

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

**დისერტაცია**

სამეცნიერო ხელმძღვანელი:  
პროფესორი ირაკლი შარაბიძე

სამეცნიერო თანახელმძღვანელი:  
ასოც. პროფესორი ალექსანდრე კამლაძე

**ქუთაისი 2019**

<b>ს ა რ ჩ ე ვ ი</b>		<b>გვ.</b>
შესავალი -----		4
<b>თავი 1. ტრანსპორტის გავლენა ეკოსისტემაზე და მათი გადაჭრის გზები -----</b>		<b>8</b>
1.1. ტრანსპორტი და გარემო -----		8
1.2. სატრანსპორტო ნაკადის პარამეტრების გავლენა გარემოს ეკოლოგიურ მაჩვენებლებზე -----		14
1.2.1. საავტომობილო ტრანსპორტის ეკოლოგიური უსაფრთხოების ლოჯისტიკური მართვა ქალაქის პირობებში -----		18
1.2.2. ალტერნატიული საწვავების გამოყენება საავტომობილო ტრანსპორტზე გარემოს ეკოლოგიური მაჩვენებლების გაუმჯობესების მიზნით -----		24
1.3. სატრანსპორტო ნაკადების გავლენის შეფასება სამხრეთ კავკასიის რეგიონის ეკოლოგიურ მდგომარეობაზე -----		30
1.4. სატრანსპორტო ენერგეტიკული დანადგარის ალტერნატიულ საწვავად წყალბადის გამოყენების შესახებ -----		36
<b>თავი 2. შავი ზღვის ფსკერიდან გოგირდწყალბადის მიღების პროცესების გამოკვლევა -----</b>		<b>41</b>
2.1. შავი ზღვის ეკოლოგიური პრობლემები -----		41
2.1.1. შავი ზღვის აუზიდან აირადი ნარევების ამოღების მეთოდები -----		45
2.1.2. შავი ზღვის სიღრმისეული წყლებიდან გოგირდწყალბადის გამოყოფის პრობლემები -----		48
2.2. აირადი ნაერთების დაყოფის მემბრანული მეთოდი -----		52
2.2.1. აირადი ნარევების მემბრანული განცალკევების მეთოდიკა -----		57
2.2.2. შავი ზღვის სიღრმიდან ზედაპირზე აირადი ნარევების ამოტანა და დაყოფა -----		60
2.3. გოგირდწყალბადიდან წყალბადის მიღების მემბრანული პროცესის თეორიული და ექსპერიმენტული გამოკვლევა -----		68
2.4. შავი ზღვის სიღრმისეული წყლებიდან მეთანის ადსორბციის პროცესის შესწავლა -----		77
2.5. წყალბადის შიგაწვის ძრავებში გამოყენების პირობების გამოკვლევა -----		78
2.6. წყალბადის შენახვის მეთოდები -----		84

თავი 3. შიგაწვის ძრავებში წყალბადის როგორც ალტერნატიული საწვავის გამოყენების თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების ანალიზი -----	88
3.1. წყალბადზე მომუშავე შიგაწვის ძრავების ენერგოეკოლოგიური მახასიათებლების თეორიული კვლევის ანალიზი -----	88
3.1.1. თეორიული ციკლების გაანგარიშების მეთოდის და ენერგეტიკული მაჩვენებლები -----	88
3.1.2. ბენზინ – წყალბადი საწვავნარევი ბენზინისა და წყალბადის თანაფარდობის განსაზღვრის მეთოდის და -----	97
3.2. შიგაწვის ძრავებში წყალბადის საწვავად გამოყენებით მიღებული ეკოლოგიური ეფექტების ანალიზი -----	100
3.3. გამზომი მოწყობილობა და ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარების მეთოდის და -----	104
3.4. სატრანსპორტო შიგაწვის ძრავებში ბუნებრივი აირისა და წყალბადის საწვავად გამოყენების ექსპერიმენტული კვლევის ანალიზი -----	109
თავი 4. ალტერნატიულ საწვავზე მომუშავე ტრანსპორტის გარემოზე ზემოქმედების ეკონომიკური ეფექტიანობის შეფასება -----	121
4.1. გარემოში გამოყოფილი მავნე ნაერთებით მიყენებული სოციალურ-ეკონომიკური ზიანის გაანგარიშების მეთოდის და ანალიზი -----	121
4.2. სატრანსპორტო საშუალებების მიერ გარემოში გამოყოფილი მავნე ნაერთების შემცირებით მიღებული ეკონომიკური ეფექტის გაანგარიშება -----	125
საერთო დასკვნები და რეკომენდაციები -----	129
გამოყენებული ლიტერატურა -----	135

## შესავალი

თანამედროვე ეპოქაში ენერგეტიკის და ტრანსპორტის ინტენსიურ განვითარებას კაცობრიობა მაშტაბურ ენერგეტიკულ და ეკოლოგიურ პრობლემამდე მიჰყავს. დედამიწაზე მოსახლეობის ზრდასთან ერთად მოთხოვნები ენერგიაზე იზრდება, რაც იწვევს არსებული წიაღისეული საწვავის რესურსების შემცირებას, რომლის მსოფლიო მარაგი უახლოეს მომავალში ამოწურვადია.

ტრადიციულ ენერგეტიკაზე დაფუძნებული ტექნიკური პროგრესი მთელ რიგ დადებით მხარეებთან ერთად უარყოფითად მოქმედებს გარემოზე და იწვევს გლობალურ კლიმატურ ცვლილებას. კერძოდ, სატრანსპორტო საშუალებების რიცხვის სწრაფი ზრდა, ნედლეულის თუ მზა პროდუქციის ტრანსპორტირება და მგზავრთა გადაყვანის გაზრდილი მოთხოვნების დაკმაყოფილება მნიშვნელოვნად განაპირობებს გარემოს ქიმიურ თუ ფიზიკურ დაზიანებას, რაც თანამედროვეობის მნიშვნელოვანი პრობლემაა. ამიტომ, ახალი არატრადიციული ენერჯის წყაროს ძიების საკითხი მნიშვნელოვანი ამოცანაა, როგორც ენერგეტიკული მრეწველობის ასევე საყოფაცხოვრებო სექტორისათვის. დღეისათვის განახლებადი ენერგეტიკული ტექნოლოგიები ფართოდ ინერგება ადამიანის საქმიანობის მრავალ სფეროში და პირველ რიგში ტრანსპორტზე.

ალტერნატიული ენერჯის წყაროებს შორის განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება წყალბადის ენერგეტიკას, რომლის უდავო უპირატესობას ნავთობპროდუქტებთან შედარებით წარმოადგენს მაღალი თბოუნარიანობა და ეკოლოგიური უსაფრთხოება, შიგაწვის ძრავებში გამოყენების შესაძლებლობა, არატოქსიკურობა, ტრანსპორტირების შესაძლებლობა და ფაქტობრივად ულვეი მარაგი.

წყალბადი როგორც საავტომობილო საწვავი მიმდინარე ეტაპზე წარმატებით გამოიყენება დანამატის სახით ტრადიციულ (ბენზინი, დიზელი, ბუნებრივი აირი) საწვავზე. თუმცა დღეისათვის სუფთა წყალბადი როგორც თხევადი ასევე აირადი სახით მოიხმარება, როგორც იძულებით ანთებით მომუშავე ძრავებში ასევე დიზელებში. როგორც წესი ამ ტიპის ძრავების წვის პროდუქტებში საერთოდ არ არსებობს ისეთი ნაერთები როგორცაა CO, CO<sub>2</sub>, CH და ჰვარტლის ნაწილაკები

(დიზელეზში), თუმცა ეკოლოგიურ პრობლემას წარმოადგენს აზოტის ოქსიდების მინიმუმამდე დაყვანა. ამასთან წყალბადის გამოყენება სატრანსპორტო ძრავებში არ საჭიროებს კონსტრუქციის მნიშვნელოვან ცვლილებას.

წყალბადის ენერგეტიკაზე გადასვლის არსებით პირობას წარმოადგენს წყალბადზე ან წყალბადშემცველ ნედლეულზე მომუშავე საიმედო ეკონომიური და ეკოლოგიური საწვავი ელემენტების შექმნა. ამიტომ, წყალბადის მისაღებად ნედლეულის წყაროების ძიება და მისგან წყალბადის მიღება თანამედროვეობის აქტუალურ ამოცანას წარმოადგენს.

მიუხედავად იმისა, რომ წყალბადი ყველაზე მეტად გავრცელებული ელემენტია დედამიწაზე, მისი თავისუფალი სახით აიროვან მდგომარეობაში მოძიება პრაქტიკულად შეუძლებელია. დაბალი სიმკვრივის გამო ( $0,09 \text{ კგ/მ}^3$ ) იგი თავისუფალი სახით სწრაფად გადაადგილდება ატმოსფეროს ზედა ფენებში და გადის უჰაერო სივრცეში, ამიტომ დედამიწაზე წყალბადი იმყოფება ბმულ მდგომარეობაში წყლის ( $\text{H}_2\text{O}$ ) და მეთანის ( $\text{CH}_4$ ) შემადგენლობაში. გამომდინარე აქედან საწვავად მისი მოხმარების შემთხვევაში აუცილებელია გამოყოფა ამ ნაერთებიდან და შენახვა სპეციალურ ჭურჭელში გარკვეულ პირობებში.

საწვავ ელემენტებში გამოყენებულ წყალბადშემცველ ნედლეულს შორის განსაკუთრებულ ყურადღებას იპყრობს გოგირდწყალბადი, რომელიც ქიმიურად საშიში ნაერთია, რადგან ჭარბი ჟანგბადის არეში (ჰაერზე) ის იწვის და გამოიყოფა ძალზე მომწამლავი გოგირდის დიოქსიდი. თუმცა შესაბამისი ეკოლოგიური უსაფრთხოების წესების დაცვით შესაძლებელია გოგირდწყალბადის დაშლა გოგირდად და წყალბადად, რადგან წყალბადის ენერგეტიკა პერსპექტიულია ეკონომიკური და ეკოლოგიური თვალსაზრისით.

უნდა აღინიშნოს, რომ საქართველო წარმოადგენს ერთ-ერთ პერსპექტიულ ქვეყანას წყალბადის ენერგეტიკაზე გადასვლის თვალსაზრისით, რადგან გოგირდწყალბადის შემცველობის მიხედვით შავი ზღვა ყველაზე მსხვილი აუზია მსოფლიოში. შავ ზღვაში გოგირდწყალბადის შემცველობის მუდმივი განახლებადობა განაპირობებს მომწამლავი გოგირდწყალბადის ზედაპირულ ფენებში ამოსვლას და ძლიერი ეკოლოგიური საფრთხის შემცველია. უკანასკნელ პერიოდში ჩატარებული კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ შავ ზღვაში არსებულ

გოგირდწყალბადს აქვს პოტენციური ეკონომიკური ღირებულება, რადგან მისგან შეიძლება მიღებული იქნას ეკოლოგიურად სუფთა საწვავი - წყალბადი. ამგვარად, შავი ზღვა მეცნიერულად და პრაქტიკულად მნიშვნელოვან ობიექტს წარმოადგენს, როგორც სამეცნიერო კვლევების ასევე პრაქტიკული გამოყენების თვალსაზრისით.

შავი ზღვის სიღრმისეული წყლებიდან გოგირდწყალბადის მოპოვების სირთულეს წარმოადგენს მისი ძირითადი ნაწილის წყალხსნარის სახით არსებობა. ამიტომ აირადი სახით გოგირდწყალბადის მოპოვების მეთოდი შეიძლება დავეყოთ ორ ჯგუფად: სიღრმისეული წყლების ზღვის ზედაპირზე ამოტანა ან უშუალოდ მოპოვების ადგილზე გოგირდწყალბადის აიროვანი ფორმით მიღება. უკანასკნელ პერიოდში სწრაფად განვითარდა აირადი ნარევების დაყოფის მემბრანული მეთოდები, რაც საშუალებას იძლევა განვახორციელოთ ზღვის წყლიდან გოგირდწყალბადის გამოყოფა აიროვანი სახით. ზღვის წყლიდან გოგირდწყალბადის მოპოვების საკითხებზე მუშაობს როგორც ქართველი ასევე უცხოელი მეცნიერები: მ. ჯიბლაძე, ი. შარაბიძე, ა. ფრანგიშვილი, თ. ბაციკაძე, რ. ჯომიდავა, თ. მექვაბიშვილი, რ. ხოსიტაშვილი, ნ. ბონდარენკო, ბ. ბორცი, ი. ნეკლიუდოვი, ბ. ფშენიჩნი, ვ. ბეზნოსოვი, რ. ბაკერი, ე. ბოიცოვი, რ. აბედინი, მ. მულდერი და სხვ.

სადოქტორო ნაშრომში განხილულია შავი ზღვის ეკოლოგიური პრობლემები და მისი სიღრმისეული წყლებიდან გოგირდწყალბადის ამოღების სირთულეები და ხერხები. ლიტერატურულ წყაროებზე დაყრდნობით შესწავლილია ზღვის ფსკერიდან გოგირდწყალბადის შემცველი წყალხსნარის ამოღების მეთოდები, რის საფუძველზეც დამუშავებულია ამოღების სქემა და მემბრანული ტექნოლოგიების გამოყენებით ზედაპირზე ამოტანილი ზღვის წყლის განცალკევების ტექნოლოგია. ამ მიმართულებით ჩატარებულია ექსპერიმენტული კვლევები და მოცემულია კვლევის ანალიზი და რეკომენდაციები.

როგორც წესი შიგაწვის ძრავებით აღჭურვილი სატრანსპორტო საშუალებები წარმოადგენს გარემოს, როგორც ქიმიური და ბიოლოგიური ასევე ფიზიკური დაბინძურების ერთ-ერთ ძირითად წყაროს, რადგან სატრანსპორტო საშუალებების მუშაობის დროს წარმოქმნილი ტოქსიკური ნაერთები და გამოსხივებული აკუსტიკური ენერგია იწვევს ბიოსფეროს ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუარესებას. განსაკუთრებით საფრთხეშია დიდი ქალაქები სადაც თავმოყრილია მსხვილი

სამრეწველო ცენტრები და კოლოსალურად იზრდება სატრანსპორტო საშუალებათა რიცხვი, რომელიც გარემოს დაბინძურების უმნიშვნელოვანესი წყაროა.

სადოქტორო ნაშრომში განხილულია გარემოს დაბინძურების წყაროები და განსაკუთრებით, სატრანსპორტო სისტემის უარყოფითი ზემოქმედება ეკოსისტემაზე. შესწავლილია ამიერკავკასიის სამხრეთ რეგიონის, მათ შორის საქართველოს და ქ. ქუთაისის ეკოლოგიური პრობლემები. მოცემულია მეთოდთა კომპლექსი სატრანსპორტო ნაკადის გარემოზე მიყენებული ეკოლოგიური ზიანის შესაფასებლად. განხილულია გარემოზე სატრანსპორტო ნაკადის უარყოფითი ზემოქმედების შემცირების მეთოდები კონკრეტული ამოცანის შესრულებით.

როგორც აღნიშნეთ თანამედროვე მსოფლიოს ენერგეტიკული და ეკოლოგიური კრიზისის გადაწყვეტის ერთ-ერთი რეალური გზაა ალტერნატიული ენერგეტიკის, მათ შორის წყალბადის, ფართო გამოყენება ტრანსპორტისა და მრეწველობის სხვადასხვა სფეროში. საავტომობილო ტრანსპორტზე წყალბადის გამოყენების თეორიული და პრაქტიკული კვლევების მამტაბური განხორციელება დაიწყო გასული საუკუნის 80-იანი წლებიდან და აქტიურად მიმდინარეობს თანამედროვე ეტაპზე. ამ მხრივ მნიშვნელოვანია ისეთი მეცნიერების შრომები როგორცაა: რ. ქავთარაძე, ა. მიშენკო, დ. ონიშენკო, ა. შიბანოვი, ს. სერგეევი, გ. ვოშნი, უ. ვიბიკე, ხ. როტენგრუბერი, გ. ციტცლერი და სხვ. აღნიშნული ავტორების შრომებში განხილულია წყალბადის, როგორც სატრანსპორტო საშუალებების მომავლის საწვავის პრაქტიკულად გამოყენების დადებითი და უარყოფითი მხარეები და მათი გადაჭრის გზები.

სადოქტორო ნაშრომის ერთ-ერთ მიმართულებას წარმოადგენს ალტერნატიულ საწვავზე (ბუნებრივი აირი, ბენზინი + წყალბადი, ბუნებრივი აირი + წყალბადი) კონვერტირებული ძრავის მუშა პროცესის შესწავლა და ექსპერიმენტული კვლევის ანალიზი. ნაშრომში წარმოდგენილი კვლევის შედეგები კიდევ ერთხელ ადასტურებს წყალბადის როგორც მომავლის სატრანსპორტო საწვავის უპირატესობას სხვა სახის საწვავთან შედარებით ეკონომიკური და ეკოლოგიური თვალსაზრისით.

-----

o კვლევა განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფინანსური მხარდაჭერით (გრანტი №DP2016\_5).

## თავი 1. ტრანსპორტის გავლენა ეკოსისტემაზე და მათი გადაჭრის გზები

### 1.1. ტრანსპორტი და გარემო

თანამედროვე ეტაპზე ეკოლოგიური მდგომარეობა 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 [2, 22, 23, 38].

საავტომობილო პარკის შედგენილობა, ტვირთების გადაზიდვა და მგზავრთა გადაყვანის ორგანიზაცია, მანქანის ტექნიკური მომსახურება თუ რემონტი, ხიდების, გვირაბების და გზების მშენებლობა, სამშენებლო მასალების წარმოება, ნავთობის მოპოვება და ნავთობპროდუქტების მიღება, მოძრაობის ორგანიზაცია და ადამიანის ნებისმიერი სხვა საქმიანობა იწვევს გარემოზე ზემოქმედებას, რაც მყისიერად ან გარკვეული პერიოდის შემდეგ რეაგირებს ამ ზემოქმედებაზე დადებითი ან უარყოფითი კუთხით. გარემოს მდგომარეობა განაპირობებს მოსახლეობის ცხოვრების დონეს, ჯანმრთელობას და ქვეყნის ეკონომიკურ განვითარებას. ბუნებათსარგებლობის ამოცანაა, როგორც ბუნებრივი რესურსების მოპოვების, გადამუშავებისა და მოხმარების მაღალ დონეზე განხორციელება, ასევე გარემოს საინჟინრო დაცვის პრობლემების გადაწყვეტა.

საავტომობილო ტრანსპორტის უარყოფითი ზემოქმედების ხარისხი ლოკალური გარემოს ეკოსისტემაზე განისაზღვრება მთელი რიგი ფაქტორებით, რომელთა შორის აღსანიშნავია მავნე ნივთიერებების გამოყოფის ინტენსივობა და მოცულობა, იმ ტერიტორიის ზომები რომელზედაც ხდება დაბინძურება, რეგიონის ტექნოგენური ათვისების დონე და სხვ. ტრანსპორტი გავლენას ახდენს როგორც გარემოს ეკოლოგიურ მდგომარეობაზე, ასევე ცხოვრების სოციალურ პირობებზე და



ქვეყნის ეკონომიკაზე. ამ გავლენას იწვევს ავტომობილის მუშაობისას გამოყოფილი წვის პროდუქტების ტოქსიკურობა; კარტერის აირები; საწვავის, ზეთის და მჟავას აორთქლება; ცვეთის პროდუქტების გარემოში გამოყოფა; ვიბრაცია; ხმაური და გამოყოფილი სითბო; ჩამდინარე წყლების დაბინძურება და სხვ. ცხრილში 1.1 მოცემულია სატრანსპორტო საშუალებების ექსპლუატაციის დროს გარემოს დაბინძურების სტრუქტურა %-ში [3, 36, 38].

ცხრილი 1.1

## ავტოსატრანსპორტო საშუალების მიერ გარემოს დაბინძურების სტრუქტურა

№	დაბინძურების წყაროს დასახელება	%
1	გამონაბოლქვი აირები	65
2	შემზეთი მასალებით დაბინძურება	20
3	საწვავის ორთქლით დაბინძურება	9
4	ლითონის, რეზინის, სამუხრუჭე მასალების და სხვა დეტალების ცვეთის პროდუქტები	6

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.

ცნობილია რომ თანამედროვე ეტაპზე მსოფლიოში ყოველწლიურად იხარჯება 1 მილიარდ ტონაზე მეტი საწვავი, რისთვისაც საჭიროა 4 მილიარდ ტონაზე მეტი ატმოსფერული ჟანგბადი. ასეთი დისბალანსის გამოსწორება მცენარეული სამყაროს მიერ სრულად ვერ ხერხდება, რაც მთელი რიგი სირთულეების გამომწვევი მიზეზია. ამასთან თანამედროვე ავტომობილი 1 კგ ბენზინის დასაწვავად ხარჯავს დაახლოებით 200 ლ ჟანგბადს, რაც უფრო მეტია ჟანგბადის იმ მოცულობაზე რომელსაც ადამიანი ჩაისუნთქავს მთელი დღე-ღამის განმავლობაში.

გარემოს დაბინძურების ძირითად წყაროს წარმოადგენს სატრანსპორტო შიგაწვის ძრავში მიმდინარე პროცესები, რადგან ძრავის ცილინდრსა და ატმოსფეროს შორის მიმდინარეობს სითბოსა და მასის ცვლის ურთულესი პროცესები. ამასთან სატრანსპორტო ძრავის წვის პროდუქტები შეიცავს 200-ზე მეტი დასახელების

სხვადასხვა სახის ნივთიერებას, რომელთა უმეტესობა მომწამლავია. მათ შორის განსაკუთრებით აღსანიშნავია: ნახშირბადის მონოოქსიდი (CO); ნახშირბადის დიოქსიდი (CO<sub>2</sub>); სხვადასხვა სახის ნახშირწყალბადები (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>); აზოტისა და გოგირდის ოქსიდები; ტყვიის ნაერთები; მყარი ნაწილაკები ჭვარტლის სახით; მძიმე ლითონები და სხვ. გარდა ამისა საწვავის დაწვის შედეგად დედამიწის ატმოსფეროს ყოველწლიურად გადაეცემა  $14,5 \cdot 10^{18}$  კგ სითბო, რაც იწვევს ე.წ. თბურ წონასწორობის დარღვევას და ხელს უწყობს გლობალური დათბობის საშიშროების გაზრდას.

არ შეიძლება არ ავღნიშნოთ, რომ ავტომობილის მუშაობას თან სდევს რეზინის და აზბესტის ნაკეთობათა ცვეთის შედეგად გამოყოფილი მტვრის ნაწილაკების გარემოში გამოყოფა, რომელთა რაოდენობა დამოკიდებულია სატრანსპორტო საშუალების ტიპსა და გარბენზე. ლიტერატურული წყაროების საფუძველზე [3, 22, 23, 36, 37, 64] ამ სახის მტვრის გარემოში გამოყოფა წელიწადში - მსუბუქი ავტომობილისთვის შეადგენს 1,35 კგ-ს, სატვირთო ავტომობილისთვის 17,1 კგ-ს და ავტობუსებისთვის 53,2 კგ-ს. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ სამუხრუჭე სისტემის ცვეთის შედეგად გარემოში ყოველწლიურად გამოიყოფა აზბესტის შემცველი 0,8-1,5 კგ მტვერი ერთ ავტომობილზე, რომელიც ადამიანის ორგანიზმში იწვევს მექანიკურ, ქიმიურ და ბაქტეოლოგიურ ზემოქმედებას.

მრავალჯერადი გამოკვლევებით დგინდება საავტომობილო ტრანსპორტის მნიშვნელოვანი როლი ავტომაგისტრალების მიმდებარე ტერიტორიების დაბინძურებაში. ავტომობილების მოძრაობის განუსაზღვრელმა ზრდამ, რაც გამოწვეულია საგზაო მაგისტრალების მნიშვნელოვანი დატვირთვით, მთელი რიგი მავნე ნივთიერებების აკუმულირება მოახდინა ბიოსფეროში, რის შედეგადაც ატმოსფეროში, ნიადაგსა და წყალში არსებული მიკროელემენტების (ტყვია, სპილენძი, კადმიუმი, თუთა და სხვ.) საერთო შემცველობა ათეული და ასეული ტონობით განისაზღვრება.

ნამწვ აირებში შემავალი მავნე ნივთიერებები და ცვეთის პროდუქტები, ატმოსფერულ ნალექებთან ერთად ხვდებიან ნიადაგში და წარმოადგენენ მდინარეების, წყალსატევების და მწვანე ნარგავების დამბინძურებლებს. საბოლოოდ ისინი ტრანსფორმირდებიან სასმელ წყალში, კვების პროდუქტებში და ადამიანის

ორგანიზმში. ნიადაგში არსებული ნუკლოიდები აქტიურად ერთვებიან ეკოლოგიურ ჯაჭვში (ნიადაგი-წყალი-მცენარე-პროდუქტი) და საბოლოოდ აღმოჩნდებიან ადამიანის ორგანიზმში, რაც მრავალი დაავადების გამომწვევი მიზეზია.

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

საავტომობილო ტრანსპორტის პარკის სწრაფი ტემპით გაზრდა და გარემოზე მათი უარყოფითი გავლენა მსოფლიოს გლობალური პრობლემაა, რადგან გარემოს დაბინძურების 80%-ზე მეტი ავტომობილის გამონაბოლქვის მავნე ნივთიერებებზე მოდის და ადამიანის ჯანმრთელობის საფრთხის შექმნაში იგი ერთ-ერთ მთავარ როლს ასრულებს. ამ ფაქტს ემატება ისიც, რომ საავტომობილო პარკი რაც უფრო მოძველებული და ტექნიკურად გაუმართავია, მით მეტ საწვავს მოიხმარს და მით უფრო მეტია გარემოს დაბინძურების ხარისხი. გასათვალისწინებელია რომ საქართველოს შინაგან საქმეთა სამინისტროს მონაცემებით ჩვენი ქვეყნის საავტომობილო პარკის 90% 10 წელზე მეტი ხნოვანებისაა და მხოლოდ 10%-მდეა 10 წლამდე ასაკის, რომელთაგან მხოლოდ 3%-მდეა ახალი ავტომობილი.

აღნიშნული კიდევ ერთხელ ადასტურებს იმ ფაქტს, რომ საავტომობილო ტრანსპორტის საწვავის ეკონომიურობისა და ეკოლოგიური უსაფრთხოების ამაღლების თემა მეტად აქტუალურია. ამიტომ ნებისმიერ ღონისძიებას, რომელიც უზრუნველყოფს საავტომობილო ტრანსპორტზე საწვავის ეკონომიას და მის რაციონალურ გამოყენებას, აგრეთვე ეკოლოგიური უსაფრთხოების გაზრდას აქვს დიდი პრაქტიკული და სოციალური მნიშვნელობა.

დღეისთვის მსოფლიოში ავტომობილებისადმი ეკოლოგიური მოთხოვნების რეალიზება ხორციელდება სტანდარტების ორ ჯგუფში:

პირველი ჯგუფი ახდენს ავტომობილების კონსტრუირების და წარმოების დროს მათ მიერ გამოყოფილი მავნე ნივთიერებების რეგლამენტირებას;

მეორე ჯგუფი უზრუნველყოფს მოძრავი შემადგენლობის ექსპლუატაციის დროს გარემოში გამონახობლქვი მავნე კომპონენტების რეგლამენტირებას.

საავტომობილო სატრანსპორტო საშუალებების ეკოლოგიური მახასიათებლების გაუმჯობესების მრავალი ცნობილი ღონისძიებებიდან განსაკუთრებით ეფექტურია:

- ენერგეტიკული დანადგარის კვების და ანთების სისტემების მოდერნიზაცია, რაც უზრუნველყოფს საწვავი ნარევის დოზირების ოპტიმიზაციის გზით ცილინდრში წვის პროცესების სრულყოფას;
- სატრანსპორტო ძრავებზე ტრანზისტორული ანთების და საწვავის შეფრქვევის მიკროპროცესორული სისტემების გამოყენებას, რაც უზრუნველყოფს ძრავის სიმძლავრის და ეკონომიურობის გაუმჯობესებას. ტრანზისტორული ტიპის ანთების სისტემა და საწვავის მიწოდების მიკროპროცესორული მართვა უზრუნველყოფს ნარევეწარმოქმნას და დოზირების პროცესის სრულყოფას, რაც აუმჯობესებს ძრავის როგორც ეკონომიურობას ასევე ტოქსიკურობას;
- ნამწვი აირების რეცირკულაცია. ასეთ შემთხვევაში ნამუშევარი აირების გარკვეული ნაწილი მიეწოდება ძრავის შემშვებ სისტემაში, რაც ამცირებს ცილინდრში წვის ტემპერატურას და შესაბამისად აზოტის ოქსიდების რაოდენობას;
- წვის პროდუქტების ნეიტრალიზაცია და მყარი ნაწილაკების ფილტრაცია. ნეიტრალიზატორები წარმოადგენენ კატალიზური მოქმედების მოწყობილობებს, რომელშიც ხორციელდება ცილინდრიდან გამოსული წვის პროდუქტების დამატებითი დაჟანგვა და ტოქსიკური ნაერთების შემცირება რაც ფასდება გარდაქმნის კოეფიციენტით.

$$K = \frac{C_{\theta} - C_{\beta}}{C_{\theta}} \quad (1.1)$$

სადაც  $C_{\theta}$  - ტოქსიკური კომპონენტების კონცენტრაციაა ნეიტრალიზატორის შესასვლელზე, ხოლო  $C_{\beta}$  - გამოსასვლელზე.

თერმულ ნეიტრალიზატორებში ახდენენ CO-ს და CH-ის დამატებით დაჟანგვას მაღალ ტემპერატურაზე. ისინი მოთავსებულია ძრავის გამომშვებ სისტემაში და ნეიტრალიზაციის ხარისხი დამოკიდებულია ჟანგბადის და ტოქსიკური კომპონენტების კონცენტრაციაზე, ტემპერატურაზე, წნევაზე და ნეიტრალიზატორში აირის არსებობის ხანგრძლივობაზე. თერმული ნეიტრალიზატორები ნაკლებად

ეფექტურია უქმი სვლის რეჟიმზე და დაბალ ტემპერატურაზე, რადგან ამ დროს რეაქცია მიმდინარეობს შენელებულად.

გამომდინარე აქედან დღეისათვის ფართოდ გამოიყენება კატალიზური მოქმედების ნეიტრალიზატორები, რომლებშიც კატალიზატორებად გამოყენებულია ძვირფასი მეტალები - პლატინა, პალადიუმი, როდიუმი. ასეთი ნეიტრალიზატორები მუშაობენ  $680-880^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურის ზღვრებში და ეფექტურობა  $75-95\%$ -ია. მაგალითად  $2,0$  ლ-ზე მეტი ძრავის მუშა მოცულობის შემთხვევაში ნეიტრალიზატორის გარეშე წვის პროდუქტებში CO-ს შემცველობაა  $11,2$  გ/კგ-ია, ხოლო ნეიტრალიზატორით  $6,2$  გ/კგ. კატალიზური ნეიტრალიზატორები განთავსებულია ავტომობილის მაცუქში.

დიზელებში მყარი ნაწილაკების (ჭვარტლი) გასაწივრებად გამოიყენებულია ფილტრები, რომელთა ძირითადი მფილტრავი ელემენტია კერამიკა, რომელიც გამოირჩევა სიმტკიცით, ხანგამძლეობით, ტემპერატურა მედეგობით და ეკონომიურობით. ჭვარტლის გამოყოფა წარმოადგენს რეაქციას მყარ სხეულსა და აირს შორის და პირდაპირი შეხება ნეიტრალიზატორთან არ გააჩნია. ამიტომ ჭვარტლის გამოწვა ხორციელდება არა უშუალოდ კატალიზატორის ზედაპირზე, არამედ ნეიტრალიზატორის ზედაპირიდან მოშორებით აიროვან ფაზაში აქტიური ნაწილაკების დახმარებით, რომლებიც წარმოიქმნიან კატალიზატორის ზედაპირზე. ფილტრების გამოყენების შემთხვევაში პრობლემატურია მფილტრავი ელემენტის ფორმების სწრაფი ამოვსება ჭვარტლის ფენით.

- საწვავის ხარისხის ამაღლება. იმ შემთხვევაში როდესაც გამოიყენება ნაკლებად ან მთლიანად არაეთილირებული ბენზინი გამორიცხულია ისეთი მანქანები ნივთიერებების გამოყოფა როგორცაა ტყვიის ნაერთები. დიზელებში საწვავის ცეტანური რიცხვის გაზრდა მცირე და საშუალო დატვირთვებზე უზრუნველყოფს  $\text{NO}_x$  და  $\text{C}_x\text{H}_y$  შემცირებას თუმცა დიდ დატვირთვებზე იზრდება ბოლვადობა.

- ალტერნატიული საწვავების გამოყენება. სატრანსპორტო საშუალების კერძოდ საავტომობილო ტრანსპორტის ნამწვი აირების ტოქსიკურობის შემცირების ყველაზე რეალური გზა ალტერნატიული საწვავის გამოყენების გზების ძიებაა. ამ კუთხით პერსპექტიულ საავტომობილო საწვავს წარმოადგენს წყალბადი, რომლის მარაგი ულევია და წვის შედეგად ფაქტიურად ტოქსიკური ნაერთები არ წარმოიქმნება, თუ

არ ჩავთვლით აზოტის ოქსიდს რომლის რაოდენობა მინიმალურია. წყალბადის მიღების და საავტომობილო ტრანსპორტზე მისი გამოყენების ამოცანები წარმოდგენილია წინამდებარე სადისერტაციო ნაშრომში და განხილულია შემდგომ პარაგრაფებში.

## 1.2. სატრანსპორტო ნაკადის პარამეტრების გავლენა გარემოს ეკოლოგიურ მაჩვენებლებზე

სატრანსპორტო გზებზე ერთეული სატრანსპორტო საშუალებების მოძრაობა, რა თქმა უნდა მნიშვნელოვან გავლენას ვერ მოახდენს გარემოსა და ეკოსისტემაზე, მაგრამ სულ სხვა მდგომარეობაა როცა განიხილება სატრანსპორტო ნაკადის გადაადგილება ტვირთების გადაზიდვისა და მგზავრთა გადაყვანის პირობებში. ასეთ შემთხვევაში გარემოზე ზემოქმედება დამოკიდებულია არა მარტო გზის საფარისა და თითოეული სატრანსპორტო საშუალების ტექნიკურ მდგომარეობაზე, არამედ მოძრაობის ინტენსივობაზე, სიჩქარეზე, სატრანსპორტო ნაკადის შედგენილობაზე, სატრანსპორტო საშუალებათა რაოდენობაზე და სხვ.

სატრანსპორტო კომპლექსის მიერ გარემოს დაბინძურება პირობითად შეიძლება დავყოთ ორ ჯგუფად: ტექნოლოგიური და სატრანსპორტო. პირველს მიეკუთვნება: საგზაო-სამშენებლო მანქანები, ასფალტობეტონის ქარხნებისა და საგზაო საწარმოების სპეციალური სატრანსპორტო საშუალებები, ხოლო მეორეს სატრანსპორტო ნაკადის მოძრავი შემადგენლობა.

სატრანსპორტო ნაკადის მიერ გამოყოფილ მავნე ნივთიერებებს მიეკუთვნება ავტომობილის მუშაობისას წარმოქმნილი ტოქსიკური ნაერთები, ანტიფრიქციული მასალებისა და საბურავების ცვეთის შედეგად მიღებული პროდუქტები, საექსპლუატაციო სითხეები, ნავთობპროდუქტები, დეტალების ცვეთის მასალები და სხვ.

სატრანსპორტო ნაკადის მიერ ატმოსფეროში გამოყოფილი ნაერთების რაოდენობრივი შეფასებისას შეიძლება გამოვიყენოთ ორი მიდგომა: 1) სატრანსპორტო საშუალებების ერთმანეთზე გავლენის გათვალისწინების გარეშე; 2)

სატრანსპორტო საშუალებების ერთმანეთზე ურთიერთგავლენა. პირველ შემთხვევაში ხდება თითოეული სატრანსპორტო საშუალების მიერ გამოყოფილი ნაერთების უშუალო შეკრება, ხოლო მეორე შემთხვევაში მოძრაობა განიხილება როგორც თითოეული მანქანის ერთობლიობა.

სატრანსპორტო ნაკადის მიერ ატმოსფეროში გამოყოფილი მავნე ნაერთების კონცენტრაციის შეფასებისას შეიძლება ვისარგებლოთ შემდეგი დაშვებით: 1) განვსაზღვროთ ნაკადის შემადგენელი თითოეული სატრანსპორტო საშუალების საწვავის ხარჯი და გამოყოფილი ნაერთების რაოდენობა სხვადასხვა სიჩქარით რეჟიმებზე მოძრაობისას; 2) განვსაზღვროთ საწვავის ხარჯი და გამოყოფილი ნაერთების რაოდენობა ნაკადისთვის საგზაო ქსელის ცალკეულ მონაკვეთზე; 3) გამოყოფილი მავნე ნაერთების კონცენტრაციის განსაზღვრა ავტომაგისტრალის გამოსაცდელ მონაკვეთზე.

სატრანსპორტო ნაკადის მიერ გარემოს დაბინძურების განმსაზღვრელი ძირითადი ფაქტორებია: შედგენილობა; სატრანსპორტო საშუალების სიჩქარე; აჩქარება და მოძრაობის ინტენსივობა; ავტომობილის ტექნიკური გამართულობა და საექსპლუატაციო მდგომარეობა; გადასატანი ტვირთის მოცულობა და ნომენკლატურა; საგზაო ქსელის ტიპი.

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

$$Y = \sum_i \sum_j \sum_K W_j \cdot P_{Ki} \cdot N_a \quad (1.2)$$

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

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

$N_a$  - ნაკადის ინტენსივობა ავტ/სთ.

სხვადასხვა ჯგუფის ავტომობილების, მოძრაობის მოცემულ სიჩქარით დიაპაზონში მოხვედრის ალბათობა ( $P_{Ki}$ ) შესაძლებელია განისაზღვროს გაზომვის შედეგების მიხედვით ან ნაკადში ცალკეული სატრანსპორტო საშუალებების მოძრაობის იმიტაციის მოდელის გამოყენებით [3, 25, 36, 37, 38].

ნაკადის ინტენსივობის 50-1200 ავტ/სთ დიაპაზონში ცვლილებისას, როცა მასში სატვირთო ავტომობილების და ავტობუსების წილი 0-50%-ია საწვავის ხარჯის და გამოყოფილი პროდუქტების შეფასებისას (კგ/სთ) შეიძლება გამოვიყენოთ განტოლებები:

$$Y_1 = \begin{cases} A_{j1} \cdot N_a & \text{როცა } S < 5\% \\ A_{j2} \cdot N_a & \text{როცა } 5\% < S < 25\% \\ A_{j3} \cdot N_a & \text{როცა } S > 25\% \end{cases} \quad (1.3)$$

სადაც  $A_{j123}$  - რეგრესიის კოეფიციენტია კგ/ავტ.კმ;

$S$  - სატვირთო ავტომობილების და ავტობუსების წილია ნაკადში %-ში.

რეგრესიის კოეფიციენტის მნიშვნელობები ნაკადის შედგენილობის და საწვავის სახეობის მიხედვით მოყვანილია ცხრილში 1.2.

ცხრილი 1.2

რეგრესიის კოეფიციენტის მნიშვნელობები

მაჩვენებელი	$S > 25\%$	$5\% < S < 25\%$	$S < 5\%$
ბენზინი	0,166	0,133	0,101
დიზელის საწვავი	0,010	0,0144	0,0026
შეკუმშული ბუნებრივი აირი	0,00083	0,0004	0,000046
გათხევადებული ნავთობის აირი	0,0026	0,0013	0,00027

გზაჯვარედინებზე სატრანსპორტო ნაკადის საწვავის ხარჯი და გამონაბოლქვის რაოდენობა (კგ/სთ) განისაზღვრება ფორმულით:

$$Y_2 = \begin{cases} K_{11} \cdot N_y \cdot t_c + L_y \cdot K_{21} \cdot N_y & \text{როცა } S < 5\% \\ K_{12} \cdot N_y \cdot t_c + L_y \cdot K_{22} \cdot N_y & \text{როცა } 5\% < S < 25\% \\ K_{13} \cdot N_y \cdot t_c + L_y \cdot K_{23} \cdot N_y & \text{როცა } S > 25\% \end{cases} \quad (1.4)$$

სადაც  $K_{11}; K_{12}; K_{13}$  და  $K_{21}; K_{22}; K_{23}$  რეგრესიის კოეფიციენტებია ნაკადის უძრავი (კგ/სთ·ავტ) და მოძრავი (კგ/ავტ·კმ) ნაწილებისთვის;  $N_y$  - კვანძში ან გზაჯვარედინზე ნაკადის ინტენსივობა (ავტ/სთ);  $t_c$  - შუქნიშნის ამკრძალავი სიგნალის ნათების დროა (სთ);  $L_y$  - გზაჯვარედინის მოქმედების ზონაა (კმ).



ფორმულაში რეგრესიის კოეფიციენტების  $K_{21}$ ;  $K_{22}$ ;  $K_{23}$  მნიშვნელობები განისაზღვრება დამოკიდებულებით:

$$K_{21,22,23} = A_{1,2,3}(1 + K_g + K_{\theta})/3 \quad (1.5)$$

$K_g$  და  $K_{\theta}$  ითვალისწინებს გამონაბოლქვის რაოდენობრივ ცვლილებას ავტომობილის გაქანების და შენელების რეჟიმებზე მოძრაობისას და მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილში 1.3.

ცხრილი 1.3

K კოეფიციენტის მნიშვნელობები სხვადასხვა ჯგუფის სატრანსპორტო საშუალებებისათვის

სიჩქარე	გაქანების რეჟიმი					შენელების რეჟიმი			
	ავტომობილის ჯგუფი	CO	CH	NO	ჭვარტლის ნაწილაკები	CO	CH	NO	ჭვარტლის ნაწილაკები
20 კმ/სთ	BM1	6,1	13,1	13,2	-	0,3	0,3	0,1	-
	BM3	5,3	16,9	6,3	-	0,2	0,3	0,04	-
	DM3	4,0	1,3	5,6	18,2	0,2	0,2	0,1	0,22
60 კმ/სთ	BM1	4,1	17,8	6,0	-	0,06	0,05	0,01	-
	BM3	2,0	6,5	0,7	-	0,08	0,16	0,01	-
	DM3	1,5	1,3	1,3	6,2	0,09	0,03	0,01	0,02

შენიშვნა: ინდექსი B - აღნიშნავს ბენზინზე მომუშავე სატრანსპორტო საშუალებებს; D- დიზელებს; M - სატრანსპორტო საშუალების ჯგუფს.

მოყვანილი მეთოდიკა საშუალებას იძლევა მაგისტრალის ნებისმიერ მონაკვეთზე, გზაჯვარედინზე ან საგზაო ქსელის თითოეულ უბანზე თეორიულად განვსაზღვროთ საწვავის ხარჯი და გარემოში გამოყოფილი მავნე ნივთიერებების რაოდენობა.

### 1.2.1. საავტომობილო ტრანსპორტის ეკოლოგიური უსაფრთხოების ლოჯისტიკური მართვა ქალაქის პირობებში

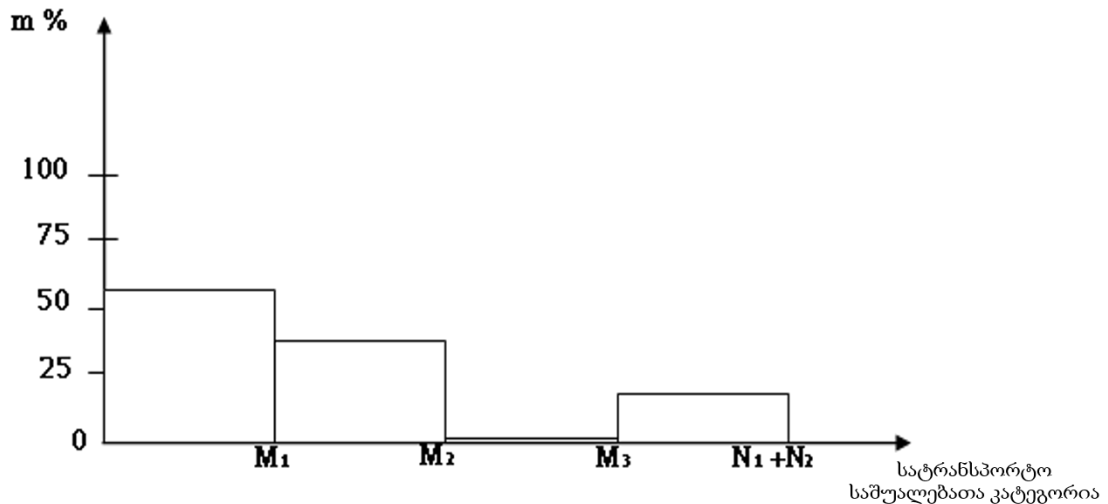
საბაზრო ეკონომიკის განვითარების ტემპებმა, მრავალმხრივ გააფართოვა საავტომობილო გადაზიდვების მიმართულებები ინტენსიური სატრანსპორტო და ქვეითად მოსიარულეთა ნაკადების ზონაში, რაც ძირითადად დამახასიათებელია დიდი ქალაქებისა და სამრეწველო ცენტრებისთვის. ტვირთების გადაზიდვა და მგზავრთა გადაყვანა არა მარტო ზრდის საგზაო-სატრანსპორტო შემთხვევათა რისკს, არამედ ამალღებს გარემოზე უარყოფითი ეკოლოგიური ზემოქმედების ეფექტურობასაც. გამომდინარე აქედან საავტომობილო ტრანსპორტის ადამიანის ჯანმრთელობისა და გარემოზე უარყოფითი ზემოქმედების შემცირება წარმოადგენს აქტუალურ სამეცნიერო და მეთოდოლოგიურ პრობლემას.

მსოფლიო მაშტაბით ჩატარებული მრავალმხრივი სამეცნიერო კვლევითი სამუშაოების მიუხედავად - სამრეწველო ცენტრებში, ტრანსპორტისა და მგზავრთა ნაკადების ინტენსიურ ზონებში, ჰაერის დაბინძურების პრობლემები ჯერჯერობით არ არის გადაწყვეტილი. გრძელვადიანი პროგრამა, რომელიც დამუშავებულია აშშ და ევროპის რიგი ქვეყნების მიერ [55, 62], ამ მიმართულებით ითვალისწინებს არა მარტო ძვირადღირებული სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის განვითარებას, არამედ მოძრაობის უბნებზე ეკოლოგიურად ორიენტირებული სატრანსპორტო მომსახურების ღონისძიებების ფორმირებას. ამ დროს 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. შიგაწვის ძრავების წვის პროდუქტებში დამაბინძურებელი ნივთიერებების დასაშვები თეორიული ნორმების

მიხედვით ჩატარებული საორიენტაციო ანგარიშის საფუძველზე დგინდება, რომ საშუალო წლიური გარბენის შემთხვევაში ამ კატეგორიის სატრანსპორტო საშუალებებზე მოდის ქალაქის სატრანსპორტო დაბინძურების 70-80%.

