

ზაზა ხოკერაშვილი

მეტროს სავაჭრო სისტემების თეორიული  
და ექსპერიმენტული კვლევა უსაფრთხო  
რეჟიმების დასადგენად

ნაშრომი შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომის  
უსაფრთხოებისა და საგანგებო სიტუაციების მართვის დეპარტამენტში

თბილისი

2024

## მადლობა

ავტორი მადლიერებით აღნიშნავს სამეცნიერო ხელმძღვანელის, რუმინეთის ტექნიკურ მეცნიერებათა აკადემიის საპატიო აკადემიკოსის, ბალკანეთის ქვეყნების სამთო აკადემიის საპატიო აკადემიკოსის, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის პროფესორის ომარ ლანჩავას ღვაწლს წინამდებარე ნაშრომის წარმატებით დაგვირგვინებაში.

შინაარსი

შესავალი ..... 9

თავი 1. ლიტერატურის მიმოხილვა, წინასწარი ცნობები

1.1. მეტროპოლიტენის ვენტილაციის სახეობები და ვენტი-  
ლაციის სქემები, მათი მუშაობის პრინციპები..... 16

1.2. მეტროპოლიტენის სავენტილაციო სისტემებზე  
წაყენებული მოთხოვნები..... 35

1.3. მეტროპოლიტენის სადგურების ვენტილაცია..... 37

1.4. ხაზიდან ხაზზე გადასასვლელი გვირაბის ვენტილაცია..... 47

1.5. საკასო ვესტიბიულების ვენტილაცია..... 49

1.6. მეტროპოლიტენის გადასარბენი ხაზების ჩიხების  
ვენტილაცია..... 50

1.7. მოძრავი შემადგენლობის ვაგონების ვენტილაცია..... 52

თავი 2. დგუმის ეფექტის გავლენა მეტროპოლიტენის ვენტილაციის  
ტექნოლოგიურ პარამეტრებზე..... 53

დასკვნა.....75

გამოყენებული ლიტერატურა.....76

## რეზიუმე

მეტროპოლიტენი წარმოადგენს ქალაქის ერთ-ერთ ძირითად და მნიშვნელოვან ტრანსპორტს, რომელიც უზრუნველყოფს ქალაქში არსებული მგზავრთნაკადების უდიდესი წილის მომსახურებას. აღნიშნული ტრანსპორტის ექსპლუატაციის მიმართ წაყენებული პირობებიდან ერთ-ერთი ყველაზე აქტუალური და მნიშვნელოვანი მისი უსაფრთხოება და საიმედოობაა, რასაც განაპირობებს ყველა ის მართვის სისტემები და ტექნიკური საშუალებები, რომლებიც სათანადოდ ამ ტრანსპორტისთვისაა შექმნილი.

მართვის სისტემები მოიცავს იმ აქტიური და პასიური სისტემების ერთობლიობას, რომელთა კოორდინირებული მუშაობა უზრუნველყოფს აღნიშნული ტრანსპორტის უსაფრთხოდ და გამართულად ფუნქციონირებას. მეტროპოლიტენის სავენტილაციო სისტემა წარმოადგენს, აღნიშნული ტრანსპორტის მართვის ერთ-ერთ აქტიურ და მნიშვნელოვან სისტემას, რომლის დანიშნულებაცაა, ექსპლუატაციის ყოველდღიურ რეჟიმში, უზრუნველყოს მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში ჰაერის ნორმალური მიკროკლიმატის შექმნა და შენარჩუნება, ამასთან ერთად ნამუშევარი ჰაერი დააბრუნოს ატმოსფეროში, ხოლო საგანგებო სიტუაციების ინიცირებისა და განვითარების შემთხვევაში მოახდინოს მყისიერი რეაგირება და უპასუხოს ყველა იმ გამოწვევას, რომელთა ფორმირებაც ასეთ ვითარებაში ხდება.

მეტროპოლიტენის საიმედოდ ფუნქციონირების ტექნიკურ საშუალებებში კი იგულისხმება, სარკინიგზო ტრანსპორტის ბაზაზე მოწყობილი მოძრავი შემადგენლობები და მათი გამართულად ფუნქციონირებისათვის აუცილებელი შესაბამისი ინფრასტრუქტურა. მეტროპოლიტენის ინფრასტრუქტურა მოიცავს, ძირითად და დამხმარე ნაგებობებს, რომლებიც შესაძლებელია განლაგებული იყოს, როგორც მიწის ზედაპირზე, ასევე მის ქვევით. მსოფლიოს უმეტეს ქალაქებში მეტროპოლიტენის ძირითადი ნაგებობები მიწის ქვევით არის განლაგებული, და ამ კუთხით არც თბილისის მეტროპოლიტენია გამონაკლისი.

მეტროპოლიტენებში, რომელთა ინფრასტრუქტურა მიწის ქვევით არის განლაგებული, საგანგებო სიტუაციის ინიცირების მიზეზები ძირითადად ტექნოგენური ხასიათისაა და შესაბამისად არსებობს შეზღუდულ სივრცეში ხანძრის განვითარების რისკი. ასეთ ვითარებაში, მნიშვნელოვანია სავენტილაციო სისტემების მუშაობის სწორი და შესაბამისი რეჟიმების შერჩევა, რადგანაც, მეტწილად სწორედ მასზეა დამოკიდებული მოცემულ ვითარებაში აღმოჩენილი ადამიანების გადარჩენის შესაძლებლობები. გარდა შეზღუდულ სივრცეში განვითარებულ ხანძართან გამკლავებისა, არანაკლებ მნიშვნელოვანია ისეთ საგანგებო ვითარების პრევენციაც, რომელიც მიიღება შესაძლო აეროზოლური ტერორისტული შეტევისას, მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში ტოქსიკური აირების ან პათოგენური მიკრობების განზრახ გავრცელების შედეგად.

აღნიშნული საფრთხე განსაკუთრებით აქტუალური გახდა ქ. ტოკიოს (იაპონია) მეტროპოლიტენში მომხდარი ინციდენტის შემდეგ, როდესაც ტერორისტების რამდენიმე ჯგუფმა მოახერხა და მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში გაავრცე-

ლა მომწამლავი აირი „ზარინი“, შედეგად სახეზეა რამდენიმე დაღუპული და ორგანიზმის სხვადასხვა ხარისხით მოწამლული ათასობით ადამიანი.

აღნიშნული ინციდენტის საფუძვლიანი ანალიზის შემდეგ ლოგიკურად წამოიჭრა მნიშვნელოვანი კითხვა: რამდენად არის, ან არ არის შესაძლებელი, რომ სათანადო მცდელობის შედეგად მოხერხდეს ტოქსიკური აირების ან პათოგენური მიკრობების მოხვედრა და გავრცელება მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში?. დღევანდელ მოცემულობაში დასმულ კითხვაზე კვალიფიციური პასუხი არ არსებობს, რადგანაც, აღნიშნულ საკითხზე ჩატარებული კვლევები და სამუშაოები საკმაოდ მწირია.

წინამდებარე ნაშრომი არის აღნიშნული საკითხის გადაჭრის ერთ-ერთი პირველი ცდა, კერძოდ: მეტროპოლიტენის მუშა სისტემების ანალიზის საფუძველზე დავადგინეთ ყველაზე სუსტი რგოლი, საიდანაც თეორიული დაშვებით შესაძლებელია დაუგეგმავი ჰაერის, მაშასადამე ტოქსიკური აირების ან პათოგენური მიკრობების მოხვედრა და შემდგომ გავრცელება მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში. აღნიშნულ სუსტ რგოლს სავენტილაციო სისტემები წარმოადგენენ, რადგანაც ეს ერთადერთი მიმართულებაა, რომლის საშუალებითაც მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცე მიწის ზედაპირს უკავშირდება, თუ არ ჩავთვლით ექსკალატორებისათვის განკუთვნილ დახრილ გვირაბებსა და მიწისქვეშა გადასარბენი გვირაბების მიწის ზედაპირთან მიერთების ლოკაციებს - პორტალებს. ეს ორი უკანასკნელი, განსაკუთრებით ქ. ტოკიოს ინციდენტის შემდეგ, მნიშვნელოვნად კონტროლდება. აქედან გამომდინარე, შეიძლება აღნიშნოს, რომ პრობლემური სწორედაც, რომ სავენტილაციო სისტემა და უფრო კონკრეტულად, შედარებით დაუცველი, ნამუშევარი ჰაერის ატმოსფეროში დასაბრუნებელი სავენტილაციო ჭაურებია, განსაკუთრებით იმ შემთხვევაში, როდესაც არ არიან აღჭურვილნი გამწოვი სავენტილაციო დანადგარებით. აღნიშნული მიმართულება შესაძლებელია ბოროტი განზრახვით იყოს გამოყენებული.

ნიშანდობლივია, რომ ქ. თბილისის მეტროპოლიტენის, ნამუშევარი ჰაერის ატმოსფეროში დასაბრუნებელი არც ერთი სავენტილაციო ჭაური არ არის აღჭურვილი გამწოვი სავენტილაციო დანადგარებით.

თანამედროვე კომპიუტერული ტექნოლოგიები საშუალებას იძლევა საკმაოდ მაღალი სიზუსტით მოვახდინოთ ნებისმიერი არასტანდარტული ვითარების მოდელირება და ამასთან ერთად აღვწეროთ მატარებლის გვირაბში მოძრაობისას დგუშის ეფექტის შედეგად აღძრული ჰაერის ნაკადები. აქედან გამომდინარე მოვახდინეთ აღნიშნული არასტანდარტული ვითარების კომპიუტერული მოდელირება PyroSim 2016 პროგრამულ გარემოში.

გამოვლინდა მატარებლის გვირაბში მოძრაობისას, დგუშის ეფექტის შედეგად განპირობებული ვენტილაციის ტექნოლოგიური მახასიათებლების, მატარებლის წინ და უკან, ასევე, ე.წ. ღრეჩოში გადადინებული და მიმწყდომი ჰაერის ნაკადების სიჩქარეების ცვალებადობის ხასიათი. აღნიშნული მახასიათებლები მეტად მნიშვნელოვანია სავენტილაციო ჰაერის ხარჯის გაანგარიშებისათვის. მოყვანილია შესაბამისი ცხრილები და აგებულია მათი ცვალებადობის გრაფიკები, რომელთა საშუალებითაც შესაძლებელია სავენტილაციო მახასიათებლების დადგენა გადასარბენი გვირაბის გეომეტრიიდან გამომდინარე.

შესაძლებელია აღინიშნოს, რომ აღნიშნული გრაფიკების შედეგად დადგენილი სავენტილაციო პარამეტრები კარგ თანხვედრაში არიან თეორიული ანგარიშით მიღებულ ანალოგიურ სისიდეებთან. დადგინდა ახალი კანონზომიერება, კერძოდ: მეტროპოლიტენის მატარებლის გვირაბში მოძრაობისას, დგუშის ეფექტის შედეგად აღძრული ჰაერის ნაკადების არასტაციონარული ხასიათი, რაც გამოწვეულია გადასარბენი გვირაბის სიგრძიდან გამომდინარე.

გვირაბის მოცემული გეომეტრიისა და შესაბამისი სავენტილაციო მახასიათებლების მიხედვით დავადგინეთ მატარებლის წინ და უკან ფორმირებული შესაბამისად ჭარბი წნევისა და გაიშვიათების რიცხოვრივი მაჩვენებლები, რის საუძველზეც შედგა ცხრილები და აიგო შესაბამისი გრაფიკები. მოდელირების შედეგების ანალიზის საფუძველზე გამოიკვეთა გვირაბისა და მატარებლის პერიმეტრებს შორის არსებული ღრეჩოს გავლენა მატარებლის წინ და უკან ფორმირებულ შესაბამისად ჭარბ წნევასა და გაიშვიათების რიცხოვრივ მნიშვნელობაზე. აღნიშნულიდან გამომდინარე მოვახდინეთ მატარებლის მოცემული სიჩქარისათვის, მატარებლის უკან ფორმირებული გაიშვიათების დინამიკის გამომსახველი გრაფიკის კორექტირება. მიუხედავად კორექტირებული მნიშვნელობისა შეიძლება დანამდვილებით ითქვას, რომ სავენტილაციო სისტემის აღნიშნული კვანძი მართლაც პრობლემურია, მატარებლის უკან ფორმირდება საკმარისი გაიშვიათება, რაც გამოიწვევს დაუგეგმავი ჰაერის მოხვედრას მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში.

ამრიგად, გამოვლინდა სავენტილაციო სისტემის მუშაობის ტექნოლოგიური ხარვეზი, რაც სავენტილაციო ჰაერის არასაკმარის რაოდენობაში ან ჰაერის არასათანადო ხარისხში კი არ მდგომარეობს, არამედ არსებულ სავენტილაციო სისტემებს ტექნოლოგიურად არ შეუძლიათ აღიქვან ტოქსიკური აირები ან პათოგენური მიკრობები და აღკვეთონ მიწისქვეშა სივრცეში მათი მოხვედრა-გავრცელების შესაძლებლობა. აღნიშნული კი მნიშვნელოვან საფრთხეს უქმნის მეტროპოლიტენის უსაფრთხო ფუნქციონირებას. ამ პრობლემის მოგვარების მიზნით წინამდებარე ნაშრომში ჩამოყალიბებულია მეტროპოლიტენის სავენტილაციო სისტემის მუშაობისას უსაფრთხოების ახალი მოთხოვნები, აღნიშნული პრობლემური კვანძის უსაფრთხო ფუნქციონირებისათვის სათანადო ტექნიკური საშუალებების გამოყენების შესაძლებლობები.

## Abstract

Theoretical and experimental study of subway ventilation systems to determine safe modes

Subway is the main transport of Tbilisi. It serves the major share of the passenger flow. Safety of mentioned transport mean is provided by all the existing systems and technical means designed for such transport. Technical means involves rolling stocks created on the bases of railway transport base and the necessary infrastructure for their movement. Subway infrastructure involves general and accessory buildings which might be located both in the over ground and underground also. In most cities of the world general buildings of subways are located under grounds and in this point of view Tbilisi subway is not an exception.

For proper performance of the said transport including all related systems, a reliable performance of ventilating system is of vital importance. The purpose of it is a provision and maintenance of normal microclimate in subways in everyday basis, herewith polluted air to be returned in atmosphere and in emergency situations the system shall answer all arisen challenges.

In subways, with their infrastructures located over grounds, reasons of emergency situations are mainly technogeneous and there is a quite a big risk of getting a fire emergency situation. In such situations choosing of right working regime of ventilation system has a major importance, because saving of people's lives depend on it. Also, prevention of toxic gases and pathogenic microbes in the events of aerosol terrorist acts are very important.

Mentioned danger became even actual after Tokio (Japan) subway accident, when the group of terrorists managed to spread a poisonous gas Sarin in subway space. As a result several people died and thousands had been poisoned. the mentioned accident the question came up quite thoroughly: Is penetration of toxic gases and pathogenic microbes in subway possible by relevant attempts? There is no qualified answer to this question for today, because there have been conducted quite a few studies and works on the issue.

The abovementioned work is one of the first attempts for regulation of the issue, in specific: based on analyses of underground working systems, we established the weakest circle from where it is theoretical possibility for unplanned air to penetrate into subway. The said weakest circle is ventilation system, because it is the only direction by which underground space of subway is connected to over ground. Specifically the most insecure points are air shafts which return polluted air from undergrounds to atmosphere, especially in cases if mentioned air shafts are not equipped with exhaust ventilation equipment.

It should be noted, that none of Tbilisi (Georgia) subways are equipped with air shafts equipped with exhaust ventilation systems for polluted air.

Modern computer technologies give possibility to describe created air flows resulted from piston effect of moving wagons in tunnel with high accuracy. Consequently, we made a computer modeling of the situation in Pyro Sim 2016 prog-ram.

The technical characteristics of piston effect of moving wagons in the tunnel, also, speed character of transmitted and rushing air flow in gaps, in front and back sides of wagons had been revealed. There are provided specified tables and charts of their variations, by means of which and according to the geography of cross over tunnels ventilation characteristics can be established.

It may be noted, that established parameters according to the abovementioned charts are in a good coincidence with figures received by theoretical counting. A new regularity has been established: a non-stationary character of air flows arisen from piston effect during the wagon movement in channel caused by length of cross over tunnel.

According to the given geometry and relevant ventilation characteristics we have determined numerical indicators of excessive pressure and rarefication in front and behind of wagons correspondingly. Based on determined indicators tables and charts have been created. Analyses of modeling results showed the impact of air gap between perimeters of wagon and tunnel on created numerical indicators of excessive pressure and rarefication in front and behind of wagon. Based on the abovementioned we corrected the chart describing rarefication dynamic created behind wagon for the given speed of wagon. It should be noted, that the said knot of ventilation system is really problematic. Behind wagon there is created enough rarefication which may result in getting of unplanned air to the subway area.

Thus, a technological gap in ventilation system performance has been revealed, which is not a subject of insufficient quantity of ventilation air or improper quality of air, the problem is that existing ventilation systems can not perceive toxic gases or pathogenic microbes and prevent from possibilities of their penetrating and spreading in underground space. The abovementioned problematic creates a serious threat to security of metropolitan. In order to overcome the problematic, in the present work there is formulated requirements to ventilation systems for new threats and possibilities of using appropriate technical means for proper and secure performance of the problematic knot.



## შესავალი

ქვეყნის სატრანსპორტო პოტენციალის მაქსიმალურად გამოყენებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება სახელმწიფოს ეკონომიკური განვითარების სტრატეგიულ გეგმაში. აღნიშნული კი ნიშნავს არსებული სატრანსპორტო სისტემის რეაბილიტაციას, მოდერნიზაციას, განვითარებას და ამასთან ერთად, ახლის შექმნას. ჩვენს ქვეყანაში არსებული ერთიანი სატრანსპორტო სისტემა შეიძლება განვიხილოთ, როგორც საქალაქო და საქალაქთაშორისო სატრანსპორტო სისტემების ერთობლიობა. ქვეყნის ეკონომიკური განვითარება მნიშვნელოვანწილად არის დამოკიდებული სატრანსპორტო სისტემის, როგორც ერთ, ისე მეორე მიმართულების განვითარებაზე. შემდგომში ყურადღებას გავამახვილებთ ქალაქის სატრანსპორტო სისტემის მნიშვნელობაზე, შეიძლება ითქვას, რომ ის განსაკუთრებულ როლს ასრულებს ქალაქის ყოველდღიურ ყოფაცხოვრებაში. ქალაქის ერთიანი სატრანსპორტო სისტემა უზრუნველყოფს მგზავრთმომსახურების პრობლემის გადაჭრის შესაძლებლობების მაქსიმუმს. აღნიშნული ამოცანის გადაწყვეტაში მნიშვნელოვანი როლი უკავია ქალაქის, როგორც მიწისზედა ასევე მიწისქვეშა ტრანსპორტის გამართულ, უსაფრთხო და საიმედო ფუნქციონირებას. მოსახლეობის დიდი ნაწილი ქალაქის, როგორც მიწისზედა ასევე მიწისქვეშა ტრანსპორტით სარგებლობისას ყოველდღიურად მნიშვნელოვან დროს ხარჯავენ, აქედან გამომდინარე მნიშვნელოვანია იმ გარემოს ხარისხობრივი მაჩვენებლების ოპტიმიზაცია, სადაც ადამიანები იმყოფებიან, როგორც ტრანსპორტით სარგებლობის მოლოდინში, ასევე უშუალოდ ტრანსპორტით სარგებლობისას. ჩვენი სახელმწიფოს, როგორც ყველა განვითარებული, მზარდი ეკონომიკისა და პასუხისმგებლობის მქონე ქვეყნის ერთ-ერთი ძირითადი პრიორიტეტი ხომ ადამიანის ფაქტორია, რაც იმას ნიშნავს, რომ ეკონომიკის ნებისმიერი სეგმენტის განვითარებისას მთავარი ფუნქცია ადამიანს ეკუთვნის, უმთავრეს ამოცანასაც სწორედ ადამიანების სიცოცხლისუნარიანობის, ჯანმრთელობისა და შრომისუნარიანობის უზრუნველყოფა და შენარჩუნება წარმოადგენს. სახელმწიფო უამრავ რესურსს ხარჯავს იმისათვის, რომ ნებისმიერ პროექტში, რომელიც იგეგმება და რეალიზდება მაქსიმალურად იყოს გათვალისწინებული ადამიანების უსაფრთხოების საკითხები, ყველა ის ფაქტორი, რომელსაც შეუძლია იმოქმედოს ადამიანის ჯანმრთელობასა და სიცოცხლისუნარიანობაზე უარყოფითად. სახელმწიფოს როგორც ასეთის ერთ-ერთი ფუნქციაც სწორედ იმაში მდგომარეობს, რომ მოსახლეობას შეუქმნას კომფორტული და უსაფრთხო გარემო, იზრუნოს მათ ჯანმრთელობისა და სიცოცხლისუნარიანობის შენარჩუნებაზე. აღნიშნულის გათვალისწინება მეტად მნიშვნელოვანია ისეთ ქალაქებში სადაც კონცენტრირებულია ეკონომიკის ობიექტების საკმაოდ დიდი ნაწილი და მაშასადამე ადამიანების დიდი რაოდენობა. ასეთ მჭიდროდ დასახლებულ ქალაქებში მიზანშეწონილია, არსებული მგზავრთნაკადების გათვალისწინებით, სწორად დაიგეგმოს და განხორციელდეს ერთიანი სატრანსპორტო სისტემის მართვა და ფუნქციონირება, რაც თავისთავად

გულისხმობს ქალაქის, როგორც მიწისზედა ასევე მიწისქვეშა ტრანსპორტის ფუნქციონირების ოპტიმალურ კოორდინაციას. ქალაქში არსებული მგზავრთნაკადების უდიდესი წილის მომსახურებას მეტროპოლიტენი უზრუნველყოფს, რომელიც ქალაქის ერთიანი სატრანსპორტო სისტემის ერთ-ერთ უმთავრეს და ძირითად შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენს. მისი, როგორც არსებული, ასევე პოტენციური ტექნიკური შესაძლებლობები დიდწილად აღემატება ქალაქის სხვა დანარჩენი ტრანსპორტის, როგორც არსებულ, ასევე პოტენციურ ტექნიკურ შესაძლებლობებს ერთად აღებულს. ქალაქის აღნიშნული ტრანსპორტის საიმედო, გამართულ და უსაფრთხო ფუნქციონირებას უზრუნველყოფს ყველა ის სისტემები და ტექნიკური საშუალებები, რომლებიც სპეციალურად ამ ტრანსპორტისათვის არის შექმნილი. ტექნიკურ საშუალებებში ძირითადად იგულისხმება სარკინიგზო ტრანსპორტის ბაზაზე აგებული სპეციალური მოძრავი შემადგენლობები და ამასთან ერთად შესაბამისი საჭირო ინფრასტრუქტურა, რომლის მოწყობაც საკმაოდ რთულად შესასრულებელ სამუშაოს წარმოადგენს. ინფრასტრუქტურაში იგულისხმება მეტროპოლიტენის, როგორც ძირითადი ასევე დამხმარე ნაგებობები.

ძირითად ნაგებობებს განეკუთვნება: სადგურები, მიწისზედა შესასვლელი ვესტიბიულებითა და ექსკალატორებისათვის განკუთვნილი დახრილი გვირაბებით ან ზოგიერთ შემთხვევაში სადგურში ჩასასვლელ- ამოსასვლელი კიბის უჯრედებით, ხაზიდან ხაზზე გადასასვლელი და გადასარბენი გვირაბები, ჩიხები, მოძრავი შემადგენლობის მიმართულების შასაცვლელად სპეციალურად მოწყობილი საშუალებები, (ამოსასვლელი, დეპოსთან შემაერთებელი გვირაბები, სხვადასხვა მიმართულების ხაზების ერთ-მანეთთან დამაკავშირებელი გვირაბები და სხვა).

ხოლო ყველა სხვა დანარჩენი დამხმარე ნაგებობებია, კერძოდ: ძალოვანი და დამწვევი ელექტროქვესადგურები, სავენტილაციო სისტემების მოწყობილობა-დანადგრებისათვის საჭირო სპეციალური სივრცეები, სავენტილაციო ჭაურებით, აგრეთვე სანიაღვრე და სხვა დამხმარე სისტემებისათვის განკუთვნილი ნაგებობები, სანიტარული უჯრედები, დეპოები, სახელოსნოები და ა.შ. მათი მოწყობა დამოკიდებულია მეტროპოლიტენის გადასარბენი ხაზების განლაგებაზე.

ქალაქის მეტროპოლიტენი გადასარბენი ხაზების განლაგების მიხედვით გვხვდება:

- 1- ხაზების მიწისზედა განლაგებით;
- 2- ხაზების მიწისქვეშა განლაგებით.

თავის მხრივ, მეტროპოლიტენი, ხაზების მიწისზედა განლაგებით ორი სახისაა:

- 1- მეტროპოლიტენის ხაზები განლაგებულია სპეციალურად მოწყობილ ესტაკადებზე;
- 2- მეტროპოლიტენის ხაზები მოწყობილია უშუალოდ მიწისზედაპირზე.

ეს უკანასკნელი ძირითადად იგება შედარებით ნაკლებად დასახლებულ პუნქტებში, საესტაკადო ან მიწისქვეშა მეტროპოლიტენის ხაზების ბოლო მონაკვეთებზე.

