

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

მეგი ჭონიაშვილი

საშუალო სინჯის აღების ოპტიმიზაცია ჰაერის ანალიზებისათვის

ზუსტდასაბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი

ქიმიური ექსპერტიზა

ნაშრომი შესრულებულია ქიმიის მაგისტრის (ქიმიური ექსპერტიზის სპეციალობით)  
აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

ხელმძღვანელი: ივანე ჯავახიშვილის სახელობის

თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის

ასისტენტ პროფესორი გიორგი ჯიბუტი

თბილისი

2019

## ს ა რ ჩ ე ვ ი

ანოტაცია .....	3
შესავალი .....	5
1. ლიტერატურის მიმოხილვა .....	6
1.1 ატმოსფეროს სტრუქტურა და შედგენილობა .....	6
1.1.1 ატმოსფეროს ქიმიური შედგენილობა .....	7
1.1.2 ატმოსფეროს ვერტიკალური სტრუქტურა .....	9
1.2 ატმოსფეროს დაბინძურებით გამოწვეული საფრთხეები.....	12
1.3 ატმოსფეროს შედგენილობის კვლევის სავსე მეთოდები .....	14
1.4 ატმოსფერული ჰაერის მონიტორინგი საქართველოში .....	15
1.5 საშუალო სინჯის აღების მეთოდები .....	18
1.6 აღჭურვილობა ჰაერის სინჯის აღებისათვის.....	20
2. ანალიზის მეთოდები.....	23
2.1 აზოტის ოქსიდების (NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> ) განსაზღვრა O <sub>3</sub> -თან ქემილუმინესცენციით.....	23
2.2 ოპტიკური ღრუს სპექტროსკოპია .....	24
3. ექსპერიმენტული ნაწილი .....	28
3.1 ექსპერიმენტში გამოყენებული აპარატურა.....	28
3.2. ანალიზის მსვლელობა .....	30
3.3. შედეგები და მათი განსჯა .....	31
4. დასკვნები.....	54
გამოყენებული ლიტერატურა.....	55

## ანოტაცია

წინამდებარე სამუშაოს მიზანს, წარმოადგენდა ჰაერის საშუალო სინჯის აღების ოპტიმიზაცია. ზუსტი გაზომვებისთვის აუცილებელი მოთხოვნაა, რომ სინჯი სწორად იყოს აღებული. სინჯის სწორად აღებისათვის ჰაერის ნაკადის სიჩქარე დროის ინტერვალში დიდად არ უნდა იცვლებოდეს. ამისათვის კი პრაქტიკაში გამოიყენება ჰაერის ნაკადის შემზღვევად-რესტრიქტორი, მაგრამ ჩვენს ექსპერიმენტში ჰაერის ნაკადის შემზღვევად გამოვიყენეთ გაზური ქრომატოგრაფიის კაპილარის ნაჭერი, სწორედ ესაა, ჩვენი ექსპერიმენტის სიახლე, რომლის პრაქტიკაში გამოყენება ლიტერატურაში ვერ მოვიძიეთ. გაზური ქრომატოგრაფიის კაპილარის გამოყენება მარტივი, იაფი და ხელმისაწვდომია.

თავდაპირველად შევისწავლეთ ბალონის შევსების სიჩქარე. მიღებული მონაცემების საფუძველზე, ნიმუშის ასაღებად შევარჩიეთ დროის ის მონაკვეთი სადაც ნიმუშის შევსების სიჩქარე იყო თანაბარი.

კვლევები გავაგრძელეთ ლაბორატორიაში, რადგან ატმოსფერო ნაკლებად ცვალებადია და ჩვენს მიერ აღებული ნიმუშის შედეგების შედარებას ვახდენდით ონლაინ მონაცემებთან, რომელიც მუდმივ რეჟიმში იზომებოდა.

მიღებული შედეგებიდან გამომდინარე ექსპერიმენტული კვლევა გავაგრძელეთ 20 სმ-იანი კაპილარით დროის ინტერვალით 20 წთ ლაბორატორიის ღია ფანჯარაში რომელიც, ასევე დარდებოდა ონლაინ მონაცემებს.

ექსპერიმენტულ მეთოდში გამოყენებულ იქნა ECO Physics წარმოების NOx ანალიზატორი CLD 780 TR, ანალიზის მეთოდს წარმოადგენდა აზოტის ოქსიდების (NO, NO<sub>2</sub>-ჯამურად NO<sub>x</sub>) განსაზღვრა O<sub>3</sub>-თან ქემილუმინესცენციით.

ხოლო ნახშირბადის ოქსიდები (CO, CO<sub>2</sub>) და მეთანი (CH<sub>4</sub>) განსაზღვრას ვახდენდით PICARRO G2401 CRDS ანალიზატორით, ოპტიკური ღრუს სპექტროსკოპიის მეთოდით.

## Summary

The aim of this study was to optimize of the average air sampling. It is necessary to make sure that air samples are taken correctly. The air flow rate during the sampling should not vary much, to ensure correct average sampling. For this in practice flow rate restrictors are used, but we used piece of gas chromatography capillary column, we could not find any references of this practice in literature. The use of gas chromatography capillary is simple, cheap and available.

Initially we studied the fill rate of the sampling balloon, analyzing the laboratory with 5, 10, and 20 cm capillaries. Based on the received data, we selected the section of the time where the filling speed was equal.

Studies have continued in the laboratory because the air inside the laboratory is less variable, and comparison of our sample results have been measured and compared to online data which was constantly measured.

Based on the results obtained, we continued experimented time interval in a 20 minutes open window that also infused online data.

In the experimental method used ECO Physics NO<sub>x</sub> Analyzer CLD 780 TR. The analysis method used to measure nitrogen oxides (NO, NO<sub>2</sub>, summary name NO<sub>x</sub>) with O<sub>3</sub> Chemiluminescence

Carbon oxides (CO, CO<sub>2</sub>) and methane (CH<sub>4</sub>) were measured by PICARRO G2401 CRDS analyzer based on cavity ringdown spectroscopy.

## შესავალი

თემის აქტუალობა გამოწვეულია იმით, რომ თანამედროვე მსოფლიოს პრობლემას წარმოადგენს ჰაერის დაბინძურება, რომელიც გამოწვეულია დედამიწის მოსახლეობისა და ადამიანთა საქმიანობების მასშტაბების ზრდით.

მეცნიერულად დასაბუთებულია, რომ ატმოსფეროში დამაბინძურებლების, კერძოდ კი ისეთი მავნე ნივთიერებების, როგორცაა: ნახშირბადის, აზოტისა და გოგირდის ოქსიდების, მტვრის და სხვა მიკრონაწილაკების ორგანული ნაერთების და ა.შ. დაშვებულზე მაღალი კონცენტრაციები უარყოფითად ზემოქმედებს ადამიანის ჯანმრთელობაზე, ეკოსისტემებსა და მატერიალურ ფასეულობებზე, [1] ამიტომ მნიშვნელოვანია ატმოსფეროში დამაბინძურებლების კონტროლი და რეგულაცია.

არსებობს დამაბინძურებელ აირთა გაზომვის სხვადასხვა მეთოდები:

- 1) ფლუორესცენტული სპექტროსკოპია და მისი სახეობები.
- 2) ულტრაიისფერ-ხილული ოპტიკურ აბსორბციული სპექტროსკოპიის და მისი სხვადასხვა მოდიფიკაცია.
- 3) ქემილუმინესცენტური მეთოდი - შესაძლებლობას იძლევა განვსაზღვროთ ატმოსფეროში შემავალი მრავალი ნივთიერება.
- 4) ოპტიკური ღრუს სპექტროსკოპია.
- 5)  $H_2O_2$  ქემილუმინესცენცია თხევად ფაზაში.
- 6) პეროქსიდების გაზომვა „სველი“ მეთოდით. [2] და ა.შ.

არსებობს ჰაერი სინჯების აღების ორი მეთოდი: მყისიერი შევსების ბალონებით და სინჯის აღება სორბენტთან მილებით. ზუსტი გაზომვებისთვის საჭიროა, რომ სინჯი სწორად იყოს აღებული, რომლისთვისაც აუცილებელია, რომ ჰაერის ნაკადის სიჩქარე დროის ინტერვალში დიდად არ იცვლებოდეს. ნაკადის სიჩქარის მარეგულირებელ სისტემას კი წარმოადგენს შემზღუდავი, ანუ რესტრიქტორი, რომელიც პრაქტიკაში დანერგილია. მაგრამ ჩვენ ჩვენს ექსპერიმენტში ნაკადის შემზღუდავად გამოვიყენეთ გაზური ქრომატოგრაფიის კაპილარი, რომელიც პრაქტიკაში არ გამოყენებულა რადგან მასზე ლიტერატურული მონაცემები ვერ მოვიპოვეთ. კაპილარის გამოყენების შემთხვევაში კი ნაკადის სიჩქარე დამოკიდებულია მის სიგრძესა და შიგა დიამეტრზე. სწორედ გაზური ქრომატოგრაფიის კაპილარის გამოყენება წარმოადგენს სიახლეს ჩვენს ექსპერიმენტში - საშუალო სინჯის აღების ოპტიმიზაცია ჰაერის ანალიზებისათვის.

# 1.ლიტერატურის მიმოხილვა

## 1.1 ატმოსფეროს სტრუქტურა და შედგენილობა

ატმოსფერო დედამიწაზე სიცოცხლის არსებობის უმთავრესი პირობაა. დედამიწის ატმოსფერო სხვადასხვა აირების ნარევა და ასევე დამატებით შეიცავს აეროზოლის ნაწილაკებს. ატმოსფერული აირების კლასიფიკაცია ხდება მათი შემცველობის და ატმოსფეროში მათი სიცოცხლის ხანგრძლივობის მიხედვით. ატმოსფეროში ყოფნის დრო განისაზღვრება, აირის რაოდენობის შეფარდებით მისი ატმოსფეროდან მოშორების სიჩქარესთან. რაოდენობის მიხედვით არის, ძირითადი და კვალის სახით არსებული აირები, ხოლო, ცხოვრების დროის მიხედვით იყოფა მუდმივ, ცვალებად და ძლიერ ცვალება ტიპებად. მუდმივი გაზების შემცველობა უცვლელია გეოლოგიური პერიოდების განმავლობაში, ხოლო ცვალებადი გაზებისთვის ცხოვრების დრო იზომება წლებით ან დღეებით.

ჰაერის ძირითადი შემადგენელი კომპონენტებია: აზოტი (მოცულობის 78.084%), ჟანგბადი (მოცულობის 20.946% ) და არგონი ( მოცულობის 0.934% ). ჯამში ეს სამი გაზი წარმოადგენს ატმოსფეროს შემცველობის 99.964 მოცულობით პროცენტს. ამ გაზების კონცენტრაციები არ განიცდიან მნიშვნელოვან ცვლილებას დროსა და სივრცეში (დედამიწის ზედაპირიდან 80 კილომეტრის მანძილზე), ამიტომ მათ ეწოდებათ მუდმივი გაზები. ატმოსფეროში არის სხვა კეთილშობილი გაზებიც, გაცილებით მცირე რაოდენობით. ისინი ცვალებად და ძლიერ ცვალებად გაზებს მიეკუთვნებიან. ასევე მცირე რაოდენობითაა სხვა აირებიც, მაგ: წყალბადი, არგონი, მეთანი, ჰელიუმი, ნეონი, აზოტის ოქსიდი, კრიპტონი და სხვა.

სხვა გაზების შემცველობა გაცილებით მცირეა მთავარ კომპონენტებთან შედარებით და ამიტომ მათ ეწოდებათ კვალური გაზები. მიუხედავად მათი მცირე რაოდენობისა, მათ საკმაოდ დიდი წვლილი მიუძღვით სათბურის ეფექტსა და ატმოსფეროს დაბინძურებაში. სხვადასხვა გაზებთან ერთად, ატმოსფერო შეიცავს აეროზოლის ნაწილაკებს. აეროზოლები მყარი, ან თხევადი ნაწილაკების სუსპენზიაა გაზში. ნაწილაკების ზომით  $10^{-9}$ - $10^{-4}$ მ. აეროზოლების დიდი ნაწილი წარმოიქმნება ბუნებრივი წყაროებიდან, უშუალოდ ატმოსფეროში გაფრქვეული ძირითადი ნაწილაკების ემისიის პირველადი წყაროებია ნიადაგი და მინერალების მტვერი, ბიომასის წვა, ბიოლოგიური მასალები, ნამარხი საწვავების არასრული წვა, ინდუსტრიული მიკრონაწილაკები და სატრანსპორტო მოძრაობა. ატმოსფერული აეროზოლების კონცენტრაცია ცვალებადია დროსა და სივრცეში. ატმოსფერულ აეროზოლებს აქვთ მნიშვნელოვანი ეფექტები სხვადასხვა ატმოსფერულ პროცესებზე, კლიმატზე და ადამიანის ჯანმრთელობაზე. აეროზოლები ცვლიან დედამიწის გამოსხივების ბალანსს, ისინი შთანთქავენ და ფანტავენ შემომავალ (მზის) და დედამიწის

გამოსხივებას (სითბურს თუ სინათლის). ისინი აუცილებელია ღრუბლების და ნალექების წარმოქმნისთვის, რადგანაც წარმოადგენენ კონდენსაციის ბირთვებს. მათ გავლენა აქვთ ჟანგვით პროცესებზე და მოქმედებენ აზოტის, გოგირდის, და სხვა ატმოსფერული მჟნაგვების ციკლებზე. [3]

### 1.1.1 ატმოსფეროს ქიმიური შედგენილობა

ატმოსფერო - დედამიწის აიროვანი გარსი, ეკოქიმიური თვალსაზრისით გარემოს უმნიშვნელოვანესი ობიექტია. ადამიანი ცხოვრობს და საქმიანობს ატმოსფეროს ოკეანის ფსკერზე, დღე - ღამეში 18-20 კგ ჰაერს ჩაისუნთქავს, რაც გაცილებით მეტია გამოყენებული საკვებისა და წყლის მასაზე. ამიტომ ჰაერის ქიმიური შედგენილობა ადამიანის ჯანმრთელობის ერთ - ერთი მთავარი განმსაზღვრელი ფაქტორია.

ატმოსფერო გარემოს დაბინძურების სარკეა. ტექნოგენური ნივთიერებების ძირითადი ნაწილი უშუალოდ ატმოსფეროში იფრქვევა და შემდეგ ნაწილდება წყლებში, ნიადაგებსა და მცენარეებში. ამასთან ის ყველაზე დინამიური სფეროა. ხელსაყრელ მეტეოროლოგიურ პირობებში ანთროპოგენური ნივთიერებებისთვის გლობალური გადანაწილებისათვის რამდენიმე საათია საკმარისი. ატმოსფეროს, როგორც საკონტროლო ობიექტს, კიდევ ერთი უპირატესობა აქვს, მასში ჰიდრო - და გეოსფეროსთან შედარებით ნივთიერებების ფონური კონცენტრაციები ბევრად ნაკლებია, რაც აადვილებს გარეშე ნივთიერებების იდენტიფიცირებას და ანთროპოგენური ნამატის რაოდენობრივ განსაზღვრას.

ატმოსფეროს საერთო მასა  $5.15 \cdot 10^{15}$  ტ შეადგენს. ატმოსფეროს სიმკვრივე სიმაღლის მიხედვით მკვეთრად მცირდება, თუმცა მთავარ კომპონენტთა შორის თანაფარდობა მუდმივი რჩება. ატმოსფეროს ზედა ზღვარი მიწის ზედაპირიდან დაახლოებით 1000 კმ სიმაღლეზეა, თუმცა აირების ძირითადი მასა 5-10 კმ - მდე, ფენაში - ტროპოსფეროშია მოქცეული.

თანამედროვე ატმოსფერო რთული, ხანგრძლივი გეოლოგიური, ქიმიური და ბიოქიმიური ევოლუციის პროდუქტია. როგორც ვარაუდობენ, დედამიწა 4.6 - 5 მლნ წლის წინ ჩამოყალიბდა. მანტიის დეგაზაციის შედეგად ფორმირებული ატმოსფერო ქიმიური შედგენილობა თანამედროვე ვულკანური აირების ანალოგიური იყო ( $H_2O$ , He,  $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ , HCl და სხვა). დროთა განმავლობაში წყალბადი და ჰელიუმი დიფუნდირდა კოსმოსში, ტემპერატურის დაცემის შედეგად წყლის ორთქლი კონდენსირდა და გახსნილი  $CO_2$  - ის ხარჯზე დაიწყო  $CaCO_3$  - ის გამოლექვა. წყლის ფოტოლიზის შედეგად გაჩნდა ჟანგბადი რომელიც თავდაპირველად  $CH_4$ ,  $H_2S$ ,  $NH_3$  და სხვა ნივთიერებების დაჟანგვაზე იხარჯებოდა. დაახლოებით 600 მლნ წლის წინ ფოტოსინთეზის შედეგად ატმოსფეროში დაიწყო ჟანგბადის

დაგროვება. თავდაპირველად მისი დაბალი კონცენტრაციის გამო მცენარეული ნაშთები არ იჟანგებოდა, რაც ხელსაყრელ პირობებს ქმნიდა ნამარხი  $C_{ორგ}$  წარმოსაქმნელად. ვარაუდობენ რომ თანამედროვე ატმოსფერო 50 მლნ წლისაა. მეტად თავისებურია სხვა პლანეტების ატმოსფეროს თანამედროვე შედგენილობა. მაგალითად ვენერას და მარსის ატმოსფეროს 96,8 და 95,0% მოდის  $CO_2$  და  $N_2$  - ის მოცულობითი წილი შესაბამისად 3,5 და 2,5% - ია.

დედამიწის ატმოსფეროს გაზური შედგენილობა მეტად რთულია. მასში დაფიქსირებულია ათობით არაორგანული და ასობით ორგანული ნაერთი. ზოგიერთ მათგანის შემცველობა მშრალ ჰაერში მოცემული ცხრილში 1.

ნივთიერება	%	ნივთიერება	$\% \cdot 10^{-6}$	ნივთიერება	$\% \cdot 10^{-6}$
$N_2$	78.084	Ne	18.2	$O_3$	1.0
$O_2$	20.946	He	5.2	$H_2$	0.4 – 1
Ar	0.934	$CH_4$	1.3 – 1.6	CO	0.06 – 2
$CO_2$	0.034	Kr	1.14	$NO_x$	0-0..03

ცხრილი 1. ატმოსფეროს ქიმიური შედგენილობა ( მოცულობითი წილი )

თანამედროვე ატმოსფერო წარმოადგენს მძლავრ, მჟანაგვ ქიმიურ რეაქტორს, სადაც ხელსაყრელ პირობებში თვითგაწმენდის პროცესებთან ერთად მიმდინარეობს ტოქსიკანტების, მათ შორის საყოველთაოდ ცნობილი ბოლნისლის (სმოგი) წარმოქმნა.

ანალიზის თანამედროვე მეთოდების გამოყენებით შესაძლებელი გახდა ატმოსფეროს მიკროკომპონენტური შედგენილობის დადგენა. ეს მიკროელემენტები შეიძლება იყოს: Cu, Zn, Hg, As, Cr, Cd, Ni, Pb, Th.

როგორც მოსალოდნელი იყო, გარემოს დაბინძურების ანთროპოგენური წყაროებიდან მოშორებით (სამხრეთ პოლუსი ნაწილობრივ გრელანდია), აგრეთვე ეკოლოგიურად ჯანსაღ რეგიონებში მძიმე ლითონების შემცველობა უმნიშვნელოა.

კიდევ უფრომრავალ კომპონენტანია ატმოსფეროში შემავალი ორგანული ნივთიერებები. ნახშირწყალბადების გარდა წარმოდგენილია სპირტები, რთული ეთერები, ტერპენები, ალდეჰიდები და სხვა. [4]

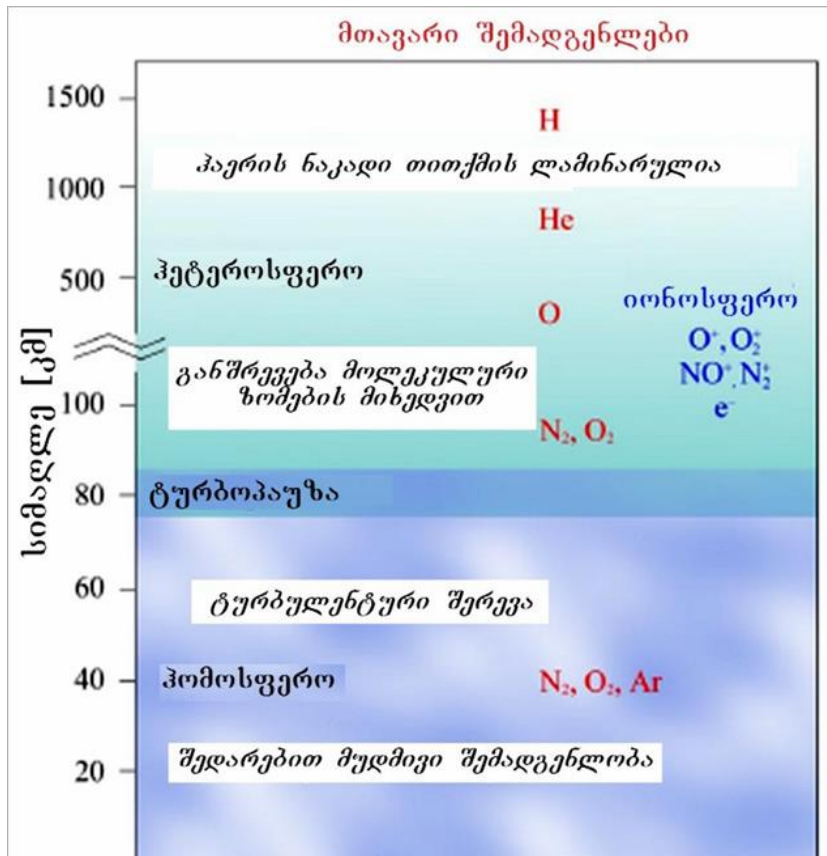


## 1.1.2 ატმოსფეროს ვერტიკალური სტრუქტურა

ატმოსფეროს მასა დაახლოებით  $5,3 \cdot 10^{18}$  კილოგრამია. ატმოსფეროს ზედა საზღვარი მკვეთრად განსაზღვრული არ არის. ატმოსფეროს შემადგენელი კომპონენტების რაოდენობა სიმაღლის ზრდასთან ერთდ თანდათანობით მცირდება სანამ არ მიაღწევს პლანეტათაშორის სივრცეს. ატმოსფერო ეს არის აირებისა და ნაწილაკების გარსი, რომელიც გარს აკრავს დედამიწას და რჩება მის გარშემო დედამიწის საკუთრი ღერძის და მზის გარშემო ბრუნვისას. ატმოსფეროს მასის ნახევარი 5,5 კმ სიმაღლემდეა, ხოლო მასის 99% განთავსებულია 30 კმ - იანი ნიშნულის ქვემოთ.

ატმოსფეროს ჰომოგენურობის მიხედვით განირჩევა ორი ატმოსფერული შრე: ქვემოთა შრეს ზედაპირიდან 80 კმ სიმაღლემდე ეწოდება ჰომოსფერო, სადაც განუწყვეტელი ტურბულენტური შერევის გამო, ატმოსფეროს შემადგენლობა შედარებით მუდმივია ხანგრძლივი სიცოცხლის მქონე კომპონენტებისთვის. ეს შრე გარშემორტყმულია თხელი გარდამავალი შრით, რომელსაც ეწოდება ტურბო პაუზა, მის თავზე იწყება ჰეტეროსფერო, სადაც აირების ნაკადები ლამინარულია და შერევა ძირითადად განპირობებულია დიფუზიით, ამის გამო ატმოსფეროს შემადგენელი გაზები შრეებადაა განლაგებული და ატმოსფეროს შემადგენლობა სიმაღლის მიხედვით დამოკიდებულია უფრო დიდ მოლეკულურ მასებზე. ჰეტეროსფეროს ქვემო შრეებში მოთავსებულია უფრო დიდი მოლეკულური მასის მქონე გაზები: აზოტი და ჟანგბადი, ხოლო ზემო შრეებში მსუბუქი გაზები, როგორცაა წყალბადი. 1000 კმ-მდე ძირითადად ჟანგბადის ატომები გვხვდება, ხოლო, უფრო მაღლა ჰელიუმი და წყალბადი.

ატმოსფეროს ზედა ფენებში დედამიწის ზედაპირიდან 20-2000 კმ მანძილზე გვხვდება იონური და რადიკალური ნაწილაკები ( $O^+$ ,  $O_2^+$ ,  $NO^+$ ,  $N_2$ , თავისუფალი ელექტრონები), ატმოსფეროს ამ რეგიონს ეწოდება იონოსფერო.



სურათი 1.

ატმოსფეროს ვერტიკალური შემადგენლობა ქიმიური შედგენილობის მიხედვით.