პარაგრაფი 1.2.1 - ში მოცემული მეთოდის საფუძველზე ჩვენს მიერ ქ. ქუთაისის მამტაბით ჩატარებული გამოკვლევების შედეგები (ნახ.1.1) ნათლად მიუთითებს გამოთქმული მტკიცებულების მართებულობაზე.



ნახ.1.1 ქალაქის გარემოს დაბინძურების დამოკიდებულება ავტოსატრანსპორტო საშუალებების კატეგორიაზე.

M<sub>1</sub>-სამგზავრო, სრული მასა 2500 კგ-მდე, მგზავრთა რაოდენობა არ აღემატება რვას;

M<sub>2</sub>-სამგზავრო, სრული მასა 2500-5000 კგ, მგზავრთა რაოდენობა მეტია რვაზე;

M<sub>3</sub>-სამგზავრო, სრული მასა მეტია 5000 კგ-ზე, მგზავრთა რაოდენობა მეტია რვაზე;

N<sub>1</sub>-სატვირთო, სრული მასა ნაკლებია 3500 კგ-ზე;

N<sub>2</sub>-სატვირთო, სრული მასა 3500-12000 კგ.

აღსანიშნავია რომ საქართველოში მოძველებული საავტომობილო პარკის ექსპლუატაცია, საავტომობილო გადაზიდვების განხორციელებისას, ატმოსფეროში CO, NO<sub>x</sub>, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> გამოყოფის თვალსაზრისით, ამაღლებს ატმოსფეროს ეკოლოგიური უსაფრთხოების პრობლემებს. თუ გავითვალისწინებთ იმას, რომ არსებული ტემპებით მოძველებული პარკის განახლება ხანგრძლივი პერიოდია (15-20 წელი) და სატრანსპორტო ნაკადში ახალი ეკოლოგიურად სუფთა ავტომობილების რიცხვის გაზრდაც ვერ შეამცირებს ისეთი წვრილ დისპერსიული ნაწილაკების მასის რაოდენობას როგორცაა საბურავების, სამუხრუჭე ხუნდების და გზის საფარის მრავალჯერადი ცვეთა, აუცილებელია მთელი რიგი ღონისძიებების გატარება.

აღნიშნული რეალობა ქმნის აუცილებლობას სისტემურ-მიზნობრივი ლოჯისტიკური საფუძვლების ბაზაზე, დიდ ქალაქებში განხორციელდეს ეკოლოგიურად ორიენტირებული ტექნოლოგიების საავტომობილო გადაზიდვების მართვის პროცესებში შერწყმა. ასეთ შემთხვევაში ლოჯისტიკური მიდგომის მეთოდოლოგიის საფუძველს წარმოადგენს ურთიერთკავშირი ტრანსპორტის მუშაობასა და ამ პერიოდში წარმოქმნილი სხვადასხვა სახის პროდუქტების რაოდენობას შორის, რაც იძლევა აღნიშნული პროცესების ერთობლივი ოპტიმიზაციის შესაძლებლობას. ტრანსპორტის მუშაობასა ( $P_3$ ) და დამბინძურებლების მასას ( $M_3$ ) შორის დამაკავშირებელი მოდელი წარმოადგენს გადაზიდვების ალტერნატიული რეალიზაციის ნორმატიულ ბაზისს ეკოლოგიის მოთხოვნების გათვალისწინებით. ამასთან ოპტიმიზაციის კრიტერიუმები ეფუძვნება გადაზიდვების პროცესში ტექნიკური და ეკოლოგიური მაჩვენებლების განზოგადებას.

საავტომობილო სატრანსპორტო გადაზიდვების პროცესში შეიძლება გამოვყოთ სამი ერთმანეთისგან განსხვავებული დონე: გადაზიდვების პროცესი რეგიონალურ მეგადონზე; გადაზიდვების პროცესი ლოკალურ მაკროდონზე; გადაზიდვების პროცესი ინდივიდუალურ მიკროდონზე.

თითოეულ დონეზე გადაზიდვის პროცესის ოპტიმიზაციას ვახდენთ შემდეგი კრიტერიუმების მიხედვით:

- საავტომობილო ტრანსპორტით გადაზიდვების მუშაობის მოცულობა გარკვეულ  $n$  პერიოდში არ უნდა აღემატებოდეს მომდევნო  $n+1$  პერიოდში შესრულებული მუშაობის მოცულობას. ე.ი.  $P_{3n+1} > P_{3n}$ ;

- საავტომობილო ნაკადის მიერ გამოყოფილი დამბინძურებელი ნივთიერებების მასა ( $M_{3წ}$ ) ნაკლებია ამ ნივთიერებების ზღვრული დასაშვები კონცენტრაციის მასაზე ( $M_{3დკ}$ ) ე.ი.  $M_{3წ} < M_{3დკ}$ .

თითოეული დონისათვის ოპტიმიზაციის მოდელს აქვს სახე:

დონე 3:

$$\begin{aligned} P_3 &= \sum f(A_{31}, A_{32} \dots A_{3n}; W_{31}, W_{32} \dots W_{3n}) \\ M_3 &= \sum f(A_{31}, A_{32} \dots A_{3n}; m_{31}, m_{32} \dots m_{3n}) \end{aligned} \quad (1.6)$$

სადაც  $A_{3i}$  –  $i$ ური ავტო სატრანსპორტო საშუალებათა პარკია;  $W_{3i}$  და  $m_{3i}$  –  $i$ ური სატრანსპორტო პარკის ერთეული სატრანსპორტო საშუალების შესრულებული მუშაობის მოცულობა და გამოყოფილი დამაბინძურებელი ნივთიერებების მასაა, მოცემულ კალენდარულ პერიოდში.

დონე 2:

$$\begin{aligned} P_2 &= L_{2K} \sum f(q_{21}, q_{22} \dots q_{2n}; A_{21}, A_{22} \dots A_{2n}) \\ M_2 &= L_{2K} \sum f(g_{21}, g_{22} \dots g_{2n}; N_{21}, N_{22} \dots N_{2n}) \end{aligned} \quad (1.7)$$

სადაც  $L_K$  - საგზაო მაგისტრალის  $K$  უბნის სიგრძეა;  $q_{2i}$  და  $g_{2i}$  –  $K$  უბნის ყოველ 1 კმ-ზე სატრანსპორტო ნაკადში  $i$  სატრანსპორტო საშუალების მიერ შესრულებული მუშაობა და გამოყოფილი დამაბინძურებელი ნივთიერების მასაა;  $A_{2i}$  და  $N_{2i}$  –  $i$  სატრანსპორტო საშუალების რიცხვი და მოძრაობის ინტენსივობაა.

დონე 1:

$$\begin{aligned} P_1 &= \sum f(\omega_{11}, \omega_{12} \dots \omega_{1n}; t_{p11}, t_{p12} \dots t_{p1n}) \\ M_1 &= \sum f(L_{1K} \cdot q_{1L} + g_{1t} (t_{p11}, t_{p12} \dots t_{p1n}) \end{aligned} \quad (1.8)$$

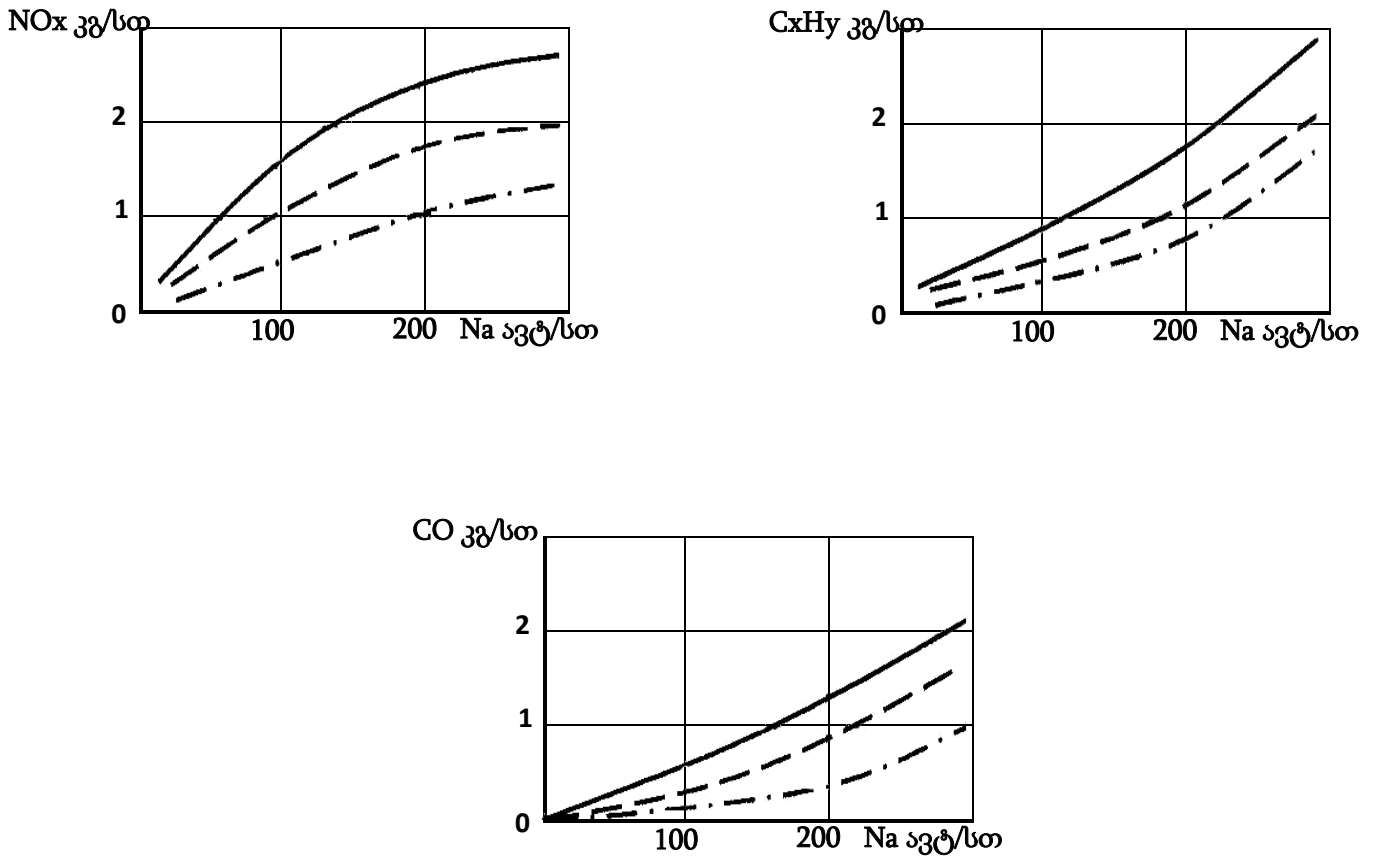
სადაც  $\omega_{1i}$  და  $t_{pi}$  –  $i$  სატრანსპორტო საშუალების  $i$  მძღოლის მიერ მართვის პირობებში საათური მწარმოებლობა და მუშაობის დროა;  $q_{1L}$  და  $g_{1t}$  –  $i$  სატრანსპორტო საშუალების  $i$  მძღოლის მიერ მართვის პირობებში გარბენისას და გაჩერებისას გამოყოფილი დამაბინძურებელი ნივთიერებების რაოდენობაა.

განვიხილოთ ცალკეულ დონეებზე საავტომობილო ტრანსპორტით გადაზიდვების მართვის მეთოდოლოგია ეკოლოგიური კრიტერიუმების მიხედვით. კერძოდ მესამე დონეზე ხორციელდება რეგიონალური ავტოპარკის რიცხვისა და შემადგენლობის ოპტიმიზაცია და მოდელირება წარმოებს იმ ავტოპარკებისთვის რომლებშიც ადგილი აქვს  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  კატეგორიის ავტომობილების რიცხვითი თანაფარდობის ცვლილებას. ამ შემთხვევაში ჩვენ მიერ ჩატარებული კვლევების საფუძველზე, საქალაქო მაგისტრალის მონაკვეთებზე გადაზიდვების პროცესის განხორციელებისას, გამოყოფილი დამაბინძურებლების მასის შესამცირებლად მართვის ობიექტებად შეიძლება მივიღოთ სამგზავრო მარშუტი და საკვანძო გზაჯვარედინების ჯგუფები.

პირველ შემთხვევაში გათვალისწინებულია მარშუტის განხორციელებისას  $M_2$  კატეგორიის ავტომობილების შეცვლა უფრო დიდი მგზავრტევალობის  $M_1$

კატეგორიის ავტობუსებით, ეკოლოგიური მაჩვენებლების მინიმიზაციის გათვალისწინებით მეორე შემთხვევაში მიზანშეწონილია ძირითად მაგისტრალზე ავტოსატრანსპორტო საშუალების მოძრაობის ინტენსივობის რეგულირება მიმდებარე საგზაო ქსელებზე  $M_1$  კატეგორიის ავტომობილების პერიოდული გადანაწილებით.

ნახ. 1.2-ში წარმოდგენილია ჩვენს მიერ ჩატარებული კვლევის საფუძველზე ქ. ქუთაისის მაგალითზე სატრანსპორტო ნაკადის მიერ გარემოში გამოყოფილი  $NO_x$ ,  $C_xH_y$ , CO სიდიდეების დამოკიდებულება მოძრაობის ინტენსივობასა და ნაკადის შედგენილობაზე მოძრაობის ზოლის საკვლევ მონაკვეთზე.



ნახ. 1.2. გამონაბოლქვი ნაერთების დამოკიდებულება ნაკადის შემადგენლობასა და მოძრაობის ინტენსივობაზე \_\_\_\_\_ 50/40/10 ; \_\_\_\_\_ 75/20/15; \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . \_\_\_\_ 95/0/5.

შენიშვნა: აღნიშვნა 50/40/10 ნიშნავს ნაკადში 50% მსუბუქი ავტომობილია; 40% სატვირთო და 10% ავტობუსი.

ზემოთმოყვანილი მეთოდით მოძრაობის ინტენსივობაზე დამოკიდებულებით სატრანსპორტო ნაკადის შედგენილობის მიხედვით, საგზაო მაგისტრალის მონაკვეთსა და გზაჯვარედინზე, თეორიულად შესაძლებელია საწვავის ხარჯისა და გამოყოფილი მავნე ნივთიერებების რაოდენობის განსაზღვრა.

პირველი დონის შემთხვევაში გასათვალისწინებელია ინდივიდუალური ეკიპაჟის (მძღოლი-ავტომობილი) მოძრაობის რეჟიმის ოპტიმიზაცია, რადგან საქალაქო ავტომობილების კონკრეტულ უბნებზე გადაადგილებისას ავტომობილის გაჩერების, გაქანების, დამუხრუჭების პროცესების სწორედ წარმართვა ძირითადად დამოკიდებულია მძღოლის კვალიფიკაციაზე. ჩვენს მიერ ჩატარებული კვლევების საფუძველზე (ერთსა და იმავე პირობებში) დავადგინეთ, რომ მძღოლის პროფესიონალური დონის ამაღლება იწვევს ავტომობილის საწვავის ხარჯის 10-20% ეკონომიას, რაც თავისთავად ცხადია ამცირებს გარემოში გამოყოფილი დამაბინძურებელი ნივთიერებების რაოდენობას.

გამომდინარე აქედან საავტომობილო ტრანსპორტის ქალაქის პირობებში მოძრაობისას, ნაკადის გარემოზე ზემოქმედება განისაზღვრება, როგორც მოძრაობის ინტენსივობით და ნაკადის შემადგენლობით, ასევე მოძრაობის რეგულირების ხარისხით და მძღოლის კვალიფიკაციით. დასმული ამოცანის ლოგისტიკური მიდგომებით გადაწყვეტისთვის საჭიროა:

1) საავტომობილო გადაზიდვების პროცესების მართვისთვის სატრანსპორტო ნაკადების ლოგისტიკური დაგეგმვა განხორციელდეს ეკოლოგიური უსაფრთხოების კრიტერიუმების გათვალისწინებით;

2) ნაკადში სატრანსპორტო საშუალებების ტიპის შერჩევა და ეკონომიკური ეფექტიანობის შეფასება ჩატარდეს ეკოლოგიური უსაფრთხოების მაჩვენებლების გათვალისწინებით.

### 1.2.2. ალტერნატიული საწვავების გამოყენება საავტომობილო ტრანსპორტზე გარემოს ეკოლოგიური მაჩვენებლების გაუმჯობესების მიზნით

ენერჯის სხვადასხვა წყაროს ძიება და გამოყენება უხსოვარი დროიდან მოყოლებული კაცობრიობის ფიქრისა და განსჯის საგანს წარმოადგენს. მაგალითად პირველყოფილი ადამიანისთვის ენერჯის ძირითადი წყარო შუშით ცეცხლის დანთება იყო. დაახლოებით 300 წლის წინ ადამიანებმა დაიწყეს ქვანახშირის, ხოლო 100 წლის წინ ნავთობის ფართო გამოყენება. დღეისათვის კი ქვანახშირისა და ნავთობის გამოყენებიდან კაცობრიობა განახლებადი ენერჯის წყაროების: მზის, ქარის, წყლის, გეოთერმული და ბიომასის ენერჯის გამოყენებაზეა გადასული და ფიქრობს უფრო ეფექტური ტექნოლოგიების კვლევა-განვითარებაზე.

წიაღისეული რესურსების - ნავთობის, გაზის, ქვანახშირის ჩანაცვლება სხვა საშუალებებით ძირითადად განპირობებულია მათი ბუნებრივი მარაგების ამოწურვით. გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის მონაცემებით 21-ე საუკუნის ბოლოს კაცობრიობის რიცხვი გაორმაგდება, რაც თავისთავად ენერჯიაზე მოთხოვნის ზრდას გამოიწვევს და გაზრდილი მოთხოვნის დაკმაყოფილების წყარო განახლებადი ენერჯია უნდა გახდეს. გარდა ამისა წიაღისეული რესურსების წვა აჩქარებს გლობალური დათბობის პროცესს, რადგან საწვავის წვის დროს გამოიყოფა მავნე ნივთიერებები და სხვადასხვა გაზები რომლებიც „სათბურის ეფექტს“ ქმნიან. მზე ათბობს დედამიწის ზედაპირს და ატმოსფეროს და სითბოს 70% უკან კოსმოსში ბრუნდება. წიაღისეული საწვავის წვისას კი გამოყოფილი სათბურის აირები (ნახშირორჟანგი, მეთანი და სხვ.) გარს ეკვრის ატმოსფეროს და ხელს უშლის სითბური ენერჯის კოსმოსში დაბრუნებას ე.ი. ინახავს სითბოს ანუ ქმნის „სათბურის ეფექტს“ რის შედეგადაც დედამიწის საშუალო ტემპერატურა იზრდება.

როგორც წესი საავტომობილო ტრანსპორტი ნავთობპროდუქტების ძირითადი მომხმარებელია, რომლის ენერგეტიკული დანადგარი შიგაწვის ძრავი წარმოადგენს სითბური მანქანის ისეთ სახეს, რომელშიც სათბობის ქიმიური წვის შედეგად მიღებული თბური ენერჯია გარდაიქმნება მექანიკურ მუშაობად. ამასთან მუშაობისას ყოველ ციკლში იცვლება მუშა სხეულის მდგომარეობა და რაოდენობა, რაც მიუთითებს ძრავსა და გარემოს შორის სითბოსა და მასის ცვლის პროცესებზე. კერძოდ, ცილინდრში სათბობის წვის ქიმიურ რეაქციაში მონაწილეობს



ატმოსფერული ჟანგბადი და ციკლის ბოლოს იგივე ატმოსფეროში გამოიყოფა მაღალი ტემპერატურის მქონე წვის პროდუქტები, რომლებიც გარკვეული რაოდენობით ქიმიურად დამბინძურებელ ნივთიერებებს შეიცავს.

ზოგადად, წვის პროდუქტებში გამოყოფილი ნაერთები, რომელთა რაოდენობა 200-ზე მეტი დასახელებისაა, შეიძლება პირობითად დავყოთ სამ ჯგუფად: ა) ეკოლოგიურად ნეიტრალური, რომლებიც არ არღვევს ატმოსფეროს ფიზიკურ მდგომარეობას; ბ) ეკოლოგიურად აქტიური, მაგრამ არა მომწამლავი, რომლებიც გავლენას ახდენენ ატმოსფეროს ფიზიკურ მდგომარეობაზე; გ) ტოქსიკური ანუ მომწამლავი, რომლებიც უარყოფითად მოქმედებენ ადამიანის ორგანიზმზე, მცენარეთა და ცხოველთა სამყაროზე.

წვის პროდუქტებში ეკოლოგიურად ნეიტრალურს წარმოადგენს აზოტი, რომლის რაოდენობა ციკლის ბოლოს არ იცვლება და იგივე რაოდენობით ბრუნდება ატმოსფეროში. გარდა ამისა ეკოლოგიურად ნეიტრალურია წყალბადისა და ჟანგბადის ის მცირე რაოდენობა, რომელიც გარკვეული მიზეზების გამო ვერ შევიდა წვის რეაქციაში.

ნივთიერებები რომლებიც მოქმედებენ ატმოსფეროს ფიზიკურ მდგომარეობაზე, წვის პროდუქტებში გვხვდებიან სამატომიანი და უფრო რთული ნაერთების სახით. მათ მიეკუთვნება ისეთი აირები ( $\text{CO}_2$  და წყლის ორთქლი), რომლებიც ახდენენ მზის თბური გამოსხივების შთანთქმას. ამ ნაერთების დიდი რაოდენობით დაგროვება გავლენას ახდენს ატმოსფეროს მდგომარეობაზე და დედამიწის კლიმატურ პირობებზე. ტოქსიკური ანუ მომწამლავი ნაერთებიდან განსაკუთრებით აღსანიშნავია: ნახშირბადის მონოოქსიდი ( $\text{CO}$ ), სხვადასხვა სახის ნახშირწყალბადები ( $\text{C}_x\text{H}_y$ ), აზოტის და გოგირდის ოქსიდები, ტყვიის ნაერთები, მყარი ნაწილაკები ჭვარტლის სახით, მძიმე ლითონები და სხვ.

საერთო ანალიზის საფუძველზე ცნობილია რომ მსოფლიოს დედაქალაქებში საერთო ტოქსიკური ნაერთების ჯამური რაოდენობის 40-60% მოდის საავტომობილო შიგაწვის ძრავების ნამწვავ აირებზე. ამასთან საავტომობილო პარკის მუდმივი ზრდის გამო ეს მაჩვენებელი თანდათან იზრდება, რის გამოც პლანეტაზე ირღვევა ეკოლოგიური წონასწორობა, რაც გლობალურ პრობლემას წარმოადგენს. აღნიშნულიდან გამომდინარე ტოქსიკური ნაერთების ზრდის ტემპების შემცირების

მიზნით მიღებულია მთელი რიგი საკანონმდებლო ზომები. მაგალითად 2000-2005 წლებში EURO სტანდარტის მოთხოვნა ითვალისწინებდა ტოქსიკური ნაერთების CO, NO<sub>x</sub>, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>-ის პრაქტიკულად 2-ჯერ შემცირებას [2, 3, 36, 38, 40, 53].

უმკაცრესი მოთხოვნებია წვის პროდუქტებში CO<sub>2</sub>-ის შემცველობაზე. 1999 წელს ევროგაერთიანების ქვეყნებში წვის პროდუქტებში CO<sub>2</sub>-ის ემისია შეადგენდა 182 გრ/კგ-ზე; 2003 წლიდან 2012 წლამდე შემოდებული მოთხოვნა ითვალისწინებდა CO<sub>2</sub>-ის შემცირებას 140 გრ/კგ, ხოლო მიმდინარე ეტაპზე ეს მაჩვენებელი EURO 6 სტანდარტის შესაბამისად ახალი მსუბუქი ავტომობილისთვის შეადგენს 130 გრ/კგ.

სატრანსპორტო საშუალებების კერძოდ, საავტომობილო ტრანსპორტის ეკონომიკური და ეკოლოგიური მაჩვენებლების გაუმჯობესების ყველაზე რეალური გზაა ალტერნატიული საწვავის გამოყენების გზების ძიება. მეცნიერები თვლიან რომ მომავალში ენერგეტიკული და ეკოლოგიური კრიზისიდან ერთ-ერთი გამოსავალი საწვავის ისეთი ალტერნატიული წყაროების გამოყენებაა, რომლებიც არ წარმოადგენენ ნავთობის გადამუშავებით მიღებულ სათბობს.

საწყისი ნედლეულის მიხედვით ალტერნატიული საწვავები სხვადასხვა სახისაა. კერძოდ ბუნებრივი აირის დაჟანგვის შედეგად (კატალიზატორთან ერთად) მიიღება სინთეზგაზი; ქვანახშირის და საწვავი ფიქლების გადამუშავებით მიიღება სინთეტიკური საწვავი; ბიომასის ფერმენტაციის შედეგად - ბიოლოგიური კატალიზატორების მოქმედებით მიიღება ეთილის და მეთილის სპირტები; მცენარეული ზეთების მეორადი გადამუშავებით მიიღება ბიოდიზელი; წყლისგან ელექტროლიზის მეთოდით მიიღება წყალბადი და სხვ.

ცხრილი 1.4.

წვის პროდუქტებში მომწამლავი ნივთიერებების რაოდენობა სხვადასხვა სახის საწვავისთვის გრ/კგ.

სათბობის სახე	CO	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>
ბენზინი	10,3	2,17	2,25	2,1
ნავთობის გათხევადებული აირი	4,7	1,19	2,15	2,0
შეკუმშული ბუნებრივი აირი	2,1	1,11	2,1	1,9
ბენზინი+წყალბადი	0,74	0,69	1,11	0,42
წყალბადი	0	0	0,62	0
მეთანოლი	0,92	1,14	1,09	0,35
სინთეზაირი	0	0,1	0,57	0,19

ცხრილი 1.4-ში მოცემულია მსუბუქი ავტომობილის მიერ ატმოსფეროში გამოყოფილი ტოქსიკური ნაერთების შედარებითი დახასიათება, სხვადასხვა საწვავზე მუშაობისას თანაბარ პირობებში ექსპლუატაციის შემთხვევაში გრ/კგ-ში [2, 36, 38].

აიროვანი საწვავის (შეკუმშული ბუნებრივი აირი და ნავთობის თხევადი აირი) გამოყენებას გააჩნია შემდეგი ძირითადი უპირატესობები:

- მაღალი დეტონაციური მდგომარეობა (ოქტანური რიცხვი მეტია 100-ზე) საშუალებას იძლევა გავზარდოთ კუმშვის ხარისხი, შესაბამისად იზრდება სიმძლავრე და სათბობის ეკონომია;
- უმჯობესდება ცილინდრებში საწვავის ნარევის განაწილების თანაბრობა და ძრავის მუშაობა;
- მცირდება წვის პროდუქტების ტოქსიკურობა, რაც მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს გარემოს მდგომარეობას ეკოლოგიური თვალსაზრისით;
- შესაძლებელია ხარისხობრივი რეგულირების პრინციპის გამოყენება, რაც საშუალებას იძლევა გავაუმჯობესოთ სათბობის ეკონომიურობა;
- წვის პროცესის დინამიკური მაჩვენებლების გაუმჯობესების გამო გაზობრივ საწვავზე მომუშავე ძრავებში (ბენზინთან შედარებით) ხმაურის დონე მცირდება 8-9 დბ-ით;
- მაღალი ანტიდეტონაციური მდგრადობა იძლევა მაღალი კუმშვის ხარისხზე გაზოდიზელის ეფექტური და უპრობლემო მუშაობის საშუალებას. აღსანიშნავია რომ ამ შემთხვევაში 2-3 ჯერ მცირდება ნამწვი აირების ბოლვადობა (რაც დამახასიათებელია დიზელებისთვის) და თითქმის არ წარმოიქმნება ჭვარტლის ნაწილაკები;
- შესაძლებელია დიზელის კონვერტაცია უშუალოდ ბუნებრივ შეკუმშულ აირზე. ეკოლოგიის თვალსაზრისით ასეთი ძრავი უფრო ეფექტურია ვიდრე საბაზო დიზელი და გაზოდიზელის ვარიანტი. ამ ტიპის ძრავებში საერთოდ არ წარმოიქმნება მყარი ნაწილაკები ჭვარტლის სახით და ნულამდე მცირდება კვამლიანობა. ექსპერიმენტულად დადგენილია ტოქსიკური ნაერთების შემცირება (გრ/კგ) შემდეგი მაჩვენებლებით: ნახშირორჟანგი მცირდება 2 ჯერ, ნახშირწყალბადი 2,2-ჯერ, აზოტის ჟანგეულები 1,5-1,7-ჯერ [3, 47, 49].

- მცირდება დგუმ-ცილინდრის ჯგუფის დეტალების ცვეთის ხარისხი და იზრდება ზეთის სამსახურის ვადა, რადგან საწვავის ნარევი არ ჩამორეცხავს ცილინდრის სარკიდან ზეთის ფენას.

თანამედროვე ეტაპზე დღითიდღე ფართო ყურადღება ეთმობა ბიოდიზელის პრაქტიკაში დანერგვას. ბიოდიზელი წარმოადგენს საწვავს, რომელიც მიიღება მცენარეული ზეთების მეორადი გადამუშავებით. კერძოდ ბიოდიზელისთვის საჭირო ნედლეულია მზესუმზირის, სოიოს, სიმინდის, ბამბის და სხვა მცენარეული ზეთების საყოფაცხოვრებო პირობებისთვის გამოყენების შემდეგ, ნარჩენების მეორადი გადამუშავება. დიზელის საწვავთან შედარებით ბიოდიზელი ხასიათდება გაცილებით უკეთესი ეკოლოგიური მაჩვენებლებით, რადგან წვის პროდუქტები თითქმის არ შეიცავს გოგირდის ნაერთებს და ჭვარტლის ნაწილაკებს. ასევე გაცილებით ნაკლები რაოდენობით გამოიყოფა ისეთი ტოქსიკური ნაერთები, როგორცაა ნახშირჟანგი, აზოტის ჟანგეულები, ნახშირწყალბადები. ბიოდიზელის წვისას ატმოსფეროში გამოიყოფა მნიშვნელოვნად მცირე რაოდენობის ნახშირორჟანგი ვიდრე დიზელის შემთხვევაში, რაც მნიშვნელოვანი პარამეტრია გლობალური დათბობის თვალსაზრისით. გარდა ამისა ბიოდიზელი ხასიათდება კარგი შემზეთი თვისებებით, თუმცა მისი ექსპლუატაციისას წარმოიქმნება ტექნიკური პრობლემები. კერძოდ, იგი იწვევს მფრქვევანას, დგუმისა და დგუმის რგოლებზე კოქსის ფენის წარმოქმნას, რაც აუარესებს ძრავის მუშაობას.

მაღალი ოქტანური რიცხვის გამო მიზანშეწონილია სპირტების გამოყენება იძულებითი ანთებით მომუშავე ძრავებში. რაც შეეხება ოქტანურ რიცხვს მეთილის და ეთილის სპირტებისათვის, მათი მნიშვნელობა 4-ჯერ ნაკლებია დიზელის საწვავის ოქტანურ რიცხვზე, რის გამოც მათი დიზელებში გამოყენება გამორიცხულია. სამაგიეროდ დიზელებში ფართოდ გამოიყენება დიმეთილის ეთერი, რაც განპირობებულია მისი შემდეგი უპირატესობით: 1) ჟანგბადის მაღალი შემცველობა (მასის დაახლოებით 35%) და კავშირის C - C არსებობა იწვევს აღნიშნული საწვავის უკვამლო წვას; 2) დიზელის საწვავთან შედარებით თვითაალების და დუდილის დაბალი ტემპერატურა და ოქტანური რიცხვი უზრუნველყოფს ნარევიწარმოქმნის უფრო ხელსაყრელ პირობებს დიზელებთან შედარებით, რაც ამცირებს ხმაურს და NO<sub>x</sub> გამოყოფას, თუმცა დიზელის საწვავთან

შედარებით დიმეტილის ეთერი ხასიათდება შედარებით დაბალი თბოუნარიანობით, რის გამოც სითბოს იგივე რაოდენობის მისაღებად იგი 1,6 ჯერ მეტი მიეწოდება ცილინდრში ვიდრე დიზელის საწვავი. ამასთან იგი ხასიათდება ცუდი შეხეთვის უნარით და ქიმიური აქტივობით ზოგიერთი შემამჭიდროველებელი მასალის მიმართ.

ბიომასა წარმოადგენს საწვავის მიღების ერთ-ერთ განახლებად წყაროს. მსოფლიოში ყოველწლიურად წარმოიქმნება 170-200 მილიარდი ტონა ბიომასა, რომელიც ენერგეტიკულად 70-80 მილიარდი ტონა ნავთობის ექვივალენტურია. ბიომასის გაზიფიკაციის შედეგად შეიძლება მივიღოთ სინთეზ-გაზი, სპირტი და მცენარეული ზეთი. ამ უკანასკნელის დიზელებში გამოყენება დაუშვებელია რაფინირების ან დიზელის საწვავთან შერევის გარეშე, ან კიდევ აუცილებელია საწვავმიმწოდებელი სისტემის სტრუქტურის შეცვლა.

ბიომასის ფერმენტაციის შედეგად ბიოლოგიური კატალიზატორების მოქმედებით მიიღება ეთილისა და მეთილის სპირტები, რომლებიც აქტიურად გამოიყენება ძრავში საწვავის სახით. ბრაზილიაში და მთელ რიგ საავტომობილო ფირმებში (ფორდი, ვოლვო და სხვ.) უკვე დიდი ხანია ხორციელდება სპირტების გამოყენების პროგრამა, რომელიც ითვალისწინებს მეთანოლის სუფთა ან ნარევის სახით (15% ბენზინი და 85% მეთანოლი) მოხმარებას შიგაწვის ძრავზე.

გარემოს დაცვასთან ორგანულადაა დაკავშირებული საწვავ-საზეთი მასალების ხარჯის შემცირება და ხარისხის გაუმჯობესება, რაც განაპირობებს ჰაერში მავნე კომპონენტების ემისიის შემცირებას.

ეკოლოგიური და ეკონომიკური თვალსაზრისით მომავლის ერთ-ერთ პერსპექტიული საავტომობილო საწვავია წყალბადი, რომელიც სამყაროში ყველაზე მეტად გავრცელებული ელემენტია და დედამიწაზე მისი დიდი ნაწილი იმყოფება წყლის სახით. თუმცა წყალბადის როგორც საავტომობილო ტრანსპორტის საწვავს გააჩნია გარკვეული დადებითი და უარყოფითი თვისებები რაც წარმოადგენილია შემდეგ პარაგრაფებში.

გარდა ალტერნატიულ საწვავებზე მომუშავე სატრანსპორტო ენერგეტიკული დანადგარებისა, თანამედროვე ეტაპზე პრაქტიკაში ფართოდ ინერგება ელექტრომობილები და ჰიბრიდული სატრანსპორტო საშუალებები, რომლებიც მაღალი ეკონომიკური და ეკოლოგიური მაჩვენებლებით გამოირჩევიან.

### 1.3. სატრანსპორტო ნაკადების გავლენის შეფასება სამხრეთ კავკასიის რეგიონის ეკოლოგიურ მდგომარეობაზე

თანამედროვე ეტაპზე საგზაო-სატრანსპორტო კომპლექსი წარმოადგენს მნიშვნელოვან ელემენტს ნებისმიერი ქვეყნის ეკონომიკის განვითარებისთვის, რადგან ტრანსპორტის ფუნქციონირებას თან ახლავს ძლიერი ნეგატიური ზეგავლენა ეკოსისტემაზე. ადამიანის საქმიანობის შედეგად იღვევა პლანეტის ბუნებრივი რესურსები, ბინძურდება სიცოცხლისთვის აუცილებელი ბუნებრივი კომპონენტები - ჰაერი, წყალი, ნიადაგი. ადგილი აქვს გარემოს თბურ, აკუსტიკურ, ელექტრომაგნიტურ, ქიმიურ-ფიზიკურ და ქიმიურ-ბიოლოგიურ დაბინძურებას, რაც იწვევს დედამიწაზე ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუარესებას. მრეწველობის ზრდის ტემპები, ნედლეულის თუ მზა პროდუქციის ტრანსპორტირებისა და მგზავრთა გადაყვანის მზარდი მოთხოვნების დაკმაყოფილება წარმოუდგენელია სატრანსპორტო სისტემის განვითარების გარეშე. ე.ი. ტრანსპორტი გავლენას ახდენს როგორც გარემოს ეკოლოგიურ მდგომარეობაზე, ასევე ცხოვრების სოციალურ პირობებზე და სახელმწიფოს ეკონომიკაზე.

ზოგადად ტრანსპორტის გავლენა ბუნებრივ გარემოზე შემდეგია:

- ბუნებრივი რესურსების მოხმარება, რომელშიც იგულისხმება არა მარტო ნავთობის და ნავთობპროდუქტების მოხმარება, რომლის მარაგი ამოწურვადია, არამედ ნიადაგი რომელზედაც განლაგებულია სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურა, გზები, აეროპორტები, რკინიგზა და ა.შ.
- ეკოსისტემის (მიწა, წყალი, ჰაერი) დაბინძურება;
- სატრანსპორტო ხმაურის და ვიბრაციის წარმოქმნა;
- უარყოფითი ბუნებრივი პროცესების გამოწვევა (ეროზია, ზვავი, მეწყერი, ღვარცოფი და ა.შ.);
- ნიადაგის სტრუქტურის შეცვლა და მოსავლიანობის შემცირება;
- ავტო-საგზაო შემთხვევები რომლის დროსაც ადამიანმა სასიკვდილო დაზიანებაც კი შეიძლება მიიღოს;
- გარდა ამისა ტრანსპორტი უარყოფითად მოქმედებს ბიოსფეროს ყველა ორგანიზმზე, რისი დასტურია ის გახშირებული დაავადებები და ავადმყოფობები რაც წინა საუკუნეებში იშვიათად იჩენდა თავს. ასეთებია ფსიქიკური აშლილობა,

ნერვული სტრესები, გულსისხლძარღვთა პრობლემები, ალერგიები, ფილტვის ქრონიკული დაავადებები, სიმსივნე და ა.შ.

კავკასიაში ისევე როგორც მსოფლიოს მრავალ რეგიონში მეტად მწვავედ დგას ეკოლოგიური პრობლემები, რომელთა შორის აღსანიშნავია: ატმოსფეროს, წყლის რესურსებისა და ნიადაგის დაბინძურება; მინერალური რესურსების არარაციონალური გამოყენება; სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო ნარჩენებით გარემოს დანაგვიანება; პლაჟების გარეცხვა-დაშლა; მიწების ეროზია; ტყეების ფართობების შემცირება და სხვ.

მართალია ატმოსფერული ჰაერი გამოუღვევადი ბუნებრივი რესურსია, მაგრამ მისი მუდმივი გაჭუჭყიანება ცოცხალი ბუნებისთვის საზიანო ცვლილებებს იწვევს. ცნობილია რომ გასული საუკუნის 70-80 იან წლებში სამხრეთ კავკასიაში ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების ძირითად წყაროებს მრეწველობა და ტრანსპორტი წარმოადგენდა. ამასთან დაბინძურების ხარისხი განსაკუთრებით მაღალი იყო დიდ ქალაქებსა და სამრეწველო ცენტრებში.

აღსანიშნავია რომ სამხრეთ კავკასიის ქვეყნების დიდ ქალაქებში და განსაკუთრებით დედაქალაქებში ატმოსფერული ჰაერის ძირითადი დამაბინძურებელია სმოგი (ტოქსიკური ნისლი), რომელიც შედგება მტვრის მყარი ნაწილაკებისგან, ჭვარტლის, კვამლისა და ნისლისაგან. იგი იწვევს სასუნთქი ორგანოების დაავადებას და სისხლის მიმოქცევის დარღვევას. სპეციალისტების გაანგარიშებით 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. სამხრეთ კავკასიის რესპუბლიკების დედაქალაქებში თბილისში, ბაქოსა და ერევანში მაღალია სმოგით ჰაერის დაბინძურების მაჩვენებლები, რაც გამოწვეულია ავტომობილებისა და სხვა სახის ტრანსპორტის ინტენსიური ექსპლუატაციით [6, 9]. გარდა ატმოსფერული ჰაერისა მაღალია წყლის ავზების დაბინძურების ხარისხიც რაც დაკავშირებულია სატრანსპორტო თუ სხვა ობიექტების ფუნქციონირებასთან. კერძოდ, მდინარეებისა და წყალსატევების ძირითადი დამბინძურებლებია: ქიმიური და მეტალურგიული მრეწველობა, ნავთობი და

ნავთობპროდუქტები, რადიოაქტიური ელემენტები, სოფლის მეურნეობაში გამოყენებული სასუქები და შხამქიმიკატები, ფეკალური და საყოფაცხოვრებო ჩამდინარე წყლები და სხვ. დაბინძურების გამო წყალს ეცვლება გემო, სუნი, შედგენილობა, მცირდება მასში ჟანგბადი, იწამლება წყლის ორგანიზმები, რაც საბოლოოდ ადამიანის ჯანმრთელობაზე ახდენს უარყოფით გავლენას.

სამხრეთ კავკასიის რეგიონისთვის მნიშვნელოვანია საჰაერო ტრანსპორტის როლი გარემოს დაბინძურების კუთხით, რამეთუ თანამედროვე რეაქტიული თვითმფრინავი აფრენისას გამოყოფს იმდენ შხამიან გამონაბოლქვს, რაც ერთდროულად გამოიყოფა 6850 მსუბუქი ავტომობილის შემთხვევაში [6, 9].

თანამედროვე ეკოლოგიაში კლასიკურად ითვლება ეკოლოგიური ფაქტორების დაყოფა აბიოტურ და ბიოტურ ფაქტორებად. ამათგან აბიოტურს მიეკუთვნება ისეთი კლასიკური ფაქტორები როგორცაა: სინათლე, ტემპერატურა, ატმოსფერული ნალექები და ტენი. კლიმატურ ფაქტორებს შორის მნიშვნელოვანია გლობალური დათბობა, რაც გამოწვეულია ატმოსფეროში სათბურის აირების მატებით.

საქართველოში ავტოტრანსპორტიდან სათბური აირების ემისია 1980-იან წლებში სტაბილურად შეადგენდა ჯამური ემისიის 8-9%-ს [6, 9]. 1990-იანი წლებიდან ინდუსტრიული სექტორიდან ემისიის მკვეთრი შემცირების შედეგად ჯამურ ემისიაში ავტოტრანსპორტის წილმა 70%-ს გადააჭარბა. ეს კი აიხსნება არსებული ავტოპარკის დაბალი ტექნიკურ-ტექნოლოგიური მაჩვენებლებით და სავალი გზების არასასურველი მდგომარეობით. რაც შეეხება საქართველოს ქალაქებს ატმოსფერული ჰაერის ძირითადი დამაბინძურებელი მობილური წყაროა ავტოტრანსპორტი. საჰაერო ავზის ხარისხობრივი მაჩვენებლების გაუარესება გამოწვეულია ავტოსატრანსპორტო საშალებების რიცხვის მკვეთრი ზრდით, მაგისტრალების გადატვირთვით, სატრანსპორტო ქსელის მოუწესრიგებლობით, სატრანსპორტო ნაკადების არარაციონალური განაწილებით, ავტოპარკის ტექნიკური გაუმართაობით, ტოქსიკური კომპონენტების დიდი რაოდენობით შემცველობის მქონე საწვავის გამოყენებით და ა.შ.

ჩატარებული კვლევებით დადგინდა, რომ ქალაქების ატმოსფერულ ჰაერში ტყვიის, აზოტის ოქსიდების, ნახშირჟანგის და მტვრის კონცენტრაციები ბევრად აჭარბებს ზღვრულ დასაშვებ კონცენტრაციის (ზ.დ.კ.) მნიშვნელობას. ჰაერის



დაბინძურება ავტოტრანსპორტის მოძრაობის ინტენსივობის პროპორციულია და მოსახლეობა განიცდის მავნე ნივთიერებათა ზემოქმედებას. სტატისტიკური მონაცემებით ცნობილია, რომ განსაკუთრებით ზრდის ტენდენციებით ხასიათდებიან ქალაქში ისეთი დაავადებები როგორცაა: პნევმანია, ალერგია, ბრონქიალური ასთმა, ონკოლოგიური და გულ-სისხლძარღვთა დაავადებები.

ქალაქ ქუთაისის ტრანსპორტის ინტენსიური მოძრაობის უბნებიდან აღებული ჰაერის სინჯებზე ჩატარებული კვლევის შედეგები [4] მოცემულია ცხრილში 1.5.

ცხრილი 1.5.

ქ.ქუთაისის ატმოსფერულ ჰაერში მავნე ნივთიერებათა კონცენტრაციები მგ/მ<sup>3</sup>

№	ნიმუშის აღების ადგილი	ბენზოლი	ტყვია	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	მტვერი
1	ჭავჭავაძის გამზირი	0,0537	0,0004	0,086	0,089	0,06	7	1,5
2	თამარ მეფის ქუჩა	0,0356	0,00025	0,037	0,025	0,06	4	0,6
3	ახალგაზრდობის გამზირი	0,0385	0,00032	0,03	0,016	0,04	8	0,3
	ზღვრული დასაშვები კონცენტრაცია (ზ.დ.კ.)	1,5	0,0003	0,12	0,04	0,105	5	0,5

როგორც ცხრილის მონაცემებიდან ჩანს აზოტის დიოქსიდის კონცენტრაცია ჭავჭავაძის გამზირზე აჭარბებს ზ.დ.კ.-ს. ოზონის მაღალი კონცენტრაციები განპირობებულია ატმოსფერულ ჰაერში აზოტის ოქსიდებისა და ნახშირწყალბადების მაღალი შემცველობით. ნახშირჟანგის კონცენტრაცია აჭარბებს ზ.დ.კ.-ს ჭავჭავაძის გამზირზე და თამარ მეფის ქუჩაზე. მტვერის კონცენტრაცია მაღალია ზ.დ.კ.-ზე, ხოლო ბენზოლისა და ტოლუოლის კონცენტრაციები არ აჭარბებენ ნორმას, თუმცა მათი მაღალი კონცენტრაციები განპირობებულია თხევად საწვავში არენების არანორმირებული შემცველობით, ავტოგასამართი პუნქტების სიმრავლით და საწვავის ჩასხმის არასტანდარტული მეთოდებით.

საგულისხმოა ასევე საქართველოს ძირითად საავტომობილო მაგისტრალების მიმდებარე ტერიტორიაზე სავარგულების ეკოლოგიური გამოკვლევების შედეგები.