შესაძლებელია ქალაქის მეტროპოლიტენის აგებისა და მოწყობისას გამოყენებული იყოს ხაზების მოწყობის ნებისმიერი ტიპი ან მათი სინთეზი, ეს დამოკიდებულია ქალაქის ურბანულ მოწყობაზე და ტექნიკურ შესაძლებლობებზე. მსოფლიოს უმეტეს ქალაქებში არსებული მეტროპოლიტენის გადასარბენი ხაზები ძირითადად მიწისქვევით არის განლაგებული. შეიძლება ითქვას, რომ მიწისქვეშა მეტროპოლიტენის ფუნქციური დატვირთვა გარდა მგზავრთმომსახურებისა ასევე შესაძლებელია განვიხილოთ, როგორც თავშესაფარი სოციალური მიზეზით გამოწვეული საგანგებო სიტუაციების ინიცირებისა და განვითარების შემთხვევაში, აგრეთვე გადასარბენი ხაზების ასეთი განლაგება უზრუნველყოფს მგზავრთმომსახურების პრობლემის მოგვარებას ისე, რომ არ დაირღვეს ქალაქის განაშენიანების იერსახე. ამისათვის კი საჭიროა შესაბამისი ინფრასტრუქტურული ნაგებობების შესაბამის ლოკაციებზე განლაგება.

მეტროპოლიტენის გადასარბენი ხაზები თუ მიწის ზედაპირიდან 20 მ-ზე ნაკლები მანძილით არის დაშორებული, მიწის ზედაპირთან ახლო განლაგების ხაზებს უწოდებენ და 20 მ-ზე მეტ სიღრმეზე განლაგების შემთხვევაში: ღრმა განლაგების ხაზებს. ამ უკანასკნელის დაგეგმვა და რეალიზება, შესაბამისი მიწისქვეშა სადგურებით, საკმაოდ რთულად განხორციელებად ამოცანას წარმოადგენს. რა თქმა უნდა, ასეთი საპასუხისგებლო ინფრასტრუქტურული პროექტების რეალიზაციისას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება, როგორც კაპიტალდანახარჯებს, ნაგებობების სიმტკიცეს, მდგრადობას, ასევე მათ უსაფრთხო ფუნქციონირებას, შესაბამისად, აუცილებელია ასეთი პროექტების დაგეგმარებისას გათვალისწინებული იყოს ყველა ის აქტიური და პასიური უსაფრთხოების სისტემების არსებობა და ფუნქციონირება, რომელთა საშუალებებითაც მეტროპოლიტენის ჩვეულ რეჟიმში ექსპლუატაციისას შექმნილი და შენარჩუნებული იქნება მაქსიმალურად უსაფრთხო გარემო, გატარებული იქნება ყველა ის პრევენციული ღონისძიება, რაც პრაქტიკულად გამორიცხავს საგანგებო სიტუაციების ინიცირებასა და განვითარებას, ხოლო ამ უკანასკნელის დადგომის შემთხვევაში სისტემა მდგრადად უზრუნველყოფს ვითარებასთან გამკლავებას. ამასთან ერთად, აუცილებელია გათვალისწინებული იყოს ის მავნე და სახიფათო ფაქტორები, რომლებიც ფორმირდებიან აღნიშნული ტრანსპორტის ექსპლუატაციისას, რათა მგზავრებსა და მომსახურე პერსონალს, რომლებიც მნიშვნელოვანი დროის განმავლობაში იმყოფებიან მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში, შევუქმნათ მაქსიმალურად საიმედო და კომფორტული გარემო. როგორც ზევით ავღნიშნეთ, მეტროპოლიტენის უსაფრთხო, საიმედო და გამართულ მუშაობას უზრუნველყოფენ ყველა ის სისტემები, რომლებიც სპეციალურად ამ ტრანსპორტისთვისაა შექმნილი. ეს სისტემებია:

1. ელ. მომარაგებისა და განათების სისტემები;
2. წყალმომარაგებისა და კანალიზაციის სისტემები;
3. სანიაღვრე სისტემები;
4. სავენტილაციო სისტემები;

და ა.შ. ყურადღებას გავამახვილებთ მეტროპოლიტენის სავენტილაციო სისტემის მუშაობაზე, რომლის დანიშნულებაც, მუშაობის ჩვეულებრივ ყოველდღიურ რეჟიმში წარმოადგენს: უზრუნველყოს მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში ჰაერის ნორმალური ქიმიური შედგენილობის შექმნაშენარჩუნება, ნორმალური მიკროკლიმატის შექმნა და შენარჩუნება და ამასთან ერთად მოახდინოს ნამუშევარი ჰაერის დაბრუნება ატმოსფეროში, ხოლო მუშაობის საგანგებო რეჟიმში, კი უპასუხოს ყველა იმ გამოწვევას, რომელიც წარმოიქმნება საგანგებო სიტუაციის ინიცირებისა და განვითარების შემთხვევაში.

განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება მეტროპოლიტენის სავენტილაციო სისტემების ფუნქციონირებას მუშაობის საგანგებო რეჟიმში. მიწისქვეშა სივრცეში საგანგებო სიტუაციის ინიცირების მიზეზები ძირითადად ტექნოგენურია და ამ დროს საკმაოდ მაღალია ალბათობა იმისა, რომ მივიღოთ ხანძრის ხასიათის მქონე საგანგებო ვითარება. მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცე, კი შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ერთგვარი შეზღუდული სივრცე და აქედან გამომდინარე ხანძრის ინიცირებისა და განვითარების შემთხვევაში საკმაოდ რთულდება და იზღუდება ადამიანების გადარჩენის შესაძლებლობები. ასეთი შემთხვევების ანალიზი აჩვენებს, რომ გვირაბებში ინიცირებული და განვითარებული ხანძრები ძირითადად ვენტილაციით კონტროლირებადია, აქედან გამომდინარე, ისეთი საგანგებო ვითარებისას, როგორცაა ხანძარი მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა და მაშასადამე შეზღუდულ სივრცეში, ადამიანების გადარჩენის შესაძლებლობები მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული სავენტილაციო სისტემის მუშაობის შესაბამის რეჟიმზე.

ცნობილია, რომ ხანძარს გააჩნია ძირითადად ორი დამაზიანებელი ფაქტორი: პირველი, ეს არის საკმაოდ მაღალი წვის ტემპერატურა, რომელიც ინფრასტრუქტურისა და ყველაფერი ცოცხალის განადგურებას იწვევს და მეორე, წვადი მასალის სრული ან არასრული წვის შედეგად გამოყოფილი მომწამლავი და მხუთავი აირები, ესენი კი ადამიანების სიცოცხლისუნარიანობაზე ახდენენ გავლენას. გვირაბის ხანძრის პირობებში დამდგარი ფატალური შედეგების ძირითად მიზეზებს, ადამიანებზე მომწამლავი და მხუთავი აირების ზემოქმედება წარმოადგენს. აქედან გამომდინარე შეზღუდულ სივრცეში ხანძრის ინიცირებისა და განვითარებისას საჭიროა სავენტილაციო სისტემის ისეთი მუშაობის რეჟიმის შერჩევა, რომლის დროსაც სუფთა ჰაერის შესაბამისი რაოდენობის მიწოდება განხორციელდება ისე, რომ ხელი შეუშლოს ტოქსიკური და მხუთავი აირების გავრცელებას იმ მიმართულებით, სა-

ითაც მიზანშეწონილია, მგზავრებისა და მომსახურე პერსონალის ორგანიზებული ევაკუაციის განხორციელება.

ცნობილია შეზღუდულ სივრცეში ინიცირებული ხანძრის სრული სიმძლავრის დამყარებიდან 4-5 წთ-ის შემდეგ დგება სავენტილაციო სისტემის სრული კოლაფსი, რაც იმას ნიშნავს, რომ სავენტილაციო ჰაერის ნაკადის მიმართულებას განაგებს ხანძრის შედეგად ფორმირებული წვევის ძალები და სავენტილაციო დანადგარების მუშაობა ვეღარ ახდენს ვერანაირ გავლენას მიმდინარე პროცესზე. აღნიშნული დრო მაქსიმალურად რაციონალურად უნდა იყოს გამოყენებული მეტროპოლიტენის შესაბამისი სადგურის ადმინისტრაციის მიერ, რათა შესაბამისი კოორდინაცია გაუწიოს ხანძრის ქრობის პირველ ფაზაში მგზავრებისა და მომსახურე პერსონალის ორგანიზებულ თვითევაკუაციას. აღნიშნულ პროცესში მნიშვნელოვანია ორგანიზებულობა, რადგან პანიკამ და დეზორგანიზაციამ შეიძლება მნიშვნელოვნად შეაფერხოს ადამიანების გადარჩენის შესაძლებლობები. ევაკუაციის დამთავრების შემდეგ, კი იწყება ხანძრის ქრობის მეორე ფაზა, სადაც ძირითად ძალას პროფესიონალი მეხანძრემაშველები წარმოადგენენ. ისინი უზრუნველყოფენ განვითარებული ხანძრის ჯერ ლოკალიზაციას და შემდეგ სრულ ლიკვიდაციას.

მეცნიერები და მკვლევარები, რა თქმა უნდა აგრძელებენ მუშაობას უკვე არსებული სავენტილაციო სისტემების მუშაობის გაუმჯობესებისა და დახვეწის მიმართულებით. უამრავი წინადადებები და პრობლემების ინოვაციური ხერხებით გადაჭრის გზებია შემოთავაზებული. დღევანდელი ტექნოლოგიები საშუალებას იძლევა, საკმაოდ მაღალი სიზუსტით გავანალიზოთ აღნიშნულ საკითხთან დაკავშირებით გამოქვეყნებული მნიშვნელოვანი მასალები, კვლევები, მათი შედეგები და რეკომენდაციები. აღნიშნული შემოთავაზებები და არსებული პრობლემების მოგვარების გზები არსებითად შეეხება მიწისქვეშა მიკროკლიმატისა და ჰაერის ხარისხის გაუმჯობესებას, აგრეთვე სავენტილაციო სისტემების ხარისხიან და ეკონომიურ მუშაობას, რადგანაც უკვე არსებული საკმაოდ მოძველებული სავენტილაციო სისტემების მუშაობა ხასიათდება მნიშვნელოვანი ენერგოდანახარჯებით. მნიშვნელოვანი სამუშაოებია შესრულებული, შესაბამისი რეკომენდაციებითა და საევაკუაციო გეგმებით სახანძრო უსაფრთხოების საკითხების გადასაჭრელად ან არსებულის სრულყოფისათვის.

### **საკითხის აქტუალურობა და პრაქტიკული მნიშვნელობა**

მსოფლიოს განვითარებასთან ერთად, განვითარების ნებისმიერი მიმართულებით იცვლება ადამიანების უსაფრთხოებაზე წაყენებული მოთხოვნები, შეიძლება ითქვას, რომ ახლად წამოჭრილი საფრთხეებისა და არსებული რისკების შესაბა-

მისად დღესდღეობით უსაფრთხოების მოთხოვნები და სტანდარტები უფრო მაღალ ხარისხშია აყვანილი.

დღევანდელი ტურბოლენტური მსოფლიოს ერთერთ მნიშვნელოვან გამოწვევას, ტერორიზმი, მასთან ბრძოლა და მისგან დაცვა წარმოადგენს. ის 21 საუკუნის სენია და მსოფლიოს ქვეყნები მნიშვნელოვან სახსრებს, დროსა და ენერჯიას ხარჯავენ მასთან საბრძოლველად და მოსახლეობის დასაცავად. აქედან გამომდინარე, რა თქმა უნდა, მეტროპოლიტენის უსაფრთხოდ ფუნქციონირება ახალი გამოწვევის წინაშე აღმოჩნდა და აღნიშნულმა სისტემებმა ამ გამოწვევასაც ჯეროვნად უნდა უპასუხოს. ვინაიდან მეტროპოლიტენი წარმოადგენს ეკონომიკის მნიშვნელოვან ობიექტს და აგრეთვე ადამიანების მასიური თავშეყრის ადგილს, ის შეიძლება განხილული იყოს, როგორც ტერორისტული შეტევისათვის მაღალი რისკის მქონე ობიექტი. თუ გავითვალისწინებთ ქ. ტოკიოს (იაპონია) მეტროპოლიტენში მომხდარ ინციდენტს, როდესაც ორ-ორი სუბიექტისგან შემდგარმა რამდენიმე ტერორისტულმა ჯგუფმა მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში დახურული პაკეტებით შეიტანეს და გაავრცელეს მომწამლავი აირი „ზარინი“. შედეგად მივიღეთ რამდენიმე დაიღუპული და ათასობით ადამიანი მიიღო ორგანიზმის სხვადასხვა ხარისხის ინტოქსიკაცია. აღნიშნული ინციდენტის ანალიზმა პრობლემა სხვა ჭრილში დაგვანახა და შესაბამისად, ტერორისტული შეტევისაგან დაცვის საკითხმა კიდევ უფრო მეტი აქტუალურობა შეიძინა.

### **პრობლემის არსი**

გაჩნდა მნიშვნელოვანი და საჭირო კითხვა, კერძოდ: ბოროტი განზრახვის არსებობის შემთხვევაში, ხომ არ არის შესაძლებელი, კიდევ სხვა გზა ან რამე საშუალება, რომ მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში შესაძლებელი გახდეს მომწამლავი აირების ან პათოგენური მიკრობების მოხვედრა და შემდგომი გავრცელება.

დასმულ კითხვაზე მოცემულ პერიოდში კომპეტენტური და კვალიფიციური პასუხი არ არსებობს, რადგანაც აღნიშნული პრობლემა გასაგები მიზეზებიდან გამომდინარე არ იყო აქტუალური და საინტერესო, შესაბამისად ამ მიმართულებით არანაირი კვლევები და ანალიზი ამ მიმართულებით არ ჩატარებულა.

### **პრობლემის გადაჭრის გზა**

მამასადამე, იმისათვის, რომ დასმულ კითხვაზე შესაბამისი ობიექტური პასუხი დაიდოს, საჭიროა სათანადო კვლევების განხორციელება, ამასთან, ერთად აუცილებელია უწინარეს ყოვლისა გამოვლინდეს მეტროპოლიტენის მართვის სისტე-

მებიდან შედარებით ყველაზე სუსტი რგოლი, საიდანაც თეორიული დაშვებითაც კი, ბოროტი განზრახვის არსებობის შემთხვევაში შესაძლებელი იქნება მომწამლავი აირების ან პათოგენური მიკრობების მოხვედრა და შემდგომ გავრცელება მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში. თუ გავანალიზებთ მეტროპოლიტენის მართვის სისტემების მუშაობის სპეციფიკას შეიძლება დავასკვნათ, რომ ამ კუთხით საკმაოდ სუსტ რგოლს სავენტილაციო-კონდენცირების სისტემა წარმოადგენს. ეს მოსაზრება შეიძლება შემდეგნაირად გამყარდეს: ცნობილია, რომ მეტროპოლიტენის სავენტილაციო სისტემის ჩვეულებრივ, ყოველდღიური მუშაობის რეჟიმის დროს მიწისქვეშა ნაგებობებში სუფთა ჰაერის მიწოდება და ასევე ნამუშევარი ჰაერის ატმოსფეროში დაბრუნება სავენტილაციო ჭაურებით ხორციელდება. ეს მიმართულება წარმოადგენს ერთ-ერთ მიმართულებას, რომლითაც მიწისქვეშა სივრცე მიწის ზედაპირს უკავშირდება, თუ არ ჩავთვლით ექსკალატორებისათვის განკუთვნილ დახრილ გვირაბებსა და გადასარბენი გვირაბის პორტალებს. ეს ორი უკანასკნელი მნიშვნელოვნად კონტროლდება და შეიძლება ითქვას, რომ პრობლემური სწორედ, რომ სავენტილაციო ჭაურებია და ამათგან შედარებით დაუცველი ნამუშევარი ჰაერის ატმოსფეროში დასაბრუნებელი სავენტილაციო ჭაური. სწორედ, რომ სავენტილაციო სისტემის ეს კვანძი მიგვაჩნია სუსტ რგოლად, საიდანაც თეორიული მოსაზრებით შესაძლებელია დაუგეგმავი, არასანქცირებული ჰაერის მოხვედრა მეტროპოლიტენის სავენტილაციო სისტემაში და შემდგომ მიწისქვეშა ნაგებობების სივრცეში, რაც იმას ნიშნავს, რომ შესაბამისი ინფორმაციის არსებობის შემთხვევაში მეტროპოლიტენში ჩასვლის გარეშე შესაძლებელია ტოქსიკური აირების ან პათოგენური მიკრობების გავრცელება მიწისქვეშა სივრცეში. ჩვენი აზრით, აღნიშნული წარმოადგენს მეტროპოლიტენის სავენტილაციო სისტემის მუშაობის სერიოზულ ხარვეზს. წინამდებარე ნაშრომში ექსპერიმენტებითა და თეორიული მეთოდით შესწავლილია აღნიშნული ტექნოლოგიური ხარვეზი და შემოთავაზებულია შესაბამისი რეკომენდაციები მისი აღმოფხვრის მიზნით.

## თავი 1. ლიტერატურის მიმოხილვა, წინასწარი ცნობები

### 1.1. მეტროპოლიტენის ვენტილაციის სახეობები და ვენტილაციის სქემები, მათი მუშაობის პრინციპები

მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში მგზავრები მნიშვნელოვანი დროის განმავლობაში იმყოფებიან, აქედან გამომდინარე, არსებითია ის გარემო რომელიც შექმნილია მეტროპოლიტენის ნებისმიერ სეგმენტში. მგზავრებისა და მომსახურე პერსონალის ჯანმრთელობაზე, გუნება-განწყობაზე და შრომისუნარიანობაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენენ ფაქტორები, რომელთა ფორმირებაც მეტროპოლიტენის ექსპლუატაციის პროცესში ხდება. აღნიშნული ფაქტორებიდან მხედველობაში მისაღება:

1. ჭარბი სითბო;
2. მომატებული ტენიანობა;
3. ნახშირორჟანგის CO<sub>2</sub>-ის გაზრდილი კონცენტრაცია, რომელიც გამოიყოფა ადამიანების სუნთქვის შედეგად;
4. ნახშირორჟანგის CO-ს მომატებული კონცენტრაცია, რომელიც მეტროპოლიტენის სავენტილაციო სისტემების საშუალებით ზედაპირიდან ხვდება მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში;
5. ჰაერში PM და (FePM) ნაწილაკების არსებობა, რომელთა ფორმირება ძირითადად გადასარბენ გვირაბებში მატარებლის მოძრაობისას ხდება;
6. რადონის გამოყოფა;
7. მნიშვნელოვანია ჰაერის იონიზაციის მდგომარეობა;
8. ხმაური;
9. მიწისქვეშა სადგურებში არსებული ბაქანის სივრცეში მომატებული ჰაერის გამჭოლი ნაკადები, გამოწვეული მატარებლი გვირაბში მოძრაობისას დგუმის ეფექტის შედეგად;
10. ხშირ შემთხვევაში ბაქანსა და მოძრავ შემადგენლობის სავალ ნაწილს შორის ელემენტალური ზღუდარის არარსებობა, რაც მგზავრებისათვის საკმაოდ სახიფათო გარემოს ქმნის.

მოყვანილი ფაქტორები განხილულია, როგორც მავნე და სახიფათო ფაქტორები, აქედან გამომდინარე ნიშნელოვანია მინიმუმამდე იქნეს დაყვანილი ადამიანების ჯანმრთელობაზე მათი ნეგატიური ზემოქმედება. აღნიშნულ პრობლემების აღმოფხვრასა და მათთან გამკლავებას, უზრუნველყოფს მეტროპოლიტენის სავენტილაციო სისტემები, რომელთა დანიშნულებასაც, მუშაობის ყოველდღიურ, ჩვეულებრივ რეჟიმში წარმოადგენს: უზრუნველყოს მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში სუფთა ჰაერის მიწოდება და ნამუშევარი ჰაერის ატმოსფეროში დაბ-

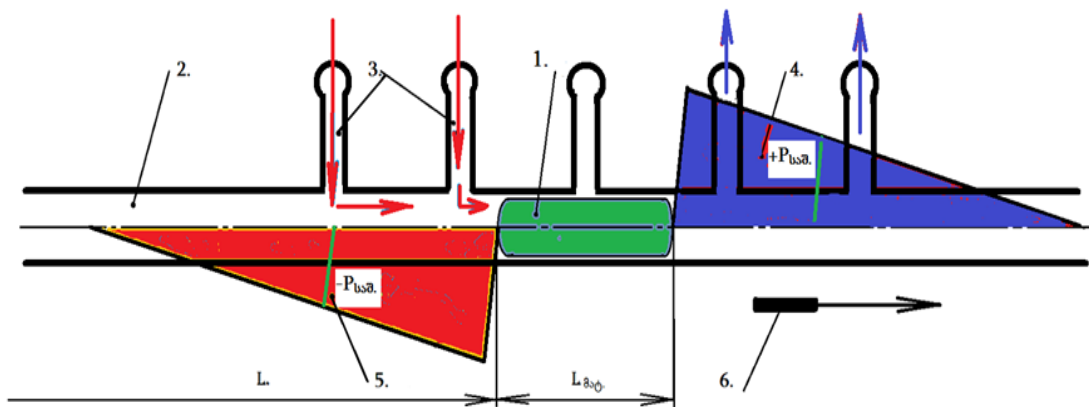


რუნება, ხოლო მუშაობის საგანგებო რეჟიმში- სათანადოდ უპასუხოს ყველა იმ გამოწვევას, რომელიც წარმოიქმნება საგანგებო სიტუაციის ინიცირებისა და განვითარების შემთხვევაში. აღნიშნულზე მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული მეტროპოლიტენის გამართული, საიმედო და უსაფრთხო ფუნქციონირება.

მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში, როგორც წესი, სუფთა ჰაერის მიწოდება ატმოსფეროდან ხორციელდება. მისი სისუფთავე და ხარისხი კი დამოკიდებულია ქალაქის კლიმატურ თავისებურებებზე, მიწისზევით არსებულ ეკონომიკის ობიექტებისა და სამრეწველო საწარმოების რაოდენობაზე, საავტომობილო ტრანსპორტის მოძრაობის ინტენსიურობაზე. აღნიშნული ფაქტორები წარმოადგენენ ქალაქში ჰაერის დაბინძურების ძირითად მთავარ წყაროს. მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში მიწოდებული ჰაერი ძირითადად წინასწარ არ მუშავდება. აქედან გამომდინარე, ჰაერის სისუფთავე და ხარისხი შეესაბამება ქალაქში არსებული ატმოსფერული ჰაერის ხარისხს. მიწოდებული ჰაერის წინასწარი დამუშავება მნიშვნელოვან დანახარჯებთან არის დაკავშირებული. ამიტომ აღნიშნული ღონისძიების გამოყენება მხოლოდ ტექნიკურ-ეკონომიკური მიზანშეწონილობიდან გამომდინარე ხდება.

მეტროს მიწისქვეშა ხაზებში, გამოყენებული სავენტილაციო სისტემები, ჰაერის ნაკადის აღძვრის მეთოდის მიხედვით გვხვდება:

1. ჰაერის ბუნებრივად აღძვრის სავენტილაციო სისტემები;
2. ჰაერის ხელოვნურად აღძვრის სავენტილაციო სისტემები.



**ნახ. 1. გადასარბენ გვირაბში მოძრავი შემადგენლობის მოძრაობისას მატარებლის წინ და უკან წარმოქმნილი ჭარბი წნევისა და გაიშვიათების განაწილების ეპიურა**

1 - მოძრავი შემადგენლობა; 2 - გადასარბენი გვირაბი; 3 - სავენტილაციო ჭაურები; 4 - მატარებლის წინ წარმოქმნილი ჭარბი წნევა; 5 - მატარებლის უკან ფორმირებული გაიშვიათება; 6 - მატარებლის მოძრაობის მიმართულეა; წითელი ისრებით ნაჩვენებია სუფთა ჰაერის ნაკადის მიმართულეა; ლურჯი ისრებით ნაჩვენებია ნამუშევარი ჰაერის ნაკადის მიმართულეა

ბუნებრივ სავენტილაციო სისტემაში ჰაერის ნაკადების ფორმირება ხორციელდება მატარებლის გვირაბში მოძრაობისას დგუშის ეფექტის შედეგად, აგრეთვე

გრავიტაციული ძალების (გვირაბის გარეთ და შიგნით არსებული ჰაერის სიმკვრივეებს შორის სხვაობის გამო) ზემოქმედებით. დღუშის ეფექტის არსი შემდეგნაირად შეიძლება ჩამოვაცალიბოთ: მოძრავი შემადგენლობის გადასარბენ გვირაბში მოძრაობისას მატარებლის შუბლი, რომლის აეროდინამიკური წინაღობა მნიშვნელოვანია, დაწნევას ახდენს იმ ჰაერის მასებზე, რომლებიც მის წინ უშუალოდ შეხებაში არიან, შედეგად მატარებლის წინ იქმნება ჭარბი წნევა, ხოლო მატარებლის უკან კი პირიქით ჰაერის გაიშვიათება, აღნიშნულის შედეგად მატარებლის წინ აღიძვრება წინწაგდებული ჰაერის ნაკადი, მატარებლის უკან კი მატარებელს მიდევნებული ჰაერის ნაკადი, ხოლო მატარებლისა და გვირაბის პერიმეტრებს შორის არსებულ სივრცეში: ე.წ. ღრეჩოში გადადინებული ჰაერის ნაკადი. ნახ. 1.-ზე გამოსახულია მატარებლის წინ და უკან ფორმირებული შესაბამისად ჭარბი წნევისა და გაიშვიათების განაწილების ეპიურა.