სიმაღლისა და ტემპერატურის ცვლილების მიხედვით, ატმოსფერო იყოფა რამდენიმე შრედ.

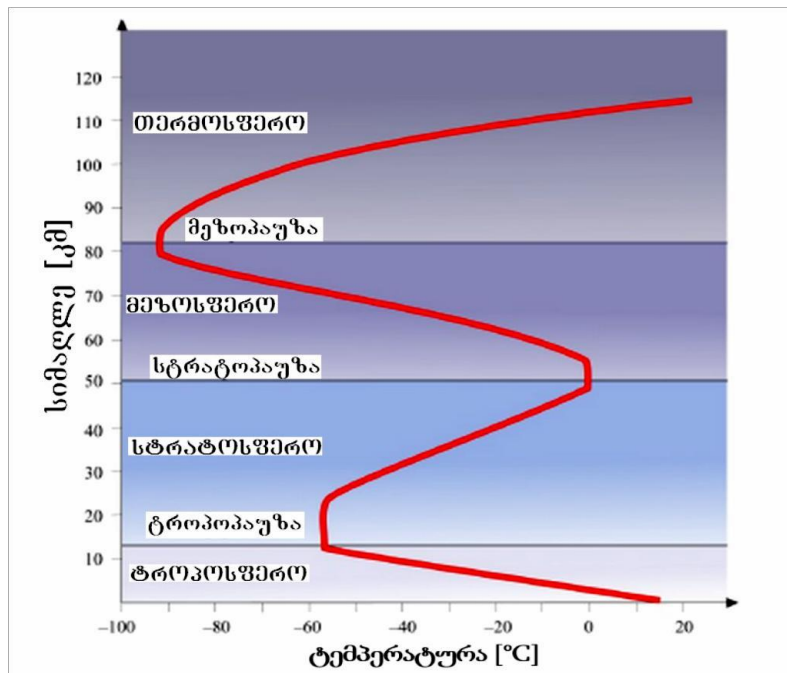
**ტროპოსფერო** - ატმოსფეროს მთავარი ყველაზე ქვემოთა შრეა, რომელიც დედამიწის ზედაპირიდან ტროპოპაუზამდეა განთავსებული. ტროპოსფეროს სისქე ცვალებადია, პოლარულ რეგიონებში 7 კმ-მდეა, შუა რეგიონებში 11-12 კმ, ხოლო ეკვატორის თავზე 18 კმ-მდეც აღწევს. მისი სიმაღლე ასევე დამოკიდებულია წელიწადის დროზე, ამინდზე და დღე-ღამის მონაკვეთზე. ტროპოსფერო შეიცავს ატმოსფეროს მასის 80%-ს. წყლის ორთქლის და მტვრის ნაწილაკების თითქმის მთელი რაოდენობა ტროპოსფეროშია მოთავსებული. ამინდის და ღრუბლების ფორმირება ძირითადად ხდება ტროპოსფეროში. ტროპოსფერო შესაძლოა დაიყოს ორ ძირითად ნაწილად, ქვემოთა ნაწილს ეწოდება პლანეტარული სასაზღვრო შრე (PBL), ან ატმოსფერული სასაზღვრო შრე, რომელის ზედა ზღვარი იცვლება 100-დან 3000 მეტრამდე ამინდის და დღე-ღამის პერიოდის მიხედვით. ხოლო მის ზემოთა შრეს ეწოდება თავისუფალი ტროპოსფერო.

**სტრატოსფერო** - ტროპოსფეროს თავზე არის გარდამავალი ფენა ტროპოპაუზა, საიდანაც იწყება სტრატოსფერო, რომელიც დედამიწის ზედაპირიდან დაახლოებით 50 კმ-მდე ვრცელდება. ამ შრეში ტემპერატურა იზრდება სიმაღლის ზრდასთან ერთად, რაც გამოწვეულია სტრატოსფეროში ოზონის მაღალი კონცენტრაციით. ოზონი ინტენსიურად შთანთქავს მზის ულტრაიისფერ გამოსხივებას 210 – 290 ნმ უბნებში, რაც იწვევს

სტრატოსფეროს ტემპერატურის მატებას. სტრატოსფერო შეიცავს ატმოსფეროს მასის 19%-ს და წყლის ორთქლის ძალზე მცირე რაოდენობას. სტრატოსფერო სტაბილური შრეა, ნაწილაკები რომლებიც აღწევენ ტროპოსფეროდან, (მაგალითად ძლიერი ვულკანური ამოფრქვევის შედეგად) დიდხანს რჩებიან ტროპოსფეროში. ზამთარში შესაძლოა შეამჩნიოთ ე.წ პოლარული სტრატოსფერული ღრუბლები (პერლამუტის ღრუბლები) 15-25 კმ სიმაღლეზე. ისინი წარმოიქმნება ძალიან დაბალ ტემპერატურაზე ( $-78^{\circ}\text{C}$  ქვემოთ). არსებობს სხვადასხვა ტიპის სტრუქტურული ღრუბლები რომლებიც შეიცავენ წყალს და სხვადასხვა ნაწილაკებს (მაგალითად აზოტმჟავას, ან მხოლოდ ყინულს).

**მეზოსფერო** - სტრატოსფეროს თავზე განთავსებულია მეზოსფერო, რომელიც 50 კმ-დან 85-100 კმ სიმაღლემდე ვრცელდება. ის სითბოს იღებს სტრატოსფეროდან და შესაბამისად სიმაღლის ზრდასთან ერთად მისი ტემპერატურა მცირდება. მეზოსფეროს ზედა საზღვარს წარმოადგენს მენოპაუზა, რომელიც ატმოსფეროს ყველაზე ცივი რეგიონია - დაახლოებით  $100^{\circ}\text{C}$  საზღვრებში. მეზოსფეროს ფარგლებში დაიკვირვება ე.წ „ვერცხლისებრი ღრუბლები“. ისინი ძირითადად შედგებიან ყინულის კრისტალებისაგან, თუმცა მათი წარმოშობა და გავლენა ატმოსფერულ პროცესებზე ჯერ ბოლომდე გარკვეული არ არის. ზემო ატმოსფერული ელექტრული განმუხტვებიც, ასევე სხდება მეზოსფეროში, თუმცა რეგულარული გაზომვების ნაკლებობის გამო მეზოსფერო ყველაზე ნაკლებადაა შესწავლილი.

**თერმოსფერო** - მეზოსფეროს თავზე მოთავსებულია თერმოსფერო, სადაც მზის მაღალი ენერგეტიკული გამოსხივების შთანთქმის გამო ტემპერატურა იმატებს სიმაღლის მატებასთან ერთად. ტემპერატურა ძლიერადაა დამოკიდებული მზის აქტივობაზე და შესაძლოა  $1000^{\circ}\text{C}$  - ზე მეტიც იყოს, თუმცა ეს არ შეეძრება ატმოსფეროს ქვედა ფენების ტემპერატურას, რადგან თერმოსფეროში ჰაერი უკიდურესად გაიშვიათებულია. შემადგენლობის მიხედვით, ეს ნაწილი ჰეტეროსფეროს ეკუთვნის. იონოსფეროს ძირითადი ნაწილი სწორედ თერმოსფეროშია მოთავსებული. ჩრდილოეთის ნათებას (ავრორა), რომელიც დამუხტული ნაწილაკების ატომებთან შეჯახების შედეგია, ადგილი აქვს თერმოსფეროში. დედამიწის ზედაპირიდან 500-1000 კმ-ის მანძილზე, ატმოსფერო იმდენადაა გაიშვიათებული, რომ მაღალი ენერგეტიკული შეჯახებები უმნიშვნელო ხდება, ამ ნაწილს ეგზოსფეროს უწოდებენ, რომელიც თანდათან გადადის პლანეტათაშორის სივრცეში.



სურათი 2. ატმოსფეროს ვერტიკალური სტრუქტურა ტემპერატურის ვერტიკალური ცვლილებების მიხედვით

**პლანეტარული სასაზღვრო შრე** - ატმოსფეროს ყველაზე ქვედა ნაწილს, ტროპოსფეროს ძირს ეწოდება პლანეტარული სასაზღვრო შრე (Planetary Boundary Layer – PBL). PBL - ის სტრუქტურა იცვლება სეზონის, დღე - ღამისა და ამინდის მიხედვით. მისი ზომები იცვლება ათეულობით მეტრიდან (ძალიან სტაბილურ პირობებში) ათასეულობით მეტრამდე (ძალზე არასტაბილურ პირობებში). ის დაბალია ღამით და ზამთარში ხოლო მაღალია დღისით და ზაფხულში. PBL - ის ქვემოთა ნაწილს ეწოდება ზედაპირული შრე და ის 10 -30 მ-ია ღამით და 50 – 100 მეტრი დღისით. ზედაპირსა და ატმოსფეროს შორის მიმოცვლის პროცესი ხდება ამ შრეში სითბოს, წყლის და დამაბინძურებლების ტურბულენტური ნაკადით. ეს შრე ბოლოვდება სტაბილური გარდამავალი შრით. [3]

## 1.2 ატმოსფეროს დაბინძურებით გამოწვეული საფრთხეები

სუფთა ჰაერი ჯანსაღი ცხოვრების წინაპირობაა. უკანასკნელი წლების განმავლობაში სულ უფრო დიდ ყურადღებას იქცევს ჰაერის დაბინძურება და მასთან დაკავშირებული პრობლემები. ატმოსფერული ჰაერი ბიოსფეროს ერთ-ერთი მთავარი კომპონენტია, რომელიც უმნიშვნელოვანესია დედამიწის ყველა ცოცხალი ორგანიზმისთვის და მისი მნიშვნელობა დედამიწაზე შეუფასებელია. სწორედ ამიტომ სჭირდება დღევანდელი მსოფლიოს ატმოსფერულ ჰაერს დაცვა ანთროპოგენული საქმიანობით გამოწვეული დაბინძურებისგან.

ატმოსფეროს ბუნებრივი მახასიათებლების ცვლილება, რომელიც გამოწვეულია ნებისმიერი ქიმიური, ფიზიკური ან ბიოლოგიური აგენტების ზემოქმედებით ჰაერის დაბინძურებას წარმოადგენს. მეცნიერულად დასაბუთებულია, რომ ატმოსფეროში დამაბინძურებლების, კერძოდ კი ისეთი მავნე ნივთიერებების, როგორცაა: ნახშირბადის, აზოტისა და გოგირდის ოქსიდების, მტვრის მცირე ზომის ნაწილაკების, ორგანული ნაერთების და ა.შ. დაშვებულზე მაღალი კონცენტრაციები უარყოფითად ზემოქმედებს ადამიანის ჯანმრთელობაზე, ეკოსისტემებსა და მატერიალურ ფასეულობებზე.

საქართველოში ჰაერის დაბინძურების პრობლემა საკმაოდ მკვეთრად დგას. ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების კუთხით ყველაზე მწვავე მდგომარეობა თბილისშია, სადაც ქვეყნის მოსახლეობის დაახლოებით 1/3 ცხოვრობს და სატრანსპორტო საშუალებების დიდი ნაწილია თავმოყრილი. საქართველოში ჰაერის დაბინძურება დაკავშირებულია ავტოტრანსპორტთან, ენერგეტიკულ სექტორთან, სამრეწველო და სოფლის მეურნეობის დარგებთან. მათგან ძირითადი დამაბინძურებელია ავტოტრანსპორტი და ენერგეტიკა. სამრეწველო სექტორიდან ატმოსფეროში ძირითადად მტვერი, აზოტისა და გოგირდის ოქსიდები გაიფრქვევა, რომელთა გაზრდილი რაოდენობა საფრთხეს უქმნის ცოცხალი ორგანიზმების ჯანმრთელობას.

ჰაერის დაბინძურება უშუალოდ მოქმედებს ადამიანის ჯანმრთელობაზე. ამას უამრავი სამეცნიერო კვლევებიც ადასტურებს. ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება წარმოადგენს ავადობის, ინვალიდობისა და სიკვდილიანობის რისკფაქტორს. დაავადებების სპექტრი საკმაოდ ფართოა და ძირითადად დამოკიდებულია ჰაერში დამაბინძურებელი ნივთიერებების კონცენტრაციებზე, ექსპოზიციის ხანგრძლივობასა და ორგანიზმის მდგრადობაზე. შესაბამისად, ჰაერის დაბინძურებას განსაკუთრებით მძიმე ზეგავლენა აქვს ისეთ მგრძობიარე ჯგუფებზე, როგორცაა ბავშვები, ორსულები, მოხუცები, დაავადებული ადამიანები და სხვა. დაბინძურებული ჰაერი რისკფაქტორია არამარტო გულსისხლძარღვთა და სასუნთქი გზების დაავადებების, ასევე ბავშვებში იწვევს ტვინისა და ნერვული სისტემების პათოლოგიებს. ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებით გამოწვეულ ჯანმრთელობის პრობლემებს შეიძლება აგრეთვე მივაკუთვნოთ: გართულებული სუნთქვა, ხველა, ასთმა და სხვა.

მსოფლიო ჯანდაცვის ორგანიზაციის ონკოლოგიურ დაავადებათა სააგენტო ამტკიცებს, რომ, ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებას შეუძლია ფილტვის კიბოს გამოწვევა, მუცლადყოფნის დროს ნაყოფის ზრდის შეზღუდვა, რესპირატორული და კარდიოვასკულური დაავადებებით სიკვდილიანობა და სხვა. ასევე მსოფლიოს ჯანდაცვის ორგანიზაციის კვლევების მიხედვით დაბინძურებული ჰაერით გამოწვეული დაავადებებით

ყოველ წელიწადს 2.4 მილიონი ადამიანი იღუპება. ჰაერის დაბინძურება მრავალი ქრონიკული დაავადების მიზეზია, რაც მძიმე ტვირთია როგორც დაავადებულების, ისე ქვეყნის ჯანმრთელობის სამსახურებისა და ეკონომიკისთვის. [5]

მართალია მრავალი ქვეყანა აღიარებს ადამიანის ჯანმრთელობისთვის ჰაერის დაბინძურებით გამოწვეულ საფრთხეებსა და რისკებს და ზრუნავს მათ აღმოფხვრაზე, მაგრამ გასათვალისწინებელია ის ფაქტი, რომ ატმოსფერულ ჰაერს საზღვრები არ გააჩნია და მხოლოდ ცალკეულ ქვეყნებში გატარებული ღონისძიებები სასურველ შედეგს ვერ გამოიღებს. ატმოსფერული ჰაერის ხარისხის გაუმჯობესება შესაძლებელია მხოლოდ ქვეყნების ერთობლივი ძალისხმევით. სწორედ ამიტომ, მუშაობენ მსოფლიო ჯანდაცვის ორგანიზაცია და სხვა გარემოსდაცვითი ორგანიზაციები აქტიურად და ქვეყნებს აღნიშნული პრობლემის შესასუსტებლად რეკომენდაციებსაც სთავაზობენ. [6]

### 1.3 ატმოსფეროს შემადგენლობის კვლევის სავსე მეთოდები

ხშირია ინფორმაცია რომ, ადამიანის საქმიანობის შედეგად ატმოსფეროში არასასურველი პროცესები წარიმართება, როგორცაა: გლობალური დათბობა, მჟავა წვიმები, სმოგი და სხვა. განვითარებულმა ტექნოლოგიებმა შესაძლებელი გახადა ატმოსფეროს შედგენილობის დეტალური ანალიზი და ფაქტობრივად დაასაბუთა, რომ ადამიანის საქმიანობის შედეგად ნამდვილად იცვლება ატმოსფეროს შემადგენლობა და ამდენად ადამიანი უარყოფითად მოქმედებს მასზე. [7]

ატმოსფეროს შემადგენლობის მეცნიერული კვლევა დაიწყო მე - 18 საუკუნის მეორე ნახევრიდან და მას შემდეგ მეცნიერები განუწყვეტლივ აუმჯობესებდნენ ატმოსფეროს შემადგენლობაში კვალის სახით არსებული გაზების გაზომვის მეთოდებსა და ტექნიკას. აღმოჩნდა, რომ ზოგიერთ გაზებსა და ნაწილაკებს გავლენა აქვთ გლობალურ დათბობაში, გაგრილებაში ან ორივეში ერთდ. ამ კომპონენტების ხანგრძლივი რაოდენობრივი ანალიზების მონაცემები მნიშვნელოვანია მათ როლის შესწავლისათვის გლობალურ დათბობაში და მასთან დაკავშირებულ კლიმატის ცვლილებაში. სათბურის გაზების კონცენტრაცია განუწყვეტლივ იზრდება და ძალზე მნიშვნელოვანია მათ გაზომვა ატმოსფეროს ტემპერატურის სამომავლო ცვლილებების გასათვალისწინებლად. კვალის სახით არსებული გაზების ატმოსფეროში მიმდინარე ქიმიური და ფოტოქიმიური გარდაქმნების შესწავლა და შეფასება გლობალური ეკოლოგიის ყველაზე მნიშვნელოვანი საკითხია. [6]

ატმოსფეროში მიმდინარე რთული ქიმიური პროცესების შესასწავლად მნიშვნელოვანია სავსე გაზომვები, ლაბორატორიული ექსპერიმენტები და კომპიუტერული მოდელირება, თუმცა, თითქმის ყველა ძირითადი მიღწევა ატმოსფერულ ქიმიაში, დაიწყო სავსე გაზომვებით. შესაბამისი მაღალი მგრძობიარობის და სიზუსტის მეთოდისა და აპარატურის შემუშავების გარეშე ჩვენ ვერ შევასრულებთ სათბურის გაზების და აეროზოლების გავლენას გლობალურ დათბობაზე, სტრატოსფეროში ოზონის ნახვრეტებს, ჰაერის ხარისხის გაუარესებას ქალაქებში, ატმოსფეროს მქანგავი უნარის ცვლილებას, რომლებსაც აქვს პირდაპირი ნეგატიური გავლენა ჩვენს ჯანმრთელობასა და კეთილდღეობაზე. [8]

## 1.4 ატმოსფერული ჰაერის მონიტორინგი საქართველოში

ატმოსფერული ჰაერის მდგომარეობაზე დაკვირვება და მონიტორინგი ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი კომპონენტია ჰაერის რეალური მდგომარეობის შესასწავლად და მონაცემების მისაღებად. 1990 წელს საქართველოს 11 ქალაქში მიმდინარეობდა ატმოსფერული ჰაერის მონიტორინგი. სხვადასხვა ქალაქებში ჯამში განთავსებული იყო 33 სტაციონარული ჯიხური (თბილისი-8 ბათუმი-4, ქუთაისი-4, რუსთავი-4, ზესტაფონი-4, სოხუმი-2, კასპი-2, ტყვარჩელი-2, გორი-1, მარნეული-1, ახალციხე-1 და დღე-ღამის განმავლობაში 4-ჯერ ხდებოდა ძირითადი დამაბინძურებელი ნივთიერებების გაზომვა. ყველა მოქმედ სადგურზე სისტემატურად იზომებოდა: მტვერი (საერთო შეწონილი ნაწილაკები), გოგირდის დიოქსიდი, ნახშირბადის მონოქსიდი და აზოტის დიოქსიდი. ყოფილი საბჭოთა კავშირის პერიოდიდან მოყოლებული საქართველოში ატმოსფერული ჰაერზე დაკვირვების ძირითადი მაჩვენებლების გაზომვა ხდებოდა: 1. მქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაცია (გაზომვის ხანგრძლივობა 20-30 წთ,მგ/მ<sup>3</sup>): 2. საშუალო კონცენტრაცია : დღეღამური და წლიური მგ/მ<sup>3</sup>).

ჰაერში არსებული მავნე ნივთიერებების კონცენტრაციების შეფასება ხდება შესაბამის დადგენილ ნორმებთან შედარებით. კერძოდ, ატმოსფეროში გაფრქვეული მავნე ნივთიერებების საშუალო თვიური და წლიური კონცენტრაციების მიღებული მნიშვნელობების შედარება მიმდინარეობს ჩვეულებრივ, საშუალო დღეღამურ ზდკ-თან, ხოლო 20-30 წუთიანი ხანგრძლივობით გაზომილი ნივთიერების კონცენტრაციები ედრება 20-30 წუთიან ზდკ-ს (ე.წ მაქსიმალური ერთჯერადად ზდკ-ს).

მე-20 საუკუნის 90- იანი წლების ბოლოდან მოყოლებული მკვეთრად იქნა შემცირებული სადამკვირვებლო ჯიხურების რაოდენობა საქართველოში, შესაბამისად ატმოსფერული ჰაერის მდგომარეობის შესახებ ინფორმაცია საკმაოდ მწირია.

დღეისათვის, ჰაერის ხარისხის სახელმწიფო მონიტორინგს აწარმოებს საქართველოს გარემოსა და ბუნებრივი რესურსების დაცვის სამინისტროს „სსიპ გარემოს ეროვნული სააგენტო.“ დღეისათვის საქართველოს ტერიტორიაზე ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებაზე დაკვირვება წარმოებდა 8 ავტომატური სადგურის საშუალებით.

ქალაქ თბილისში ფუნქციონირებდა 4 ავტომატური სადგური. აქედან ფონურ ავტომატურ სადგურზე დაკვირვება წარმოებდა ჰაერის ფონურ დაბინძურებაზე და ავტომატურ რეჟიმში ისაზღვრებოდა შემდეგი დამაბინძურებლების კონცენტრაციები: ნახშირჟანგი (CO), გოგირდის დიოქსიდი (SO<sub>2</sub>), აზოტის ოქსიდები (NO<sub>x</sub>), ოზონი (O<sub>3</sub>) და მტვრის მცირე ზომის ნაწილაკები PM<sub>2.5</sub> და PM<sub>10</sub>. ასევე წარმოებდა ატმოსფერული ჰაერის სინჯების აღება ტყვიის (Pb) შემცველობის განსაზღვრის მიზნით. დანარჩენ სამ ავტომატურ სადგურზე ისაზღვრებოდა ნახშირჟანგის (CO), გოგირდის დიოქსიდის (SO<sub>2</sub>), აზოტის ოქსიდების (NO<sub>x</sub>) და ოზონის (O<sub>3</sub>) კონცენტრაციები.

ქალაქ ბათუმში ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებაზე დაკვირვება მთელი წლის განმავლობაში წარმოებდა, ერთი ავტომატური სადგურის საშუალებით, სადაც ისაზღვრებოდა შემდეგი დამაბინძურებლების კონცენტრაციები: ნახშირჟანგი (CO), გოგირდის დიოქსიდი (SO<sub>2</sub>), აზოტის დიოქსიდი (NO<sub>2</sub>) მნიშვნელოვანია, რომ დეკემბრის თვიდან ქალაქ ბათუმში ამუშავდა მეორე ავტომატური სადგურიც.

გარდა ამისა, ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებაზე დაკვირვება წარმოებდა 4 არა ავტომატურ ჯიხურზე საქართველოს 4 ქალაქში (რუსთავი, ზესტაფონი, ქუთაისი და ბათუმი), სადაც დღეში ძირითადად 3-ჯერ (დღის საათებში და სამუშაო დღეებში) ისაზღვრებოდა შემდეგი დამაბინძურებლების: მტვრის, ნახშირჟანგი (CO), გოგირდის დიოქსიდი (SO<sub>2</sub>), აზოტის დიოქსიდი (NO<sub>2</sub>), აზოტის ოქსიდი (NO), მანგანუმის დიოქსიდისა (MnO<sub>2</sub>) და ტყვიის (Pb) შემცველობა.

არა ავტომატურ ჯიხურებზე მტვრის, კონცენტრაცია ისაზღვრებოდა წონითი მეთოდით. ჰაერის სინჯებს იღებდნენ ΦIII-15 ტიპის ფილტრების საშუალებით. აზოტის დიოქსიდის (NO<sub>2</sub>), აზოტის ოქსიდისა (NO) და გოგირდის დიოქსიდის (SO<sub>2</sub>) განსაზღვრა წარმოებდა ფოტოკოლორიმეტრული მეთოდით. ორ საგუშაგოზე ხაშირჟანგისა და აზოტის დიოქსიდის განსაზღვრა წარმოებდა მობილური ხელსაწყო „ელან“-ით. სინჯის აღება ტყვიის შემცველობის განსაზღვრის მიზნით წარმოებდა AΦA-XII-20 ფილტრებით, ხოლო ანალიზი ინდუქციურად შეწყვილებული ოპტიკური ემისიის სპექტრომეტრით(ICP-OES). მანგანუმის სინჯების აღება



წარმოებდა АФА-ХII-18 ფილტრების საშუალებით და ისაზღვრებოდა ფოტოკოლორიმეტრული მეთოდით.