ამ კუთხით განვიხილოთ მცხეთის რაიონის ძირითადი ავტომაგისტრალების მიმდებარე ტერიტორიის ნიადაგ-მცენარეული საფარის ფიზიკო-ქიმიური მდგომარეობა. საქართველოს ამ რეგიონში ანთროპოგენური ფაქტორების უარყოფითი ზემოქმედება განისაზღვრება რეგიონის სატრანსპორტო არტერიით, მისი ცენტრალური და შიდა გზებზე ავტოტრანსპორტის ინტენსივობით. ავტომობილების მოძრაობის ინტენსიურმა ზრდამ მთელი რიგი მავნე ნივთიერებების აკუმულირება მოახდინა ბიოსფეროში, რის შედეგადაც ატმოსფეროში, ნიადაგსა და წყალში არსებული მიკროელემენტების (ტყვია, კადმიუმი, თუთია და სხვ.) საერთო შემცველობა ათეული და ასეული ტონობით განისაზღვრება. თუ იმასაც გავითვალისწინებთ რომ ცენტრალური ავტომაგისტრალები უშუალოდ კვეთს სახნავ-სათეს ფართობებს მოსალოდნელია, რომ ეკოლოგიურად სუფთა სასოფლო-სამეურნეო პროდუქციის მიღება შეუძლებელი იქნება რადიკალური ეკოლოგიური ღონისძიებების გატარების გარეშე.

მეცნიერთა ჯგუფის [1], კვლევის მიზანს წარმოადგენდა მცხეთის რაიონის ძირითადი ავტომაგისტრალების მიმდებარე ტერიტორიების აგროეკოლოგიური მდგომარეობის შესწავლა, რომლის გადასაჭრელად კვლევითი სამუშაოები ჩატარდა შემდეგ საკითხებზე:

- მცხეთის რაიონის ნიადაგურ-კლიმატური პირობების დახასიათება;
- ავტომაგისტრალზე ტრანსპორტის მოძრაობის ინტენსიურობის აღრიცხვა სატრანსპორტო საშუალებების სახეობებისა და დროის მონაკვეთის მიხედვით;
- ტექნიკური ნივთიერებების რაოდენობრივი გაანგარიშება ავტოტრანსპორტის სახეობების მიხედვით;
- ავტომაგისტრალების მიმდებარე ტერიტორიაზე არსებული სასოფლო სამეურნეო კულტურების სტრუქტურა და მათი ხვედრითი წილი მემცენარეობაში;
- ავტოტრანსპორტის გამონაბოლქვით გამოწვეული მორფოლოგიური მაჩვენებლების ცვალებადობა კურკოვანი ხილის ნაყოფებში;
- მძიმე ლითონების განაწილება ავტომაგისტრალების მიმდებარე ტერიტორიებზე ფართობების მონაკვეთების მიხედვით;
- მძიმე ლითონების დაგროვების დინამიკა სოფლის მეურნეობის პროდუქტებში.

ავტოტრანსპორტის მოძრაობის დინამიკის დადგენის მიზნით როგორც ცენტრალურ, ასევე შიდა გზებზე აღრიცხვა ტარდება წლების მიხედვით, სეზონის სხვადასხვა დროს (გაზაფხული, ზაფხული, შემოდგომა) დილის და საღამოს საათებში 1 საათის განმავლობაში. სასოფლო სამეურნეო პროდუქტებში მძიმე ლითონის რაოდენობის დადგენა ჩატარდა ატომურ-აბსორბციული მეთოდით, ხოლო ნიადაგში მძიმე ლითონის შემცველობა განისაზღვრა „VRA-30“ ტიპის ანალიზატორით [1]. მიღებული ციფრობრივი მასალები დამუშავდა სტატისტიკური და რეგრესიული ანალიზის მეთოდების საშუალებით. კვლევის შედეგად დადგინდა:

1. სავალი ნაწილის ორივე მხარეს, გზიდან 30 მეტრის მანძილზე ტყვის შემცველობა მკვეთრად მატულობს, ხოლო გზიდან 150 მეტრ მანძილზე მინიმალურია და დასაშვები ნორმის ფარგლებშია;

2. ნიადაგში ნიკელის შემცველობა დასაშვებ ნორმაზე მეტია, ხოლო დანარჩენი მძიმე ლითონები (Cu; Zn; Co) შემცველობა დასაშვები ნორმის ფარგლებშია;

3. სასოფლო-სამეურნეო კულტურები მკვეთრად ურთიერთგანსხვავებულ დამოკიდებულებას ამჟღავნებენ მძიმე და ტოქსიკური ელემენტების შემცველობის მიხედვით. კერძოდ ტყვის შემცველობა დიდი რაოდენობით აღინიშნება სიმინდის ჩალაში ვიდრე მარცვალში;

4. მძიმე ლითონთა ნაერთებს ყველაზე ინტენსიურად აგროვებს მწვანე კულტურები: სალათა, მჟაუნა, ისპანახი, სუფრის ჭარხალი და სხვ. ავტოტრანსპორტის გამონაბოლქვის ზონაში ხილის ნაყოფი ნაკლებ შაქარს და ვიტამინს შეიცავს. საკვებ ბალახში დაბალია პროტეინის (საკვები ცილის) შემცველობა.

5. გზისპირებზე ავტოტრანსპორტის გამონაბოლქვის შედეგად დარღვეულია მცენარეების ნორმალური ზრდა-განვითარება და პროდუქციის ხარისხობრივი მაჩვენებლები;

6. ავტომაგისტრალების აგროლანდშაფტები საკმაოდაა დაბინძურებული რადიონუკლიდებით, რომელთა შორის აღსანიშნავია ტყვია, რომელიც თავის რაოდენობრივ მაქსიმუმს გზიდან 90 მეტრში აღწევს.

თუ ანალოგიურ კვლევებს ჩავატარებთ საქართველოს სხვა ძირითად საავტომობილო მაგისტრალებზე, რა თქმა უნდა შედეგი ანალოგიური იქნება. ეს კი

მიუთითებს იმაზე რომ საჭიროა განსაკუთრებული ყურადღება მიექცეს ავტოტრანსპორტით დაბინძურების შედეგად გამოწვეული უარყოფითი ეკოლოგიური მდგომარეობის გამოსწორებას. რადგან ჩვენი ქვეყანა წარმოადგენს სატრანზიტო დანიშნულების რეგიონს და ეკოლოგიურად უსაფრთხო სასოფლო-სამეურნეო პროდუქციის მიღება შეუძლებელი იქნება რადიკალური ეკოლოგიური ღონისძიებების გატარების გარეშე.

#### **1.4. სატრანსპორტო ენერგეტიკული დანადგარებში ალტერნატიულ საწვავად წყალბადის გამოყენების შესახებ**

ტრანსპორტი არის მატერიალური წარმოების დარგი და სათბობ ენერგეტიკული რესურსების, ძირითადად ნავთობ პროდუქტების მთავარი მომხმარებელი. ენერგეტიკის განვითარებისა და სატრანსპორტო საშუალების რიცხვის ყოველდღიური ზრდა მნიშვნელოვნად განაპირობებს ტრადიციულ საწვავზე მოთხოვნილების ზრდას, რომლის მსოფლიო მარაგი უახლოეს მომავალში ამოწურვადია. მომავალში ენერგეტიკული და ეკოლოგიური კრიზისიდან ერთ-ერთი გამოსავალი ალტერნატიული წყაროების გამოყენებაა, რომელიც არ წარმოადგენს ნავთობის გადამუშავებით მიღებულ სათბობს.

თანამედროვე ეტაპზე შიგაწვის ძრავის რეალურ კონკურენტს წარმოადგენს ელექტრო ძრავი და ელექტრომობილების პრაქტიკაში ფართო მასშტაბით დანერგვა. თუმცა მეცნიერულად დადგენილია, რომ უახლოეს მომავალში საავტომობილო ტრანსპორტის ძირითად ენერგეტიკულ დანადგარად კვლავ რჩება შიგაწვის ძრავი, რაც აქტუალურს ხდის ახალი, უფრო ეფექტური სახის სათბობის წყაროს მოძიების აუცილებლობას.

ალტერნატიული ენერჯის წყაროებს შორის განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება წყალბადის ენერგეტიკას, რადგან ეკოლოგიური და ეკონომიკური თვალსაზრისით მომავლის ერთ-ერთ პერსპექტიულ სატრანსპორტო საწვავს წარმოადგენს წყალბადი, რომელიც სამყაროში ყველაზე მეტად გავრცელებული ელემენტია და დედამიწაზე მისი უმეტესი ნაწილი იმყოფება წყლის სახით.

წყალბადზე მომუშავე ენერგეტიკული დანადგარის შექმნის იდეა ჯერ კიდევ 1806 წელს წამოაყენა ფრანსუა ისააკ დე რივაზმა, რომელმაც წყლის ელექტროლიზით მიიღო წყალბადი. ამის შემდეგ, წყალბადის ძრავის შექმნის იდეა, 1820 წელს ვ. სესილის მიერ მოხსენებული იქნა კემბრიჯის ფილოსოფოსთა საზოგადოების სხდომაზე სახელწოდებით „აიროვანი წყალბადის გამოყენება მანქანებში მამოძრავებელი ძალის მიღების მიზნით“. რამდენიმე ათეული წლის შემდეგ (1841 წ) გაცემული იქნა პირველი პატენტი წყალბადზე მომუშავე ძრავის შესახებ, ხოლო 1852 წელს გერმანიაში შეიქმნა პირველი აგრეგატი რომელიც შესანიშნავად მუშაობდა წყალბადსა და ჰაერის ნარევაზე. თუმცა ამ მიმართულებით მუშაობა ფაქტიურად არ გაგრძელებულა.

მეორე მსოფლიო ომის დროს ნავთობპროდუქტების კრიზისის გამო უკრაინელი მექანიკოსის ბ.ი. შელიცის მიერ, რუსეთში საფუძველი ჩაეყარა წყალბადის და ჰაერის ნარევის სათბობად გამოყენებას საავტომობილო შიგაწვის ძრავებში და უმოკლეს ვადებში გამოშვებული იქნა 1500-ზე მეტი ამ ტიპის ენერგეტიკული დანადგარი, თუმცა ომის დამთავრების შემდეგ როგორც რუსეთში, ასევე მსოფლიოს სხვა ქვეყნებშიც შეწყდა წყალბადის საწვავზე მომუშავე შიგაწვის ძრავების შემდგომი განვითარება.

XX საუკუნის 70-იან წლებში, როცა მსოფლიო მოიცვა ენერგეტიკულმა კრიზისმა, კომპანია BMW-ემ 1979 წელს შექმნა ავტომობილი, რომელიც მუშაობდა მხოლოდ წყალბადისა და ჰაერის ნარევაზე სტაბილურ რეჟიმში - ფეთქებადი ხასიათის წვის პროცესისა და წვის პროდუქტებში წყლის ორთქლის გამოყოფის გარეშე. პარალელურად სხვა ქვეყნების ავტომწარმოებლებმაც დაიწყეს წყალბადზე კონვერტირებული ავტომობილების გამოშვება, თუმცა ნავთობპროდუქტების კრიზისის გამოსწორებასთან ერთად შეწყდა ამ ტიპის ენერგეტიკულ დანადგარებზე მუშაობა.

მიმდინარე ეტაპზე მსოფლიო დგას სერიოზული ეკოლოგიური და ენერგეტიკული (სწრაფად მცირდება ნავთობპროდუქტების მარაგი და იზრდება ფასები) კრიზისის საფრთხის წინაშე. ამიტომ ყოველდღიურად იზრდება ინტერესი ალტერნატიული ენერჯის წყაროზე მომუშავე სატრანსპორტო ენერგეტიკული დანადგარების გამოყენების მიმართ.

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 საშუალებაზედაც მოხდეს.

გამომდინარე აქედან სხვა ალტერნატიულ წყაროებთან ერთად აქტიურად განიხილება სატრანსპორტო შიგაწვის ძრავებში წყალბადის გამოყენების პერსპექტივები, რადგან წყალბადის ენერგეტიკა ფაქტიურად ნიშნავს ქვეყნის ენერგოდამოუკიდებლობას. აღსანიშნავია რომ დღეისათვის მსოფლიოში ყოველდღიურად 4 მლნ. ბარელი ნავთობის დეფიციტია, რაც იწვევს მასზე განუწყვეტლივ ფასების ზრდას. აღსანიშნავია რომ აშშ-ში 2025 წლისათვის მოსალოდნელია ყოველდღიურად 20 მლნ. ბარელი ნავთობის დეფიციტი [2, 23, 36, 38, 45], რაც თავისთავად ცხადია ფასების კოლოსალურ ზრდას გამოიწვევს. ანალოგიური სიტუაციაა ევროპასა და იაპონიაში. გამომდინარე აქედან აღნიშნული ქვეყნები უპირატესობას ანიჭებენ წყალბადის ენერგეტიკას, რომლის მსოფლიო მარაგი ამოუწურავია და ეკოლოგიურად უსაფრთხოა.

დღეისათვის წყალბადზე მომუშავე შიგაწვის ძრავების კვლევისა და დაყვანის სამუშაოები მიმდინარეობს ისეთ მსხვილ საავტომობილო კომპანიებში როგორცაა GM (GENERAL MOTORS), BMW, HONDA, კორპორაცია FORD, MAZDA და სხვ. 2014 წლიდან იაპონიაში დაიწყო წყალბადზე მომუშავე მსუბუქი ავტომობილების მასიური წარმოება ორი მსხვილი კომპანიის „TOYOTA“ და „HONDA“-ს მიერ. აღსანიშნავია მხოლოდ წყალბადზე მომუშავე მოდელი „TOYOTA MIRAI“ რომლის სვლის მარაგი ერთი ავზი წყალბადით 600 კმ-ია [31, 50, 54].

დღეისათვის წყალბადზე მომუშავე სატრანსპორტო საშუალებების ძირითადი წილი მოდის იძულებითი ანთებით კონვერტირებულ ძრავებზე, რომლებიც მუშაობენ როგორც თხევად ასევე აირადი სახის წყალბადზე, თუმცა მიუნხენის ტექნიკური უნივერსიტეტის, მოსკოვის ნ. ბაუმანის სახელობის ტექნიკური უნივერსიტეტის „MITY“ და „MAN“ -ის ფირმის ბაზაზე მიმდინარეობს აქტიური კვლევითი სამუშაოები აირად წყალბადზე დიზელის კონვერტაციის მიზნით [31, 53].

ამ ეტაპზე ჩატარებულია ნელსვლიანი დიზელების ექსპერიმენტალური კვლევები, რომლებიც საუკეთესო ეკოლოგიური, ეკონომიკური და საექსპლუატაციო მახასიათებლებით ხასიათდებიან. აღსანიშნავია რომ ამ ტიპის ძრავების წვის პროდუქტებში საერთოდ არ არსებობს ისეთი ნაერთები როგორცაა CO, CO<sub>2</sub>, CH და ჭვარტლის მყარი ნაწილაკები, თუმცა ეკოლოგიურ პრობლემას წარმოადგენს აზოტის ოქსიდების მინიმუმამდე შემცირება.

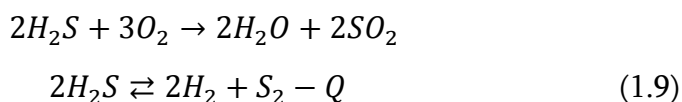
წყალბადი როგორც საავტომობილო საწვავი, მიმდინარე ეტაპზე წარმატებით გამოიყენება როგორც დანამატი ტრადიციულ საწვავზე (ბენზინი, დიზელი, ბუნებრივი აირი). აღნიშნულ შემთხვევაში ძირითად საწვავს ემატება 10% წყალბადი რომლის მიღება ხორციელდება თვითონ ავტომობილზე სპეციალურ მოწყობილობაში, რომლის ძირითადი ელემენტია აირის გენერატორი ანუ ელექტროლიზერი, რომლის მუშაობის საფუძველს წარმოადგენს წყლის ელექტროლიზის პროცესი, რომლის დროსაც მიიღება ბრაუნის აირი HHO.

საკაერო მილსადენიდან ძრავის ცილინდრში აღნიშნული აირის მიწოდება დადებითად მოქმედებს ძრავის მუშაობასა და დინამიკაზე, რადგან მიწოდებული აირი HHO ამდიდრებს ჰაერისა და საწვავის ნარევს, რის შედეგადაც სათბობის წვა მიმდინარეობს სრულყოფილად. გარდა ამისა ძრავის ცილინდრში ბრაუნის აირის (HHO) დამატება იწვევს:

- ძრავის რბილ მუშაობას;
- ტრადიციული საწვავის ხარჯის 25-40% -ით შემცირებას;
- ძრავის სიმძლავრის მომატებას;
- მკვ (მარგი ქმედების კოეფიციენტი) გაზრდას დაახლოებით 2,5%-ით;
- ატმოსფეროში ტოქსიკური ნაერთების CO და CH გამოყოფის თითქმის 1,5-ჯერ, ხოლო აზოტის ოქსიდების 2-ჯერ შემცირებას.

წყლის დისოციაციის შედეგად წყალბადის მიღების მეთოდებს (ქიმიური, თერმოქიმიური, ელექტროლიზი და სხვ.) გარდა წყალბადშემცველ ნედლეულს შორის განსაკუთრებულ ყურადღებას იპყრობს გოგირდწყალბადი (H<sub>2</sub>S), რომელიც ძლიერმოქმედი მომწამლავი და ფეთქებადსაშიში ნივთიერებაა.

ენერგეტიკული თვალსაზრისით 1მ<sup>3</sup> გოგირდწყალბადი 1,49 მ<sup>3</sup> ბუნებრივი აირის ექვივალენტურია და ჭარბი ჟანგბადის არეში იწვის შემდეგი რეაქციით:



პირველი რეაქციის დროს გამოიყოფა დიდი რაოდენობით სითბო, მაგრამ რეაქცია ძალზე სახიფათოა მომწამლავი აირის გოგირდის დიოქსიდის წარმოქმნის გამო. ამიტომ გაცილებით მნიშვნელოვანია  $H_2S$  დაშლა გოგირდად და წყალბადად, რადგან წყალბადის ენერგეტიკა პერსპექტიული, ეკონომიური და ეკოლოგიურია. ცნობილია რომ ყოველი მილიონი ტონა გოგირდწყალბადიდან მიიღება 60 ათასი ტონა წყალბადი, რაც თბოუნარიანობით 250 ათასი ტონა ნავთობის ექვივალენტია [16, 42, 49, 53, 66].

წინამდებარე ნაშრომში განხილულია შავი ზღვის ავზიდან გოგირდწყალბადის ამოტუმბვის და მისგან წყალბადის მიღების ტექნოლოგიური პროცესების გამოკვლევა. ჩატარებულია სატრანსპორტო შიგაწვის ძრავებში წყალბადის საწვავად გამოყენების თეორიული კვლევა და წყალბადზე მომუშავე ტრანსპორტის გარემოზე ზემოქმედების ეკოლოგიური და ეკონომიკური ეფექტიანობის შეფასება.



## თავი 2. შავი ზღვის ფსკერიდან გოგირდწყალბადის მიღების პროცესების გამოკვლევა

### 2.1. შავი ზღვის ეკოლოგიური პრობლემები

შავი ზღვა ატლანტიის ოკეანის აუზის უკიდურესი აღმოსავლეთ პერიფერიის მსოფლიოში უდიდესი შიდა კონტინენტალური ზღვაა. შავი ზღვის წყლის ქიმიური შედგენილობა, უკანასკნელი რამდენიმე ათასი წლის განმავლობაში ქვაბულის ფორმირების პარალელურად ჩამოყალიბდა და მას განსაზღვრავს სანაპირო ზონის ამგები ქანების ბუნება, მდინარეთა ჩამონადენის მოცულობა, ვულკანები და გეოლოგიური ბზარები, ხმელთაშუა ზღვასთან წყლის მიმოცვლის ბალანსი [8].

ზღვის წყლის შემადგენლობის ძირითადი ჰიდროქიმიური მაჩვენებელია მარილიანობა, რომელიც შავი ზღვის ზედაპირულ წყლებში 17-18%-ია ხოლო ფსკერზე 22-22,5%-ს შეადგენს [8, 10, 13, 20, 24, 41, 46].

შავი ზღვის ზედაპირული წყლების ტემპერატურა  $-1^{\circ}\text{C}$  -დან (ზამთარში)  $+31^{\circ}\text{C}$  -მდე (ზაფხულში) მერყეობს. 50-100 მ სიღრმეზე ტემპერატურა საგრძნობლად ეცემა, ხოლო 500 მ-ზე დაბლა სიღრმეში წყლის ტემპერატურა მუდმივად  $+9^{\circ}\text{C}$  -ია.

შავი ზღვის ზედაპირულ წყლებში წყალბადის მაჩვენებელი pH იცვლება 8,1-დან 8,5-მდე და მისი სეზონური ცვლილება (მაქსიმუმი ზაფხულში, მინიმუმი ზამთარში) დამოკიდებულია ტემპერატურის ცვლილებასა და ფოტოსინთეზის ინტენსივობაზე. პრაქტიკულად pH დამოკიდებულია წყალში გახსნილ კომპონენტებზე, ძირითადად ნახშირორჟანგზე, ხოლო სიღრმეებში გოგირდწყალბადზე ( $\text{H}_2\text{S}$ ), რომლის შემცველობის მიხედვით შავი ზღვა ყველაზე მსხვილი აუზია მსოფლიოში.

შავი ზღვის სიღრმისეულ წყლებში არსებულმა გოგირდწყალბადმა და მეთანმა აღმოჩენისთანავე მიიპყრო მეცნიერთა ყურადღება, როგორც პრაქტიკულად ამოუწურავმა ნედლეულმა ალტერნატიული ენერჯის წარმოებისა და სათბობენერგეტიკული ნედლეულის დეფიციტის შევსების მიზნით. პერსპექტიულია ასევე შავი ზღვის წყალში არსებული სხვა სასარგებლო კომპონენტებისა და მინერალური ნედლეულის ( $\text{H}_2$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  და სხვ.) გამოყენება არატრადიციული ენერჯის წყაროსა და სასუქების წარმოების მიზნით. ე.ი. შავი ზღვა მნიშვნელოვან

ობიექტს წარმოადგენს როგორც სამეცნიერო კვლევების ისე პრაქტიკული გამოყენების თვალსაზრისით [10].

დღეისთვის შავი ზღვის ეკოლოგიური მდგომარეობის განსაზღვრისას ერთ-ერთ ძირითად პრობლემას წყლის ქვედა ფენებში მეთანისა და გოგირდწყალბადის არსებობა წარმოადგენს, რომელთა შემცველობა დაბინძურების გამო ყოველწლიურად იზრდება. გასული საუკუნის ოთხმოცდაათიან წლებში შავ ზღვაში მეთანის წარმოქმნის პროცესში მიკროორგანიზმების როლის კვლევისას აღმოჩენილი და შესწავლილი იქნა მეთანის მიკრობული დაჟანგვის შედეგად წარმოქმნილი კარბონატული წყობა, ამასთან დადგენილი იქნა რომ წყალში გახსნილი მეთანის 75% წარმოქმნილია ანაერობული არქეის მიერ, ხოლო დანარჩენი 25% წყლის შედარებით არაღრმა დანალექებიდან (700 მ) ვულკანებიდან მიეწოდება, სადაც არსებული თერმობარული პირობები ხელსაყრელია მეთანის მყარი გაზოჰიდრატების წარმოსაქმნელად [59]. ზღვის წყლის ტემპერატურის ზრდისას გაზოჰიდრატები იშლება დიდი რაოდენობით მეთანის გამოყოფით, რომლის სიცოცხლის ხანგრძლივობა ატმოსფეროში [26] მნიშვნელოვნად მცირეა ნახშირორჟანგის სიცოცხლის ხანგრძლივობაზე. თუმცა მეთანის წილი ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებაში მზარდია და გავლენას ახდენს კლიმატის გლობალურ ცვლილებაზე, რადგან მეთანის სითბური პოტენციალი 21-ჯერ აღემატება ნახშირორჟანგის სითბურ პოტენციალს.

შავი ზღვის წყალი დიდი რაოდენობით შეიცავს აგრეთვე გოგირდწყალბადს, ჰიდროსულფიდსა და სულფიდ-იონებს. შავ ზღვაში არსებული გოგირდწყალბადიან და აერობულ შრეებს შორის ჩამოყალიბებულია გარდამავალი ჟანგბადისა და გოგირდწყალბადის ერთდროულად შემცველი შრე, სადაც ინტენსიური და მრავალეტაპიანი ჟანგვა-აღდგენითი რეაქციების შედეგად დიდი რაოდენობით სხვადასხვა გოგირდშემცველი ნაერთი (თიოსულფატი, სულფატი, კოლოიდური გოგირდი) წარმოიქმნება.

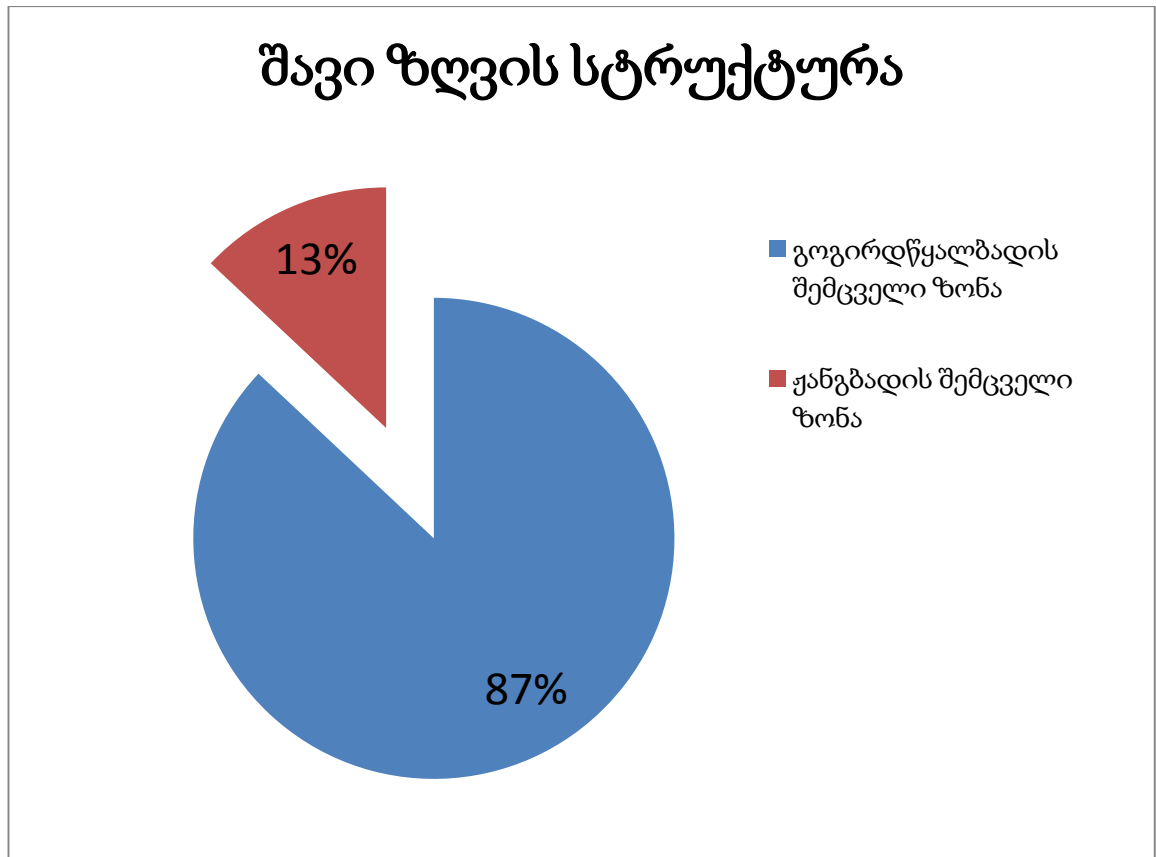
ლიტერატურული წყაროების [10, 11, 15, 51, 57] ანალიზიდან გამომდინარე დედამიწის წყლის რეზერვუარებში გოგირდწყალბადის მოხვედრის სამი განსხვავებული წყარო არსებობს: 1) ორგანული ნივთიერებების დაშლის შედეგად წყალში წარმოქმნილი სულფატების მიერ სულფიდმარედუცირებელი ბაქტერიების

აღდგენა; 2) ორგანული ნივთიერებების ლპობის შედეგად წარმოქმნილი გოგირდწყალბადი; 3) ვულკანური წარმოშობის (ჰიდროთერმული წყლების, ნავთობის პლასტების, დედამიწის ქერქის ბზარებიდან ამოსული) გოგირდწყალბადი.

კვლევებით დამტკიცებულია რომ გოგირდწყალბადის წარმოქმნა შავი ზღვის ფსკერზე ძირითადად სულფატრედუქციის პროცესთანაა დაკავშირებული. სულფატრედუქცირებადი ბაქტერიების ცხოველქმედების შედეგად შავ ზღვაში ყოველდღიურად დაახლოებით 10 000 ტონა გოგირდწყალბადი წარმოიქმნება და მისი შემცველობა სიღრმის მიხედვით საშუალოდ 0,9 მგ/ლ-დან 17 მგ/ლ-მდე მერყეობს [28, 41], თუმცა ზღვის ფსკერზე და ვულკანურ ნაპრალებთან მისი შემცველობა 240 მგ/ლ-ია.

როგორც ცნობილია, შავი ზღვის უდიდესი სიღრმე 2200 მეტრია და ამჟამად მისი მხოლოდ ზედა 100-150 მეტრიანი ფენაა ჟანგბადის შემცველი, ქვედა სიღრმისეულ ფენებში კი წყალი გაჯერებულია გოგირდწყალბადით. ჩატარებული მონიტორინგის საფუძველზე, შავი ზღვა განიხილება გოგირდწყალბადის წარმოქმნის ერთ-ერთ ყველაზე დიდ წყაროდ, რომლის რაოდენობა ყოველწლიურად 4-9 მილიონი ტონით იზრდება და მისი საერთო რაოდენობა შეფასებულია 28-63 მილიარდი ტონით [41, 65]. შავ ზღვაში გოგირდწყალბადის ასეთმა დიდმა კონცენტრაციამ, რამდენიმე ათეულ წელში შესაძლებელია ძლიერ ეკოლოგიურ კატასტროფამდე მიგვიყვანოს, რადგან გოგირდწყალბადი ( $H_2S$ ) ძლიერმოქმედი მომწამლავი და ფეთქებადსაშიში ნივთიერებაა. ჰაერში მისი ზღვრული კონცენტრაცია დასახლებულ პუნქტებში 0,008 მგ/მ<sup>3</sup>-ია, ხოლო მომწამლავი დოზა 0,05-0,07 მგ/მ<sup>3</sup>-ს შეადგენს.

ზღვის გარემოს შესწავლის შედეგებმა აჩვენა, რომ შავი ზღვის სასიცოცხლო მახასიათებლები თანდათან უარესდება რადგან გოგირდწყალბადის შემცველ ზონას მთელი წყლის 87% უკავია, 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 გალარიბდება ზღვის ფლორა და ფაუნა.



ნახ. 2.1. შავი ზღვის სტრუქტურა

გარემოს დაცვითი პროგრამის მიერ ჩატარებული გამოკვლევების შედეგად შავი ზღვის ყირიმის რაიონში აღმოჩენილი იქნა უამრავი წყალქვეშა არე 600-650 მ სიღრმეზე, საიდანაც ადგილი ჰქონდა ზღვის ზედაპირისკენ 12-14 მ/წმ სიჩქარით მოძრავი აირის ნაკადის გამოყოფას, რომლის ძირითად კომპონენტს (80%-მდე) შეადგენდა მეთანი  $\text{CH}_4$  [59]. დადგენილია რომ ზღვის წყალში გახსნილი მეთანის 75% წარმოქმნილია ანაერობული არქეის მიერ, ხოლო დანარჩენი 25% წყლის არაღრმა დანალექებიდან და ვულკანებიდან მიეწოდება [12, 13, 14]. შავი ზღვის გაზოჰიდრატული აკვატორიები განლაგებულია 300-800 მ სიღრმეზე. ზღვის ფსკერის ქვეშ (300-1200 მ) პლასტებია, ხოლო 550-600 მ-დან შავი ზღვის მთელ პერიმეტრზე არსებული მეთანის დიდი შემცველობა ვლინდება შადრევნების და ტალახის ვულკანების სახით. თანამედროვე შეფასებით გაზოჰიდრიტების არსებული რაოდენობა შეადგენს 25-30 მლრდ  $\text{მ}^3$ -ს და ცნობილია რომ 1  $\text{მ}^3$  გაზოჰიდრიტი 160  $\text{მ}^3$  მეთანს შეიცავს [21]. ზღვის წყლის ტემპერატურის ზრდისას გაზოჰიდრიტები

იმლება დიდი რაოდენობით მეთანის გამოყოფით. გამომდინარე აქედან ნახშირწყალბადოვანი ენერგეტიკული ნედლეულის დეფიციტის შევსების თვალსაზრისით, ბოლო წლების განმავლობაში გაზოჰიდრიტების მიმართ ინტერესი გაიზარდა და სულ მცირე 10% გაზოჰიდრიტების გამოყენებით მინიმუმ 200 წელი შესაძლებელია მსოფლიოს უზრუნველყოფა ეკოლოგიურად სუფთა, მაღალი ხარისხის მქონე ენერგეტიკული ნედლეულით [21, 35].

ზემოთაღნიშნულის გათვალისწინებით შავი ზღვა კაცობრიობისთვის სერიოზულ ეკოლოგიურ საფრთხეს და პრობლემას წარმოადგენს თუმცა ამავდროულად მასში არსებული გოგირდწყალბადი და მეთანი შეიძლება გამოყენებული იქნას სათბობ-ენერგეტიკული მიზნებით, რაც განაპირობებს შავი ზრვის სიღრმისეულ წყლებში და მსოფლიო ოკეანეში გოგირდწყალბადის და მეთანის რაოდენობისა და შესაბამისად ეკოლოგიური კატასტროფის რისკის შემცირებას.

### 2.1.1. შავი ზღვის აუზიდან აირადი ნარეგების ამოღების მეთოდები

გოგირდწყალბადის შემცველობის მიხედვით შავი ზღვა ყველაზე მსხვილი აუზია მსოფლიოში და მასში გოგირდწყალბადის შემცველობის მუდმივი განახლებადობა განაპირობებს მომწამლავი გოგირდწყალბადის ზედაპირულ ფენებში ამოსვლას და გარემოს ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუარესებას. ამასთან შავი ზღვის ქვედა ფენებში მუდმივად იმატებს მეთანის შემცველობა გაზოჰიდრატების სახით, რომლის წილი ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებაში ძალზე სწრაფად იზრდება (სათბურის გაზების ემისიის სახით) და გავლენას ახდენს კლიმატის გლობალურ ცვლილებაზე. გამომდინარე აქედან შავი ზღვის აუზის სიღრმისეულ წყლებში არსებულმა გოგირდწყალბადმა და მეთანმა აღმოჩენისთანავე მიიპყრო მეცნიერთა ყურადღება, როგორც ამოუწურავმა ნედლეულმა ალტერნატიული ენერჯის წარმოებისა და სათბობის ენერგეტიკული დეფიციტის შევსების მიზნით.

შავი ზღვიდან ამოღებული აირადი გოგირდწყალბადი გამოიყენება მომავლის საწვავის (წყალბადის), ასევე გოგირდის, გოგირდმჟავისა და გოგირდმემცველი სხვა ნაერთების მისაღებ ძვირფას ბუნებრივ ნედლეულად. თუმცა ზღვის სიღრმიდან აირების ამოღების ძირითად პრობლემას წარმოადგენს ზედაპირზე წყალში გახსნილი აირების გადასვლა აირად მდგომარეობაში და მათი სრულად გამოყოფა ზღვის წყლიდან. ამასთან მნიშვნელოვანია ხსნარში დარჩენილი აირების ზედაპირული ფენების წყლებში შერევის თავიდან აცილების უზრუნველყოფა წყალსაცავებსა და ატმოსფეროზე მათი ნეგატიური გავლენის აღმოფხვრის მიზნით.

შავი ზღვის წყლებიდან გოგირდწყალბადის ამოღების მეთოდებიდან აღსანიშნავია:

- განსაზღვრულ ტექნოლოგიურ სიღრმეზე განხორციელებული ელექტროჰიდრავლიკური დარტყმა, რაც უზრუნველყოფს გოგირდწყალბადის გამოყოფას და გასუფთავებული წყლის ზღვაში დაბრუნებას [17, 20, 24, 26, 32, 34, 39, 65];
- გარკვეული ტალღის სიგრძის მქონე (180-253 ნმ) ულტრაიისფერი გამოსხივების მოქმედებით გოგირდწყალბადი სელექტიურად დისოცირდება წყალბადად და გოგირდად [17, 20, 26, 42];
- ოზონის გამოყენებით გოგირდწყალბადის ამოღების მეთოდი დაფუძნებულია სანიაღვრე და წყალსაცავების წყლების გოგირდისაგან გასასუფთავებლად გამოყენებულ ცნობილ ტექნოლოგიაზე, რომლის დროსაც წყალში არსებული  $H_2S$  ოზონირებული ჰაერით იჟანგება და წარმოიქმნება წყალი და გოგირდი [17, 20, 26, 42];
- გოგირდწყალბადის შემცველი წყლების მინერალური მჟავათი დამუშავება და მისი შემდგომი აერაცია; მიღებული გოგირდმჟავას ნაწილი გამოიყენება გამდინარე წყლის დასამუშავებლად, ხოლო  $H_2S$  დაჟანგვით მიიღება ენერჯია [17, 20, 26, 42];
- ბუნებრივი წყალსაცავების გოგირდწყალბადისგან გაწმენდის მეთოდი მოიცავს ზედაპირზე გოგირდწყალბადის შემცველი წყლის ამოტანას. მისგან გოგირდწყალბადის გამოყოფას და შემდგომ დაყოფას ელემენტებად [17, 20, 26, 42];
- დიდი სიღრმეებიდან ჩვეულებრივი მილსადენის გამოყენებით გოგირდწყალბადის ამოღების და შემდგომ მისი ელემენტებად დაყოფის მეთოდი ემყარება ბუნებრივი წყალსაცავების სიღრმეებიდან ზედაპირზე  $H_2S$  შემცველი წყლის

ამოღებას, რომელსაც ზღვის ზედაპირსა და მიმდებ უბანში არსებული წნევათა სხვაობა განაპირობებს [24, 39, 63];

- 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 [12, 28, 41].

შავი ზღვის სიღრმისეული წყლებიდან აირადი გოგირდწყალბადის ამოღების ჩამოთვლილი მეთოდებიდან ეფექტურობით და ყველაზე მცირე დანახარჯებით გამოირჩევა ტუმბოთი აღჭურვილი მყარი ვერტიკალური არხი ან მილსადენის გამოყენების მეთოდები. თუმცა ძირითად პრობლემას წარმოადგენს ზღვის სიღრმიდან ამოღებული აირთა ნარევების შემდგომი ეფექტური დაყოფა მინიმალური დანახარჯებით.

გოგირდწყალბადის პირდაპირი დაშლა გოგირდისა და წყალბადის მიღების მიზნით ემყარება თერმული, თერმოქიმიური, ფოტოკატალიზური, ელექტროლიზური, ელექტროპლაზმური და პლაზმოქიმიური დაყოფის ტექნოლოგიებს [17, 20, 26]. აქედან ფოტოკატალიზური მეთოდი გამოირჩევა დაბალი ენერგოდანახარჯებით, მაგრამ პროცესის ხანგრძლივობის გამო მსხვილმასშტაბიანი ტექნოლოგიების მიზნით მიუღებელია. ფართოდაა ცნობილი ელექტროლიზური მეთოდი თუმცა გამოირჩევა მაღალი ენერგო დანახარჯებით. ელექტროპლაზმურ მეთოდში გამოიყენება პლაზმური ნაკადი, რომელიც ფორმირდება პლაზმატრონში, თუმცა თანამედროვე პლაზმური რეაქტორების კონსტრუქცია საჭიროებს დაყვანას ენერგეტიკული და კომერციული თვალსაზრისით.

გოგირდწყალბადის თერმული დისოციაციის თერმოდინამიკური პროცესი განხილულია ნაშრომში [17]. აღსანიშნავია რომ ექსპერიმენტული მონაცემებით გოგირდწყალბადის დისოციაცია შესამჩნევი ხდება 4000°C დან პრაქტიკულად ბოლომდე მიდის 16900°C-ზე. გოგირდწყალბადის დასაშლელად ჩვეულებრივად იყენებენ კლაუსის პროცესს, რომელიც განკუთვნილია გოგირდის გამოსაყოფად კატალიზურ კონვექტორში ალუმინის მარილებით 477-533 K (კელვინი)

ტემპერატურაზე. ამ შემთხვევაში მიიღება წყლის ორთქლიც და თანმხლები აირები გამოიტყორცნება გარემოში ან საჭიროებს ძვირადღირებულ გაწმენდას.

ფოტოლიზის ძირითადი პრინციპებია დისოციაციას დაქვემდებარებული ნივთიერებებისთვის სინათლის დასხივების ტალღის სიგრძის შერჩევა ისე რომ ეს დასხივება სინათლის შთანთქმას უთანაბრდებოდეს [10]. ასეთი მაქსიმუმი შეესაბამება მოცემული ნივთიერების მოლეკულებში ატომების რხევის სიხშირეს, რომლებიც ძლიერდება მათთან მიახლოებული სიგრძის სინათლის ტალღის ზემოქმედებით და შედიან მათთან რეზონანსში, რაც მოცემული სიხშირით მერხვე ატომებს შორის კავშირის რღვევის სტიმულატორია.

გოგირდწყალბადის ფიტოქიმიურ დისოციაციას ეძღვნება ნაშრომი [17, 20], სადაც დადასტურებულია მოსაზრება, რომ ფიტოქიმიური ზემოქმედების პირველადი აქტი გოგირდწყალბადზე იწვევს ატომური წყალბადის მოგლეჯვას SH თავისუფალი რადიკალის წარმოქმნით. SH რადიკალები და H ატომები ერთმანეთთან ურთიერთქმედებით წარმოქმნიან მოლეკულურ წყალბადსა და გოგირდს.

ყურადღებას იმსახურებს თანამედროვე ეტაპზე ფართოდ გავრცელებული პლაზმოქიმიური მემბრანული [43, 61] ტექნოლოგიები, რაც განპირობებულია აღნიშნული დაყოფის მეთოდების ეფექტურობით, სელექტურობით, უწყვეტობით, დაბალი ენერგოდანახარჯებით და სხვ. მაგალითად სამრეწველო მოწყობილობებში აღნიშნული მეთოდით 1 მ<sup>3</sup> წყალბადის მისაღებად საჭიროა 1 კვტ.სთ ელექტროდანახარჯები, მაშინ როცა იმავე რაოდენობის წყალბადის მისაღებად წყლის ელექტროლიზის მეთოდით ენერგოდანახარჯია 4,5 კვტ.სთ.

### **2.1.2. შავი ზღვის სიღრმისეული წყლებიდან გოგირდწყალბადის გამოყოფის პრობლემები**

შავი ზღვიდან ამოღებული აირადი გოგირდწყალბადი გამოიყენება მომავლის საწვავის წყალბადის, ასევე გოგირდის, გოგირდმჟავის და გოგირდშემცველი სხვა ნაერთების მისაღებ ძვირფას ნედლეულად, თუმცა ამოღებისას ძირითად პრობლემას



წარმოადგენს წყალში გახსნილი აირების გადასვლა აირად მდგომარეობაში და მისი სრულად გამოყოფა ზღვის წყლიდან.

აირადი გოგირდწყალბადის შავი ზღვის წყლიდან გამოყოფის პრობლემების გადაწყვეტისას აუცილებელია გავითვალისწინოთ ორვალენტური გოგირდის ზღვის წყალში არსებობის ფორმა, რადგან წყალში გოგირდი შეიძლება იყოს არადისტირილებული მოლეკულის  $H_2S^0$  ან  $HS^-$  და  $S^{2-}$  იონების სახით. ამ ორი ფორმის თანაფარდობა განისაზღვრება ზღვის წყლის წყალბადის მაჩვენებლით pH (შავი ზღვის ზედაპირულ წყლებში pH იცვლება 8,1-დან 8,5-მდე) და დამოკიდებულია ტემპერატურის ცვლილებისა და ფოტოსინთეზის ინტენსივობაზე. პრაქტიკულად pH დამოკიდებულია წყალში გახსნილ კომპონენტებზე, ძირითადად ნახშირორჟანგზე და სიღრმეებში  $H_2S$  -ზე. რადგან სიღრმისეულ წყლებში  $H_2S$  -ის კონცენტრაცია დიდია ამიტომ pH მნიშვნელობა მცირდება 7,6 მდე [51, 57, 63]. როცა წყალბადის მაჩვენებელი  $pH > 10$  მაშინ  $S^{2-}$  იონების შემცველობა შეიძლება უგულებელვყოთ, როცა  $pH = 7$  მაშინ წყალში  $H_2S^0$  და  $HS^-$  შედგენილობა თითქმის ერთნაირია, ხოლო როცა  $pH = 4$  გოგირდი თითქმის მთლიანად არადისოცირებული მოლეკულის  $H_2S^0$  სახითაა მოცემული [18, 19, 26, 44].

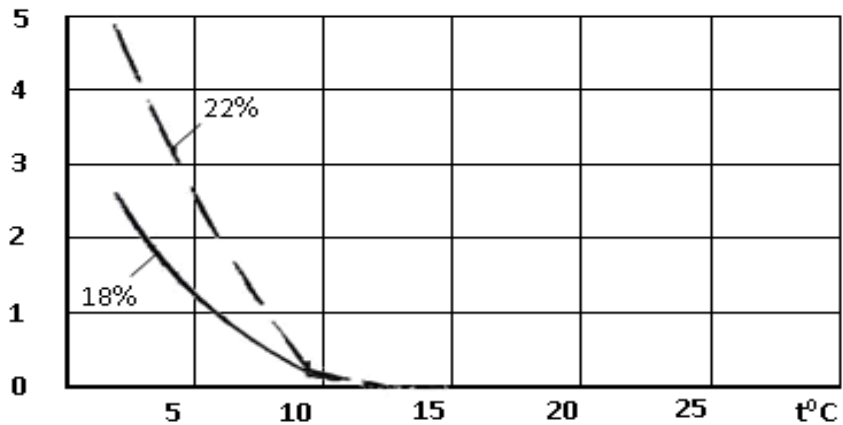
შავი ზღვის წყალში მთლიანი ორვალენტური გოგირდის მხოლოდ 15% იმყოფება  $H_2S^0$  ფორმით, დანარჩენი კი მძიმე ლითონების სულფიდების ქიმიური ნაერთების სახითაა წარმოდგენილი, ამიტომ  $H_2S^0$  აიროვან ფაზაში გადაყვანის შესაძლებლობა გართულებულია [19, 30].

გამომდინარე აქედან კვლევების ჩატარების მიზნით თერმოდინამიკური მოდელირების მეთოდით [7] შესაძლებელია შევავსოთ შავი ზღვის წყალში ორვალენტური გოგირდის შემცველობის ქიმიური ფორმა ტემპერატურისა და წნევის ცვლილებაზე დამოკიდებულებით. გაანგარიშება ჩატარდა 18% და 22% მარილიანობის მაგალითზე, როცა  $pH = 8,2$  და გაანგარიშების შედეგები მოცემულია ნახაზებზე 2.2; 2.3; 2.4; 2.5.