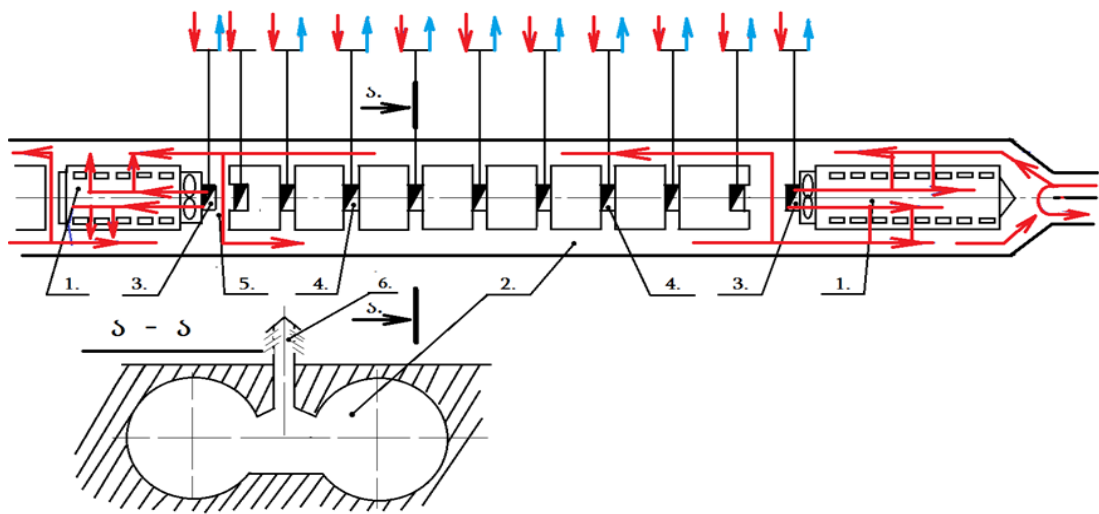
ეპიურაზე გამოსახული სურათი თან სდევს მოძრავ შემადგენლობას მის გვირაბში მოძრაობის სრული პერიოდის განმავლობაში.[1].

როგორც ეპიურიდან ჩანს სუფთა ჰაერის გვირაბში მიწოდებას, გრავიტაციულ ძალებთან ერთად უზრუნველყოფს მატარებლის უკან ფორმირებული ჰაერის გაიშვიათება, ხოლო ნამუშევარი ჰაერის ატმოსფეროში დაბრუნებას კი მატარებლის წინ შექმნილი ჭარბი წნევა. აღსანიშნავია, რომ ჰაერის ბუნებრივად მიწოდების სავენტილაციო სისტემები სრულფასოვნად ფუნქციონირებს, მხოლოდ გადასარბენი გვირაბების მიწის ზედაპირთან ახლო განლაგების შემთხვევაში. ეს აიხსნება იმ გარემოებით, რომ გადასარბენი გვირაბების ღრმა განლაგების შემთხვევაში სავენტილაციო ჭაურების აეროდინამიკური წინაღობა მნიშვნელოვან სიდიდეს აღწევს. ამ შემთხვევაში ბუნებრივი წევის ძალები, რომლებიც ფორმირდებიან გრავიტაციული ძალების საშუალებით, არ არის საკმარისი აეროდინამიკური წინაღობის დასაძლევად. აგრეთვე აღსანიშნავია, რომ ასეთი სავენტილაციო სისტემის გამოყენება მოითხოვს გადასარბენებზე სავენტილაციო ჭაურების შედარებით ახლო მანძილებზე განლაგებას, დაახლოებით ყოველ 100-150 მ მანძილზე. აღნიშნული მანძილი დადგენილია ემპირიულად – ექსპლუატაციისა და მშენებლობის გამოცდილებიდან გამომდინარე. მეტროპოლიტენის გადასარბენი გვირაბის ღია წესით აგების შემთხვევაში შესაძლებელია მოეწყოს ჭაურების შედარებით მეტი რაოდენობა, თუმცა თბილისის მეტროს შემთხვევაში გადასარბენზე ერთზე მეტი სავენტილაციო ჭაური არ გვხვდება, ხოლო ზოგიერთ შემთხვევაში გადასარბენის ვენტილაცია სავენტილაციო ჭაურის გარეშე ხორციელდება.

მეტროპოლიტენის, ჰაერის ბუნებრივი წევით განხორციელებული სავენტილაციო სისტემის სქემა მოცემულია ნახ. 2. (ა; ბ; გ)-ზე.

ნახ. 2. (ბ)-ზე გამოსახულ ჰაერის ბუნებრივი წევის სავენტილაციო სისტემის სქემაზე, სავენტილაციო ჭაურების ჭადრაკისებური განლაგება ორივე მიმართულების გადასარბენი გვირაბების ვენტილაციისათვის უფრო რაციონალურია, მაგრამ

ხშირ შემთხვევაში სავენტილაციო ჭაურების ასეთ განლაგებას ხელს უშლის მიწის ზევით ურბანული დაგეგმარების არსებული პირობები, ამიტომ სავენტილაციო ჭაურებს აწყობენ ერთ-ერთი რომელიმე გადასარბენი გვირაბის გასწვრივ, როგორც გამოსახულია ნახ. 2. (გ)-ზე, ასეთ შემთხვევაში დასაშვებია პარალელური გადასარბენი გვირაბების ერთმანეთისგან გამოყოფა კოლონებით, ან საშუალო სისქის ტიხრით, რომლის ფართობის მინიმუმ 60% ღიობია. აგრეთვე სავენტილაციო ჭაურები შესაძლებელია განლაგებული იყოს ორი პარალელური გადასარბენი გვირაბის ღერძის გასწვრივ, როგორც გამოსახულია ნახ. 2. (ა)-ზე. სავენტილაციო ჭაურების ასეთი განლაგება მკვეთრად ამცირებს დგუმის ეფექტს და შესაბამისად, ვენტილაციის ეფექტურობას.

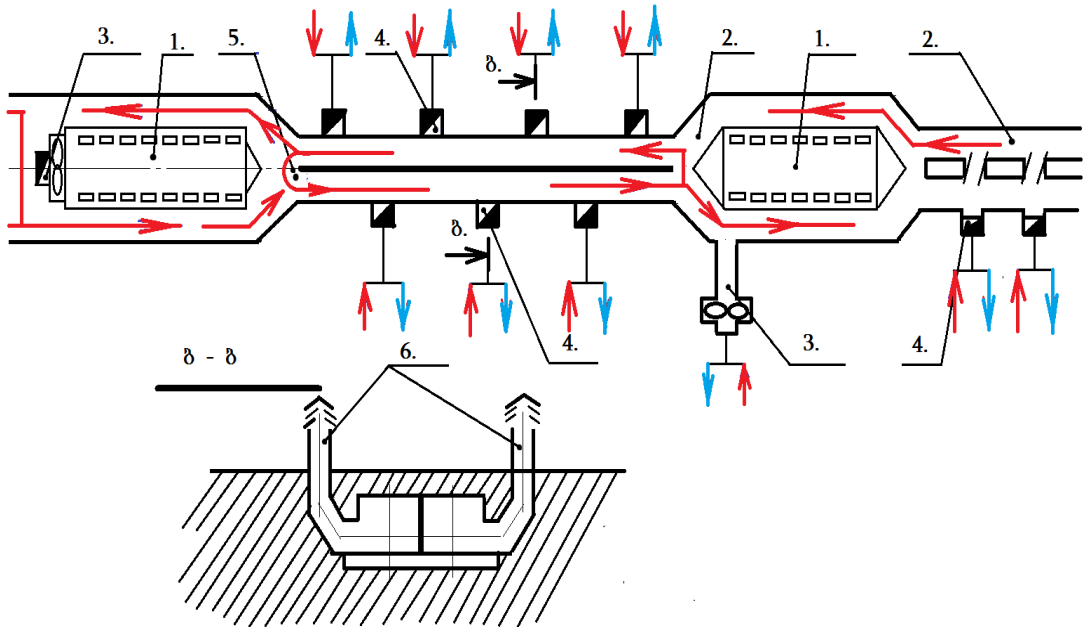


ნახ. 2. (ა) ჰაერის ბუნებრივად აღდგურის სავენტილაციო სისტემის პრინციპიალური სქემა. (მეტროპოლიტენის მიწისზედაპირთან ახლო განლაგების გადასარბენი გვირაბები ერთმანეთისგან იზოლირებულია გრუნტის შრით, სავენტილაციო ჭაურები განლაგებულია ორი პარალელური გადასარბენი გვირაბის სიმეტროს ცენტრის გასწვრივ ერთ ხაზზე)

1 - მეტროპოლიტენის სადგურები; 2 - გადასარბენი გვირაბები; 3 - სადგურის სავენტილაციო ჭაურები სავენტილაციო დანადგარებით; 4 - გადასარბენი გვირაბების სავენტილაციო ჭაურები; 5 - სადგურის კიდეებთან ორ პარალელურ გადასარბენ გვირაბებს შორის არსებული ცირკულაციური ჰაერის ჭნევის დამგდებები; 6 - მიწის ზევით არსებული სავენტილაციო ჯიხურები

სადგურების ბუნებრივად განიავება შესაძლებელია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ სადგური მიწის ზედაპირთან ძალიან ახლოს მდებარეობს და სადგურში შესასვლელი სივრცის აეროდინამიკური წინაღობა დაბალია. ამ შემთხვევაში, ექსკალატორების გასწვრივ ჰაერის ნაკადი მიმართულია ხელოვნურად, სადგურის სივრცის ვენტილაციის გაუმჯობესების მიზნით რაც ხელს არ უშლის და არ ამწელებს მგზავრების გადაადგილებას, მომსახურე პერსონალის მუშაობას და უმეტეს შემთხვევაში არ იწვევს სადგურის ჩასასვლელ-ამოსასვლელებთან არსებულ გარე კარების თვითნებურად გაღება-დაკეტვას, რაც თავის მხრივ შეიძლება გახდეს მგზავრების დაზიანების მიზეზი.

გარდა ამისა, საშუალო ტემპერატურის მქონე კლიმატური პირობების ადგილებში, სადაც წელიწადის ყველაზე ცივ თვეში ჰაერის ტემპერატურა  $T_{წ.ც.თ} < 0^{\circ}\text{C}$  სადგურების ჩასასვლელ-ამოსასვლელებიდან მოხდება ცივი ჰაერის შეჭრა, რაც გამოიწვევს სადგურებში ჰაერის ტემპერატურის დაცემას დასაშვებ ნორმაზე ქვევით. ასეთი არასასურველი გარემოების აღმოფხვრა შეუძლებელია თუნდაც დიდი კვების დამოუკიდებელი, სადგურის სავენტილაციო ჭაურის მოწყობით. ამიტომ ჰაერის ხელოვნურად აღძვრის, რევერსიული ტიპის სადგურის სავენტილაციო სისტემის მოწყობა მნიშვნელოვნად გააუმჯობესებს ექსპლუატაციის პირობებს. სადგურების, ჰაერის ნაკადის ბუნებრივად აღძვრის ვენტილაციის მეთოდი პრაქტიკაში საკმაოდ იშვიათად გამოიყენება.



**ნახ. 2. (ბ) ჰაერის ბუნებრივად აღძვრის სავენტილაციო სისტემის პრინციპიალური სქემა. (მეტროპოლიტენის მიწის ზედაპირთან ახლო განლაგების გადასარბენი გადასარბენი გვირაბები ერთმანეთისგან იზოლირებულია რკინაბეტონის, შესაბამისი ფართის მქონე დიობების ტიხარით, სავენტილაციო ჭაურები განლაგებულია ორი პარალელური გადასარბენი გვირაბის სიმეტრიოს ცენტრის გასწვრივ ჭადრაკისებურად)**

1 - მეტროპოლიტენის სადგურები; 2 - გადასარბენი გვირაბები; 3 - სადგურის სავენტილაციო ჭაურები სავენტილაციო დანადგარებით; 4 - გადასარბენი გვირაბების სავენტილაციო ჭაურები; 5 - სადგურის კიდეებთან ორ პარალელურ გადასარბენ გვირაბებს შორის არსებული ცირკულაციური ჰაერის ჭნევის დამგდებები; 6 - მიწის ზევით არსებული სავენტილაციო ჯიხურები

როგორც ავღნიშნეთ, გვირაბის ბუნებრივი ვენტილაციის სისტემასთან ერთად მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ სადგურის, ჰაერის ხელოვნურად აღძვრის, რევერსიული ტიპის სავენტილაციო სისტემა, რომელიც იმუშავებს წელიწადის თბილ პერიოდში სადგურის სივრცეში, სუფთა ჰაერის მიწოდების რეჟიმში და წელიწადის ცივ პერიოდში, ნამუშევარი ჰაერის გაწოვის რეჟიმში. შესაძლებელია აგრეთვე მომ-

დენ-გამწოვი შეთავსებული სავენტილაციო სისტემის მოწყობა. მომდენ-გამწოვი სისტემა შესაძლებელია იყოს დაბალანსებული (როცა მოდენილი და განდენილი ჰაერის ხარჯი ერთმანეთის ტოლია), ან დაუბალანსებული, ანუ ასიმეტრიული, როცა გაწოვა და მოდენა ჰაერის ხარჯში ერთმანეთის ტოლი არაა. ასიმეტრია მოდენის სიჭარბით გამოიყენება მაშინ, როცა მიწისქვეშა ნაგებობებში არ უნდათ გაუკონტროლებელი ჰაერის მოხვედრა. ხოლო ჭარბი გაწოვის შემთხვევაში მოსალოდნელია ჰაერის დამატებითი რაოდენობის მოხვედრა ღიობებიდან, რომლებიც დაკავშირებულია ატმოსფეროსთან.

წელიწადის ცივ პერიოდში, საშუალო ტემპერატურის კლიმატური პირობების მქონე რაიონებში, სადაც წელიწადის ყველაზე ცივ თვეს ჰაერის ტემპერატურა  $T_{წ.ც.თ} < 0^{\circ}\text{C}$ , იმისათვის, რომ გამოვიციხოთ სადგურებში ჰაერის ტემპერატურის დაცემა  $T_{სად} \geq 5^{\circ}\text{C}$  დასაშვებზე ქვევით, გადასარბენი გვირაბების სავენტილაციო ჭაურებს ხურავენ სარქველების საშუალებით. აღსანიშნავია, რომ ხურავენ მხოლოდ იმ ჭაურებს, რომლებიც სადგურის ცენტრიდან გადასარბენი გვირაბის მთელი სიგრძის 1/3-ზე ახლო, ან სადგურის პორტალებიდან გვირაბის სრული სიგრძის 1/4-ზე ახლო მანძილზე მდებარეობს.

გადასარბენ გვირაბში მატარებლის მოძრაობისას დგუმის ეფექტის შედეგად, გვირაბებში შესვლისას და გამოსვლისას წარმოიქმნება ჰაერის ნაკადებს შორის წნევათა სხვაობა, რაც იწვევს უშუალოდ სადგურის ბაქანის სივრცეში და აგრეთვე სადგურების ჩასასვლელ-ამოსასვლელებში ე.წ. ორპირ ქარს. ამის თავიდან ასაცილებლად, გვირაბების შესასვლელ გამოსასვლელებიდან 30-100 მეტრის მოშორებით, საჭიროა გვირაბებს შორის მოეწყოს, ერთმანეთთან დამაკავშირებელი 95-125 მ<sup>2</sup> ფართობის ღიობი, რომლებიც უზრუნველყოფს დგუმის ეფექტით აღძრული წნევის შემცირებას უშუალოდ სადგურის ბაქანის სივრცეში, სადაც მგზავრები მატარებლის მოლოდინის რეჟიმში იმყოფებიან.

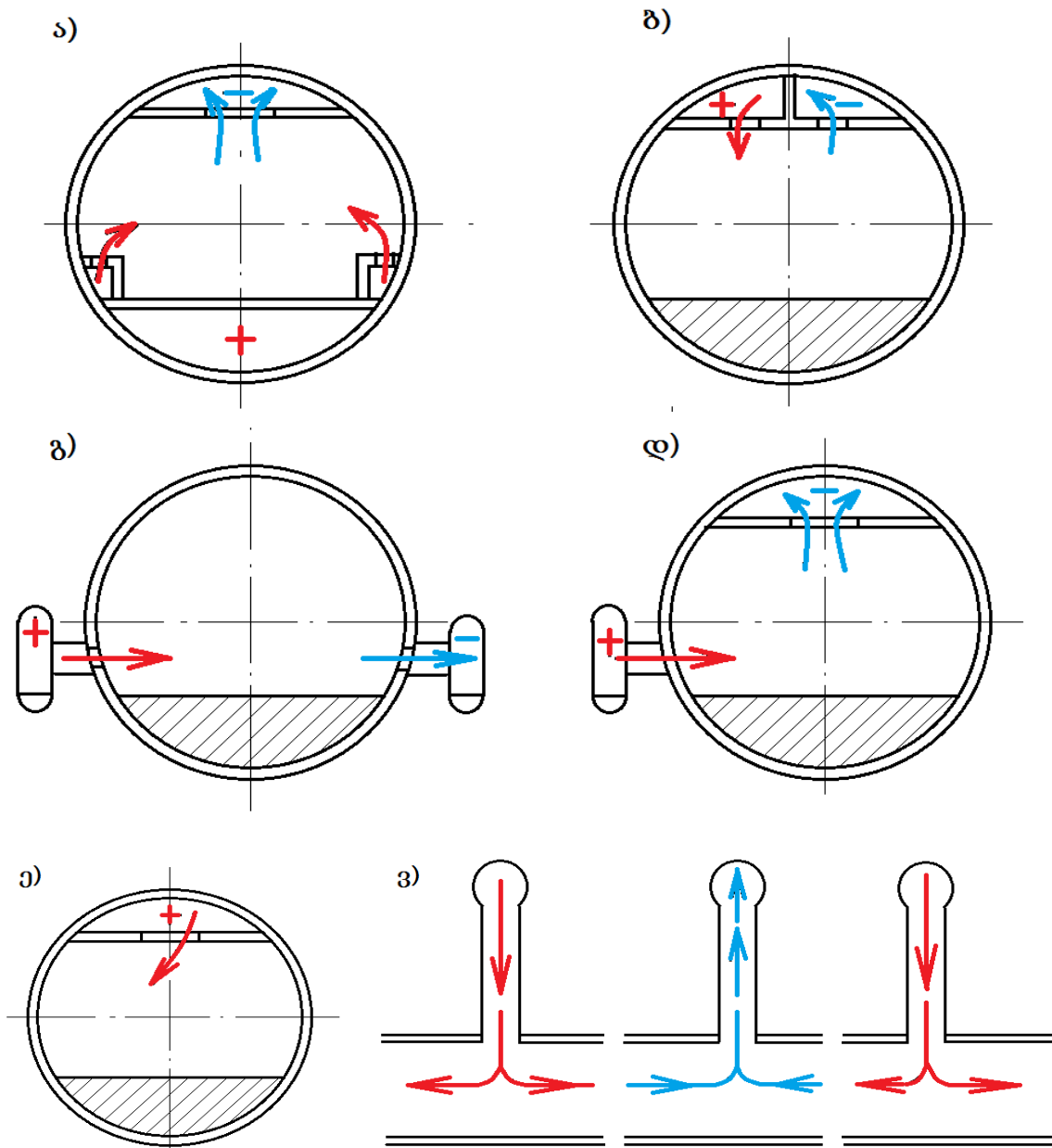
აქედან გამომდინარე, მცირდება დგუმური ეფექტის შედეგად სადგურში შემოდინებული ჰაერის რაოდენობა და სიჩქარე, მაშასადამე, მცირდება სადგურის სივრცეში მყოფ მგზავრებზე მათი ნეგატიური ზემოქმედება. სადგურის სივრცეში გადასარბენი გვირაბიდან შემომავალი ჰაერის ნაკადის შემცირებასთან ერთად მცირდება ჰაერის დინამიკური წნევაც, რაც თავის მხრივ დადებითად აისახება სადგურების ჩასასვლელ-ამოსასვლელ სივრცეში ორპირი ქარის სიმძლავრის შემცირებაზე, შედეგად აღნიშნულ სივრცეში მგზავრებისთვის და მომსახურე პერსონალისთვის უფრო კომფორტული და სასიამოვნო გარემო იქმნება.

ზოგადად, ჰაერის ხელოვნურად აღძვრის სავენტილაციო სისტემები, ჰაერის მიწოდების მიხედვით გვხვდება:

1. ჰაერის გრძივი მიწოდების სავენტილაციო სისტემები;
2. ჰაერის განივი მიწოდების სავენტილაციო სისტემები;

### 3. ჰაერის კომბინირებული მიწოდების სავენტრალაციო სისტემები.

ნახ. 3.-ზე გამოსახულია სატრანსპორტო გვირაბის სავენტრალაციო სისტემების სქემა, სადაც ა, ბ, გ, და დ წარმოადგენენ გვირაბში ჰაერის განივი მიწოდების სავენტრალაციო სისტემის სქემას. აღნიშნული სქემების მიხედვით, ჰაერის ნაკადების აღძვრა ხორციელდება სავენტრალაციო დანადგარების საშუალებით, ხოლო შესაბამის სივრცეში სუფთა ჰაერის მიწოდება და ნამუშევარი ჰაერის ატმოსფეროში დაბრუნება კი სპეციალური საჰაერო არხების საშუალებით, რომლებიც გვირაბის მთელს სიგრძეზეა მოწყობილი.



ნახ. 3. გვირაბების სავენტრალაციო სისტემების სქემები

(ა; ბ; გ; დ.) - გვირაბში ჰაერის განივი მიწოდების სავენტრალაციო სისტემის სქემა; (ე) - გვირაბში ჰაერის კომბინირებული მიწოდების სავენტრალაციო სისტემის სქემა; (ვ) - გვირაბში ჰაერის გრძივი მიწოდების სავენტრალაციო სისტემის სქემა

აღნიშნული სპეციალური საჰაერო არხები შესაძლებელია მოეწყოს, როგორც გვირაბის თაღოვან ნაწილში და გვირაბის ქვედა დონეზე (სავალი ნაწილის ქვევით) ერთდროულად (იხ. ნახ. 3. (ა)), ასევე გვირაბის მხოლოდ თაღოვან ნაწილში, როგორც გამოსახულია ნახ. 3. (ბ)-ზე. აგრეთვე სპეციალური საჰაერო არხების ნაცვლად, გვირაბის მთელს სიგრძეზე, გვირაბის გარე პერიმეტრზე, შესაძლებელია მოეწყოს სავენტილაციო გვირაბები, ე.წ. შტოლნები. აღნიშნული გამოსახულია ნახ. 3. (გ; დ)-ზე. აღნიშნულ შტოლნებს ორმაგი ფუნქციური დატვირთვა გააჩნიათ: როგორც ავღნიშნეთ ის წარმოადგენს სავენტილაციო სისტემის შემადგენელ ნაწილს, რომლის საშუალებითაც გვირაბის შიგა სივრცეში ხორციელდება სუფთა ჰაერის მიწოდება და გვირაბიდან ნამუშევარი ჰაერის დაბრუნება ატმოსფეროში, აგრეთვე გვირაბში საგანგებო სიტუაციის ინიცირებისა და განვითარების შემთხვევაში, ის წარმოადგენს გვირაბიდან ერთგვარ სავაკუაციო საშუალებასა და მიმართულებას. აქედან გამომდინარე ადვილი მისახვედრია, რომ აღნიშნული შტოლნები სატრანსპორტო გვირაბის სივრცესთან დაკავშირებულია სპეციალური გამკვეთებით, სადაც ადამიანის გასვლა თავისუფლად არის შესაძლებელი.

ჰაერის კომბინირებული მიწოდების სავენტილაციო სისტემების სქემა გამოსახულია ნახ. 3. (ე)-ზე. აღნიშნული სქემის მიხედვით გვირაბის შიგა სივრცეში სუფთა ჰაერის მიწოდება ხორციელდება გვირაბის თაღოვან ნაწილში განლაგებული სავენტილაციო არხის საშუალებით, რომელიც გვირაბის მთელ სიგრძეზეა მოწყობილი და გვირაბის შიგა სივრცეს უკავშირდება, ერთმანეთისგან მოცემულ მანძილით დაშორებული სპეციალური, მოქნილი ღიობების საშუალებით. საჭიროების შემთხვევაში, აღნიშნული ღიობების ფარობის ცვლილებით შესაძლებელია სავენტილაციო ჰაერის რაოდენობის რეგულირება. მოცემული სქემის მიხედვით გვირაბის შიგა სივრციდან ნამუშევარი ჰაერის გამოდევნა გვირაბის პორტალებიდან ხორციელდება.

ჰაერის გრძივი მიწოდების სავენტილაციო სისტემის სქემა გამოსახულია ნახ. 3. (ვ)-ზე. აღნიშნულ სავენტილაციო სისტემებში ჰაერის ნაკადის აღძვრა ან დგუშის ეფექტის საშუალებით, ან სავენტილაციო დანადგარების და ან კომბინირებულად, ორივეს გამოყენებით ხორციელდება.