გარემოს ეროვნული სააგენტო სტაციონარულ გაზომვებთან ერთად ჰაერის ხარისხზე დაკვირვებას ქვეყნის სხვადასხვა ქალაქში ინდიკატორული გაზომვის საშუალებით ახორციელებს. [9]

**SMART|AtmoSim\_LAB** (SMART-Science, Medicine, Applied Research, Technology | **AtmoSim\_LAB-Atmospheric research and Simulations laboratory**, ზუსტი და საბუნებისმეტყველო მეცნიერების, მედიცინის, გამოყენებითი კვლევებისა და ტექნოლოგიის მიმართულებები | ატმოსფეროს კვლევების და სიმულაციის ლაბორატორია.) არის მეორე **SMART** ლაბორატორია რომელიც თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტისა და იულისხის კვლევითი ცენტრის თანამშრომლობის საფუძველზე და ქალაქ თბილისის მერიის და გარემოს ეროვნული სააგენტოს მხარდაჭერით დაფუძნდა 2017 წლის 29 სექტემბერს. კერძოდ, იულისხის კვლევითი ცენტრის ენერჯებისა და კლიმატის ინსტიტუტის - ტროპოსფეროს (ინსტიტუტის აბრევიატურაა **FZJ IEK-8**) და თსუ ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტს შორის. ლაბორატორია განთავსებულია თსუ II კორპუსის 353 ოთახში.

ლაბორატორიამ 2017 წლის 26 დეკემბრის ქალაქ თბილისის მუნიციპალიტეტის მთავრობის №48.22.980 განკარგულების საფუძველზე მოიპოვა დაფინანსება თბილისში ატმოსფეროს შესწავლისთვის. პროექტის ხელმძღვანელია თსუ ზუსტი და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტის ასისტენტ-პროფესორი გიორგი ჯიბუტი, კვლევებში ჩართულები არიან ახალგაზრდა მკვლევარები (თსუ-ს სტუდენტები).

გარდა რუტინული ანალიზებისა, რომლის საფუძველზეც ხდება ჰაერის ხარისხის შეფასება, ლაბორატორიაში ასევე პრიორიტეტულია ღრმა კვლევითი სამუშაოები, რომლებიც მოიცავს ატმოსფეროს დეტალურ ანალიზს და მოდელირებას, ასევე ანალიზის ახალი მეთოდებისა და ტექნიკის შემუშავებას, მათ შორის ატმოსფეროს ანალიზისთვის დრონების შექმნას.

AtmoSim ლაბორატორია არის IEK-8 ინსტიტუტის შესაბამისი ლაბორატორიის ანალოგი, სადაც შესაძლებელია განისაზღვროს ატმოსფეროს ისეთი დამაბინძურებლები როგორებიცაა აზოტის ოქსიდები, ნახშირორჟანგი, ნახშირჟანგი, მეთანი და სხვა აქროლადი ნახშირწყალბადები, ოზონი და მიკრონაწილაკების შემცველობა.

ანალიზური აპარატურის ძირითადი ნაწილი თსუ-ს გადმოეცა უსასყიდლოდ იულისხის კვლევითი ცენტრის მიერ:

1. ECO PHYSICS მოდელი: CLD 780 TR- NO და NO<sub>2</sub> გაზომვა ოზონ-ქემილუმინესცენციის საფუძველზე.

2. Ansyco მოდელი: O<sub>3</sub> 41 M- ოზონის გაზომვა ულტრაისფერი ფოტომეტრის საფუძველზე.
3. PICARRO CRDS Analyzer – CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O ანალიზატორი ღრუოვანი სპექტროსკოპიის საფუძველზე.
4. Grimm Aerosol Technik მოდელი: 11.09 აეროზოლების მონიტორინგი სინათლის გაბნევის საფუძველზე.

ლაბორატორიის უნიკალურ შესაძლებლობას წარმოადგენს შეაგროვოს ნიმუშები ნებისმიერ დროს და ადგილას სპეციალურ ბალონებში და მოახდინოს მათი ანალიზი (არა მხოლოდ online გაზომვები).

## 1.5 საშუალო სინჯის აღების მეთოდები

### სინჯის აღების დრო, ხანგრძლივობა და სიხშირე

სინჯების აღებისთვის შესაფერისი ადგილების არჩევის შემდეგ ან მონიტორინგის შემდეგ, შერჩეული უნდა იქნეს სინჯების აღების სიხშირე და ასაღები სინჯების აუცილებელი რაოდენობა. სინჯების ასაღები დღეების რაოდენობას, ხანგრძლივობას და სიხშირეს განსაზღვრავს:

- მეტეოროლოგიისა და აქტივობის გავლენა ემისიაზე.
- მეტეოროლოგიის დღეღამური გავლენა ქარით განზავებაზე.
- მიზნებიდან გამომდინარე შფოთვის პერიოდები.
- წყაროსთან არადაკავშირებული, სხვა მოქმედების ცვალებადობა.
- თუ განისაზღვრება, სანდოობის ხარისხი, რომელიც საჭიროა საშუალო ან მაქსიმალური განსაზღვრული კონცენტრაციისთვის ქარში.
- ერთჯერადი განსაზღვრისათვის საჭირო მოთხოვნები.
- ღირებულება და სხვა ლოჯისტიკის საკითხები.

## მოქმედების ხანგრძლივობა

მოკლევადიანი პროგრამებისათვის შეიძლება საჭირო გახდეს სინჯების ყოველდღიური აღება, მაშინ, როდესაც გრძელვადიანის შემთხვევაში შეიძლება საჭირო გახდეს 24 საათიანი სინჯების აღება ყოველ მეექვსე ან მე-12-ე დღეს. თუ მოცილების სამუშაოები იქნება ტერიტორიაზე, შეიძლება საჭირო გახდეს 24 საათიანი უწყვეტი სინჯების აღება. მით უმეტეს, თუ სამუშაოები გაგრძელდება მხოლოდ 8 საათის განმავლობაში დღეში, ხოლო დარჩენილი 16 საათის დროს არ იქნება ემისია, დასაშვებია, რომ საჭირო გახდეს სამუშაოების დაწყებამდე სინჯების აღება, გაგრძელდეს მუშაობის დროს და დასრულდეს მუშაობის დასრულებისას.

არა-პიკის სინჯების აღებამ შეიძლება დაგვარწმუნოს იმაში, რომ დამაბინძურებლები არ ინახება.

ყოველდღიური სამუშაოების დასრულების შემდეგ ერთსა და იმავე ადგილებისათვის, ემისია შენარჩუნებულია სამუშაოების დასრულებიდან რამდენიმე საათის განმავლობაში. სადამოს ქარის მიერ გამოწვეული შემცირებული დისპერსიის გამო, ქალაქის ცენტრში უფრო მაღალი კონცენტრაციები შეიძლება შეინიშნებოდეს, ვიდრე დღის განმავლობაში იმ ადგილებისთვის, სადაც ეს შესაძლებელია, სინჯის აღების პერიოდი უნდა იქნას გახანგრძლივებული.

სინჯების აღების ხანგრძლივობა და ნაკადის სიჩქარე გვაწვდიან ინფორმაციას აღებული სინჯის მოცულობაზე და გარკვეული დონით სინჯის აღებაზეც.

შერჩეული ანალიზური მეთოდი მოგვაწვდის ცნობებს ნაკადის სიჩქარეზე და მოცულობაზე. ტუმბოს ტევადობის მიხედვით განსაზღვრულია ნაკადის სიჩქარის ლიმიტები მწარმოებლის მიერ და კონტაქტის დრო, რომელიც საშუალოდ საჭიროა სინჯების ასაღებად.

ჰაერის სინჯების აღების პერიოდი და ხანგრძლივობა, როგორც წესი, იყოფა ორ კატეგორიად: (1) სინჯებს, რომლებიც აღებულ იქნა დროის მოკლე პერიოდში, ეწოდება „მყისიერი“ ან „მოგროვებული“ სინჯები და ძირითადად 5 წუთზე ნაკლებ დროში ხდება მათი აღება, (2) საშუალო ან ინტეგრირებული სინჯების აღება ხდება უფრო ხანგრძლივი დროის განმავლობაში. ინტეგრირებული სინჯები განსაზღვრავენ ნიმუშის აღების პერიოდის საშუალო კონცენტრაციას. ინტეგრირებული სინჯები არ გამოდგება ციკლური გამონაბოლქვი დამაბინძურებლებისათვის, რადგან პერიოდული და ციკლური მოვლენები გასაშუალოებული უნდა იქნას პროპორციულად სინჯების აღების დიდი ხანგრძლივობისთვის.

ჰაერის ხარისხის დისპერსიის მოდელებს შეუძლიათ გვიჩინასწარმეტყველონ ჰაერის დამაბინძურებლის მაქსიმალური კონცენტრაცია, რომელიც გამოიტყორცნება წყაროს მიერ.

მეტეოროლოგიური პირობები და პირობები მოედანზე, რომელიც, როგორც მოსალოდნელია, გამოიწვევს კონცენტრაციის გაზრდას. [10]

## 1.6 აღჭურვილობა ჰაერის სინჯის აღებისათვის

გარემომცველი ჰაერის სინჯების აღება მოიცავს ატმოსფერული ჰაერის შეგროვებას ანალიზისათვის. ამისათვის არსებობს ორი ძირითადი მიდგომა 1) „მთლიანი ჰაერის“ სინჯების აღება ბალონებით Tedlar®-ისპარკებითა და 2) სინჯების აღება სორბენტური მილებით ან ცივი ხაფანგებით - „კონცენტრაცია ველზე“. [11]

U.S. EPA / ERT იყენებს შემდეგანალიზურ მეთოდს სინჯების ასაღებად: ანალიზური მეთოდების სახელმძღვანელო NIOSH, გამოცდებისა და მასალების ამერიკის საზოგადოების მეთოდები (ASTM), US EPA- გარემოს ჰაერში ტოქსიკურ ნივთიერებათა განსაზღვრის მეთოდების კრებული. OSHA-სმეთოდები. [10]

სინჯის აღების დამატებითი წყაროები მოიცავს ჰიგიენას, ტოქსიკოლოგიას და ატმოსფეროს დაბინძურების შესასწავლად არსებულ სინჯის აღებისთვის განკუთვნილ ხელსაწყოებს. ეს მეთოდები ძირითადად განსაზღვრავენ ხელსაწყოს მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებს. იმის გამო, რომ სინჯის აღება წარმოადგენს მრავალფეროვან ტექნოლოგიას, არცერთი მეთოდი და ეტალონი არ არის ოპტიმალური ნებისმიერი მომხმარებლისას. [12]

იმისათვის რომ დარწმუნებულნი ვიყოთ სინჯის აღების სისწორეში, უნდა ვიცოდეთ რომ სინჯის აღებისას ნაკადის სიჩქარე დროის ინტერვალში დიდად არ იცვლება. შესაბამისი აღჭურვილობა კი გვეხმარება მიზნის მიღწევაში. სინჯის ასაღები ტიპური მოწყობილობა უნდა მოიცავდეს შემდეგ კომპონენტებს, რომლებიც დამზადებულია უჟანგავი მეტალისაგან სინჯის შესასვლელი, ნაწილაკების ფილტრი-მეტალის შენადნობი, კრიტიკული ნახვრეტი, ნაკადის სიჩქარის მარეგულირებელი მოწყობილობა და ბალონი.

**სინჯის შესასვლელი (ინლეთი)** - ჰაერის სინჯის მატარებელი ხშირ შემთხვევაში წარმოადგენს უჟანგავი მეტალისაგან დამზადებულ მილს 1/4 ან 1/8 ინჩის ტოლი გარე დიამეტრით. US EPA-ს კრებულისა და TO-14A/15- ის მიხედვით, რეკომენდირებულია სინჯის აღება მიწიდან 2 მეტრის სიმაღლეზე. ინტენსიური მოძრაობის რაიონებში ეს ამცირებს მტვრის ნაწილაკების მოხვედრის შანსს სინჯის შესასვლელში თუმცა, სიმაღლე არ არის აუცილებელი რადგან ხშირად პრაქტიკაში გამოიყენება 12 დიუმის სიმაღლის ინლეთი. გარემოს დაცვის სააგენტო

(EPA) ასევე იძლევა რეკომენდაციას, რომ სინჯის ასაღები ინლექტი იყოს მიმართული დაბლა, იმისათვის რომ თავიდან ავირიდოთ წვიმის წვეთების ბალონში მოხვედრა.

**ნაწილაკების ფილტრი** - დაყენებულია სინჯის ადების მატარებელში ნაკადის სიჩქარის მარეგულირებელ მოწყობილობამდე, რათა თავიდან იქნას აცილებული სინჯის ნაკადში არსებული ნაწილაკების მოხვედრა. ნაწილაკებს შეუძლიათ ჰაერის ნაკადის პერიოდული გადაკეტვა და ბალონის შევსების სიჩქარის შეცვლა, ხოლო უკიდურეს შემთხვევაში შეაჩერონ ნაკადი. ყველაზე მცირე ღრუ, რომელიც ნაკადის ასაღებად გამოიყენება არის 0,0012 დიუმის ზომის დაახლოებით 30 მკმ. ნაწილაკების ფილტრის გარეშე შესაძლებელია მტვრის ნაწილაკებმა დახურონ ეს ღრუ, რამდენადაც ისინი სწორედ მის თავზე მოიყრიან თავს. ასევე მათ შეუძლიათ გავლენა მოახდინონ სარქველის ჰერმეტიულობაზე და მოხდეს მისი დაზიანება. ამისათვის გამოიყენება ორი ტიპის: ფაიფურის და ჩამაგრებული ფილტრები. ფილტრების უმეტესობა წარმოადგენს უჟანგავი მეტალის შენადნობს 2,5 ან 7 მიკრონიანი ფორებით. უფრო მცირე ზომის ფორების გამოყენება ამცირებს ჰაერში არსებულ ნაწილაკებთან დაკავშირებული პრობლემების ალბათობას. EPA კრებულის TO-14A / 15 მეთოდის მიხედვით, რეკომენდებულია ფილტრების გამოყენება 2 მიკრონიანი ფორების ზომით.

**კრიტიკული ღრუ** - ზღუდავს ნაკადს მითითებულ დიაპაზონამდე. ნაკადის მარეგულირებელთან შეთანხმებულად განაპირობებს ბალონის შევსებას გარკვეული სიჩქარით გარკვეული დროის მონაკვეთში. კრიტიკული ღრუ შეიძლება იყოს გამოყენებული როგორც ნაკადის შეზღუდვის ერთადერთი საშუალება, მაგრამ მას არ შეუძლია თანაბარი ნაკადის უზრუნველყოფა. სინჯის ადების დროს ადგილი აქვს წნევათა სხვაობას, რაც ცვლის ჰაერის ნაკადის სიჩქარეს და ვიღებთ დროზე ინტეგრირებულ არასწორ სინჯს. ნიმუშის სწორად აღებისათვის მნიშვნელოვანია რომ სინჯის ადების დროს თანაბარი იყოს ნაკადის სიჩქარე, რაც ნაკადის მარეგულირებლით მიიღწევა.

**ნაკადის მარეგულირებელი** - უზრუნველყოფს სინჯის ჰაერის მუდმივ ნაკადს დროის ინტეგრირებული პერიოდის განმავლობაში ბალონში ვაკუუმისა და გარემო ტემპერატურის ცვლილების მიუხედავად. ნაკადის მარეგულირებლის შემთხვევაში კრიტიკული ღრუ მოქმედებს როგორც ნაკადის შემზღუდავი საბოლოო უკუწნევამდე. ეს მუდმივი უკუქმედება განისაზღვრება ბალანსით დიაფრაგმის მექანიკური ზამბარის სიჩქარეს და დიაფრაგმაზე წნევის ცვლილებით. ეს უკანასკნელი განისაზღვრება წნევათა ცვლილებით ატმოსფერულ წნევასა და ბალონის ვაკუუმს შორის და კრიტიკული ღრუს ნაკადით.

**საველე პირობებში სინჯის აღება და ლაბორატორიული ვაკუუმის მზომი** - ვაკუუმის მზომი გვამღევეს საშუალებას ვიზუალურად დავაკვირდეთ ვაკუუმის ცვლილებას ბალონში სინჯის აღების დროს. თუ ნაკადის სიჩქარე უეცრად შეიცვლება, მაგალითად გაჟონვის ან არასწორი

დამაგრების გამო ვაკუუმის მზომი გვიჩვენებს არაპროპორციულად მაღალ ან დაბალ ვაკუუმს და შესაძლებელი იქნება მაკორექტირებელი ზომების მიღება.

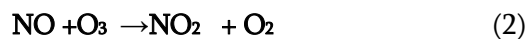
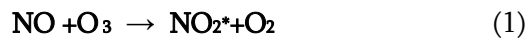
**ბალონი** - არის უჟანგავი მეტალისგან დამზადებული ჭურჭელი. არსებობს სხვადასხვა მოცულობის მქონე ბალონები: 400მლ, 1ლ, 3ლ, 6ლ და 15ლ. გამოყენებული ჭურჭლის ზომა დამოკიდებულია საანალიზო ნივთიერებების კონცენტრაციაზე სინჯში, სინჯის აღების ხანგრძლივობაზე, ნაკადის სიჩქარესა და სინჯის მოცულობაზე. როგორც წესი მეტად მცირე ზომის ბალონები გამოიყენება, მეტად კონცენტრირებული სინჯებისათვის. ისეთებისთვის როგორცაა ნიადაგის აირები გამოიყენება 3-6 ლიტრიანი ბალონები. 24 საათიანი და მეტი ხანგრძლივობის სინჯის აღების დროს გამოიყენება ლიტრიანი ბალონები ეტალონური სტანდარტებისათვის.

სწორად შერჩეული ბალონი ერთ-ერთი წინაპირობაა სინჯის სწორად აღებისათვის. ამასთანავე ჭურჭელი აუცილებლად უჟანგავი ფოლადისაგან დამზადებული უნდა იყოს, რადგან მოგროვებული სინჯი არ გადავიდეს ჭურჭლის კედლებში და არ იშლებოდეს სინათლესთან ურთიერთქმედების გამო ტრანსპორტირების დროს. ასევე ბალონის შიდა ზედაპირი უნდა იყოს ინერტული, იმისათვის რომ, შემცირდეს ურთიერთქმედების ალბათობა ჭურჭლის კედელსა და სინჯს შორის. ბალონებს, რომელნიც მონაწილეობს სინჯის აღებაში უნდა ჰქონდეთ ერთნაირი მოცულობა და ბოლოს მათ უნდა ჰქონდეთ მაღალხარისხიანი სარქველი რომელიც, იცავს არასასურველი გამოყენებისაგან სავსე პირობებში მაგალითად ზედმეტი ჰაერის შეტანა სინჯში რომელსაც მივყავართ არასწორ სინჯამდე. გასათვალისწინებელია ისიც რომ, სარქველი გამოვიდეს მწყობრიდან რასაც მივყავართ სინჯის დანაკარგამდე ან სხვა შეცდომამდე. [11]

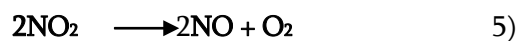
## 2. ანალიზის მეთოდები

### 2.1 აზოტის ოქსიდების (NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) განსაზღვრა O<sub>3</sub>-თან ქემილუმინესცენციით

რეაქტიული აზოტი ატმოსფეროში ძირითადად ხვდება NO-ს სახით, რომელიც რამდენიმე წუთში იჟანგება NO<sub>2</sub>-მდე. შემდგომი ჟანგვით წარმოიქმნება აზოტის სხვა ოქსიდები (NO<sub>x</sub>). აქტიური აზოტი (NO<sub>x</sub>=NO+NO<sub>2</sub>) ძალზე დიდ გავლენას ახდენს ტროპოსფეროში O<sub>3</sub>-ის წარმოქმნაზე და სტრატოსფეროში მის კატალიზურ დაშლაზე. NO-ს ქემილუმინესცენციური რეაქცია O<sub>3</sub>-თან გაზურ ფაზაში დეტალურადაა შესწავლილი. NO-სა და O<sub>3</sub>-ის ურთიერთქმედების შედეგად ნაწილი გარდაიქმნება ადგენებულ მდგომარეობაში მყოფ NO<sub>2</sub>-ად, რომელიც შემდგომში ასხივებს ან ხდება მისი ჩაქრობა სხვა მოლეკულებთან დაჯახებით.



NO<sub>2</sub>-ის გარდაქმნა NO-ში



გამოსხივებული ტალღის სიგრძეა 590 ნმ-დან 1100 ნმ-მდე. NO<sub>2</sub>\*-ის გამოსხივების ინტენსივობა დამოკიდებულია ტემპერატურაზე, რადგანაც ტემპერატურის გავლენით იცვლება ადგენებული აზოტის დიოქსიდის წარმოქმნის სიჩქარე (კერძოდ, იზრდება ტემპერატურის გაზრდისას). [13]

#### NO<sub>x</sub>-ის გაზომვა

1970-იან წლებშიმეცნიერები მიხვდნენ, რომ NO და O<sub>3</sub>-ს შორის მიმდინარე რეაქცია, შესაძლოა გამოყენებული ყოფილიყო მათ გასაზომად ჰაერში. პირველი საცდელი ხელსაწყოები ძალზე მგრძობიარე იყო NO-მიმართ: აღმოჩენის ზღვარი 1.5 ppb-დან, ასევე გაზომვებს ხელს არ უშლიდა სხვა კვალის სახით არსებული გაზები მათ შორის არც წყლის ორთქლი, თუმცა მცირედ ხელს უშლიდა მეტალის კარბონილები და C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, მაგრამ მათი ეფექტის მოშორება შესაძლებელი იყო 648 ნმ-ზე ნაკლები ტალღის სიგრძის მქონე სხივების

გაფილტვრით, სადაც ამ ნივთიერებების ქემილუმინესცენციური გამოსხივება ხდებოდა.

მსგავსად ფლუორესცენტული სპექტრომეტრებისა, ამ შემთხვევაშიც მიმართავენ შემცირებულ წნევას (რომ შემცირდეს დაჯახებებით ჩაქრობის ალბათობა) და ასევე ზრდიან სარეაქციო უჯრედის ტემპერატურას, თუმცა 30-40°C-ზე მეტს არ იყენებენ, რადგანაც ფოტოგამამლიერებელ დეტექტორში ხვდება ბევრი ინფრაწითელი გამოსხივება, რაც ზრდის ფონურ ხმაურს. ამ ხმაურის შესამცირებლად, ხშირად აცივებენ ფოტონ გამამრავლებელ მილაკს PTM-ს.

ხელსაწყოში საანალიზო ჰაერი და ოზონით გამდიდრებული სუფთა ჰაერი შედის სარეაქციო კამერაში, სადაც დაბალი წნევაა (15 მილიბარამდე), კამერის თავზე მოთავსებულია ფოტო გამამლიერებელი მილი, რომელიც აფიქსირებს ფლუორესცენციას.

NO<sub>2</sub>-ის დასაფიქსირებლად, ის ჯერ კატალიზური აღდგენის კამერაში გადაყავთ NO-ში და შემდეგ ზომავენ, ანუ ჯერ ზომავენ NO-ს, შემდეგ იგივე ჰაერში ყველა NO<sub>2</sub> გადაყავთ NO-ში, პირველ და მეორე გაზომვებს შორის სხვაობა NO<sub>2</sub>-ისრაოდენობას შეესაბამება. არსებობს ხელსაწყოები, სადაც ორივე პროცესი პარალელურ რეჟიმში მიმდინარეობს.