გაანგარიშების შედეგები გვიჩვენებს, რომ ყველა განსახილველ ფიზიკო-ქიმიურ პირობებში ორვალენტური გოგირდის ძირითადი ნაწილი იმყოფება  $HS^-$  ან წყალში გახსნილი მძიმე ლითონების სულფიდების სახით. ამასთან მარილიანობის გაზრდით და ტემპერატურის შემცირებით ორვალენტური გოგირდის საერთო კონცენტრაცია

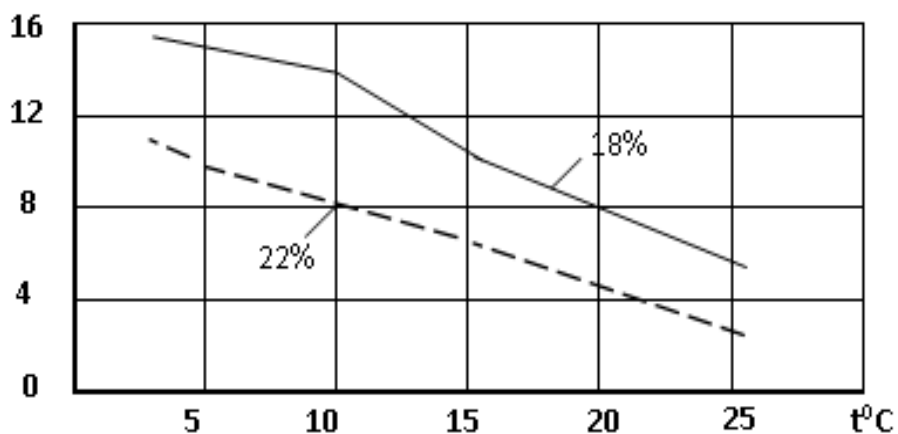
(ნახ. 2.2.) იზრდება, ხოლო მარილიანობის გაზრდითა და ტემპერატურის შემცირებით  $H_2S^0$  წილი მცირდება (ნახ. 2.3.). რაც შეეხება  $HS^-$  მისი კონცენტრაცია მარილიანობის გაზრდით და ტემპერატურის შემცირებით იზრდება (ნახ. 2.4.), ხოლო როცა წნევაა  $10^7$ პა და ტემპერატურა  $8^{\circ}C$ , ორვალენტური გოგირდის საერთო კონცენტრაცია შეადგენს 8 მგ/დმ<sup>3</sup> და მისი უმეტესი ნაწილი (დაახლოებით 89%) იმყოფება ბმული მდგომარეობის სახით (ნახ. 2.5.).

$S^{2-}$  მგ/ლ

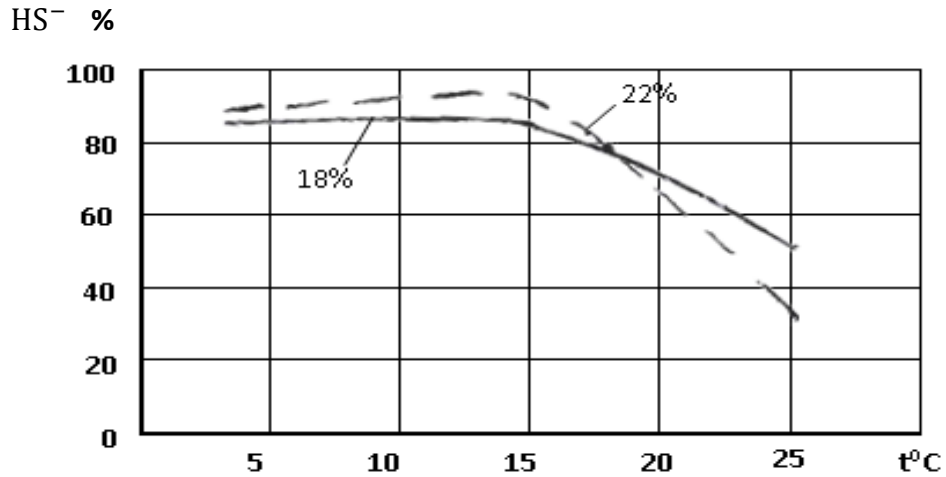


ნახ. 2.2. ზღვის ზედაპირულ წყალში ორვალენტური გოგირდის კონცენტრაციის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე, როცა  $p=10^5$ პა.

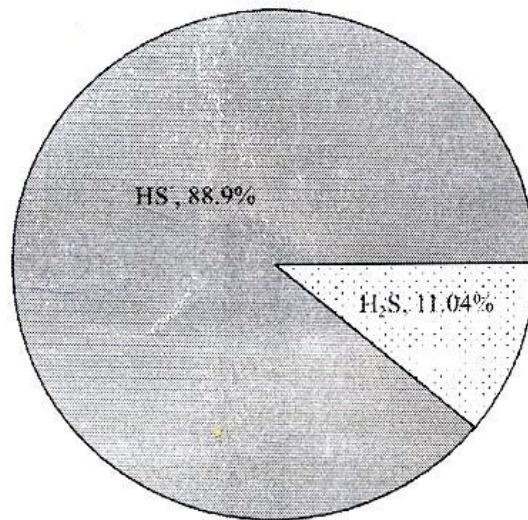
$H_2S$  %



ნახ. 2.3. ზღვის წყალში  $H_2S$  ფარდობითი შედგენილობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე, როცა  $p=10^5$ პა.



ნახ. 2.4. ზღვის წყალში  $\text{HS}^-$  ფარდობითი შედგენილობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე, როცა  $p=10^5$ პა.



ნახ. 2.5. ორვალენტიანი გოგირდის S(II) მდგომარეობის ფორმა ზღვის წყალში, როცა  $p=10^7$ პა. წნევისა და 8°C ტემპერატურის დროს.

ე.ი. გოგირდწყალბადის მოპოვების სირთულეს წარმოადგენს შავ ზღვაში მისი ძირითადი ნაწილის წყალხსნარის სახით არსებობა. ამიტომ აირადი სახით გოგირდწყალბადის მოპოვების მეთოდი შეიძლება დავეყოს ორ ჯგუფად: სიღრმისეული წყლების ზღვის ზედაპირზე ამოტანის ან უშუალოდ მოპოვების ადგილზე გოგირდწყალბადის აიროვანი ფორმით მიღება.

ზღვის სიღრმიდან წყალხსნარის ამოღებისას ძირითად პრობლემას წარმოადგენს წყალში გახსნილი აირების გადასვლა აირად მდგომარეობაში და მათი

სრულად გამოყოფა. ასევე მნიშვნელოვანია ხსნარში დარჩენილი აირების ზედაპირული ფენების წყლებში შერევის თავიდან აცილების უზრუნველყოფა ატმოსფეროზე ნეგატიური გავლენის აღმოფხვრის მიზნით.

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 ნახევრადშეღწევადი ჰიდროფობური მემბრანის თვისებას გაატაროს აირი და დაიჭიროს წყალი.

## 2.2. აირადი ნარევების დაყოფის მემბრანული მეთოდი

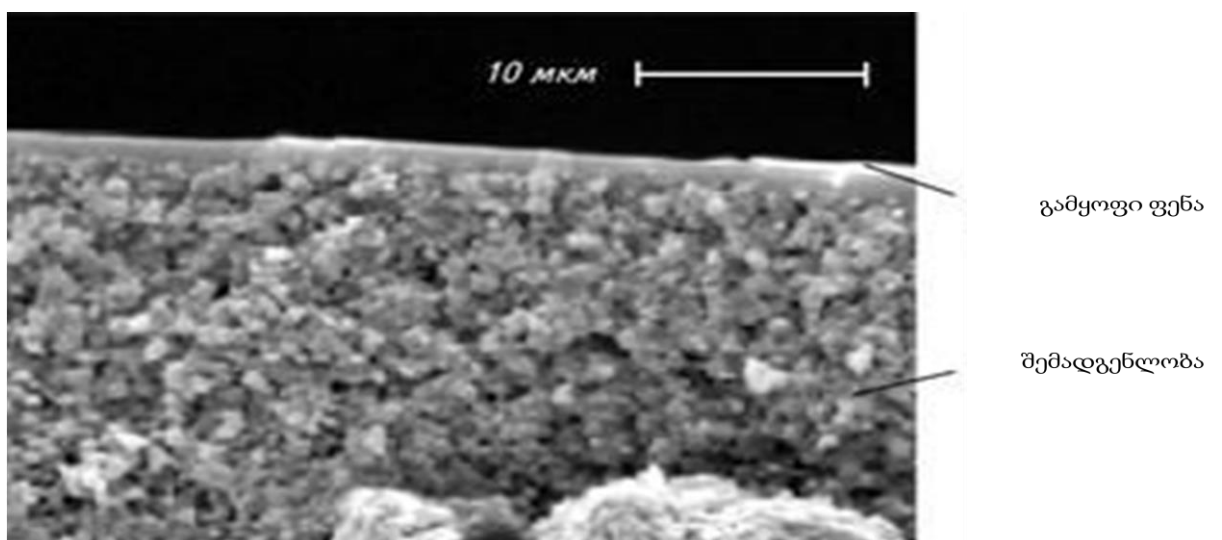
შავი ზღვის სიღრმისეული წყლებიდან აირადი გოგირდწყალბადის ამოღების ძირითად პრობლემას წარმოადგენს ამოღებული აირთა ნარევების შემდგომი ეფექტური დაყოფა მინიმალური ენერგოდანახარჯებით. გასული სუკუნის 80 წლებიდან ამ მიზნით ფართოდ გამოიყენება სორბციული და მემბრანული ტექნოლოგიები.

ნივთიერებათა დაყოფის მემბრანული ტექნოლოგიები ინტენსიურად ვითარდება და რეალიზდება მრეწველობის სხვადასხვა დარგში. მათ შორის: რადიოაქტიური კრიოგენისგან ჰაერის გასაწმენდად; ბუნებრივი აირიდან ჰელიუმის ამოსაღებად; ჰაერის ჟანგბადით გასამდიდრებლად; ნახშირწყალბადების დასაყოფად; ნავთობის გადამუშავებაში; ამიაკის წარმოებაში; ხილ-ბოსტნეულის კამერებში აირის რეგულირების საშუალებად; დაბალმოლეკულური მინარევების შემცველი ხსნარებიდან მაღალმოლეკულური ნივთიერებების გამოსაყოფად და გასაწმენდად; წყალბადის მისაღებად ბუნებრივი და ტექნოლოგიური აირებიდან და სხვ.

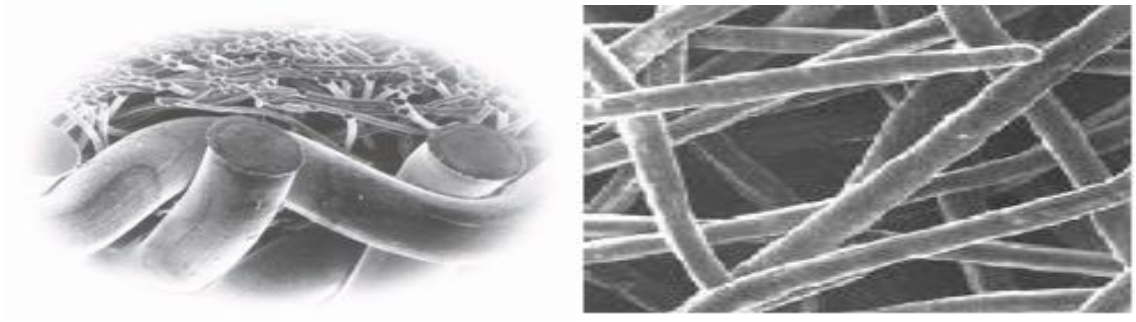
მემბრანული პროცესების კვლევები დაიწყო მე-19 საუკუნეში როცა გერმანელმა ფიზიოლოგმა ადოლფ ფილკმა შეისწავლა ნიტროცელულოზისაგან დამზადებული აირების ტრანსპორტირება მემბრანების გავლით. შემდეგ კი ტომას გრემმა დიალიზი

განახორციელა სინთეზური მემბრანებით და აირების პირველი მემბრანული დაყოფით მიიღო 46,6% ჟანგბადით გამდიდრებული ჰაერი. გასული საუკუნის 80-ანი წლებიდან მემბრანული ტექნოლოგიების პროგრესის დაჩქარებას ხელი შეუწყო სინთეზური პოლიმერული მემბრანების განვითარებამ, რაც მემბრანული მეთოდით აირთა ნარეგების ფართო მასშტაბებით ეფექტურ დაყოფაზე აისახა როგორც კომერციული პროგრესი [43, 69].

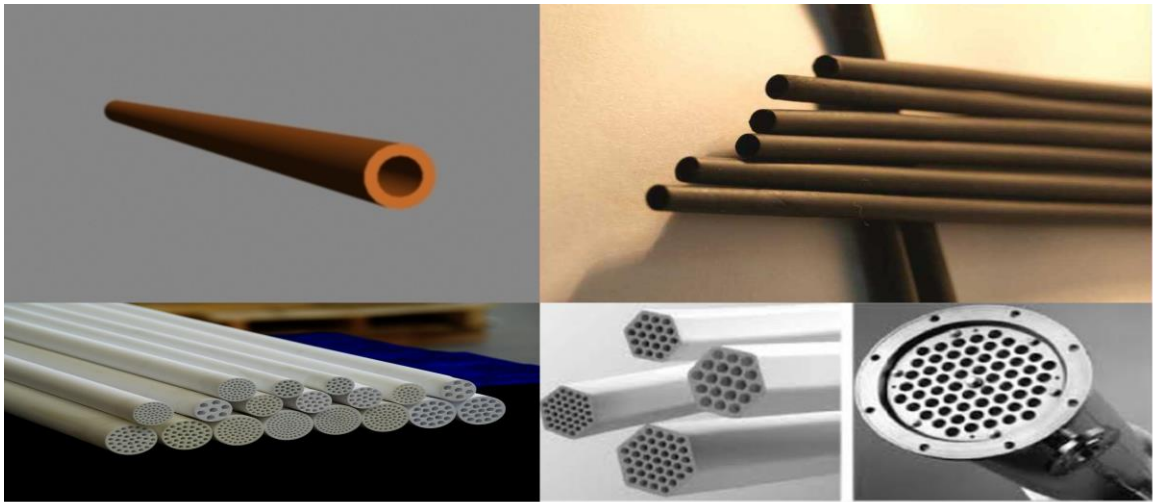
თანამედროვე მემბრანული ტექნოლოგია უზრუნველყოფს დაბალ ენერგოდანახარჯებს, დაყოფის პროცესის უწყვეტობას, მასშტაბურობის სიმარტივეს. მემბრანულ ტექნოლოგიაში (ნახ. 2.6; 2.7; 2.8.) გამოყენებული მემბრანების ძირითადი მახასიათებლებია სელექტიურობა, გამტარიანობა და გამძლეობა, ხოლო ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი თვისებაა მემბრანის ნივთიერება. შედგენილობის მიხედვით არსებობს ბუნებრივი და სინთეზური მემბრანები, რომლებიც იყოფა ქვეკლასებად მემბრანული ნივთიერების თვისებიდან გამომდინარე. ბუნებრივია ცოცხალი ორგანიზმის მემბრანები და ლიპოსომები, ხოლო სინთეზური მემბრანის დასამზადებლად გამოიყენება როგორც არაორგანული (მეტალის ბურთულეები და მავთულეები, კერამიკა და მეტალოკერამიკა, მინა, გრაფიტი), ისე ორგანული ნივთიერებები (აცეტატები, ცელულოზები, პოლიეთილენი, არომატული პოლიამიდები, პოლიპროპილენი, ფთოროპლასტი და ა.შ.)



ნახ. 2.6. უჟანგავი ფოლადის ფხვნილის დაპრესვით მიღებული მეტალური მემბრანა.



ნახ. 2.7. მიკროფოროვანი ბოჭკოსაგან მიღებული მეტალური მემბრანა.



ნახ. 2.8. კერამიკული მემბრანები

ზედაპირის მორფოლოგიის მიხედვით მყარი სინთეზური მემბრანები იყოფა ფოროვან და არაფოროვან, სიმეტრიულ და არასიმეტრიულ, კომპოზიციურ და არაერთგვაროვან მემბრანებად. ხოლო ნივთიერების სტრუქტურის მიხედვით - ბრტყელ, კაპილარულ, მილისებრ, ნახევრადბოჭკოვან და ცილინდრულ-ბოჭკოვან მემბრანებად.

გამოყენების თვალსაზრისით მემბრანები კლასიფიცირდება მიკროფილტრაციულ, უკუფილტრაციულ, უკუოსმოსურ, ელექტროდიალიზურ და დიალიზურ მემბრანებად. აღნიშნული დაყოფის მეთოდები მიეკუთვნება მემბრანული პროცესების პირველ თაობას. ხოლო აირდაყოფა, დისტილაცია და დაყოფა თხელი მემბრანებით, მემბრანული პროცესების მეორე თაობაა [61].

დაყოფის მემბრანული პროცესების დადებითი მხარეებია: უწყვეტობა, დაბალი ენერგოდანახარჯი, პროცესის კონტროლირება, დაყოფის სხვა პროცესებთან ადვილად თავსებადობა. ხოლო უარყოფითი მხარეებია: მემბრანის დაბინძურება ნალექის წარმოქმნის გამო, ვარგისიანობის მცირე დრო და სხვ.

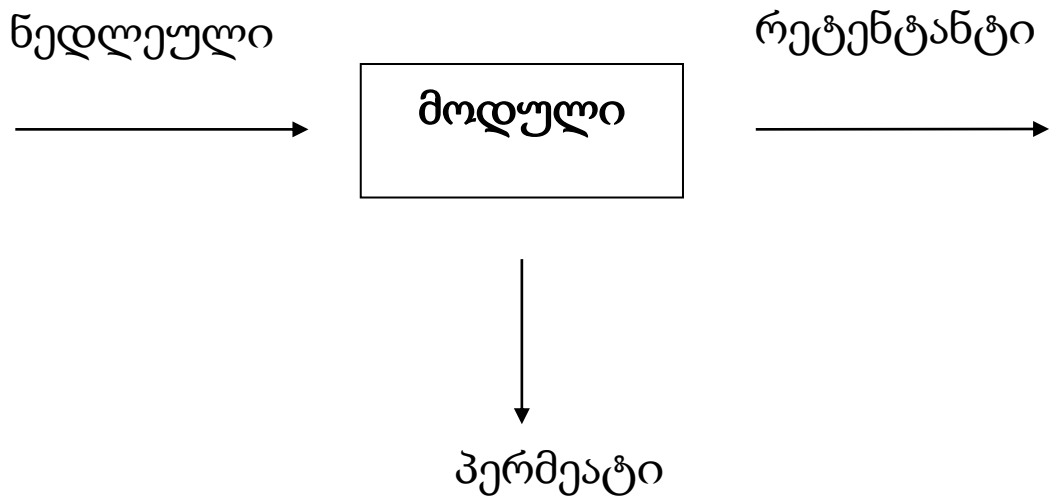
აირადი ნარევეების მემბრანული დაყოფა დაფუძნებულია ფოროვანი, არაფოროვანი, ასიმეტრიული და კომპოზიციური სელექტიურ-შედწევადი მემბრანების გამოყენებაზე [70]. მემბრანული ელემენტის ტიპი განისაზღვრება მემბრანის ზედაპირის გეომეტრიით და აირის ნაკადის მოძრაობით. მემბრანებში აირების ტრანსპორტირება ხდება სხვადასხვა მექანიზმით (დიფუზია, ზედაპირული დიფუზია, დიფუზია მიკროფორებისთვის, კაპილარული კონდენსაცია შევსებული მიკროფორით) რომელთაგან განსაკუთრებით საყურადღებოა მოლეკულური დიფუზია, რომლის განმსაზღვრელ ფაქტორს მემბრანის ორივე მხარეს კონცენტრაციათა სხვაობა წარმოადგენს.

არაფოროვანი მემბრანის გამოყენებით აირადი ნარევეების დაყოფა ტიხრის გავლით დიფუზიური კომპონენტების სხვადასხვა სიჩქარის ხარჯზე ხორციელდება და მემბრანის გავლით გასული აირის რაოდენობა მისი ფართობის პროპორციულია. მემბრანის ორივე მხარეს პარციალურ წნევებს შორის განსხვავება, დიფუზიის კოეფიციენტი და ხსნადობის მუდმივა მემბრანის სისქის უკუპროპორციულია. ამასთან ტემპერატურის მომატებით მემბრანული სისტემის მწარმოებლობა იზრდება, სელექტიურობა კი ეცემა [58].

თანამედროვე მემბრანა შედგება სხვადასხვა მასალის რამდენიმე ფენისაგან, რომელთაგან თითოეული ხასიათდება სტრუქტურული ორგანიზაციით მიკრო და ნანო დონეზე, რაც უზრუნველყოფს მემბრანის ტექნოლოგიური მახასიათებლების მთელ რიგ კომპლექსს. როგორცაა სატრანსპორტო და დამყოფი თვისებები, დაბინძურებისას რეგენერაციის უნარი და სხვ.

მემბრანული მეთოდით აირების დაყოფა მიმდინარეობს სპეციალურ დანადგარში, რომელიც შედგება ერთი ან რამდენიმე მემბრანული მოდულის, აირთა ნარევის მომზადებისა და შრობის სისტემის, ტემპერატურის კონტროლისა და ექსპერიმენტის მართვის სისტემებისაგან და ა.შ. მემბრანული დანადგარის უმარტივეს კონსტრუქციაში გამოიყენება მხოლოდ ერთი მოდული, რომლის გავლის

შემდეგ აირთა ნარევი იყოფა ორ ნაწილად პერმეანტად და რეტენტანტად (ნახ. 2.9). გამყოფი მოდულები მემბრანული დანადგარების კონსტრუქციის ძირითადი კომპონენტია, რომელშიც ხდება მემბრანის ყველა ტექნოლოგიური პარამეტრის რეალიზება.



ნახ. 2.9. აირდამყოფი მემბრანა.

მემბრანული გამყოფი ბლოკის პროექტირებისას მნიშვნელოვანია ისეთი ფაქტორების გათვალისწინება როგორცაა: მემბრანის ტიპი და კლასი, მემბრანის რეგენერაციის პირობები და რეჟიმები, ექსპლუატაციის პირობების (წნევის ვარდნა, ტემპერატურის ცვალებადობა, ტენიანობის ცვლილება და სხვ.) ცვლილების გათვალისწინებით მემბრანის სამუშაო მახასიათებლების განსაზღვრა, მემბრანული აპარატის შერჩევა; მემბრანული გამყოფი ბლოკის ტექნოლოგიური სქემის შერჩევა; მემბრანის ფართობისა და მოდულების რაოდენობის გაანგარიშება; მემბრანული დანადგარის კონფიგურაციისა და შემადგენლობის დადგენა, აპარატის ექსპლუატაციის ოპტიმალური რეჟიმის შერჩევა [67].



### 2.2.1. აირადი ნარევის მემბრანული განცალკევების მეთოდის

აირადი ნარევის დაყოფის მემბრანულ მეთოდებში პერმეატის ხარისხის მოთხოვნების უზრუნველსაყოფად მნიშვნელოვანია მემბრანის მაქსიმალური ხვედრითი წარმადობის გათვალისწინება, ამასთან მემბრანა უნდა ხასიათდებოდეს დასაყოფი აირებისა და გარეშე ზემოქმედების მიმართ მაღალი ქიმიური მდგრადობით. აირდამყოფი მემბრანა უნდა ხასიათდებოდეს მაღალი გამტარიანობითა და სელექტიურობით, რის გამოც არსებობს მაღალი და დაბალი შეღწევადობის მქონე აირდამყოფი მემბრანები.

აირადი ნარევის დამყოფი დანადგარის შესაქმნელად უპირველეს ყოვლისა აუცილებელია შეირჩეს:

- 1) მემბრანული მოდელის კონსტრუქციის ტიპი,
- 2) განისაზღვროს მისი მახასიათებლები და მოცულობითი ზომები,
- 3) შეირჩეს ძირითადი დეტალები.

მემბრანული მოდელების ტიპური კონსტრუქციებიდან გამოიყენება სპირალური, ბრტყელი, მილისებრი, კაპილარული (ღრუ ბოჭკოვანი) მემბრანული მოდელები.

თითოეული ტიპი ხასიათდება აპარატის შეფუთვის სიმჭიდროვით (მემბრანის ფართის შეფარდება აპარატის საერთო მოცულობასთან), ღრენაჟის მასალით, ზეწოლის არხის ზომით და ტურბულიზატორის ტიპით [60].

სპირალური მემბრანული მოდულის მქონე აპარატის უპირატესობაა მემბრანის შეფუთვის დიდი სიმჭიდროვე, მცირე ლითონტევადობა და მაღალი მწარმოებლობა.

ბრტყელი მემბრანული მოდულის მქონე აპარატები გამოიყენება მცირე მწარმოებლობის დანადგარებში. მათი სახესხვაობაა აპარატები კასეტური მემბრანული მოდულით.

ბრტყელ მემბრანულ მოდელთან შედარებით მილისებრი მემბრანული აპარატის ნაკლს მილისებური ელემენტების მონტაჟის სირთულე და შედარებით მცირე ხვედრითი ზედაპირი (60-200 მ<sup>2</sup>/მ<sup>3</sup>) წარმოადგენს [8].

განსაკუთრებული ადგილი უკავია კაპილარული მემბრანული მოდელის მქონე კომპაქტურ და მაღალმწარმოებლურ აპარატებს, რომლებიც ხასიათდება

ნახევრადგამჭოლი მემბრანების ძალზე მაღალი შეფუთვის სიმჭიდროვით (20000-30000 მ<sup>2</sup>/მ<sup>3</sup>) [8].

მემბრანული აპარატის ტიპის შერჩევის შემდეგ კატალოგიდან ვიღებთ ინფორმაციას ისეთ ძირითად პარამეტრებზე, როგორცაა: მემბრანის ფართი, მოცულობითი ზომები, რეკომენდირებული სამუშაო წნევა და სხვ.

დასაყოფი ხსნარის ტემპერატურის მომატებით მემბრანის სელექტიურობა ოდნავ მცირდება, ხოლო ხვედრითი მწარმოებლობა იზრდება ტემპერატურის ისეთ დიაპაზონში, რომელშიც მემბრანები არ იშლება თბური ზემოქმედების შედეგად. ამასთან ტემპერატურის გაზრდით მემბრანის მუშაობის ხანგრძლივობა მცირდება, თბომცვლელების გამოყენება კი პროცესს ართულებს და აძვირებს. აღნიშნულის გათვალისწინებით მემბრანული პროცესის ჩატარება მიზანშეწონილია 20 - 25°C ტემპერატურაზე.

სამუშაო წნევის გაზრდით მემბრანაში გამავალი პროცესის მამოძრავებელი ძალა და მემბრანის ხვედრითი მწარმოებლობა იზრდება, თუმცა წნევის ზემოქმედებით სტრუქტურულიდან გამომდინარე პოლიმერული მემბრანები მჭიდროვდება და გარკვეული დონის მიღწევის შემდეგ შესაძლებელია მამოძრავებელი ძალის ზრდასთან დაკავშირებული ეფექტის განეიტრალება.

აირთა ნარევების დაყოფისთვის ძირითადად გამოიყენება არაფოროვანი დიფუზიური მემბრანები, რომელთა უპირატესობას წარმოადგენს რამდენიმე ანგსტრემზე მეტი ზომის გამჭოლი ფირების არსებობა და მასების გადაადგილება მექანიზმით: სორბცია - დიფუზია - დესორბაცია. მემბრანაში აირის შეღწევის პროცესი განისაზღვრება პოლიმერულ მასალაში მისი მოლეკულების დიფუზიით, რომლის სიჩქარე აირების გადატანის მთლიან სიჩქარეს განსაზღვრავს.

ღრუბოჭკოვანი ელემენტების უპირატესობად ითვლება მაღალი წნევით (20 მპა) მუშაობის შესაძლებლობა, დრენაჟული არხის არ არსებობა, კონსტრუქციის და გამყოფი ელემენტების დამზადების ტექნოლოგიის სიმარტივე. აღნიშნული ელემენტების ნაკლად მიიჩნევა შიდაბოჭკოვანი არხის მაღალი ჰიდროდინამიკური წინააღმდეგობა და კონსტრუქციის ნაწილებად დაშლის შესაძლებლობის არ ქონა.

დღეისათვის წარმოებაში გამოიყენება მემბრანული აირდამყოფი ელემენტების ყველა ტიპი და შეიმჩნევა შემდეგი კანონზომიერება: ბრტყელი ელემენტები

გამოიყენება დრენაჟულ არხში ვაკუუმით მუშაობისას ან წნევით არხში დაბალი (3 მპა) წნევისას; რულონური ელემენტები ფართოდ გამოიყენება სამუშაო წნევებით (8 მპა-მდე) აირების დაყოფისას, ხოლო ღრუბოჭკოვანი ელემენტები მუშაობს მაღალი წნევების (15-20 მპა) პირობებში.

აირების მოძრაობა სქელ პოლიმერულ მემბრანაში ჩვეულებრივ აღიწერება მექანიზმით ხსნარ-დიფუზია. დამყოფ ტექნოლოგიებში სქელი მემბრანის გამოყენების საფუძველს წარმოადგენს სხვადასხვა ნაწილაკების მემბრანაში შეღწევადობის კონტროლი. ხსნარ-დიფუზიური მექანიზმი შედგება სამი საფეხურისაგან: 1) ადსორბცია ზედა დინების საზღვარზე; 2) მემბრანაში გააქტიურებული დიფუზია ანუ ხსნადობა; 3) დესორბცია და აორთქლება მემბრანის მეორე მხარეს. ხსნარ-დიფუზიური მექანიზმი მემბრანის ზედა და ქვედა საზღვარზე თერმოდინამიკურად სხვადასხვაგვარად იმართება. აქტიურობათა შორის განსხვავება კონცენტრანტთა სხვაობას იწვევს, რის შედეგადაც ხორციელდება დიფუზია შემცირებული აქტივობის მიმართულებით.

აირადი ნარეგების დაყოფის განსაზღვრული მამოძრავებელი ძალაა პარციალური წნევის გრადიენტი, რომელიც წარმოადგენს მემბრანის ღრუბის შიდა რეტენტანტის მხარისა და პერმეატის მხარის პარციალურ წნევათა შორის სხვაობას. აირდამყოფი მემბრანები მემბრანის ზედაპირში სელექტიური შეღწევადობის პრინციპით მუშაობენ და თითოეული აირის შეღწევადობის სიჩქარე დამოკიდებულია აირის დიფუზიის სიჩქარესა და მემბრანის მასალაში მის ხსნადობაზე. მემბრანაში სწრაფი შეღწევადობით ხასიათდება კარგად ხსნადი ან მოლეკულების მცირე ზომის მქონე აირები, ხოლო დიდი მოლეკულები ან ნაკლებ ხსნადი აირები მემბრანაში აღწევენ ძალიან ნელა. ამასთან სხვადასხვა მემბრანული მასალას განსხვავებული დაყოფითი თვისებები გააჩნია.

თანამედროვე აირდამყოფ მემბრანულ მოლეკულებში მაღალი წნევის შექმნა ხორციელდება ღრუბოჭკოვანი მხრიდან აირთა ნაკადების განაწილების უცვლელად შენარჩუნების მიზნით. ასეთმა პროცესმა შესაძლოა ბოჭკოებში წნევის მნიშვნელოვანი ვარდნა გამოიწვიოს, თუმცა აღნიშნულ მემბრანულ მოდულში წნევის ეფექტები დაყოფის პროცესის დასრულებაზე მნიშვნელოვან გავლენას არ ახდენს.

მომავალში წყალბადისადმი მოთხოვნილების გაზრდის გათვალისწინებით სულ უფრო იზრდება კვლევები თერმო და მექანიკურად მდგრადი კარგი დამყოფი თვისებების მქონე მემბრანების შესაქმნელად. ამ მხრივ არაორგანულ მემბრანებს დიდი პოტენციალი გააჩნია წყალბადის როგორც ალტერნატიული საწვავის წარმოებაში. სუფთა წყალბადის წარმოებაში პერსპექტიულია ასევე პალადიუმის და მისი შენადნობების ბაზაზე დამზადებული მემბრანების გამოყენება, რომლებიც ხასიათდებიან დაყოფის მაღალი სელექტიურობით და მდგრადობით მაღალ ტემპერატურაზე (900°C) ათასობით საათის განმავლობაში.

წყალბადის გამოყოფისათვის შემუშავებულია ასევე მაღალშელწევადი და სელექტიური Si-Al კერამიკული მემბრანები. აღნიშნული არაორგანული მემბრანები გამოიყენება მაღალ ტემპერატურასა და წნევაზე, გააჩნია პალადიუმის მემბრანაზე უფრო მაღალი შელწევადობა და შეიცავს გაცილებით იაფ ალუმინსა და სილიციუმს. Si-Al კერამიკული მემბრანების მაღალი შელწევადობა გამოწვეულია მრავალფენიანი აღნაგობით, რის შედეგადაც აღნიშნული მემბრანა ხასიათდება CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO და CH<sub>4</sub> მაღალი შელწევადობით წყალბადის მიმართ.

### 2.2.2. შავი ზღვის სიღრმიდან ზედაპირზე აირადი ნარევების ამოტანა და დაყოფა

შავ ზღვაში არსებული გოგირდწყალბადი ენერჯის ტრადიციული წყაროების მნიშვნელოვანი ალტერნატივაა, რაც დადებითად აისახება ზღვისპირა ქვეყნების ეკონომიკასა და ეკოლოგიაზე, თუმცა ამოცანის განსახორციელებლად საჭიროა სხვადასხვა ქიმიური და ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდის გაერთიანება კომპლექსურ კვლევებში. კერძოდ, საყურადღებოა შავი ზღვის სიღრმისეული წყლებიდან სასარგებლო კომპონენტების ამოღების ეფექტური მეთოდის შერჩევა და მათგან წყლის მოშორება; აირთა ნარევების მინიმალური ენერგოდანახარჯებით ეფექტური დაყოფა; მიღებული წყალბადის ტექნიკური და ეკონომიკური თვალსაზრისით ეფექტური შენახვის მეთოდების შერჩევა.

დღეისათვის აირადი სისტემების გაწმენდის სხვადასხვა მეთოდს შორის სულ უფრო მეტ მნიშვნელობას იძენს ადსორბციული მეთოდები, რადგანაც ისინი უზრუნველყოფენ ნარჩენების პრაქტიკულად სრულ დაჭერას და ერთდროულად რამდენიმე კომპონენტისაგან გაწმენდას. ადსორბცია მყარი სხეულის ზედაპირზე ატომებისა და მოლეკულების დაგროვების პროცესია და დაფუძნებულია მოლეკულებს შორის შეჭიდულობის ძალებზე, რომლებიც უფრო ძლიერია მყარ სხეულებში, ვიდრე სითხეებსა და აირებში. ადსორბცია დინამიკური პროცესია, რადგან ადსორბენტის ზედაპირზე განუწყვეტლივ გადადის მოლეკულები მოსაზღვრე ფაზიდან, თუმცა ამავე დროს ხდება შებრუნებული პროცესიც, ადსორბენტის ზედაპირიდან მოლეკულები გადადის გარემოში ე.ი. მიმდინარეობს შებრუნებული პროცესი დესორბცია. ადსორბენტის ადსორბციის უნარიანობის შესაფასებლად გამოიყენება ადსორბციის სიდიდე, რომელიც დამოკიდებულია ადსორბენტის კონცენტრაციაზე, გარემოსა და ტემპერატურაზე.

სხვადასხვა ადსორბენტს შორის უჯერი და პოლარული ნაერთების მიმართ შთანთქმის ყველაზე დიდი სელექტიურობით ხასიათდება ცეოლითები, რომელთა შორის სილიციუმორგანული ცეოლითები ხასიათდება საკმაოდ მაღალი მჟავამედეგობითა და თერმოსტაბილურობით, რაც საშუალებას იძლევა მაღალ ტემპერატურაზე განხორციელდეს აქტიური მინარევეების ( $H_2S$ ,  $SO_2$ ,  $NH_3$ ,  $Cl_2$  და სხვ.) შემცველი აირების გაწმენდის პროცესი.

ამ მიზნით უკანასკნელ წლებში სინთეზურ ცეოლითებთან ერთად გამოიყენება შედარებით იაფი და არადეფიციტური ბუნებრივი ცეოლითები. კერძოდ, კლინოპტილოდითი და მორდენიტი ხასიათდება განსაზღვრული ადსორბციული ტევადობით გოგირდწყალბადის მიმართ. გოგირდწყალბადის ადსორბციისას შეინიშნება ადსორბენტის ადსორბციული ტევადობის შემცირება. დადგენილია, რომ ტენის,  $CO_2$ ,  $H_2S$ -სა და ნახშირწყალბადების ცეოლითებით ერთდროული ადსორბციისას გაწმენდის ხარისხი შეადგენს 98%-ს, ხოლო გაწმენდილ აირში გოგირდწყალბადის შემცველობა 2-5 მგ/მ<sup>3</sup>-ს. შთანთქმული ნივთიერებების დესორბცია და ცეოლითების რეგენერაცია ხორციელდება 350°C -მდე გაცხელებისას აირის ნაკადით. რეგენერირებულ აირში გოგირდწყალბადის მაქსიმალური კონცენტრაცია აღწევს 12%-ს, ხოლო დესორბციის ხარისხი შეადგენს 98%-ს.

ე.ი. ბუნებრივი ცეოლითი სინთეზურს მხოლოდ ადსორბციული ტევადობით ჩამორჩება და სხვა მაჩვენებლებით სრულად კონკურენტუნარიანია. ამასთან ბუნებრივი ცეოლითების მქავეური დამუშავება თითქმის ათჯერ ზრდის მათ დინამიურ ადსორბციულ ტევადობას, რის შედეგადაც სინთეზური ცეოლითების იდენტური ხდება.

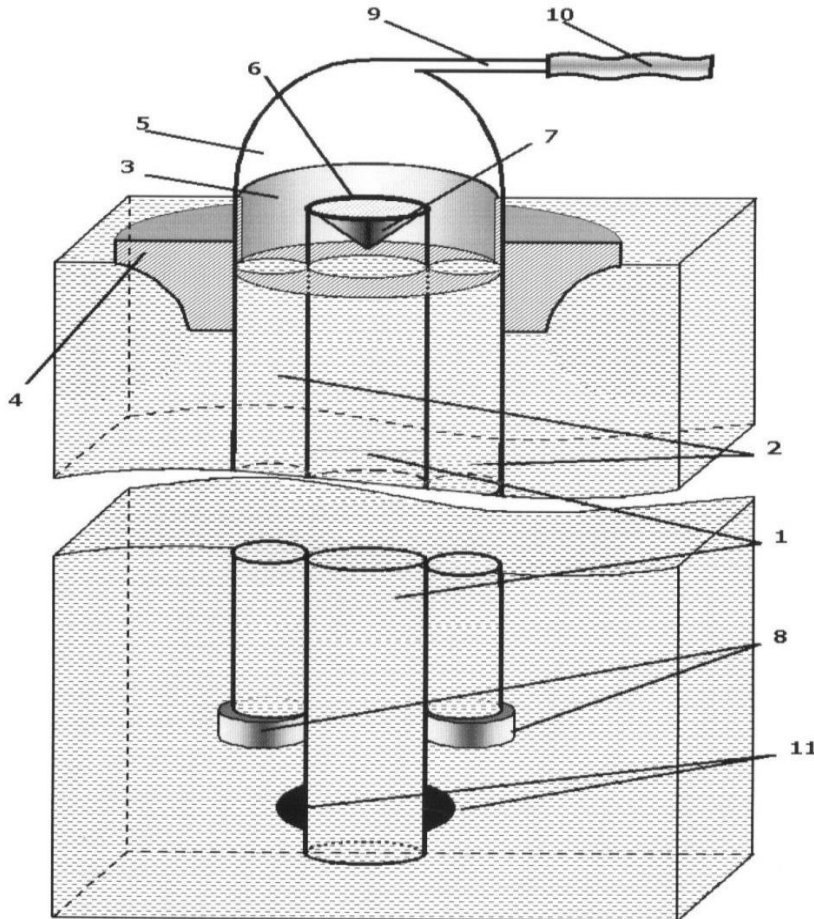
აღსანიშნავია, რომ აირების გოგირდწყალბადისაგან გასაწმენდად შეიძლება გამოყენებული იქნას მოდიფიცირებული კლინოპტილოლითი. ნაშრომში [29, 56] ნაჩვენებია, რომ გოგირდწყალბადის მიმართ კარგი ადსორბციული ტევადობით ხასიათდება რკინა ქლორიდის ხსნარით დამუშავებული ძეგვის კლინოპტილოლითი. ადსორბციულ მეთოდში გამოყენებულია 65 სმ სისქის მქონე ადსორბენტი, ადსორბციულ მეთოდში აირადი ნარევის სიჩქარეა 0,2 ლ/წთ, გოგირდწყალბადის კონცენტრაციაა 14,5-20 გრ/მ<sup>3</sup>, ხოლო რკინაშემცველი კლინოპტილოლითის აქტიურობა შეადგენს 11,5 გრ/100გ. გოგირდწყალბადის დესორბციის შესწავლა აჩვენებს, რომ ადსორბატის სრული მოცილება ხორციელდება 573-623 K ტემპერატურაზე, ხოლო შთანთქმული ნივთიერების ძირითადი რაოდენობა სცილდება 10-15 წთ-ში.

შავი ზღვის სიღრმისეულ წყლებში არსებული გოგირდწყალბადის პრაქტიკულად გამოყენების ამოცანის განსახორციელებლად საჭიროა სხვადასხვა ქიმიური და ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდის გაერთიანება კომპლექსურ კვლევებში. კერძოდ, საყურადღებოა სასარგებლო კომპონენტების ამოღების ეფექტური მეთოდის შერჩევა, ამოღებული კომპონენტებისაგან წყლის მოშორება; აირთა ნარევის 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 H<sub>2</sub>S შემცველი წყლის ამოღებას, რომელსაც ზღვის ზედაპირსა და მიმდებ უბანში არსებული წნევათა სხვაობა განაპირობებს.

გახსნილი აირების შემცველი სიღრმისეული წყლების ზღვის ზედაპირზე ამომტანი დანადგარი (ნახ. 2.10.) წარმოადგენს ვერტიკალურ და წყალგამტარ

მილსადენს, რომელიც დამაგრებულია ტივტივაზე. აღნიშნული დანადგარი იყენებს ტალღების ენერგიას და უზრუნველყოფს გახსნილი აირების შემცველი ღრმა წყლის ეფექტურ ამოღებას წყალსაცავის ზედაპირზე [48, 52].



ნახ. 2.10. სიღრმისეული წყლებიდან ზედაპირზე აირთა ნარევის ამოსატანი დანადგარი.

მოწყობილობა წარმოადგენს ვერტიკალურ მილს (1) წყლის ამოსატუმბად და რამდენიმე წყალგამტარ მცირე მილსადენს (2), რომლებიც ხისტად არის ერთმანეთთან დაკავშირებული ცილინდრულ ხუფში (3). ცილინდრული ხუფი და მილგაყვანილობა დამაგრებულია ტივტივაზე (4), ამასთან წყალგამტარი მილსადენების (2) ჯამური კვეთის ფართი შეესაბამება ამომტუმბავი მილის (1) განივ კვეთს. წყლის ამომტუმბავი მილისა (1) და წყალგამტარი მილსადენების (2) ზედა ბოლოები გახსნილია ცილინდრულ ხუფში (3), რომელზედაც ზემოდან დამაგრებულია სფერული ფორმის ხუფი-რეზერვუარი (5). წყლის ამომტუმბავი

მილის (1) ბოლო იმყოფება წყალგამტარი მილსადენების (2) ბოლოების ზემოთ და აღჭურვილია შემამჭიდროველი რგოლით (6), რომელიც დანიშნულია კონუსური ფორმის გრავიტაციული სარქველის (7) დასამაგრებლად. კონუსური სარქველი იხურება სიმძიმის ძალის მოქმედებით და მისი ფუძე მიმართულია ზევით, რაც უზრუნველყოფს სიღრმიდან ამოღებული წყლიდან აირების ინტენსიურ გამოყოფას. წყალგამტარი მილსადენების (2) ბოლოები აღჭურვილია სარქველებით (8). სფერული ხუფ-რეზერვუარის (5) ზედა ნაწილი მილგაცვანილობით (9) მიერთებულია აირამრთმევე შლანგთან (10). წყლის ამომტუმბავი მილის (1) ქვედა ბოლო აღჭურვილია ტვრით (11), რომელიც უზრუნველყოფს მის ვერტიკალურ მდგომარეობაში შენარჩუნებას.

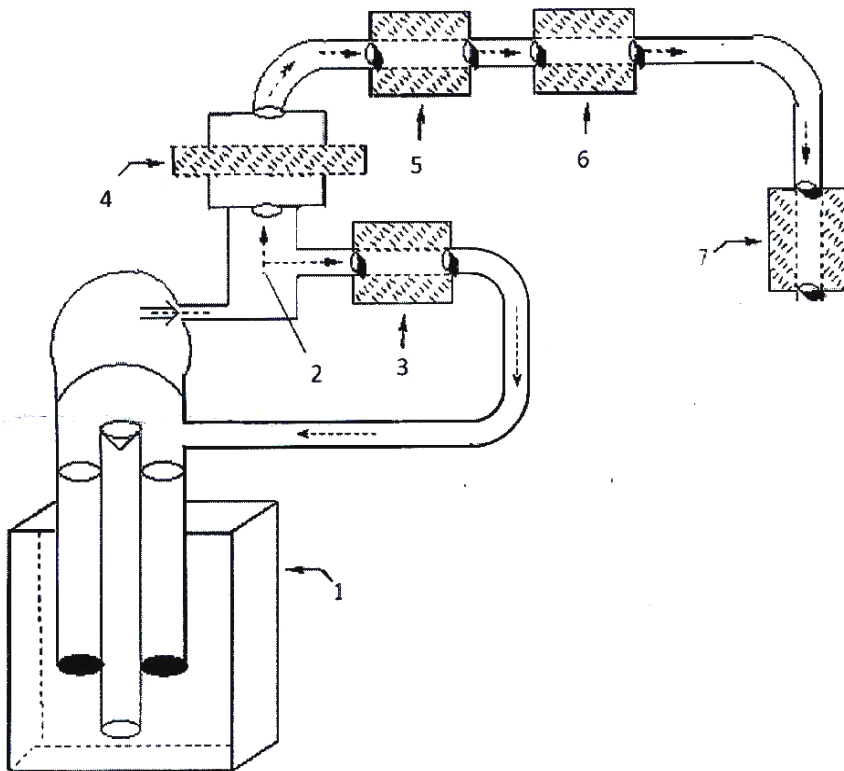
აღნიშნულ მოწყობილობას ვათავსებთ წყალში ვერტიკალურად სტატიკურ მდგომარეობაში. ამ შემთხვევაში წყლის ამომტუმბავი მილი (1), წყალგამტარი მილსადენები (2) და ცილინდრული ხუფი (3) ივსება წყლით ტივტივას (4) ვატერ-ხაზამდე. ტალღების ენერჯის ზემოქმედებით წყლის ამომტუმბავი მილის (1) სარქველი (7) იხურება, თავსდება შუასადებრგოლზე (6), რის შედეგადაც მილსადენში (1) წყალი გროვდება მანამ, სანამ მისი დონე არ გადააჭარბებს წყნარი ზღვის წყლის დონეს. იმავდროულად იქმნება დამატებითი ჰიდროსტატიკური წნევა (დინამიკურ და სტატიკურ დონეებს შორის), რის გამოც ავტომატურად იღება სარქველი (8) და ცილინდრულ ხუფში (3) მოთავსებული წყალი ბრუნდება სიღრმეებში. ამავე დროს ცილინდრული ხუფიდან (3) წყალი მასში გახსნილი აირების ნარჩენებით, რომლითაც ავსებული იყო რეზერვუარი (5), ვერტიკალური მილსადენით (1) მიემართება ქვემოთ წყალგამტარ მილსადენებში (2).