მეტროპოლიტენებში ძირითადად გამოიყენებენ ჰაერის გრძივი და კომბინირებული მიწოდების სავენტილაციო სისტემებს. მეტროპოლიტენის გადასარბენი გვირაბებისთვის გამოიყენებენ ჰაერის გრძივი მიწოდების სავენტილაციო სისტემებს. მათი მოწყობა შესაძლებელია გადასარბენი გვირაბების ნებისმიერ სიღრმეზე განლაგების შემთხვევაში, ხოლო სადგურებში ჰაერის ნორმალური მიკროკლიმატის შესაქმნელად და შესანარჩუნებლად, - ჰაერის კომბინირებული მიწოდების სავენტილაციო სისტემებს.



აღძრული ჰაერის ნაკადის მიმართულების ცვლილების შესაძლებლობის მიხედვით, ჰაერის ხელოვნურად აღძვრის სავენტილაციო სისტემები ორი ტიპის არის:

1. რევერსიული;
2. არარევერსიული.

მეტროპოლიტენის ნორმალური საექსპლუატაციო პირობების შესაქმნელად და შესანარჩუნებლად (სადგურის შიგა პერიმეტრის მოსაპირკეთებელი მასალების, გადასარბენი გვირაბების გამაგრების, წყალმომარაგებისა და კანალიზაციის სისტემების გაყინვისაგან დაცვის მიზნით), სანიტარული ნორმების მიხედვით, მეტროპოლიტენის სადგურებში ჰაერის ტემპერატურა უნდა იყოს არაუმცირეს  $5^{\circ}\text{C}$ . აღნიშნულის გათვალისწინებით, მკაცრი კლიმატის პირობებში, როდესაც ჰაერის ტემპერატურა წელიწადის ყველაზე ცივ თვეში  $T_{\text{წ.ც.თ}} < 0^{\circ}\text{C}$ , მიზანშეწონილია რევერსიული ტიპის, ჰაერის ხელოვნურად აღძვრის სავენტილაციო სისტემის გამოყენება.

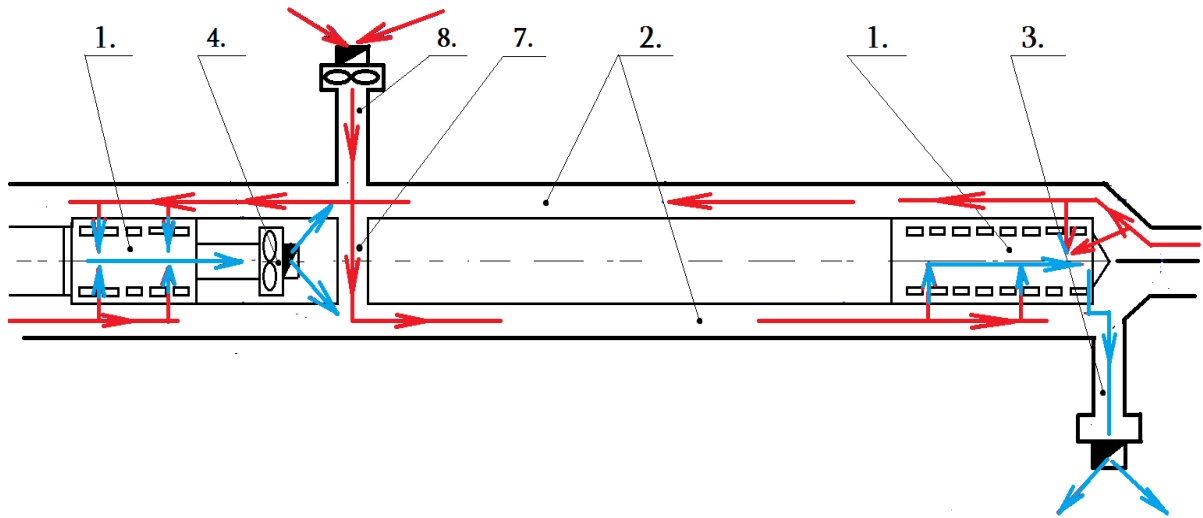
ჰაერის ხელოვნურად აღძვრის, რევერსიული ტიპის სავენტილაციო სისტემის გამოყენების შემთხვევაში შესაძლებელია ჰაერის ნაკადის მიმართულების ცვლილება, რაც სისტემის მოქნილობას მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს. აღნიშნული მიიღწევა: გამოყენებული სავენტილაციო დანადგარების ამძრავის ბრუნვის მიმართულების ცვლადობის შესაძლებლობიდან გამომდინარე. ასეთი სავენტილაციო სისტემების გამოყენებისას წელიწადის თბილ დროს სუფთა ჰაერის მიწოდება ხორციელდება მეტროპოლიტენის სადგურების სივრცეში, ხოლო ნამუშევარი ჰაერის გამოდევნა კი გადასარბენი გვირაბებისათვის განკუთვნილ სავენტილაციო ჭაურების საშუალებით.

წელიწადის ცივი პერიოდის დროს კი აღნიშნული სავენტილაციო სისტემა რევერსირდება, კერძოდ: სუფთა ჰაერის მიწოდება ხდება გადასარბენი გვირაბების სავენტილაციო ჭაურის ან ჭაურების საშუალებით, აღნიშნული ჰაერი გარკვეულწილად განიცდის ტემპერატურის მომატებას გადასარბენ გვირაბში არსებული მოწყობილობა დანადგარების მუშაობის შედეგად გამოყოფილი სითბური ენერჯის ხარჯზე და სადგურის ბაქანის სივრცეში ამგვარად ხდება შედარებით გამთბარი ჰაერის მიწოდება, ნამუშევარი ჰაერის გამოდევნა კი მეტროპოლიტენის სადგურებისათვის განკუთვნილი სავენტილაციო ჭაურებიდან ხორციელდება.

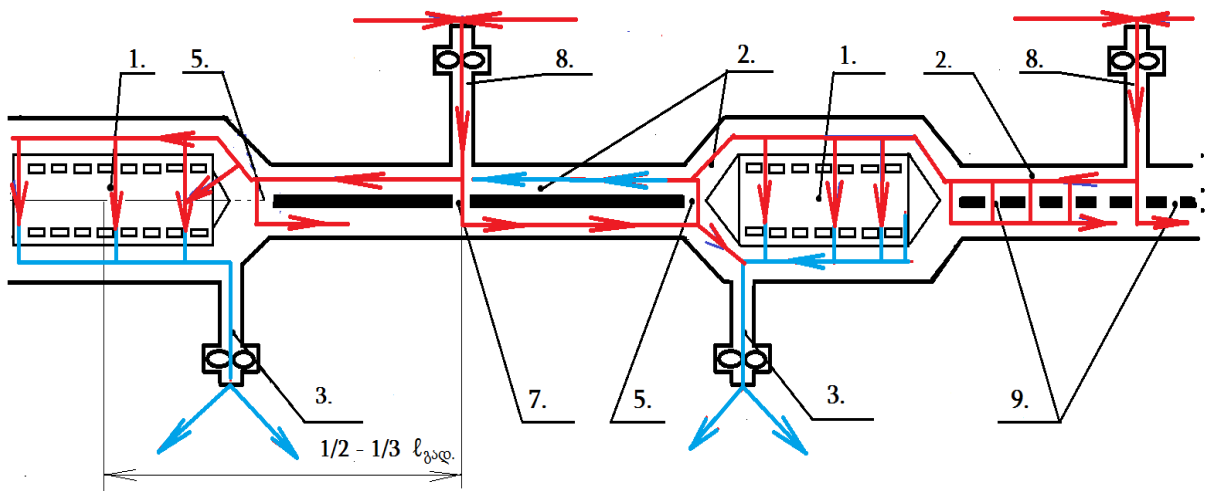
აღნიშნული მოდელის სავენტილაციო სისტემის მოწყობა შესაძლებელია ნებისმიერი კლიმატური პირობების შემთხვევაში, რომელიც წელიწადის თბილ პერიოდში უზრუნველყოფს მეტროპოლიტენის სადგურებში შედარებით გრილ და სასიამოვნო გარემოს, ხოლო წელიწადის ზამთრის პერიოდში კი შედარებით თბილ გარემოს, რაც დადებითად აისახება მგზავრებისა და მომსახურე პერსონალის გუნება-განწყობილობაზე და კომფორტზე. ასეთ სავენტილაციო სისტემებში, როგორც მეტროპოლიტენის სადგურისათვის ასევე გადასარბენი გვირაბებისათვის,



შესაბამის ლოკაციებზე, შესაძლებელია მოეწყოს სხვადასხვა რაოდენობის, სავენტილაციო ჭაურები.



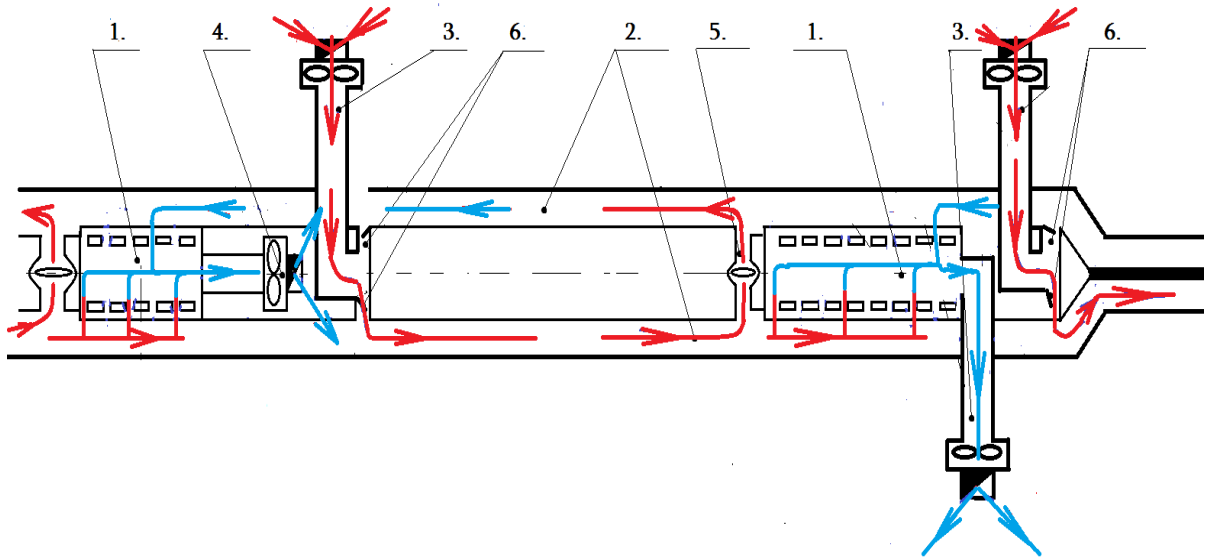
ნახ. 4. (ა) მეტროპოლიტენის, ჰაერის ხელოვნურად აღძვრის, რევერსიული ტიპის, სადგურზე და გადასარბენზე თითო-თითო სავენტილაციო ჭაურით აღჭურვილ სავენტილაციო სისტემის სქემა №-2. წელიწადის ცივი პერიოდისათვის, გადასარბენი გვირაბების ღრმა განლაგების შემთხვევაში



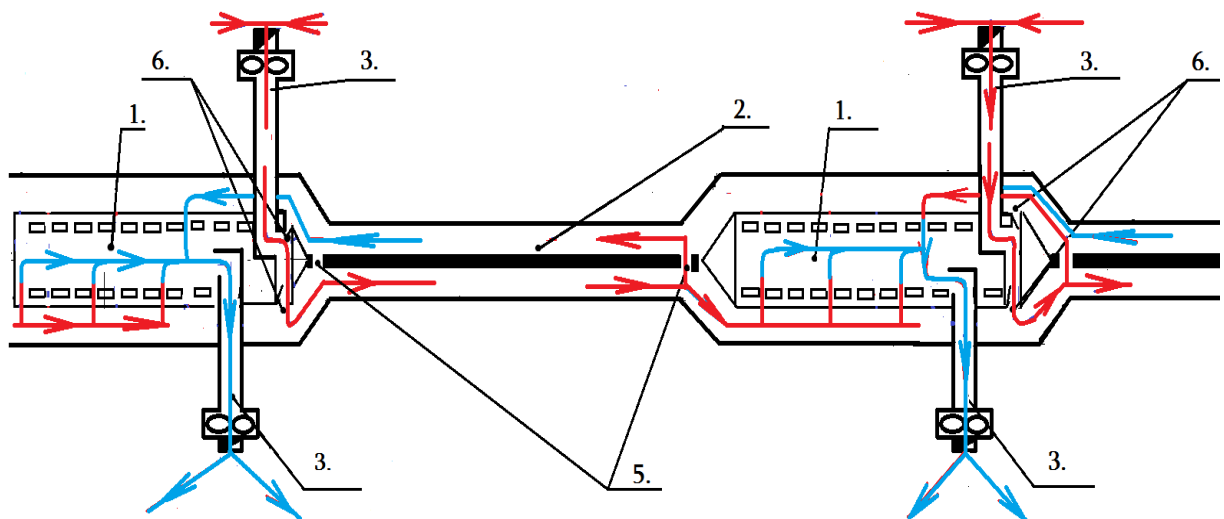
ნახ. 4. (ბ) მეტროპოლიტენის, ჰაერის ხელოვნურად აღძვრის, რევერსიული ტიპის, სადგურზე და გადასარბენზე თითო-თითო სავენტილაციო ჭაურით აღჭურვილ სავენტილაციო სისტემის სქემა №-2. წელიწადის ცივი პერიოდისათვის, გადასარბენი გვირაბების მიწის ზედაპირთან ახლო განლაგების შემთხვევაში

ნახ. 4. (ა; ბ; გ; დ)-ზე წარმოდგენილია მეტროპოლიტენის, ჰაერის ხელოვნურად აღძვრის რევერსიული ტიპის, სადგურის და გადასარბენის თითო-თითო სავენტილაციო ჭაურით აღჭურვილი სავენტილაციო სისტემის სქემა №-2.

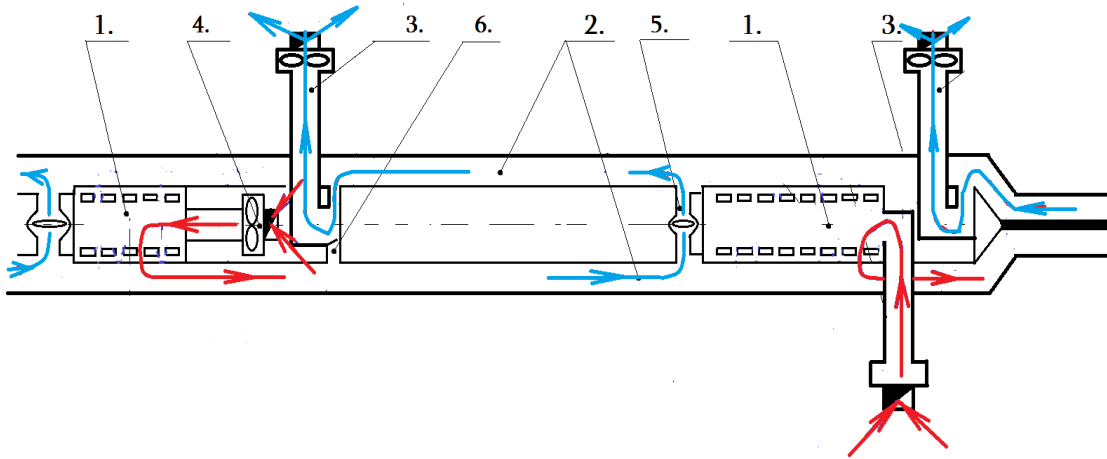
ნახ. 5. (ა; ბ; გ; დ)-ზე წარმოდგენილია მეტროპოლიტენის სადგურის ერთ-ერთ რომელიმე პორტალთან, ორ-ორი სავენტილაციო დანადგარით და შესაბამისად ორ-ორი სავენტილაციო ჭაურით აღჭურვილი სავენტილაციო სისტემის სქემა № 3 .



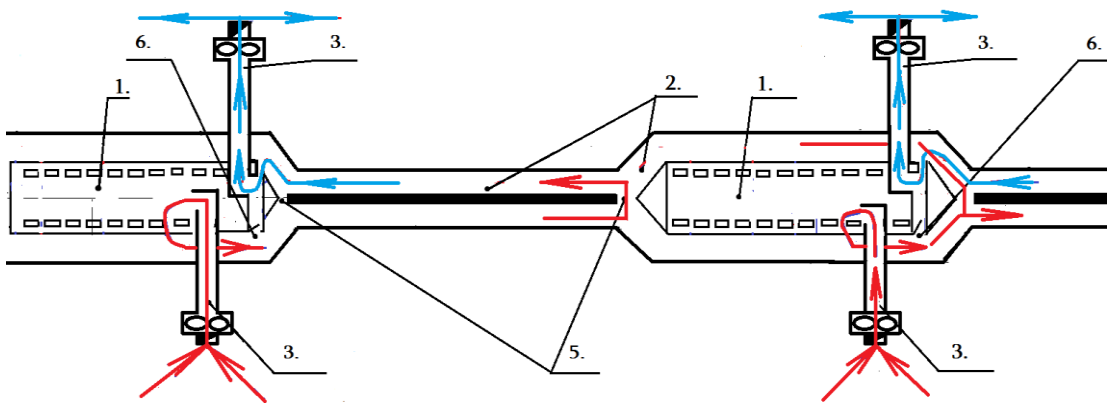
ნახ. 5. (ა) მეტროპოლიტენის, ჰაერის ხელოვნურად აღძვრის, რევერსიული ტიპის, სადგურის ერთ-ერთ რომელიმე პორტალთან, ორ-ორი სავენტილაციო ჭაურითა და შესაბამისად ორ-ორი სავენტილაციო დანადგარით აღჭურვილი სავენტილაციო სისტემის სქემა №-3. წელიწადის ცივი პერიოდისათვის, გადასარბენი გვირაბების ღრმა განლაგების შემთხვევაში



ნახ. 5. (ბ) მეტროპოლიტენის, ჰაერის ხელოვნურად აღძვრის, რევერსიული ტიპის, სადგურის ერთ-ერთ რომელიმე პორტალთან, ორ-ორი სავენტილაციო ჭაურითა და შესაბამისად ორ-ორი სავენტილაციო დანადგარით აღჭურვილი სავენტილაციო სისტემის სქემა №-3. წელიწადის ცივი პერიოდისათვის, გადასარბენი გვირაბების მიწის ზედაპირთან ახლო განლაგების შემთხვევაში



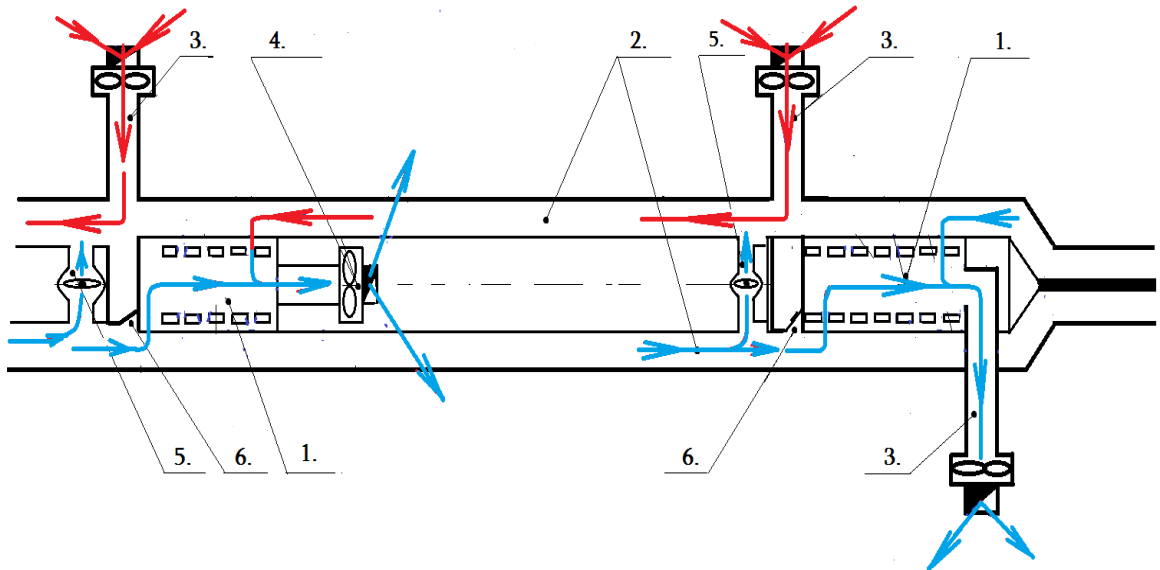
ნახ. 5. (გ) მეტროპოლიტენის, ჰაერის ხელოვნურად აღძვრის, რევერსიული ტიპის, სადგურის ერთ-ერთ რომელიმე პორტალთან, ორ-ორი სავენტილაციო ჭაურითა და შესაბამისად ორ-ორი სავენტილაციო დანადგარით აღჭურვილი სავენტილაციო სისტემის სქემა №-3. წელიწადის თბილი პერიოდისათვის, გადასარბენი გვირაბების ღრმა განლაგების შემთხვევაში



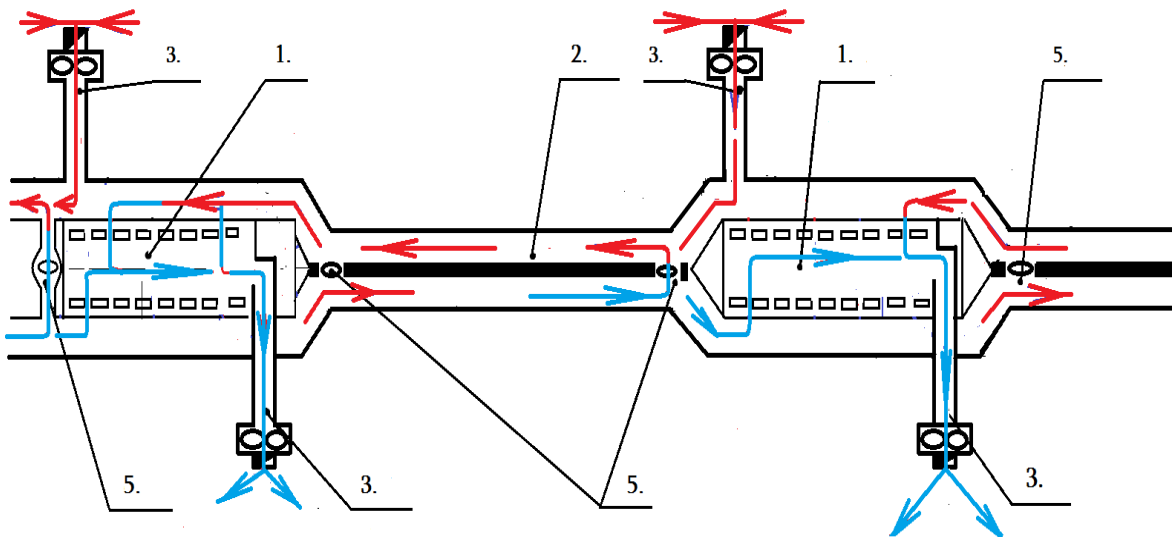
ნახაზი 5. (დ) მეტროპოლიტენის, ჰაერის ხელოვნურად აღძვრის, რევერსული ტიპის, სადგურის ერთ-ერთ რომელიმე პორტალთან, ორ-ორი სავენტილაციო ჭაურითა და შესაბამისად ორ-ორი სავენტილაციო დანადგარით აღჭურვილი სავენტილაციო სისტემის სქემა №-3. წელიწადის თბილი პერიოდისათვის, გადასარბენი გვირაბების მიწის ზედაპირთან ახლო განლაგების შემთხვევაში

1 - მეტროპოლიტენის სადგური; 2 - გადასარბენი გვირაბი; 3 - სადგურის სავენტილაციო ჭაური; 4 - ექსკალატორებისათვის განკუთვნილი დახრილი გვირაბის ქვედა სივრცეში განთავსებული სავენტილაციო არხი სავენტილაციო დანადგარით; 5 - სადგურის სივრცეში და აგრეთვე სადგურში ჩასასვლელ ამოსასვლელებთან, ორპირი ქარის წარმოქმნის თავიდან აცილების მიზნით, სადგურის პორტალებთან არსებული ე.წ. წნევის დამგდები გადასარბენი პარალელური გვირაბების შემართებული გვირაბები სავენტილაციო დანადგარით; 6 - გადამშვები სარქველები; ლურჯო ისრებით ნაჩვენებია ნამუშევარი ჰაერის ნაკადის მიმართულება; წითელი ისრებით ნაჩვენებია სუფთა ჰაერის ნაკადის მიმართულება

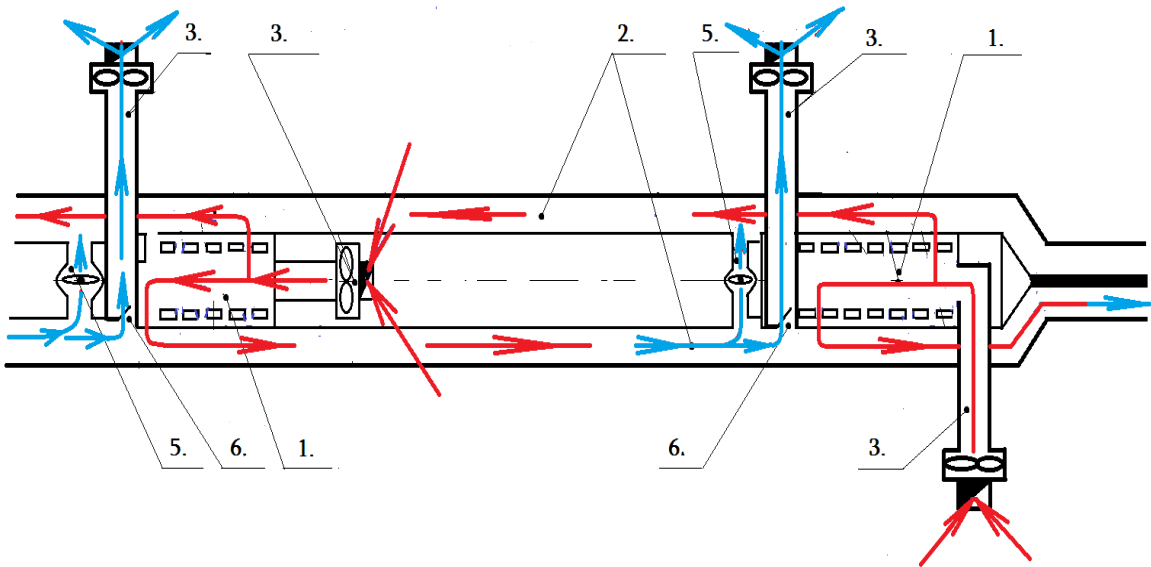
ნახ. 6. (ა; ბ; გ; დ)-ზე წარმოდგენილია მეტროპოლიტენის, სადგურის ორივე პორტალთან, თითო-თითო სავენტილაციო ჭაურითა და შესაბამისად თითო-თითო სავენტილაციო დანადგარით, აღჭურვილი სავენტილაციო სისტემის სქემა №-4.



