპორციით ბენზინთან ნარევს გააჩნია დიდი პოპულარობა მთელ მსოფლიოში. ეთანოლი ასეთ ნარევებში ზრდის საწვავის დეტონაციურ მდგრადობას, ხელს უშლის ძრავას გადახურებას და საწვავის ფრქვევანას დაბინძურებას, ასევე ასრულებს ანტიფრიზის ფუნქციას საწვავის ხაზისთვის და რასაკვირველია ახდენს გამონაბოლქვი აირების მინიმიზირებას. მნიშვნელოვანია რომ ეთანოლის წვისას გოგირდის და ნახშირბადის ნაერთები არ წარმოიქმნება, რაც ორჯერ და უფრო მეტად ზრდის ზეთისა და სანთლების მომსახურების და ასევე მნიშვნელოვნად აფართოებს თავად ძრავას მომსახურების ხანგრძლივობას. რაც შეეხება ეთანოლის წარმოებაზე ენერგო დანახარჯს: ამერიკის შეერთებული შტატების სოფლის მეურნეობის დეპარტამენტის მიერ გამოქვეყნებული გამოთვლების თანახმად, ეთანოლი თავისი სიცოცხლის ციკლის განმავლობაში წარმოქმნის 134% ენერგიას, საიდანაც ეთანოლის წარმოებაზე (მცენარის მოყვანის, მოსავლის აღების და დამუშავების) დახარჯული ენერგია შეადგენს 100%-ს. ბენზინს შეუძლია დააბრუნოს მის წარმოებაზე დახარჯული ენერგიის მხოლოდ 80%. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ბიოეთანოლი მაღალრენტაბელური და გარემოსთვის უვნებელია.

## II. ექსპერიმენტული ნაწილი

### კვლევის შედეგები და მათი განსჯა

წინამდებარე თავი შედგება 5 ქვეთავისგან, სადაც განხილულია შემდეგი მიმართულებები: კვლევის ობიექტები და მეთოდები; საცდელი ბიოეთანოლის სიმინდის ნარჩენებიდან მიღების ტექნოლოგიის დამუშავება და დამზადება; საცდელი ბიოეთანოლის ფიზიკურ–ქიმიური მახასიათებლები; საცდელი ბიოეთანოლის როგორც ბენზინის დანამატის გავლენის კვლევა საავტომობილო ძრავას ტექნიკურ (სიმძლავრე, საწვავის საათური ხარჯი) და ეკოლოგიურ (გამონაბოლქვ აირებში CO, CH, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>-ის) მაჩვენებლებზე. საცდელი ბიობენზინების შენახვის დასაშვები ვადების კვლევა; ძირითადი დასკვნები.

სადისერტაციო ნაშრომის კვლევებში გამოყენებულია ბიოეთანოლის და ბენზინის საწვავებზე არსებული საერთაშორისო სტანდარტები. სიმინდის ნარჩენიდან შესაძლებელია ისეთი მაღალი ეკოლოგიური თვისებების მქონე საწვავის მიღება როგორცაა ბიოეთანოლი.

საკვლევ ობიექტად აღებულია სიმინდის და სოფლის მეურეობის სხვა ნარჩენებიდან მიღებული ბიოეთანოლი და „რეგულარის“ მარკის საავტომობილო ბენზინები ბენზინგასამართი სადგურებიდან.

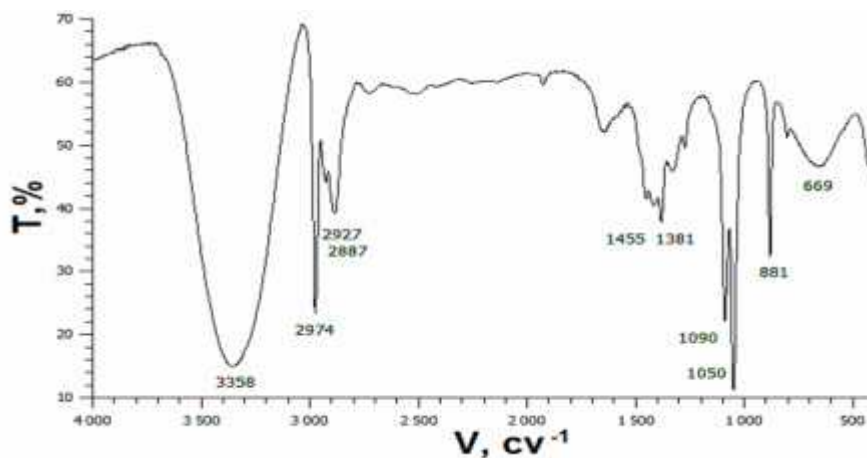
სიმინდის ნარჩენიდან ბიოეთანოლის მისაღებად დამუშავებული იქნა სათანადო ტექნოლოგია, რომელიც მოიცავს ისეთ პროცესებს როგორცაა: ნედლეულის მომზადება, გაშრობა, დაქუცმაცება, ფერმენტაცია, ექსტრაქცია და გაფილტვრა. ფერმენტაციის დროს გლუკოზა გარდაიქმნება ეთანოლად და ნახშირორჟანგად. ამ დროს მიღებული პროდუქტი არ არის სასაქონლე პროდუქცია, მას სჭირდება გაუწყლოება სპირტის პროცენტული შემცველობის გაზრდის მიზნით. მიღებული ბიოეთანოლის გაუწყლოება განხორციელდა მარტივი ტექნოლოგიური სქემით, რისთვისაც გამოყენებულ იქნა სორბენტი – მორდენტი, რომელსაც გააჩნია მაღალი შთანთქმის უნარი, მექანიკური მდგრადობა და ეკოლოგიურად უსაფრთხოა. მორდენტი თერმომდგრადი ადსორბენტი, ექვემდებარება რეგენერაციას.

ბიოეთანოლის ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები შესწავლილია GOST, EN 15376:2014 და ASTM D სტანდარტების მოთხოვნების შესაბამისად, რომელიც წარმოდგენილია ცხრილში 1.

ცხრილი 1. ბიოეთანოლის ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები

მაჩვენებლები	სტანდარ- -ტული	ბიოეთა- ნოლი	სტანდარტი
გარეგნული დახასიათება	გამჭვირვალე		
ეთილის სპირტი, მასს.%	92,1	95-96%	ASTM D5501 – 12
მეთილის სპირტი, მასს.%	0,5	≤ 0,35	ASTM D5501 – 12
წყლის შემცველობა, %	7,5	≤ 3,5%	ASTM D4928 -18
მუავიანობა, მგ/დმ <sup>3</sup>	56	30	ASTM D7795 – 12
წყალბადის იონების აქტივობა pH	6,5-9,0	6,5	ASTM D6423- 14
ქლორიდების შემცველობა, მგ/კგ	10	8	GOST EN 15492-13
გოგირდის შემცველობა, მგ/კგ	10	10	GOST ISO 20884-

ბიოეთანოლის სტრუქტურულ ჯგუფური შედგენილობა განისაზღვრა „PerkinElmer Spectrum“ სპექტრომეტრზე. ნახაზ 4 წარმოდგენილია ბიოეთანოლის ინფრაწითელი სპექტრი.



ნახაზი 4. ბიოეთანოლის ინფრაწითელი სპექტრი

კვლევისთვის საბაზო ნედლეულად აღებულია ავტოგასამართი სადგურის „რეგულარის“ მარკის ნავთობბენზინი (E0), დამზადებულია ბიობენზინების საცდელი ნიმუშები E0, E5, E10 და E20 და შესწავლილია მათი ფიზიკურ - ქიმიური მახასიათებლები EN228 სტანდარტის მოთხოვნების შესაბამისად შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 2.

ცხრილი 2. საკვლევი ნიმუშების ფიზიკურ – ქიმიური მახასიათებლები.