თანამედროვე ხელსაწყოებში აღმოჩენის ზღვარი რამდენიმე ppt დონეზეა, ხოლო რაოდენობრივი განსაზღვრით ზღვარი 30-50 ppt - დან იწყება. რაც უფრო მეტ დრო დაჰყოფს ჰაერი რეაქტორში, მით მეტია მგრძნობიარობა, თუმცა ნაკლებისა ანალიზების სისწრაფე. სწრაფი ანალიზები კი აზოტის ოქსიდების სივრცული განაწილების ზუსტი სურათის ნახვის საშუალებას იძლევა, ისინი შესაძლოა დამონტაჟებული იყოს როგორც ლაბორატორიაში, ისე თვითმფრინავებზე და სხვა მოძრავ პლატფორმებზე. [14]

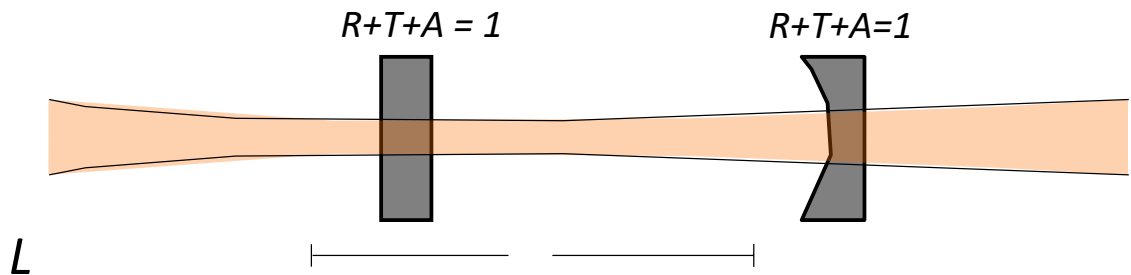
## 2.2 ოპტიკური ღრუს სპექტროსკოპია

1988 წელს ო' კიფმა და დიკონმა წარმოგვიდგინეს ახალი სპექტროსკოპიული მეთოდი, ოპტიკური ღრუს სპექტროსკოპია (CRDS), რომელსაც გააჩნია საგრძნობლად უფრო მაღალი განსაზღვრის მგრძნობელობა, ვიდრე სხვა, პირდაპირ შთანთქმაზე დამყარებულ მეთოდებს. ოპტიკური ღრუს სპექტროსკოპია დაფუძნებულია სინათლის ინტენსივობის ჩაქრობის სიჩქარის გაზომვაზე, რომელიც გამოედინება ღრუდან მაღალი სისუფთავით, იმის მაგივრად, რომ შეიცვალოს ინტენსივობა შთანთქმაზე დამოკიდებულებით. მაღალი მგრძნობიარობა განპირობებულია ოპტიკური ღრუს სპექტროსკოპიის მახასიათებელი არამგრძნობიარობით ლაზერის ენერჯიის ფლუქტუაციების მიმართ და ძალიან გრძელი ეფექტური ურთიერთქმედების გზა (ბევრი კილომეტრი), რომელიც შეიძლება მიღწეულ იქნას ოპტიკური ღრუს საშუალებით. [15]



ოპტიკური ღრუს სპექტროსკოპიის ძირითადი პრინციპი მდგომარეობს იმაში, რომ ლაზერის სხივების იმპულსები, რომლებიც დაკავშირებულია ღრუსთან, რომელიც შედგება მრავალჯერადი არეკვლის უნარის მქონე ორი სარკისგან არა-წულოვანი ტრანსმისიით, ინახება ღრუში განსაზღვრული დროით და მიიღევა ყოველი არეკვლის შემდგომ. გადაცემული ენერგიის დაშლა ექსპოტენციალურია, ხოლო მიღევის დრო ღრუში დანაკარგის უკუპროპორციულია. ცარიელი ღრუს შემთხვევაში დანაკარგი განისაზღვრება, როგორც  $1 - R$ , სადაც  $R$  სარკეების არეკვლის უნარია ღრუში, ხოლო მიღევის დრო მეტია იმ სარკეებისთვის, რომლებსაც გააჩნიათ მეტი ამრეკლი უნარი. მშთანთქმელის შეტანა ღრუში იწვევს დამატებით დანაკარგებს მშთანთქმელის მოლეკულების სინათლესთან ურთიერთქმედების შედეგად, რაც ამცირებს ჩაქრობის დროს. შთანთქმის კოეფიციენტი  $\alpha$  შეიძლება განისაზღვროს ჩაქრობის დროის შედარებით მშთანთქმელიანი და მის გარეშე ღრუს შედარებით.

### ოპტიკური ღრუს თვისებები



ნახ.1

$L$  სიგრძის ოპტიკური ღრუს სქემატური გამოსახულება. სარკეებს გააჩნიათ  $R$  არეკვლითი უნარი,  $T$  ტრანსმისია და  $A$  დანაკარგი. იმისათვის, რომ ღრუში შევინარჩუნოთ გაუსის მრუდი, სარკის სიმრუდე უნდა ემთხვეოდეს გაუსის სხივის სიმრუდეს. ამიტომაც ერთ-ერთი სარკე უნდა იყოს მრუდე.

ფაბრი-პეროს ღრუ ძირითადად ორი მაღალი არეკვლის უნარის მქონე და არაწულოვანი ტრანსმისიის სარკისგან შედგება, როგორც ნაჩვენებია ნახ. 1-ზე. მხოლოდ სინათლე, რომელიც რეზონანსშია ღრუსთან, ანუ აკმაყოფილებს პარალელური სხივის პირობას, შეიძლება შეერთდეს ღრუში და გავრცელდეს მასში. ღრუს ტრანსმისიის სპექტრი სქემატურად ნაჩვენებია ნახ. 2-ზე რომელიც შედგება რიგი სიხშირეების მოდისაგან

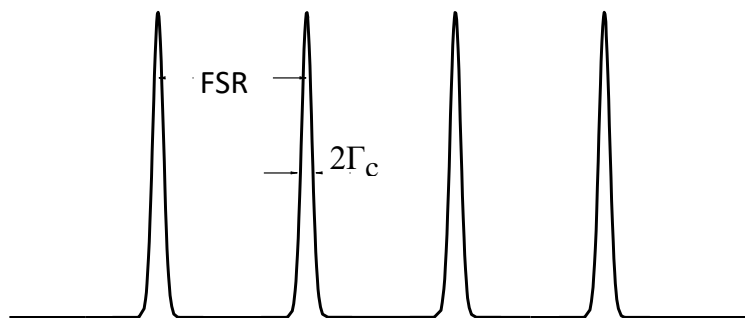
$$\nu q = \frac{qc}{2L} \quad (1)$$

სადაც,  $q$  არის ღრუს მოდების რიცხვი,  $c$ - სინათლის სიჩქარე,  $L$  კი ღრუს სიგრძეა. ერთმანეთის მომდევნო ორ მოდას შორის მანძილი არის ე.წ. ღრუს სპექტრის თავუსუფალი სპექტრი. რომელიც წარმოდგენილია ნახ.2-ზე და განისაზღვრება ღრუს სიგრძით.

$$FSR = \frac{c}{2L} \quad (2)$$

ღრუს მოდების სიგანე,  $\Gamma_c$ , განისაზღვრება რეზონატორის მოდების თავისუფალი სივრცის დამოკიდებულებით სისუფთავეზე,  $F$ , რომელიც, თავის მხრივ, განისაზღვრება რეზონატორის სარკეების არეკვლის უნარით,  $R$ . [16]

$$F = \frac{\pi\sqrt{R}}{1-R} = \frac{FSR}{2\Gamma_c} \quad (3)$$



ნახ.2 რეზონატორის ტრანსმისიის სპექტრი

სიმარტივისათვის, მომდევნო აღწერა დაფუძნებულია იმპულსური ლაზერის წყაროზე, თუმცა, იგივე განტოლებები გამოიყენება უწყვეტი ლაზერის შემთხვევაშიც. პირველად, განვიხილოთ ლაზერის იმპულსი  $P_0$ -ის შემთხვევაში, რომელიც დაკავშირებულია რეზონატორთან, რომელიც შედგება მაღალი და ერთნაირი -  $R$  არეკვლის უნარის მქონე ორი სარკისაგან. იმპულსი მრავალჯერ მოძრაობს რეზონატორში წინ და უკან და მიიღევა თითოეული არეკვლის შემდეგ. ღრუს სარკის ტრანსმისია  $T$  გამოითვლება, როგორც

$$T = 1 - R - A, \quad (4)$$

სადაც,  $A$  მოიცავს სარკის ზედაპირის მიერ დანაკარგს გაბნევის, შთანთქმის და დიფრაქციის

შედეგად. როდესაც ღრუ შევსებულია ანალიტით, რომელსაც აქვს შტანთქმის უნარი  $\alpha(v)$ , ციკლების შემდეგ ღრუში დარჩენილი ენერგია იქნება

$$P_n(v) = [Re^{-\alpha(v)L}]^n P_1(v) = P_1(v) e^{2n[\ln R - \alpha(v)L]}, \quad (5)$$

სადაც,  $P_1(v)$  არის პირველი ციკლის შემდეგ გადაცემული ენერგია, რომელიც წარმოდგენილია

$$P_1(v) = T^2 e^{-\alpha(v)L} P_0. \quad (6)$$

სარკეების მაღალი არეკვლის უნარის მიჩნევის შემთხვევაში, ანუ  $R \approx 1$ , გულისხმობს, რომ  $\ln R \approx R - 1 = -(T + A)$ , რომელსაც მივყავართ გადაცემული ენერგიის შემდეგ განტოლებამდე

$$P_n(v) = P_1(v) e^{-2n[T+A+\alpha(v)L]}. \quad (7)$$

იმპულსის ღრუში ერთი ციკლის დრო არის  $t_1 = 2L/c$ , რაც ნიშნავს, რომ იმპულსი, რომელიც გამოდის რეზონატორიდან  $n$  არეკვლის შემდეგ, განისაზღვრება დროის შემდეგ მონაკვეთში -  $tn=2nL/c$ . დეტექტორი მუდმივი  $t_1$  -ზე მეტი დროით, გაასაშუალოებს მომდევნო იმპულსებს და ჩაიწერს შემცირების მოვლენას. ანუ, გადაცემული ენერგიის ექსპონენციალური ვარდნა იქნება

$$P(v,t) = P_1(v) e^{-t/\tau_1(v)}, \quad (8)$$

სადაც,  $\tau_1(v)$  არის მშთანთქმელის თანაობისას დროის შემცირება, რომელიც წარმოდგენილია

$$\tau_1(v) = \frac{L/c}{T+A+\alpha(v)T} \quad (9)$$

მშთანთქმელის არყოფნის შემთხვევაში დროის შემცირება  $[\alpha(v) = 0]$ , იქნება

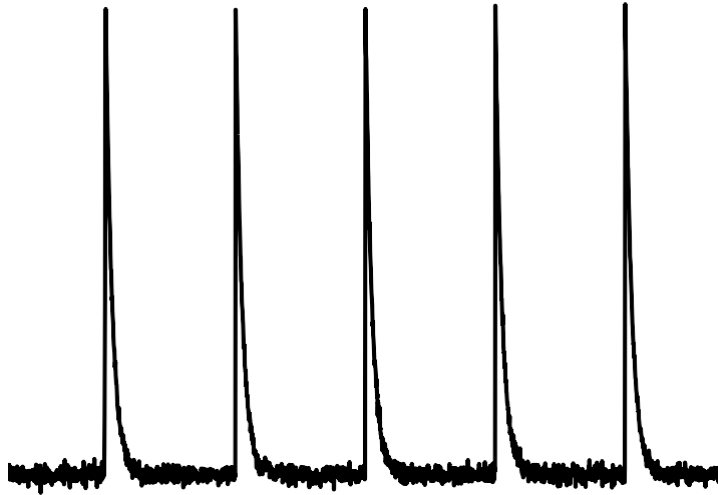
$$\tau_2 = \frac{L/c}{T+A} = \frac{L/c}{1-R}. \quad (10)$$

ეს ნიშნავს, რომ აბსორბციის კოეფიციენტი  $\alpha(v)$ , შეიძლება განისაზღვროს ჩაქრობის სიჩქარის სხვაობით გამრავლებული სინათლის სიჩქარეზე, მომდევნო ფორმულის მიხედვით

$$\alpha(v) = \frac{1}{cT_1} - \frac{1}{cT_2}. \quad (11)$$

საბოლოოდ, შესაძლებელია აბსორბციის კოეფიციენტის  $\alpha$  განსაზღვრა, გადაცემული

სინათლის ენერჯის შემცირების დროის გაზომვით ნიმუშით და ნიმუშის გარეშე. [17]



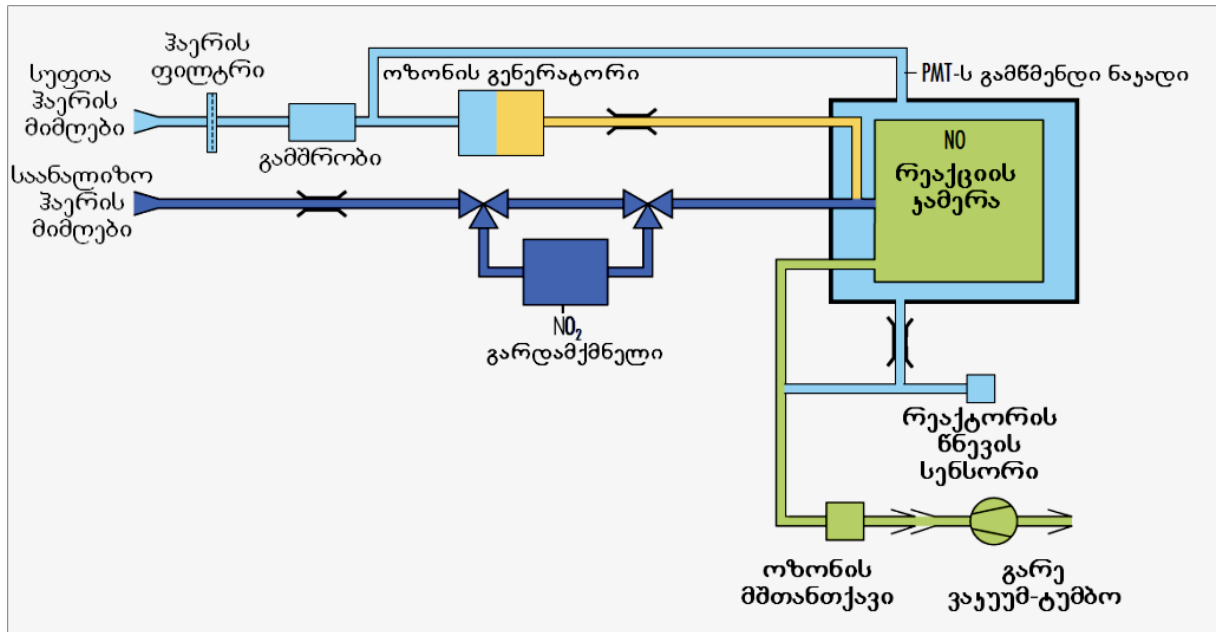
**ნახაზი 3:** ტიპური ოპტიკური დრუს სპექტროსკოპიის სიგნალები

### 3.ექსპერიმენტული ნაწილი

#### 3.1 ექსპერიმენტში გამოყენებული აპარატურა

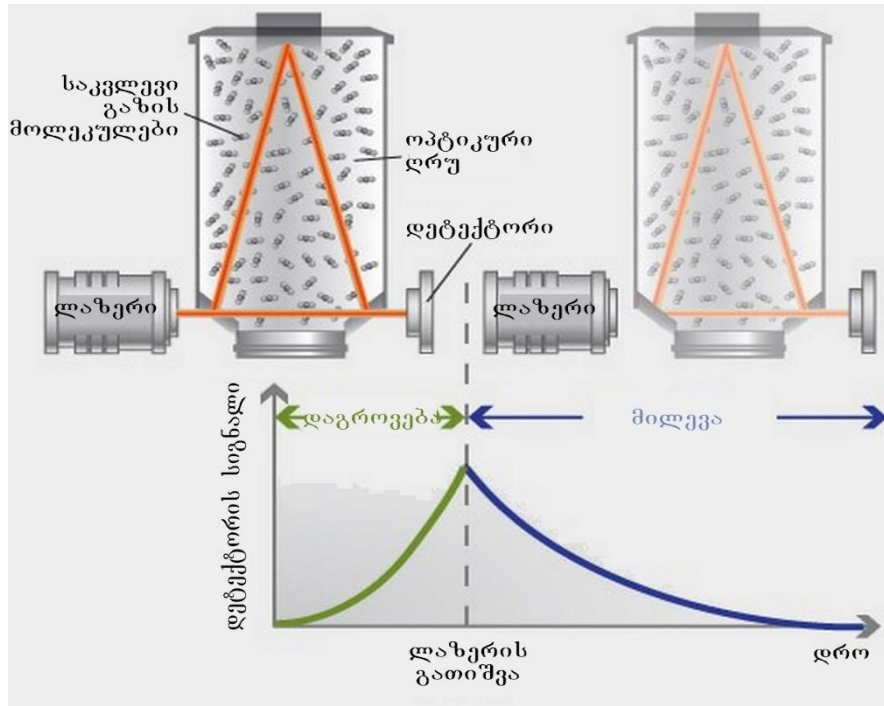
ექსპერიმენტულ მეთოდში გამოყენებულ იქნა ECO Physics წარმოების NOx ანალიზატორი CLD 780 TR, რომელიც აღჭურვილია ოზონის გენერატორით, ხელსაწყოსთან დაკავშირებულია ჟანგბადის ბალონი, რომელიც უზრუნველყოფს ოზონის წარმოქმნას და NO, NO<sub>2</sub>-ის უწყვეტი ანალიზის საშუალებას იძლევა. განსაზღვრის დიაპაზონი არის 1ppb-დანზემოთ, ხოლო აღმოჩენის ზღვარი 0.4 ppb. [13]

ატმოსფერული ჰაერის სინჯების აღება ხდება სპეციალური ბალონების საშუალებით.



სურათი 3. ECO Physics წარმოების NOX ანალიზატორის CLD 66 სქემა

ექსპერიმენტში გამოყენებულ იქნა აგრეთვე PICARRO-ს G2401 ანალიზატორი, რომელიც საშუალებას იძლევა განისაზღვროს ნახშირბადის ოქსიდები (CO, CO<sub>2</sub>) და მეთანი (CH<sub>4</sub>). ლაზერის სხივის მრავალჯერადი არეკვლით არეკვლის უნარის მქონე სარკეებით ლაზერის სხივი ინახება ღრუში განსაზღვრული დროით და მიიღევა ყოველი არეკვლის შემდგომ. მშთანთქმელის ღრუში შეტანა, კი იწვევს დამატებით დანაკარგებს მშთანთქმელის მოლეკულების სინათლესთან ურთიერთქმედების შედეგად, რაც ამცირებს ჩაქრობის დროს.



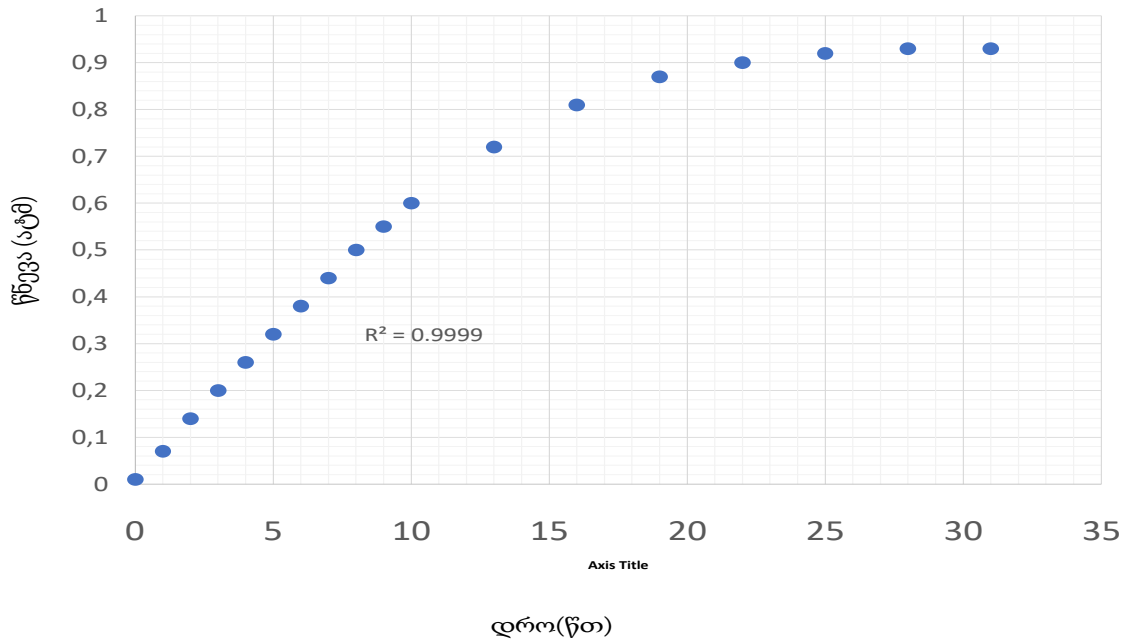
სურათი 4. PICARRO - ს ანალიზატორი.

### 3.2 ანალიზის მსვლელობა

თავდაპირველად შევისწავლეთ ბალონის შევსების სწორხაზოვანი რეგიონი. კვლევები გავაგრძელეთ ლაბორატორიაში, რადგან ატმოსფერო ნაკლებად ცვალებადია. ანალიზს ვატარებდით 9 ბალონის გამოყენებით. ანალიზის მსვლელობა იყო 10 წთ-იანი 5სმ-იანი კაპილარით. აქედან სამი ბალონი იყო კაპილარიანი რომელშიც სინჯის აღების ხანგრძლივობა იყო 10 წთ, ხოლო დანარჩენი 6 მყისიერი შევსების ბალონი ასე გვექონდა განაწილებული: 2 ბალონი იხსნებოდა  $t_0$  დროზე ანუ კაპილარიან ბალონებთან ერთად. შემდეგ  $t_{1/2}$  ანუ 5 წთ -ის გასვლის შემდგომ კიდევ ორი მყისიერი შევსების ბალონი იხსნებოდა და ბოლოს ანალიზის დასრულებისას 10 წთ-ზე იხსნებოდა ორი მყისიერი შევსების ბალონი. მიღებული შედეგები კი დარდებოდა ონლაინთან, რომელიც მუდმივ რეჟიმში იწერებოდა. მიღებული შედეგების გათვალისწინებით გადაწყვიტეთ, რომ ანალიზები გავგვეგრძელებინა 20 სმ -იანი კაპილარით დროის ხანგრძლივობით 20 წთ ლაბორატორიაში და ღია ფანჯარაში.

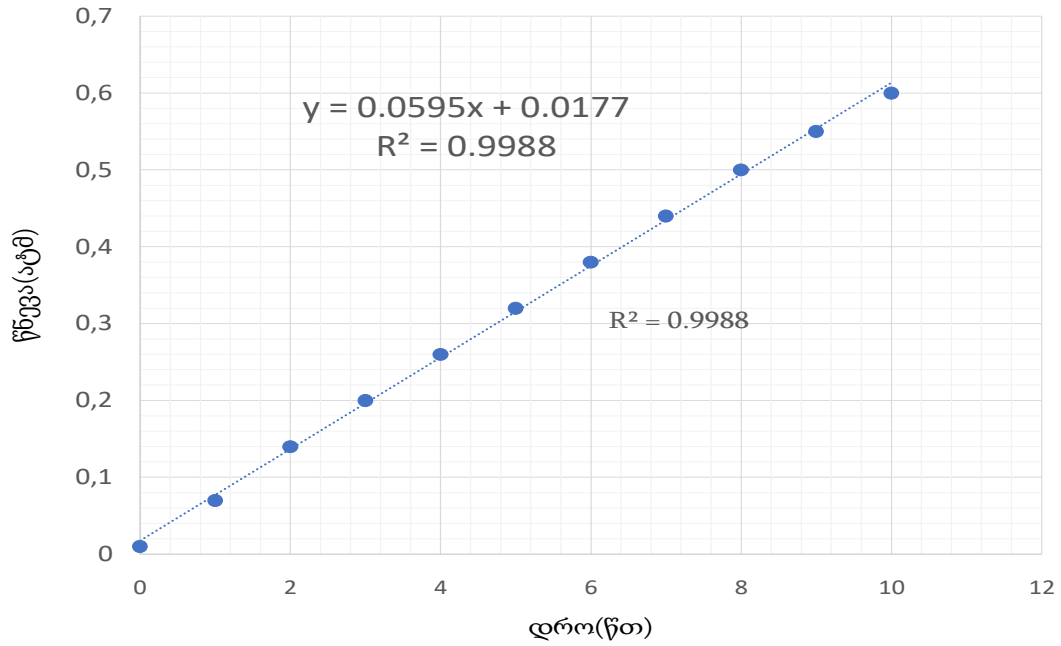
### 3.3 შედეგები და მათი განსჯა

თავდაპირველად შევისწავლეთ ბალონის შევსების სწორხაზოვანი რეგიონი. მიღებული მონაცემების საფუძველზე, ნიმუშის ასაღებად შევარჩიეთ დროის ის მონაკვეთი სადაც შევსების სიჩქარე იყო თანაბარი. ავად გრაფიკი სადაც წნევის დროზე დამოკიდებულების გრადიენტია ასახული. ბალონი სწორხაზოვნად ივსებოდა და როდესაც უკვე წნევითა სხვაობა ბალონის შიგნით და გარეთ შემცირდა, შემცირდა შევსების სიჩქარეც.