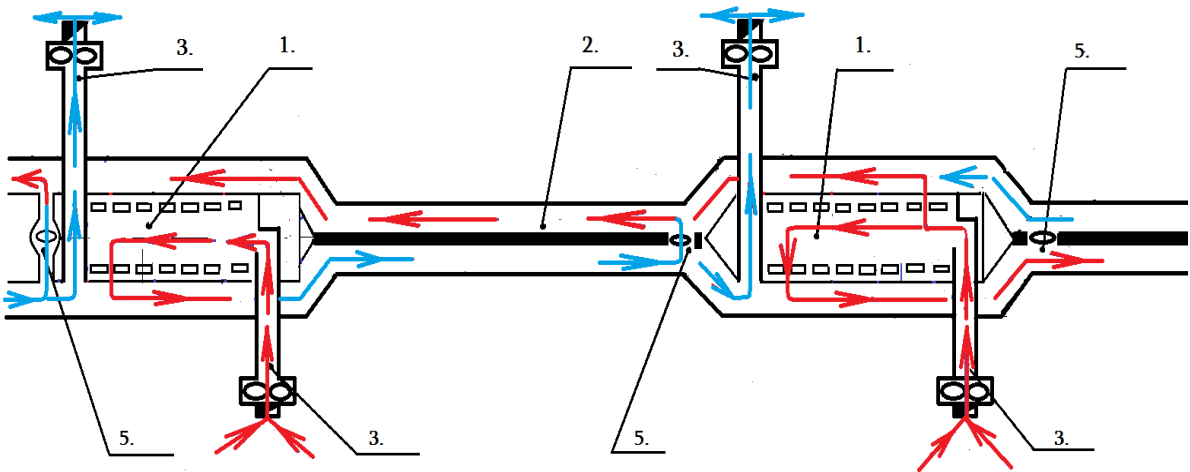
ნახ. 6. (ა) სადგურის ორივე პორტალთან, თითო-თითო სავენტილაციო ჭაურითა და შესაბამისად თითო-თითო სავენტილაციო დანადგარით, აღჭურვილი სავენტილაციო სისტემის სქემა №-4. წელიწადის ცივი პერიოდისათვის, გადასარბენი გვირაბების ღრმა განლაგების შემთხვევაში



ნახ. 6. (ბ) სადგურის ორივე პორტალთან, თითო-თითო სავენტილაციო ჭაურითა და შესაბამისად თითო-თითო სავენტილაციო დანადგარით აღჭურვილი სავენტილაციო სისტემის სქემა №-4. წელიწადის ცივი პერიოდისათვის, გადასარბენი გვირაბების მიწის ზედაპირთან ახლო განლაგების შემთხვევაში



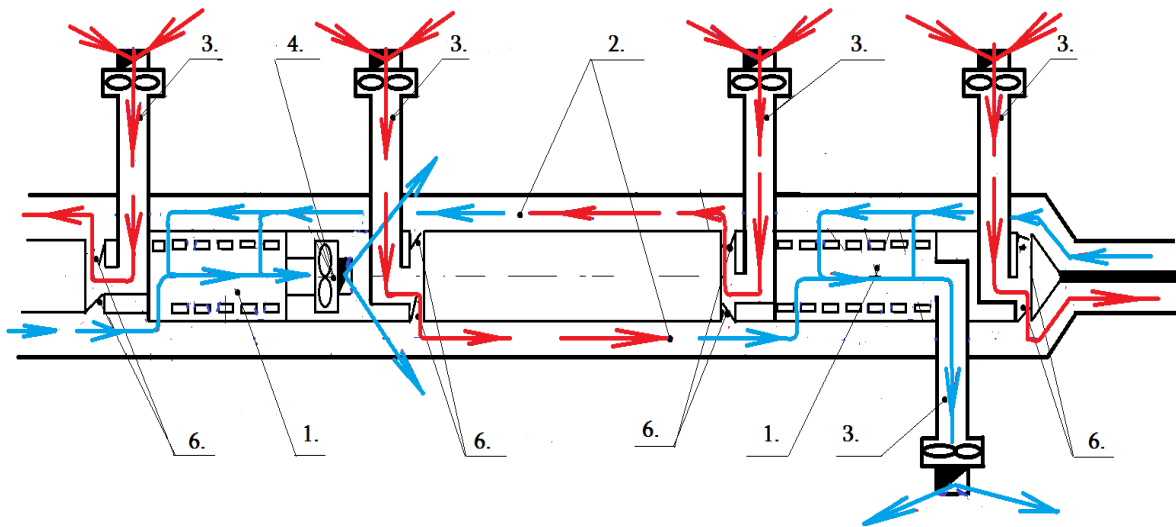
ნახ. 6 (გ) სადგურის ორივე პორტალთან, თითო-თითო სავენტილაციო ჭაურითა და შესაბამისად თითო-თითო სავენტილაციო დანადგარით აღჭურვილი სავენტილაციო სისტემის სქემა №-4. წელიწადის თბილი პერიოდისათვის, გადასარბენი გვირაბების ღრმა განლაგების შემთხვევაში



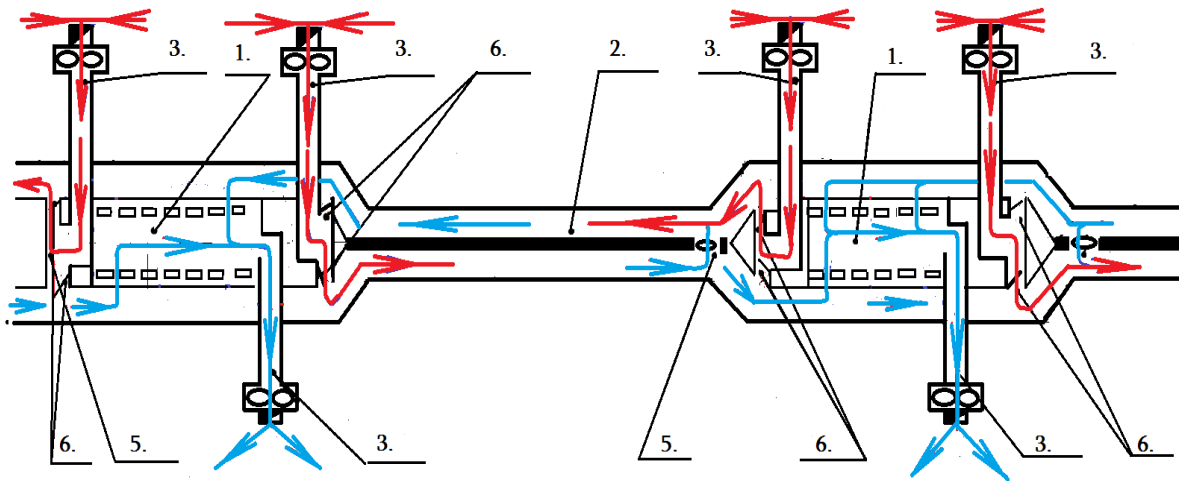
ნახ. 6. (დ) სადგურის ორივე პორტალთან, თითო-თითო სავენტილაციო ჭაურითა და შესაბამისად თითო-თითო სავენტილაციო დანადგარით აღჭურვილი სავენტილაციო სისტემის სქემა №-4. წელიწადის თბილი პერიოდისათვის, გადასარბენი გვირაბების მიწის ზედაპირთან ახლო განლაგების შემთხვევაში

1 - მეტროპოლიტენის სადგური; 2 - გადასარბენი გვირაბი; 3 - სადგურის სავენტილაციო ჭაური; 4 - ექსკალატორებისათვის განკუთვნილი დახრილი გვირაბის ქვედა სივრცეში განთავსებული სავენტილაციო არხი სავენტილაციო დანადგარით; 5 - სადგურის სივრცეში და აგრეთვე სადგურში ჩასასვლელ ამოსასვლელებთან, ორპირი ქარის წარმოქმნის თავიდან აცილების მიზნით, სადგურის პორტალებთან არსებული ე.წ. წნევის დამგდები გადასარბენი პარალელური გვირაბების შემაერთებელი გვირაბები სავენტილაციო დანადგარით; 6 - გადამშვები სარქველები; ლურჯი ისრებით ნაჩვენებია ნამუშევარი ჰაერის ნაკადის მიმართულება; წითელი ისრებით ნაჩვენებია სუფთა ჰაერის ნაკადის მიმართულება. გადასარბენი გვირაბის სავენტილაციო ჭაური

ნახ. 7. (ა; ბ; გ; დ)-ზე წარმოდგენილია მეტროპოლიტენის, სადგურის პორტალთან, სამი სავენტილაციო ჭაურითა და შესაბამისად სამი სავენტილაციო დანადგარით, აღჭურვილი სავენტილაციო სისტემის სქემა №-5.

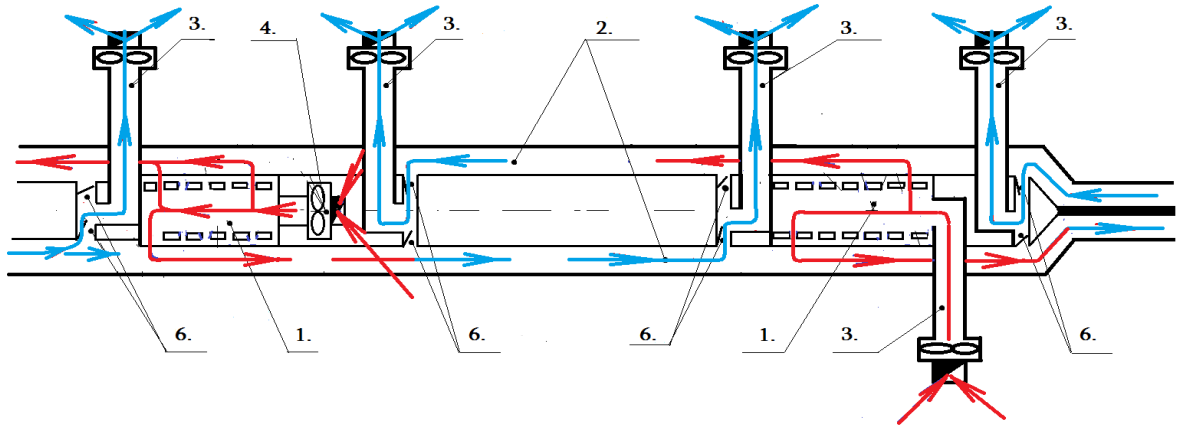


ნახ. 7. (ა) სადგურის პორტალთან, სამი სავენტილაციო ჭაურითა და შესაბამისად სამი სავენტილაციო დანადგარით აღჭურვილი სავენტილაციო სისტემის სქემა №-5. წელიწადის ცივი პერიოდისათვის, გადასარბენი გვირაბების ღრმა განლაგების შემთხვევაში

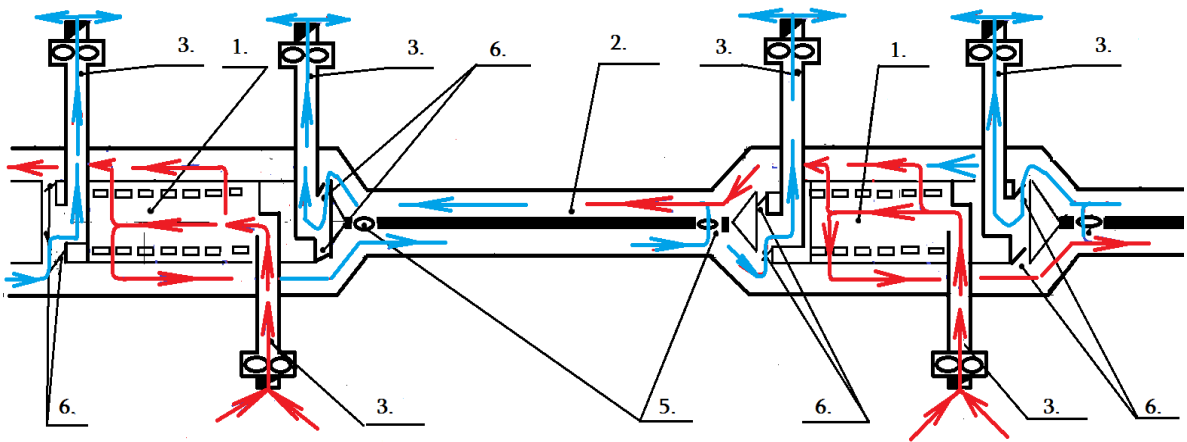


ნახ. 7. (ბ) სადგურის პორტალთან, სამი სავენტილაციო ჭაურითა და შესაბამისად სამი სავენტილაციო დანადგარით აღჭურვილი სავენტილაციო სისტემის სქემა №-5. წელიწადის ცივი პერიოდისათვის, გადასარბენი გვირაბების მიწის ზედაპირთან ახლო განლაგების შემთხვევაში

მოყვანილ სავენტილაციო სისტემების სქემების მიხედვით, წელიწადის თბილი პერიოდის განმავლობაში სუფთა ჰაერის მიწოდება სადგურთან არსებული სავენტილაციო ჭაურის საშუალებით ხორციელდება და ნამუშევარი ჰაერის გამოდევ-



ნახ. 7. (გ) სადგურის პორტალებთან, სამი სავენტილაციო ჭაურითა და შესაბამისად სამი სავენტილაციო დანადგარით აღჭურვილი სავენტილაციო სისტემის სქემა №-5. წელიწადის თბილი პერიოდისათვის, გადასარბენი გვირაბების ღრმა განლაგების შემთხვევაში



ნახ. 7. (დ) სადგურის პორტალებთან, სამი სავენტილაციო ჭაურითა და შესაბამისად სამი სავენტილაციო დანადგარით აღჭურვილი სავენტილაციო სისტემის სქემა №-5. წელიწადის თბილი პერიოდის შემთხვევაში, გადასარბენი გვირაბების მიწის ზედაპირთან ახლო განლაგების შემთხვევაში

1 - მეტროპოლიტენის სადგური; 2 - გადასარბენი გვირაბი; 3 - სადგურის სავენტილაციო ჭაური; 4 - ექსკალატორებისათვის განკუთვნილი დახრილი გვირაბის ქვედა სივრცეში განთავსებული სავენტილაციო არხი სავენტილაციო დანადგარით; 5 - სადგურის სივრცეში და აგრეთვე სადგურში ჩასასვლელ ამოსასვლელებთან, ორპირი ქარის წარმოქმნის თავიდან აცილების მიზნით, სადგურის პორტალებთან არსებული ე.წ. წნევის დამგდები გადასარბენი პარალელური გვირაბების შემართებული გვირაბები სავენტილაციო დანადგარით; 6 - გადამშვები სარქველები; ლურჯი ისრებით ნაჩვენებია ნამუშევარი ჰაერის ნაკადის მიმართულება; წითელი ისრებით ნაჩვენებია სუფთა ჰაერის ნაკადის მიმართულება

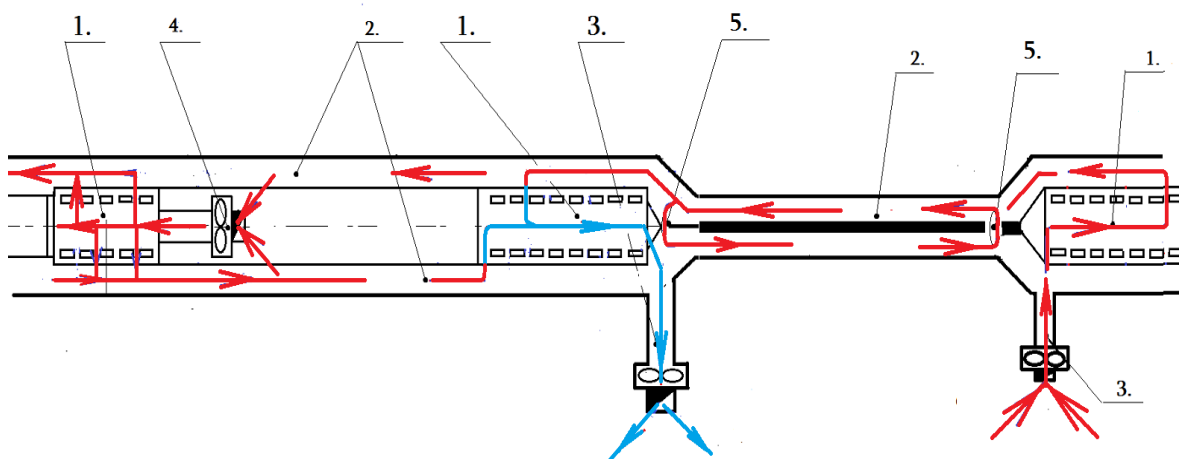


ნა კი გადასარბენზე არსებული სავენტილაციო ჭაურით- ნახ. 4.; სქემა №-2, ამ უკანასკნელის არ არსებობის შემთხვევაში კი მომიჯნავე სადგურთან არსებული სავენტილაციო ჭაურის საშუალებით ნახ.5.; სქემა №-3. წელიწადის ცივი პერიოდის შემთხვევაში ჰაერის ნაკადი რევერსირდება.

არარევერსირებადი სავენტილაციო სისტემების გამოყენება, ისეთ კლიმატურ პირობებში სადაც წელიწადის ყველაზე ცივ თვეში ჰაერის ტემპერატურა  $T_{\text{წ.ც.თ}} > 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , წელიწადის ცივ პერიოდში შესაძლებელს ხდის მეტროპოლიტენის სადგურებსა და გადასარბენი გვირაბების უფრო მეტად გაგრილებას, ვიდრე ეს სანიტარული ნორმებით არის დასაშვები ( $T_{\text{სად}} \geq 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), წელიწადის ცივ პერიოდში იზრდება სუფთა ჰაერის ხარჯი (დაახლოებით 35 % ით) წელიწადის თბილ პერიოდთან შედარებით, ამიტომ სავენტილაციო სისტემების სიმძლავრეები უნდა განისაზღვროს წელიწადის ცივი პერიოდის პირობებისათვის.

არარევერსიული სავენტილაციო სისტემების სქემები №-6; №-7; №-8 გამოსახულია შესაბამისად ნახ. 8.; ნახ. 9.; ნახ. 10.-ზე.

ნახ. 8.-ზე წარმოდგენილია ჰაერის ხელოვნურად აღძვრის, არარევერსიული ტიპის, სადგურებთან თითო სავენტილაციო ჭაურით აღჭურვილი სავენტილაციო სისტემის სქემა №-6. აღნიშნული სქემის პირობებში სავენტილაციო ჭაურები აღჭურვილია სავენტილაციო დანადგარებით.

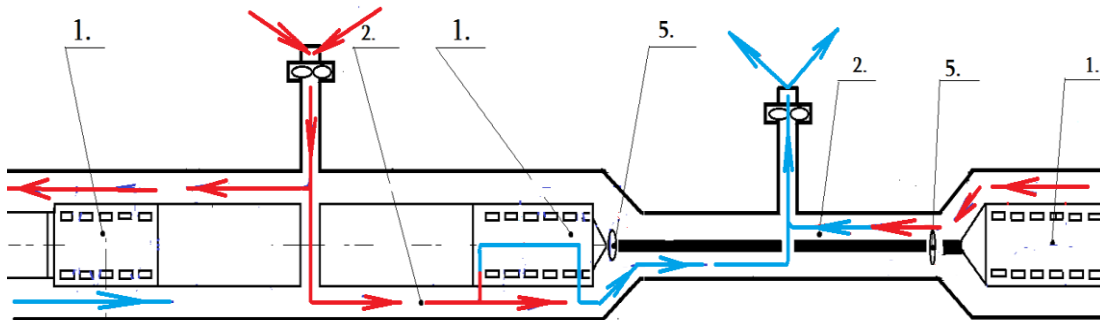


**ნახ. 8. ჰაერის ხელოვნურად აღძვრის, არარევერსიული ტიპის, სადგურებთან თითო სავენტილაციო ჭაურით აღჭურვილი სავენტილაციო სისტემის სქემა №-6. (ღრმა და არაღრმა განლაგების გვირაბების შემთხვევაში)**

1 - მეტროპოლიტენის სადგური; 2 - გადასარბენი გვირაბი; 3 - სადგურის სავენტილაციო ჭაური; 4 - ექსკალატორებისათვის განკუთვნილი დახრილი გვირაბის ქვედა სივრცეში განთავსებული სავენტილაციო არხი სავენტილაციო დანადგარით; 5- სადგურის სივრცეში და აგრეთვე სადგურში ჩასასვლელ ამოსასვლელებთან, ორპირი ქარის წარმოქმნის თავიდან აცილების მიზნით, სადგურის პორტალებთან არსებული ე.წ. წნევის დამგდები გადასარბენი პარალელური გვირაბების შემაერთებელი გვირაბები სავენტილაციო დანადგარით



აღნიშნული სავენტილაციო სქემის მიხედვით, სუფთა ჰაერის მიწოდება ხორციელდება სადგურის სავენტილაციო ჭაურის ან ექსკალატორებისათვის განკუთვნილი დახრილი გვირაბების ქვედა სივრცეში განთავსებული სავენტილაციო არხების საშუალებით, ხოლო ნამუშევარი ჰაერის ატმოსფეროში დაბრუნება კი მომდევნო სადგურის სავენტილაციო ჭაურიდან. ასეთი სქემის სავენტილაციო სისტემებს გამოიყენებენ ისეთ ადგილებში სადაც  $T_{\text{ვ.ტ}} > 0^{\circ}\text{C}$  და გადასარბენი გვირაბის სიგრძე შეადგენს 500- 750 მ.



**ნახ. 9. ჰაერის ხელოვნურად აღძვრის, არარევერსიული ტიპის, მხოლოდ გადა-სარბენ გვირაბებთან თითო სავენტილაციო ჭაურით აღჭურვილი სავენტილაციო სისტემის სქემა №-7. (ღრმა და არაღრმა განლაგების გვირაბების შემთხვევაში)**

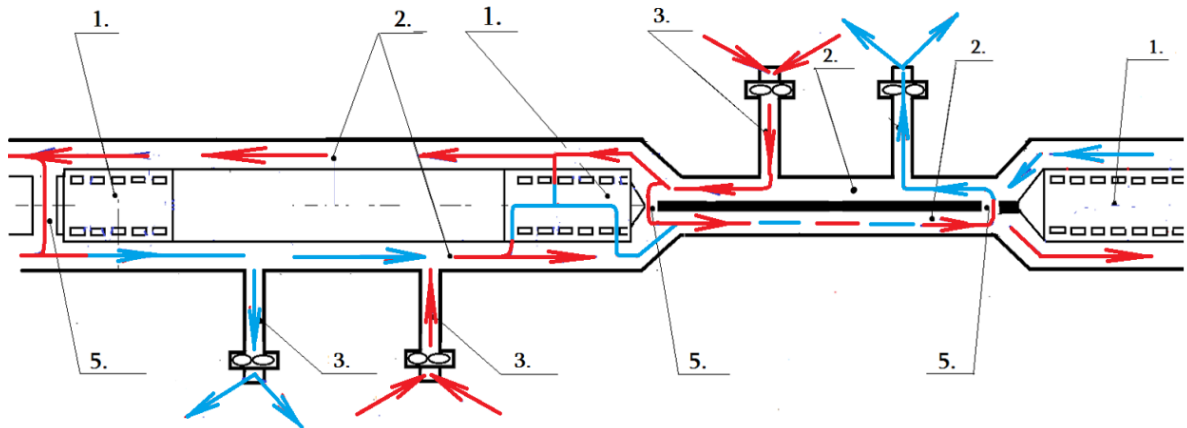
1 - მეტროპოლიტენის სადგური; 2 - გადასარბენი გვირაბი; 3 - სადგურის სავენტილაციო ჭაური; 4 - ექსკალატორებისათვის განკუთვნილი დახრილი გვირაბის ქვედა სივრცეში განთავსებული სავენტილაციო არხი სავენტილაციო დანადგარით; 5 - სადგურის სივრცეში და აგრეთვე სადგურში ჩასასვლელ ამოსასვლელებთან, ორპირი ქარის წარმოქმნის თავიდან აცილების მიზნით, სადგურის პორტალებთან არსებული ე. წ. წნევის დამგდები გადასარბენი პარალელური გვირაბების შემაერთებელი გვირაბები სავენტილაციო დანადგარით

ნახ. 9.-ზე წარმოდგენილია ჰაერის ხელოვნურად აღძვრის, არარევერსიული ტიპის, მხოლოდ გადასარბენ გვირაბებთან თითო სავენტილაციო ჭაურით აღჭურვილი სავენტილაციო სისტემის სქემა №-7. აღნიშნული სქემის პირობებში სავენტილაციო ჭაურები აღჭურვილია სავენტილაციო დანადგარებით.