მაჩვენებლები	ბენზინი E0	ბიობენზინები			სტანდარტები
		E5	E10	E20	
სიმკვრივე 15 °C-ზე, კგ/მ <sup>3</sup>	749,1	752.0	757,0	762.0	ASTM D287 -12 GOST ISO 3675-2014
სიმკვრივე 20°C -ზე, კგ/მ <sup>3</sup>	745,0	747,7	753,0	758.0	ASTM D287 -12
სიმკვრივე , °API	57,41	56.6	55,42	54,19	GOST P. 51069-97
ოქტანის რიცხვი კვლევითი მეთოდით	93	95	96	98	ASTM D2699 19e1 GOST P 52947-2019
ოქტანის რიცხვი მოტორული მეთოდით	83	85	86	88	ASTM D2700 -19e1 GOST P 52946-2008
კინემატიკური სიბლანტე, მმ <sup>2</sup> /წმ	0,5052	0,5364	0,5564	0,6188	ASTM D445
მჟავიანობა, მგ KOH/გ საწვავზე	0,016	0.015	0,008	0,004	ASTM D664 - 18e2
ფაქტიური ფისების შემცველობა, მგ 100 მლ საწვავზე	3	2.8	2,5	2,0	GOST 1567-97 (ICO6246-95)
ნაჯერი ორთქლის წნევა, კპა	50	55	60	70	GOST P EH 13016-1-2008
გამოცდა სპილენძის ფირფიტაზე (3 სთ 50 °C)	უძლებს				GOST 6321-92 (ICO 2160-85)
ბენზოლის შემცველობა, %	1,1	1,0	0,9	0,8	GOST P EH 12177-2008
ჯამური არომატიკა, %	32,5	32.0	30,0	28,5	GOST 29040-2018
გოგირდის მასური წილი, %	0,05	0.047	0,045	0,04	ASTM D 3227-92
<b>ბენზინის ფრაქციული შედგენილობა</b>					
დუღილის დასაწყისი °C	35°C	38°C	40°C	40°C	ASTM D - 86-93
10%	55 °C	50 °C	51 °C	52 °C	ASTM D - 86-93
50%	85 °C	80 °C	75 °C	70 °C	ASTM D - 86-93
90%	150 °C	155 °C	150 °C	150 °C	ASTM D - 86-93
დუღილის დასასრული	170 °C	172 °C	175 °C	180 °C	ASTM D - 86-93
ნარჩენი, %	2	2	2	2	ASTM D - 86-93

როგორც ცხრილებდან ჩანს, საცდელი ბიობენზინების ნიმუშების სიმკვრივის საშუალო მნიშვნელობები (კგ/მ<sup>3</sup>) 15°C-ზე შეადგენს 749,1კგ/მ<sup>3</sup> „რეგულარი“ ბენზინი (E0) და ნარევების (E5, E10, E20) შეადგენს 752,0კგ/მ<sup>3</sup>; 757,0კგ/მ<sup>3</sup>; 762,0კგ/მ<sup>3</sup>, შესაბამისად ნარევების სიმკვრივე იზრდება უწყვეტად,

რაც დაკავშირებულია ნარევებში ეთანოლის რაოდენობის გაზრდასთან. ხოლო სიმკვრივე API გრადუსებში მცირდება და შეადგენს 57,41 (ბენზინისთვის) და 56,6 (E5), E10 (55,42); (54,19) E20 ნარევებისთვის. დადგენილია, რომ ეთანოლის კონცენტრაციის ზრდისას სიმკვრივე API გრადუსებში სწორხაზოვნად მცირდება.

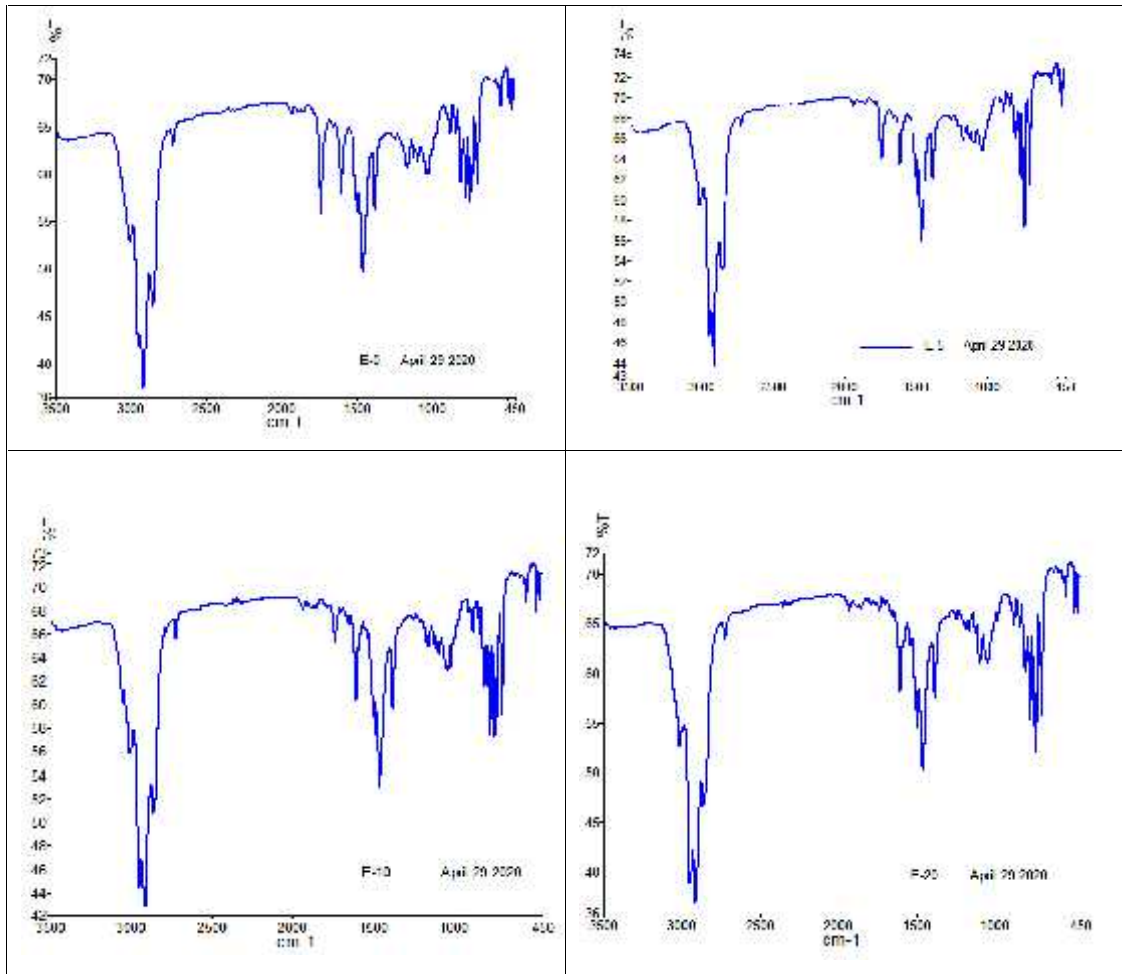
მნიშვნელოვანია ისიც რომ საცდელი ნიმუშების კინემატიკური სიბლანტე, რომელიც ნავთობ ბენზინისთვის შეადგენს 0.5052 მმ<sup>2</sup>/წთ, ხოლო ნარევების (E5, E10, E20). კინემატიკური სიბლანტე იზრდება და შეადგენს 0,5364; 0,5564; 0,6188 მმ<sup>2</sup>/წთ, შესაბამისად ამასთან ნარევების კინემატიკური სიბლანტე ნაპერწკლური ანთების ძრავებისთვის დასაშვებ დიაპაზონშია.

უფრო მნიშვნელოვანია ის ფაქტი, რომ ნარევების ოქტანური რიცხვი იზრდება ბიობენზინებში ეთანოლის რაოდენობის გაზრდასთან ერთად. საბაზო ბენზინთან შედარებით იზრდება, მაგალითად, „რეგულარისათვის“, შესაბამისად: კვლევითი მეთოდის მიხედვით ოქტანური რიცხვი 93-დან - 98-მდე, ხოლო მოტორული მეთოდის მიხედვით 83-დან 86-მდე. ეს განაპირობებს დეტონაციამდეგობის გაზრდას, რაც დადებითად აისახება საწვავის წვის სისრულეზე და შესაბამისად ავტომობილის სიმძლავრეზე, ხანგამძლეობაზე, ეკოლოგიურობაზე.