იმ შემთხვევაში, როცა დანადგარი მოძრაობს ტალღებს შორის, უარყოფითი ჰიდროსტატიკური წნევის მოქმედებით სარქველი (7) იღება და სიღრმისეული წყალი მასში გახსნილ აირებთან ერთად წყლის ამომტუმბავი მილიდან (1) მიედინება სფერულ რეზერვუარებში (5) აირების ბუნებრივი გამოყოფის თვისებების ხარჯზე და იმის გამო, რომ სარქველს (7) აქვს კონუსური ფორმა, სფერულ ხუფში (5) მილიდან (1) მიწოდებული წყალი ეჯახება შიგა კედლებს და გაიშხეფება, რაც უზრუნველყოფს მის ინტენსიურ არევას და აირების გამოყოფას. ამ დროს სარქველები (8) იკეტება და ეწინააღმდეგება მილგამტარში (2) სიღრმიდან წყლის მიწოდებას. ამ დროს აირი



გროვდება სფერულ სარქველ-რეზერვუარში (5), მილსადენით (9) მიეწოდება შლანგში (10) და აირის დამგროვებელ მოცულობაში, რომელიც შეიძლება იყოს მცურავი აირმზიდი გემი.

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



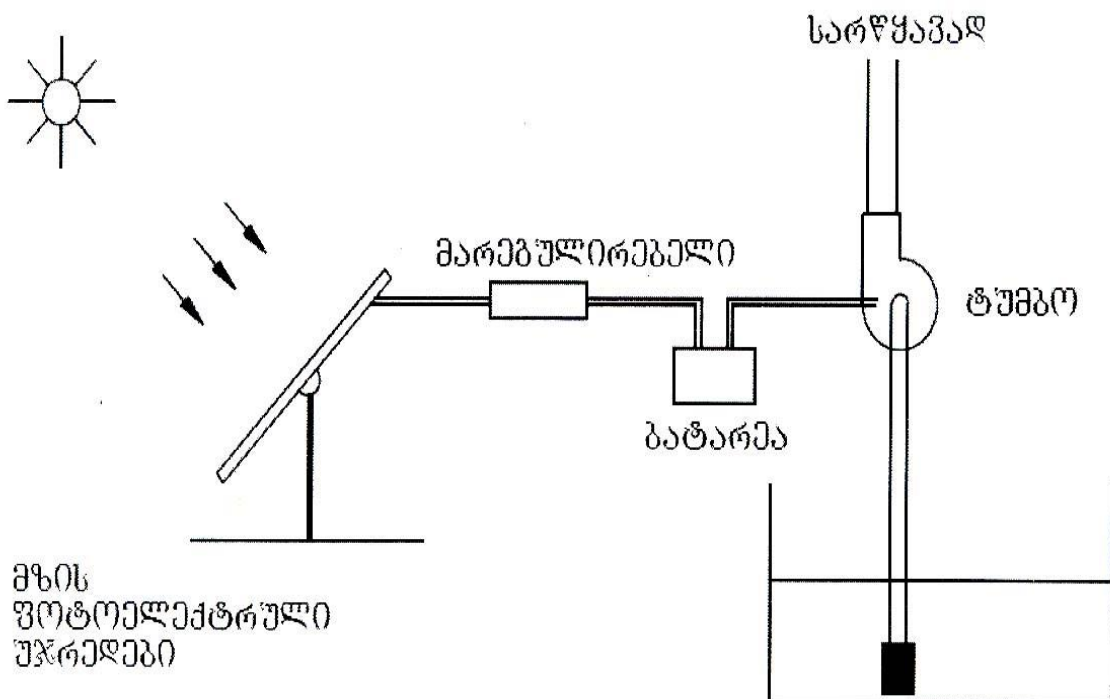
ნახ. 2.11. შავი ზღვის სიღრმისეული წყლებიდან აირადი ნარევების განცალკევებისა და დაყოფის სქემა მემბრანული ტექნოლოგიების და სორბციული მეთოდების გამოყენებით.

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 წყლიდან 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.

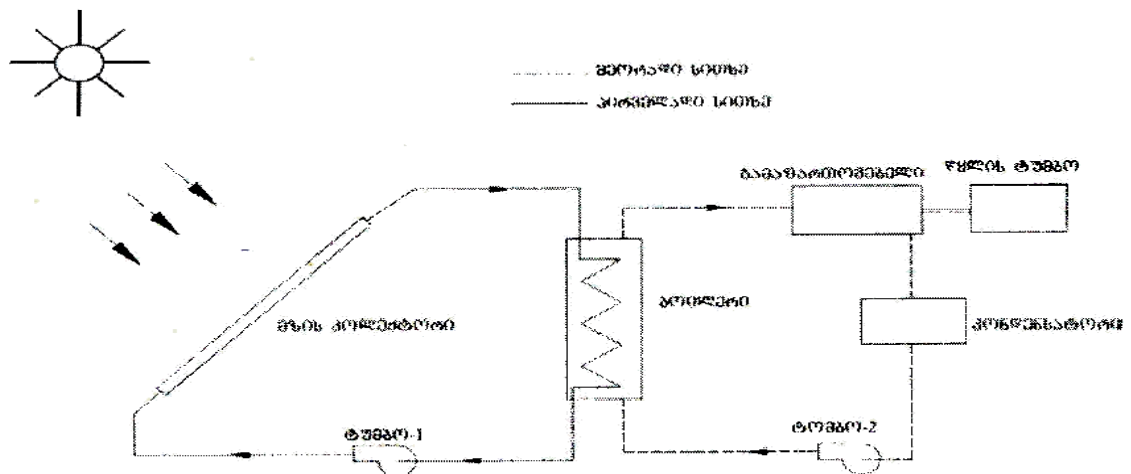
გარდა განხილული სისტემისა შავი ზღვის სიღრმიდან გოგირდწყალბადის შემცველი წყალხსნარის ამოტუმბვა შესაძლებელია ალტერნატიულ ენერგიაზე მომუშავე წყლის სატუმბი სისტემებით, რომლებიც ხუთ ძირითად ჯგუფადაა დაყოფილი:

- 1) ქარის ენერგიაზე მომუშავე სატუმბი სისტემები;
- 2) ბიომასის ენერგიაზე მომუშავე სატუმბი სისტემები;
- 3) განახლებადი ენერჯის წყაროების ჰიბრიდულ სქემებზე მომუშავე სისტემები;
- 4) მზის ფოტოელექტრული სატუმბი სისტემები;
- 5) მზის სითბოზე (ბრტყელი ჰელიოკოლექტორის ჩართვით) მომუშავე სატუმბი სისტემები.

ჩვენს გამოკვლევებში დასმული ამოცანის გადასაწყვეტად მიზანშეწონილია მზის ფოტოელექტრული და მზის სითბოზე მომუშავე სატუმბი სისტემების გამოყენება, რომელთა სქემები მოცემულია ნახ. 2.12. და ნახ. 2.13 [5, 57].



ნახ. 2.12. მზის ფოტოელექტრული სატუმბი სისტემის სქემა აკუმულაციის ბატარეით



ნახ. 2.13. მზის სითბოზე მომუშავე სატუმბი სისტემა

მზის ფოტოელექტრული წყლის სატუმბი სისტემა ფოტოელემენტებით გარდაქმნის მზის სხივების ენერგიას ელექტროენერგიაში, რომელიც ამუშავებს ელექტრო ტუმბოს. იგი შედგება მზის ფოტოელექტრული პანელების, ძრავისა და ტუმბოსაგან, რომელიც კონსტრუქციის მიხედვით მოითხოვს აკუმულატორს და დამუხტვის რეგულატორს. ამასთან ძრავი ირჩევა მოთხოვნილი სიმძლავრისა და სისტემის გამომავალი ნაკადის ტიპის მიხედვით. მართალია უბატარეო სისტემები არიან დაბალი ღირებულების და ითხოვენ ნაკლებ მომსახურებას, მაგრამ შენახვის ბატარეებს აქვთ უპირატესობა უზრუნველყონ გამართული მუშაობა მზის მცირე ნათებისას ან უმზეო საათებში.

ფოტოელექტრული წყალსატუმბი სისტემების წარმადობა განპირობებულია ძრავისა და ტუმბოს ტიპების, ფოტოელექტრული პანელების ოპტიმალური ზომების, მოდულების, პანელების გაცივებისა და სისტემის მართვის მეთოდებზე. ამასთან ასეთი სისტემების წარმადობა ძლიერაა დამოკიდებული გარემოს ისეთ პარამეტრებზე როგორცაა: მზის ინტენსივობა, გარემოს ტემპერატურა, ტენიანობა, ქარის სიჩქარე.

უნდა აღინიშნოს, რომ ასეთი სისტემების გამოყენებისას განპირობებულია გარკვეული შეზღუდვები: 1) სისტემის წარმადობა მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული მზის ინტენსივობის რყევებზე; 2) უჯრედებში ენერგიის გარდაქმნის განმავლობაში სითბო გენერირდება ფოტოელექტრულ ელემენტებში, რაც გავლენას ახდენს ელემენტის გამოსავლიანობაზე; 3) პანელის ზედაპირზე დაგროვილ მტვერს

დაყენებიდან რამდენიმე კვირაში შეუძლია დაკარგოს გამომუშავებული ენერჯის 30%-მდე; 4) გარემოს ფარდობითი ტენიანობა და ქარის სიჩქარე გავლენას ახდენს სისტემის წარმადობაზე; 5) მზის ფოტოელექტრული პანელები აწარმოებენ გლობალურ დათბობას მთელი თავიანთი სასიცოცხლო ციკლის განმავლობაში; 6) ფოტოელექტრული ენერჯის გარდაქმნის ეფექტურობა ძალიან დაბალია.

მზის ენერჯის გამომყენებელი წყლის სატუმბი მოწყობილობები ჰელიოტექნიკის მნიშვნელოვან მიმართულებას წარმოადგენს. სისტემაში ხდება მზის თბური ენერჯის გარდაქმნა მექანიკურ ენერჯიად. გარდაქმნილი მექანიკური ენერჯია გამოიყენება ტუმბოს ფუნქციონირებისათვის. ასეთი სისტემების ძირითადი უპირატესობაა დაბალი ფასი, არ თხოულობენ ტექნიკურ მომსახურებას და დამატებით მოძრავ მექანიკურ კომპონენტებს.

ამრიგად, შავ ზღვაში არსებული გოგირდწყალბადი ენერჯის ტრადიციული წყაროების მნიშვნელოვანი ალტერნატივაა და სიღრმისეული წყლებიდან მისი ამოღების განხილული მეთოდებიდან კვლევითი სამუშაოს ჩატარების მიზნით, ჩვენს მიერ შერჩეულ იქნა დიდი სიღრმეებიდან ჩვეულებრივი მილსადენის გამოყენებით ამოღების მეთოდი, რომელიც განპირობებულია ზღვის ზედაპირზე და მიმღებ უბანში არსებული წნევათა სხვაობით.

### **2.3. გოგირდწყალბადიდან წყალბადის მიღების მემბრანული პროცესის თეორიული და ექსპერიმენტული გამოკვლევა**

შავი ზღვის სიღრმისეულ წყლებში არსებული გოგირდწყალბადი შეიძლება იქცეს ალტერნატიული ენერჯის წყაროდ. კერძოდ მისგან მიღებული ეკოლოგიურად სუფთა საწვავი წყალბადი შესაძლებელია გამოყენებული იქნას მთელ რიგ ენერგეტიკულ მოწყობილობებში ენერჯის მისაღებად, რომელთა შორის საყურადღებოა სატრანსპორტო შიგაწვის ძრავი.

აღნიშნული ამოცანის განსახორციელებლად საჭიროა სხვადასხვა ქიმიური და ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდების გაერთიანება კომპლექსურ კვლევებში. კერძოდ საყურადღებოა შავი ზღვის სიღრმისეული წყლებიდან სასარგებლო კომპონენტების

ამოღების ეფექტური მეთოდის შერჩევა; წყლიდან კადიუმისა და მონიუმის იონების გამოყოფა; ამოღებული სასარგებლო კომპონენტებისაგან წყლის მოშორება; სპეციფიკური სელექტიურობის, ეფექტური გამტარიანობის მქონე ხელმისაწვდომი და მდგრადი დამყოფი მასალების შერჩევა; აირთა ნარევების მინიმალური ენერგოდანახარჯებით ეფექტური დაყოფა; ამოღებული სასარგებლო ნედლეულით ( $\text{CH}_4$ ;  $\text{K}^+$ ;  $\text{H}_2\text{S}$ ) კონცენტრატების გაზრდის შესაძლებლობის დადგენა და მიღებული წყალბადის ტექნიკური და ეკონომიკური თვალსაზრისით ეფექტური შენახვის მეთოდების შერჩევა.

როგორც წინა პარაგრაფებში ავლნიშნეთ შავი ზღვის სიღრმისეული წყლებიდან აირადი ნარევების განცალკევებისა და დაყოფისთვის ეფექტურია მემბრანული ტექნოლოგიებისა და სორბციული მეთოდების გამოყენება. ამ მიზნით ექსპერიმენტალური კვლევების ჩასატარებლად შერჩეული იქნა მემბრანები შემდეგი მახასიათებლებით:

1. პოლიეთილენის მემბრანა 1520 B : 100% პოლიეთილენი, სიმკვრივე - 85 გრ/მ<sup>3</sup>; წყალგაუმტარობა - 2 მ.
2. პოლიოლფენის მემბრანა 8327: 100% პოლიპროპილენი, წყალგაუმტარობა - 5 მ, სიმკვრივე - 108 გრ/მ<sup>3</sup>.

შერჩევასა გათვალისწინებული იქნა ის ფაქტი, რომ პოლიეთილენის მემბრანა კარგად ატარებს  $\text{H}_2\text{S}$  და  $\text{CH}_4$  და არ ატარებს წყალს, ხოლო პოლიოლფენის მემბრანა შედარებით ნაკლებად ატარებს გოგირდწყალბადის და მეთანის აირებს ვიდრე პოლიეთილენის მემბრანა.

სამუშაოს მოცულობა ითვალისწინებს შერჩეულ ბუნებრივ და ხელოვნურ ცეოლითებზე ამოღებული ბუნებრივი გოგირდშემცველი წყლებიდან გოგირდწყალბადის ადსორბციის შესაძლებლობის დადგენას, მასში სულფიდის უფრო მაღალი კონცენტრაციების მისაღებად, გოგირდწყალბადში დაგროვილი ენერჯის გამოყენების მიზნით.

ზღვის წყლიდან ადსორბციული კონცენტრირების მეთოდით გოგირდწყალბადის ამოღების მიზნით ჩატარებული იქნა კვლევები ადგილობრივი წარმოშობის ხეკორძულას  $\text{Ni}$ -ით მოდიფიცირებული კლინოპტილოლითით და ძეგვის დაუმუშავებელი ბუნებრივი კლინოპტილოლითით, რომელთა ქიმიური

შემადგენლობაა (%):  $\text{SiO}_2$  – 59,91;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 12,60;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 4,50;  $\text{MgO}$  – 1,4;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 1,57;  $\text{K}_2\text{O}$  – 1,52;  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  – 8,4 [8, 14]. კლინობტილოლითის სიმკვრივე - 2,11 გრ/სმ<sup>3</sup>; ზღვრული ადსორბციული მოცულობა წყლის მიმართ - 0,152 სმ<sup>3</sup>/გრ; ფორების ეფექტური რადიუსი (შემავალი ფანჯრების ზომა) –4 Å. 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±6,8 მგ/ლ pH=9,65; ხოლო ცაიშის წყალში 20,22±22,1 მგ/ლ pH=8,85.

ერთნაირი მოცულობის კოლბაში ხობის გოგირდიან წყალში ( $C_0=5,1$ მგ/ლ  $\text{H}_2\text{S}$ ). მოთავსებული იქნა შერჩეული 3 სახეობის თანაბარი წონის ცეოლითი. 48 საათის შემდეგ ჩატარებული იქნა ანალიზი ხსნარში  $\text{H}_2\text{S}$ -ის შემცველობაზე, გამოთვლილი იქნა ადსორბციის სიდიდე და  $\text{H}_2\text{S}$ -ის ამოღების ხარისხი, რომელიც გამოსახულია ცხრილი 2.1-ში.

ცხრილი 2.1.

ცეოლითებით გოგირდწყალბადის ადსორბცია ხობის გოგირდშემცველი წყლიდან ( $C_0=5,1$  მგ/ლ  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $V_0=250$  მლ;  $m=40$  გ.)

№	ცეოლითების დასახელება	pH ექსპერიმენტის შემდეგ	დაყოვნების დრო. სთ.	$\text{H}_2\text{S}$ კონცენტრაცია წყალში ადსორბციის შემდეგ $c$ , მგ/ლ	ადსორბციის სიდიდე $\alpha$ ; მგ/გ	$\text{H}_2\text{S}$ -ის ამოღების ხარისხი $E$ ; %
1	ხეკორძულას $\text{N}_1$ -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

აღნიშნული ექსპერიმენტული კვლევის ჩატარების შემდეგ, ცეოლითების ადსორბციული ცვლილების დასადგენად ნამუშევარი ხსნარი იცვლება ახლით ( $C_0=6,8$  მგ/ლ) და ყოვნდება 48 საათის განმავლობაში. ცდის შედეგები მოცემულია ცხრილში 2.2.

ცხრილი 2.2.

გოგირდწყალბადის ადსორბცია 48 საათის განმავლობაში ნამუშევარი ცეოლითებით ხობის გოგირდმემცველი წყლიდან ( $C_0=6,8$  მგ/ლ  $H_2S$ ,  $V_0=250$  მლ;  $m=40$  გ.)

№	ცეოლითების დასახელება	დაყოვნების დრო. სთ.	$H_2S$ კონცენტრაცია წყალში ადსორბციის შემდეგ $c$ , მგ/ლ	ადსორბციის სიდიდე; მგ/გ	$H_2S$ -ის ამოღების ხარისხი $E$ ; %
1	ხეკორძულას $N_1$ -ით მოდიფიცირებული ცეოლითი	48	0	0,0382	100
2	ძეგვის დაუმუშავებელი ცეოლითი	48	1,36	0,323	80
3	კათიონიტი KY-2-8.	48	0	0,0473	100

როგორც ცხრილიდან ჩანს  $H_2S$  შერჩეულ ცეოლითებზე ხასიათდება კარგი ადსორბციული ცვლადობით. ამასთან გამოცდილი ცეოლითებიდან მოდიფიცირებული ცეოლითის და კათიონიტის ამოღების ხარისხი  $H_2S$  მიმართ 83,3÷86,7%-ია, ხოლო შედარებით ნაკლები ეფექტურობით ხასიათდება ძეგვის დაუმუშავებელი კლინოპტილოლითი -50%.

ექსპერიმენტულმა კვლევამ აგრეთვე აჩვენა, რომ ნამუშევარი ცეოლითების ადსორბციის უნარი და შესაბამისად  $H_2S$  ამოღების ხარისხი იზრდება, კერძოდ მოდიფიცირებული და ხელოვნური ცეოლითებისათვის  $H_2S$ -ის ამოღების ხარისხი 100%-ია, ხოლო ძეგვის დაუმუშავებელი ცეოლითისათვის - 80%. ადსორბციის ჯამური დროის 96 საათის განმავლობაში, ადსორბენტად  $N_1$ -ით მოდიფიცირებული ცეოლითისა და კათიონიტის გამოყენებულ ხსნარებში  $H_2S$  - ის კონცენტრაცია 0 - მდე შემცირდა.

კვლევის შემდეგ ეტაპზე გამოყენებული იქნა ხეკორძულას  $N_1$ -ით მოდიფიცირებული ცეოლითი და სინთეზური კათიონიტი KY-2-8. ექსპერიმენტი ჩატარდა წინა ექსპერიმენტის ანალოგიურად, იცვლება მხოლოდ დაყოვნების დრო 1 საათიდან 48 საათამდე. თითოეული საანალიზო ხსნარიდან ამოღებულ ნიმუშზე ჩატარებული იქნა წყლის ანალიზი თავდაპირველად ყოველი საათის შემდეგ, ხოლო შემდგომ ეტაპზე 24 სთ და 48 სთ-ის შემდეგ. ანალიზის შედეგები მოცემულია ცხრილში 2.3. და ცხრილში 2.4.

ცხრილი 2.3.

გოგირდწყალბადის ადსორბცია ხეკორძულას  $N_1$ -ით მოდიფიცირებული ცეოლითით ხობის გოგირდშემცველი წყლიდან ( $C_0=0,01$  მგ/ლ  $H_2S$ ,  $V_0=250$  მლ;  $m=40$  გ.)

№	დაყოვნების დრო, სთ.	$H_2S$ კონცენტრაცია წყალში $C_0$ მგ/ლ	$H_2S$ კონცენტრაცია წყალში ადსორბციის შემდეგ $c$ , მგ/ლ	ადსორბციის სიდიდე $\alpha$ ; მგ/გ	$H_2S$ -ის ამოღების ხარისხი $E$ ; %
1	1	5,01	4,93	0,0009	1,7
2	2	4,93	4,46	0,0047	11,01
3	3	4,46	3,35	0,0102	33,2
4	4	3,35	2,72	0,0053	85,6
5	24	2,72	0,68	0,0155	86,4
6	48	0,68	0,34	0,0023	93,2

ცხრილი 2.4.

გოგირდწყალბადის ადსორბცია კათიონიტით KY-2-8 ხობის გოგირდშემცველი წყლიდან ( $C_0=6,8$  მგ/ლ  $H_2S$ ,  $V_0=250$  მლ;  $m=40$  გ.)

№	დაყოვნების დრო, სთ.	$H_2S$ კონცენტრაცია წყალში $C_0$ მგ/ლ	$H_2S$ კონცენტრაცია წყალში ადსორბციის შემდეგ $c$ , მგ/ლ	ადსორბციის სიდიდე $\alpha$ ; მგ/გ	$H_2S$ -ის ამოღების ხარისხი $E$ %
1	1	6,8	5,02	0,0164	26,2
2	2	5,02	5,01	0,000084	26,3
3	3	5,01	5,0	0,000076	26,4
4	4	5,0	2,38	0,0178	94,4
5	24	2,38	0,17	0,00132	97,5
6	48	0,17	0	0,00088	100

ცხრილიდან ჩანს რომ წყალში გოგირდწყალბადის კონცენტრაცია დროში მცირდება და შესაბამისად იზრდება მისი ამოღების ხარისხი.  $N_1$ -ით



მოდულირებული ცეოლითზე 1 საათის შემდეგ ამოღების ხარისხი შეადგენს მხოლოდ 5,1%-ს, 4 საათის შემდეგ- 42,3%-ს, ხოლო 48 საათის შემდეგ - 96,6%-ს. ასეთივე ტენდენცია შეინიშნება სინთეზური ცეოლითისთვისაც  $E_{\text{მინ}} = 1,7\%$  და  $E_{\text{მაქს}} = 93,2\%$ .

ე.ი. ჩატარებული ექსპერიმენტის მონაცემებიდან ჩანს, რომ მოდიფიცირებული ცეოლითები და სინთეზური კათიონიტი KY-2-8 ხასიათდება გოგირდწყალბადის ადსორბციის დიდი დიაპაზონით. შედარებით ნაკლებ ადსორბციის უნარს ავლენს ძეგვის დაუმუშავებელი კლინოპტილოლითი. ამასთან ადსორბციის პროცესზე მნიშვნელოვანია დროის ფაქტორის გავლენა.

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.  $H_2S$ -ის შემცველობაზე წყლის ანალიზი ხორციელდება ყოველი 15 წთ-ის შემდეგ. ცხრილები 2.5; 2.6; და 2.7.

ცხრილი 2.5.

გოგირდწყალბადის ადსორბცია  $N_1$ -ით მოდიფიცირებული ცეოლითით ცაიშის გოგირდიანი 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 $\alpha$ ; 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

ცხრილი 2.6.

გოგირდწყალბადის ადსორბცია ძეგვის დაუმუშავებელი ცეოლითით ცაიშის  
გოგირდიანი წყლიდან ( $C_0=15,2$  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 $a$ ; მგ/გ	$H_2S$ -ის ამოღების ხარისხი $E$ ; %
1	15	11,0	0,422	27,2
2	30	10,63	0,459	30,15
3	45	10,63	0,459	30,15
4	60	10,27	0,459	32,5
5	75	10,23	0,499	32,7
6	90	10,2	0,502	32,9

ცხრილი 2.7.

გოგირდწყალბადის ადსორბცია კათიონიტით KY-2-8 ცაიშის  
გოგირდიანი წყლიდან ( $C_0=15,2$  მგ/ლ  $H_2S$ ,  $V_0=50$  მლ;  $m=0,5$  გ.)

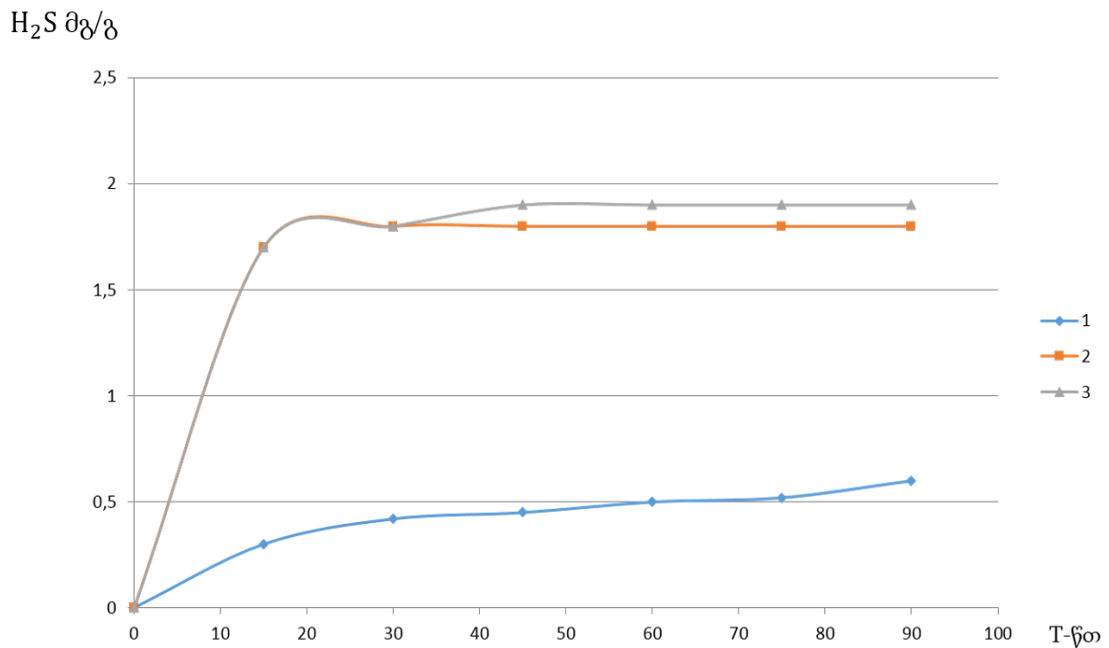
№	დაყოვნების დრო. წთ.	$H_2S$ კონცენტრაცია წყალში ადსორბციის შემდეგ $c$ , მგ/ლ	ადსორბციის სიდიდე $a$ ; მგ/გ	$H_2S$ -ის ამოღების ხარისხი $E$ ; %
1	15	13,0	0,224	14,6
2	30	12,18	0,306	20,08
3	45	11,2	0,404	26,5
4	60	10,8	0,444	29,1
5	75	10,8	0,444	29,1
6	90	10,8	0,464	30,4

ექსპერიმენტების შეჯამებული შედეგები მოცემულია ცხრილში: 2.8. ხოლო გოგირდწყალბადის ადსორბციის სიჩქარე ოთახის ტემპერატურაზე ( $25^{\circ}C$ ) ნახაზზე 2.14.

ცხრილი 2.8.

$H_2S$  ამოღების ხარისხი (E%) ცაიშის ბუნებრივი გოგირდმემცველი წყლიდან ( $C_0=22,1$  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
ხეკორძულას $N_1$ -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



ნახაზი 2.14. გოგირდწყალბადის ადსორბციის სიჩქარე ცეოლითებზე ( $25^{\circ}C$ ) .

1. ძეგვის დაუმუშავებელი კლინოპტილოლითი;
2.  $N_1$ - ით მოდიფიცირებული ცეოლითი ხეკორძულას კლინოპტილოლითი;
3. კათიონიტი KY-2-8.

ექსპერიმენტით მიღებული შედეგიდან ჩანს, რომ  $H_2S$  მაღალი ადსორბციული ტევადობით ხასიათდება სინთეზური კათიონიტი KY-2-8 და ხეკორძულას  $N_1$ -ით მოდიფიცირებული ბუნებრივი კლინოპტილოლითი, შედარებით დაბალია  $H_2S$ -ის ადსორბცია ძეგვის დაუმუშავებელ კლინოპტილოლითზე.

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

უკანასკნელ პერიოდში დადგინდა რომ შავ ზღვაში არსებულ გოგირდწყალბადს აქვს პოტენციური ეკონომიკური ღირებულება, რადგან მისგან შეიძლება მიღებული იქნას ეკოლოგიურად სუფთა საწვავი წყალბადი. არსებობს გოგირდწყალბადის დაშლის რამოდენიმე ხერხი: თერმული, თერმოქიმიური, ელექტროქიმიური, ფოტოქიმიური და პლაზმოქიმიური.

გოგირდწყალბადის თერმული დისოციაციის თერმოდინამიკური პროცესი განხილულია ნაშრომში [60] აღსანიშნავია რომ ექსპერიმენტული მონაცემებით გოგირდწყალბადის დისოციაცია შესაძრწევი ხდება  $400^{\circ}C$  დან და პრაქტიკულად მთავრდება  $1600^{\circ}C$  ტემპერატურაზე. ამავე ნაშრომში აღწერილია გოგირდწყალბადის თერმული დისოციაციის პროცესი მზის ღუმელის გამოყენებით, რომელიც აწვითარებს  $1300-2000\text{ K}$  ტემპერატურას. სხვა მეთოდებთან შედარებით ეკონომიური და ეკოლოგიური თვალსაზრისით, მზის ღუმელის გამოყენების უპირატესობაზე მიუთითებს ორთქლის ნაცვლად დიდი ენერგომოცულობის მქონე წყალბადის მიღება, რომლის ჰაერზე დაწვის სითბოა  $286\text{ კჯ/მოლი}$ , ხოლო მისაღებად საჭიროა მხოლოდ  $124,5\text{ კჯ/მოლი}$ . ენერგეტიკული მოგების გარდა მზის ღუმელი მომგებიანია ეკოლოგიურადაც, რადგან არ უკავშირდება ატმოსფეროში მავნე აირების გავრცელებას. ამ პროცესის გამოყენებით 3 მილი გოგირდწყალბადიდან მიიღება 1 მილი წყალბადი ე.ი. გარდაქმნის ხარისხი დაახლოებით  $34\%$ -ია.

გოგირდწყალბადის თერმული მეთოდით დასაშლელად ჩვეულებრივ იყენებენ კლაუსის პროცესს [60], მაგრამ იგი განკუთვნილია გოგირდის გამოსაყოფად ზოგიერთ კატალიზატორულ კონვექტორში ალუმინის მარილებით  $477-533\text{ K}$  ტემპერატურაზე, რომელიც მიიღება გოგირდწყალბადის ნაწილის ჰაერზე დაწვით დაახლოებით  $1/3$ . ამ შემთხვევაში მიიღება წყლის ორთქლიც, ხოლო თანმხლები აირები გამოიტყორცნება ან საჭიროებს ძვირადღირებულ გაწმენდას. რა თქმა უნდა ეკონომიკური და ენერგეტიკული რენტაბელობის შედარება კლაუსის პროცესსა და მზის ღუმელის გამოყენებას შორის ამ უკანასკნელის უპირატესობაზე მიუთითებს.

გოგირდწყალბადის გამოყოფას და დისოციაციის ზემოთმოყვანილი სხვა ვარიანტების განხილვისას აუცილებელია აღინიშნოს, რომ აღნიშნული მეთოდები საკმაოდ რთული და ძვირადღირებულია, საჭირო რესურსებისა და ენერგოდანახარჯების გამო.

#### 2.4. შავი ზღვის სიღრმისეული წყლებიდან მეთანის ადსორბციის პროცესის შესწავლა

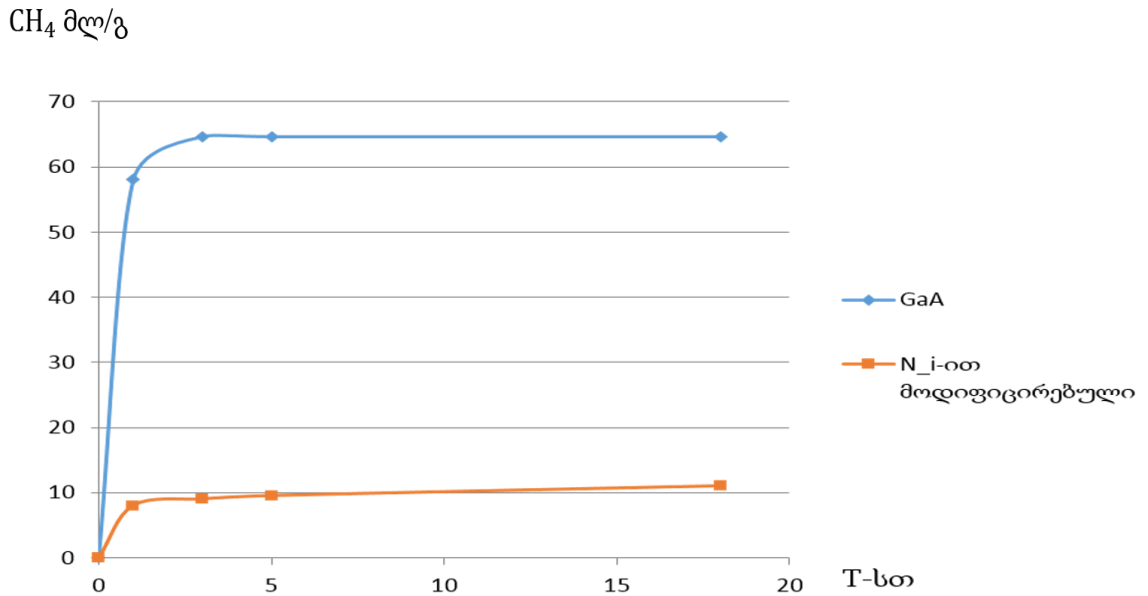
შავი ზღვის სიღრმისეულ წყლებში მეთანის მნიშვნელოვანი რაოდენობა განაპირობებს, მისი როგორც ალტერნატიული ენერჯის წყაროს, სატრანსპორტო ენერგეტიკულ დანადგარებში გამოყენების პროცენტული მაჩვენებლის გაზრდას. რადგან ბუნებრივი აირი ( $\text{CH}_4$ ) საწვავის ტრადიციულ სახესთან შედარებით უფრო ეკოლოგიურია, რადგან მასში ნახშირბადის მასური ნაწილი 74,95%-ია, მაშინ როცა იგივე მაჩვენებელი ბენზინისთვის 85,6%-ია, ხოლო დიზელის საწვავისთვის 86,1% [53], რაც წვის პროდუქტებში  $\text{CO}_2$ -ის კონცენტრაციის დაქვეითებას იწვევს.

ჩატარებული კვლევა გვიჩვენებს რომ მეთანი პრაქტიკულად არ ადსორბირებს გამოუმუშოვებ ცეოლითებზე, მაგრამ მეთანის ადსორბციის შესწავლა განხორციელდა წინასწარ გამომშრალ ხეკორძულას  $\text{N}_2$ -ით მოდიფიცირებულ ბუნებრივ კლინოპტილოლითზე და სინთეზურ ცეოლითებზე (GaA, კათიონიტი KY-2-8). ცდის შედეგად შესწავლილი იქნა  $\text{CH}_4$ -ის ადსორბციის სიჩქარე ცეოლითებზე, დაყოვნების დროზე დამოკიდებულებით, რაც მოცემულია ცხრილში 2.9 და ნახაზზე. 2.15.

ცხრილი 2.9.

$\text{CH}_4$ -ის ადსორბციის ( $\alpha$  მგ/გ) ცეოლითებზე  $t=25^\circ\text{C}$  ( $V=1$ ლ  $P=780$  მმ.ვწყ.სვ).

კლინოპტილოლითი	T სთ			
	1	3	5	18
GaA	58,00	64,67	64,67	64,67
ხეკორძულას $\text{N}_2$ -ით მოდიფიცირებული ცეოლითი	8,00	9,00	9,50	10,99
კათიონიტი KY-2-8	0	0	0	0



### ნახ. 2.15. CH<sub>4</sub>-ის ადსორბციის სიჩქარე ცეოლითებზე

გამოკვლევამ გვიჩვენა რომ მეთანის მიმართ მაღალი ადსორბციული ტევადობით ხასიათდება სინთეზური ცეოლითი GaA, გაცილებით დაბალი მწარმოებლობისაა ხეკორძულას Ni-ით მოდიფიცირებული ცეოლითი, ხოლო კათიონიტზე KY-2-8 მეთანი საერთოდ არ ადსორბირდება. თუმცა ადსორბციის სიჩქარე ორივე განსახილველ შემთხვევაში დაყოვნების დროზე თითქმის არ არის დამოკიდებული. ე.ი. ბუნებრივი წარმოშობის ცეოლითები და სინთეზური GaA შეიძლება გამოყენებული იქნას შავი ზღვის სიღრმისეულ წყლებში არსებული CH<sub>4</sub>-ის მიმართ მაღალეფექტურ ადსორბენტად.

## 2.5. წყალბადის შიგაწვის ძრავებში გამოყენების პირობების გამოკვლევა

წყალბადის როგორც საწვავის საავტომობილო ტრანსპორტზე გამოყენების პერსპექტივა განპირობებულია, როგორც ეკოლოგიური სისუფთავით და მარაგით ასევე შესანიშნავი ძრავური თვისებებით (ანუ საწვავის ძრავში გამოყენებისთვის საჭირო თვისებები), რაც იძლევა თანამედროვე ძრავებზე მისი ფართოდ გამოყენების საშუალებას მნიშვნელოვანი კონსტრუქციული ცვლილებების გარეშე.

სატრანსპორტო შიგაწვის ძრავების ნებისმიერი სათბობის ვარგისიანობა განისაზღვრება მისი ძრავური თვისებებით. წყალბადი გამოირჩევა რიგი თავისებურებებით და მისი გამოყენება საშუალებას იძლევა თვისობრივად შევცვალოთ მუშა პროცესი, რაც მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს სათბობის ეკონომიას და ამცირებს წვის პროცესებში მავნე ნივთიერებების რაოდენობას.

როგორც წესი ძრავში მიმდინარე მუშა პროცესზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს საწვავის თვისებები, რადგან იგი განსაზღვრავს ნარევეწარმოქმნის ხარისხს. ცხრილში: 2.10. მოცემულია სხვადასხვა საავტომობილო საწვავის ძრავური მახასიათებლები, რაც განაპირობებს მუშა პროცესის განსხვავებით მიმდინარეობის თავისებურებებს [16, 27, 49, 53, 66].

ცხრილი 2.10.

შიგაწვის ძრავებში გამოყენებული საწვავების თბოფიზიკური მახასიათებლები

თვისება	ბენზინი	დიზელის საწვავი	მეთანი	წყალბადი
სიმკვრივე თხევად მდგომარეობაში, კგ/მ <sup>3</sup> p=1,013 ბარი t <sup>o</sup> c	750-770 15 <sup>o</sup> c	820-845 15 <sup>o</sup> c	423 -162 <sup>o</sup> c	70,8 -253 <sup>o</sup> c
მოლური ბარი კგ/კმოლი	98	190	16,04	2,02
დუღილის ტემპერატურა, °c p=1,013 ბარი	30-190	210-355	-161,5	-252,8
დაწვის უდაბლესი სითბო კჯ/კგ	41400	42900	50000	12000
აალების ზღვარი ჰაერში t=25 <sup>o</sup> c, p=1,013 ბარი, მოცულობითი ინტერვალი $\alpha_{\beta}$	1-7,6 1,4-0,4	0,6-5,5 1,75-0,48	4,4-15 2,28-0,6	4-76 10-0,13
ჰაერის სტექიომეტრიული რაოდენობა კგ·ჰაერი/კგ·საწვავი	14,0	14,7	17,2	34,3
ჰაერზე თვითაალების ტემპერატურა °c p=1,013 ბარი	230-450	250	595	585
ჰაერთან დიფუზიის კოეფიციენტი მ <sup>2</sup> /წმ p=1,013 ბარი t=°c	5·10 <sup>-6</sup>	-	16·10 <sup>-6</sup>	61·10 <sup>-6</sup>
ანთების მინიმალური ენერგია მჯ	0,24	0,24	0,29	0,017
ალის ნომინალური სიჩქარე ჰაერში მ/წმ p=1,013 ბარი t=25 <sup>o</sup> c $\alpha_{\beta}$ =1	0,4	0,4	0,42	2,3

შწმ-ში წყალბადის როგორც საწვავის გამოყენებისას შესაძლებელია ნარევეწარმოქმნის სხვადასხვა ხერხის განხორციელება. იძულებითი ანთებით მომუშავე ძრავებში შესაძლებელია როგორც გარე ასევე შიგა ნარევეწარმოქმნა. ანუ

წყალბადი მიეწოდება როგორც შევსების პროცესში ასევე კუმშვის დასაწყისში. თვითაალებად ძრავებში შესაძლებელია როგორც გარე ასევე შიგა ნარევეწარმოქმნა.

გარე ნარევეწარმოქმნის დროს ჰომოგენურობის ხარისხი განისაზღვრება საწვავის ისეთი თვისებებით, როგორცაა დუდილის ტემპერატურა და დიფუზიური შესაძლებლობა. ამ მიმართულებით წყალბადს ახასიათებს შესანიშნავი თვისებები. კერძოდ დუდილის ტემპერატურა  $-252,8^{\circ}\text{C}$  გამორიცხავს ნებისმიერ პირობებში ძრავის მუშაობისას ნარევეში თხევადი ფაზის არსებობას. ასევე წყალბადის და ჰაერის დიფუზიის კოეფიციენტი 12 ჯერ აღემატება ჰაერისა და ბენზინის დიფუზიის კოეფიციენტს, რაც უზრუნველყოფს წყალბადის ჰაერში კარგ შერევას და უკეთესი სამუშაო ნარევის მიღებას ვიდრე ბენზინის შემთხვევაში.

შიგა ნარევეწარმოქმნის დროს კუმშვის პროცესში საწვავის მიწოდების ჰომოგენური ნარევის წარმოქმნის მოთხოვნები გამკაცრებულია, რადგან ნარევეწარმოქმნის დრო გაცილებით ნაკლებია ვიდრე გარე ნარევეწარმოქმნის შემთხვევაში. ნახშირბადიან საწვავთან შედარებით ამ მოთხოვნებს გაცილებით კარგად აკმაყოფილებს წყალბადი, როგორც თხევად ასევე აიროვან მდგომარეობაში.

წყალბადზე მომუშავე ძრავის მუშა პროცესის მნიშვნელოვან თავისებურებას წარმოადგენს აალების ზღვარი, ან რაც იგივეა საწვავისა და ჰაერის შემადგენლობის ცვლილების ისეთი ზღვარი, რომელზედაც შესაძლებელია მისი აალება და წვა. მისი შეფასება ხდება ნარევეში საწვავის მოცულობითი შედგენილობით ან ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტის მნიშვნელობით. წყალბადისა და ჰაერის ნარევეში წყალბადის მოცულობითი წილის მინიმალური მნიშვნელობაა 0,04-0,1 ხოლო მაქსიმალური 0,7-0,8, მაშინ როცა ბენზინისა და ჰაერის ნარევისთვის იგივე მნიშვნელობა შეადგენს შესაბამისად 0,014-0,24 და 0,04-0,08. ასევე მეთანისა და ჰაერის ნარევისთვის იგივე მნიშვნელობებია 0,05-0,06 და 0,127-0,015. თუ ამ სიდიდეებს გამოვსახავთ ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტის მნიშვნელობებით მაშინ წყალბადის შემთხვევაში  $\alpha=0,13\div 10$ ; ბენზინისათვის  $\alpha=0,4\div 1,4$  და მეთანისათვის  $\alpha=0,6\div 2,28$ .

ძრავური თვისებებიდან გამომდინარე განსაკუთრებით საინტერესოა აალების ქვედა ზღვარი, რადგან იგი საშუალებას იძლევა შევაფასოთ საწვავის ნარევის ეფექტური გაღარიბების ხარისხი და რეალურად განვსაზღვროთ ძრავის რეგულირების მეთოდი. ეს მაჩვენებელი კი წყალბადისათვის რამდენჯერმე მეტია



ბენზინთან შედარებით, რაც აღნიშნული საწვავის უპირატესობაზე მიგვანიშნებს. აღსანიშნავია ასევე, რომ დაბალი ტემპერატურის პირობებშიც შესაძლებელია ძრავის სიმძლავრის ხარისხობრივი რეგულირება, რაც ბენზინთან ძრავებთან შედარებით იძლევა საწვავის დიდ ეკონომიას დატვირთვისა და ბრუნთა რიცხვის ფართო დიაპაზონში.