მოცემული სავენტილაციო სისტემის სქემის მიხედვით სუფთა ჰაერი მიეწოდება ერთ-ერთი გადასარბენი გვირაბის სავენტილაციო ჭაურით, ხოლო ნამუშევარი ჰაერი გამოიძევება მომდევნო გადასარბენ გვირაბთან მოწყობილ სავენტილაციო ჭაურიდან.

ნახ. 10.-ზე წარმოდგენილია ჰაერის ხელოვნურად აღძვრის, არარევერსიული ტიპის, მხოლოდ გადასარბენ გვირაბებთან ორი სავენტილაციო ჭაურით აღჭურვილი სავენტილაციო სისტემის სქემა №-8, რომლის დროსაც სავენტილაციო ჭაურები აღჭურვილია სავენტილაციო დანადგარებით.

№-8 სავენტილაციო სისტემის სქემის მიხედვით თითო გადასარბენ გვირაბზე განთავსებულია ორი სავენტილაციო ჭაური, რომელთაგან ერთით, რომელიც მატარებლის მოძრაობის მიმართულების მიხედვით რიგით მეორეა, ხორციელდება სუფთა ჰაერის მიწოდება გვირაბის სივრცეში, ხოლო ნამუშევარი ჰაერის ატმოსფეროში დაბრუნება კი მომდევნო გადასარბენ გვირაბში რიგით პირველი სავენტილაციო ჭაორის საშუალებით ხორციელდება.



**ნახ. 10.** ჰაერის ხელოვნურად აღძვრის, არარევერსიული ტიპის, მხოლოდ გადა-სარბენ გვირაბებთან ორი სავენტილაციო ჭაურით აღჭურვილი სავენტილაციო სისტემის სქემა №-8

1 - მეტროპოლიტენის სადგური; 2 - გადასარბენი გვირაბი; 3 - სადგურის სავენტილაციო ჭაური; 4 - ექსკალატორებისათვის განკუთვნილი დახრილი გვირაბის ქვედა სივრცეში განთავსებული სავენტილაციო არხი სავენტილაციო დანადგარით; 5- სადგურის სივრცეში და აგრეთვე სადგურში ჩასასვლელ ამოსასვლელებთან, ორპირი ქარის წარმოქმნის თავიდან აცილების მიზნით, სადგურის პორტალებთან არსებული ე.წ. წნევის დამგდები გადასარბენი პარალელური გვირაბების შემაერთებელი გვირაბები სავენტილაციო დანადგარით

სავენტილაციო სისტემების №2 და №5 (ნახ. 4.; ნახ. 7.) შემთხვევაში, მიწოდებული სუფთა ჰაერი ანიავებს გვირაბის გარკვეულ ნაწილს, შემდეგ კი გამოიდევენბა გარეთ. ეს გარემოება ამცირებს ვენტილაციის ეფექტს. გვირაბის დანარჩენი ნაწილი ნიავედება შიგა ცირკულირებადი ჰაერით (დგუმის ეფექტის საშუალებით), რომელიც წინასწარ იწმინდება და გრილდება გარე ჰაერთან შერევის ხარჯზე. აქედან გამომდინარე, ასეთი ვენტილაციის შემთხვევაში გვირაბებში ჰაერის ტემპერატურა შედარებით მაღალია, ვიდრე იმ გვირაბებში რომლებიც მხოლოდ გარე ატმოსფერული ჰაერით ნიავედება.

სავენტილაციო სისტემებში №3 ; №4 ; №6 და №8 (ნახ. 5.; ნახ. 6.; ნახ. 8.; ნახ. 10.) გათვალისწინებულია გვირაბების სრული განიავება უშუალოდ ატმოსფერული სუფთა ჰაერით, რაც სრულად მიიღწევა №4 და №8 სავენტილაციო სისტემებში (ნახ. 6.; ნახ. 10.), ხოლო № 3 და № 6 (ნახ. 5.; ნახ. 8.) სავენტილაციო სისტემებში ატმოსფერული სუფთა ჰაერით მთელი გვირაბის დაახლოებით 85%- ის განიავება გრძივი სქემით ხდება. № 3 და № 6 სავენტილაციო სისტემებში საცირკულაციო ვენტილა-

ტორებით აღჭურვილი ჰაერის წნევის დამგდებები უზრუნველყოფენ გვირაბის მთელ სიგრძეზე სუფთა ჰაერის მიწოდებას. ასეთი ჰაერის მიწოდება გამორიცხავს მესამე სავენტილაციო ჰაერის გამოყენების აუცილებლობას, როგორც ეს იყო წარმოდგენილი №4 სავენტილაციო სისტემის სქემაში (ნახ. 6.). ეს გარემოება ამცირებს კაპიტალურ დანახარჯებს მეტროპოლიტენში ვენტილაციის მოწყობისას.

იმ შემთხვევაში როდესაც მეტროპოლიტენის სადგური მიწის ზედაპირთან ახლოს არის განლაგებული, ხოლო გადასარბენი გვირაბები ერთმანეთისაგან კედლით არის გამიჯნული, საჭიროა მოეწყოს ცირკულირებადი ჰაერის წნევის დამგდებები, როგორც ეს ბუნებრივი ვენტილაციის გვირაბებშია გათვალისწინებული. გვირაბების ღრმა განლაგების შემთხვევაში, სადაც მგზავრების გამოსასვლელ-შესასვლელები მნიშვნელოვნად არის დაშორებული გადასარბენი გვირაბებიდან, ჰაერის მოძრაობით განპირობებული ორპირი ქარი მნიშვნელოვნად არის შემცირებული. აქედან გამომდინარე, ღრმა განლაგების გვირაბების შემთხვევაში ცირკულირებადი ჰაერის წნევის დამგდებების გამოყენება აღარ არის მიზანშეწონილი, როგორც ეს იყო საჭირო მიწის ზედაპირთან გვირაბების ახლოს განლაგების შემთხვევაში.

## 1. 2. მეტროპოლიტენის სავენტილაციო სისტემებზე წაყენებული მოთხოვნები

მეტროპოლიტენების სავენტილაციო სისტემებს, გარდა მათი პირდაპირი დანიშნულებისა, რაც მეტროპოლიტენის სადგურებსა და გვირაბებში ნორმალური მეტეოროლოგიური პირობების უზრუნველყოფა, ჰაერის ნორმალური ქიმიური შედგენილობის შექმნა-შენარჩუნება და წარმოქმნილი მავნე ნივთიერებების უსაფრთხო კონცენტრაციამდე დაყვანა და ატმოსფეროში გამოდევნა წარმოადგენს, წაყენება ასევე მოთხოვნა, რომ საგანგებო სიტუაციების ინიცირებისა და განვითარების შემთხვევაში (ხანძრის გაჩენა, აეროზოლური ტერორისტული შეტევა და სხვა) იმუშაოს გამართულად საიმედოდ და ვითარების შესაბამის რეჟიმში.

XXI საუკუნეში კაცობრიობა ახალი გამოწვევების წინაშე აღმოჩნდა, მსოფლიოში საკმაოდ მომძლავრდნენ ტერორისტული ორგანიზაციები, როგორც ფინანსურად, ასევე არსებული თანამედროვე ტექნოლოგიების ბოროტად გამოყენების შესაძლებლობით. ისინი განუწყვეტლივ ცდილობენ და ახორციელებენ თავდასხმებს მსოფლიოს სხვადასხვა ქვეყნებში, ადამიანების მასობრივ თავშეყრის ადგილებში და ეკონომიკის მნიშვნელოვან ობიექტებზე.

მეტროპოლიტენი კი წარმოადგენს როგორც მოსახლეობის მასიურ თავშეყრის ადგილს, ასევე ეკონომიკის მნიშვნელოვან ობიექტსაც. აქედან გამომდინარე, საკმაოდ მაღალი რისკი არსებობს იმისა, რომ მოხდეს აეროზოლური ტერორისტული შე-

ტევა, რაც გამოიხატება მომწამლავი აეროზოლების გავრცელების შესაძლებლობაში მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში.

დასმული პრობლემის არსი ისაა, რომ მეტროპოლიტენის სავენტილაციო სისტემების ფუნქციონირებისათვის გამოყენებული ტექნოლოგიები, თავისი ტექნიკური საშუალებებით, მომწამლავი აირებისა და პათოგენური მიკრობების შეღწევისა და გავრცელების პოტენციურ საფრთხეს შეიცავს. მეტროპოლიტენის სავენტილაციო სისტემების არსებული არცერთი მოდელი არ არის საკმარისად მოქნილი ეფექტური მართვისთვის და ვერ უზრუნველყოფს სისტემის მუშაობის სქემის ან პარამეტრების მყისიერ ცვლილებას ვითარების შესაბამისად.

მაშასადამე, არ არის მზად, რომ თავიდან აიცილოს ხანძრის ინიცირებისა და განვითარების შემთხვევაში წარმოქმნილი ტოქსიკური აირების ან აეროზოლური ტერორისტული შეტევისას მომწამლავი აეროზოლების გავრცელება მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში.

ამგვარად, მნიშვნელოვანია მეტროპოლიტენის სავენტილაციო სისტემების ტექნოლოგიური სისუსტეების და ხარვეზების დადგენა და შესაბამისი რეკომენდაციების შემუშავება, რომლებიც საგანგებო სიტუაციების ინიცირებისა და განვითარების შესაძლებლობებს მაქსიმალურად შეამცირებს ან სრულად გამორიცხავს.

მაშასადამე, მეტროპოლიტენის სავენტილაციო სისტემის მუშაობის ძირითადი მიზანია უზრუნველყოს სუფთა ჰაერის მიწოდება მიწისქვეშა სივრცეში. აღნიშნული სავენტილაციო სისტემების ფუნქციონირებისას ჰაერის ნაკადების აღძვრა ხელოვნური ან ბუნებრივი წევის შედეგად ხორციელდება. ამ უკანასკნელს კი კაცობრიობა უხსოვარი დროიდან იყენებს და შეიძლება ითქვას, რომ ვენტილაციის ტექნოლოგიების განვითარება სათავეს იმ პერიოდიდან იღებს.

ამრიგად, დარგი უძველესია, ტექნოლოგია კი ტრადიციული. ჰაერის ნაკადის ხელოვნურად აღძვრის დანადგარების შექმნასთან ერთად ტექნოლოგიებიც შესაბამისად იცვლებოდა, მაგრამ არსებითად და შინაარსობრივად შეიძლება ითქვას, რომ მნიშვნელოვანი პროგრესი არ განუცდია და ეს ასეც იყო მოსალოდნელი, რადგანაც არ შეცვლილა წაყენებული მოთხოვნები- „ მიაწოდოს მიწისქვეშა სივრცეში საჭირო რაოდენობის სუფთა ჰაერი ყველაზე ეკონომიური გზით“.

აღსანიშნავია, რომ ამ ნაშრომში წარმოჩენილი პრობლემა და შესაბამისად დასმული ამოცანა მხოლოდ უახლოეს წარსულისათვის გახდა აქტუალური, როგორც საზოგადოების, ასევე სამეცნიერო წრეებისათვის, რადგან მანამდე ბუნებაში არ არსებობდა მეტროპოლიტენში, აეროზოლური ტერორისტული შეტევის არანაირი საფრთხე და საშიშროება. აქედან გამომდინარე, აღნიშნული საკითხი დახურული იყო.

ქ. ტოკიოს მეტროპოლიტენში მომხდარი ინციდენტმა პრობლემა წინა პლანზე წამოსწია, დაისვა შესაბამისი კითხვები და გაჩნდა საკითხის გადაჭრის აუცილებლობა. ცხადი გახდა, რომ მეტროპოლიტენის სავენტილაციო სისტემები ტექნოლოგიურად არ აღმოჩნდა მზად, რომ თავიდან აერიდებინა აეროზოლური ტერორისტული შეტევა და ასევე დამდგარი შედეგები.

მეტროპოლიტენის სავენტილაციო სისტემების ტექნოლოგიური ხარვეზების გამო ჩვენი აზრით, საკმაოდ მაღალი ალბათობით შესაძლებელია აეროზოლური ტერაქტის განხორციელება მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში ჩაუსვლელად. ხარვეზში ის კი არ იგულისხმება, რომ შეუძლებელია მიწისქვეშა სივრცეების ეფექტური განიავება, არამედ ის, რომ არსებული სავენტილაციო ტექნოლოგიები არ არიან მზად საბოტაჟისა და გარეგანი თავდასხმის ასაცილებლად, სისტემას არ შეუძლია აღიქვას ფეთქებადი, მომწამლავი ნივთიერებები, პათოგენური მიკრობები, რათა აღკვეთოს მათი მოხვედრა მიწისქვეშა სივრცეში.

მაშასადამე, როგორი კარგი შემუშავებულიც არ უნდა იყოს ვენტილაციის აეროდინამიკის ფუნდამენტური საკითხები, მეტროპოლიტენის სავენტილაციო სისტემები ვერ უზრუნველყოფენ საბოტაჟსა და გარედან თავდასხმის აცილებას და სუფთა ჰაერის მიწოდების ნაცვლად, შეიძლება ხელი შეუწყოს მიწისქვეშა სივრცეში არსებული მგზავრებისა და მომსახურე პერსონალის ინტოქსიკაციასა და განადგურებას.

აქედან გამომდინარე, საქმე გვაქვს ახალ ამოცანასთან და შესაბამისად მეტროპოლიტენის სავენტილაციო სისტემებზე წაყენებული მოთხოვნები შეიძლება შემდეგნაირად ჩამოვაყალიბოთ: უზრუნველყოს მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში ჰაერის ნორმალური ქიმიური შედგენილობის შექმნაშენარჩუნება, ჰაერის ნორმალური მიკროლიმატის შექმნა-შენარჩუნება, ნამუშევარი ჰაერის ატმოსფეროში დაბრუნება და ტექნოლოგიურად უნდა გამოირიცხოს ტოქსიკური ნივთიერებების, პათოგენური მიკრობების მოხვედრა და გავრცელება მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში.

### 1. 3. მეტროპოლიტენის სადგურების ვენტილაცია

მეტროსადგურები წარმოადგენს ძირითადი ნაგებობების ერთ-ერთ მთავარ და მნიშვნელოვან შემადგენელ ნაწილს, რის საშუალებითაც, მოძრავ შემადგენლობაში მგზავრების ჩასხდომა გადმოსხდომა, აგრეთვე მეტროპოლიტენის ერთი ხაზიდან მეორე ხაზზე გადასვლა ხორციელდება. მსოფლიოს უმეტეს ქვეყნებში და ასევე ჩვენს ქვეყანაში, მეტროპოლიტენებში ხაზების მიწისქვეშით განლაგებით, ერთბაშად ნიან სადგურებს ენიჭებათ უპირატესობა. ასეთ სადგურებში ბაქანი მეტროპოლი-

ტენის ორ ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულების ხაზებს შორის მდებარეობს. მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სადგურების აგება, გადასარბენი ხაზების მიწის ზედაპირთან ახლო განლაგების შემთხვევაში, ძირითადად ღია წესით ხორციელდება: კერძოდ, როგორც გადასარბენი გვირაბების შემთხვევაში, წინასწარ პროექტით გათვალისწინებულ ნიშნულამდე ხდება მიწის მასის მოხსნა, სადაც განათავსებენ წინასწარ რკინაბეტონისაგან დამზადებულ კონსტრუქციებს, რომელსაც ისევ გრუნტის მასით ფარავენ. ასეთი წესით აგებული მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სადგურები ძირითადად სამშალიანი კონსტრუქციებისგან შედგება: შუაგვირაბი და ორი გვერდითი გვირაბი თავისი ჩასასხდომი ბაქანით, რომლითაც დაკავშირებულია სადგურში ჩასასვლელ-ამოსასვლელი კიბის უჯრედით ან ექსკალატორისათვის განკუთვნილი დახრილი გვირაბით, სალაროების სივრცესთან.

გადასარბენი გვირაბების ღრმად განლაგების შემთხვევაში, ნიადაგის ჰიდროგეოლოგიიდან გამომდინარე, მეტროპოლიტენის სადგურის აგება რკინაბეტონის ტუბინგების გამოყენებით ხორციელდება. ასეთი მეთოდით ძირითადად სამთლიანი პილონური ან კოლონური ტიპის მიწისქვეშა სადგურების აგება ხორციელდება. ასეთ სადგურებში მოძრავშემადგენლობაში ჩასასხდომი გადმოსასხდომი ბაქანი სალაროების სივრცესთან ექსკალატორების საშუალებით არის დაკავშირებული. ექსკალატორები კი მოწყობილია სპეციალურად აგებულ ექსკალატორებისათვის განკუთვნილ დახრილ გვირაბში.

მეტროპოლიტენის აღნიშნული სეგმენტის ნორმალურად და სრულფასოვნად ფუნქციონირებისათვის განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია სადგურის სავენტილაციო სისტემის გამართული და საიმედო ფუნქციონირება. როგორც ავღნიშნეთ ჰაერის ნაკადის ხელოვნურად აღძვრის სავენტილაციო სისტემის გამოყენებისას გადასარბენი გვირაბების და მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სადგურების ვენტილაცია ერთდროულად ხორციელდება, აქედან გამომდინარე, სადგურებს მიეწოდება და შემდეგ გამოიდევენება შედარებით მეტი რაოდენობა ჰაერისა, ვიდრე საჭიროა სადგურის განიავებისათვის. როდესაც გადასარბენი გვირაბების სიგრძე აღემატება 2200 მ და მატარებლების მოძრაობის ინტენსიურობა მაღალია, სავენტილაციო ჰაერის ხარჯი 450000 მ<sup>3</sup>/სთ-მდე აღწევს. მატარებლების გვირაბში მოძრაობისას, დგუშის ეფექტის შედეგად აღძრული ჰაერის ნაკადი ერევა სავენტილაციო ჰაერის ძირითად ჭავლს და გადაადგილდება გვირაბების გასწვრივ.

კოლონური ტიპის მეტროს სადგურებში, გვირაბების როგორც ღრმა, ისე მიწის ზედაპირთან ახლო განლაგებით, ვენტილაცია საკმაოდ ეფექტურად ხორციელდება ორი ურთიერთსაპირისპირო მიმართულების ჰაერის ნაკადის ურთიერთზემოქმედებით, რომელიც აღიძვრება გვირაბებში, მატარებლების მოძრაობისას დგუშური ეფექტის შედეგად. ასეთი ტიპის მეტროს სადგურის ჰოლის შუა ნაწილში აღინიშნება ჰაერის განივი მიმართულებით მოძრაობა, რაც დადებითად აისახება სადგურის ვენტილაციაზე.

პილონური ტიპის მეტროს სადგურებში პილონების კონსტრუქცია ხელს უშლის ჰაერის ნაკადის განივ მოძრაობას, რაც მკვეთრად ამცირებს სადგურის ჰოლის შუა ნაწილის განიავების ეფექტურობას. ასეთ სადგურებში, განსაკუთრებით იმ შემთხვევაში, როდესაც საქმე გვაქვს სხვადასხვა ხაზზე გადასაჯდომ სადგურებთან, სადაც მგზავრთა ნაკადი განსაკუთრებულად დიდია, საჭიროა სუფთა ჰაერის მიწოდება უშუალოდ სადგურის ჰოლის ცენტრალურ სივრცეში, სადაც დაფიქსირებულია ჰაერის უძრაობის ზონები.

როგორც კოლონური ისე პილონური ტიპის სადგურების მოდელებზე, აეროდინამიკურ მილში ჩატარდა დაკვირვებები, რომლის შედეგებიც დადასტურდა აგრეთვე ნატურალური ცდების შედეგად უშუალოდ მოქმედ სადგურებში. აღმოჩნდა, რომ შედარებით კარგად ნიავედება გადასარბენი გვირაბისა და სადგურის სივრცის შეუღლების ადგილები, ხოლო სადგურის ჰოლის ცენტრისაკენ მიმართულებით განიავების ინტენსიურობა და ხარისხი მცირდება. აღნიშნული კანონზომიერება დაცულია როგორც მატარებლების უმოძრაობის, ისე მატარებლების მოძრაობის შემთხვევაში. ამგვარად, სადგურის ჰოლის ცენტრალურ ნაწილში აღინიშნება ჰაერის უძრაობის ზონები.

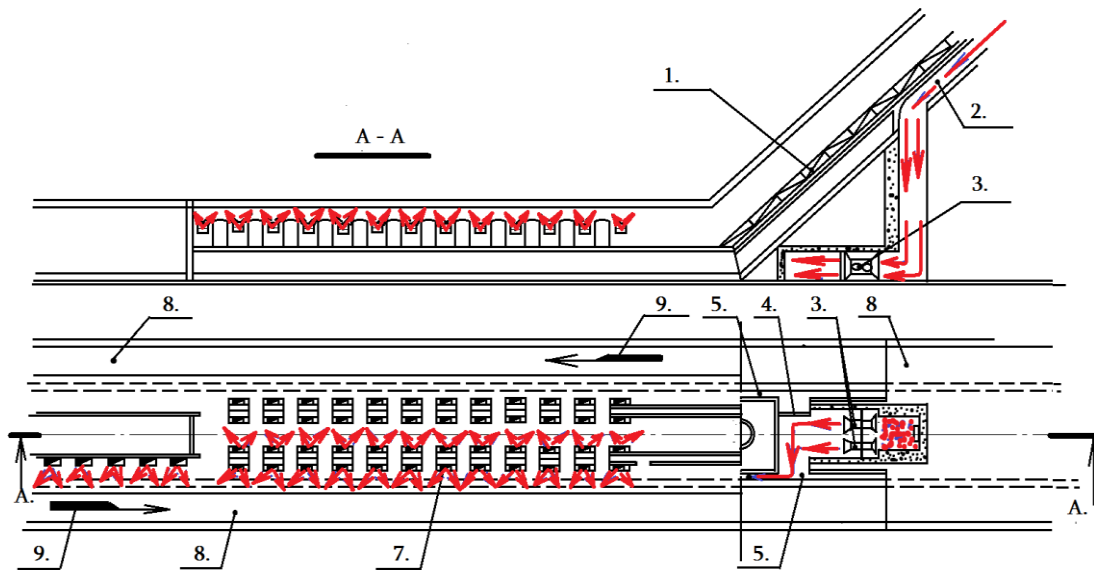
წელიწადის თბილ პერიოდში, კოლონური ტიპის მეტროპოლიტენის სადგურებში, მიზანშეწონილია, ვენტილატორების საშუალებით, ჰაერი მიზანდასახულად მივაწოდოთ სადგურისა და გადასარბენი გვირაბების შეუღლების ადგილებში, მატარებლების მოძრაობის მიმართულებით. ამ ადგილებში ჰაერის გამოშვება ხორციელდება 4-5 მ/წმ სიჩქარით გისოსური დიობებიდან, რომლებიც განლაგებულია ჩასასხდომი პლატფორმის დონეზე სადგურის იმ განყოფილებაში, სადაც მატარებლები ჩერდებიან.

იქიდან გამომდინარე, რომ სადგურის სავენტილაციო დანადგარი მოთავსებულია სადგურის ერთ ბოლოში, როგორც წესი, ექსკალატორებისათვის განკუთვნილი დახრილი გვირაბის ქვედა სივრცეში, ან საგანგებოდ მოწყობილი სავენტილაციო ცხაურის ცალკე საკანში, ჰაერის მიწოდება სადგურის მეორე მხარეზე ხორციელდება ბაქანქვეშა სავენტილაციო არხების საშუალებით.

პილონური ტიპის მეტროპოლიტენის სადგურებში, პილონების კონსტრუქცია იმის საშუალებას იძლევა, რომ შიგნით მოვათავსოთ სავენტილაციო არხები. აქედან გამომდინარე, სუფთა ჰაერის მიწოდება ხორციელდება მიზანმიმართულად: სადგურის სავენტილაციო დანადგარიდან, მგზავრების ჩასასხდომი ბაქნის ქვეშ არსებული სავენტილაციო არხების გავლით, პილონების კონსტრუქციაში მოთავსებული სავენტილაციო არხებიდან ჰაერი მიეწოდება მეტროპოლიტენის სადგურის როგორც ცენტრალურ ნაწილს, ისე სადგურის სახაზო გვირაბებს, მატარებლების გაჩერების ადგილებში. აღსანიშნავია ის გარემოებაც, რომ პილონებში მოთავსებული სავენტილაციო არხების განივკვეთი, პილონების კონსტრუქციიდან გამომდინარე, საკმარისი არ არის საჭირო სუფთა ჰაერის გასატარებლად, ამიტომ სუფთა



ჰაერის 30-50% ის მიწოდება ხორციელდება განაპირა სახაზო გვირაბების ბოლოებთან. ასეთ შემთხვევაში სავენტილაციო არხები მოთავსებულია სახაზო გვირაბების ყრუ კედლებში. ნახ. 11.- ზე წარმოდგენილია პილონური ტიპის მეტროპოლიტენის სადგურებში სუფთა ჰაერის მიწოდების სქემა.