ასევე აღსანიშნავია, რომ საცდელი ბიოეთანოლის დამატებით ადგილი აქვს („სუპერი“; „რეგულარი“) მჟავიანობის, ფაქტიური ფისების, ბენზოლის და ჯამური არომატიკის მნიშვნელოვან შემცირებას. მაგალითად: რეგულარის მარკის ბენზინზე 20% საცდელი ეთანოლის დამატებით მცირდება: მჟავიანობა 0,016 -დან 0,004 KOH/გ საწვავზე, ფაქტიური ფისების შემცველობა 3-დან 2 მგ-მდე 100 მლ საწვავზე, ბენზოლის შემცველობა 1,1-დან - 0,8%-მდე, ჯამური არომატიკის შემცველობა 32,5%-დან 28,5%-მდე, ხოლო გოგირდის შემცველობა 0,05%-დან 0,04%-მდე. ბიობენზინების აღნიშნული უპირატესობებიდან, მჟავიანობის და გოგირდის შემცველობის დაბალი დონე განაპირობებს მათ შედარებით ნაკლებ კოროზიულ აგრესიულობას, ხოლო ფაქტიური ფისების, ბენზოლის და ჯამური არომატიკის შემცველობის დაბალი დონე CO-ს, და CH-ის და რაც მთავარია, გლობალური დათბობის მთავარი მიზეზის CO<sub>2</sub>-ის წარმოქმნის ინტენსიურობის შემცირებას.



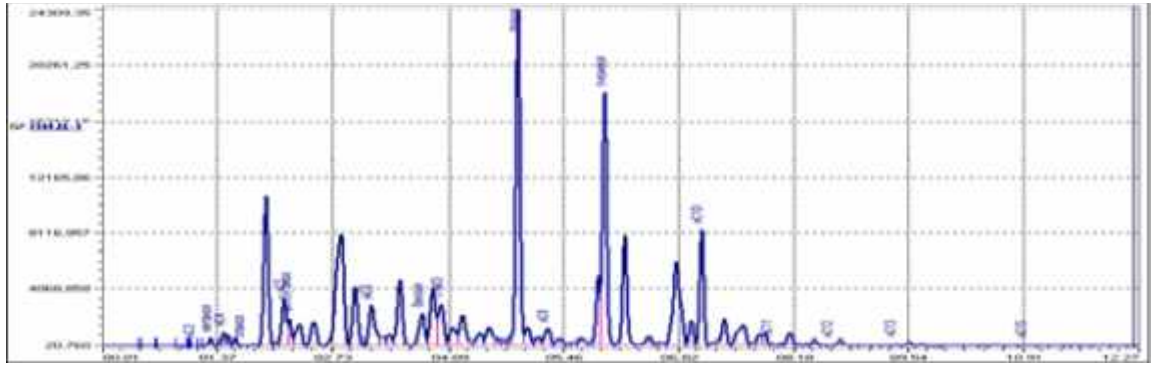
ჩატარდა საკვლევ ნიმუშების სპექტრალური ანალიზი ნახშირწყალბადების ჯგუფური შედგენილობის დადგენის მიზნით. განისაზღვრა საცდელი ნიმუშების E0 ნავთობბენზინის, E5, E10 და E20 ბიობენზინების ჯგუფური შედგენილობა **PerkinElmer Spectrum Version 10.4.2** ინფრაწითელ სპექტრომეტრზე ფართო დიაპაზონში (450–4000 სმ<sup>-1</sup>), დადგენილია საცდელი ნიმუშების სტრუქტურულ-ჯგუფური შემცველობა. ნახაზ 5. წარმოდგენილია საცდელი ნიმუშების ინფრაწითელი სპექტრები.



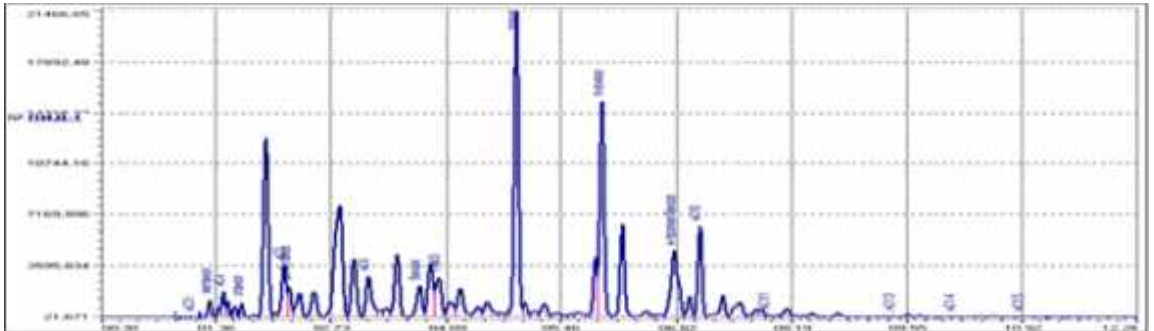
ნახაზი 5. E0, E 5, E10 და E20 ნიმუშების ინფრაწითელი სპექტრები.

საცდელ ნიმუშებში ინდივიდუალური ნახშირწყალბადები განისაზღვრა Кристаллюкс-4000M მოდელის გაზურ ქრომატოგრაფზე, „NetChrom v2“, პროგრამული უზრუნველყოფით. ნახაზ 6 წარმოდგენილია საცდელი ნიმუშების **E0, E5, E10** და **E20** ქრომატოგრამები.