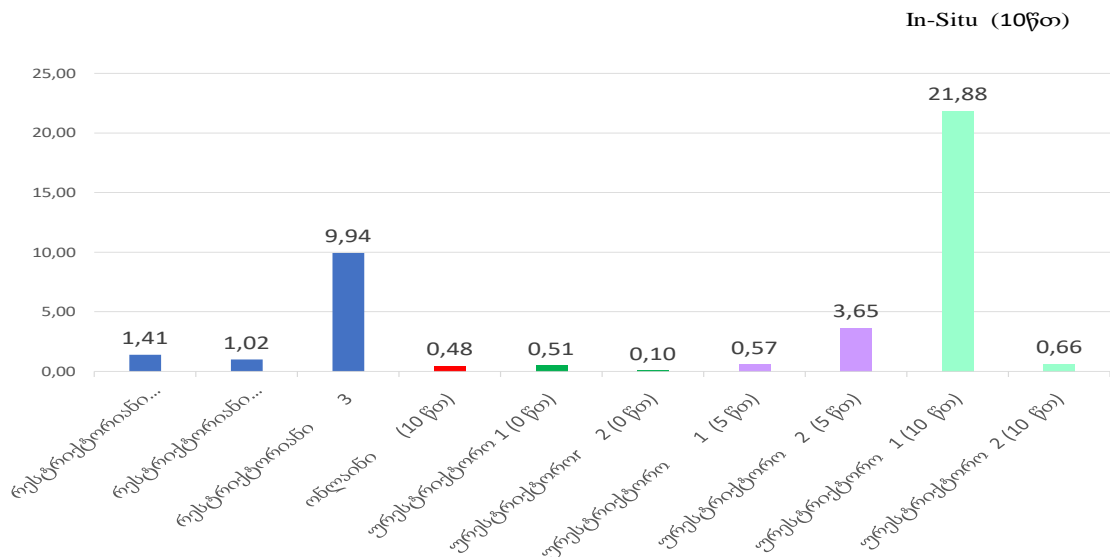
**დიაგრამა 1.** ბალონის შევსების სიჩქარე (რესტრიქტორის სიგრძე  $l=5\text{სმ}$ ;  $d=0.320\text{მმ}$ )

მეტი თვალსაჩინოებისთვის კი, ქვემოთ დიაგრამაზე წარმოდგენილია ფსევდო-სწორხაზოვანი რეგიონი სადაც, კარგად ჩანს თანაბრად შევსება. სწორხაზოვანი რეგიონი აუცილებელია საშუალო სინჯების სწორად აღებისათვის.



დიაგრამა 2. ფსევდო-სწორხაზოვანი რეგიონი

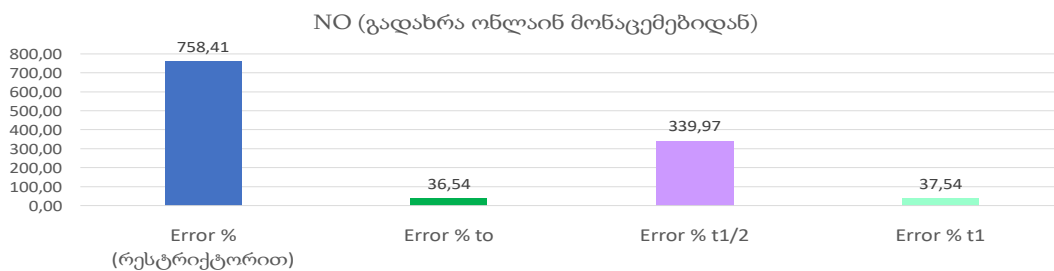
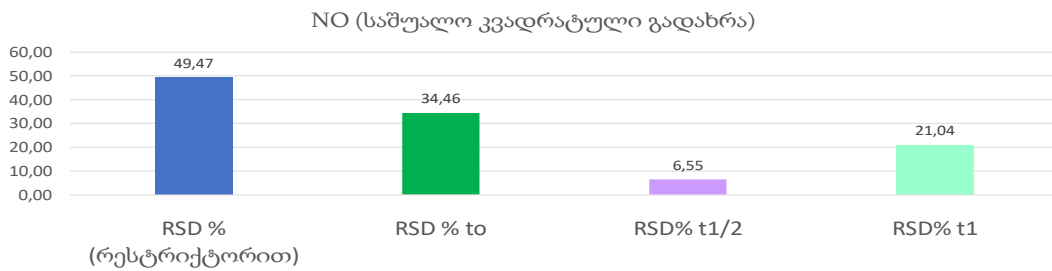
ქვემოთ დიაგრამაზე მოცემულია თითოეულ ბალონში შეგროვებული ნიმუშების გასაშუალოებული მონაცემები NO-სთვის.



დიაგრამა 3. 5 სმ-იანი კაპილარი ანალიზის ხანგრძლივობით 10 წთ. თითოეული ბალონის გასაშუალოებული მონაცემები NO-სთვის.

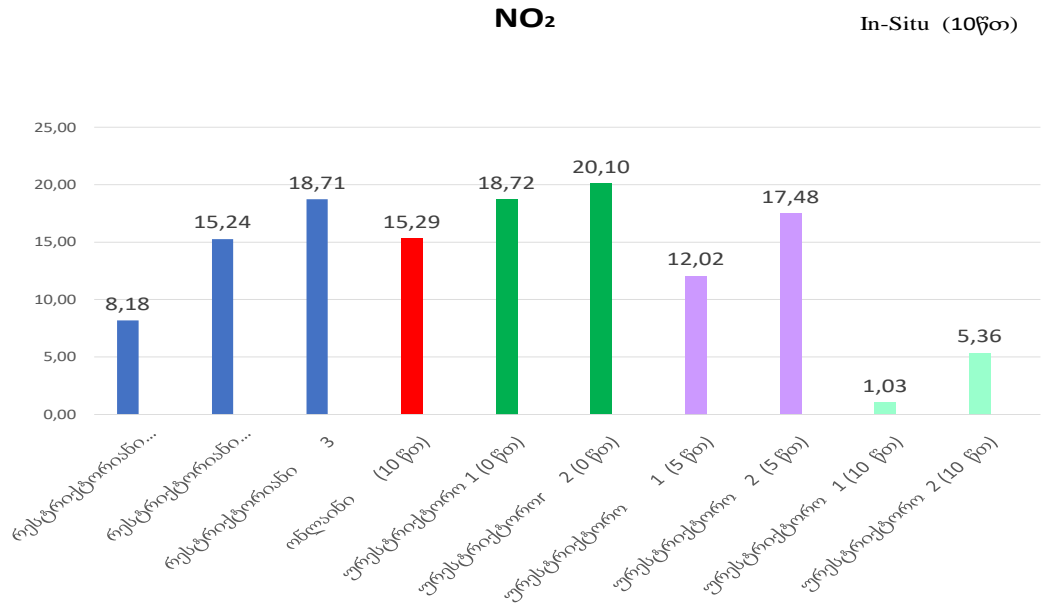


ქვემოთ დიაგრამაზე წარმოდგენილია ა) საშუალო კვადრატული გადახრა ბალონებს შორის და გადახრა ბ) ონლაინ მონაცემებიდან NO-სთვის. კაპილარიანი ბალონებისთვის საშუალო კვადრატული გადახრა მაღალია, ხოლო მყისიერი შევსების ბალონებისთვის დაბალი. ბ) კაპილარიანსა და ონლაინს შორის შედარების დროს კაპილარიანში მაღალი გადახრა რადგანაც ბალონის მონაცემები ძალიან ახლოს იყო ხელსაწყოს აღმოჩენის ზვართან.



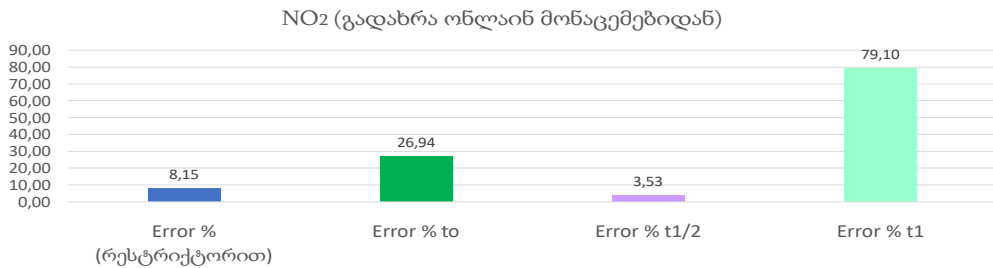
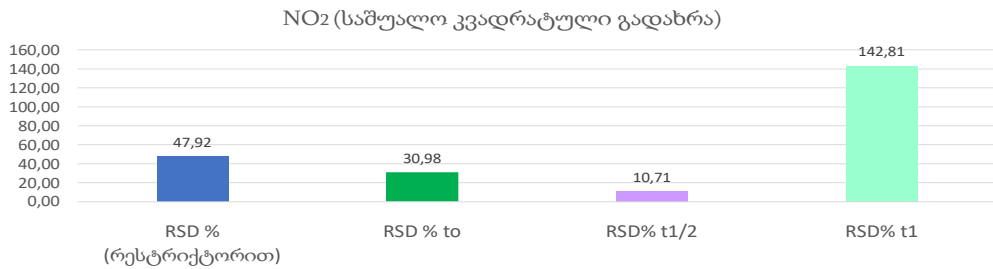
**დიაგრამა 4.** ა) NO-სთვის საშუალო კვადრატული გადახრა; ბ) NO-სთვის გადახრა ონლაინ მონაცემებიდან.

ქვემოთ დიაგრამაზე მოცემულია თითოეული ბალონის გასაშუალოებული მონაცემები NO<sub>2</sub>-სთვის.



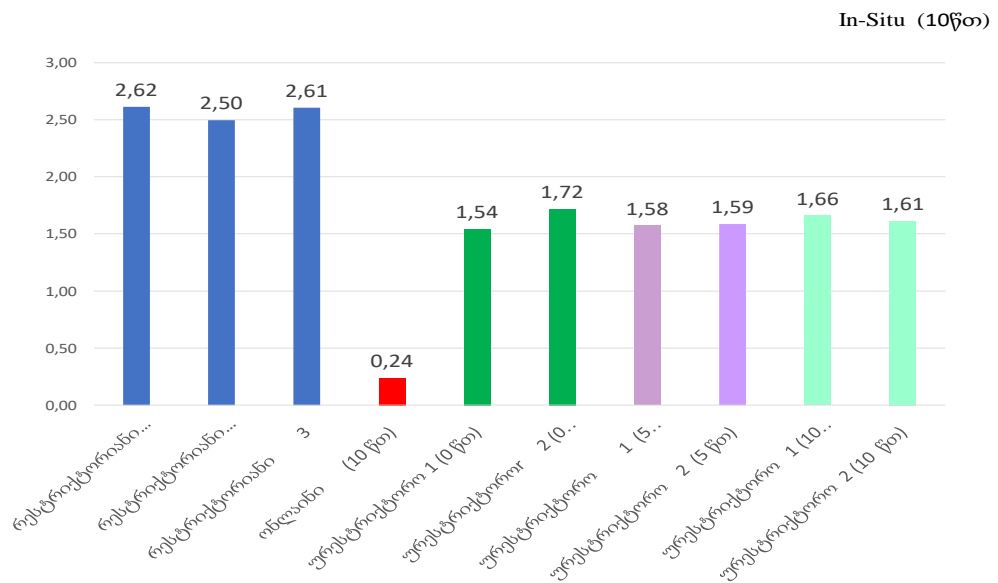
**დიაგრამა 5.** NO<sub>2</sub>-სთვის თითოეული ბალონის გასაშუალოებული მონაცემი.

NO<sub>2</sub>-სთვის საშუალო კვადრატული გადახრა ბალონებს შორის როგორც ქვემოთ მოცემულ დიაგრამაზე ჩანს დაბალია. დაბალია აგრეთვე ბ) გადახრა ონლაინ მონაცემებიდან.



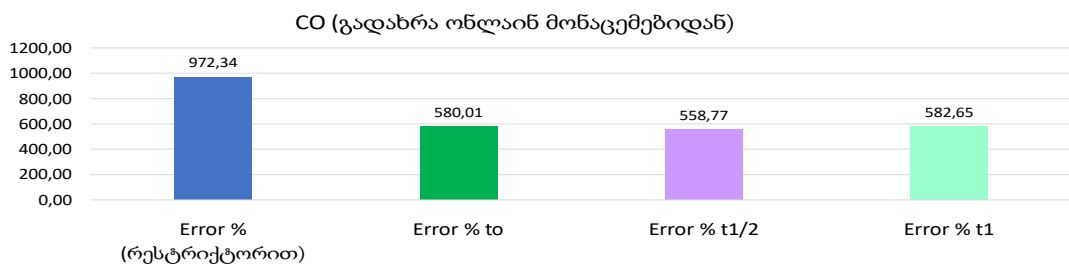
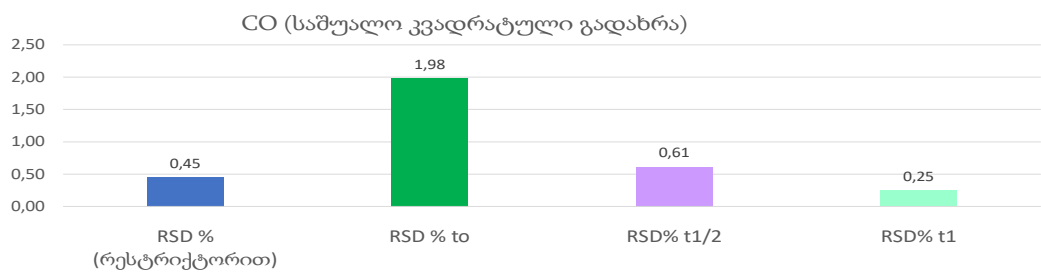
**დიაგრამა 5.** ა) NO<sub>2</sub>-სთვის საშუალო კვადრატული გადახრა. ბ) გადახრა ონლაინ მონაცემებიდან.

დიაგრამა 6-ზე ნაჩვენებ თითოეულ ბალონის საშუალო მაჩვენებელი ონლაინის საშუალო მაჩვენებელთან შედარებით ყველა მაღალი მაჩვენებლით გამოირჩევა CO-სთვის.



დიაგრამა 6. CO-სთვის თითოეული ბალონის საშუალო მონაცემი.

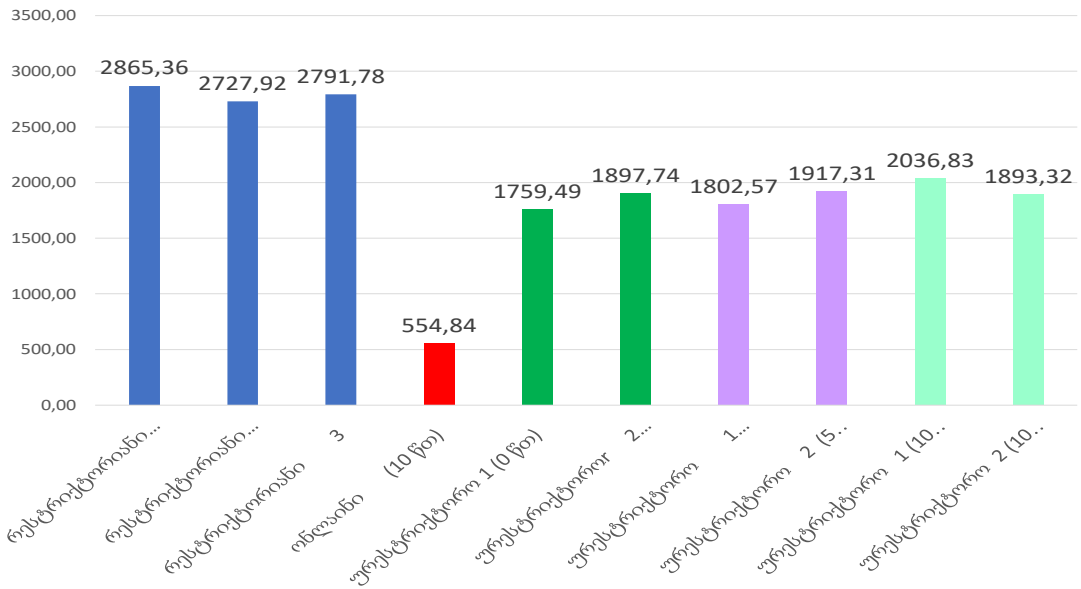
ა) რესტრიქტორიან ბალონებს შორის ცდომილება ნაკლებია მყისიერ ბალონებს შორის გადახრასთან. ხოლო ბ) ონლაინ მონაცემებიდან გადახრა რესტრიქტორიან ბალონში მაღალია



დიაგრამა 7. ა) CO-სთვის საშუალო კვადრატული გადახრა. ბ) CO-სთვის გადახრა ონლაინ მონაცემებიდან.

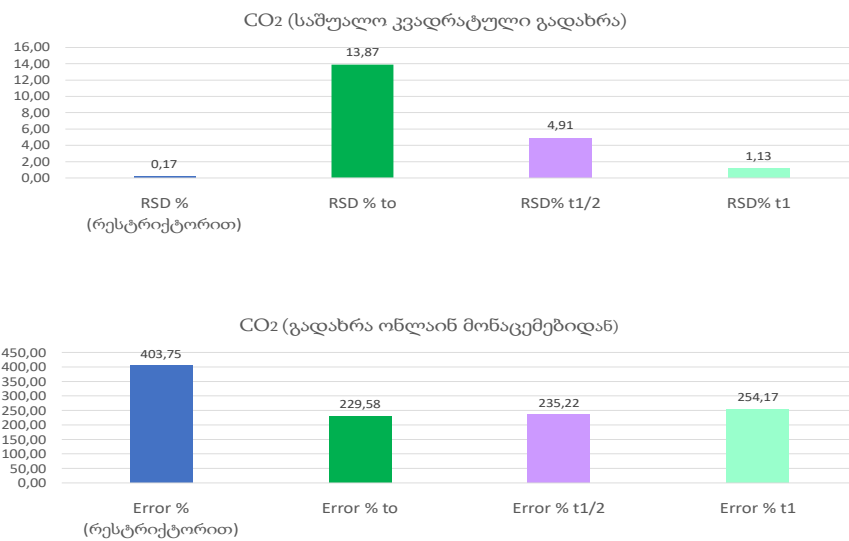
CO<sub>2</sub>-სთვისაც ანალოგიური მონაცემები ფიქსირდება როგორც CO-სთვის თითოეული ბალონის საშუალო მონაცემებისთვის, რომელიც წარმოდგენილი შემდეგ დიაგრამაზე.

In-Situ (10წთ)



დიაგრამა 8. CO<sub>2</sub> -სთვის თითოეული ბალონის საშუალო მონაცემი.

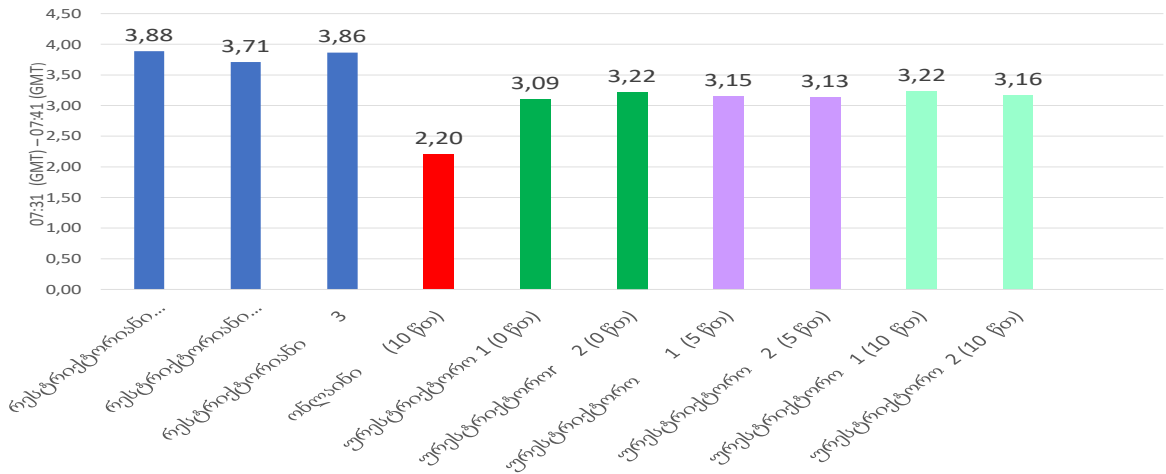
დიაგრამა 9-ზე წარმოდგენილია საშუალო კვადრატული გადახრა CO<sub>2</sub>-სთვის როგორც დიაგრამიდან ჩანს ყველაზე მცირეა რესტრიქტორიან ბალონებს შორის ცდომილება, ხოლო გადახრა ონლაინ მონაცემებიდან მნიშვნელოვნად მაღალია.



დიაგრამა 9. ა) CO<sub>2</sub>-სთვის საშუალო კვადრატული გადახრა. ბ) CO<sub>2</sub>-სთვის გადახრა ონლაინ მონაცემებიდან.

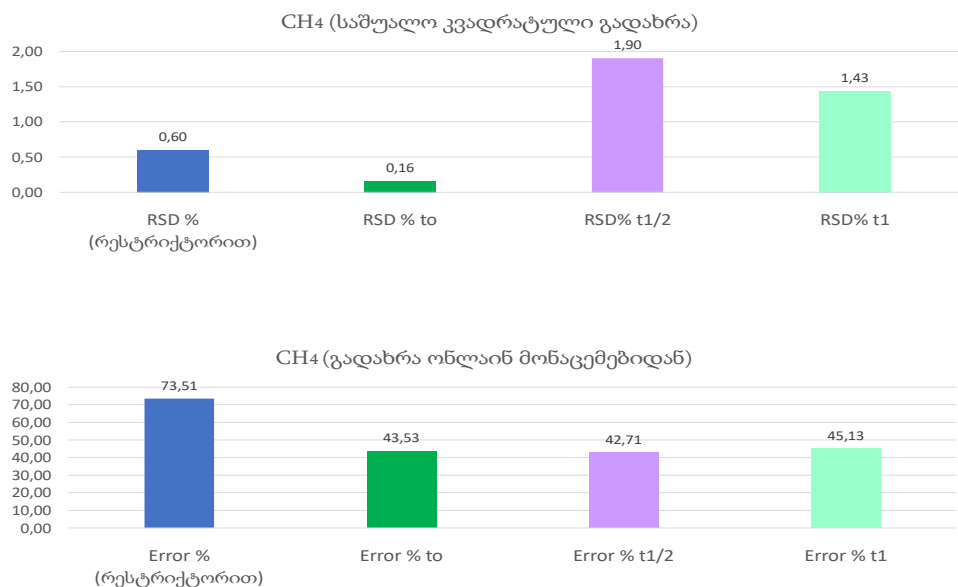
ქვემოთ ნაჩვენებ დიაგრამაზე ჩანს რომ, CH<sub>4</sub>-სთვის თითოეული ბალონის საშუალო მონაცემი აღემატება ონლაინის საშუალო მონაცემს.

In-Situ (10წთ)



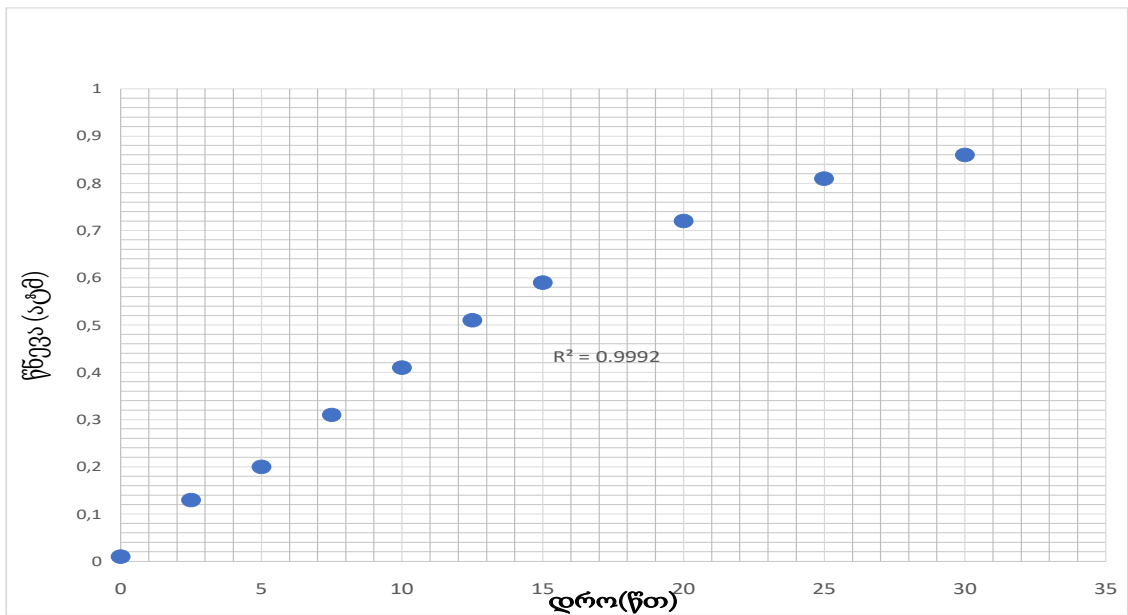
**დიაგრამა 10.** CH<sub>4</sub>-სთვის თითოეული ბალონის საშუალო მონაცემები.

ა) CH<sub>4</sub>-სთვის ბალონებს შორის ცდომილება შედარებით ნაკლებია მხოლოდ ერთ მყისიერი შევსების ბალონისთვის.