**ნახ. 11. მეტროპოლიტენის ღრმად განლაგების გვირაბებში, პილონური ტიპის მიწისქვეშა სადგურში სავენტილაციო ჰაერის მიწოდების სქემა**

1 - ექსკალატორისთვის განკუთვნილი დახრილი გვირაბი; 2 - სავენტილაციო განყოფილება; 3 - ღერძულა სავენტილაციო დანადგარი; 4 - სავენტილაციო ტიხარი; 5 - ბაქანქვეშა ჰორიზონტალური სავენტილაციო არხი; 6 - აირიონიზატორი; 7 - პილონში განთავსებული ვერტიკალური სავენტილაციო არხები ჟალუზებით; 8 - გადასარბენი გვირაბები; 9 - მოძრავი შემადგენლობის მოძრაობის მიმართულება; წითელი ისრებით ნაჩვენებია სავენტილაციო ჰაერის ნაკადის მიმართულება.

მეტროპოლიტენის ექსპლუატაციის გამოცდილებამ გვიჩვენა, რომ სავენტილაციო არხებში დროთა განმავლობაში ხდება მტვრის დალექვა, რის გამოც აუცილებელია, პერიოდულად, წელიწადში ერთხელ, მოხდეს ამ სავენტილაციო არხების გარეცხვა ან გაწმენდა. აქედან გამომდინარე სავენტილაციო სისტემების ძირითადი არხების განივკვეთი უნდა იყოს საკმარისი ადამიანის გავლისათვის. ჰაერის გამომშვები ვერტიკალური არხების განივკვეთის მცირე ზომა დასაშვებია, მაგრამ ისე უნდა იყოს მოწყობილი, რომ შესაძლებელი იყოს მასში გახედვა და მათი გაწმენდა.

მკვლევარები, მეცნიერები, ინჟინრები ყოველდღიურ რეჟიმში აგრძელებენ მუშაობას, კვლევებსა და ექსპერიმენტებს უკვე არსებული მეტროპოლიტენის სავენტილაციო სისტემების სრულყოფისათვის, განიხილავენ მეტროპოლიტენის ექსპლუატაციის დროს ფორმირებულ ყველა მავნე და სახიფათო ფაქტორს და ცდილობენ კომპლექსურად მიუდგინონ პრობლემის გადაჭრის საკითხს. აღნიშნული კვლევები, მათი შედეგები და პრობლემის გადაჭრაზე ორიენტირებული წინადადებები ქვეყნდება მსოფლიოს სხვადასხვა კვალიფიციურ სამეცნიერო ჟურნალებში.



დღევანდელი ტექნოლოგიები კი საშუალებას იძლევა დაინტერესების შემთხვევაში თითქმის შეუზღუდავი წვდომა გვქონდეს აღნიშნულ კვლევებთან, მოსაზრებებთან და შემოთავაზებულ წინადადებებთან მიმართებაში. მკვლევარების და მეცნიერების მიერ შესწავლილია სავენტილაციო ჰაერში მავნე მინარევების სახეობები, მტვრის ნაწილაკების ზომები და კონცენტრაცია; მათ შედგენილობაზე ატმოსფერული ჰაერის მახასიათებლების გავლენა; შემოთავაზებულია სხვადასხვა ტიპის ეკრანული კარებები PSDs (წარმოდგენილია სურ.1.), რომელთა გამოყენებით უფრო ეფექტურად არის შესაძლებელი მიწისქვეშა სივრცეში ნორმალური მიკროკლიმატის შექმნა და შენარჩუნება (Yang Z., 2015) [2].



სურ. 1. ბაჟანის ეკრანული კარები (PSD<sub>s</sub>)

შეიძლება ითქვას, რომ აღნიშნული (PSD<sub>s</sub>) ეკრანული კარები წარმოადგენს ერთგვარ ზღუდას ბაჟანსა და მატარებლის სავალ ნაწილს შორის, რომელიც პრაქტიკულად გამორიცხავს მგზავრების შემთხვევით მატარებლის სავალ ნაწილზე მოხვედრას; ის შეიძლება განხილული იყოს, როგორც ერთ-გვარი ხმაურმაიზოლირებელი ეკრანი ბაჟანსა და მატარებლის სავალ ნაწილს შორის, რომელიც მნიშვნელოვნად ამცირებს ხმაურის დონეს სადგურის სივრცეში, სადაც მგზავრები მატარებლის მოლოდინის რეჟიმში იმყოფებიან; აგრეთვე მცირდება და შეიძლება ითქვას, რომ თითქმის ნულდება სადგურში გამჭოლი ჰაერის ნაკადის დისკომფორტული ზემოქმედება მგზავრებზე; იზღუდება PM(10); PM(2.5); PM(1) და (FePM) ნაწი-

ლაკების, (რომლებიც ფორმირდებიან გვირაბში მატარებლის მოძრაობისას), მოხვედრა და გავრცელება სადგურის სივრცეში. საერთო ჯამში აღნიშნული ინოვაციური სისტემა მნიშვნელოვნად ამცირებს და ანეიტრალებს იმ მავნე და სახიფათო ფაქტორებს, რომელთა ფორმირებაც, როგორც ავღნიშნეთ მეტრო-პოლიტენის ექსპლუატაციის დროს ხდება.

აღნიშნულ სამეცნიერო ჟურნალებში კიდევ არანაკლებ მნიშვნელოვანი კვლევის შედეგებია გამოქვეყნებული აღნიშნულ საკითხებთან დაკავშირებით, კერძოდ:

განხილულია მტვრის კონცენტრაციის ცვალებადობა მეტროს სადგურებში ზედაპირული (ატმოსფერული) ჰაერის მტვრის კონცენტრაციის მიხედვით და ნაჩვენებია, რომ ვაგონებში (საჰაეროებში) განთავსებული ფილტრები კარგ შედეგებს იძლევა [3].

შემოთავაზებულია სავენტილაციო ჰაერზე დაკვირვების შედეგები ქ. ბარსელონას მეტროპოლიტენისათვის მტვრის ნაწილაკების, ( $CO_2$ ) და ( $CO$ ) კომპონენტების მიხედვით ვენტილაციის სისტემის მუშაობისას და მისი გამორთვის პირობებში. მტვრის ნაწილაკების ზომები იცვლებოდა ფართო ზღვრებში ვენტილაციის სისტემისა და სადგურის დიზაინის შესაბამისად. ისეთ სადგურებში, სადაც ორმხრივი მოძრაობის გვირაბები შედარებით დიდი ზომის იყო, გამორთული ვენტილაციის პირობებში, ჰაერის ხარისხი დიდად არ გაუარესებულა, საიდანაც კეთდება დასკვნა, რომ ასეთ გვირაბებში შესაძლებელია ვენტილაციაზე ეკონომიის გაწევა. ( $CO$ )-ს კონცენტრაცია ნაკლებია 1 პრომილზე (ppm), რაც ავტორების აზრით, გამოწვეულია დედამიწის ზედაპირზე შიდაწვის ძრავების მუშაობის გავლენით. ( $CO_2$ )-ის კონცენტრაცია, ნაშრომის თანახმად, იცვლება 371 to 569 პრომილის (ppm) ფარგლებში [4].

წარმოდგენილია საბერძნეთის ქ. ათენის მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სადგურის პლათფორმაზე არსებულ ჰაერში უმცირესი ნაწილაკების ზომების, კონცენტრაციისა და მათი ჰაერში შეტივტივებულ მდგომარეობაში არსებობის შესაძლებლობის განსაზღვრა და მათი ფუნქციონალური დამოკიდებულება მიწის ზევით არსებულ ჰაერში ანალოგიურ ნაწილაკების შემცველობასთან.

ათენის მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სადგურის პლათფორმაზე, განისაზღვრა ჰაერში არსებული უმცირესი ნაწილაკების კონცენტრაცია და ზომები. მიღებული შედეგები შეედარა ზედაპირზე, ატმოსფერულ ჰაერში არსებულ ანალოგიურ მონაცემებს. პარალელურად იზომებოდა შერჩეული ნაწილაკების არასტაბილურობა, რაც უზრუნველყოფდა დამატებით ინფორმაციას შერჩეული ნაწილაკების შემადგენლობაზე და შერევისუნარიანობაზე. ნაწილაკების კონცენტრაცია აღმოჩნდა საშუალო მნიშვნელობის  $1.2 \times 10^4$  სმ<sup>3</sup> და აჩვენა სუსტი კორელაცია მოძრავი შემადგენლობის მოძრაობის სიხშირესთან მიმართებაში, ასევე აჩვენა ძლიერი კორელაციის უნარი მიწისზევით ჰაერში არსებულ ნაწილაკებთან მიმართებაში. ზომების მიხედვით ჰაერში არსებული ნაწილაკების განაწილება, როგორც ჩანს მნიშვნე-

ლოვნად არის დამოკიდებული გარე ატმოსფერულ ფაქტორებზე. მეტროპოლიტენის ჰაერში უმცირესი ნაწილაკების აეროზოლურ მდგომარეობაში შენარჩუნებას ხელს უწყობს მეტროპოლიტენის გარე სივრციდან შემოსული ჰაერი, რომელშიც ასევე უმცირესი ნაწილაკები საკმაო რაოდენობისაა [5].

შემოთავაზებულია ინფორმაცია და კვლევები ქ. ბარსელონას (ესპანეთი) მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სადგურის სივრცეში, ჰაერში რკინის შემცველი უმცირესი ნაწილაკების არსებობის შესახებ. შემუშავებულია საერთო მოდელი უმეტესი მეტროპოლიტენებისთვის, რომელშიც ახსნილია მათი წარმოშობის მიზეზები. ნაშრომში აგრეთვე დასმულია საკითხი ადამიანის ჯანმრთელობაზე აღნიშნული ნაწილაკების მავნე ზემოქმედების შესახებ [6].

დადგენილია, რომ : 1. მეტროს სადგურის პლათფორმაზე, ჰაერში არსებული მცირე ზომის ნაწილაკების უმრავლესობა ლითონური შემადგენლობისა და ნანომეტრული ზომისაა. 2. აღნიშნული ნაწილაკები ძირითადად წარმოიქმნება მექანიკური პროცესების შედეგად სისტემაში: მუხრუჭი - რელსი - მატარებლის თვალი. 3. (Fe)-ნაწილაკებს აქვთ ქერცლის ფორმა და არაორდინალური ქიმიური შემადგენლობა. შეიცავს: (Ba; Zn; Cu). 4. (Fe)-ნაწილაკები მუდმივად განიცდიან ატმოსფეროდან აგრესიულ ჟანგვას ლითონური რკინიდან მაგნეტიტამდე. 5. ჯერჯერობით ბოლომდე დაუდგენელია რამდენად უფრო ტოქსიკურია ჰაერი მეტროში ატმოსფერულ ჰაერთან შედარებით.

მეტროში არსებულ ჰაერში ნაწილაკების უმრავლესობა ლითონური შემცველობისაა და ამასთან საკმაოდ მცირე ზომები გააჩნია (ნანომეტრულიდან რამდენიმე მიკრონამდე). ბარსელონას მეტროში აღებულ სინჯებზე (PM10) დაკვირვებებისა და გაანალიზების შედეგად, ასევე გამოქვეყნებული ექსპერიმენტების შედეგების მიხედვით, შესაძლებელია საერთო მოდელის შექმნა, რომელიც ახსნის (Fe)-ნაწილაკების წარმოშობის მიზეზებს უმეტეს მეტროპოლიტენებში. აღნიშნული ნაწილაკების წარმოქმნა ხდება მატარებლის სამუხრუჭე მექანიზმის ამოქმედებისას, რომლის დროსაც ხდება აღნიშნულ მექანიზმში შემევალი მუშა დეტალების მექანიკური ცვეთა. ამის შედეგად ხდება ე.წ. მაგნიტურ-ლითონური ფანტელების და უმცირესი ნაწილაკების ფორმირება, რომლების განიცდიან ატმოსფეროდან პროგრესირებად ჟანგვას, შედეგად ლითონური რკინიდან გარდაიქმნებიან მაგნეტიტამდე.

წარმოდგენილია 2015 წლის აპრილ-ივლისში ქ. შანხაის (ჩინეთი) მეტროპოლიტენში ჩატარებული ნატურული დაკვირვებების შედეგები. კერძოდ, გაზომილ იქნა უმცირესი მყარი ნაწილაკების კონცენტრაცია მეტროპოლიტენის სადგურის სამივე ტიპის ბაქანზე და ასევე თვით მატარებელში. გაზომვებმა აჩვენა, რომ (PM) კონცენტრაცია სადგურის სამივე ტიპის ბაქანზე და ჰაერის ხარისხის ცვლილების კანონზომიერება ერთნაირი იყო. ასევე დადგინდა, რომ (PM) კონცენტრაცია სადგურის ბაქანზე ცოტათი მეტი იყო, ვიდრე მატარებლის ვაგონებში, (PM) კონცენტრაცია

მეტროპოლიტენის სადგურებში დამოკიდებული იყო (PM) კონცენტრაციასთან მიწის ზევით არსებულ ჰაერში. სადგურის ბაქანზე (PM) კონცენტრაციის მეტობა ვაგონის ჰაერთან მიმართებაში დღეშიური ეფექტით აიხსნება, შედეგად (PM) კონცენტრაცია ბაქანის შუა სივრცეში უფრო ნაკლებია ვიდრე გვირაბის პორტალებთან, ამასთან მატარებლის გაჩერებისა და კარების გაღებისას შეიძლება ითქვას, რომ (PM 1.0) და (PM 2.5) ნაწილაკების შეჭრა ხდება ვაგონის შიგა სივრცეში. ამ შედეგებიდან გამომდინარე, ავტორები გვთავაზობენ კონკრეტულ რეკომენდაციებს მგზავრებსა და მომსახურე პერსონალზე ასეთი მავნე გარემოს ზემოქმედების მინიმიზაციისთვის [7].

მოცემულია მსოფლიოს 20 ქვეყანაში ჩატარებული 160-ზე მეტი კვლევის შედეგები მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა ნაგებობებში არსებული ჰაერის დამაბინძურებლების შესახებ, აგრეთვე მათი ზემოქმედება ადამიანების ჯანმრთელობაზე. საზოგადოებას განსაკუთრებით აღელვებს მეტროპოლიტენში არსებული ჰაერის ხარისხი [8].

ბოლო პერიოდში მსოფლიოში ეკოლოგიურად სუფთა ტრანსპორტზე მოთხოვნილების გაზრდის შესაბამისად მეტროპოლიტენის განვითარებაც მნიშვნელოვნად სწრაფად მოხდა, რის შედეგადაც, განსაკუთრებით დედაქალაქებში, მეტროპოლიტენების რაოდენობა დღითიდღე იზრდება, ზოგიერთ ქალაქებში კი ის ძირითად საზოგადოებრივ ტრანსპორტს წარმოადგენს. იქიდან გამომდინარე, რომ მგზავრები მეტროში დაახლოებით 30-40 წთ-ს ატარებენ, შეიძლება ითქვას, რომ ისინი წარმოადგენენ მეტროში არსებული ჰაერის დაბინძურების წყაროს. ამას ემატება მეტროპოლიტენის სხვადასხვა სისტემების მუშაობის შედეგად გამოყოფილი მავნეობები, რომლებიც სავენტილაციო სისტემების გავლენით ვრცელდება მთელ მიწისქვეშა სივრცეში. აღნიშნულის შედეგად ადამიანების ჯანმრთელობისათვის საკმაოდ მავნე გარემო იქმნება მიწისქვეშ.

მეტროპოლიტენის ვაგონებში აღნიშნული მავნე ნივთიერებების არსებობა საფრთხეს უქმნის მგზავრების ჯანმრთელობას, რასაც სხვადასხვა კვლევები ადასტურებენ. ეს მიმოხილვა აჯამებს სამეცნიერო ლიტერატურაში მოცემულ შედეგებს მეტროს მიწისქვეშა ნაგებობებში არსებული ჰაერის ხარისხთან მიმართებაში, რაც გამოიხატება ჰაერში სხვადასხვა დამაბინძურებლების კონცენტრაციის ზრდით, ქიმიურ შემადგენლობაში და ადამიანების ჯანმრთელობის გაუარესების რისკის შეფასებაში. გულდასმით არის განხილული მსოფლიოს 20 ქვეყანაში 160-ზე მეტი ჩატარებული კვლევა და მისი შედეგები. დადგინდა, რომ მცირე ზომის მყარი ნაწილაკები, ნახშირწყალბადები, კარბონის ნაერთები და ჰაერში არსებული ბაქტერიები წარმოადგენენ ჰაერის დაბინძურების ძირითად კომპონენტებს.

შემუშავებულია და დანერგილია მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სადგურის ე.წ. ბაქანის ეკრანული კარებებისა (PSDs) და ბაქანის ავტომატური კარების (APG) სისტემები. მეტროს ახლახანს აშენებული ერთ-ერთი სადგური წარმოადგენდა აღ-

ნიშნული სისტემების მუშაობის მოდელს, სადაც ხდებოდა სისტემების მუშაობაზე დაკვირვება. სადგურზე მატარებლის შემოსვლა და გასვლა შესწავლილი იქნა ციფრული მოდელირების (CFDs) პროგრამულ გარემოში. მას შემდეგ რაც გაანალიზდა სადგურებში და გადასარბენ გვირაბებში სითბური გარემო, გამოითვალა და განისაზღვრა ენერგოდაზოგვის ეფექტურობა ე.წ. ბაქნის ეკრანული კარების (PSDs) ინოვაციური სისტემის მუშაობისას. შედეგებმა აჩვენა რომ აღნიშნული ინოვაციური სისტემის მუშაობა ქმნის ისეთ გარემოს, რომელიც აკმაყოფილებს კომფორტულობის მოთხოვნებს [2].

წარმოდგენილია კორეის ქ. სეულის მეტროში ე.წ. სადგურის ბაქანის ეკრანირებული კარების ეფექტულობა. კერძოდ, ასეთი კარებების მოწყობამდე მუდმივად ხდებოდა უმცირესი მყარი ნაწილაკების (PM10) და (PM2.5) კონცენტრაციის განსაზღვრა. პროცესი მიმდინარეობდა ოქტომბერი, 2007 - აპრილი, 2008 პერიოდში. ბაქნის ეკრანული კარები დამონტაჟდა 2007 წლის 8-16 დეკემბრის შუალედში. მონაცემების ანალიზის შედეგად დადგინდა, რომ აღნიშნული მყარი ნაწილაკების კონცენტრაცია შემცირდა 12-16 %-ით [9].

მოცემულია ევროპის ფონდის - (SEAM4US) დაფინანსებით შესრულებული სამუშაოები, რომლის მიზანია გამოვლინდეს მეტროპოლიტენის სადგურების უფრო ეფექტურად და ეკონომიურად მართვის უახლესი სისტემები. აღნიშნული მართვის სისტემები დანერგილი იქნება ქ. ბარსელონას (ესპანეთი) მეტროს სადგურ "Passeig de Gracia", საპილოტე პროგრამის ფარგლებში. აქედან გამომდინარე, სადგურში არსებული გარემო პირობები კონტროლირდებოდა რეალური დროის რეჟიმში. ნაშრომში ძირითადი ყურადღება გამახვილებულია აღძრული ჰაერის ნაკადების შეფასებაზე, რადგანაც ის წარმოადგენს ერთ-ერთ მნიშვნელოვან და ცვალებად ფაქტორს, რომლის კონტროლიც აუცილებელია მეტროპოლიტენის სადგურის ვენტილაციის ეფექტურად მართვისათვის. აღნიშნული შესაძლებელია სხვადასხვა უკვე არსებული, საკმაოდ ძვირი მეთოდების გამოყენებით.

აქედან გამომდინარე, შემოთავაზებულია ახალი მეთოდოლოგია, დამყარებული არსებული ჩვეულებრივი საზომი ზონდებისა და ანალიტიკური მეთოდების გამოყენებაზე, რომელთაც აქვთ შესაძლებლობა რეალურ დროში მოახდინონ სავენტილაციო ნაკადების დინამიკისა და ინტენსიურობის იდენტიფიკაცია. აღნიშნულის შედეგად რეალურ დროში მიღებული ინფორმაცია გამოყენებული იქნება მართვის ინტელექტუალური სისტემების მეშვეობით, სავენტილაციო დანადგარების დატვირთვის კორექტირებისთვის. აღნიშნული დამყარებულია, როგორც ზემოთ ახსნილ გაზომვის შედეგებზე, ასევე რიცხვითი მოდელირების შედეგებზე [10].

განხილულია ჩინეთის მეტროპოლიტენებში მოხმარებული ენერჯის დაზოგვის შესაძლებლობები, სადაც მნიშვნელოვან მიმართულებას ვენტილაცია-კონდენცირების სისტემების ოპტიმიზაცია წარმოადგენს. საკმაოდ დიდი ხანია ცნობილია, რომ გვირაბებში სავენტილაციო ნაკადის აღძვრის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან

ფაქტორს დგუშური ეფექტი წარმოადგენს. ნაშრომში აღნიშნულია, რომ დგუშური ეფექტის ოპტიმალურად გამოყენება საკმაოდ დიდ პოტენციალს იძლევა ენერჯის დაზოგვის თვალსაზრისით, რომელიც ვენტილაცია-კონდენცირების სისტემის მუშაობაზე იხარჯება. ამასთან დაკავშირებით 2016 წელს შეირჩა რამდენიმე მეტრო-სადგური, სადაც განხორციელდა ნატურალური ექსპერიმენტების ჩატარება დგუშური ეფექტის შედეგად აღძრულ ნაკადებთან მიმართებაში. იქიდან გამომდინარე, რომ მატარებლის მოძრაობისას აღძვრება გარკვეული ჰაერის ნაკადი და განსაზღვრული საჭირო სუფთა ჰაერის რაოდენობის მიხედვით, შესაძლებელია განისაზღვროს ვენტილაცია-კონდენცირების სისტემის მუშაობაზე დახარჯული ენერჯის დაზოგვის პოტენციალი [11].

განხილულია ჩინეთის მეტროპოლიტენების პირობებში კლიმატკონტროლის სისტემის (HVAC) მუშაობის დროს ენერგომოხმარების პრობლემები აგრეთვე წარმოდგენილია ჰაერის კონდენცირებაზე არსებული დატვირთვების შემცირების გზები, რაც ენერჯის დაზოგვის ერთ-ერთ მიმართულებას წარმოადგენს. განხილულია მიწისქვეშა სადგურებში სუფთა ჰაერით უზრუნველყოფის ხერხები: კერძოდ, ამ მიზნით გამოყენებულია: 1. კლიმატკონტროლის სისტემის (HVAC) მირ შექმნილი ე.წ. „მექანიკური სუფთა ჰაერი“ და 2. მატარებლის გვირაბში მოძრაობისას დგუშის ეფექტის შედეგად აღძრული ე.წ. „არაორგანიზებული სუფთა ჰაერი“ აღნიშნული სუფთა ჰაერის ნაკადების ანალიზი ხორციელდება ქსელის მოდელირების მეთოდით და ნატურალური გაზომვებით. შედეგებმა ცხადყო, რომ „არაორგანიზებული სუფთა ჰაერი“ ძირითადად საკმარისია წაყენებული მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად. დადგინდა, რომ კლიმატკონტროლის სისტემა ვერ უზრუნველყოფს „მექანიკური სუფთა ჰაერის“ ხარჯის სრულ კონტროლს. შესაბამისად შემოთავაზებულია აღნიშნული სისტემის გაუმჯობესება, სუფთა ჰაერის შემავალი ღიობის ჰერმეტიკულად ჩამკეტი მექანიზმის საშუალებით, სავენტილაციო ჰაერის ხარჯის სრულად გასაკონტროლებლად. აღნიშნული კვლევა იძლევა ინფორმაციას ენერგო-დაზოგვის შესახებ სუფთა ჰაერის ხარჯის ეფექტურად კონტროლის საშუალებით [12].

მოცემულია მეტროს ელ. მომარაგების, კავშირგაბმულობისა და სხვა სისტემების მუშაობისას გამოყოფილი სითბოს რაოდენობის მნიშვნელობა და გავლენა სავენტილაციო სისტემების ეფექტურ მუშაობაზე. აღნიშნული მეტად აქტუალურია, რადგანაც არსებობს ვარაუდი, რომ მეტროპოლიტენის ვენტილაციისა და კონდენცირების დაპროექტებისას ზემოაღნიშნული სისტემების გაგრილებისათვის გათვალისწინებული სიმძლავრეები მნიშვნელოვნად აღემატება რეალურად საჭიროს, შედეგად იზრდება დანახარჯები. ჩატარებული კვლევების შედეგად დადგინდა რეალურად გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა და ადეკვატურად განისაზღვრა ვენტილაცია-კონდენცირების სისტემებისათვის საჭირო სიმძლავრე და დახარჯული ენერჯია [13].