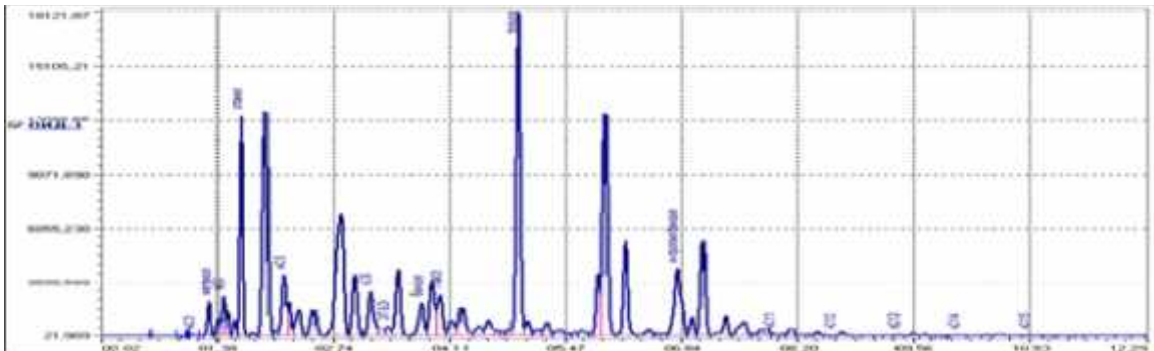
E0



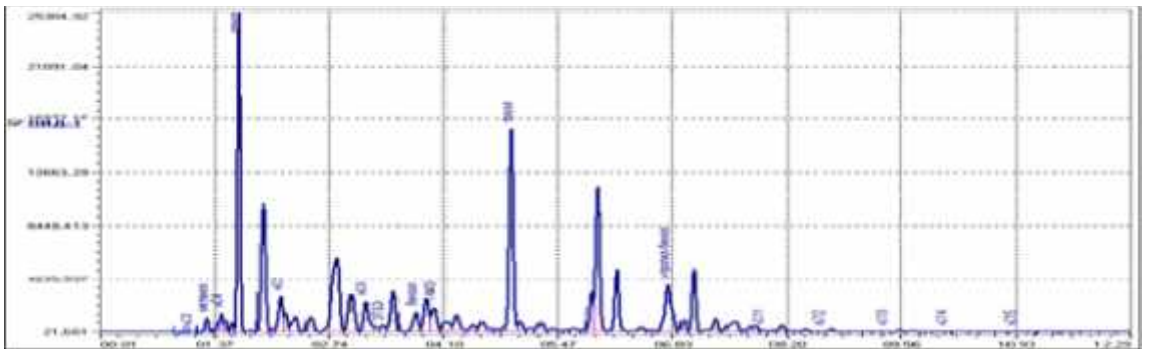
E5



E10



E20

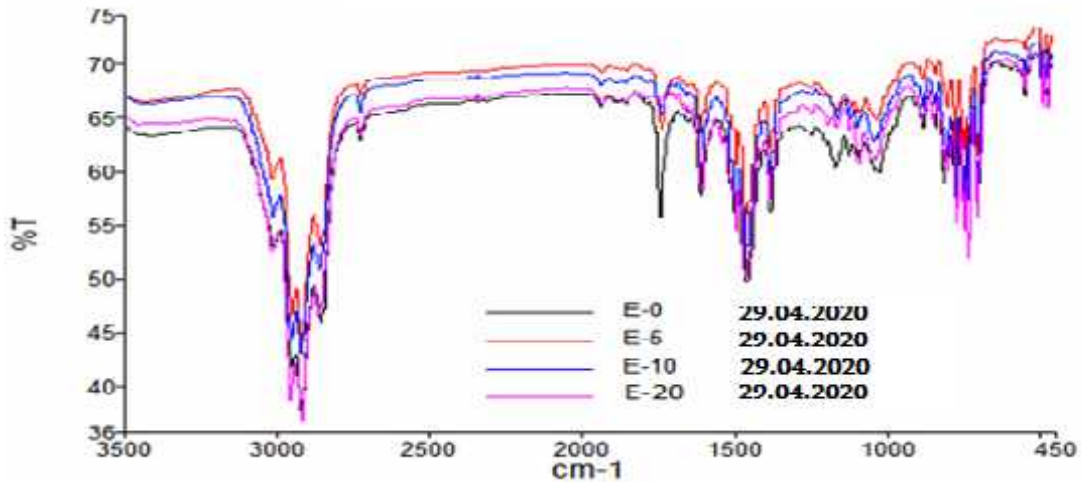


ნახაზი. 6 საცდელი ნიმუშების ქრომატოგრამები

საცდელ ნიმუშებში იდენტიფიცირებულია მის შემადგენლობაში არსებული შემდეგი ინდივიდუალური ნაერთები: მეთანოლი, პროპანი, ბუტანი, ეთანოლი, პენტანი, მესამეული ბუტანოლი, მეთილ მესამეული

ბუთილის ეთერი, ჰექსანი, ეთილ მესამეული ბუთილის ეთერი, ბენზოლი, ტოლუოლი, ჰეპტანი, ოქტანი, კ-ქსილოლი, ნ-პროპილბენზოლი და ა.შ.

ბიოსაწვავების (E5, E10 და E20) ნიმუშების შედარებით საბაზო ბენზინის E0-ის ნიმუშის სპექტრთან დადგენილია, რომ საცდელი ნიმუშების ჯგუფური შედგენილობა იდენტურია, რაც უკეთესად ჩანს ნახაზ 7-ზე.



ნახაზი 7. საცდელი ნიმუშების ინფრაწითელი სპექტრები

საცდელი ბიობენზინების ნიმუშების სასტენდო გამოცდები ჩატარდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო სისტემებისა და მექანიკის ინჟინერიის ფაკულტეტის ავტოსატრანსპორტო ძრავების ლაბორატორიაში.

საცდელი ბიოეთანოლის, როგორც ბენზინის დანამატის, გავლენა შესწავლილ იქნა ბენზინების “რეგულარის” და “სუპერის” მაგალითზე, კერძოდ საავტომობილო ძრავას BMW-316-ის სიმძლავრეზე (Ne), საათურ ხარჯზე ( $G_{სთ}$ ) და გამონაბოლქვ აირებში CO, CH, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>-ის შემცველობაზე 10, 20 და 30% ბიოეთანოლის დანამატის გავლენის სახით. ექსპერიმენტების შედეგები ნაჩვენებია ცხრილებში 3, 4 და 5. როგორც აღნიშნული ცხრილების მონაცემებიდან ჩანს, საბაზო ბენზინებზე საცდელი ბიოეთანოლის მზარდი (10, 20 და 30%) რაოდენობით დამატება იწვევს ძრავას ტექნიკური მაჩვენებლების (Ne,  $G_{სთ}$ ) უმნიშვნელოდ მზარდ გაუარესებას, ხოლო ეკოლოგიური მაჩვენებლების (გამონაბოლქვში CO, CH, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>-ის შემცველობის შემცირებას) მნიშვნელოვან მზარდ გაუმჯობესებას.

ცხრილი 3. ბენზინის მარკის („სუპერი“ „რეგულარი“) გავლენა BMW-316 მარკის ძრავას სიმძლავრით (Ne), საწვავეკონომიურ ( $G_{სო}$ ) და ეკოლოგიურ (CO, CH, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) მაჩვენებლებზე, მუხლუხა ლილვის ბრუნვის სიხშირისა (n), დატვირთვის რეჟიმისგან დამოკიდებულებით

მაჩვენებელი	„სუპერი“			„რეგულარი“		
	1000	2500	3500	1000	2500	3500
n, წთ <sup>-1</sup>						
უქმი სვლა						
$G_{სო}$ , ლ/ს	0,860	1,181	1,730	0,882	1,200	1,757
Me, ნმ	0	0	0	0	0	0
Ne, კვტ	0	0	0	0	0	0
CO, %	0,61	0,57	0,55	1,03	0,85	0,66
CH, %	273	108	79	197	125	83
CO <sub>2</sub> , %	13,6	13,9	14,3	12,7	12,9	13,1
NO <sub>x</sub> , ppm	101	283	497	85	315	525
სრული დატვირთვა						
$G_{სო}$ , ლ/ს	5,27	7,81	11,21	5,30	7,84	11,25
Ne, კვტ	12,9	39,6	64,3	12,7	38,9	63,5
CO, %	0,52	0,49	0,38	0,61	0,54	0,44
CH, %	291	210	138	317	258	161
CO <sub>2</sub> , %	13,1	13,5	14,0	12,4	12,8	13,0
NO <sub>x</sub> , ppm	1780	4710	5300	1570	4600	4970

ცხრილი 4. საცდელი ბიოეთანოლის დანამატის გავლენა BMW-316 მარკის ძრავას სიმძლავრით (Ne), საწვავეკონომიურ ( $G_{სო}$ ) და ეკოლოგიურ (CO, CH, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) მაჩვენებლებზე, მუხლუხა ლილვის ბრუნვის სიხშირისა (n), მუშაობის რეჟიმისა და ბენზინის მარკისაგან („სუპერი“, „რეგულარი“) დამოკიდებულებით.

მაჩვენებელი	„სუპერი“+ 10% ბიოეთანოლი			„რეგულარი“+10% ბიოეთანოლი		
	1000	2500	3500	1000	2500	3500
n, წთ <sup>-1</sup>						
უქმი სვლა						
$G_{სო}$ , ლ/ს	0,864	1,186	1,737	0,884	1,201	1,767
Me, ნმ	0	0	0	0	0	0
Ne, კვტ	0	0	0	0	0	0
CO, %	0,55	0,52	0,49	0,92	0,76	0,58
CH, %	224	89	65	156	99	66
CO <sub>2</sub> , %	12,9	13,2	13,6	12,6	12,7	13,0
NO <sub>x</sub> , ppm	95	267	467	79	293	489
სრული დატვირთვა						
$G_{სო}$ , ლ/ს	5,30	7,86	11,28	5,34	7,89	11,32
Ne, კვტ	12,8	39,4	63,1	12,5	38,6	63,1
CO, %	0,48	0,44	0,36	0,55	0,49	0,37
CH, %	242	174	121	254	206	141
CO <sub>2</sub> , %	12,2	12,5	13,0	12,3	12,6	12,8
NO <sub>x</sub> , ppm	1691	4474	5035	1476	4324	4672

ცხრილი 5. საცდელი ბიოეთანოლის დანამატის გავლენა BMW-316 მარკის ძრავას სიმძლავრით (Ne), საწვავეკონომიურ ( $G_{სო}$ ) და ეკოლოგიურ (CO, CH, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) მაჩვენებლებზე, მუხლუხა ლილვის ბრუნვის სიხშირისა (n), მუშაობის რეჟიმისა და ბენზინის მარკისაგან („სუპერი“, „რეგულარი“) დამოკიდებულებით.