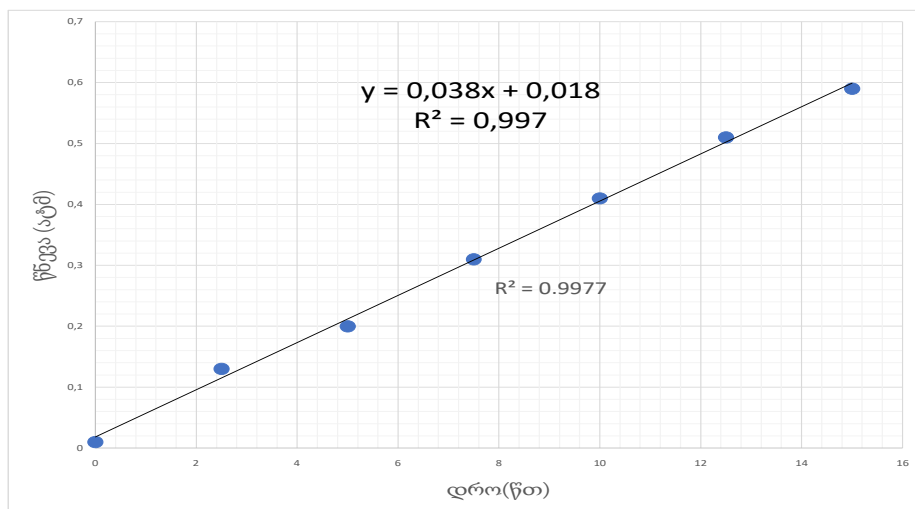
**დიაგრამა 11.** ა) CH<sub>4</sub>-სთვის საშუალო კვადრატული გადახრა. ბ) CH<sub>4</sub>-სთვის გადახრა ონლაინ მონაცემებიდან.

ექსპერიმენტი ჩავატარეთ აგრეთვე 10 სმ-იანი კაპილარის გამოყენებით, ანალიზის დროს შეადგენდა 10 წთ. მიღებული მონაცემების საფუძველზე, ნიმუშის ასაღებად შევარჩიეთ დროის ის მონაკვეთი სადაც შევსების სიჩქარე იყო თანაბარი. ავად გრაფიკი სადაც წნევის დროზე დამოკიდებულების გრადიენტია ასახული. ბალონი სწორხაზოვნად ივსებოდა და როდესაც უკვე წნევითა სხვაობა ბალონის შიგნით და გარეთ შემცირდა, შემცირდა შევსების სიჩქარეც.



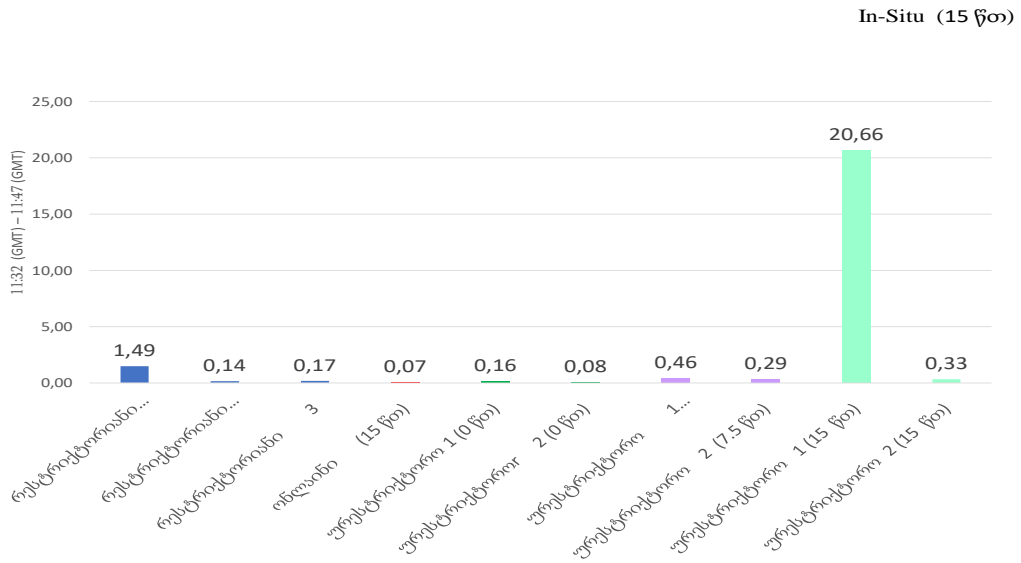
**დიაგრამა 12.** ბალონის შევსების სიჩქარე (რესტრიქტორის სიგრძე  $l=10$  სმ;  $d=0.320$  მმ)

მეტი თვალსაჩინოებისთვის კი ქვემოთ დიაგრამაზე წარმოდგენილია ფსევდო-სწორხაზოვანი რეგიონი, სადაც კარგად ჩანს, თანაბრად შევსება. სწორხაზოვანი რეგიონი აუცილებელია საშუალო სინჯების სწორად აღებისათვის.



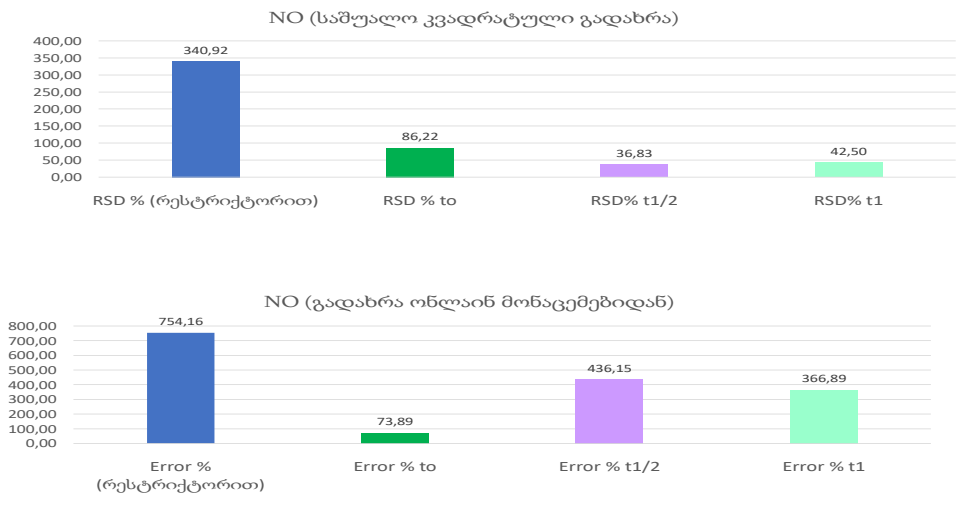
**დიაგრამა 13.** ფსევდო-სწორხაზოვანი რეგიონი

შემდეგ დიაგრამაზე მოცემულია თითოეული ბალონის გასაშუალოებული მონაცემები NO-სთვის. დიაგრამაზე მყისიერი ბალონში ფიქსირდება მაღალი მაჩვენებელი ეს ბალონის დაბინძურების ბრალი იყო.



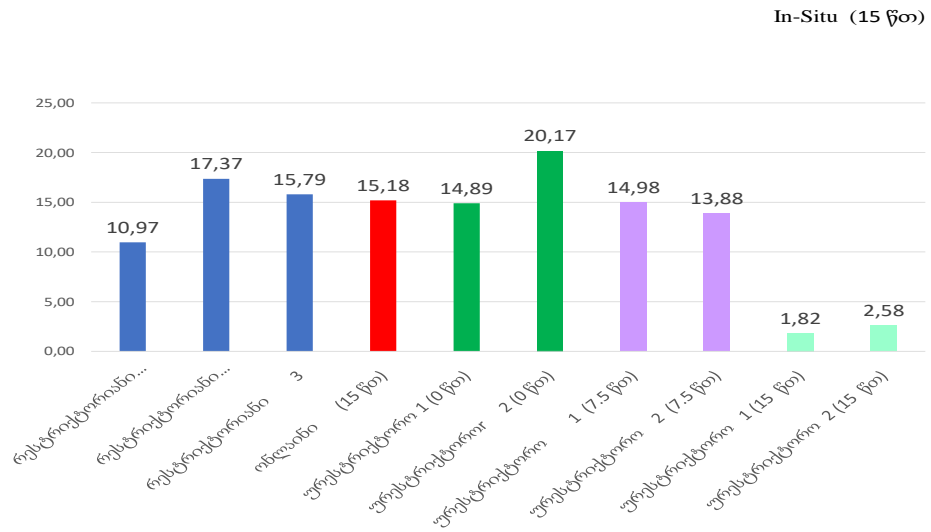
**დიაგრამა 14.** 10 სმ-იანი კაპილარი ანალიზის ხანგრძლივებით 10 წთ. თითოეული ბალონის გასაშუალოებული მონაცემი NO-სთვის.

როგორც დიაგრამა 15-ზე ა) ჩანს ბალონებს შორის ცდომილება მყისიერი შევსების ბალონებისთვის უფრო მცირეა ვიდრე რესტრუქტორიანისთვის. ბ) ონლაინ მონაცემებიდან გადახრა კაპილარიანი ბალონისთვის მეტია რადგან ბალონის გაზომილი მონაცემი ხელსაწყოს აღმოჩენის ზღვართან ახლოსაა.



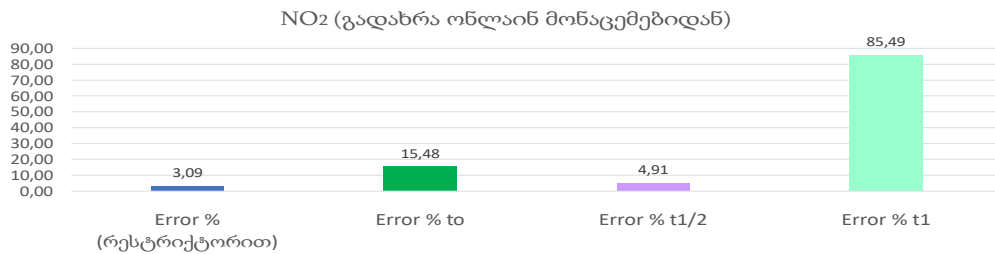
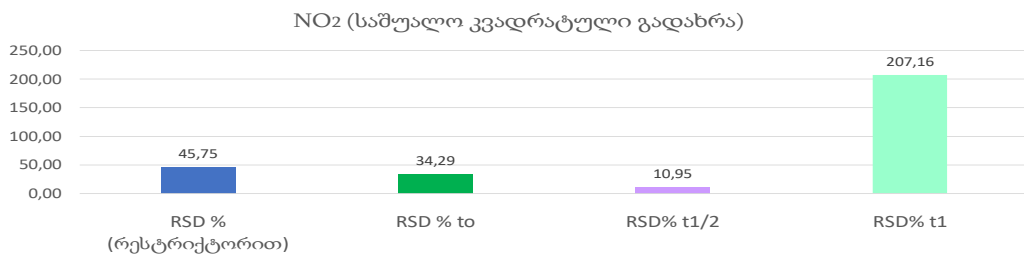
**დიაგრამა 15.** ა) NO-სთვის საშუალო კვადრატული გადახრა. ბ) NO-სთვის გადახრა ონლაინ მონაცემებიდან.

ქვემოთ ნაჩვენებ დიაგრამაზე NO<sub>2</sub>-სთვის, როგორც ჩანს ონლაინის საშუალო მონაცემთან ახლოსაა როგორც კაპილარიანი ბალონების საშუალო მონაცემი ასევე ახლოსაა მყისიერი შევსების ბალონების საშუალო მონაცემი.



**დიაგრამა 16.10** სმ-იანი კაპილარი ანალიზის ხანგრძლივებით 10 წთ. თითოეული ბალონის გასაშუალოებული მონაცემები NO<sub>2</sub>-სთვის.

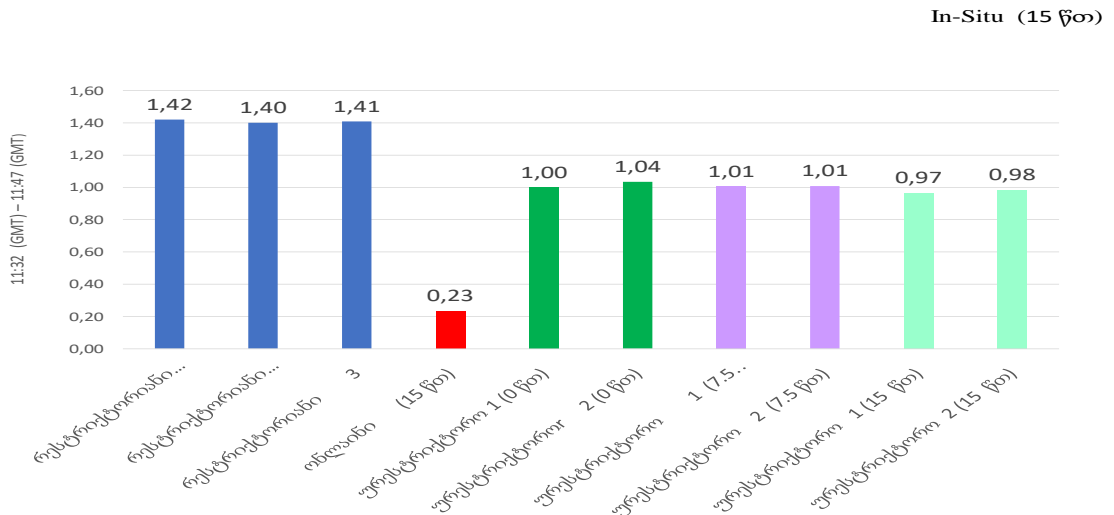
დიაგრამა 17-დან ჩანს ა) მყისიერ ბალონებს შორის ცდომილება ყველაზე მაღალია, ბ) ასევე მაღალია ონლაინ მონაცემიდან გადახრა იგივე ბალონების.



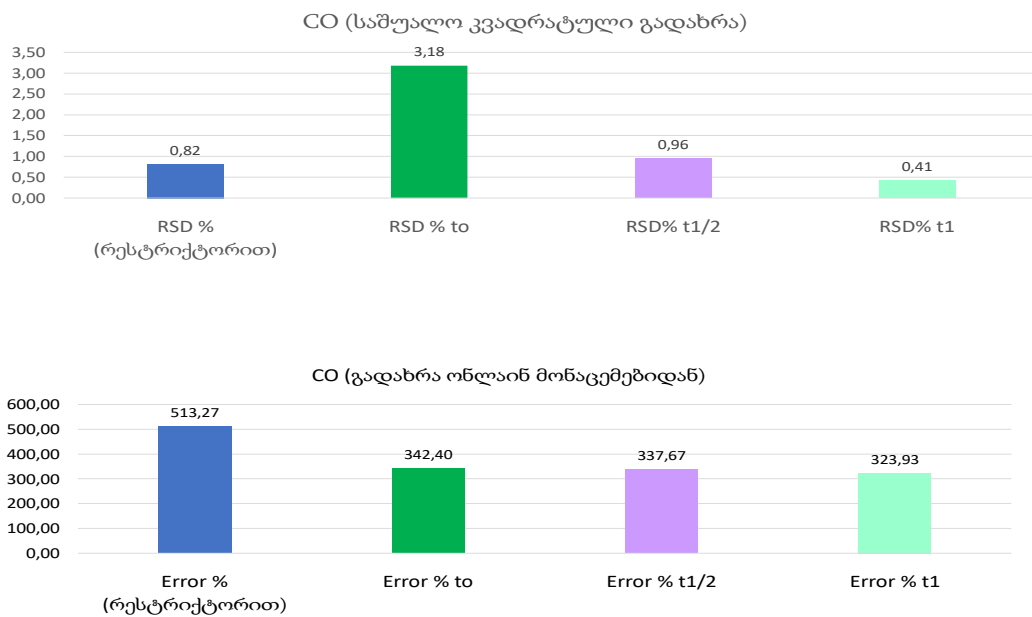
**დიაგრამა 17. ა)** NO<sub>2</sub>-სთვის საშუალო კვადრატული გადახრა. **ბ)** გადახრა ონლაინ მონაცემებიდან.



CO-სთვის ქვემოთ მოცემულ დიაგრამიდან როგორც ჩანს, რესტრიქტორიანის საშუალო მონაცემები და მყისიერი შევსების ბალონების საშუალო მონაცემები ბევრად აღმატება ონლაინის საშუალო მონაცემს.

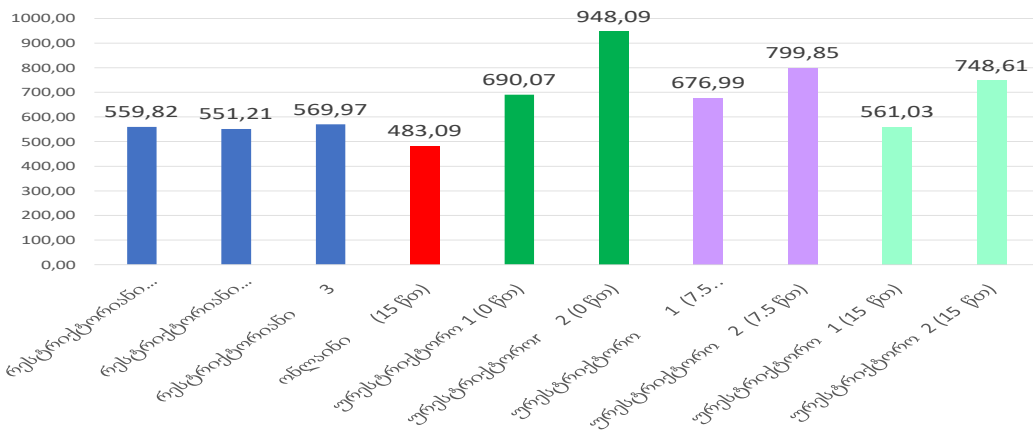


**დიაგრამა 18.** CO-სთვის თითოეული ბალონის საშუალო მონაცემი.



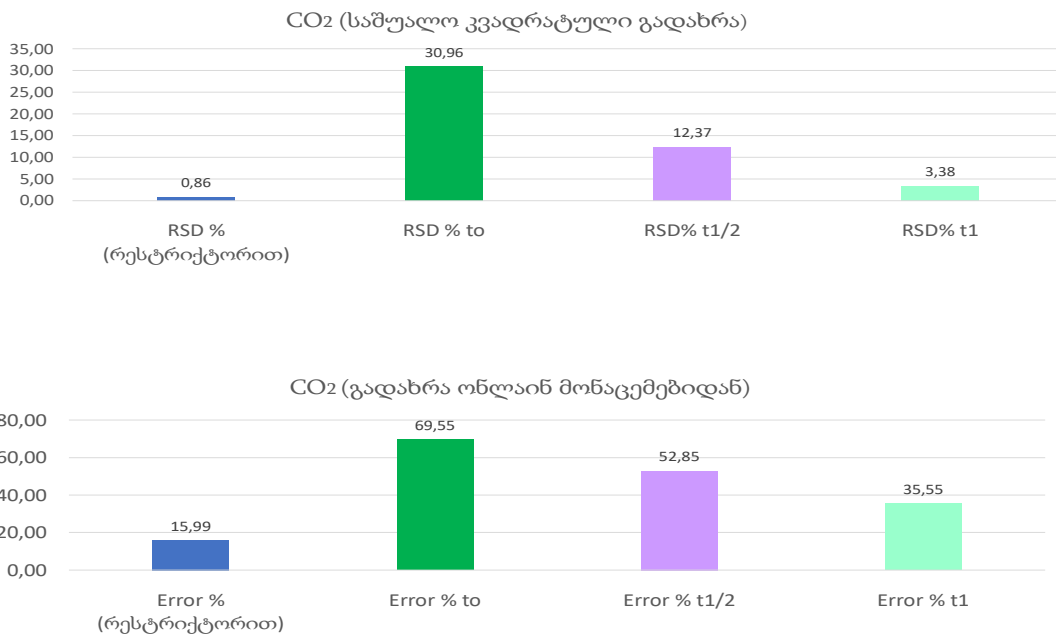
**დიაგრამა 19.** ა) CO-სთვის საშუალო კუბურადრატული გადახრა. ბ) CO-სთვის გადახრა ონლაინ მონაცემებიდან.

CO<sub>2</sub>-სთვის დიაგრამიდან როგორც ჩანს კაპილარიანი ბალონების საშუალო მონაცემები ახლოსაა ონლაინის საშუალო მონაცემებთან.



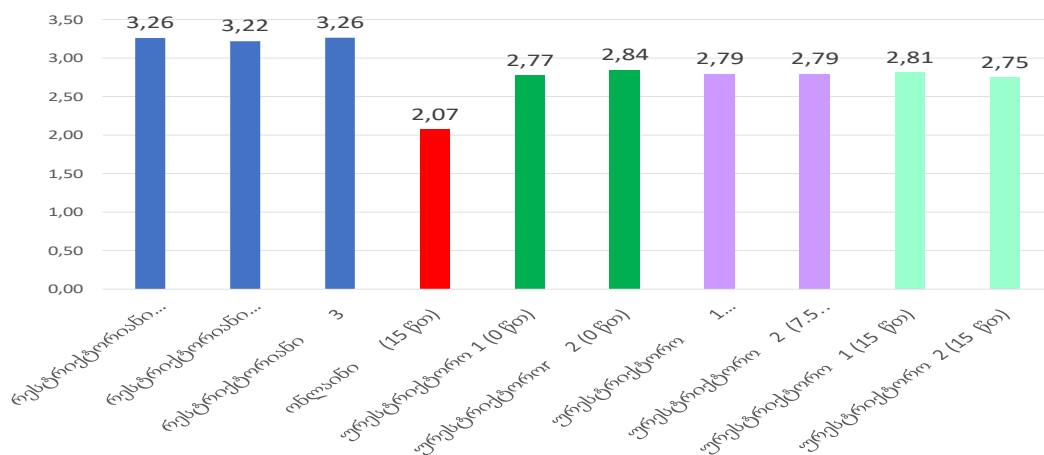
დიაგრამა 20. CO<sub>2</sub> -სთვის თითოეული ბალონის საშუალო მონაცემი.

დიაგრამა 18-ზე წარმოდგენილია საშუალო კვადრატული გადახრა CO<sub>2</sub>-სთვის როგორც დიაგრამიდან ჩანს ყველაზე მცირეა რესტრიქტორიან ბალონებს შორის ცდომილება, ხოლო გადახრა ონლაინ მონაცემებიდან მცირეა, ვიდრე მყისიერი შევსების ბალონებისთვის.

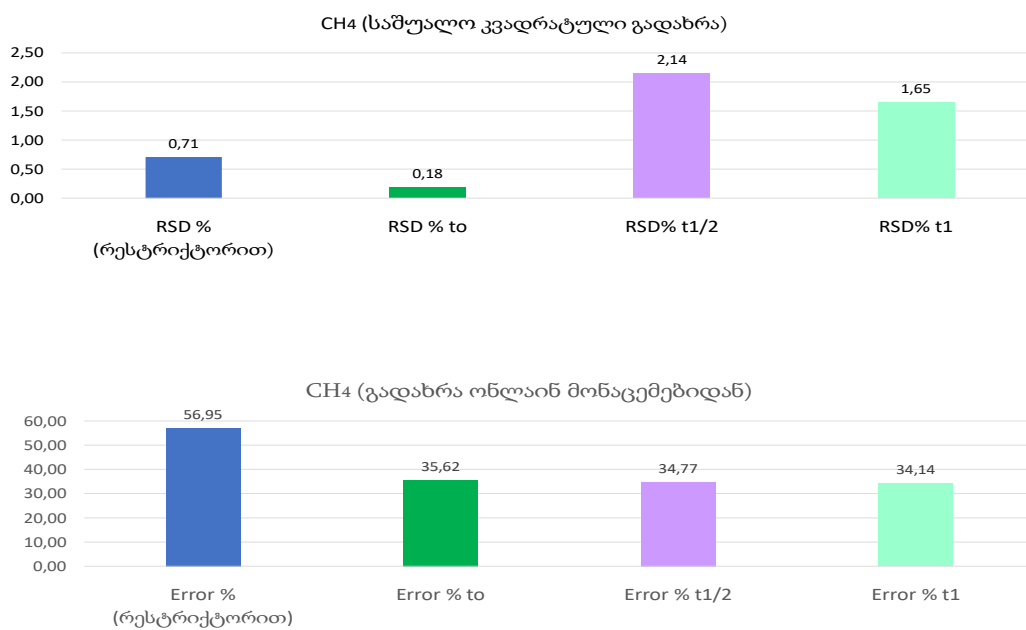


დიაგრამა 21. ა) CO<sub>2</sub>-სთვის საშუალო კვადრატული გადახრა. ბ) CO<sub>2</sub>-სთვის გადახრა ონლაინ მონაცემებიდან.

ქვემოთ ნაჩვენებ დიაგრამაზე ჩანს, რომ CH<sub>4</sub>-სთვის თითოეული ბალონის საშუალო მონაცემი აღემატება ონლაინის საშუალო მონაცემს.