ძრავში გამოყენებული სათბობის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მახასიათებელია აალების ენერგია, რომლის სიდიდე დამოკიდებულია ნარევის შედგენილობაზე. ენერგიის მინიმალური მნიშვნელობა შეესაბამება ნარევის სტექიომეტრულ შედგენილობას, ხოლო მაქსიმალური აალების შესაბამის ზღვრულ მნიშვნელობას. კვლევების საფუძველზე აალების ენერგიის დამოკიდებულება ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტზე ( $\alpha$ ) სხვადასხვა სახის საწვავისთვის სხვადასხვაა და სტექიომეტრული შედგენილობისთვის წყალბადის საწვავის ეს ენერგია თითქმის 12-ჯერ ნაკლებია ბენზინთან შედარებით და შეადგენს 0,017 მჯ-ს. წყალბადის აალებადობის ფართო დიაპაზონი საშუალებას იძლევა განხორციელდეს ნებისმიერი ნარევის აალება ანთების წყაროდან. წყალბადისა და ჰაერის ნარევის აალებისთვის საჭირო მინიმალური ენერგია საშუალებას იძლევა შევამციროთ მუშა ციკლების მაღალი იდენტურობა.

შწმ-ში გამოყენებული საწვავის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მახასიათებელია ჰაერზე თვითაალების ტემპერატურა. ამ მხრივ წყალბადი სხვა სახის საწვავთან შედარებით მაღალი მაჩვენებლით გამოირჩევა. თვითაალების ტემპერატურის მნიშვნელობა განსაზღვრავს კუმშვის ბოლოს ტემპერატურის მნიშვნელობას, რომელიც მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული კუმშვის ხარისხის სიდიდეზე. რადგან კუმშვის ბოლოს ტემპერატურა განისაზღვრება ფორმულით:

$$T_c = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{n_p-1} = T_1 \Sigma^{n_p-1} \quad (2.1)$$

სადაც  $T_1$  - ტემპერატურაა კუმშვის დასაწყისში;

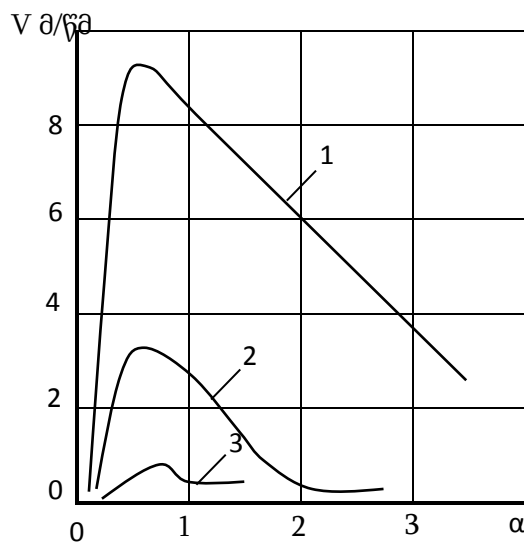
$\frac{V_1}{V_2} = \Sigma$  - კუმშვის ხარისხია;

$T_c$  - ტემპერატურა კუმშვის ბოლოს;

$n_p$  - კუმშვის პოლიტროპის მაჩვენებელია.

თვითაალების ტემპერატურა ყოველთვის მეტი უნდა იყოს კუმშვის ბოლოს ტემპერატურის მნიშვნელობაზე, რაც თავიდან აგვაცილებს წინასწარი აალების პროცესს. აღნიშნულის გამო წყალბადზე მომუშავე ძრავებში კუმშვის ხარისხის მნიშვნელობა შედარებით მაღალია, თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ წვის კამერაში წყალბადის წვისას დეტონაციური მდგრადობა არასტაბილურია, რაც გამოწვეულია მისი ოქტანური რიცხვის დიდი დიაპაზონით (45-დან 70-მდე).

საწვავი ნარევის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მახასიათებელია წვის სიჩქარე რომელიც დამოკიდებულია მის ფიზიკო-ქიმიურ შედგენილობასა და წვის პირობებზე. ნახ. 2.16-ში წარმოდგენილია ალის გავრცელების სიჩქარის დამოკიდებულება ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტზე: ბენზინისა და ჰაერის, წყალბადისა და ჰაერის და წყალბადისა და ჟანგბადის ნარევის გამოყენებისას. აღსანიშნავია, რომ ყველა შემთხვევაში ალის გავრცელების სიჩქარის მაქსიმალური მნიშვნელობა მიიღწევა  $\alpha=0,6-0,7$  ზღვრებში, ხოლო სტექიომეტრიული ნარევის დროს ჰაერისა და წყალბადის ნარევის წვის სიჩქარე 2-3 ჯერ აღემატება ბენზინისა და ჰაერის ნარევის წვის სიჩქარეს. ეს ნიშნავს, რომ წყალბადზე მომუშავე ძრავი უფრო ახლოსაა თავისი მაჩვენებლებით თერმოდინამიკურ ციკლთან.



ნახ. 2.16. ალის ფრონტის გავრცელების სიჩქარის დამოკიდებულება ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტზე.

წყალბადი და ჰაერის ნარევის წვის მაღალი სიჩქარე ერთის მხრივ დადებითად მოქმედებს მუშა პროცესის ეფექტურობაზე, მაგრამ მეორეს მხრივ შეიძლება

გამოიწვიოს ცილინდრში წნევის ზრდის მაღალი სიჩქარე, რაც არასასურველი პროცესია.

აქვე უნდა აღინიშნოს რომ წყალბადის წვის დროს მოლეკულური ცვალებადობის კოეფიციენტი ნაკლებია ერთზე ( $\mu=0,85$ ) რაც სითბოს მექანიკურ ენერჯიაში გადასვლის თვალსაზრისით ცუდი მაჩვენებელია, თუმცა ამ ნაკლოვანების გამოსწორება ნაწილობრივ შესაძლებელია წყალბადისა და ჰაერის ნარევის წვის გაცილებით მაღალი ტემპერატურით. ასევე სხვა თანაბარ პირობებში ციკლის საშუალო ინდიკატორული წნევა წყალბადის გამოყენების შემთხვევაში უფრო დაბალია ვიდრე თხევადი და აიროვანი საწვავის დროს.

როგორც ცხრილიდან ჩანს წყალბადის თვითაალების ტემპერატურა ბენზინისა და დიზელის საწვავის თვითაალების ტემპერატურაზე გაცილებით მაღალია, რაც ართულებს მის გამოყენებას თვითაალებით მომუშავე ძრავებში. თუმცა წყალბადის ეს თვისება ჰომოგენური ნარევისთვის (გარე ნარევეწარმოქმნით ძრავებში) უარყოფითად მოქმედებს დეტონაციური წვის განვითარებაზე. ლამინარული ალის მაღალი სიჩქარე მიუთითებს იმაზე რომ წყალბადის წვა შეიძლება განხორციელდეს დროის მცირე მონაკვეთში რაც ხელსაყრელია მქვ გაზრდის თვალსაზრისით.

აღსანიშნავია, რომ წყალბადისა და ჰაერის გაღარიბებული ნარევის წვის სიჩქარე მნიშვნელოვნად მაღალია ვიდრე სხვა სახის საწვავების შემთხვევაში. მაგრამ წვის მაღალი სიჩქარე, განსაკუთრებულად სტექიომეტრულ ნარევეში იწვევს წნევის ამალლების ხარისხის გაზრდას ე.ი. იზრდება ძრავის სიხისტე და შესაბამისად ხმაურის დონე.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, თანამედროვე ეტაპზე აქტიურად მიმდინარეობს სამუშაოები აირად წყალბადზე დიზელების კონვერტაციის მიზნით. ცილინდრში აირადი წყალბადის უშუალოდ შეფრქვევით დიზელების განვითარების კონცეფცია ხასიათდება მთელი რიგი დადებითი მხარეებით (საბაზისოსთან შედარებით), თუმცა ჯერჯერობით თანამედროვე ძრავებზე სერიული რეალიზება ვერ ხერხდება. აღსანიშნავია რომ ცილინდრში აირადი წყალბადის თვითაალების და შემდგომ სამუშაო პროცესის სტაბილურად წარმართვის უზრუნველსაყოფად აუცილებელია კუმშვის ხარისხის გადიდება და ჰაერის შეთბობა შესასვლელზე. ამავე დროს მნიშვნელოვანია ფრქვევანას კონსტრუქციის და საწვავის ციკლური მიწოდების

ოპტიმალური ვარიანტის შერჩევა, რაც მნიშვნელოვნად განაპირობებს ძრავის სამუშაო პროცესის მიმდინარეობას და სიმძლავრითი, ეკონომიკური და ეკოლოგიური მახასიათებლების საუკეთესო მაჩვენებლების მიღწევას.

ე.ი. ზემოთმოყვანილი ანალიზიდან გამომდინარე შესაძლებელია გავაკეთოთ დასკვნა წყალბადის საავტომობილო ტრანსპორტზე როგორც ალტერნატიული და მომავლის საწვავის გამოყენების მიზანშეწონილობის შესახებ.

## 2.6. წყალბადის შენახვის მეთოდები

წყალბადის ენერგეტიკის პროგრესული განვითარების მიზნით, ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ამოცანაა, მისი ტექნიკურად და ეკონომიურად ეფექტური შენახვისა და ტრანსპორტირების ორგანიზაცია. მიუხედავად იმისა რომ წყალბადი გამოირჩევა მაღალი თბოუნარიანობით და ეკოლოგიურად სუფთა ენერგომატარებელია, მისი გამოყენება საკმაოდ დაბალი სიმკვრივის გამო ( $0,09 \text{ კგ/მ}^3$ ,  $0^\circ\text{C}$  და  $1 \text{ ატმოსფერო წნევის დროს}$ ) მნიშვნელოვან სირთულესთანაა დაკავშირებული. წყალბადის სიმკვრივის გაზრდის მიზნით აუცილებელია მისი შეკუმშვა ასეულ ატმოსფერომდე, გაცივება დუდილის ტემპერატურაზე დაბლა (ნორმალური ატმოსფერული წნევის დროს დუდილის ტემპერატურა  $-253^\circ\text{C}$ ) ან გადაყვანა ბმულ მდგომარეობაში. პირველ ორ შემთხვევაში წყალბადის მოლეკულები არ ურთიერთქმედებენ შესანახ არესთან, ხოლო მესამე შემთხვევაში მიმდინარეობს ფიზიკურ-ქიმიური ზემოქმედება შესანახ არესთან (ადსორბცია, ქიმიური რეაქცია, აბსორბცია).

თანამედროვე ეტაპზე დანერგილია აირბალონური და კრიოგენული თხევადი წყალბადის წარმოება და მისი შენახვის პირობებს განსაზღვრავს ამა თუ იმ მეთოდის რეალიზაციის ენერგოდანახარჯები. კერძოდ რაც უფრო მაღალია წყალბადის წნევა და შენახვის ტემპერატურის სხვაობა გარემოს ტემპერატურასთან მით მაღალია ენერგოდანახარჯები. ამიტომ ოპტიმალური მეთოდი მოიცავს მაღალი სიმკვრივის წყალბადის შენახვას დაბალი ენერგოდანახარჯებით.

დიდი რაოდენობით აირადი წყალბადის შენახვა ატმოსფერულ და 15 მპა წნევამდე, ბუნებრივი აირის შენახვასთან შედარებით გარკვეულ სირთულეებთანაა დაკავშირებული და ამ მიზნით გამოიყენება ბუნებრივი ან სინთეზური რეზერვუარები, რომელთა საერთო ტევადობა აღწევს რამდენიმე ასეული ათასობით მ<sup>3</sup>-ს. ჩვეულებრივ აირადი წყალბადის შენახვა-ტრანსპორტირება ხორციელდება რამდენიმე ლიტრიდან რამდენიმე მ<sup>3</sup>-მდე ტევადობის 35 მპა-მდე წნევის ქვეშ (ასეთ ბალონებში შენახვის მოცულობითი სიმკვრივეა 10-12 კგ/მ<sup>3</sup>).

XX საუკუნის ბოლო წლებიდან პრაქტიკაში დაინერგა თხელი ალუმინის ან პლასტიკური ჰილზისგან დამზადებული ახალი თაობის აირადი ბალონები, რომლებიც გარედან დაფარულია კომპოზიციური პლასტიკით არმირებული მინის ან ნახშირბადის ბოჭკოთი. ასეთ ბალონებში შესაძლებელია წყალბადის შენახვა 35-70 მპა-მდე წნევის ქვეშ და მისი სიმკვრივე 30კგ/მ<sup>3</sup> აღწევს. წყალბადის შესანახი ბალონების წამყვან მწარმოებლებს წარმოადგენს ფირმები „Dynetec“ (კანადა, გერმანია); „Quantum“ (აშშ); „BOC“ (დიდი ბრიტანეთი) და სხვ. წყალბადის ბალონებში შენახვის ძირითადი უპირატესობაა აირის გამოშვების სიმარტივე და ენერგოდანახარჯების არარსებობა, თუმცა დაბალი სიმკვრივე და მაღალი წნევების ქვეშ ფეთქებადსაშიში აირის გამოყენებით განპირობებულია უსაფრთხოების პრობლემების დაცვა.

ვინაიდან წყალბადის არაპოლარული მოლეკულები სუსტად ურთიერთქმედებენ ერთმანეთთან ამიტომ აირადი წყალბადის კონდენსაცია მოითხოვს ღრმა გაცივებას. დაბალი კრიტიკული ტემპერატურის (-240°C) გამო, თხევადი წყალბადის შენახვა შესაძლებელია როგორც ღია სისტემაში ისე სპეციალურ დახურულ რეზერვუარებში (კრიტიკული წნევაა 1,3 მპა). დღეისთვის კარგადაა დამუშავებული წყალბადის გათხევადებისა და შენახვის ტექნოლოგია. რისთვისაც შექმნილია მაღალეფექტური კრიოგენული მეთოდები და გაუმჯობესებულია უსაფრთხოების ზომები. თუმცა თხევადი წყალბადის შენახვა მისი აორთქლების გამო დაკავშირებულია გარდაუვალ და მნიშვნელოვან დანაკარგებთან, რის გამოც მეთოდის ძირითადი ნაკლია მაღალი ენერგოდანახარჯები.

საავტომობილო ტრანსპორტზე წყალბადის როგორც სათბობის გამოყენება დაკავშირებულია ისეთი პრობლემის გადალახვასთან, როგორცაა ავტომობილის

ძარაზე მისი აკუმულირება. აკუმულირება კი შესაძლებელია როგორც თხევად, ასევე შეკუმშულ და ე.წ. ბმულ მდგომარეობაში. თუმცა შესაძლებელია უშუალოდ ავტომობილის ბორტზე წყალბადის მიღება კატალიზატორის საშუალებით წყლის დისოციაციის საფუძველზე. აკუმულირების ხერხის მიუხედავად სისტემამ უნდა უზრუნველყოს ისეთი მოთხოვნები როგორცაა: მარტივი მომსახურეობა, კომპაქტურობა, მაღალი ხანძარ და აფეთქების საწინააღმდეგო უსაფრთხოება.

ამ მიმართულებით დღეისათვის შედარებით მარტივ ხერხს წარმოადგენს წყალბადის შენახვა ბალონებში ნახ. 2.17. [71], რომლებიც განთავსებულია ავტომობილის ძარაზე. თანამედროვე სერიულად გამოშვებული მაღალი წნევის ბალონი წარმოადგენს უნაკერო მოცულობას 40-250ლ ტევადობით და გათვლილია 10-40 მპა წნევაზე. ამასთან ბალონის ტიპის მიხედვით აკუმულირებული წყალბადის მასა შეადგენს ბალონის მასის 0,7-1,3%-ს.



ნახ. 2.17. „TOYOTA“ მიერ წარმოდგენილი წყალბადის ბალონი

ბალონების მასური და გაბარიტული მაჩვენებლების გაუმჯობესება შესაძლებელია თანამედროვე მაღალი სიმტკიცის მასალების გამოყენებით, რომლის დროსაც შესაძლებელია ბალონში სამუშაო წნევის 60-75 მპა განითარება და აკუმულირებული წყალბადის მასური წილის 0,04-0,05 მიღწევა.

წყალბადის ბალონებში შენახვის ძირითად უპირატესობას წარმოადგენს აირის გამოშვების სიმარტივე და ენერგოდანახარჯების არარსებობა, თუმცა დაბალი მოცულობითი სიმკვრივე და მაღალი წნევების ქვეშ ფეთქებადსაშიში აირის გამოყენებით განპირობებული უსაფრთხოების პრობლემები აირადი წყალბადის შენახვის არსებითი ნაკლოვანებაა. ამასთან რეალურ სისტემებში წყალბადის შენახვის მაჩვენებლების გაუმჯობესება შეზღუდულია ბალონის მოცულობითა და მასით.

### თავი 3. შიგაწვის ძრავებში წყალბადის როგორც ალტერნატიული საწვავის გამოყენების თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების ანალიზი

#### 3.1. წყალბადზე მომუშავე შიგაწვის ძრავების ენერგო-ეკოლოგიური მახასიათებლების თეორიული კვლევის ანალიზი

##### 3.1.1. თეორიული ციკლების გაანგარიშების მეთოდოლოგია და ენერგეტიკული მაჩვენებლები

შიგაწვის ძრავების ენერგო-ეკოლოგიური 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 ( $\alpha$ ) ფართო დიაპაზონში, კუმშვის ხარისხის ( $\epsilon$ ) ცვლილებისას.

თეორიული ციკლის სახით ვიხილავთ შეუქცევად ციკლს რომელშიც მიმდინარეობს ჰაერისა და საწვავის იდეალური ნარევის ადიაბატური კუმშვა, ადიაბატური წვა მუდმივი მოცულობის დროს და წვის პროდუქტების ადიაბატური გაფართოება. რადგან გარე ნარევეწარმოქმნით მომუშავე ძრავებში წვის კამერაში მაქსიმალური ტემპერატურა აღწევს 3000 K 6-8 მპა წნევის დროს, ამიტომ აუცილებელია გათვალისწინებული იქნას წვის პროდუქტების დისოციაცია, რომელიც მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს როგორც წვის პროცესზე, ასევე წვის პროდუქტების შედგენილობაზე და ძრავის ეფექტურ მაჩვენებლებზე.

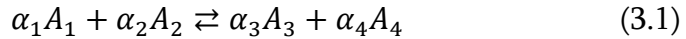
თეორიული ციკლების გაანგარიშებისას ძირითად განტოლებებს წარმოადგენს - დისოციაციის, ენერგიისა და ნივთიერებების შენახვის და იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლებები. ამასთან თეორიული ციკლის განხილვისას ვეყრდნობით შემდეგ დაშვებებს:

- 1) დისოცირებული აირთა ნარევის კომპონენტების სითბოტევადობა, ენტალპია და წონასწორობის მუდმივები წარმოადგენენ მხოლოდ ტემპერატურის ფუნქციას;
- 2) წვის პროცესი მიმდინარეობს იზოენტროპულად წვის კამერაში სითბოს სრული გამოყოფით;



3) საწვავი ნარევი და წვის პროდუქტები წარმოადგენენ იდეალურ სისტემას და ექვემდებარება იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლებას.

წვის პროდუქტებზე დისოციაციის გავლენის გათვალისწინებით, დისოციაციის ბიომოლეკულური რეაქცია შეიძლება ჩავწეროთ შემდეგი სახით:



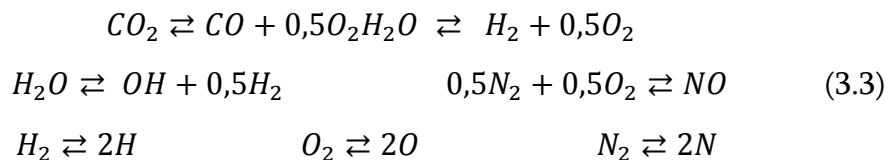
სადაც  $A_i$ -წვის პროდუქტების კომპონენტებია, ხოლო  $\alpha_i$ - ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტებია.

ქიმიური წონასწორობის პირობის თანახმად კომპონენტების მოლური კონცენტრაცია უნდა აკმაყოფილებდეს გამოსახულებას

$$\frac{C_1^{\alpha_1} \cdot C_2^{\alpha_2}}{C_3^{\alpha_3} \cdot C_4^{\alpha_4}} = K_i(T) \quad (3.2)$$

სადაც  $C_i$ - კომპონენტის მოლური კონცენტრაციაა, ხოლო  $K_i(T)$  შექცევადი რეაქციის წონასწორობის მუდმივაა და წარმოადგენს ტემპერატურის ფუნქციას.

უკანასკნელი გამოსახულება წარმოადგენს დისოციაციის ძირულ განტოლებას და ბენზინისა და წყალბადის ნარევის წვისას წონასწორულ ნარევი შეიძლება მივიღოთ შემდეგი ძირითადი კომპონენტები: N; O; H; N<sub>2</sub>; O<sub>2</sub>; H<sub>2</sub>; NO, OH, CO, CO<sub>2</sub>; H<sub>2</sub>O; [42], რომელთა შორის შეიძლება წარიმართოს შემდეგი რეაქციები:



ნარევი თითოეული კომპონენტის მასური წილი გამოითვლება გამოსახულებით

$$G_i = \sum g_i \frac{L_i \cdot m_i}{M_i} \quad (3.4)$$

სადაც  $l_i$ -კომპონენტში  $i$  ატომების რიცხვია;  $m_i$ -ელემენტის ატომური მასაა;  $g_i$ -ნარევი  $i$  კომპონენტის მასური წილია. თუ გამოსახულების ორივე მხარეს გავყოფთ  $M_i$ -ზე მივიღებთ ნარევის რეაგირების ინვარიანტს.

$$\frac{G_i}{m_i} = \sum \frac{l_i \cdot g_i}{M_i} = \text{const} \quad (3.5)$$

თუ გავითვალისწინებთ იმას რომ  $g_i = C_i M_i V$  მივიღებთ

$$\sum l_i C_i = \frac{1}{V} \cdot \frac{G_i}{m_i} \quad (3.6)$$

საბოლოოდ წონასწორობის მუდმივას დამოკიდებულება ტემპერატურაზე ღებულობს სახეს

$$K_i(T) = A_k - \frac{B_k}{T} \quad (3.7)$$

მიღებული გამოსახულება საშუალებას იძლევა მივიღოთ დისოცირებული წვის პროდუქტების შედგენილობა წვის პროცესის ნებისმიერ მომენტში ფიქსირებულ ტემპერატურაზე. ამ შემთხვევაში ტემპერატურის გაანგარიშების მიზნით ვეყრდნობით ენერჯის შენახვის განტოლებას ადიაბატური სისტემისათვის დიფერენციალური ფორმით

$$dU = -PdV \quad (3.8)$$

სადაც  $U$  აირთა ნარევის სრული შიგა ენერჯიაა და წარმოადგენს ტემპერატურის და შედგენილობის ფუნქციას

$$U(gT) = \sum g_i U_i(T) \quad (3.9)$$

სადაც  $U_i(T)$ - $i$  კომპონენტის სრული შიგა ენერჯიაა და წარმოადგენს ტემპერატურის ფუნქციას

$$U_i(T) = I_i(T) - R_i(T) \quad (3.10)$$

სადაც  $R_i$  -  $i$ -კომპონენტის აირმუდმივია ხოლო  $I_i$  - სრული ენტალპიაა.

აღსანიშნავია რომ სრული ენტალპიის  $Y_i$  ტემპერატურაზე დამოკიდებულება განისაზღვრება ფორმულით [29].

$$I_i(T) = I_{oi} + \sum A_i T^5 \quad (3.11)$$

სადაც  $I_{oi}$  -  $i$ -კომპონენტის ქიმიური ენერგიაა,  $A_i$ - აპროქსიმაციის პოლინომების კოეფიციენტებია.

განხილული მეთოდიკა საშუალებას იძლევა მივიღოთ ცნობები მრავალკომპონენტიანი წვის პროდუქტების ნარევის პარამეტრების შესახებ.

შიგაწვის ძრავების მუშა ციკლის ენერგეტიკული მაჩვენებელი დამოკიდებულია გამოყენებული საწვავის სახეზე. წყალბადის მოხმარების შემთხვევაში იმის გათვალისწინებით, რომ მას გააჩნია დაბალი სიმკვრივე და სტექიომეტრული თანაფარდობა, წვის პროცესში მონაწილე მოლეკულების რიცხვი მცირდება, რაც მომუშავე ძრავებთან შედარებით იწვევს ციკლის მაჩვენებლების მნიშვნელოვან განსხვავებას.

თეორიული ციკლების ანალიზი საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ მუშა ციკლის ისეთი ძირითადი პარამეტრები როგორცაა: მაქსიმალური წნევა ( $P_z$ ) და ტემპერატურა ( $T_z$ ); ციკლის საშუალო წნევა ( $P_{საშ}$ ) და საწვავის თბური ენერგიის მექანიკურ მუშაობად გარდაქმნის ეფექტურობა.

ციკლის მექანიკური მუშაობა განისაზღვრება რისკითი ინტეგრების მეთოდით შემდეგი დამოკიდებულების საფუძველზე

$$A = \int_{V_{min}}^{V_{max}} P_1(v) dV + \int_{V_{min}}^{V_{max}} P_2(v) dV \quad (3.12)$$

სადაც  $V_{min}$  და  $V_{max}$  - ცილინდრში გაზების მინიმალური და მაქსიმალური კუთრი მოცულობაა;  $P_1(v)$  და  $P_2(v)$  გაზების წნევებია შესაბამისად კუმშვისა და გაფართოების პროცესში.

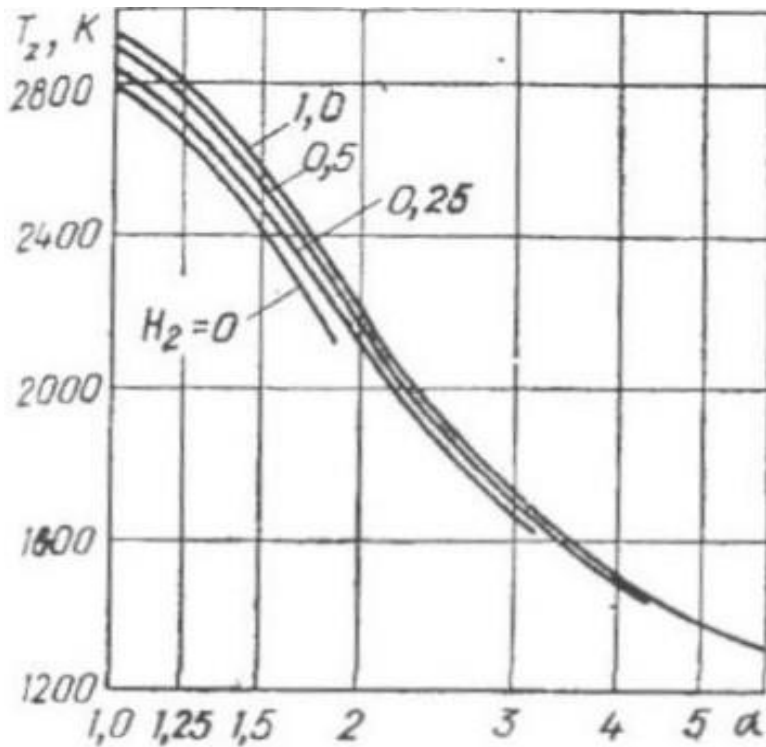
ციკლის საშუალო წნევა განისაზღვრება ფორმულით

$$P_{საშ} = \frac{A}{V_{max} - V_{min}} \quad (3.13)$$

ხოლო ციკლის თერმული მქც გამოითვლება დამოკიდებულებით

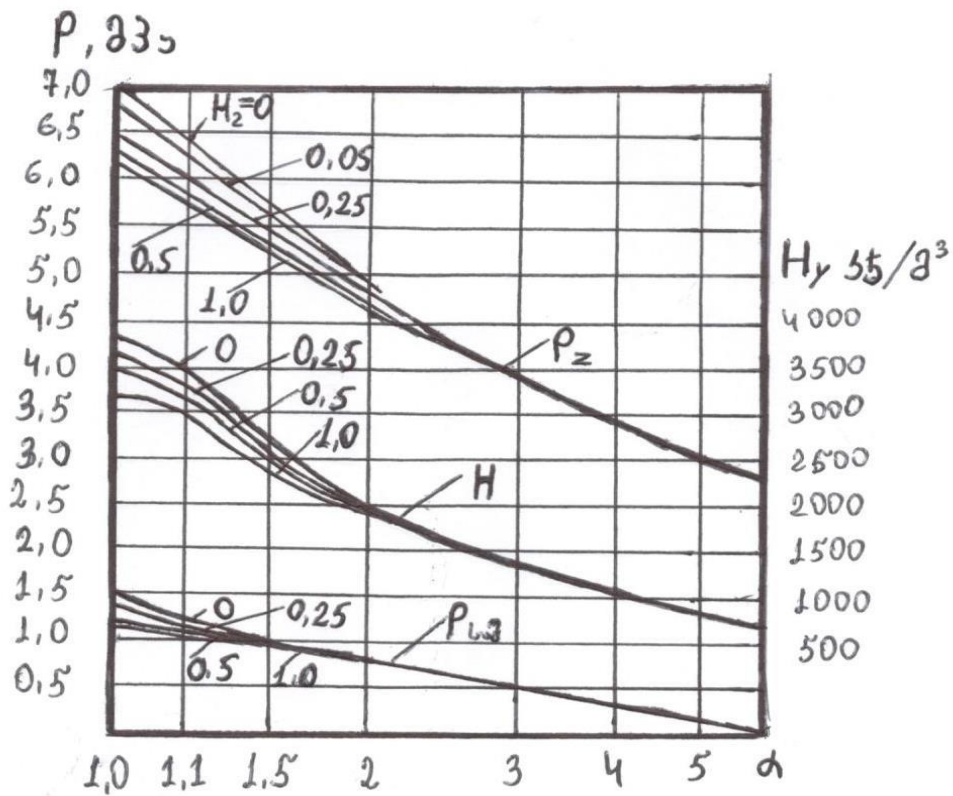
$$\eta_t = \frac{A}{I_g - I_{\text{წვ.პრ}}} \quad (3.14)$$

სადაც  $I_g$ -მუშა ნარევის ენტალპიაა 293 K ტემპერატურის დროს, ხოლო  $I_{\text{წვ.პრ}}$ -წვის პროდუქტების ენტალპიაა დისოციაციის გათვალისწინების გარეშე და განისაზღვრება ზემოთ განხილული მეთოდიკით. თეორიული გაანგარიშების საფუძველზე მიღებული მაქსიმალური ტემპერატურის ( $T_z$ ) ცვლილების შედეგები ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტზე ( $\alpha$ ) და ნარევი წყალბადისა და ბენზინის თანაფარდობაზე დამოკიდებულებით მოცემულია დიაგრამაზე ნახ. 3.1. ტემპერატურის ცვლილების ხასიათი გვიჩვენებს რომ მისი მნიშვნელობა იზრდება ნარევი წყალბადის წილის გაზრდით, რაც გამოწვეულია წვის პროდუქტების ჯამური მოცულობითი სითბოცვლადობის დადაბლებით და წვის პროცესში მათი მოლური რიცხვის შემცირებით



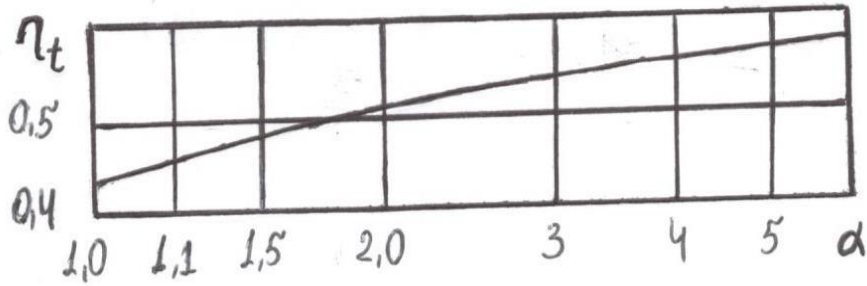
ნახ. 3.1. ციკლის მაქსიმალური ტემპერატურის დამოკიდებულება ნარევი წყალბადისა და ბენზინის თანაფარდობაზე

ციკლის მაქსიმალური წნევის ( $P_z$ ) ცვლილება  $\alpha$ -ზე დამოკიდებულებით ნახ. 3.2. შესაბამემა საწვავი ნარევის მოცულობითი ენერგოტევადობის ( $H$ ) ცვლილებას და მისი მნიშვნელობა მცირდება ნარევის წყალბადით გამდიდრებისას სტექიომეტრიული შედგენილობის ნარევის მახლობლობაში, რადგან მნიშვნელოვნად მცირდება მოლეკულური ცვალებადობის კოეფიციენტი და ენერგოტევადობა. როცა  $\alpha=2$  ციკლის მაქსიმალურ წნევებს შორის განსხვავება ფაქტიურად აღარ არსებობს. მუხტის ენერგოტევადობის დადაბლება ნარევი წყალბადის წილის გაზრდით იწვევს ციკლის საშუალო წნევის და შესაბამისად მუშაობის შემცირებას, რაზეც გარკვეულწილად მოქმედებს მოლეკულური ცვალებადობის კოეფიციენტი  $\mu$

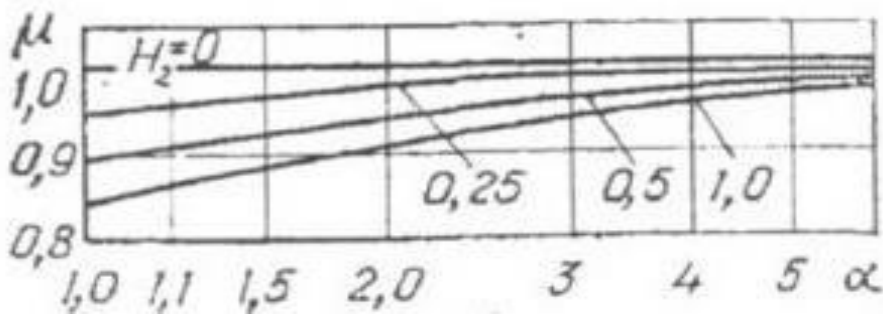


ნახ. 3.2. ციკლის მაქსიმალური და საშუალო წნევის დამოკიდებულება ნარევი ბენზინის და წყალბადის თანაფარდობაზე.

ციკლის თეორიული მქკ  $\eta_t$  ნახ. 3.3. პრაქტიკულად არ არის დამოკიდებული საწვავის სახეზე, ხოლო მოლეკულური ცვალებადობის კოეფიციენტი ( $\mu$ ) ნახ. 3.4. მნიშვნელოვნად იზრდება ნარევის გაღარიბების ზღვრებში.



ნახ. 3.3. თეორიული მქც დამოკიდებულება ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტზე



ნახ. 3.4. მოლეკულური ცვალებადობის კოეფიციენტის დამოკიდებულება ნარევში წყალბადისა და ბენზინის თანაფარდობაზე

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 სტექიომეტრული ნარევის მახლობლობაში ( $\alpha \approx 0,9$ ), რადგან ნარევის კომპოზიციაში წყალბადის მასური წილი არ აღემატება 0,03-0,04-ს. აღნიშნულის გამო მუშა პროცესი წარიმართება თითქმის ისეთივე მაჩვენებლებით როგორც მხოლოდ ბენზინზე მუშაობისას, თუმცა შეინიშნება ციკლის მაქსიმალური ტემპერატურის და წნევის მიახლოებით 3%-ით მომატება.

ნარევში წყალბადის წილის მომატება იწვევს წვის პროცესის სიჭარბის ზრდას, რის გამოც მცირდება წვის ხანგრძლივობა და იზრდება სითბოს გამოყოფის სიჭარბე. კერძოდ წყალბადის მასური ხარჯის  $0 \approx 0,1$  ზღვრებში გაზრდა მაქსიმალური ტემპერატურის დროს ზრდის სითბოს აქტიური გამოყოფის კოეფიციენტს 0,772-დან 0,807-მდე ზღვრებში. საშუალო ინდიკატორული წნევა და ინდიკატორული მქც

მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს როცა წყალბადის წილი ნარევეში  $0,03 \pm 0,04$  ზღვრებშია.

უნდა აღინიშნოს რომ ინდიკატორულ მქკ-ზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ნარევეში წყალბადის შემცველობა. კერძოდ თუ წყალბადის წილი ნარევეში  $0,04 \pm 0,05$  ზღვრებშია ინდიკატორული მქკ მნიშვნელობა ეცემა, რადგან სითბოს გამოყოფის დინამიკის გაზრდა ვერ უზრუნველყოფს გაგრილების სისტემაზე სითბოს დანაკარგების კომპენსირებას. აქედან შეიძლება გავაკეთოთ დასკვნა იმის შესახებ, რომ დატვირთვის რეჟიმებზე ძრავის მუშაობისას ნარევეში წყალბადის წილი არ უნდა აღემატებოდეს ნარევის მთლიანი მასის  $0,03-0,04$  ნაწილს. თუმცა ნარევის შესაძლო გაღარიბებისას ( $\alpha=5 \div 6$ ) ბენზინის, წყალბადისა და ჰაერის ნარევეში წყალბადის წილის გაზრდა შესაძლებელია 1-მდე, რაც ახდენს წვის პროცესის ინტენსიფიკაციას და ისეთი მაჩვენებლის სტაბილიზაციას როგორცაა წვის პროცესის ხანგრძლივობა.

ინდიკატორული მქკ დადაბლება ნარევის გაღარიბების შემთხვევაში სხვადასხვა საწვავისთვის აიხსნება სხვადასხვა მიზეზით. კერძოდ, ძრავის მხოლოდ ბენზინზე მუშაობისას დადაბლება განპირობებულია მუშა პროცესის უთანაბრობის გადიდებით. მუშა პროცესის უთანაბრობა კი შეიძლება განისაზღვროს მაქსიმალური წნევის მიმდევრობითი ციკლების წნევების საშუალო მნიშვნელობასთან შედარებით

$$\delta = \frac{\sum P_{max} - P_c^1 - P_{საშ}}{m \cdot P_{საშ}} \quad (3.15)$$

სადაც  $P_c^1$ -კუმშვის ბოლოს წნევაა, ხოლო  $m$ -ციკლების რიცხვია.

ბენზინის წყალბადისა და ჰაერის ნარევეში ინდიკატორული მქკ შემცირება ნარევის გაღარიბების გამო გამოწვეულია წვის პროცესში სითბოს გამოყოფის დინამიკის გაუარესებით, რაც დაკავშირებულია წვის პროცესის გაფართოების პროცესში გადასვლასთან.

საწვავის დაწვისას ციკლის პერიოდში გამოყოფილი სითბური ენერგია გამოისახება თბური ბალანსით, რომლის საფუძველზე ენერგიის ნაწილი ხმარდება მუშა სხეულის შიგა ენერგიის ცვლილებას, ხოლო ნაწილი მუშაობის შესრულებას წვის პროცესის დაწყებიდან ( $V_1$ ) მის დასრულებამდე ( $V_2$ ).

$$Q = \int_{V_1}^{V_2} p dv \quad (3.16)$$

უნდა აღინიშნოს რომ წვის აქტიური სითბო გაფართოების პროცესში ნაწილობრივ გარდაიქმნება ინდიკატორულ მუშაობად, ხოლო ნაწილი ნამწვ აირებთან ერთად გადაეცემა გარემოს და ცილინდრის კედლებს.

$$L_i = Q_i = Q_{აქტ} - Q_{დაწ} \quad (3.17)$$

გამომდინარე აქედან ციკლის ინდიკატორული მქვ შეიძლება განვსაზღვროთ გამოსახულების საფუძველზე

$$\eta_t = \frac{Q_{აქტ}}{Q_{\beta}} - \frac{Q_{კედ}}{Q_{\beta}} - \frac{Q_{წვ.პრ}}{Q_{\beta}} = \xi_{max} - \varphi_{წვ.პრ} - \varphi_{კედ} \quad (3.18)$$

სადაც  $Q_{\beta}$ -ციკლის განმავლობაში გამოყოფილი სითბოა;  $Q_{კედ}$ -კედლებზე გადაცემული სითბური დანაკარგებია;  $Q_{წვ.პრ}$ -წვის პროდუქტების მიერ გარემოში გამოტანილი სითბოა და  $Q_{აქტ}$ -აქტიურად მოხმარებული გამოყოფილი სითბური ენერჯიაა.

$\xi_{max}$ -აქტიური სითბოს გამოყოფის მაქსიმალური კოეფიციენტია, რომელიც ერთმნიშვნელოვნად ასახავს წვის პროცესის სისრულეს;  $\varphi_{წვ.პრ}$ -წვის პროდუქტების მიერ გარემოზე გაცემული სითბოს მახასიათებელი კოეფიციენტია, ხოლო  $\varphi_{კედ}$ -ცილინდრის კედლებზე გაფართოების პროცესში გადაცემული სითბოს წილია.

სტექიომეტრული შედგენილობის ნარევის მახლობლობაში ციკლის სითბოს დანაკარგები ძირითადად განისაზღვრება კედლებს შორის სითბოცვლით და სითბოს ძირითადი ნაწილი გაიცემა წვის პროცესის მონაკვეთზე, ხოლო გაფართოების პროცესში ხდება სითბოს დამატებითი დაკარგვა რასაც მოწმობს აქტიური სითბოს გამოყოფის კოეფიციენტის დადაბლება. ნარევის გაღარიბების შემთხვევაში წვის პროცესის დინამიკა იცვლება უმნიშვნელოდ ( $\alpha=2,5\div 3$ ) და სითბოს გამოყოფის კოეფიციენტი უფრო მაღალია ვიდრე  $\alpha=1$ . ნარევის კიდევ უფრო გაღარიბების შემდეგ სითბოს გამოყოფის კოეფიციენტი იწყებს კლებას, რაც აიხსნება წვის პროცესის გაფართოების პროცესში გადასვლით და თბური დანაკარგების გაზრდით.

ჩატარებული თეორიული კვლევა გვიჩვენებს, რომ ბენზინი-წყალბადი ნარევეზე მუშაობის ძრავის ინდიკატორული მქვ შემცირების ძირითადი მიზეზია წვის პერიოდის გახანგრძლივება ( $\alpha > 2,5 \div 3$ ) ანუ კმაწვა. ამიტომ მაქსიმალურად ეფექტური



მუშა პროცესის განხორციელება შესაძლებელია ძრავის ნაწილობრივი დროსელირებით ანუ მუშა პროცესის შერეული რეგულირებით.

ჩატარებული თეორიული კვლევის შედეგები ასახავს ბენზინისა და ჰაერის ნარევეზე წყალბადის დამატებით, წვის პროდუქტების შედგენილობასა და მუშა ციკლის მაჩვენებლებზე მხოლოდ ხარისხობრივ გავლენას, რადგან იგი არ ითვალისწინებს წვის პროცესის მიმდინარეობის თავისებურებებს და თბოცვლის პროცესს ცილინდრის და წვის კამერის კედლებთან. თუმცა ამ შედეგებს დიდი მნიშვნელობა აქვს რეალური ციკლების განხორციელების ანალიზის მიზნით.

### **3.1.2. ბენზინ – წყალბადი საწვავნარევი ბენზინისა და წყალბადის თანაფარდობის განსაზღვრის მეთოდიკა**

წვის მაღალი სიჩქარის და დიფუზიის მაღალი კოეფიციენტის გათვალისწინებით წყალბადი შეიძლება გამოყენებული იქნას, როგორც ტრადიციულ საწვავზე დანამატი ან კიდევ შესაძლებელია ძრავის უშუალოდ წყალბადზე კონვერტაცია. წყალბადის ტრადიციულ საწვავზე დამატება საშუალებას იძლევა სრულად ახლებურად განვიხილოთ ცილინდრში მუშა პროცესის მიმდინარეობა. ამ საკითხის დადებითად გადაჭრა ამაღლებს ძრავის როგორც საწვავის ეკონომიას, ასევე ამცირებს ნამწვი აირების ტოქსიკურობას. თუმცა ამოცანის გადაწყვეტისას აუცილებელია შეიქმნას წყალბადისა და ბენზინის ისეთი კომბინაცია, რომელიც ყოველ კონკრეტულ რეჟიმზე უზრუნველყოფს წვის პროცესის ნორმალურად წარმართვას.

ექსპერიმენტულ მონაცემებზე დაყრდნობით ჩვენ მიერ დამუშავებული იქნა მეთოდიკა, 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 გაღარიბების მიუხედავად უზრუნველყოფს პროცესის ნორმალურად წარმართვას.

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

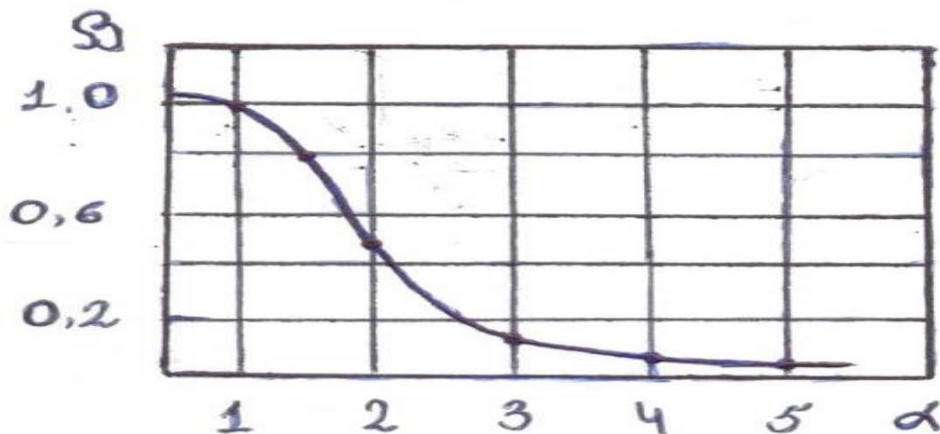
$$Q = \beta G_{\text{ბო}} H_{u\text{ბ}} = G_{\text{ბ}} H_{u\text{ბ}} + G_{\text{წყ}} H_{u\text{წყ}} \quad (3.19)$$

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

$$\beta = \frac{G_{\text{ბ}} H_{u\text{ბ}} + G_{\text{წყ}} H_{u\text{წყ}}}{G_{\text{ბო}} H_{u\text{ბ}}} = \frac{G_{\text{ბ}} + K \cdot G_{\text{წყ}}}{G_{\text{ბო}}} \quad (3.20)$$

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

გამოსახულების ანალიზი გვიჩვენებს რომ  $\beta$  უგანზომილებო კოეფიციენტი და მასში შემავალი ყველა სიდიდე შეიძლება განისაზღვროს ექსპერიმენტალურად როცა  $G_{\text{წყ}}=0$  და  $\beta=1$ . დიაგრამაზე ნახ. 3.5. მოცემულია  $\beta$  კოეფიციენტის ცვლილება ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტზე ( $\alpha$ ) დამოკიდებულებით.