მაჩვენებელი	„რეგულარი“ + 20% ბიოეთანოლი			„რეგულარი“ + 30% ბიოეთანოლი		
	1000	2500	3500	1000	2500	3500
n, წთ <sup>-1</sup>	1000	2500	3500	1000	2500	3500
უქმი სვლა						
$G_{სო}$ , ლ/ს	0,888	1,208	1,763	0,895	1,217	1,773
Me, ნმ	0	0	0	0	0	0
Ne, კვტ	0	0	0	0	0	0
CO, %	0,90	0,74	0,57	0,87	0,72	0,56
CH, %	156	99	66	148	94	62
CO <sub>2</sub> , %	12,5	12,6	12,9	12,3	12,5	12,7
NO <sub>x</sub> , ppm	77	287	478	76	284	472
სრული დატვირთვა						
$G_{სო}$ , ლ/ს	5,34	7,90	11,34	5,39	7,94	11,44
Ne, კვტ	12,4	38,3	62,9	12,2	38,1	62,7
CO, %	0,53	0,48	0,38	0,54	0,47	0,37
CH, %	257	209	131	245	199	124
CO <sub>2</sub> , %	12,2	12,4	12,7	12,1	12,4	12,5
NO <sub>x</sub> , ppm	1460	4368	4623	1429	4186	4523

უნდა აღინიშნოს, რომ Ne-ს უმნიშვნელო შემცირება პრაქტიკულად შეუმჩნევლად აისახება ძრავას სხვადასხვა რეჟიმებზე მუშაობის საიმედოობაზე, ხოლო საწვავის ხარჯის უმნიშვნელოდ გაზრდა არაა პრაქტიკულად ყურადსაღები, რადგან იგი უმნიშვნელოდ შეამცირებს საბაზო ნავთობბენზინს. მაგალითად ბენზინზე „რეგულარი“ 10, 20 და 30% საცდელი ბიოეთანოლის დამატება განაპირობებს (ბრუნვის სიხშირის დიაპაზონში 1000 – 3500 წმ<sup>-1</sup>) საბაზო ბენზინთან შედარებით:

1. უქმი სვლის რეჟიმის დროს საწვავის ხარჯის ( $G_{სო}$ ) გაზრდას საშუალოდ 0,5÷0,8%-ით, ხოლო გამონაბოლქვში CO, CH, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>-ის შემცირებას, შესაბამისად 10÷15; 21÷25; 8÷17 და 7÷10 %-ით.
2. სრული დატვირთვის დროს - Ne სიმძლავრის შემცირებას, 1÷1,7%-ით  $G_{სო}$ -ის გაზრდას 0,7÷0,9 %-ით, ხოლო გამონაბოლქვში CO, CH, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> შემცველობის შემცირებას 10÷14; 20 ÷23; 10÷17 და 6÷9 %-ით.

ბიოეთანოლის 10-30%-იანი დანამატი ნავთობბენზინზე იწვევს მის 10-30%-იან ეკონომიას, რადგან რეალურად ძრავში წვისას 10-30%-ით ნაკლები

ნავთობბენზინი იხარჯება. აღნიშნულის შესაბამისად შეიძლება დავასკვნათ, რომ საცდელი ბიობენზინების გამოყენებისას მათში ბიოეთანოლის 10-30%-ის შემცველობა მათი როგორც ნავთობბენზინთან ნარევის საათური ხარჯის  $0,5 \pm 0,9\%$ -ით გაზრდის გათვალისწინებით განაპირობებს საბაზო ბენზინ „რეგულარის“ დაახლოებით 8-28% -ით შემცირებას.

განსჯის შედეგები ადასტურებს, რომ სიმინდის ნარჩენიდან მიღებული საცდელი ბიოეთანოლის დანამატის სახით შემცველი ბენზინები (მაგალითად „რეგულარი“, „სუპერი“) შეიძლება ჩაითვალოს პერსპექტიულ ბიობენზინებად, რომლებიც საავტომობილო ძრავას გადაკეთების გარეშე უზრუნველყოფენ მის ნორმალურ მუშაობას და მათი ეკოლოგიური მაჩვენებლების მნიშვნელოვან გაუმჯობესებას. განსაკუთრებით საყურადღებოა მათი გამოყენებით CO<sub>2</sub>-ის წარმოქმნის მნიშვნელოვანი შემცირება (8-17% შემცირება), რამდენადაც CO<sub>2</sub> დანამდვილებითაა მიჩნეული თანამედროვეობის უდიდესი ეკოლოგიური პრობლემის - „გლობალური დათბობის“ მთავარ გამომწვევ მიზეზად. ამას ადასტურებს ის ფაქტიც, რომ ავტოტრანსპორტის სფეროში ეკოლოგიური მოთხოვნების ძირითად ამოცანას წარმოადგენს გამონაბოლქვ აირებში CO<sub>2</sub>-ის რადიკალურად შემცირება. წამყვანი სახელმწიფოები ამერიკის შეერთებული შტატები, ჩინეთი და ასევე ევროკავშირი ყოველწლიურად ამკაცრებენ გამონაბოლქვ ემისიებში CO<sub>2</sub>-ის ნორმებს სატრანსპორტო საშუალებების ყველა სახეობისთვის, რაც დღეისათვის უკვე განაპირობებს ალტერნატიული, ეკოლოგიურად სუფთა საწვავების დამზადების აუცილებლობას.

საცდელი ბიობენზინის E20 (ნავთობბენზინი „რეგულარი“ + 20% ბიოეთანოლი) ეკოლოგიური ეფექტიანობა დადასტურდა მათზე მომუშავე BMW მარკის ავტომობილის ტესტირებით ნამუშევარ აირებში CO და CH შემცველობაზე, ძრავას მუშაობისას უქმ სვლაზე. ტესტირება ჩატარდა ავტომობილების ინსპექტირების ცენტრში „ჰაპანი“, სადაც ინსპექტირების ხაზზე დამონტაჟებულია MAHA -ს ტიპის აირანალიზატორი (ნახ 8. )



ნახაზი 8 მზომი აპარატურის კომპლექსი:

1- MAHA -ს ტიპის აირანალიზატორი;

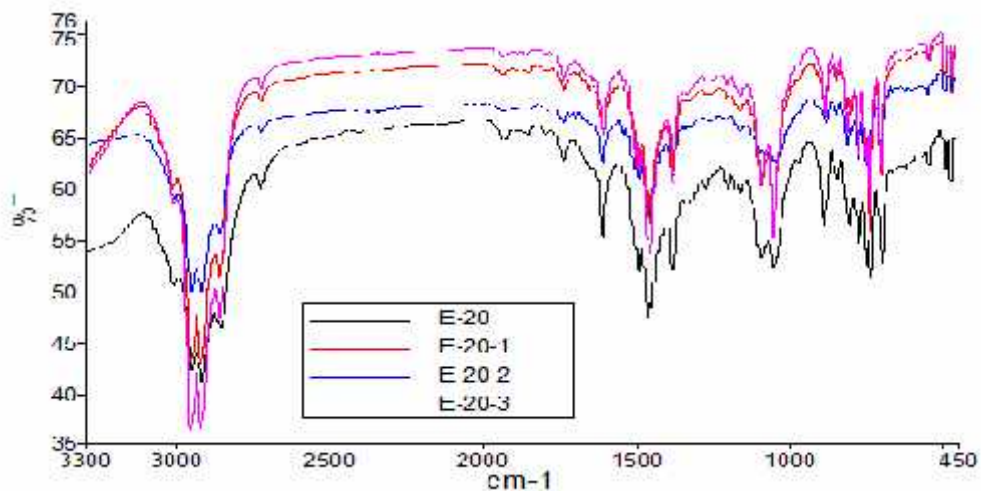
2 – ბრუნვის სიხშირის მზომი

ტესტირების შედეგების თანახმად ავტომობილის საწვავზე + 20% ბიოეთანოლის შემცველ ბიობენზინზე მუშაობისას, CO-ს შემცველობამ გამონაბოლქვ აირებში შეადგინა, შესაბამისად 0,39%, როცა  $n= 900$  წთ<sup>-1</sup> და 0,35%, როცა  $n= 2230$  წთ<sup>-1</sup>. ხოლო ბენზინისთვის „რეგულარი“, შეადგინა CO-ს შემცველობა 0,41%, როცა  $n= 900$  წთ<sup>-1</sup> და 0,40%, როცა  $n= 2230$  წთ<sup>-1</sup>.