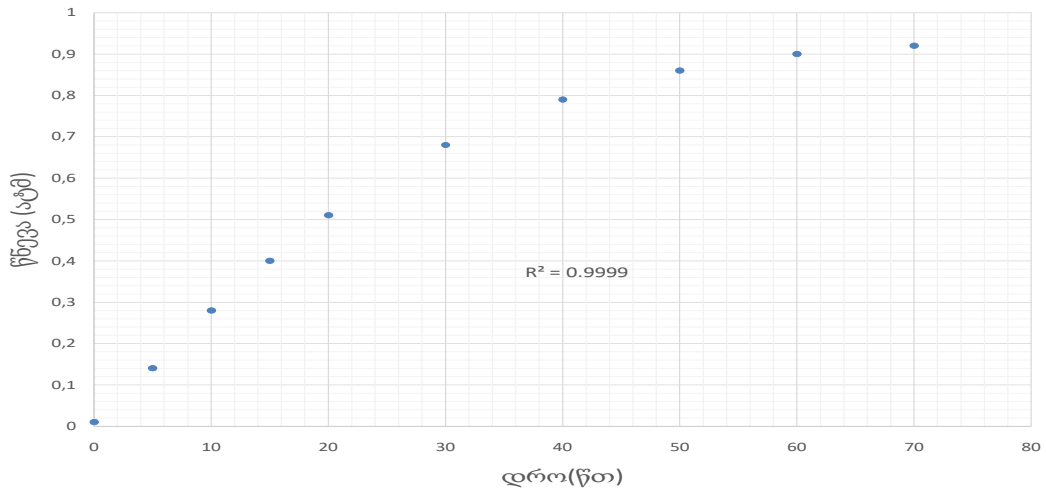
დიაგრამა 22. CH<sub>4</sub>-სთვის თითოეული ბალონის საშუალო მონაცემი.



დიაგრამა 23. ა) CH<sub>4</sub>-სთვის საშუალო კვადრატული გადახრა. ბ) CH<sub>4</sub>-სთვის გადახრა ონლაინ მონაცემებიდან.

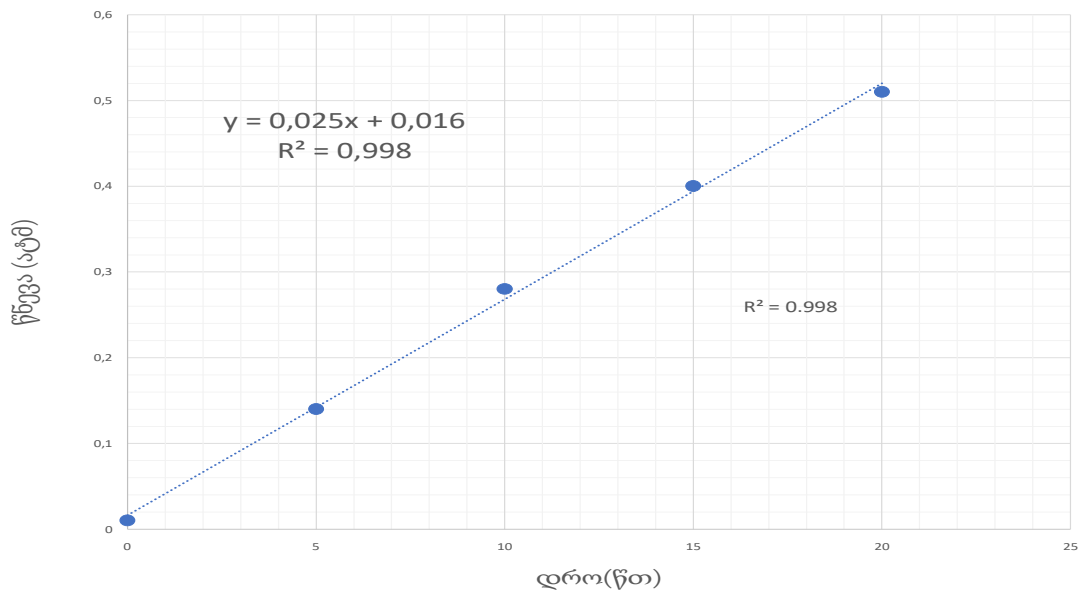
ექსპერიმენტი ჩავატარეთ აგრეთვე, 20 სმ-იანი კაპილარის გამოყენებით ანალიზის დროს შეადგენდა 20 წთ. მიღებული მონაცემების საფუძველზე, ნიმუშის ასაღებად შევარჩიეთ დროის ის მონაკვეთი სადაც შევსების სიჩქარე იყო თანაბარი. ავაგეთ გრაფიკი სადაც, წნევის დროზე დამოკიდებულების გრადიენტია ასახული. ბალონი სწორხაზოვნად ივსებოდა 20 წთ-

ის განმავლობაში და როდესაც უკვე წნევათა სხვაობა ბალონის შიგნით და გარეთ შემცირდა, შემცირდა შევსების სიჩქარეც. რაც კარგად ჩანს ქვემოთ მოცემულ დიაგრამაზე.



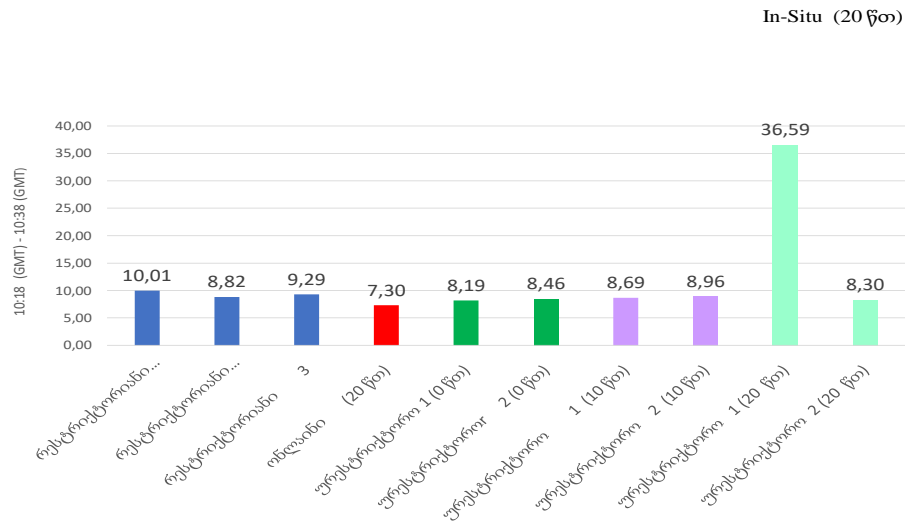
**დიაგრამა 24.** ბალონის შევსების სიჩქარე (რესტრიქტორის სიგრძე  $l=20\text{სმ}$ ;  $d=0.320\text{მმ}$ )

მეტი თვალსაჩინოებისთვის კი ქვემოთ, დიაგრამაზე წარმოდგენილია ფსევდო-სწორხაზოვანი რეგიონი სადაც, კარგად ჩანს თანაბარი შევსება. ამ შემთხვევაში სწორხაზოვან რეგიონს წარმოადგენს 20 წთ. სწორხაზოვანი რეგიონი აუცილებელია საშუალო სინჯების სწორად აღებისათვის.



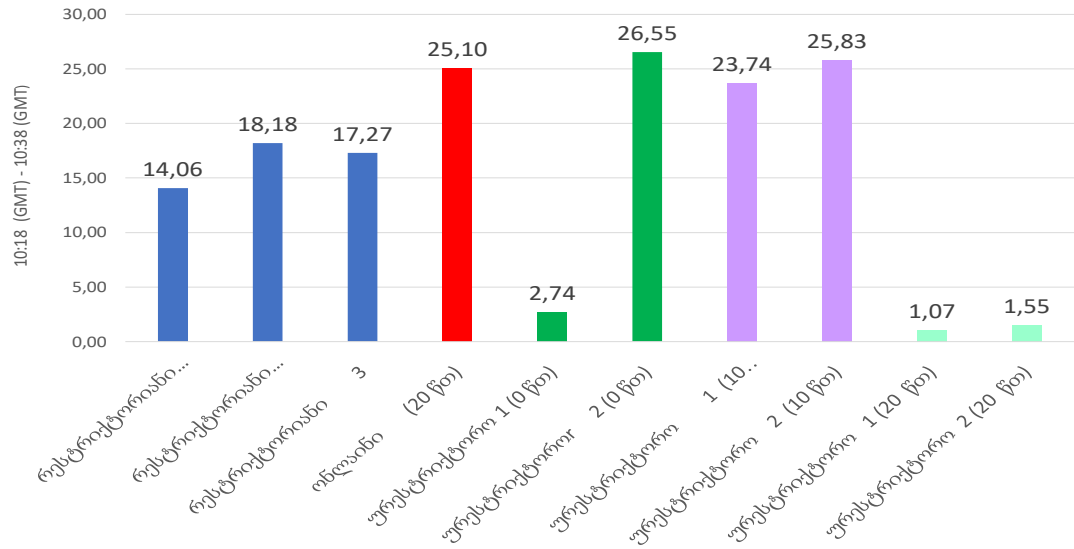
**დიაგრამა 25.** ფსევდო-სწორხაზოვანი რეგიონი.

ქვემოთ დიაგრამაზე მოცემულია თითოეული ბალონის გასაშუალოებული მონაცემები NO-სთვის. დიაგრამაზე მყისიერი ბალონში ფიქსირდება მაღალი მაჩვენებელი, ეს ბალონის დაბინძურების ბრალი იყო. ხოლო მყისიერ შევსების ბალონების საშუალო მაჩვენებელი და რესტრიქტორიანის საშუალო მაჩვენებელი ახლოსაა ონლაინის საშუალო მონაცემთან.



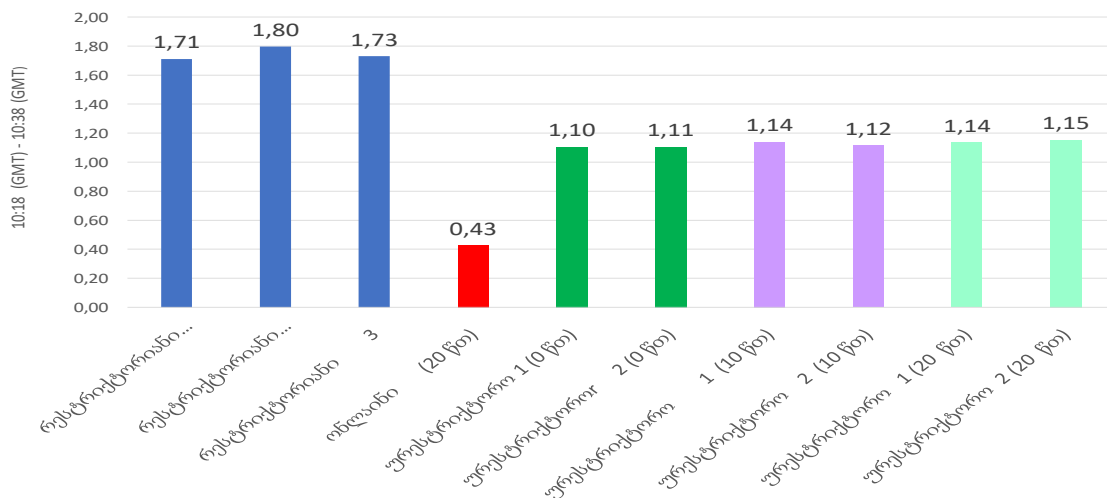
**დიაგრამა 26.** 20 სმ-იანი კაპილარი ანალიზის ხანგრძლივებით 20 წთ. თითოეული ბალონის გასაშუალოებული მონაცემი NO-სთვის.

NO<sub>2</sub>-სთვის ქვემოთ მოცემულ დიაგრამაზე ჩანს, რომ მყისიერი შევსების 6 ბალონის საშუალო მონაცემიდან 3 მათგანის საშუალო მონაცემი ონლაინის საშუალო მონაცემთან უფრო ახლოსაა, ხოლო დანარჩენი სამისა კი მკვეთრად განსხვავდება. ხოლო რესტრიქტორიანი ბალონების საშუალო მონაცემი, კი სტაბილურად ახლოსაა ონლაინის საშუალო მონაცემთან.



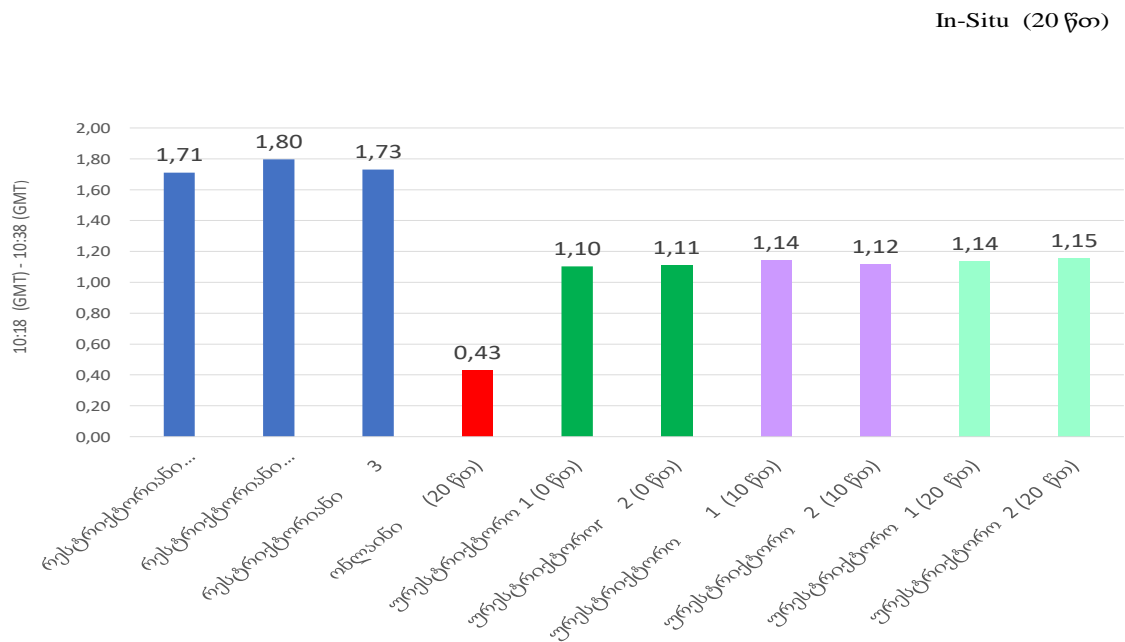
**დიაგრამა 27.** 20 სმ-იანი კაპილარი ანალიზის ხანგრძლივებით 20 წთ. თითოეული ბალონის გასაშუალოებული მონაცემი NO<sub>2</sub>-სთვის.

დიაგრამა 28-დან ონლაინის საშუალო მონაცემებთან შედარებით მაღალია როგორც კაპილარიანი ბალონების საშუალო მონაცემები, ასევე მყისიერი ბალონები შევსების საშუალო მონაცემები.



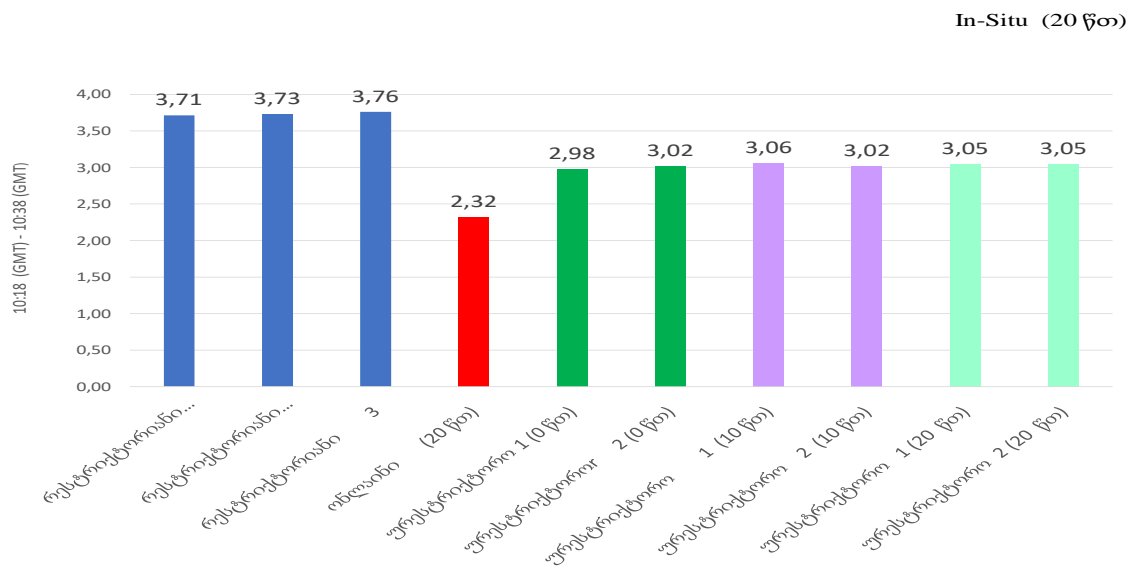
**დიაგრამა 28.** 20 სმ-იანი კაპილარი ანალიზის ხანგრძლივებით 20 წთ. თითოეული ბალონის გასაშუალოებული მონაცემი CO-სთვის.

ქვემოთ ნაჩვენებ დიაგრამიდან ონლაინის საშუალო მონაცემებთან უფრო ახლოსაა რესტროექტორიანი ბალონების საშუალო მაჩვენებელი.



**დიაგრამა 29.** 20 სმ-იანი კაპილარი ანალიზის ხანგრძლივებით 20 წთ. თითოეული ბალონის გასაშუალოებული მონაცემი CO<sub>2</sub>-სთვის.

დიაგრამიდან ჩანს რომ, ონლაინ მონაცემთან უფრო ახლოსაა, მყისიერი შევსების ბალონების მონაცემი.



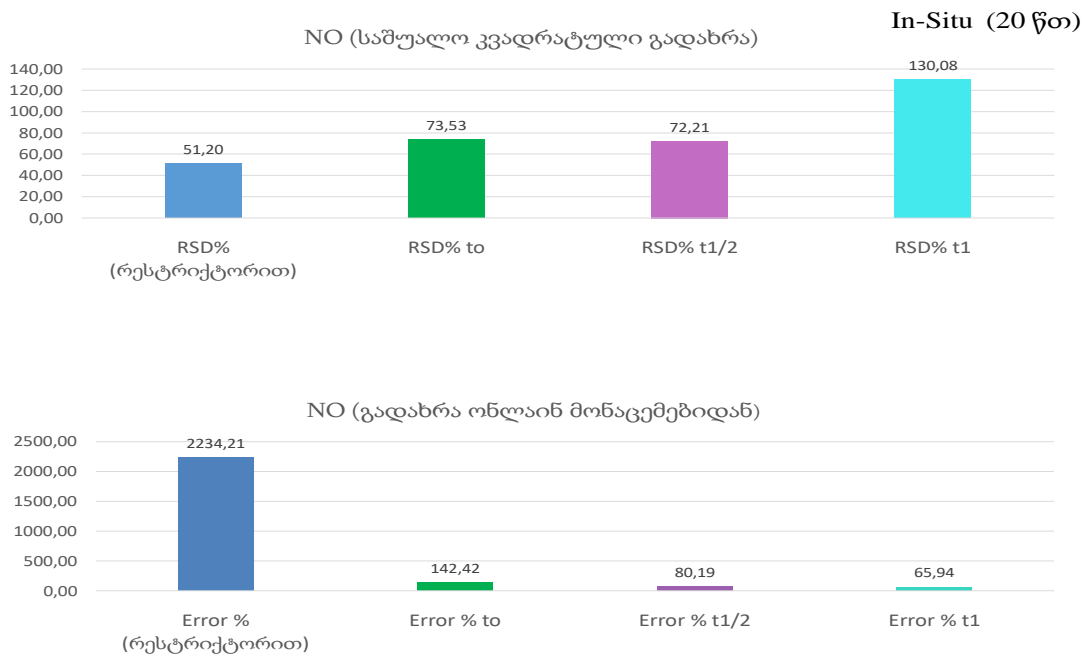
**დიაგრამა 30.** 20 სმ-იანი კაპილარი ანალიზის ხანგრძლივებით 20 წთ. თითოეული ბალონის გასაშუალოებული მონაცემი CH<sub>4</sub>-სთვის.

ჩატარებული ექსპერიმენტიდან გამომდინარე გადაწყვეტით რომ ექსპერიმენტები გაგვეგრძელებინა 20 სმ-იან კაპილარით დროის ხანგრძლივობით 20 წთ, რადგანაც ბალონებს შორის საშუალო კვადრატული გადახრა ნაკლები იყო, გარდა ამისა რაც უფრო ხანგრძლივია ნიმუშის აღების დრო, მით უფრო ზუსტად აღწერს საშუალო ნიმუშს.

ჩავატარეთ 20 წთ -იანი ექსპერიმენტი 20 სმ -იანი კაპილარით ლაბორატორიის პირობებში სამი ცდა და ღია ფანჯარაში 5 ცდა.

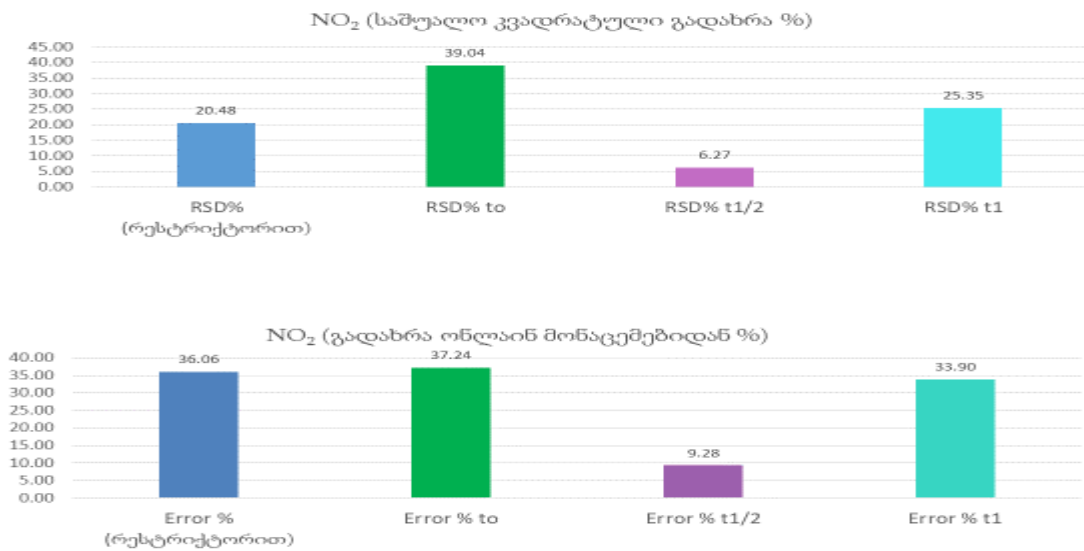
ქვემოთ ნაჩვენებ დიაგრამებზე წარმოდგენილია ლაბორატორიის პირობებში ჩატარებული ანალიზის გასაშუალოებული მონაცემები საშუალო კვადრატული გადახრისა და გადახრა ონლაინ მონაცემის .

ნაჩვენებ დიაგრამაზე ჩანს, ბალონებს შორის გადახრის ცდომილება, არც თუ ისე განსხვავებულია ერთმანეთისაგან გარდა ბოლო დიაგრამაზე ნაჩვენები ბალონებისა. ხოლო ონლაინიდან გადახრა სამივე დღისათვის, ბალონის გაზომვა იყო ძლიან ახლოს და შესაბამისად მაღალი მაჩვენებელი მივიღეთ.