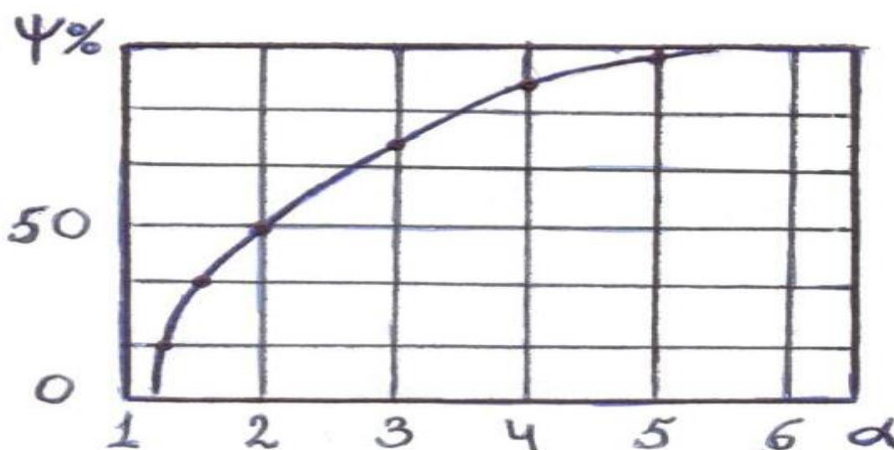
ნახ. 3.5. უგანზომილებო  $\beta$  კოეფიციენტის დამოკიდებულება ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტზე.

β კოეფიციენტის გაანგარიშების დროს გამოყენებულია 1,5 ლ მუშა მოცულობის და 9,9 კუმშვის ხარისხის მქონე ბენზინზე მომუშავე ძრავის სარეგულაციო მახასიათებლები, რომელებიც მიღებულია მუდმივი სიმძლავრისა და ოპტიმალური ანთების წინსწრების კუთხის შემთხვევაში [64]. გრაფიკის განხილვა გვიჩვენებს სტატიკურ დამოკიდებულებას α და β კოეფიციენტებს შორის ბენზინისა და წყალბადის ხარჯზე დამოკიდებულების გარეშე, საიდანაც ჩანს რომ α-ს გაზდა, ანუ ნარევის გადარიბება იწვევს β კოეფიციენტის შემცირებას, რაც მიუთითებს ნარევი წყალბადის წილის მომატებას.

როგორც β-ს გამოსახულებაში ჩანს მასში შედის ორი უცნობი სიდიდე  $G_B$  და  $G_{წყ}$ , რაც არ იძლევა მათი ერთმნიშვნელოვნად განსაზღვრის საშუალებას. ე.ი. საჭიროა კიდევ მეორე დამოკიდებულება ამ ორ სიდიდეს შორის. ასეთ სიდიდეს წარმოადგენს ცნობილი უგანზომილებო დამოკიდებულება [42],

$$\psi = \frac{G_{წყ}}{G_{წყ} + G_B} \quad (3.21)$$

რომელიც განსაზღვრავს ბენზინისა და წყალბადის ნარევის ნორმალური წვის პროცესის ქვედა ზღვარს.  $\psi$  კოეფიციენტის ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტზე (α) დამოკიდებულება მოცემულია ნახ. 3.6-ზე.



ნახ. 3.6. უგანზომილებო პარამეტრის  $\psi$  დამოკიდებულება ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტზე.

ე.ი. მიღებული გამოსახულების საფუძველზე შეიძლება თეორიულად განვსაზღვროთ ნარევი ბენზინისა და წყალბადის ისეთი თანაფარდობა, რომელიც ძრავის ნებისმიერ რეჟიმზე მუშაობისას უზრუნველყოფს ძრავის ცილინდრში წვის პროცესის ნორმალურ განვითარებას.

### 3.2. შიგაწვის ძრავებში წყალბადის საწვავად გამოყენებით მიღებული ეკოლოგიური ეფექტების ანალიზი

თანამედროვე ეპოქა მნიშვნელოვანი ეკოლოგიური პრობლემების ეპოქას წარმოადგენს, რადგან საავტომობილო პარკის თანამედროვე ზრდის ტემპი საფრთხეს უქმნის ატმოსფეროს ფიზიკურ და ქიმიურ მდგომარეობას. კერძოდ ტრანსპორტის მუშაობის დროს წარმოქმნილი მავნე ტოქსიკური ნაერთები იწვევს ატმოსფეროს ეკოლოგიური წონასწორობის რღვევას, რაც უარყოფითად მოქმედებს როგორც ცოცხალ ორგანიზმებზე ასევე არაცოცხალ გარემოზე. ამიტომ აქტუალურია ღონისძიებები, რომლებიც ითვალისწინებს წვის პროდუქტებში ტოქსიკური ნივთიერების შემცირებას.

ატმოსფეროს და საერთოდ ბუნებრივი გარემოს დამბინძურებლებიდან განსაკუთრებით აღსანიშნავია ნავთობი და მისი გადამუშავების პროდუქტები, რადგან ბენზინი, დიზელის საწვავი, შემზეთი მასალები და სხვა გარემოს აბინძურებს ნებისმიერ აგრეგატულ მდგომარეობაში.

ალტერნატიული ენერჯის წყაროებს შორის განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ენიჭება წყალბადის ენერგეტიკას, რომლის უპირატესობას ნავთობპროდუქტებთან შედარებით წარმოადგენს მაღალი ეკოლოგიური უსაფრთხოება.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული წყალბადზე კონვერტირებულ ძრავების წვის პროდუქტებში საერთოდ არ არსებობს ისეთი ნაერთები როგორცაა CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, ჭვარტლის ნაწილაკები, თუმცა ეკოლოგიურ პრობლემას წარმოადგენს აზოტის ოქსიდების მინიმუმაცია.

აზოტის ოქსიდები (NO<sub>x</sub>) წარმოიქმნება როგორც დიზელებში, ასევე ბენზინზე მომუშავე ძრავებში და როგორც ავლნიშნეთ იმ შემთხვევაშიც როცა საწვავად

გამოყენებულია წყალბადი, როგორც თხევად ასევე აიროვან მდგომარეობაში. აზოტის ოქსიდების რაოდენობა წვის პროდუქტებში ძირითადად დამოკიდებულია წვის პროცესში ცილინდრში არსებულ ტემპერატურაზე. ოქსიდების მრავალსახეობიდან განსაკუთრებით აღსანიშნავია აზოტის ოქსიდი NO და დიოქსიდი NO<sub>2</sub>.

როგორც წესი წყალბადი წარმოქმნის ნაერთებს ყველა ქიმიურ ელემენტთან, გარდა ინერტული აირებისა, თუმცა რეაქციის განხორციელება დამოკიდებულია წნევაზე და ტემპერატურაზე. აღსანიშნავია რომ ოთახის ტემპერატურაზე წყალბადი კატალიზატორის გარეშე ჟანგბადთანაც არ შედის რეაქციაში.

წვის პროცესში მაღალი ტემპერატურის ზემოქმედების გამო მიმდინარეობს რთული მოლეკულების თერმული დისოციაცია ან გახლეჩა მარტივ მოლეკულებად, რადიკალებად და ატომებად, ამასთან დისოციაციის დროს მოლეკულური კავშირების დარღვევაზე იხარჯება ენერგია, რაც იწვევს ძრავის ციკლის მაქსიმალური ტემპერატურისა და სითბოს გამოყოფის შემცირებას. მაგრამ დისოციაციის დროს მუშა სხეულის შემადგენლობაში იზრდება მსუბუქი ერთი და ორატომიანი აირების რაოდენობა, რის გამოც მისი მოლეკულური მასა ქვეითდება, რის შედეგადაც იზოქორულ პროცესში დისოციაცია იწვევს წვის პროდუქტების წნევის გადიდებას. თავის მხრივ წნევის ამაღლება ზემოქმედებს რეაქციაზე და ხდება ადრე დისოცირებული მოლეკულების და ატომების შეერთება.

ე.ი. ძრავის ცილინდრში წვის პროდუქტების დისოციაციის ხარისხი განისაზღვრება ორი ძირითადი ფაქტორით - ციკლის მაქსიმალური ტემპერატურა და წნევის მომატების ხარისხი, თუმცა განმსაზღვრელ ფაქტორს წარმოადგენს ტემპერატურა. ამასთან წვის პროდუქტების შედგენილობა დიდადაა დამოკიდებული ნარევის შედგენილობაზე, ანუ ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტზე და წვის პროცესის წნევაზე და ტემპერატურაზე.

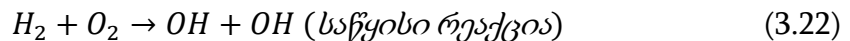
როგორც ავლინუნეთ, წყალბადის საწვავზე კონვერტირებული ძრავის შემთხვევაში წვის პროდუქტებში ძირითადად გამოიყოფა აზოტის ჟანგეულები, რომელთა რაოდენობა ძირითადად დამოკიდებულია წვის პროცესში ცილინდრში არსებულ ტემპერატურაზე.

აზოტის ჟანგეულების მრავალი სახეობიდან განსაკუთრებით აღსანიშნავია NO, რომლის წარმოქმნის ძირითადი მიზეზია ჰაერში შემავალი აზოტის

მაღალტემპერატურული დაჟანგვა (თერმული NO). იგი უფრო წყალში მნელადხსნადი აირია, რომელიც ნეგატიურად მოქმედებს მცენარეებზე და იწვევს ნეკროზს. ჰაერის ტენთან და ატმოსფერულ ნალექებთან ერთად წარმოიქმნება ძლიერი მჟავები  $\text{HNO}_2$  და  $\text{HNO}_3$  რომლებიც მომაკვდინებლად მოქმედებენ ნიადაგის ორგანიზმებზე, წყლის ფლორასა და ფაუნაზე.

წვის პროდუქტებში NO-ს გარდა გაცილებით მცირე რაოდენობით გვხვდება  $\text{NO}_2$ , რომელიც მუქი ფერის მომწამვლელი აირია. ადამიანის ორგანიზმში ისინი ხვდებიან სასუნთქი ორგანოებიდან და გამოვლინდებიან ხველებისა და სუნთქვის გაუარესების სახით.

წყალბადისა და ჟანგბადის მოლეკულებს შორის მიმდინარეობს განშტოებული ჯაჭვური რეაქცია, რომლის დროსაც საწყის ეტაპზე წარმოიქმნება აქტიური ცენტრები - თავისუფალი ატომების ანუ რადიკალების სახით. დღეისთვის მიღებულია რომ წყალბადის დაჟანგვა იწყება რეაქციით:



თითოეული OH რადიკალი რეაქციაში მონაწილეობს და წარმოიქმნება ახალი აქტიური წყალბადის ატომი



მიღებული ატომი ჟანგბადის მოლეკულასთან რეაქციაში წარმოქმნის ორ აქტიურ ნაწილაკს



აღნიშნული ნაწილაკები თავის მხრივ ახდენენ რეაგირებას შემდეგი განტოლებების საფუძველზე



აღსანიშნავია რომ აღნიშნული რეაქციები სამართლიანია მხოლოდ მაშინ, როცა განიხილება მხოლოდ წყალბადისა და ჟანგბადის სუფთა ნარევი, მაგრამ სულ სხვა მდგომარეობაა ძრავის ცილინდრში, როცა რეაქციაში მონაწილეობას იღებს ჰაერში

შემავალი აზოტი და იგი გვევლინება არა როგორც ინერტული აირი, არამედ როგორც რეაქციაში აქტიური მონაწილე, რაზედაც მიუთითებს წვის პროდუქტებში აზოტის ოქსიდების შემცველობა.

წვის კამერაში დომინირებს თერმული NO, რომელიც წარმოიქმნება ჰაერში შემავალი მოლეკულური აზოტისა და ჟანგბადის ატომს შორის მიმდინარე რეაქციის შედეგად



ე.ი. წარმოიქმნება აზოტის ოქსიდი და აზოტის თავისუფალი ატომი, რომელიც ისევ რეაგირებს ჟანგბადის მოლეკულასთან აზოტის ოქსიდისა და ჟანგბადის ატომის წარმოქმნით, რომელიც ისევ ღებულობს რეაქციაში მონაწილეობას



აღსანიშნავია რომ NO დიდი რაოდენობით წარმოიქმნება ალის ფრონტის უკან 2000 K ტემპერატურის პირობებში და კონცენტრაციის მაქსიმუმი შეესაბამება  $\alpha \approx 0,8$ -ს, გამომდინარე აქედან სტექომეტრულ ნარევეში ( $\alpha=1$ ) წყალბადზე მომუშავე ძრავებში აზოტის ოქსიდების რაოდენობა წვის პროდუქტებში იქნება მაქსიმალური.

უნდა აღინიშნოს რომ აზოტის ოქსიდების წარმოქმნის რეაქციებში მონაწილე თავისუფალი ატომური ჟანგბადის და სხვა რადიკალების არსებობა საკმარისი რაოდენობით აღინიშნება, როცა ჰაერის საჭიროების კოეფიციენტი  $\alpha=0,05 \div 0,13$ . ამასთან  $\alpha \leq 1$  მნიშვნელობაზე NO-ს წარმოქმნა შეზღუდულია ატომური ჟანგბადის არასაკმარისი რაოდენობის ან წვის პროდუქტებში საერთოდ არ არსებობის გამო.  $\alpha < 1,3 \div 1,5$  ზღვრებში NO-ს შემცირება გამოწვეულია წვის ტემპერატურის შემცირებით, რის გამოც აზოტის ოქსიდების წარმოქმნის ექსტრემუმი ინაცვლებს  $\alpha$ -ს იმ მნიშვნელობისთვის, რომლის დროსაც ატომური ჟანგბადის კონცენტრაცია მაქსიმალურია.

ცნობილია რომ თანამედროვე ავტომობილი წელიწადში საშუალოდ 15000 კმ გარბენისას მოიხმარს 1,5-2 ტ საწვავს და 20-30 ტ ჟანგბადს. ამასთან დადგენილია, რომ სრულიად გამართული ბენზინზე მომუშავე ძრავის შემთხვევაში ყოველ 1000 კგ საწვავზე ატმოსფეროში გამოიყოფა: ნახშირბადის ოქსიდი -267 კგ, ნახშირწყალბადი -

33,2 კგ, აზოტის ჟანგეულები -26,6 კგ, გოგირდოვანი აირები -1,34 კგ. ანალოგიურად დიზელის ძრავებისთვის ატმოსფეროში გამოიყოფა: ნახშირბადის ოქსიდი -28,4 კგ, ნახშირწყალბადები -9,1 კგ, აზოტის ჟანგეულები -40,8 კგ, ჰვარტლი -9,6 კგ, გოგირდოვანი აირები -3,4 კგ. გარდა ამისა გლობალური დათბობის პროცესებიდან გამომდინარე უმკაცრესი მოთხოვნებია წვის პროდუქტებში CO<sub>2</sub>-ის შემცირებაზე. მაგალითად, თუ ევროგაერთიანების ქვეყნებში წვის პროდუქტებში CO<sub>2</sub>-ის ემისია შეადგენდა 182 გრ/კგ-ზე მიმდინარე ეტაპზე ეს მაჩვენებელი მსუბუქი ავტომობილისთვის შეადგენს 130 გრ/კგ-ს.

ყოველივე ზემოთაღნიშნულიდან გამომდინარე, რადგან წყალბადის საწვავის გამოყენების შემთხვევაში წვის პროდუქტებში ძირითადად გამოიყოფა აზოტის ოქსიდები, ადვილი წარმოსადგენია ის ეკოლოგიური ეფექტი რასაც მოგვცემს წყალბადის ენერგეტიკის დანერგვა საავტომობილო თუ სხვა სახის ტრანსპორტზე.

### 3.3. გამზომი მოწყობილობა და ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარების მეთოდიკა

საავტომობილო ტრანსპორტის ტოქსიკურობის პრობლემების გადაწყვეტის ერთ-ერთი რადიკალური გზაა ალტერნატიული საწვავის გამოყენება. ამ მიმართულებით ჩატარებული კვლევების ანალიზი და შედეგები სამრეწველო-სატრანსპორტო ეკოლოგიის ძირითადი ამოცანაა. 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.

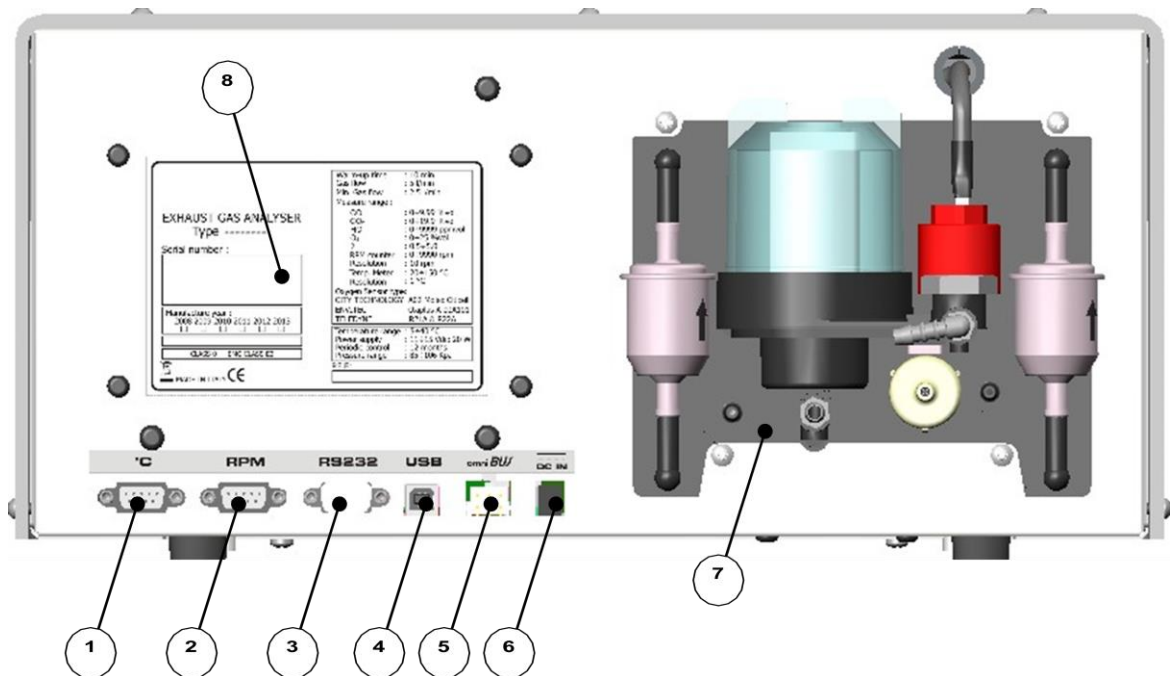
ავტოსატრანსპორტო საშუალებების გამონაბოლქვ აირებში ტოქსიკური მინარევების განსაზღვრისათვის მიზანშეწონილია აირანალიზატორის გამოყენება, რომელზედაც გაცემულია ყოველწლიური სავალდებულო სახელმწიფო შემოწმების აქტი.

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 მაცუჩიდან გამომავალი მილიდან ნამწვი აირების ართმევა ხორციელდება სპეციალური ზონდის საშუალებით. მოწყობილობის მუშაობის პროცესის და გაზომვითი სამუშაოების ჩატარების ინსტრუქცია შედგენილია UNR 10893:2000 სტანდარტის მოთხოვნების შესაბამისად [68].

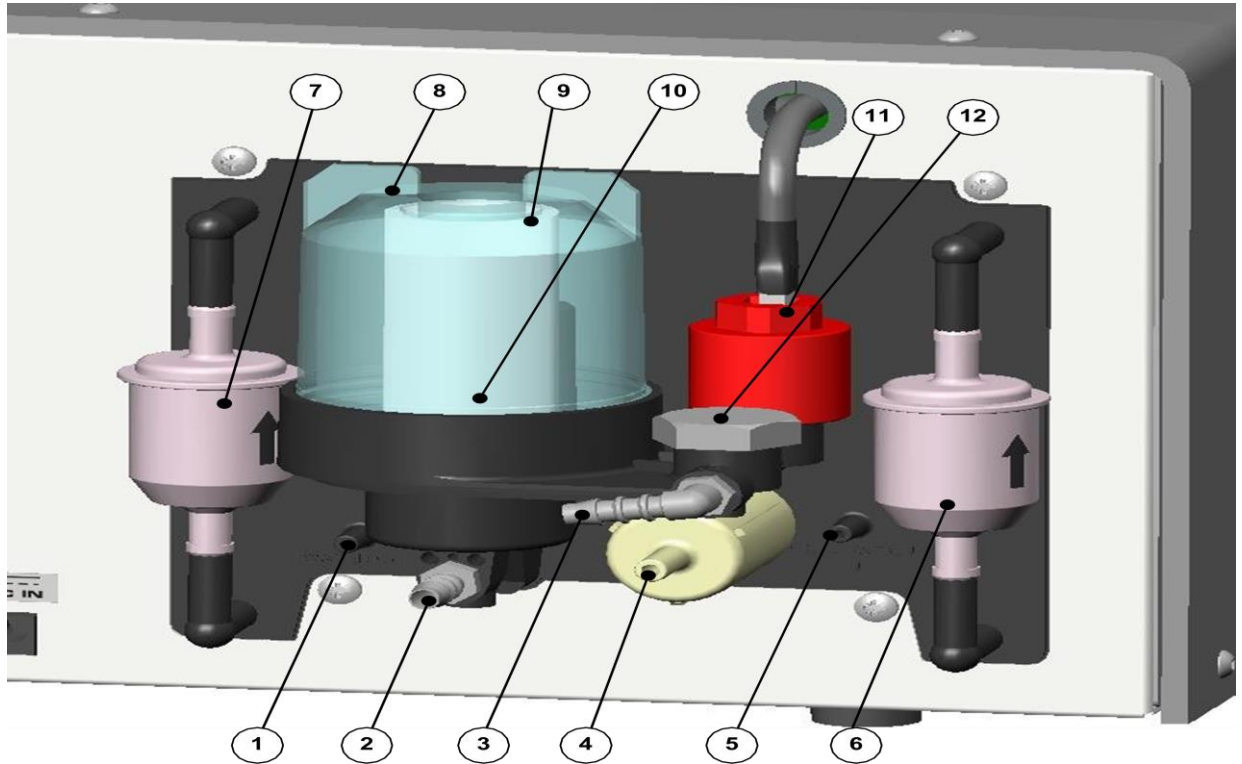
აირანალიზატორის Multitest 211 მოწყობილობა და მართვის ორგანოების განლაგების სქემა მოცემულია ნახ. 3.7-ზე.



ნახ. 3.7. აირანალიზატორ Multitest 211 მოწყობილობა და მართვის ორგანიზების სქემა:

- 1- ზეთის ტემპერატურის გამზომი ზონდის შესაერთებელი;
- 2- ძრავის ბრუნთა რიცხვის ამთვლელი გადამწოდი;
- 3- სერიული კავშირის პორტი;
- 4- საკომუნიკაციო კავშირის პორტი;
- 5- ელექტრომომარაგების პორტი;
- 6- დამატებითი ელექტრომიწოდების შესასვლელი;
- 7- პნევმატური ანუ მუშა ჯგუფი;
- 8- აღქმის მახასიათებლები.

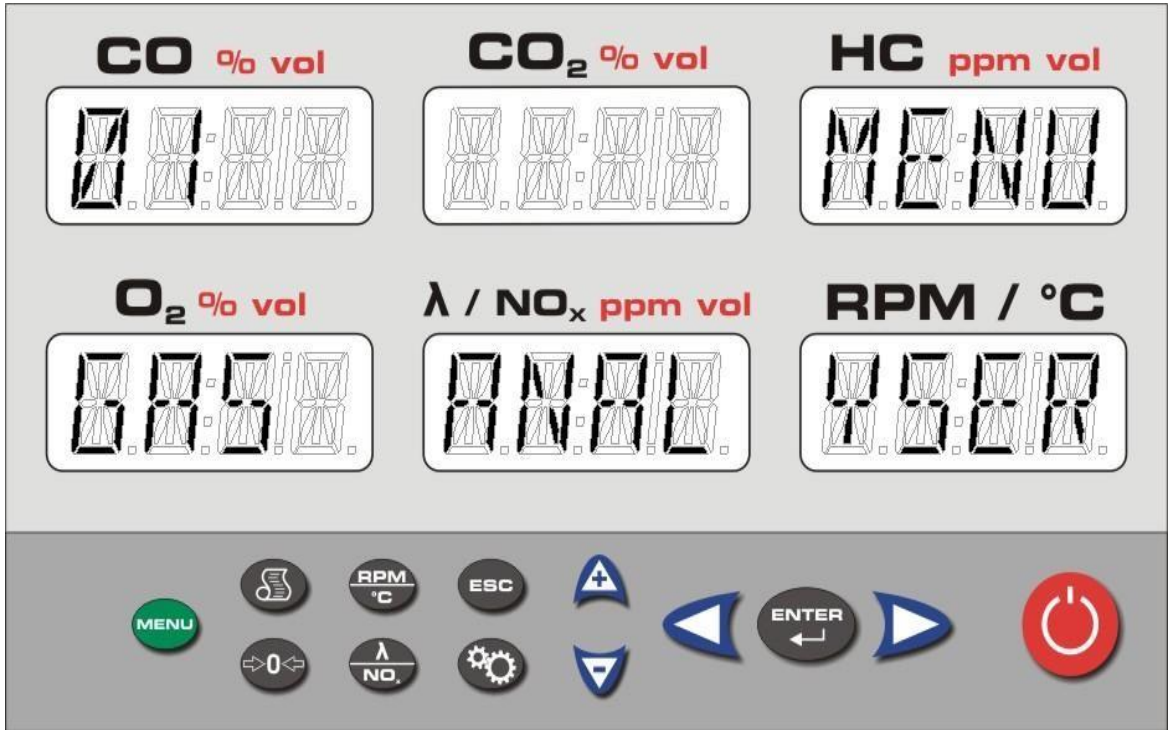
ხოლო ნახ. 3.8-ზე მოცემულია აირანალიზატორ Multitest 211-ის პნევმატური ჯგუფის დეტალები



ნახ. 3.8. აირანალიზატორ Multitest 211 პნევმატური ჯგუფის დეტალები

- 1- კონდენსირებული წყლის გამოსასვლელი;
- 2- ნამწვი აირების შესასვლელი;
- 3- ნამწვი აირების გამოსასვლელი;
- 4- აქტიური ნახშირბადის ფილტრი;
- 5- დაკალიბრებული ბოთლის შესასვლელი;
- 6- აირთა ჯაჭვის ფილტრი;
- 7- წყლის გასაფილტრი მოწყობილობა;
- 8- კონდენსატის სეპარაციის ჯგუფი;
- 9- შემკრები ფილტრი;
- 10- სუფთა მწმენდი ფილტრი;
- 11- O<sub>2</sub>-ის გადამწოდი;
- 12- NO<sub>x</sub>-ის გადამწოდის სახურავი.

ნახ. 3.9. მოცემულია აირანალიზატორი Multitest 211 მენიუ, ხოლო ცხრილში 3.1. მოცემულია აირანალიზატორი Multitest 211 ტექნიკური მახასიათებლები.



ნახ. 3.9. აირანალიზატორი Multitest 211 მენიუ

ცხრილი 3.1.

აირანალიზატორი Multitest 211 ტექნიკური მახასიათებლები

პარამეტრი	გაზომვის დიაპაზონი	განზომილება	ცდომილება
CO	0-9.99	%	0.01
CO <sub>2</sub>	0-19.9	%	0.1
HC	0.9999	Ppm	1
O <sub>2</sub>	0-25	%	0.01
NO <sub>x</sub>	0-5000	ppm	10
ძრავის ბრუნთა რიცხვი	300-9900	წთ <sup>-1</sup>	10
ზეთის ტემპერატურა	20-150	°C	1

გაზონალიზატორს გააჩნია შემდეგი ტექნიკური შესაძლებლობები:

- მიწოდებული აირის ხარჯი 4 ლ/წთ;
- კონდენსატის ავტომატური და უწყვეტი დრენაჟი;
- ნაკადის ავტომატური მართვა;
- ჟანგბადის ( $O_2$ ) ავტომატური კონტროლის გადამწოდი;
- ატმოსფერული წნევის ცვლილების ავტომატური კომპენსაცია  $85 \pm 106$  კპა

ზღვრებში;

- ბალონში სინჯის რაოდენობის ავტომატური რეგულირება;
- $20^\circ C$  ტემპერატურამდე შეთბობის დრო მაქსიმუმ 10 წთ;
- წვის პროდუქტებში CO,  $CO_2$ -ის და HC-ს შემცველობის აღქმის დრო ნაკლებია

15 წმ-ზე;

- ძრავის ბრუნთა რიცხვის ამთვლელის საშუალებით იმპულსის მიღება და

გადაცემა;

- მუდმივი დენის ტიპური კვების წყარო ძაბვა  $11 \pm 153$ ;
- მოხმარებული მუდმივი დენის ძალა 1,5 ა (ბეჭდვის დროს 3 ა);
- სამუშაო ტემპერატურა  $5 \pm 40^\circ C$  ზღვრებში;
- ფარდობითი ტენიანობა  $10 \pm 95\%$ ;
- შენახვის ტემპერატურა  $20 \pm 60^\circ C$ ;
- ლამბდა ფაქტორი რომელიც განსაზღვრავს ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტს;
- ანალიზატორი შედგება 6 თხევადკრისტალური დისპლეისაგან რომელთა

საშუალებით ხდება გაზომვის მნიშვნელობების ვიზუალიზაცია.

გაზომვითი სამუშაოების ჩატარებისას აირანალიზატორი უნდა ჩაერთოს 220 ვ ძაბვის ქსელში ან მივაერთოთ მუდმივი დენის წყაროსთან. ჩართვის დილაკზე ხელის დაჭერით აინთება ქსელში ჩართვის ინდიკატორი. ამის შემდეგ მოწმდება ციფრული საანგარიშო მოწყობილობების ჩვენება. კერძოდ CO,  $CO_2$ , HC,  $O_2$ ,  $NO_x$  მაჩვენებლები დისპლეები უნდა აჩვენებდეს ნულოვან სიდიდეს. ვახდენთ აირანალიზატორის შეთბობას 10 წთ-ის განმავლობაში და მილგაყვანილობას ვუყენებთ ძრავის მაცურის გამოსაბოლქვ მილში.

ექსპერიმენტის ჩატარების მსვლელობისას ავტომობილი უნდა დამუხრუჭდეს სადგომი მუხრუჭით და სიჩქარის ბერკეტი დავაყენოთ ნეიტრალურ მდგომარეობაში.

ძრავის ამუშავების შემდეგ უნდა დაველოდოთ ისეთი თბური რეჟიმის დამყარებას, როცა გამაგრებული სითხის ტემპერატურა იქნება  $90\pm 100^{\circ}\text{C}$  ზღვრებში, რის საფუძველზეც ვადგენთ ძრავის მუხლა ლილვის ბრუნთა რიცხვს მინიმალურ მნიშვნელობას  $n_{min}$  და მოვახდინოთ  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HC}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{NO}_x$  და  $\lambda$  (რომელიც გვიჩვენებს ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტს) განსაზღვრა.

გაზომვების შემდეგ ეტაპზე ვადგენთ მუხლა ლილვის ბრუნთა რიცხვის ცვლილების დიაპაზონს და შესაბამისად ბრუნთა რიცხვის მაქსიმალურ მნიშვნელობას  $n_{max}$ . თითოეულ ბრუნთა რიცხვზე გაზომვებს ვატარებთ რამდენჯერმე. მნიშვნელობებს ჩავინიშნავთ და ვახდენთ ანალიზს. სამუშაოს ჩატარებას ვანხორციელებთ როგორც სხვადასხვა ოქტანური რიცხვის ბენზინზე, ასევე ბუნებრივ აირზე და შესაბამისად მათი წყალბადთან ნარევის პირობებში. ჩატარებული კვლევა საშუალებას გვაძლევს დავადგინოთ წყალბადის, როგორც საავტომობილო საწვავის ეკოლოგიური უპირატესობა ტრადიციულ საწვავთან შედარებით.

### **3.4. სატრანსპორტო შიგაწვის ძრავებში ბუნებრივი აირისა და წყალბადის საწვავად გამოყენების ექსპერიმენტული კვლევის ანალიზი**

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

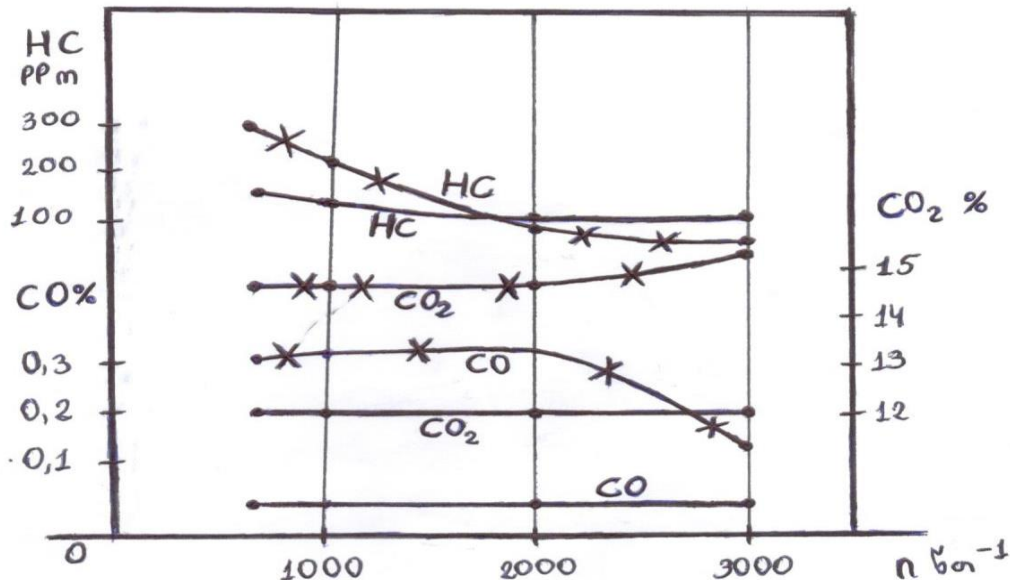
პირველ ეტაპზე კვლევის ობიექტად ავიღეთ მერსედესის ფორმის ავტომობილი MERCEDES-BENZ/ML 320, რომელიც მუშაობს ძირითადად ბენზინზე და კონვერტირებულია ბუნებრივ შეკუმშულ აირზე. ექსპერიმენტული კვლევის ჩატარების მეთოდის საფუძველზე, ძრავის უქმი სვლის რეჟიმზე მუშაობისას ( $n=700$  წთ<sup>-1</sup>), როგორც ბენზინის ასევე ბუნებრივი აირის შემთხვევაში გავზომეთ სიდიდეები  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HC}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{NO}_x$  და  $\lambda$  (გვიჩვენებს ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტს). ორივე შემთხვევაში შენარჩუნებულია ძრავის თბური რეჟიმის იდენტურობა

(გამაგრილებელი სითხის ტემპერატურაა 90°C). ანალოგიური გაზომვები ჩავატარეთ  $n=2000 \text{ წთ}^{-1}$  და  $n=3000 \text{ წთ}^{-1}$  დატვირთვის რეჟიმებზე მუშაობისას. სამივე შემთხვევაში ცდა ჩატარდა რამდენჯერმე და სიდიდეებს შორის განსხვავება უმნიშვნელოა. გაზომვის შედეგები მოცემულია ცხრილში 3.2. და ნახ.3.10-ზე.

ცხრილი. 3.2.

MERCEDES-BENZ/ML 320 წვის პროდუქტების ანალიზი მუხლა ლილვის ბრუნთა რიცხვზე დამოკიდებულებით

საწვავის სახე	CO	CO <sub>2</sub>	HC	O <sub>2</sub>	Λ
$n=700 \text{ წთ}^{-1}$					
ბენზინი	0,31	14,7	288	0,59	1,005
ბუნებრივი აირი	0,01	11,9	140	0,05	0,997
$n=2000 \text{ წთ}^{-1}$					
ბენზინი	0,32	14,8	85	0,32	1,003
ბუნებრივი აირი	0,01	11,8	97	0,25	1,014
$n=3000 \text{ წთ}^{-1}$					
ბენზინი	0,14	15,3	58	0,05	0,998
ბუნებრივი აირი	0,01	11,9	70	0,25	0,011



ნახ. 3.10. 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<sup>-1</sup>,  $n=2000$  წთ<sup>-1</sup> და  $n=3000$  წთ<sup>-1</sup> რეჟიმზე, როგორც ბენზინზე ასევე ბუნებრივ შეკუმშულ აირზე მუშაობისას. მონაცემები წარმოდგენილია ცხრილში 3.3.

ცხრილი. 3.3.

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

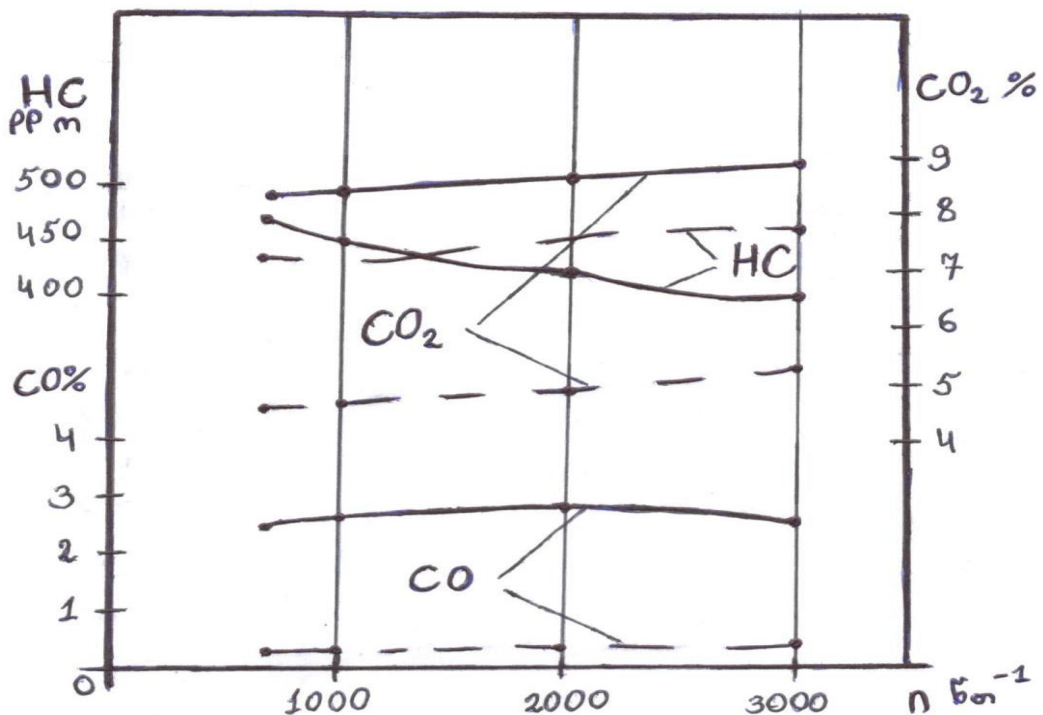
საწვავის სახე	CO%	CO <sub>2</sub> %	HC/ppm	O <sub>2</sub>	Λ
$n=700$ წთ <sup>-1</sup>					
ბენზინი	2,45	8,4	470	7,3	1,332
ბუნებრივი აირი	0,05	4,5	443	11,28	2,38
$n=2000$ წთ <sup>-1</sup>					
ბენზინი	2,48	8,6	426	8,2	1,441
ბუნებრივი აირი	0,06	4,9	450	12,3	2,52
$n=3000$ წთ <sup>-1</sup>					
ბენზინი	2,46	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 320, Vლ=3.2 ფორმის ავტომობილის ბენზინზე მუშაობისას, ბრუნვის სიხშირის ზრდასთან ერთად ნახშირჟანგის (CO) მნიშვნელობა მცირდება 0,31-დან 0,14-მდე, ხოლო CO<sub>2</sub>-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 ნახშირჟანგის და ნახშირორჟანგის ცვლილება ფაქტობრივად ბრუნთა რიცხვზე არ არის დამოკიდებული, ხოლო HC-ს მნიშვნელობა მცირდება 140 ppm-დან 70 ppm-მდე. შესაბამისად მოხმარებული ჟანგბადის რაოდენობა იცვლება  $0,05 \pm 0,25$  ზღვრებში.

ე.ი. შედარებითი ანალიზის საფუძველზე ვაკეთებთ დასკვნას მოცემული კვლევის ობიექტისათვის, თანაბარ პირობებში მუშაობისას, ბუნებრივი აირი ეკოლოგიურად უფრო მისაღებია ვიდრე ბენზინი.

კვლევის თვალსაზრისით მნიშვნელოვანია კარბურატორიანი ძრავის და მის ბაზაზე კონვერტირებული აიროვან საწვავზე მომუშავე ძრავების ეკოლოგიური მაჩვენებლების ანალიზი. ორივე შემთხვევაში გაზომვები ჩავატარეთ მინიმალურ ბრუნთა რიცხვზე ( $n=700 \text{ წთ}^{-1}$  თბური რეჟიმი ორივე შემთხვევაში იდენტურია) და ცდის შედეგები მოცემულია ნახ. 3.11-ზე.



ნახ. 3.11. კარბურატორიანი (გაზ-24) და ბუნებრივ აირზე კონვერტირებული ძრავების ეკოლოგიური მაჩვენებლები

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



მონაცემთა ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ბენზინზე მომუშავე კარბურატორიანი ძრავის კონვერტაცია ბუნებრივ შეკუმშულ აირზე (ნახ. 3.11.), საგრძნობლად აუმჯობესებს გარემოში მომწამლავი ნაერთების გამოყოფის შემცირების პროცესს. კერძოდ ჩვენს შემთხვევაში ნახშირჟანგის რაოდენობა მცირდება 10÷20%-ით, 2÷3,5%-ით მცირდება ნახშირორჟანგის, ხოლო 12÷18%-ით ნახშირწყალბადები. ასეთი უპირატესობა გამოწვეულია საწვავის სხვადასხვა ელემენტარული შედგენილობით და ცილინდრში წვის პროცესის მიმდინარეობის თავისებურებებით. ბუნებრივი აირის შემთხვევაში წვის პროდუქტებში თითქმის არ გამოიყოფა CO მაშინ, როცა ბენზინიან ძრავში მისი შემცველობა 2,5÷4%-ია. ეს აიხსნება იმით, რომ ბუნებრივ აირში ნახშირბადის შემცველობა (მასური წილი 74,9%) უფრო ნაკლებია ვიდრე ბენზინში (მასური წილი 85,6%). აღნიშნულის გამო წვის პროდუქტებში ნაკლებია CO<sub>2</sub>-ის კონცენტრაცია რაც მნიშვნელოვანი ეფექტია გლობალური დათბობის წინააღმდეგ ბრძოლის თვალსაზრისით.

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.

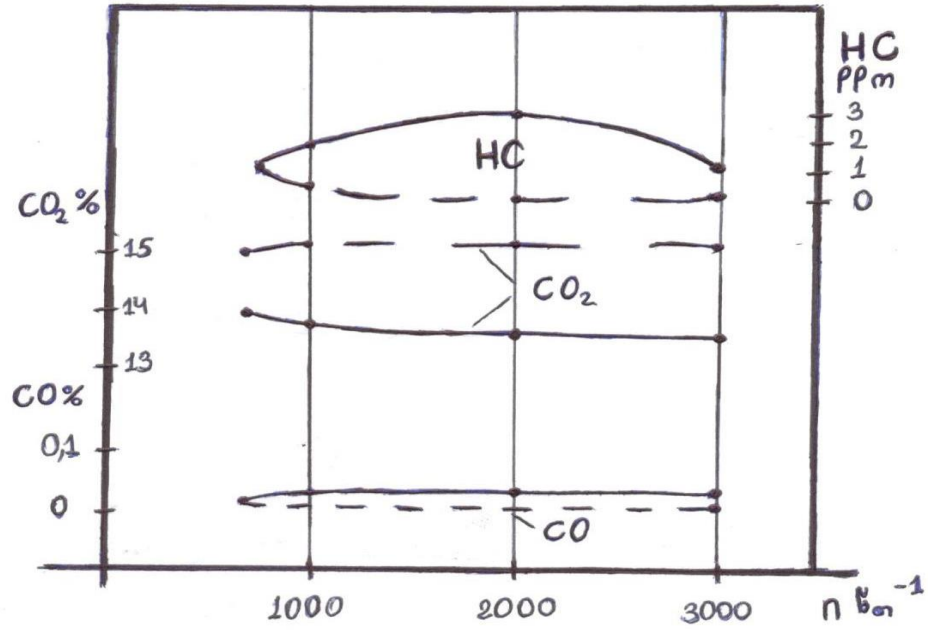
ოთხივე შემთხვევაში გაზომვითი სამუშაოები ჩატარდა ძრავის მუშაობისას უქმი სვლის რეჟიმზე  $n=700$  წთ<sup>-1</sup> და დატვირთვის რეჟიმებზე  $n=2000$  წთ<sup>-1</sup> და  $n=3000$  წთ<sup>-1</sup> მუხლა ლილვის ბრუნვის სიხშირის დროს. ყველა შემთხვევაში ძრავის ტემპერატურული რეჟიმი (გაგრილების სისტემაში ტემპერატურა 90-92°C) და სიმძლავრითი მაჩვენებლები იდენტურია. ექსპერიმენტული კვლევისას მიღებული მონაცემები წარმოდგენილია ცხრილში 3.4. და ნახაზებზე 3.12-ზე და 3.14-ზე ასევე

მოცემულია ექსპერიმენტის ფოტოები (ნახ. 3.13. და ნახ. 3.15.), რომელშიც ჩანს სხვადასხვა ბრუნთა სიხშირეზე აირანალიზატორ Multitest 211 მიერ დაფიქსირებული მონაცემები. უნდა აღინიშნოს რომ ოთხივე განსხვავებულ შემთხვევაში წვის პროდუქტებში აზოტის ჟანგეულების ( $\text{NO}_x$ ) რაოდენობა ფაქტიურად ნულის ტოლია, რაც განპირობებულია ცილინდრში წვის დაბალი ტემპერატურით.

ცხრილი. 3.4.