იმის გათვალისწინებით, რომ უქმ სვლაზე ტესტირებისას გამობაბოლქვში CO-ს შემცველობა არ უნდა აღემატებოდეს 0,6% -ს, საცდელი ბიობენზინი E20 და

საბაზო E0 აკმაყოფილებენ დაწესებულ ნორმას, მაგრამ ამასთან ბიობენზინი, ბიოეთანოლის შემცველობის გამო, უზრუნველყოფს CO-ს 5%-ით ნაკლებ გამონაბოლქვს, ვიდრე ბენზინი „რეგულარი“.

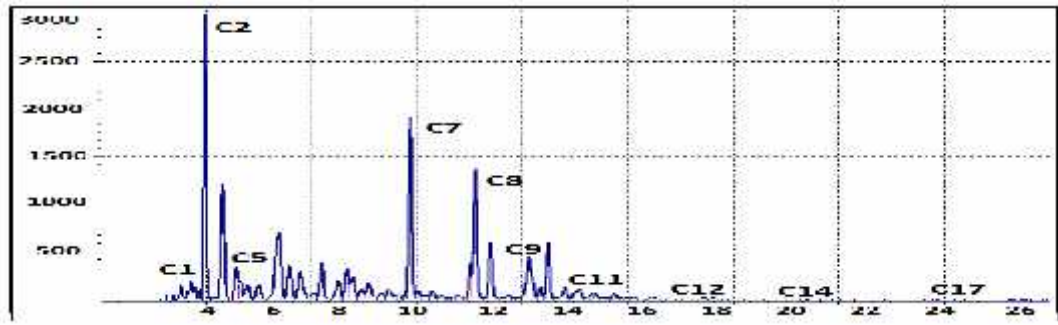
ჩატარდა კვლევები საცდელი ბიობენზინების თვისებებზე შენახვის ხანგრძლივობის გავლენის შესწავლის მიზნით. საცდელ ნიმუშები განთავსებული იყო თავდახურულ ლაბორატორიულ ქიმიურ ჭურჭელში ოთახის ტემპერატურაზე. ყოველთვიურად ვახდენდით საცდელი ნიმუშების სპექტრალურ ანალიზს ინფრაწითელი სპექტრომეტრის და გაზური ქრომატოგრაფიის საშუალებით ერთი წლის განმავლობაში. ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ საცდელი ნიმუშების ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები ერთი წლის განმავლობაში პრაქტიკულად არ იცვლება (ცხრილი 6). შესაბამისად მაგალითისათვის ნახაზებზე 9 და 10 მოტანილია 20% ბიოეთანოლის შემცველი ბიოსაწვავის E20 ინფრაწითელი სპექტრები და ქრომატოგრამები, რომლებიც ასახავს E20 საწყის, 4 თვის, 8 თვის და 12 თვის შემდეგ გადაღებულ ქრომატოგრამებს და ინფრაწითელ სპექტრებს, რომლებიც შესადარებლად განთავსებულია ერთ სიბრტყეზე და თვალნათლივ მიუთითებს, რომ 1 წლიანი შენახვის პერიოდის განმავლობაში ქრომატოგრამები და სპექტრები იდენტურია. ნახაზ 9-ზე წარმოდგენილია ბიობენზინის E20 ინფრაწითელი სპექტრები შენახვის ხანგრძლივობისაგან დამოკიდებულებით.



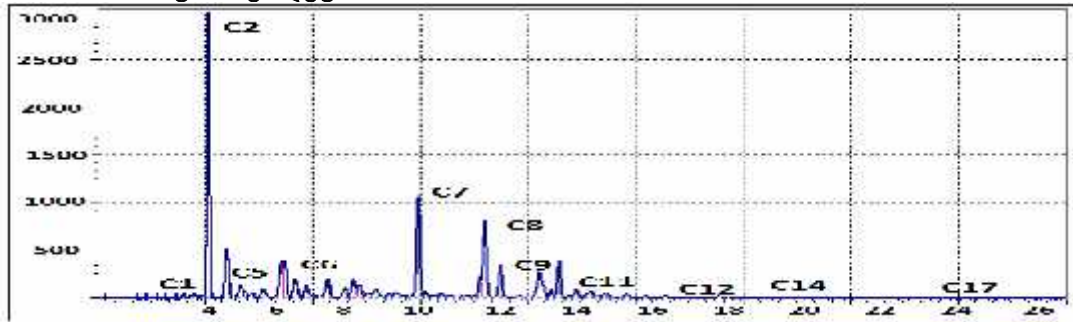
ნახაზი 9. ინფრაწითელი სპექტრები.



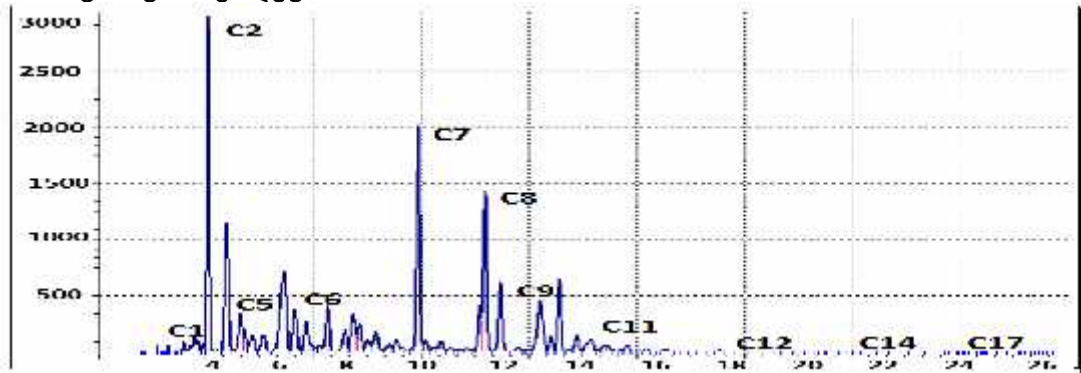
E20 საწყისი



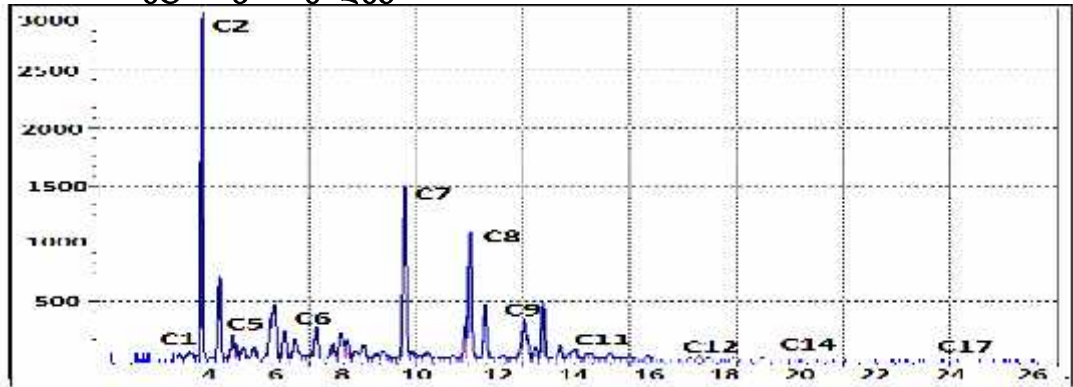
E20 ოთხი თვის შემდეგ



E20 რვა თვის შემდეგ



E20 თორმეტი თვის შემდეგ



ნახაზი 10. ბიობენზინის E20 ქრომატოგრამები

ცხრილი 6. საბაზო ბენზინის „რეგულარის“ E0 და საცდელი ბიობენზინის E20 ფიზიკურ–ქიმიური მახასიათებლები ერთი წლის განმავლობაში შენახვის შემდეგ