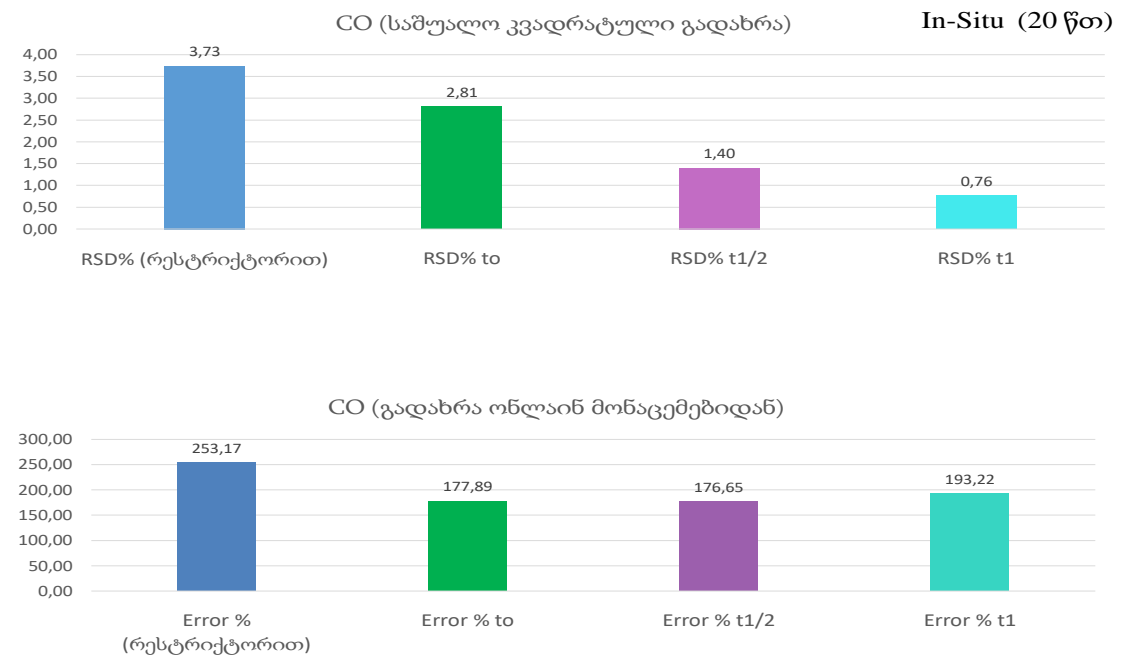
**დიაგრამა 31. ა) სამი დღის გასაშუალოებული მონაცემები NO -სთვის საშუალო კვადრატული გადახრისა და ბ) გადახრა ონლაინ მონაცემებიდან.**





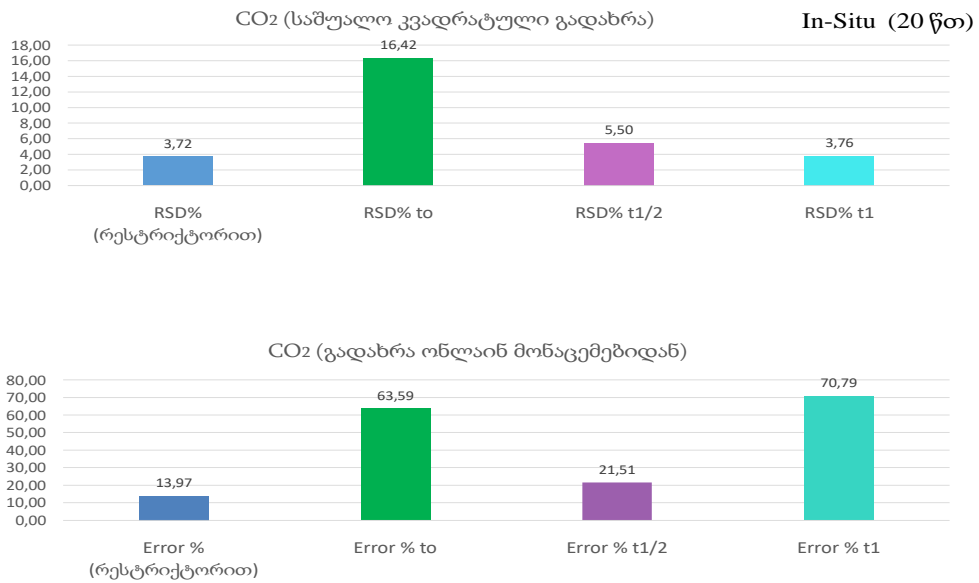
**დიაგრამა 32. ა) სამი დღის გასაშუალოებული მონაცემები NO<sub>2</sub> -სთვის საშუალო კვადრატული გადახრა და ბ) ფადახრა ონლაინ მონაცემებიდან.**

CO-სთვის რესტრიქტორიან ბალონებს შორის გადახრა შედარებით მაღალია მყისიერი შევსების ბალონების საშუალო მაჩვენებელთან.



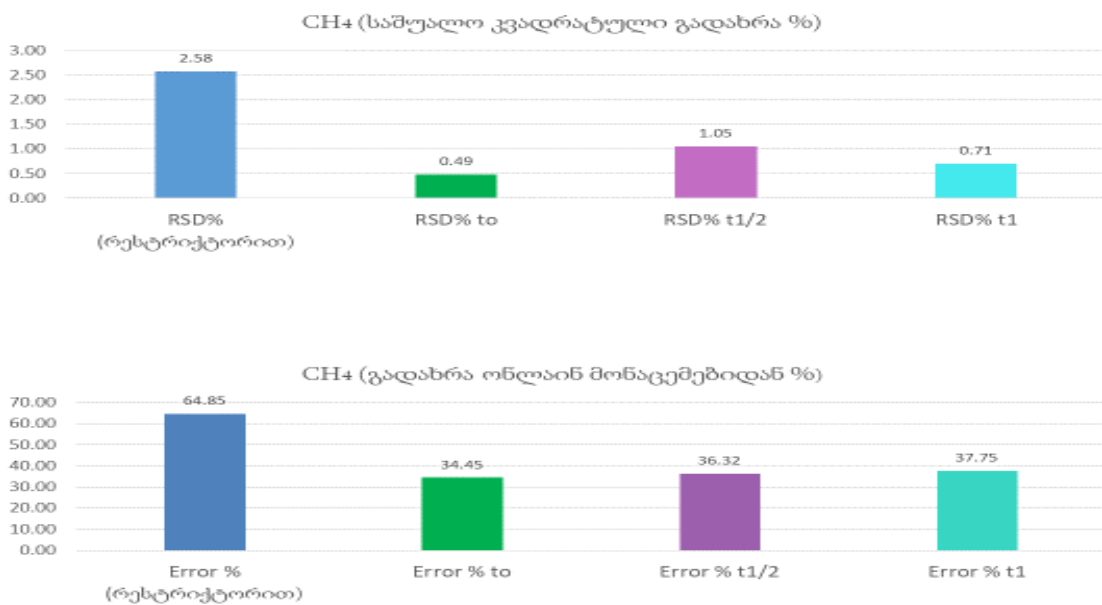
**დიაგრამა 33. ა) სამი დღის გასაშუალოებული მონაცემები CO -სთვის საშუალო კვადრატული გადახრისა და ბ) ფადახრა ონლაინ მონაცემებიდან.**

CO<sub>2</sub>-თვის ა) კაპილარიან ბალონებს შორის ცდომილება ნაკლებია და არასტაბილურია სამი მყისიერი შევსების ბალონებისათვის. ხოლო ბ) გადახრა ონლაინიდან კაპილარიანი ბალონებისთვის ნაკლებია.



**დიაგრამა 34.** ა) სამი დღის გასაშუალოებული მონაცემები CO<sub>2</sub>-თვის საშუალო კვადრატული გადახრისა და ბ) გადახრა ონლაინ მონაცემებიდან.

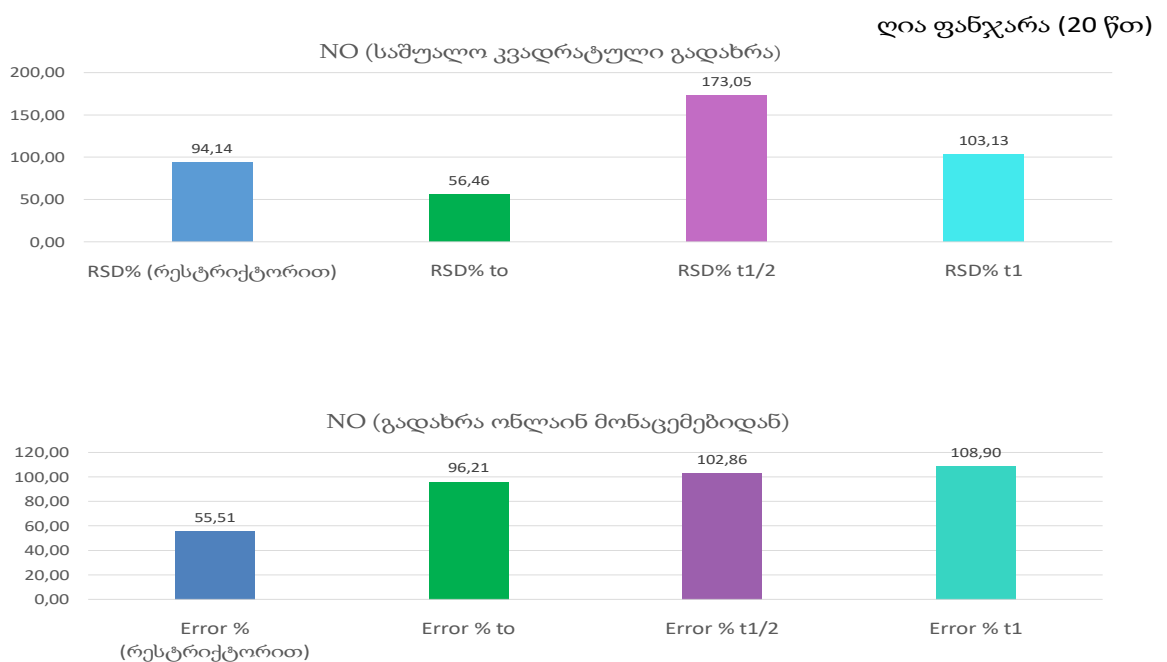
CH<sub>4</sub>-თვის მაღალია მყისიერი შევსების ბალონების საშუალო გადახრასთან შედარებით კაპილარიანი ბალონის საშუალო მაჩვენებელი.



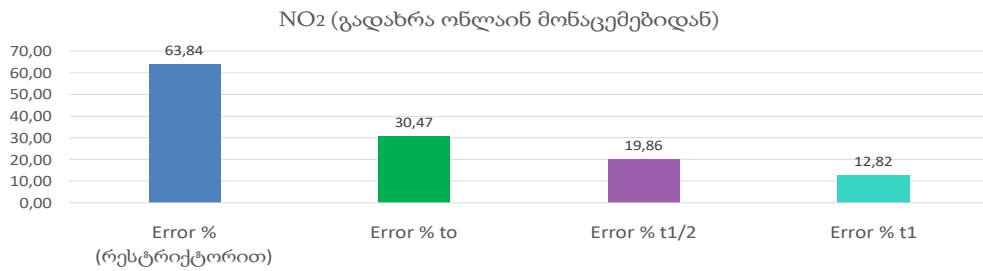
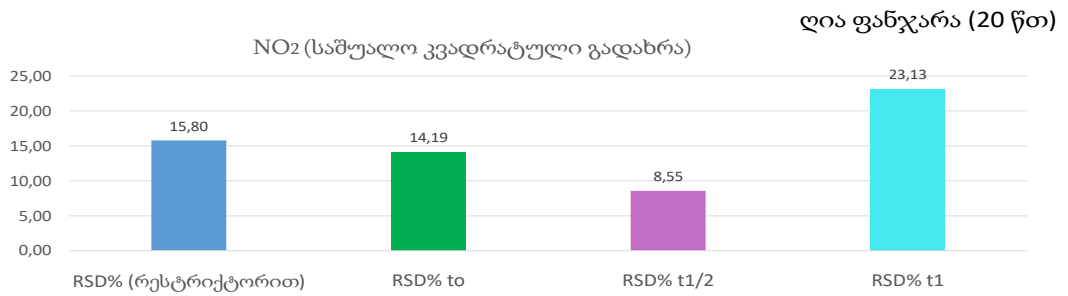
**დიაგრამა 35.** ა) სამი დღის გასაშუალოებული მონაცემები CH<sub>4</sub>-თვის საშუალო კვადრატული გადახრისა და ბ) გადახრა ონლაინ მონაცემებიდან.

დია ფანჯარაში ჩავატარეთ 20 წთ-იანი ექსპერიმენტი კაპილარის სიგრძით 20 სმ. მთლიანი ანალიზების რაოდენობა შეადგენს 5 სხვადასხვა დღის ექსპერიმენტს რომელიც, ტარდებოდა დღის სხვადასხვა მონაკვეთში. ხუთივე დღის მონაცემი გავასაშუალებთ და ქვემოთ დიაგრამებზე წარმოვადგინეთ საშუალო კვადრატული გადახრა და გადახრა ონლაინ მონაცემიდან

დიაგრამა NO-დან ჩანს ა) კაპილარიანი ბალონებისთვის საშუალო კვადრატული გადახრა არ არის მაღალი, ხოლო მყისიერი შევსების ბალონებისთვის საშუალო კვადრატული გადახრა არ არის სტაბილური. ბ) გადახრა ონლაინ მონაცემებიდან დაბალია კაპილარიანი ბალონებისთვის.

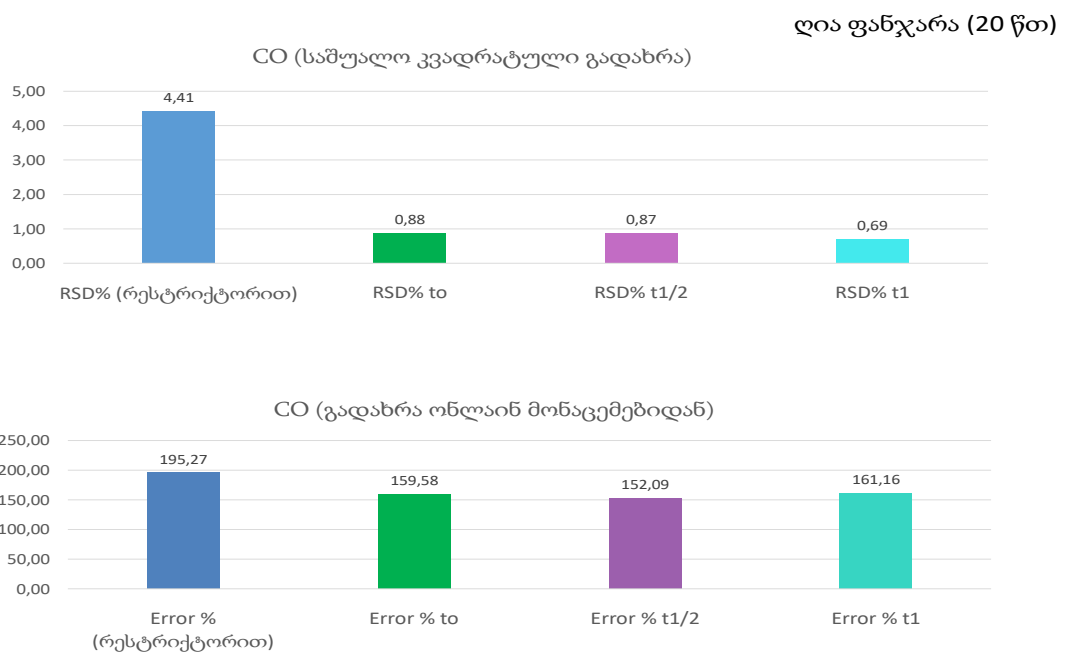


**დიაგრამა 36.** ა) ხუთი დღის გასაშუალოებული მონაცემები NO-სთვის საშუალო კვადრატული გადახრისა და ბ) გადახრა ონლაინ მონაცემებიდან.



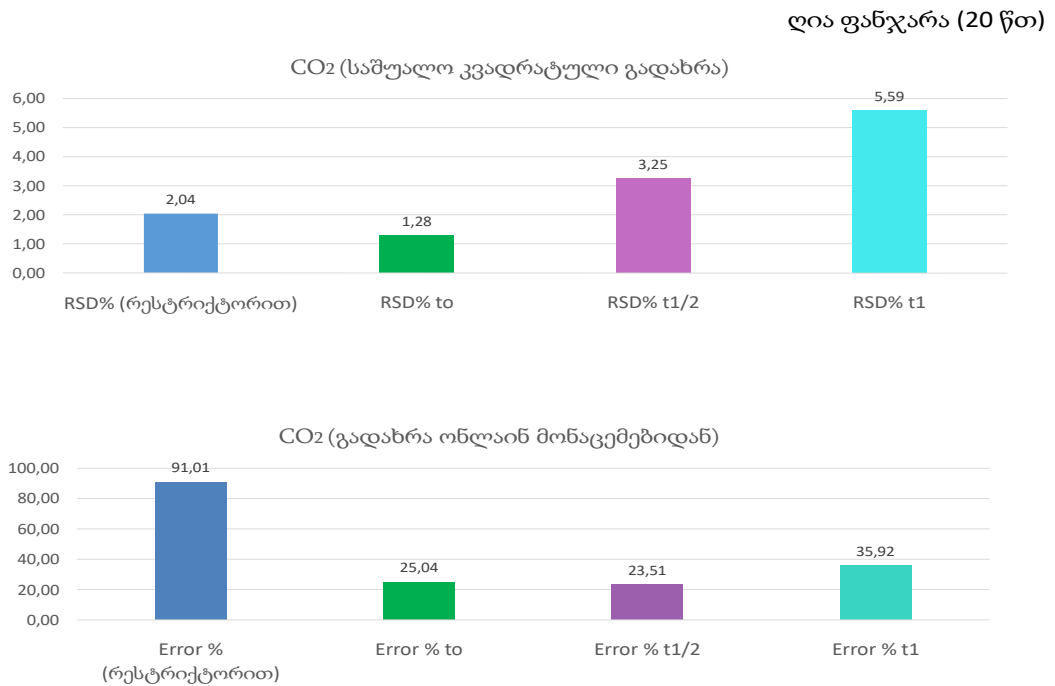
**დიაგრამა 37. ა) ხუთი დღის გასაშუალოებული მონაცემები NO<sub>2</sub>-სთვის საშუალო კვადრატული გადახრისა და ბ) გადახრა ონლაინ მონაცემებიდან.**

CO-სთვის ა) კაპილარიანი ბალონებს შორის ცდომილება შედარებით მაღალია, ვიდრე მყისიერი შევსების 6-ვე ბალონებისათვის ბ) გადახრა ონლაინ მონაცემებიდან კაპილარიანი ბალონებისათვის უფრო მაღალია ვიდრე მყისიერი შევსების ბალონებისათვის.



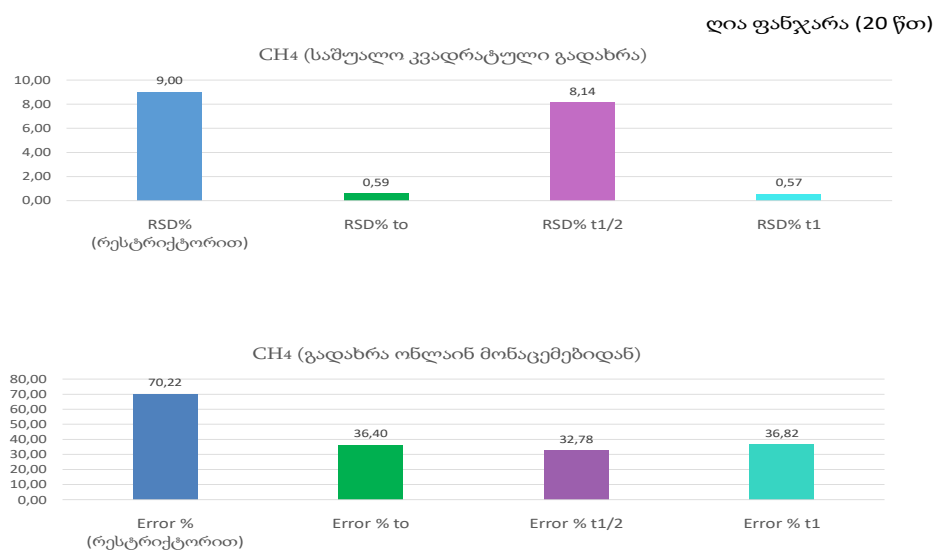
**დიაგრამა 38. ა) ხუთი დღის გასაშუალოებული მონაცემები CO-სთვის საშუალო კვადრატული გადახრისა და ბ) გადახრა ონლაინ მონაცემებიდან.**

CO-სთვის კაპილარიან ბალონებს შორის ცდომილება ნაკლებია, ხოლო დანარჩენი მყისიერი შევსების ბალონებისათვის განსხვავებული, ბ) გადახრა ონლაინ მონაცემებიდან კაპილარიან ბალონებში მაღალია მყისიერი შევსების ბალონებთან შედარებით.



**დიაგრამა 39.** ა) ხუთი დღის გასაშუალოებული მონაცემები CO<sub>2</sub>-სთვის საშუალო კვადრატული გადახრისა და ბ) გადახრა ონლაინ მონაცემებიდან.

CH<sub>4</sub>-სთვის კაპილარიან ბალონებს შორის ცდომილება მაღალია, ხოლო მყისიერი შევსების ბალონებისათვის არასტაბილური, ბ) გადახრა ონლაინ მონაცემებიდან კაპილარიანი ბალონებისათვის მაღალია, ხოლო მყისიერი შევსების ბალონებისათვის თითქმის ერთნაირი.



**დიაგრამა 40.** ა) ხუთი დღის გასაშუალოებული მონაცემები CH<sub>4</sub>-სთვის საშუალო კვადრატული გადახრისა და ბ) გადახრა ონლაინ მონაცემებიდან.

## დასკვნები

- სინჯის სწორად აღებისთვის აუცილებელია, ბალონის შევსების სწორხაზოვანი რეგიონის დადგენა.
- საშუალო ნიმუშის აღების მიზნით ჰაერის ნაკადის შემზღუდავად გამოყენებული იქნა გაზ-ქრომატოგრაფიული კაპილარული სვეტის ნაჭერი, რაც ადვილად ხელმისაწვდომია და ადვილად გამოსაყენებელი.
- შესწავლილი იქნა 5, 10 და 20 სმ-იანი კაპილარის (შიგა დიამეტრით 0.320 მმ) ფსევდო-სწორხაზოვანი ნაკადის რეგიონი.
- უკეთესი შედეგები აჩვენა, კაპილარის სიგრძით 20 სმ-იანმა და ნიმუშის აღების ხანგრძლივობით 20 წუთიანმა ექსპერიმენტებმა, ბალონებს შორის ცდომილების გაზომვისთვის.
- უკეთესია კაპილარის სიგრძით 20 სმ-იანი და ნიმუშის აღების ხანგრძლივობით 20 წუთიანი ექსპერიმენტები საშუალო სინჯის შედეგების უკეთესი წარმომადგენლობისათვის.
- შესაძლებელია, გაიზარდოს სინჯის აღების ხანგრძლივობა.
- რიგ შემთხვევებში მყისიერი შევსების ბალონებმა, აჩვენა უფრო დაბალი გადახრა კაპილარიან ბალონებთან შედარებით, რაც საჭიროებს შემდგომ კვლევებს.

## გამოყენებული ლიტერატურა

- [1] მ. ქოჩლაძე, „ჰაერისდაბინძურება, ჩვენისაუკუნისუმნიშვნელოვანესიგამოწვევა“, გარემო.
- [2] Dwayne E. Heard, „Analytical Techniques for Atmospheric Measurement, “ 2006 by Blackwell Publishing LTD. § 7.1
- [3] Dwayne E. Heard, „Analytical Techniques for Atmospheric Measurement, “ 2006 by Blackwell Publishing LTD. §1.1.2
- [4] გურამ სუპტაშვილი, „გარემოს ქიმია“ (ეკოქიმია). 2009 თსუ გამომცემლობა.
- [5] ე. კორძაია, „საქართველოს ატმოსფერული ჰაერის ხარისხობრივი მდგომარეობის შესწავლა და მისი დაბინძურებისგან დაცვის ზოგიერთი მეთოდი,“ თბილისი, 2012.
- [6] P. A. A. V. Faye McNeill, „Atmospheric and Aerosol Chemistry,“ USA, Canada, 2014.
- [7] Dwayne E. Heard, „Analytical Techniques for Atmospheric Measurement, “ 2006 by Blackwell Publishing LTD. §1.8
- [8] Dwayne E. Heard, „Analytical Techniques for Atmospheric Measurement, “ 2006 by Blackwell Publishing LTD. §1.1.3
- [9] გარემოს ეროვნული სააგენტო, გარემოს ეროვნული სააგენტოს გამრემოს დაბინძურების მონიტორინგის დეპარტამენტის 2017 წლის მონაცემები; თბილისი 2018.
- [10] STANDARD OPERATING PROCEDURES, GENERAL AIR SAMPLING GUIDELINES, SUPERCEDES: SOP#2008; Revision1.0; 01/03/94; USA.EPA Contract EP-w-09-031, §7.2.4
- [11] A Guide to Whole Air Canister Sampling Equipment Needed and Practical Techniques for Collecting Air Samples, <https://www.restek.com/> ; 2-5
- [12] A Guide to Whole Air Canister Sampling Equipment Needed and Practical Techniques for Collecting Air Samples, <https://www.restek.com/> ; 7-8
- [13] Dwayne E. Heard, „Analytical Techniques for Atmospheric Measurement, “2006 by Blackwell Publishing LTD. §7.4 319-320
- [14] Dwayne E. Heard, „Analytical Techniques for Atmospheric Measurement, “2006 by Blackwell Publishing LTD. § 7.4.5 331-334

- [15] A. O' Keefe and D. A. G. Deacon. Cavity ring-down optical spectrometer for absorption measurements using pulsed laser sources. *Review of Scientific Instruments*, 59:2544–2551, December 1988. doi:10.1063/1.1139895.
- [16] Aleksandra Foltynowicz. Fiber-laser-based noise-immune cavity-enhanced optical heterodyne molecular spectrometry. PhD thesis, Umea University, Department of Physics, 2009.
- [17] W. Demtroder. *Laser spectroscopy*. Laser Spectroscopy. Springer -Verlag, 2008. ISBN 9783540749547. URL <http://books.google.se/books?id=Wv2OIC SaDUC>.