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

საწვავის სახე	CO%	CO <sub>2</sub> %	HC/ppm	O <sub>2</sub> %	Λ
$n=700 \text{ წთ}^{-1}$					
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	38	0,39	1,021
ბუნებრივი აირი + წყალბადი	0	11,5	32	0,36	1,02
$n=2000 \text{ წთ}^{-1}$					
ბენზინი	0,02	13,8	3	0,03	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
$n=3000 \text{ წთ}^{-1}$					
ბენზინი	0,02	13,6	0	0,03	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

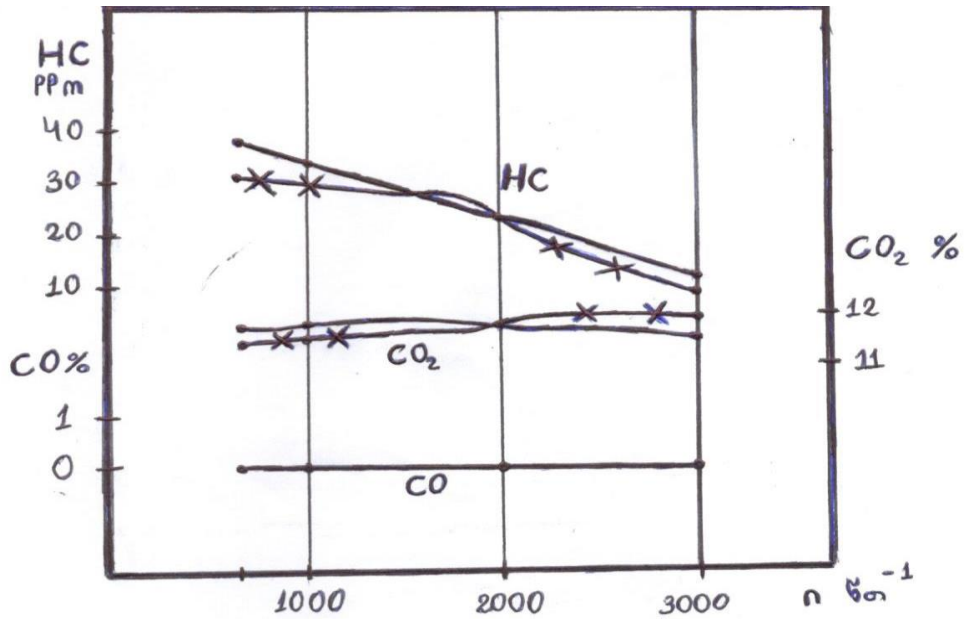


ნახ. 3.12. MITSUBISHI/OUTLANDER მარკის ავტომობილის ეკოლოგიური მაჩვენებლები ბენზინზე და ბენზინი + წყალბადი მუშაობის პირობებში ბრუნთა რიცხვზე დამოკიდებულებით

ბენზინი \_\_\_\_\_ ბენზინი + წყალბადი \_ \_ \_ \_ \_



ნახ. 3.13. აირანალიზატორ Multitest 211 მიერ დაფიქსირებული მონაცემები ძრავის დატვირთვის რეჟიმზე მუშაობისას ( $n=3000 \text{ წთ}^{-1}$ ) ბენზინი და ბენზინი + წყალბადი



ნახ. 3.14. 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---



ნახ. 3.15. აირანალიზატორ Multitest 211 მიერ დაფიქსირებული მონაცემები ძრავის მუშაობის უკმა სვლის რეჟიმზე ( $n=700$  წთ<sup>-1</sup>) ბუნებრივი აირი და ბუნებრივი აირი + წყალბადი

პირველ რიგში განვიხილოთ ძრავის მუშაობა უკმა სვლის რეჟიმზე ( $n=700$  წთ<sup>-1</sup>). ბენზინზე და ბენზინი + წყალბადი ძრავის მუშაობისას CO-ს მნიშვნელობა ორივე შემთხვევაში ერთნაირია, არ იცვლება ასევე HC მნიშვნელობა, თუმცა მეორე

შემთხვევაში შეინიშნება CO<sub>2</sub>-ის მომატება, რაც იმით იხსნება რომ შესაბამისად იმატებს წვის პროცესში მონაწილე ჟანგბადის რაოდენობა (O<sub>2</sub> 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 O<sub>2</sub>-ის მნიშვნელობების გარკვეული შემცირება.

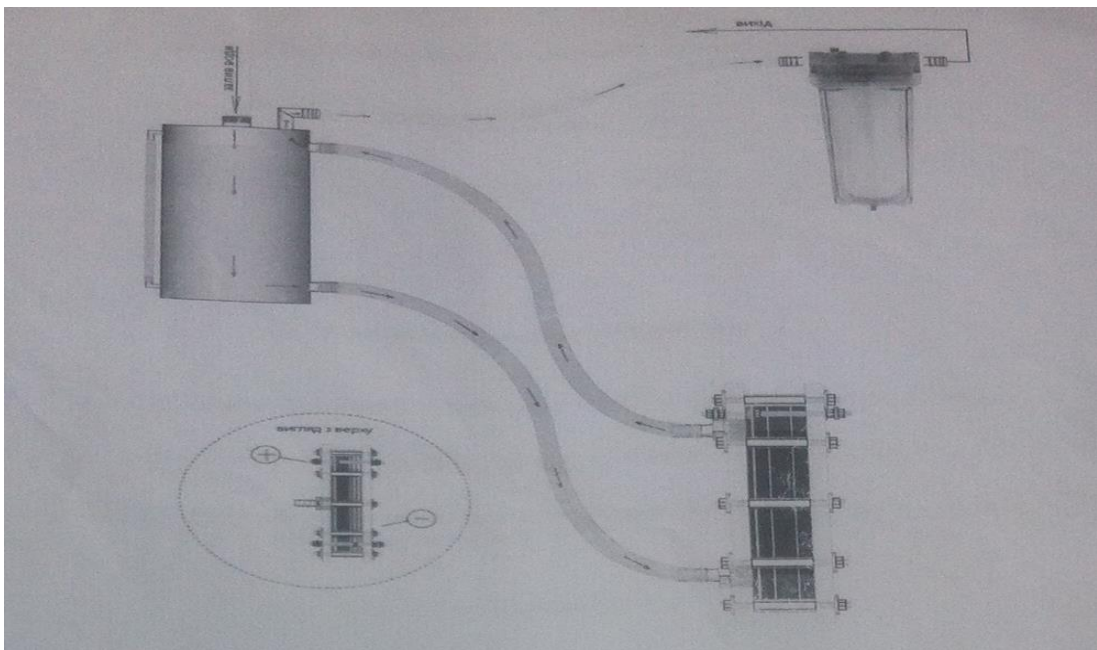
თუ ორივე რეჟიმზე შევადარებთ ძრავის მუშაობას ბენზინსა და ბუნებრივ აირზე მეორე შემთხვევაში CO და CO<sub>2</sub> მნიშვნელოვნად ნაკლებია ბენზინზე მომუშავე ძრავთან შედარებით, თუმცა HC მნიშვნელოვნად მომატებულია რაც დამახასიათებელია აიროვან საწვავზე მომუშავე ძრავებისთვის.

ძრავის მუშაობისას დატვირთვის რეჟიმზე ( $n=2000$  წთ<sup>-1</sup>), როცა საწვავად გამოყენებულია ბენზინი და ბენზინი + წყალბადი, მეორე შემთხვევაში CO-სა და HC-ს მნიშვნელობები შესამჩნევად ნაკლებია პირველთან შედარებით, თუმცა შეინიშნება CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>. 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.

ანალოგიური კვლევა ჩატარდა ძრავის დატვირთვის რეჟიმზე მუშაობისას  $n=3000$  წთ<sup>-1</sup> ბრუნვის სიხშირის დროს. როგორც ბენზინზე ასევე ბენზინი + წყალბადი მუშაობისას წვის პროდუქტებში საერთოდ არ ფიქსირდება HC, ამასთან პირველ შემთხვევაში მეტია CO-ს პროცენტული რაოდენობა, მეორე შემთხვევაში კი

CO<sub>2</sub>-ის, რაც ჟანგბადის უკეთეს მოხმარებასთანაა დაკავშირებული. იმავე რეჟიმზე როცა საწვავად გამოყენებულია ბუნებრივი აირი და ბუნებრივი აირი + წყალბადი, ორივე შემთხვევაში წვის პროდუქტებში CO-ს შემცველობა არ ფიქსირდება, CO<sub>2</sub> თითქმის ერთნაირია და პირველ შემთხვევაში 1 ppm-ით მეტია HC შემცველობა. ე.ი. წყალბადის დამატებით HC-ს რაოდენობა მცირდება, მაშინ როცა მცირდება O<sub>2</sub>-ის მოხმარება. როგორც მონაცემებიდან ჩანს ბენზინზე მუშაობისას წვის პროდუქტებში HC საერთოდ არ ფიქსირდება, მაშინ როცა ბუნებრივი აირის გამოყენების შემთხვევაში მისი სიდიდე 9-10 ppm აღწევს. აღნიშნული მოვლენა დაკავშირებულია აიროვანი საწვავის თვისებაზე წარმოქმნას სხვადასხვა სახის ნახშირწყალბადები.

ისმის კითხვა, რატომ მცირდება წვის პროდუქტებში ტოქსიკური ნაერთების ემისია ძირითად საწვავზე წყალბადის დამატების შემთხვევაში. ამ დროს პროცესში მონაწილე წყალბადის მიღება ხორციელდება სპეციალურ მოწყობილობაში, რომლის ძირითადი ელემენტია აირის გენერატორი ანუ ელექტროლიზერი (ნახ. 3.16.) სისტემის მუშაობის საფუძველია წყლის ელექტროლიზის პროცესი, რომლის დროსაც კატალიზატორად გამოყენებულია კალიუმის მარილი და მიიღება წყლის ორთქლი ანუ ბრაუნის აირი HHO. ასევე მოცემულია ჩვენს ექსპერიმენტიმენტულ კვლევაში გამოყენებული MITSUBISHI/OUTLANDER მარკის ავტომობილის ფოტო, რომელზეც ჩანს წყალბადის ელექტროლიზერი ნახ. 3.17.



ნახ. 3.16. ელექტროლიზერის სქემა



ნახ. 3.17. MITSUBISHI/OUTLANDER მარკის ავტომობილის წყალბადის ელექტროლიზერი

ძრავის ცილინდრში აღნიშნული აირის მიწოდება ამდიდრებს საწვავის და ჰაერის ნარევს. კერძოდ, ცილინდრში მიეწოდება დამატებითი პორცია წყალბადი, რომლის თბოუნარიანობა ძალიან მაღალია და ასევე ჟანგბადი თავისუფალი ატომის სახით. რადგან წყალბადის წვა დამატებით გამოიწვევს სითბოს გამოყოფას, ამიტომ საბაზო საწვავთან შედარებით იზრდება ციკლის განმავლობაში ცილინდრში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა და შესაბამისად სიმძლავრე 10÷12%-ით. წვის პროცესში დამატებითი ატომური ჟანგბადის მიწოდებით სათბობის წვა მიმდინარეობს უფრო სრულყოფილად ე.ი. ჭარბი ჟანგბადის არეში და შესაბამისად მცირდება მავნე ნაერთების რაოდენობა გამომავალ აირებში.

როგორც ჩატარებული კვლევის ანალიზი გვიჩვენებს, განსახილველ შემთხვევაში წვის პროდუქტებში არ ფიქსირდება აზოტის ჟანგეულების ( $\text{NO}_x$ ) ემისია. ეს აიხსნება იმით, რომ კვლევის ობიექტი ავტომობილები აღჭურვილი არიან კატალიზატორებით და რადგან ძრავის ცილინდრში წვის ტემპერატურა არ აღემატება 850-900 K,  $\text{NO}_x$ -ის წარმოქმნა არ ხორციელდება.

ძრავის მუშაობის როგორც ეკონომიკური, ასევე საექსპლუატაციო და ეკოლოგიური მახასიათებლების შეფასების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ფაქტორია

საწვავი ნარევის შედგენილობა, რომელიც განისაზღვრება ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტის ( $\lambda$ ) მნიშვნელობით.

$$\lambda = \frac{l}{l_0} \quad (3.28)$$

სადაც  $l_0$  საწვავის სრულად დასაწვავად თეორიულად საჭირო სითბოს რაოდენობაა, ხოლო  $l$  წვის პროცესში მონაწილე ჰაერის პრაქტიკული სიდიდეა.

1 სიდიდეზე მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული როგორც წვის პროდუქტების შედგენილობა ასევე ციკლში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა. როცა  $\lambda < 1$  ნარევი მდიდარია და ჟანგბადის უკმარისობის გამო მიმდინარეობს არასრული წვა და გამოიყოფა დიდი რაოდენობით CO, CO<sub>2</sub>, HC, და N<sub>2</sub>. როცა  $\lambda > 1$  ნარევი ღარიბია ე.ი. წვა მიმდინარეობს ჭარბი ჟანგბადის პირობებში და წვის პროდუქტებში მავნე ნივთიერებების ემისია გაცილებით ნაკლებია ვიდრე  $\lambda < 1$  დროს. როცა  $\lambda = 1$  ნარევი სტექიომეტრიულია და პროცესი მიახლოებულია იდიალურთან. ჩატარებული ექსპერიმენტალური კვლევის ანალიზიდან გამომდინარე ყველა განსახილველ შემთხვევაში  $\lambda$  სიდიდე ერთის მახლობლობაშია, ამიტომ წვის პროდუქტებში მავნე ნივთიერებების ემისია მინიმალურია და შეესაბამება EURO-5 მოთხოვნებს.

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 შემცირებას, რაც კიდევ ერთხელ მიუთითებს სატრანსპორტო საშუალებებზე წყალბადის ენერგეტიკის დანერგვის პერსპექტივაზე.



## თავი 4. ალტერნატიულ საწვავზე მომუშავე ტრანსპორტის გარემოზე ზემოქმედების ეკონომიკური ეფექტიანობის შეფასება

### 4.1. გარემოში გამოყოფილი მავნე ნაერთებებით მიყენებული სოციალურ-ეკონომიკური ზიანის გაანგარიშების მეთოდოლოგია და ანალიზი

გარემოს დაცვის გლობალური პრობლემების საკითხის გადაწყვეტა შეუძლებელია რომელიმე ერთი სახელმწიფოს ან რეგიონის მაგალითზე, რადგან აღნიშნული პრობლემის გადაჭრა შესაძლებელია მხოლოდ ერთობლივად განხორციელებული კომპლექსური მეთოდებით.

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.

ფაბრიკა-ქარხნების, საავტომობილო, საჰაერო და საზღვაო ტრანსპორტის მუშაობისას გარემოში გამოყოფილი მავნე აირები აბინძურებენ ატმოსფეროს, ხოლო სამრეწველო ნარჩენები წამლავენ წყალს და ნიადაგს. დაბინძურებული მდინარეები ჩაედინება ზღვებსა და ოკეანეებში და წამლავს ცოცხალ სამყაროს. გარემოს დაბინძურების შედეგად ირღვევა წყლის, ხმელეთის და ჰაერის ეკოსისტემების კვებითი ჯაჭვები, რაც უარყოფითად მოქმედებს ქვეყნის ეკონომიკასა და მოსახლეობის სოციალურ მდგომარეობაზე. ე.ი. ბუნებრივ გარემოში დამაბინძურებელი ნივთიერებების მომატებული რაოდენობა საზოგადოებას აყენებს, როგორც ეკოლოგიურ ასევე სოციალურ-ეკონომიკურ ზიანს მატერიალური და არამატერიალური წარმოების სფეროში. საავტომობილო ტრანსპორტის მიერ გარემოში გამოყოფილი მავნე ნაერთების ზემოქმედებით მიყენებული სოციალურ-ეკონომიკური ზარალი (ლარი/წელი) შეიძლება ვიანგარიშოთ [33] ლიტერატურულ წყაროებზე დაყრდნობით, შემდეგი ფორმულის საფუძველზე:

$$Y = j\sigma fM \quad (4.1)$$

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  $f=10$ .

$\sigma$  - ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების საფრთხის ფარდობითი მაჩვენებელია და აიღება ცხრილიდან, ცხრილი 4.1.

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

$$M = \sum_{i=1}^n A_i m_i \quad (4.2)$$

სადაც  $n$  - ატმოსფეროში სატრანსპორტო საშუალებების მიერ გამოყოფილი მავნე მინარევების საერთო რიცხვია;

$A_i$  -  $i$  ური სახეობის მინარევის ფარდობითი აგრესიულობის მაჩვენებელია, აიღება ცხრილიდან, ცხრილი 4.2.

$m_i$  - ატმოსფეროში გამოყოფილი  $i$  ური სახის მინარევის წლიური მასაა ტ/წელ და გამოითვლება ფორმულით

$$m_i = m_{i,j} \cdot L \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot 10^{-6} \quad (4.3)$$

სადაც  $m_{i,j}$  - სატრანსპორტო საშუალებების მიერ 1 კმ-ის გარბენისას გამოყოფილი  $i$  ური კომპონენტის კუთრი მასაა გ/კგ; მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილში 4.3.

$L$  - სატრანსპორტო საშუალების გარბენაა წლის განმავლობაში კმ.

$K_1$  - საავტომობილო პარკის საშუალო ასაკის ზრდის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტია  $K_1 = 1,0 \div 1,3$ .

$K_2$  - სატრანსპორტო საშუალების ტექნიკური მდგომარეობის გამათვალისწინებელი კოეფიციენტია  $K_2 = 0,8 \div 2,0$ .

$K_3$  - კლიმატური პირობების გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი  $K_3 = 1,2 \div 1,4$ .

ცხრილი 4.1.

ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების ფარდობითი საფრთხის მაჩვენებელი სხვადასხვა ტერიტორიისთვის

№	დაბინძურებული ტერიტორიის ტიპი	სიდიდე $\sigma$
1	კურორტის, ნაკრძალის, სასტუმროს ტერიტორია;	10
2	ქალაქგარეთ დასვენების ზონა;	8
3	სამრეწველო საწარმოების ტერიტორია;	4
4	დასახლებული პუნქტების ტერიტორია მოსახლეობის სიმჭიდროვით $n \frac{\text{ადამიანი}}{\text{კმ}^2}$ ;	0,1n
5	ტყე.	0,025 $\div$ 0,2

ცხრილი 4.2.

ატმოსფეროში გამოფრქვეული სხვადასხვა ნაერთებისათვის  $A_i$  სიდიდის მნიშვნელობა

№	ნაერთის დასახელება	ზღვ დღე-ღამეში კგ/მ <sup>3</sup>	$A_i$
1	ნახშირჟანგი	3	1,0
2	გოგირდოვანი აირი	0,05	16,5
3	გოგირდწყალბადი	0,008	41,1
4	აზოტის ჟანგეულები	0,04	42,1
5	ნახშირწყალბადები	1,5	1,5

ცხრილი 4.3.

წვის პროდუქტებში ტოქსიკური ნაერთების რაოდენობა (გრ/კგ) სატრანსპორტო საშუალების ტიპისა და მოხმარებული საწვავის მიხედვით

საწვავის სახეობა	საწვავის ხარჯი ლ/კმ	CO	NO <sub>x</sub>	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	ჭვარტლი	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	ტყვიის ნაერთები
სამგზავრო ავტომობილი სრული მასით 2500÷5000 კგ								
ბენზინი	0,191	40,2	1,3	3,1	-	382,9	0,27	0,045
დიზელი	0,109	1,6	2,0	0,4	0,35	251,3	0,87	-
თხევადი ბუნებრივი აირი	0,123	10,0	0,5	2,9	-	321,4	0,02	-
სამგზავრო ავტომობილი სრული მასით 3500÷12000 კგ								
ბენზინი	0,367	118,5	10,1	10,7	-	725,6	0,52	0,086
დიზელი	0,265	9,2	8,4	2,0	1,49	666,1	2,3	-
თხევადი ბუნებრივი აირი	0,217	28,4	3,5	10,4	-	569,8	0,04	-

*შენიშვნა: სამგზავრო ავტომობილი 2500-5000 კგ მასით 8 ადგილზე მეტი; როცა საწვავად გამოიყენება მხოლოდ წყალბადი ატმოსფეროში გამოიყოფა მხოლოდ აზოტის ჟანგეულები 0,62÷0,70 გ/კგ ზღვრებში.*

წარმოდგენილი მონაცემები და მეთოდიკა საშუალებას იძლევა ჩავატაროთ თეორიული გაანგარიშება და შედარებითი ანალიზი, სხვადასხვა სახის საწვავზე მომუშავე სატრანსპორტო საშუალების მიერ, გარემოზე მიყენებული ზიანის გასარკვევად. აღნიშნულ მეთოდზე დაყრდნობით და წარმოდგენილი მონაცემებით ჩვენს მიერ ჩატარდა თეორიული კვლევა მსუბუქი ავტომობილის მაგალითზე, როგორც ბენზინზე ასევე აიროვან საწვავზე მუშაობის შემთხვევაში, როცა მუშაობის პირობები თანაბარია. კვლევა გვიჩვენებს რომ ერთი ავტომობილის მიერ გარემოზე მიყენებული ზიანი ბენზინზე მუშაობის შემთხვევაში 1,72 ჯერ მეტია ვიდრე აიროვან საწვავზე მუშაობისას. კერძოდ, ერთი ავტომობილის მიერ გარემოზე მიყენებული ზიანი მთელი წლის განმავლობაში შეადგენს 1614 ლარს, როცა იგივე მაჩვენებელი აიროვანი საწვავის მოხმარების შემთხვევაში 938 ლარია. თუ განვიხილავთ საწვავად

წყალბადის გამოყენების შემთხვევის გარემოზე მიყენებული წლიური ზიანი შეადგენს მხოლოდ 72 ლარს. ეს მაჩვენებელი კიდევ ერთხელ მიუთითებს წყალბადის, როგორც საავტომობილო საწვავის უპირატესობას სხვა სახის საწვავთან შედარებით.

მესამე თავში მოყვანილი ექსპერიმენტული კვლევის საფუძველზე დგინდება, რომ ბენზინთან შედარებით საუკეთესო ეკოლოგიური მაჩვენებლებით ხასიათდება ბუნებრივი აირი, ხოლო ორივე შემთხვევაში წყალბადის დანამატი კიდევ უფრო აუმჯობესებს ძრავის როგორც სიმძლავრით, ასევე ეკოლოგიურ მახასიათებლებს. იგივე მეთოდიკის საფუძველზე ჩატარებული ანგარიში საშუალებას გვაძლევს დავასკვნათ, რომ ერთი ავტომობილის მიერ გარემოზე მიყენებული ზარალი ჩვენს შემთხვევაში შეადგენს (მთელი წლის განმავლობაში) ბენზინზე მუშაობისას 972 ლარს; ბუნებრივ აირზე მუშაობისას 616 ლარს; ბენზინი + წყალბადი მუშაობისას 123 ლარს და ბუნებრივი აირი + წყალბადი მუშაობისას 42 ლარს.

ე.ი. წარმოდგენილი მეთოდიკა საშუალებას იძლევა, ეკოლოგიური ღონისძიებების გატარების დაგეგმვისას, საკმარისი სიზუსტით ვიანგარიშოთ სატრანსპორტო საშუალებების მიერ გარემოზე მიყენებული ზიანის შედეგები, როგორც წლის ასევე დღე-ღამის განმავლობაში.

#### **4.2. სატრანსპორტო საშუალებების მიერ გარემოში გამოყოფილი მავნე ნაერთების შემცირებით მიღებული ეკონომიკური ეფექტის გაანგარიშება**

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

აღნიშნული მაჩვენებლების შეფასება ცნობილია სოციალურ-ეკონომიკური ეფექტის სახელწოდებით და მიუთითებს გარემოს დაცვითი ღონისძიებების გატარებისას სოციალური და ეკონომიკური შედეგების მიღწევაზე. კერძოდ, ბუნების დაცვითი ღონისძიებების გატარება უზრუნველყოფს შემდეგი ისეთი შედეგების რეალიზებას როგორცაა:

- ეკოლოგიური - ითვალისწინებს ბუნებრივ გარემოზე უარყოფითი ზემოქმედების შეწყვეტას ან შემცირებას, მასში დამაბინძურებელი ნივთიერებების მოცულობის ანუ კონცენტრაციის შემცირებით. სატრანსპორტო საშუალებებთან დაკავშირებით ამ ღონისძიებების გატარება შესაძლებელია ალტერნატიული წყაროების პრაქტიკაში დანერგვით ან არსებულის ეკოლოგიური მაჩვენებლების გაუმჯობესებით.

- სოციალური - ითვალისწინებს ფიზიკური განვითარების გაუმჯობესებას; შრომის პირობების გაუმჯობესებას და მოსახლეობის კეთილდღეობის დონის ამაღლებას; დაავადებათა და სიკვდილიანობის რისკის შემცირებას; სიცოცხლის ხანგრძლივობის გადიდებას და სხვ.

- ეკონომიური - ითვალისწინებს ბუნებრივი რესურსების დანაკარგების შეზღუდვას და შრომის დანახარჯების შემცირებას სახალხო მეურნეობის და არასამრეწველო სფეროში.

საავტომობილო ტრანსპორტით გარემოს დაბინძურების შემცირების ერთ-ერთი რეალური მეთოდი სხვადასხვა სახის ალტერნატიული ენერგეტიკული წყაროების მოხმარებაა, რომელთა შორის აღსანიშნავია ბიოდიზელი, სპირტი, ნავთობის თხევადი აირი, შეკუმშული ბუნებრივი აირი, სინთეზგაზი, წყალბადი და სხვ. თუმცა რეალურია ელექტრო მობილების პრაქტიკაში დანერგვის გზებიც.

სხვადასხვა სახის ალტერნატიული საწვავის უპირატესობის შესაფასებლად ნავთობპროდუქტებთან შედარებით, მნიშვნელოვანია გამონაბოლქვი აირების ტოქსიკურობის შემცირებით მიღებული ეკონომიკური ეფექტის გაანგარიშება და ანალიზი მოცემული მეთოდიკის გამოყენებით [33, 38].

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

$$E = \left[ C \cdot \left( \frac{B_{\text{მ}}}{B_{\text{საბ}}} \cdot \frac{P_1 + E_n}{P_2 + E_n} - 1 \right) + E_j + Z - X \right] \cdot N \quad (4.4)$$

სადაც  $C$  - საბაზო ძრავის ღირებულებაა ლარებში;

$B_{\text{საბ}}$  და  $B_{\text{მ}}$  - ავტომობილის მიერ შესრულებული სამუშაოს წლიური მოცულობაა საბაზო და ექსპერიმენტალური ძრავის ექსპლუატაციის პირობებში; სიდიდე  $\frac{B_{\text{მ}}}{B_{\text{საბ}}}$  ავტომობილის მწარმოებლობის ზრდის კოეფიციენტია;

$E_n = 0,12$  ეკონომიკური ეფექტიანობის ნორმატიული კოეფიციენტია;

$P_1$  და  $P_2$  - წარმოადგენენ საბაზო და ახალი ძრავების მუშაობის ხანგრძლივობის შებრუნებულ სიდიდეებს და ითვალისწინებენ მათ რემონტზე დახარჯული ძრავის ღირებულების წილს;

სიდიდე  $\Psi = \frac{P_1 + E_n}{P_2 + E_n}$  გამოსაკვლევია ძრავის მუშაობის ხანგრძლივობის კოეფიციენტია საბაზოსთან შედარებით;

$Z$  - ეკონომიკური ზონის შემცირების თანხაა გამოსაკვლევია ძრავით აღჭურვილი ავტომობილის შემთხვევაში მუშაობის მთელ პერიოდში, ლარებში;

$X$  - ეკოლოგიური მახასიათებლებით გაუმჯობესებული ძრავის შექმნაზე დახარჯული დამატებითი დაყვანილი დანახარჯებია ერთი ძრავისთვის ლარებში;

$E_j$  - ავტოსატრანსპორტო საწარმოს წლიური ეკონომიაა ახალი ძრავით აღჭურვილი ავტომობილის ექსპლუატაციისას საბაზოსთან შედარებით, ლარებში;

$N$  - საავტომობილო ტრანსპორტზე მოხმარებული ახალი ტიპის ძრავების რიცხვია.

სიდიდეები  $E_j$ ;  $Z$  და  $X$  განისაზღვრება შემდეგი ფორმულების [33, 38] საფუძველზე

$$E_j = \frac{(H_{\text{საბ}} - H_{\text{ახ}}) - E_n \cdot (K_{\text{ახ}} - K_{\text{საბ}})}{P_2 + E_n} \quad (4.5)$$

$$Z = \frac{Y_{\text{საბ}} - Y_{\text{ახ}}}{P + E_n} \quad (4.6)$$

$$X = \Delta C + \frac{\Delta K + K_{\text{კვლევა}}}{N_X} \quad (4.7)$$

სადაც  $H_{sb}$  და  $H_{sb}$  - ავტოსატრანსპორტო საწარმოს წლიური საექსპლუატაციო დანახარჯია ავტომობილის ექსპლუატაციისას, შესაბამისად საბაზო და ახალი ძრავით ექსპლუატაციის პირობებში, ლარებში;

$K_{sb}$  და  $K_{sb}$  - ავტოსატრანსპორტო საწარმოს მიერ კაპიტალდაბანდება ავტომობილის ექსპლუატაციისას საბაზო და ახალი ძრავის აღჭურვის შემთხვევაში;

$\Delta C$  - გაუმჯობესებული ეკოლოგიური მახასიათებლების მქონე ერთეულოვანი ძრავის თვითღირებულების ცვლილება, ლარებში;

$Y_{sb}$  და  $Y_{sb}$  - ავტომობილის ექსპლუატაციისას გარემოში გამოყოფილი მავნე ნაერთებით გამოწვეული სოციალურ-ეკონომიკური ზიანია საბაზო და ახალი ძრავის მოხმარების შემთხვევაში, ლარებში;

$N_x$  - გაუმჯობესებული ეკოლოგიური მახასიათებლების მქონე ძრავების რაოდენობა;

$K_{კვლევა}$  - კვლევითი სამუშაოს ჩატარებისას სამუშაოს შესრულებაზე დახარჯული თანხებია, ლარებში.

$\Delta K$  - დამატებითი კაპიტალდაბანდებები ძრავების მთელი გამოშვებული მოცულობის გაუმჯობესებისათვის.

წინა პარაგრაფში ჩატარებული გაანგარიშების საფუძველზე შესაძლებელია მოცემული მეთოდით 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 ხარჯისა და გარემოში გამოყოფილი ტოქსიკური ნაერთების 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 ძრავის ცილინდრსა და გარემოს შორის მიმდინარეობს სითბოსა და მასის ცვლის ურთულესი პროცესები. ამასთან 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. სტატისტიკური მონაცემებით ცნობილია, რომ განსაკუთრებით ზრდის ტენდენციით ხასიათდებიან ისეთი დაავადებები, როგორცაა პნევმონია, ალერგია, ქრონიკული ასთმა, ონკოლოგიური და გულსისხლძარღვთა დაავადებები.

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 გზა ალტერნატიული საწვავის გამოყენების გზების ძიებაა. დღეისათვის საავტომობილო ტრანსპორტის ეკონომიურობისა და ეკოლოგიური უსაფრთხოების ამდლებების 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. ახალი არატრადიციული ენერჯის წყაროს ძიების საკითხი მნიშვნელოვანი ამოცანაა, როგორც ენერგეტიკული მრეწველობის ასევე საყოფაცხოვრებო სექტორისათვის. განახლებადი ენერგეტიკული ტექნოლოგიები ფართოდ იწერება ადამიანის საქმიანობის მრავალ სფეროში და პირველ რიგში ტრანსპორტზე.

5. სატრანსპორტო საშუალებების კერძოდ, საავტომობილო ტრანსპორტის ეკონომიკური და ეკოლოგიური მაჩვენებლების გაუმჯობესების მომავლის პერსპექტივაა ისეთი წყაროების გამოყენება, რომელიც არ წარმოადგენს ნავთობის გადამუშავებით მიღებულ სათბობს. ალტერნატიული ენერჯის წყაროებს შორის განსაკუთრებული ყურადღება ენიჭება წყალბადის ენერგეტიკის, 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. გამომდინარე აქედან სხვა ალტერნატიულ წყაროებთან ერთად აქტიურად განიხილება სატრანსპორტო შიგაწვის ძრავებში წყალბადის გამოყენების პერსპექტივები. XXI საუკუნე წყალბადის ენერგეტიკის საუკუნეა და 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 როგორიცაა

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. ჩატარებული კვლევების შედეგად დგინდება, რომ ჩვენი ქვეყნისთვის შავ ზღვაში არსებულ გოგირდწყალბადს აქვს პოტენციური ეკონომიკური ღირებულება, რადგან მისგან უსაფრთხოების წესების სრული დაცვით შეიძლება მიღებული იქნას ეკოლოგიურად სუფთა საწვავი წყალბადი.

ამ მიზნით დავამუშავეთ ერთიანი მთლიანი ციკლი შავი ზღვის აუზიდან 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  $N_1$ -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 ენერგო-ეკოლოგიური 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 ( $\alpha$ ) ფართო დიაპაზონში კუმშვის ხარისხის ( $\epsilon$ ) ცვლილებისას. ნარევში წყალბადის წილის მომატება იწვევს წვის სიჩქარის ზრდას, რის გამოც მცირდება წვის ხანგრძლივობა და იზრდება სითბოს გამოყოფის სიჩქარე. საშუალო ინდიკატორული წნევა და ინდიკატორული მქც მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს, როცა წყალბადის წილი ნარევში  $0,03 \pm 0,04$  ზღვრებშია. ე.ი. წყალბადის ტრადიციულ საწვავზე დამატება საშუალებას იძლევა ახლებურად განვიხილოთ ცილინდრში მუშა პროცესის მიმდინარეობა. ამ საკითხის დადებითად გადაჭრა ამალღებს ძრავის როგორც საწვავის ეკონომიას, ასევე ამცირებს ნამწვი აირების ტოქსიკურობას. ამ მიზნით ჩვენს მიერ თეორიულად ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე დამუშავდა მეთოდოლოგია, რომლის საფუძველზეც შეიძლება განვსაზღვროთ ნარევში 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, რაც სამრეწველო - სატრანსპორტო ეკოლოგიის ძირითადი ამოცანაა. 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 ბუნებრივი აირი უფრო მისაღებია ვიდრე ბენზინი.

კვლევის თვალსაზრისით მნიშვნელოვანია კარბურატორიანია ძრავის და მის ბაზაზე კონვერტირებული აიროვან საწვავზე მომუშავე ძრავების ეკოლოგიური მაჩვენებლების ანალიზი. მივიღეთ რომ ბენზინზე მომუშავე კარბურატორიანი ძრავის კონვერტაცია აიროვან საწვავზე საგრძნობლად აუმჯობესებს გარემოში მომწამლავი ნაერთების გამოყოფის შემცირების პროცესს.

კვლევის მთავარ მიზანს წარმოადგენდა საავტომობილო ტრანსპორტზე წყალბადის გამოყენების შესაძლებლობის შესწავლა. ამ 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 ანალიზი გვიჩვენებს 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 გატარებული ბუნებისდაცვითი ღონისძიებების გატარების შედეგად და გამოისახება ღირებულებითი ფორმით. მაგ. დაავადებათა შემცირება ერთის მხრივ აძლიერებს ადამიანის ჯანმრთელობას და მეორეს მხრივ ზრდის შესრულებული 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 ეკონომიკური მდგომარეობის გაუმჯობესების თვალსაზრისით. წყალბადის მოპოვება და ენერგეტიკის განვითარება ჩვენი ქვეყნის მომავლის საქმეა.

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. გახოკიძე ე., გახოკიძე ი. საქართველოს ძირითადი ავტომაგისტრალების მიმდებარე სავარგულების ეკოლოგიური გამოკვლევის შედეგები. გამოყენებითი ქიმიისა და ტექნოლოგიების თანამედროვე მიღწევები. ქუთაისი 2009. გვ. 77-81.
2. გელაშვილი ო. საწვავეკონომიურობისა და ეკოლოგიურობის უზრუნველყოფა საავტომობილო ტრანსპორტზე. III ქართულ-პოლონური საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია. „სატრანსპორტო ხიდი ევროპა-აზია“. ქუთაისი. 2017. გვ. 44-50.
3. კამლაძე ა. ტრანსპორტი და გარემო. ქუთაისი. აწსუ. 2013. გვ.186.
4. კახიძე ნ., რუბაშვილი ი., ჯიქია მ. ქალაქ ქუთაისის ატმოსფერული ჰაერის შეფასების ეკოლოგიურ-ქიმიური ასპექტები. გამოყენებითი ქიმიისა და ტექნოლოგიების თანამედროვე მიღწევები. ქუთაისი. 2009. გვ. 110-112.
5. მეფარიშვილი მ. თერმო-ჰიდროდინამიკური პროცესების გამოკვლევა ახალი ტიპის თბურამძრავიან მემბრანულ ტუმბოში. თბილისი 2015 წ.
6. საქართველოს ბუნების დაცვის და პრობლემატიკის საკითხები ([https://geoecoproblems.Files.wordpress.com/2016/06/united\\_nations\\_environment\\_programme.png](https://geoecoproblems.Files.wordpress.com/2016/06/united_nations_environment_programme.png)).
7. შარაბიძე ი. გოგირდწყალბადი - ალტერნატიული ენერჯის წყარო. ბათუმის სახელმწიფო საზღვაო აკადემიის I რეგიონალური კონფერენციის შრომები, 2014წ. გვ. 77-81.
8. ცხაკაია ე. გოგირდწყალბადზე მომუშავე საწვავი ელემენტი. დისერტაცია ქიმიის დოქტორის მოსაპოვებლად. თბილისი 2015 წ.
9. ძირითადი ეკოლოგიური პრობლემები კავკასიის რეგიონში. (<https://geoecoproblems.Files.wordpress.com/2016/06/climate-zones-the-caucasus-ecoregion.jpg>).
10. ჯიბლაძე მ., ბაციკაძე თ., დგებუაძე გ., გვახარია ვ. შავი ზღვის ეკოლოგიური და ენერგეტიკული პრობლემები. 2013; გვ. 8-9.
11. ჯიბლაძე მ., გვახარია ვ., მიქაბერიძე ა., რამძაძე ზ. და სხვა. შავი ზღვის გოგირდწყალბადის ენერგეტიკის პრობლემები. „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“, №1-13; 2010, გვ. 14-17.
12. ჯიბლაძე მ., ვარშალომიძე გ., შარაბიძე ი., ბაციკაძე თ. ბუნებრივი წყალსატევებიდან გოგირდწყალბადის შემცველი წყლის მიმღები დანადგარი, საქართველოს პატენტი, u 1818. 2014.

13. ჯიბლაძე მ., ვარშალომიძე გ., შარაბიძე ი., ბაციკაძე თ. ეკოლოგიურად უსაფრთხო გადამზიდი მოწყობილობა. საქართველოს პატენტი u 1814. 2014.
14. ჯიბლაძე მ., ვარშალომიძე გ., შარაბიძე ი. შავი ზღვის გოგირდწყალბადის პრობლემები. „საქართველოს ნავთობი და გაზი“. №29 თბილისი 2014. გვ. 88-106.
15. Зйцев Ю. П. Черного море: состояние экосистемы и пути его улучшения. Молодежный экологический центр им. В. Н. Вернадского, Одесса, 2000, ст. 46.
16. Бартин В. П. Варшавский И. Л. Двигатели на водороде / природа. 1981. №9 с. 22-29.
17. Бойцов Е. Н., Ковальский В. А. Способ извлечения сероводорода из водных сред. Описание изобретения к патенту №2134237 А. С. РФ. 1999.
18. Бондаренко Г., Калябина И. Проблема извлечения сероводорода из глубинных вод Черного моря. Институт геохимии окружающей среды НАН и МЧС Украины. 2009.
19. Бондаренко Г., Ковалюх Н., Доронин И. Изотопное исследование гидрологии Черного моря. Вопросы геохимии, минерологии и рудообразования. К Наукова думка, 1974.
20. Варшавский И. Л., Терешук В. С. Способ очистки природных водоемов от сероводорода. Описание изобретения к патенту №2123476. А. С. РФ. 1998.
21. В. Х. Геворкьян. Газогидраты - продукт мантийной дегазации / Геология и полезные ископаемые мирового океана. - 2012. - №1. - с. 52-65.
22. Вяткин М. Ф., Куимова М. В. О влиянии выхлопных газов автомобилей на здоровье человека / молодой ученый . -2015 - №10
23. Галищев Ю. В. Магидович Л. Е. Топливные проблемы транспортной энергетики. СПб. : Изд. СПбГПУБ, 2005, 236 с.
24. Гамбург д., Семенов В., Дубовин Н. Водород, свойства, получение, хранение, транспортирование, применение. Справочник. Н. 1989.
25. Гудков В. А. Квотирование числа пассажирских автотранспортных средств по критерии экономической безопасности/стандарты и качества 2008, №2. с.44-48.
26. Гусевич Е. И., Русанов В. Д. Проблеми сероводорода и его переработки в Черном море. Материали III міжнародної конференції JCHMS-2003 "Водородное материаловедение и химия углеродных наноматериалов". Г. Судак, 2003, ст 1077-1079.
27. Двигатели внутреннего сгорания: системы поршневых и комбинированных двигателей. Учебник под общ. ред. А. С. Орлина и М. Г. Круглова. М. Машиностроение, 1985, ст 456.
28. Иванов М. В. Метан Черного моря: генезис, запасы и перспективы использования. Институт микробиологии им. С. Н. Виноградского РАН, Москва, ст 1-2.
29. Иванчѐв С., Мякин С. Полимерные мембраны для теплових елементов. Успехи химии, 79(2) 2010, ст. 119-124.



30. Кашия В. Экологически чистые методы освоения водородосодержащих компонентов Черного моря. -JSTAEЕ-2004-№2 (10)
31. Климова Е., Краснов В. Конвертирование двигателя внутреннего сгорания на водородное топливо. /Двигател -2010: сборник научных трудов по материалам Международной конференции, посвященной 180 летию МГТУ. 2010, ст. 297-300.
32. Книпович Н. М. Гидрологические исследования в Черном море. Тр. Азово Черноморской научно-промысловой экспедиции. 1932, вып.10, 272 с.
33. Корчагин В. А., Луканин В. Н., эффективность затрат на охрану труда и защиту окружающей среды. М. МАДИ - 1986г.
34. Кравец В. Н., Губанов В. И. Структура сероводорода в Черном море в условиях усиленного и ослабленного пресса. Экология моря, 2000, № 51, с. 9195.
35. Л. Н. Гольцова, А. Л. Юткин. Черное море, хорошее море / Изобретитель и пасионализатор. 1996 №2.
36. Ложкин В., Грешных А. Автомобиль и окружающая среда. Автомобильный транспорт как источник загрязнения окружающей среды. Проблемы и решения: СПб. 2007. 305 с.
37. Луканин В. Н., Буспаев А. П. автотранспортные потоки и окружающая среда. -М. : ИНФРА -М, 1998, 576 с.
38. Луканин В. Н., Трофименко Ю. В. Промышленно-транспортная экология. М: Высш. шк. 2003-273с.
39. Максименко Т. Как поставить сероводород черному морю на службу людям?
40. Методика определения массы выбросов загрязняющих веществ автотракторными средствами в атмосферный воздух. - М. :НИИАТ, 1993.
41. Митропольский А. Ю., Безбородов А. А. Геохимия Черного моря. Киев. Наукова думка. 1982. ст. 141.
42. Мищенко А. Применение водорода для автомобильных двигателей. Киев. Наук думка, 1984, ст. 143.
43. Мулдер М. Введение в мембранную технологию. Москва, 1999, ст. 20-25.
44. Неклюдов И. М., Борц Б. В., Полевич О. В., Ткаченко В. И., Шиляев Б. А. Альтернативная сероводородная энергетика Черного моря. Состояние проблемы и перспективы. Часть 1. Водородная энергетика и транспорт, 2006, № 12(44), с. 23-30.
45. Нестеров П. М. Экономика природопользования: Учеб. пос. - М. Высшая школа; 1984. 256с.
46. Практическая экология морских регионов, Черное море. Наукова думка, 1980, ст. 250.
47. Природный газ в двигателях / А. П. Кодрян, В. В. Пашков. Киев : Наука думка, 1990, 200 с.
48. Пшеничный Б. Патент Р. Ф. 59940, 10.01.2007.

49. Работа дизелей на нетрадиционных топливах / В. А. Марков, Л. В. Грехов, Н. А. Иващенко. М. : Изд. "Легион Автодата" 2008. 464 с.
50. Раменский А. Применение водорода в качестве топлива для автомобилей. Инженерно-технический центр "водородные технологии". 2015.
51. Скопинцев Б.А. Формированные современного состава вод Черного моря. Гидрометеоиздат, Ленинград, 1975, ст. 336.
52. Тарасов А., Пшеничный Б. Патент 2385989 (13) С1, 2008134754/03, 28.08.2008. 10.04.2010.
53. Теплофизические процессы в дизелях, конвертированных на природный газ и водород / Р. З. Кавтарадзе. - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. -238, [2] с. :ил. ISBN 978-5-7038-3482-4
54. Топливная экоомичность двигателей с бензиновыми двигателями/Под. ред. Д. Хуллиарда. - М. Машиностроение, 1998.
55. Федотов В. Выбор объекта и алгоритма нейронрограмм координации систем управления дорожным движением по криверии риека экологического воздействия/Приборы и системы управление, контроль, диагностики, 2010 №1. с 3-8.
56. Цицишвили Г., Андроникашвили Т., Филизова А. Природные цеолиты - М. Химия 1985, ст. 224. р. 140-152.
57. Черного море. Сборник. Ленинград, Гидрометеоиздат, 1983, ст. 405.
58. Чеспоков Ю. Мембранное разделение газов. Мембраны для разделения газовых смесей. Транспорт через пористые и непористые мембраны, 2000, ст. 45-70.
59. Шноков Е. Ф., Зиборов А. П. Минеральные богатства Черного моря, 2004, НАНУ. – Киев. ст. 227
60. A. Tabe – Mohammadi, A. Review of the Applications of Membrane Separation Technology in Natural Gas Treatment Separation Science and Technology, 34 (1999), 2095-2111.
61. Baker R. Membrane Technology and application. Membrane Technology and Research, Ync. Crowhiee, New York (2000).
62. Gogiashvili P., Kamladze A., Chogovadze J. Logistic management of environmental safety of passenger transport. Buleten of Science and Practice. Scientific Jurnal, 2018, Volume 4, Issue 4. P. 262-267.
63. Horne R. Marine chemistry. The structure of Water and the chemistry of the Hydrosphere. New York – London – Sydney – Toronto: Wiley – Interscheince, A Division of John Willey 1969. P. 3983.
64. <http://www.1gai.ru/publ/516203-vodorod-v-avtomobilyah-opasnosti-i-slozhnosti-ispolzovanya.html@1gai.ru>
65. <https://www.journals.elsevier.com/marine-chemistry>.

66. Hydrogen Use in Internal Combustion Engines. Hydrogen Fuel Cell Engines and Related Technologies: Rev O, December 2001.
67. Lin F. C., Wang D. M. And Lai I. TPX membranes with high gas flux. Journal of membrane Science, 110 (1996) 25-36. 100.
68. Multitest 211. Gas Analyser 2 or 4 stroke petrol engines. User manual. Ver.1.0
69. Pandey P. and Chautan R. S. 2001. Membrane for gas separation. Progress in Polymer Science, 26, (2001) 853-893.
70. Wang D., Teo W. K. Preparation and characterization of high – flux polysulfone hollow fibre gas separation membranes, Journal of membrane Science, 204, (2002), 247-256.
71. <https://www.autoevolution.com/news/toyota-fcv-hydrogen-tanks-are-bulletproof-74977.html>

### დოქტორანტ ბაჩანა მარკელიას ავტორობით და თანაავტორობით გამოქვეყნებული შრომები (სულ 10 ნაშრომი)

72. 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.
73. 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/>
74. 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.
75. 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.
76. 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](http://WWW.stumejournals.com)
77. Markelia B., Sharabidze I., Kochadze T. **PROSPECTS AND CHALLENGES OF USING HYDROGEN AS AN ALTERNATIVE FUEL IN THE INTERNAL COMBUSTION ENGINES OF VEHICLES.** Bulletin of Science and Practice, №12, 2017, doi:10.5281/zenodo.1112415. <http://www.bulletennauki.com>
78. 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>

79. 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>

80. 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](http://www.stumejournals.com)