მაჩვენებლები	ბენზინი E0 “რეგულარი”	E20	სტანდარტები
სიმკვრივე 15 °C-ზე, კგ/მ <sup>3</sup>	749,1	762.0	ASTM D287 - 12
სიმკვრივე 20°C -ზე კგ/მ <sup>3</sup>	745,0	758.0	GOST P 51069-97
სიმკვრივე °API	57,41	54,19	GOST P 51069-97
ოქტანური რიცხვი კვლევის მეთოდით	93	98	ASTM D2699 - 19e1
ოქტანური რიცხვი მოტორული მეთოდით	83	88	ASTM D2700 - 19e1
კინემატიკური სიბლანტე, მმ <sup>2</sup> /წმ	0,5052	0,6188	ASTM D445
მჟავიანობა მგ KOH/გ საწვავზე	0,016	0,004	ASTM D664 - 18e2
ფაქტიური ფისების შემცვე- ლობა, მგ 100 მლ ბენზინზე	3	2,0	GOST 1567- 97(ИСО6246-95)
გოგირდის მასური წილი, %	0,05	0,04	ASTM D 3227-92
გამოცდა სპილენძის ფირფიტაზე (3 სთ 50 °C )	უძლებს		GOST 6321-92 (ИСО 2160-85)
ბენზოლის შემცველობა, %	1,1	0,8	GOST P EH 12177- 2008
ჯამური არომატიკა, %	32,5	28,5	GOST 29040-2018
ნაჯერი ორთქლის წნევა, კპა	50	70	GOST P EH 13016- 1-2008
<b>ფრაქციული შედგენილობა</b>			
დულ. დასაწყისი °C	35	40	ASTM D - 86-93
10%	55 °C	52 °C	ASTM D 86-93
50%	85 °C	70 °C	ASTM D 86-93
90%	150 °C	150 °C	ASTM D 86-93
დუდილის დასასრული, °C	162	165	ASTM D 86-93
ნარჩენი	2	2	ASTM D 86-93

## დასკვნები

1. გლობალური და ადგილობრივი (მათ შორის საქართველოში არსებული) ეკოლოგიური პრობლემებიდან გამომდინარე, დასაბუთებულია, სიმინდის ნარჩენებიდან, როგორც განახლებადი ნედლეულიდან, ბიოეთანოლის მიღებისა და მისი საავტომობილო სასაქონლე ნავთობბენზინების ეკოლოგიურად ეფექტიან დანამატად გამოყენების პერსპექტიულობის კვლევის აუცილებლობა და შესაბამისი კვლევები წარმატებითაა რეალიზებული;
2. დამუშავებულია და საცდელი ფორმით პრაქტიკულად განხორციელებულია სიმინდის ნარჩენებიდან, უკანასკნელის თავისებურებებთან ადაპტირებული ტექნოლოგია, მაღალხარისხოვანი ბიოეთანოლის მისაღებად;
3. თანამედროვე ლაბორატორიული აპარატურისა და კვლევის მეთოდების გამოყენებით შესწავლილია საცდელი ბიოეთანოლის ფიზიკურ-ქიმიური და საექსპლუატაციო თვისებები.
4. დადგენილია, რომ საცდელი ბიოეთანოლი (როგორც საწვავი), ნავთობბენზინებთან შედარებით ხასიათდება უფრო მაღალი ანტიდეტონაციური და რიგი სხვა თვისებებით, რაც ასევე ეფექტიანად ვლინდება მისი ნავთობბენზინების დანამატად გამოყენებისას, მაგალითად, „რომპეტროლის“ ფირმის „რეგულარის“ მარკის ბენზინზე დამატებისას 20%-ის ოდენობით, საბაზო ბენზინთან შედარებით, ოქტანური რიცხვი იზრდება, კვლევითი და მოტორული მეთოდების მიხედვით, შესაბამისად 93-დან 98-მდე და 83 -დან 88-მდე. დამატებით მცირდება: მჟავიანობა 0,016 -დან 0,004-მდე KOH/გ საწვავზე, ფაქტიური ფისების შემცველობა 3-დან 2 მგ-მდე 100 მლ საწვავზე, ბენზოლის შემცველობა 1,1-დან - 0,8%-მდე, ჯამური არომატიკის შემცველობა 32,5-დან 28,5%-მდე, ხოლო გოგირდის შემცველობა 0,05-დან 0,04%-მდე.
5. დადგენილია, რომ საცდელი ბიოეთანოლის დამატებისას „სუპერისა“ და „რეგულარის“ მარკების ნავთობბენზინების ეკოლოგიური თვისებები უმჯობესდება. მაგალითად რეგულარის მარკის ბენზინზე დანამატად 10-30% საცდელი ბიოეთანოლის გამოყენების შემთხვევაში, BMW-316 მარკის

საავტომობილო ძრავას გამონაბოლქვ აირებში მავნე კომპონენტების შემცველობა უქმ სვლასა და სრულ დატვირთვებზე, შესაბამისად მცირდება: CO-სი 11÷15 10÷14 %-ით; CH-ის 21÷25 და 20÷23%-ით; NO<sub>x</sub> -ის 7÷10 და 6÷9%-ით. განსაკუთრებით, საყურადღებოა „გლობალური დათბობის“ მთავარი მიზეზის CO<sub>2</sub> შემცირება, შესაბამისად 8÷14 და 10÷17 %-ით.

6. დადგენილია, რომ 10÷30% საცდელი ბიოეთანოლის დანამატის სახით შემცველი ბენზინი "რომპეტროლი" უზრუნველყოფს BMW-316 მარკის ძრავას ნორმალურ მუშაობას კონსტრუქციული გადაკეთების გარეშე. ამასთან ძრავას სიმძლავრე მცირდება 1÷2 %-ით და საწვავის საათური ხარჯი იზრდება 1÷1,2 %-ით. იმის გათვალისწინებით, რომ საწვავი ამ შემთხვევაში შეიცავს 10÷30% ბიოეთანოლს, რეალურად ადგილი აქვს საბაზო ნავთობბენზინის ხარჯის დაახლოებით 8-18%-ით შემცირებას.
7. საცდელ ბიობენზინზე „რეგულარი“ +20% ბიოეთანოლი (E20) მომუშავე BMW-510 მარკის ავტომობილის ტესტირების თანახმად (ავტომობილების ინსპექტირების ცენტრი „ჭაპანი“), დადგენილია, რომ უქმი სვლისას 1000 და 2250 წმ<sup>-1</sup> ბრუნვის სიხშირისას, გამონაბოლქვ აირებში CO-ს შემცველობამ შეადგინა, შესაბამისად, 0,38 და 0,39%-ი, რაც მნიშვნელოვნად ნაკლებია სტანდარტით დაშვებულ ნორმაზე - 0,6 % და 5% -ით ნაკლები საბაზო ბენზინთან შედარებით.
8. დადგენილია, რომ საცდელი ბიობენზინის E20-ის შენახვის ვადა არის მინიმუმ ერთი წელიწადი.

## ნაშრომის აპრობაცია

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი დებულებების შესახებ დაცული იქნა ორი თემატური სემინარი და სამი კოლოქვიუმი:

1. კოლოქვიუმი - ბიოსაწვავების მიღება სოფლის მეურნეობის ნარჩენიდან;
2. კოლოქვიუმი-ბიოეთანოლის გავლენა საწვავის ხარისხის მახასიათებლებზე;
3. კოლოქვიუმი-სიმინდის ნარჩენიდან მიღებული ბიობენზინის საავტომობილო საწვავად გამოყენების შესაძლებლობის კვლევა.

დისერტაციის მასალების მიხედვით გამოქვეყნებულია 5 სამეცნიერო ნაშრომი; მათ შორის ერთი საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის თეზისი და ოთხი სამეცნიერო სტატია.

## პუბლიკაციები:

1. M.Chkhaidze, G.Abramishvili, N.Khetsuriani. Obtaining of biofuels from agricultural wastes. Conference: The International Scientific Conference “Environmental Protection and Sustainable Development” Dedicated to Professor Victor Eristavi,s Memory Tbilisi, Georgia 2019, November 11 -12 pp.75 .
2. მ. ჩხაიძე, გ. აბრამიშვილი, ნ. ხეცურიანი. “ბიოსაწვავების მიღება სოფლის მეურნეობის ნარჩენებისგან.” საერთაშორისო სამეცნიერო - ტექნიკური კონფერენციის "გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება" შრომების კრებული, თბილისი 2020, გვ. 128-132.
3. მ. ჩხაიძე. საწვავი ეთანოლის და ეთანოლ/ბენზინის ნარევიების ფიზიკურ-ქიმიური კვლევა. საქართველოს საინჟინრო სიახლეები, 2021, ტ. 93, №2, გვ. 49-52;
4. ჯ. იოსებიძე, გ. აბრამიშვილი, ნ. ხეცურიანი, მ. ჩხაიძე. ავტომობილის ძრავას ეკოლოგიურობაზე ბენზინის ბიო დანამატის გავლენის კვლევა. საქართველოს საინჟინრო სიახლეები, 2021, ტ. 93, №2, გვ.45-48;
5. N.Khetsuriani, M.Chkhaidze G.Abramishvili J.Iosebidge. Receipt and Research of Bio Gazolines. World Science, Warsaw, Poland, 2022, #4 (76), pp. 1-5, ISSN2413-1032 [DOI:https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_ws/30092018/6132](https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30092018/6132)

## Summary

The reduction of oil reserves, development of energy-saving technologies, tightening of standards for exhausted gases, pollution of the environment is forcing the world to find and develop new, renewable energy sources. One of the mechanisms for improving the ecological situation is exactly the use of renewable energy sources. These trends are strongly reflected in programs for development of the energetic of the United States, the European Union and other developed countries, which show that by 2040 the share of renewable energy sources in global primary energy consumption is supposed to grow up to 30%, and the greenhouse gas emissions will be shortened by 50%. The use of renewable energy sources leads to transition to low-carbon mixtures, which gives us a positive effect from both an economic and environmental point of view. Today bioenergy is considered to be the main tendency of development of the fuel market, which will retain its preference in the development of energy supply of the world for the next 30-40 years.

Change of climate in the present-day world, being one of the most serious environmental problems, is associated with the "greenhouse effect", caused by a drastic increase in the concentration of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) in the atmosphere. This is contrary to the regulations of the Kyoto Protocol and the Rio de Janeiro Climate Convention, which declare significant reductions in greenhouse gas emissions in the 21<sup>st</sup> century.

The main task of environmental requirements in the sphere of road transport is to reduce radically the CO<sub>2</sub> content in the exhaust gases. Leading countries such as the US, China and the EU are tightening up CO<sub>2</sub> emission standards for all types of vehicles every year, stipulating for significant growth of their efficiency and the need to produce new, ecologically clean fuels. For example, to obtain gasoline with high antiknock rating, oxygenates (the oxygen-containing components) are used, the most common of which is bioethanol, obtained from renewable biological wastes. Its use is accompanied by a decrease in the CO<sub>2</sub> content in the atmosphere, and its combustion in the engine significantly reduces harmful compounds as compared with the petroleum gasoline.

The production of alternative, renewable, environmentally friendly fuels is very important for Georgia, which is almost entirely dependent on imported petroleum products. Researches show that transport accounts for 74% of harmful emissions into atmosphere in the whole country and 79% in Tbilisi. The number of respiratory and oncological diseases in Georgia has increased by 20% over the past 10 years. Therefore, it is important for our country to produce environmentally friendly biofuels from renewable energy sources and especially from the wastes. Biogasolines can successfully replace petroleum gasolines in

vehicles with internal combustion engines that are present in Georgia. The mechanism for improving the ecological state of the country and the development of energy-saving technologies for energy carriers is the use of renewable energy sources.

The purpose of this Ph.D. thesis is to obtain fuel ethanol from agricultural wastes and the production of biogasolines, which is important for the revival of the bioethanol industry and the development of agriculture. Over the past century the ethanol production in the world has increased 8 times. Experts predict that by 2040 at least 20% of motor fuel will be produced from biomass. A technology for production of biogasoline from renewable energy sources and secondary raw materials has been developed. Bioethanol is an environmentally friendly high-octane gasoline additive that is widely used in fossil gasolines without modification of car engine.

We have obtained 10 liters of ethanol fuel from corn and other agricultural wastes in the laboratory conditions. Physical and chemical properties of bioethanol have been studied in accordance with the requirements of ASTM D-4806-20. Test samples of biogasolines – E5 (5% ethanol + 95% gasoline), E10 (10% ethanol + 90% gasoline) and E20 (20% ethanol + 80% gasoline) were prepared on the basis of Rompetrol's Premium grade gasoline. The physical and chemical characteristics of the test samples and base gasoline have been studied. The parameters of the test sample were found to meet the requirements of EN228 and EN15376: 2014 standards. The group composition of motor gasoline (E0) and of biofuels E5, E10 and E20 was also determined using the infrared spectrometer ("PerkinElmer Spectrum, Version 10.4.2").

Studies to determine individual hydrocarbons in samples under investigation – E0, E5, E10 and E20 were carried out using the gas chromatograph Crystallux-4000M with NetChrom, v2 software. Certain hydrocarbons contained in the research objects have been studied and identified. The obtained results meet the requirements of the ASTM D7096 standard. Comparative characterization of fuels was carried out.

The effect of bioethanol on the ecological compatibility of the automobile engine has been studied. The objects of research were Regular, Premium and Super brands of Rompetrol gasoline, as well as a bioethanol test additive, which was added to gasoline in the amount of 10%, 20% and 30%.

The study of ecological properties of the test additive was carried out on the test stand SAK - 670 (Germany), on which the engine and gearbox of BMW-316 motor vehicle was installed. The stand included brake and torque gauges, as well as crankshaft rotation frequency and fuel consumption measuring instruments. Studies have established that

bioethanol is more effective than low-octane gasoline. It has been established that the environmental properties of Super and Regular brands of petroleum gasoline improve upon addition of experimental bioethanol. For example, in case of using of 10-30% trial bioethanol as an additive to Rompetrol gasoline, the content of harmful components in the exhaust gases of the BMW-316 engine at idle running and at full load is reduced: CO 10–15% and 10–14%; CH 21–25% and 20–23%; NO<sub>x</sub> 7–10% and 6–9%, respectively. Especially noteworthy is the reduction of CO<sub>2</sub>, the main cause of "global warming", by 8–14% and 10–17%, respectively. This points to the prospects for increased use of combustible ethanol. At the same time, the engine power decreases by 1–2% and the hourly fuel consumption increases by 1–1.2%. Taking into account that in this case the fuel contains 10–30% of bioethanol, there is actually a reduction in the cost of base petroleum gasoline by about 8–18%.

In addition, testing of the "Regular" and E20 (20% of trial bioethanol + 80% petroleum gasoline) biogasolines to determine the CO content in the exhaust gases of the BMW-510 brand M1 category motor vehicle while the engine is in regimen of idle running was conducted at the vehicles technical inspection center - "Chapani" (Tbilisi). It was established that during idling at rotation frequency of 1000 and 2250 sec<sup>-1</sup>, the content of CO in the exhaust gases amounted to 0.38 and 0.39%, respectively, which is significantly less than the norm of 0,6% allowed by the standard and 5% less compared to the basic gasoline.

Studies have been carried out to determine the shelf life of the test fuels. The test samples were kept in the laboratory in closed chemical vessels at room temperature. During the year, we periodically (monthly) carried out spectral analysis of the samples under study using an infrared spectrometer and using a gas chromatograph.

It was found that the samples under study did not change during storage.

In Georgia the biofuel has been obtained for the first time and it can be used in vehicles with internal combustion engines. For production of bioethanol the corn and other agricultural wastes are used which ensures rational waste management, the development of energy-saving technologies and an improvement in the ecological state of the environment.