განხილულია მეტროპოლიტენის სავენტილაციო და ჰაერის კონდენცირების სისტემის მოწყობის ახლებურად მიდგომა რაც საგრძნობლად აუმჯობესებს ჰაერის ხარისხს და ამასთან ერთად უფრო ენერგოეფექტურაცაა. აღნიშნული მიღწეულია ე.წ. ბაქანის ეკრანული კარების (PSDs) მოწყობით, რაც ხელს უშლის დგუმური ეფექტის შედეგად წარმოქმნილი ჰაერის ნაკადის სადგურის ბაქანის სივრცეში გავრცელებას. შესაძლებელია აღნიშნული ჰაერის ნაკადი განვიხილოთ როგორც სადგურის ავტონომიური სავენტილაციო სისტემა [14].

დამუშავებული და შემოთავაზებულია კომპიუტერული პროგრამა (STESS) მეტროს გვირაბებში სითბური გარემოსა და არასტაციონარული ტემპერატურული ველების მოდელირებისათვის. ნაშრომში გაანალიზებულია მეთოდი და აღნიშნულია, რომ მეთოდი ზუსტია ანალოგიურ (SES) პროგრამასთან შედარებით. აღნიშნული მოდელით აგრეთვე შესწავლილია მიწისქვეშა მიკროკლიმატზე დგუმური ეფექტის გავლენა და დამუშავებულია მიწისქვეშა კლიმატკონტროლის სისტემების გამართული, უსაფრთხო და ეკონომიკურად გამართლებული ექსპლუატაციის პირობები [15].

სითბური ფაქტორის მიხედვით მეტროპოლიტენში და ზოგადად სარკინიგზო სატრანსპორტო გვირაბებში სავენტილაციო ჰაერის გაანგარიშება განხილულია ნაშრომი [16-18].

მეტროს და ზოგადად სატრანსპორტო გვირაბებში არასტაციონალური სითბოსა და მასაგადაცემის საკითხები განხილულია და დამუშავებულია ნაშრომებში: [19-27].

ზოგადად სატრანსპორტო გვირაბებში სახანძრო უსაფრთხოების საკითხები, ხანძრის პირობებში სიცოცხლის გადარჩენისა და საევაკუაციო დროის გახანგრძლივების შესაძლებლობები განხილულია ნაშრომებში: [28]-[38].

აქ მოყვანილი რეზიუმეები წარმოადგენს მსოფლიოს სხვადასხვა სამეცნიერო კვალიფიციურ ჟურნალებში გამოქვეყნებულ შრომების არასრულ ჩამონათვალს, რომელთა არსიც ძირითადად ეხება მეტროპოლიტენის სავენტილაციო სისტემებში არსებული პრობლემების გადაწყვეტის შესაძლებლობების შესახებ მოსაზრებებსა და სამეცნიერო გადაწყვეტებს.

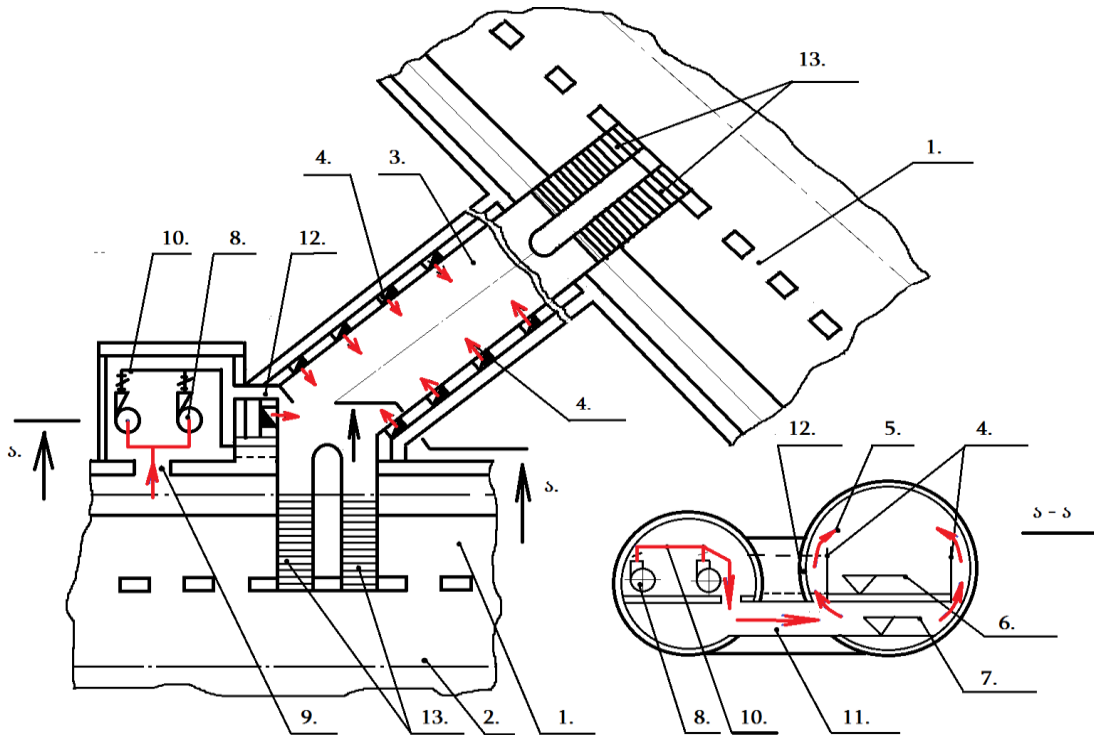
#### **1. 4. ხაზიდან ხაზზე გადასასვლელი გვირაბის ვენტილაცია**

სადგურების ვენტილაციის გარდა, მეტროპოლიტენის ნორმალურად ფუნქციონირებისთვის, განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ხაზიდან ხაზზე გადასასვლელი კორიდორების, საკასო ვესტიბიულების, გადასარბენი ხაზების ჩიხების,



მიწისქვეშა გადასარბენების მიწის ზედაპირზე გამოსასვლელების და თვით მოძრავი შემადგენლობის ვაგონების ვენტილაციას.

ორი სადგური (მაგალითად, სადგურის მოედანი 1 და 2), საიდანაც ხდება ხაზიდან ხაზზე მგზავრების გადასხდომა, ერთმანეთთან დაკავშირებულნი არიან გადასასვლელი გვირაბებით. თუ აღნიშნული გვირაბების სიგრძე 50 მ-ზე ნაკლებია, მაშინ მათი ვენტილაცია შესაძლებელია განხორციელდეს სადგურებს შორის არსებული ჰაერის წნევათა სხვაობის ხარჯზე, რომლებიც აღიძვრება მატარებლების მოძრაობისას ფორმირებული დგუშის ეფექტის შედეგად.



**ნახ. 12. მეტროპოლიტენის ორ სხვადასხვა ხაზზე გადასასვლელი გვირაბის სავენტილაციო სისტემის მუშაობის სქემა. (გადასასვლელი გვირაბის სიგრძე  $L_{გა} > 50$  მ)**

1 - სადგური; 2 - სადგურის გრძივი ღერძი; 3 - მგზავრების გადასასვლელი გვირაბის კორიდორი; 4 - გადასასვლელი კორიდორის კედლებში არსებული სავენტილაციო უჯრედები ვერტიკალური არხებით და მარეგულირებელი მოწყობილობით; 5 - ჰაერის ნაკადის მიმართულება სავენტილაციო არხებიდან გადასასვლელი კორიდორისკენ; 6 - კორიდორის იატაკის დონე; 7 - კორიდორის ქვეშ არსებული სავენტილაციო არხის დონე; 8 - ცენტრიდანული სავენტილაციო დანადგარი; 9 - სადგურიდან ჰაერის ამღები ღიობი; 10 - სავენტილაციო არხები; 11 - სავენტილაციო არხი, რომელითაც შეერთებულია გადასასვლელი კორიდორის ქვეშ არსებული სავენტილაციო არხი - სავენტილაციო ცხაურთან; 12 - სავენტილაციო ცხაურში შესასვლელი; 13 - გადასასვლელ კორიდორში ასასვლელ-ჩასასვლელი საფეხურები

თუ აღნიშნული გვირაბის სიგრძე 50 მ-ზე მეტია, მაშინ საჭიროა დამატებით ხელოვნური სავენტილაციო სისტემის მოწყობა. ამ შემთხვევაში ხელოვნური სავენტილაციო სისტემა ჰაერს იღებს ერთ-ერთი სადგურიდან, რომელიც მიერთებულია ხაზიდან ხაზზე გადასასვლელთან იმ მხრიდან, სადაც ხდება მატარებლების შესვლა გვირაბში. აღებული ჰაერი მიზანმიმართულად მიეწოდება გადასასვლელი გვირა-



ბის მთელ სიგრძეზე. ამისათვის გადასასვლელი გვირაბის პლატფორმის ქვეშ ან გვერდით, უშუალოდ ჰაერის ადების ადგილთან საჭიროა მოვათავსოთ სავენტილაციო დანადგარი. ამ უკანასკნელიდან, გადასასვლელი გვირაბის ორივე გვერდით კედლებში, ან გადასასვლელი კორიდორის ქვედა სივრცეში, მთელს სიგრძეზე განლაგებული გამანაწილებელი სავენტილაციო არხებით, (ისეთი განივი კვეთით, რომ მასში ეტეოდეს ადამიანი გაწმენდის საჭროებისათვის.) გადასასვლელი კორიდორის მთელს სიგრძეზე, გვერდით კედლებში საგანგებოთ მოწყობილი, ერთმანეთთან საანგარიშო მანძილით დაშორებული ვერტიკალური სავენტილაციო არხებით სუფთა ჰაერი მიეწოდება გადასასვლელი გვირაბის მთელ სივრცეში. ასეთი სავენტილაციო სისტემის სქემა წარმოდგენილია ნახ. 12.-ზე.

### 1. 5. საკასო ვესტიბიულების ვენტილაცია

ექსკალატორების დახრილი გვირაბებისა და საკასო-ვესტიბიულების ვენტილაციისთვის საჭიროა მეტროპოლიტენის სავენტილაციო სისტემების ისე რეგულირება, რომ მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში მიწოდებული ჰაერის რაოდენობა 10-15% ით აღემატებოდეს ნამუშევარი ჰაერის რაოდენობას, რომლის დაბრუნებაც ატმოსფეროში შესაბამისი სავენტილაციო ჭაურით ხორციელდება. ამასთან შემწოვი ვენტილატორებით შექმნილი ჭარბი წნევის შედეგად მიწოდებული ჰაერის ჭარბი რაოდენობა გამოიდევენება გარემოში ექსკალატორების დახრილი გვირაბებისა და საკასო ვესტიბიულების გავლით, რაც განახორციელებს მათ განიავებას.

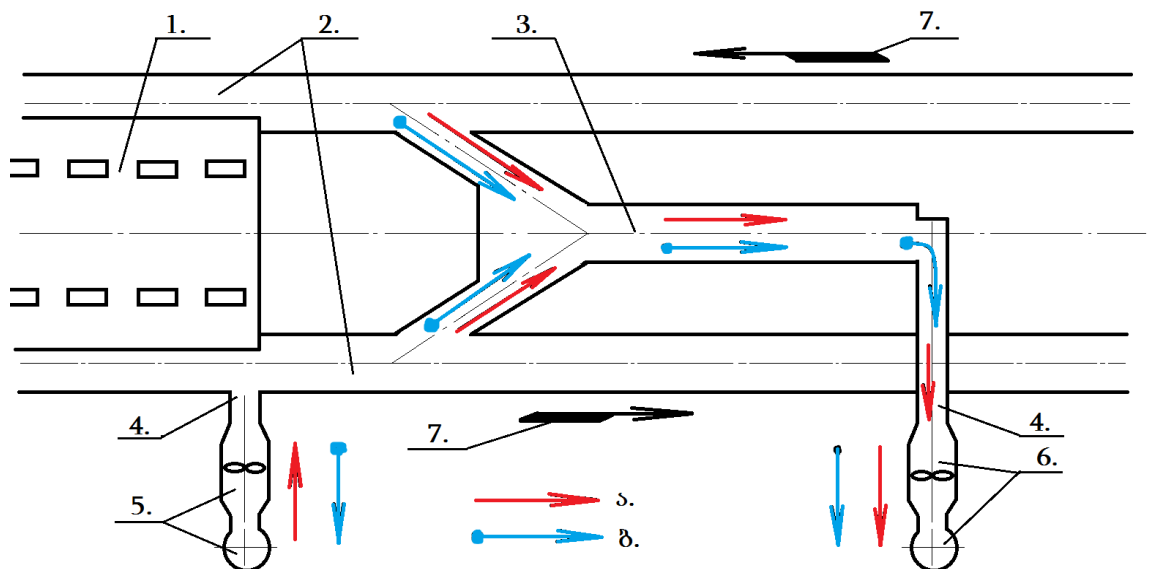
მეტროპოლიტენებში, რომლებიც აშენებულია ისეთ ადგილებში, სადაც ჰაერის ტემპერატურა ყველაზე ცივ თვეში  $t_{\text{გ.თ.}} < 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , შემავალ ჰაერის ჭარბ რაოდენობას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება, რადგან ზამთრის პერიოდში ხელს უწყობს სითბოს შენარჩუნებას საკასო ვესტიბიულებში.

ქუჩის მიწისქვეშა გადასასვლელების ვენტილაცია, რომლებიც მეტროპოლიტენის საკასო ვესტიბიულებთან არიან დაკავშირებულნი, როგორც წესი საჭიროა წელიწადის თბილ პერიოდში. მიწისქვეშა გადასასვლელები, რომლებიც მიერთებულია საკასო ვესტიბიულებთან, ნიავედება ჩასასვლელებიდან, გრავიტაციული ძალების საშუალებით. ასევე მათ განიავებაში მონაწილეობას იღებს ის ჰაერის ნაკადი რომელიც გამოიდევენება ექსკალატორების დახრილი გვირაბების, საკასო ვესტიბიულების გავლით. იმ შემთხვევაში, როდესაც გადასასვლელების სიგრძე აღემატება 150-200 მ და პიკის საათებში მგზავრთნაკადი აღემატება 25 000 ად/სთ-ში (განსაკუთრებით იმ ადგილებში, სადაც გარე ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურა წელიწადის თბილ პერიოდში ( $t_{\text{საანგ.}} 28 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), საჭიროა გათვალისწინებული იყოს მომდენი სავენტილაციო სისტემა. ამასთან, სავენტილაციო დანადგარი მოთავსებულია გადა-

სასვლელის შუაში და სუფთა ჰაერის მიწოდება ხდება გარედან, გადასასვლელის მთელ სიგრძეზე. თუ გადასასვლელის დაპროექტებისას შეუძლებელია სავენტილაციო დანადგარის საკნის მოწყობა, საჭიროა გადასასვლელის მთელს სიგრძეზე გათვალისწინებული იყოს სავენტილაციო არხი ჰაერის გამოსაშვები დაბოლოებებით ყოველ 3-6 მ-ში, რათა სუფთა ჰაერის თანაბრად განაწილება მოხდეს გადასასვლელის მთელს სიგრძეზე, როგორც ეს იყო მოწყობილი ორ სხვადასხვა ხაზზე გადასასვლელ გვირაბის ვენტილაციის შემთხვევაში.

### 1. 6. მეტროპოლიტენის გადასარბენი ხაზების ჩიხების ვენტილაცია

მეტროპოლიტენის ხაზების ჩიხებიც შედიან ძირითადი ნაგებობების შემადგენლობაში, სადაც ხორციელდება მატარებლების პროფილაქტიკური დათვალიერება, სწრაფი მცირე რემონტი, ელექტროშედულების სამუშაოები. მეტროპოლიტენ-



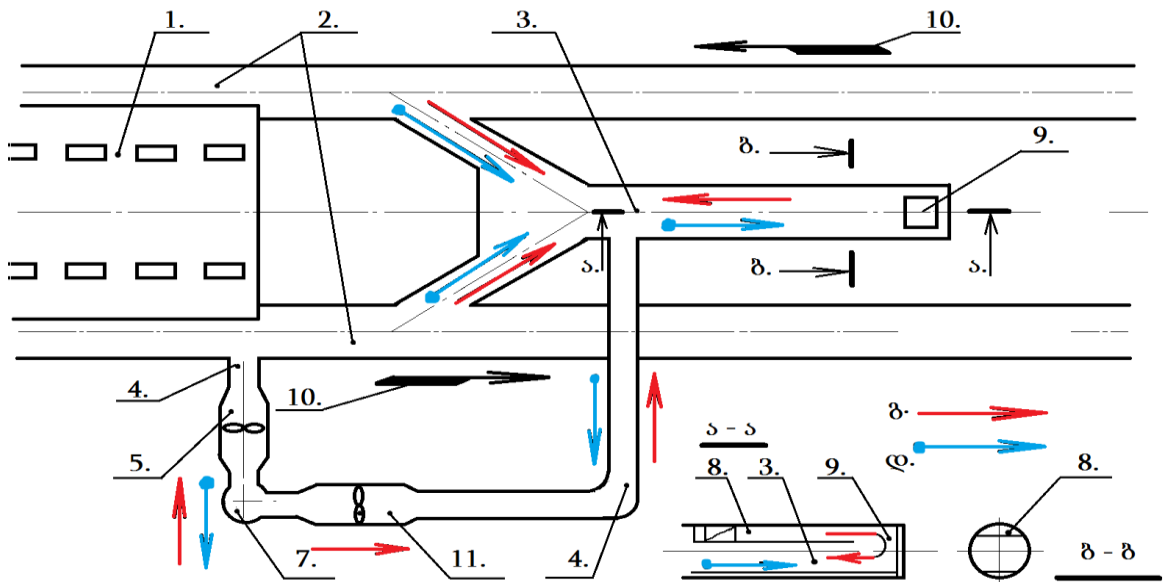
**ნახ. 13. მეტროპოლიტენის გადასარბენი ხაზების ჩიხის სავენტილაციო სისტემის სქემა (სავენტილაციო დანადგარი და სავენტილაციო ცხაური განთავსებულია ჩიხის გვირაბის ბოლოში)**

1 - სადგური; 2 - გადასარბენი გვირაბები; 3 - ჩიხი; 4 - სავენტილაციო გვირაბი; 5 - სადგურის სავენტილაციო ცხაური; 6 - ჩიხის სავენტილაციო ცხაური; 7 - მატარებლის მოძრაობის მიმართულება; 8 - ა; ბ- შესაბამისად ჰაერის მოძრაობის მიმართულება წლის თბილი და ცივი პერიოდის დროს

ნის ექსპლუატაციის გამოცდილებამ აჩვენა, რომ გადასარბენებზე ჩიხების ვენტილაციისათვის საჭიროა ჰაერის ხელოვნურად აღძვრის სავენტილაციო სისტემის მოწყობა.

საწარმოო ტოქსიკური გამონაყოფების განეიტრალებისათვის ჩიხის გვირაბის ბოლოებში, აუცილებელია მოვაწყოთ გამწოვი სავენტილაციო დანადგარი განცალკევებული სავენტილაციო ჭაურით. ვენტილაცია საჭიროა განვახორციელოთ შემდეგი თანმიმდევრობით: ჰაერი, რომელიც მიეწოდება სადგურს, გაივლის ჩიხის ყველა გვირაბს და ჩიხის გვირაბის ბოლოს არსებული ცხაურის გავლით გამოიდევენება გარემოში (ნახ.13.).

განსაკუთრებული შემთხვევისას მეტროპოლიტენის ჩიხის გვირაბებში, შესაძლებელი რომ იყოს სუფთა ჰაერის ექსტრემალურად მიწოდება, საჭიროა შერჩეული იქნას რევერსიული ტიპის სავენტილაციო სისტემა.



**ნახ. 14. მეტროპოლიტენის გადასარბენი ხაზების ჩიხის სავენტილაციო სისტემის სქემა (სავენტილაციო დანადგარი განთავსებულია სადგურის სავენტილაციო ცხაურთან)**

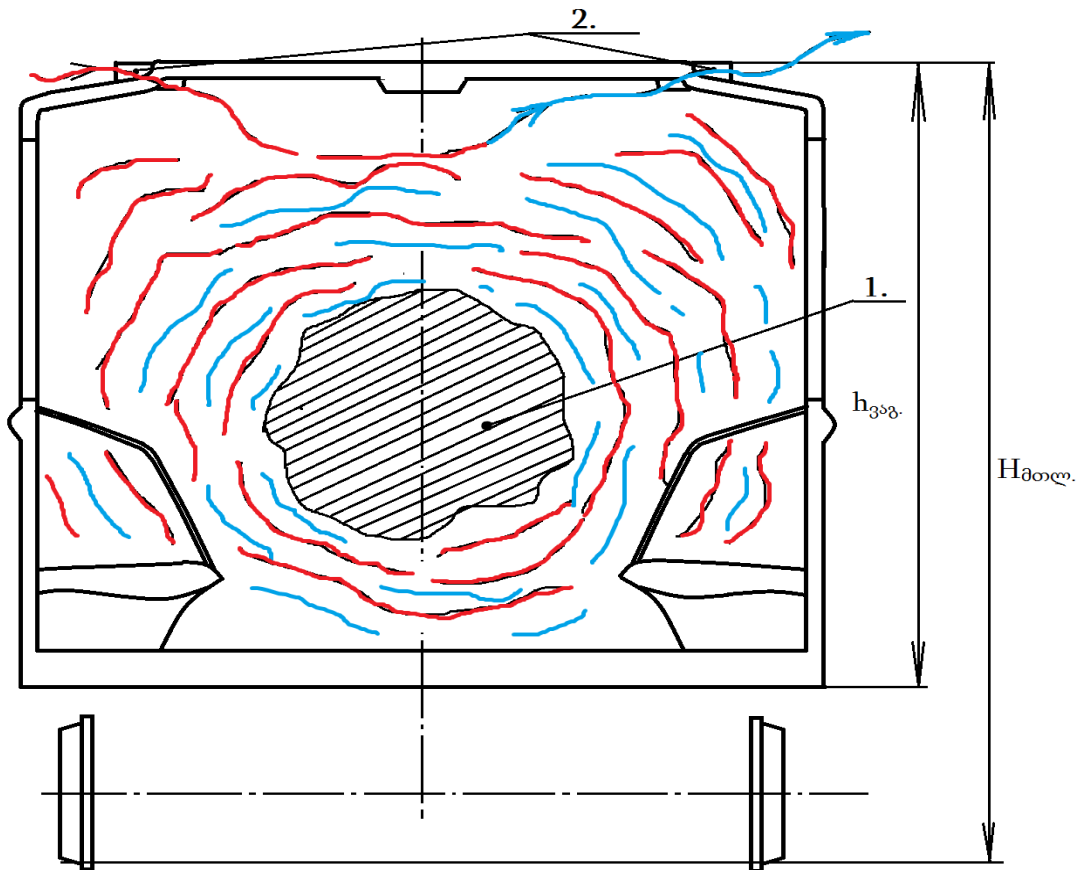
- 1 - სადგური; 2 - გადასარბენი გვირაბი; 3 - ჩიხი; 4 - სავენტილაციო გვირაბი; 5 - სადგურის სავენტილაციო საკანი; 6 - ჩიხის სავენტილაციო საკანი; 7 - ცხაური; 8 - ჰაერის სამომრავო სივრცე (ჩიხის გვირაბის თაღქვეშ); 9 - სავენტილაციო ლიობი; 10 - მატარებლების მოძრაობის მიმართულება; 11 - ღერძულა სავენტილაციო დანადგარი; 12 - გ; დ- შესაბამისად წლის თბილ და ცივ პერიოდში ჰაერის მოძრაობის მიმართულება

თუ ჩიხის ბოლოში სავენტილაციო ცხაურის მოწყობა შეუძლებელია, განსაკუთრებით მეტროპოლიტენებში ხაზების ღრმა განლაგებით და თუ ჩიხის განივკვეთი საკმაოდ დიდია, მაშინ სავენტილაციო სისტემის მოწყობა შესაძლებელია ისე, როგორც ნაჩვენებია ნახ. 14.-ზე.

## 1. 7. მოძრავი შემადგენლობის ვაგონების ვენტილაცია

აუცილებელია აგრეთვე უშუალოდ მეტროპოლიტენის მოძრავი შემადგენლობის ვაგონების ვენტილაციაც. თბილისის მეტროპოლიტენში გამოყენებულ ვაგონებში აღნიშნული საკითხი გადაწყვეტილია მატარებლის მოძრაობის ხარჯზე.

ნახ.15.-ზე ნაჩვენებია მოძრავი შემადგენლობის ვაგონის ვენტილაციის სქემა. როგორც სქემიდან ჩანს, სუფთა ჰაერი ვაგონში შედის სახურავზე ვაგონის ერთ მხარეზე განლაგებული 13 ჰაერის ამღები თეფშა დიფუზორის საშუალებით და გამოიდევენება ვაგონის მეორე მხარეზე, მატარებლის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულების მქონე 13 ჰაერის გამცემი თეფშა დიფუზორის საშუალებით. ასეთი ვენტილაციისას ვაგონის შუა ნაწილში შეინიშნება ნაკლებად განიავებადი ზონები. ვაგონის უკეთ განიავებისთვის, ასევე შესაძლებელია დამატებით გამოყენებული იქნას ვაგონის გვერდითი ფანჯრები.



ნახ. 15. მეტროპოლიტენის ვაგონის ვენტილაციის სქემა (ვენტილაცია ხდება ვაგონის მოძრაობის ხარჯზე თეფშა დიფუზორების გამოყენებით)

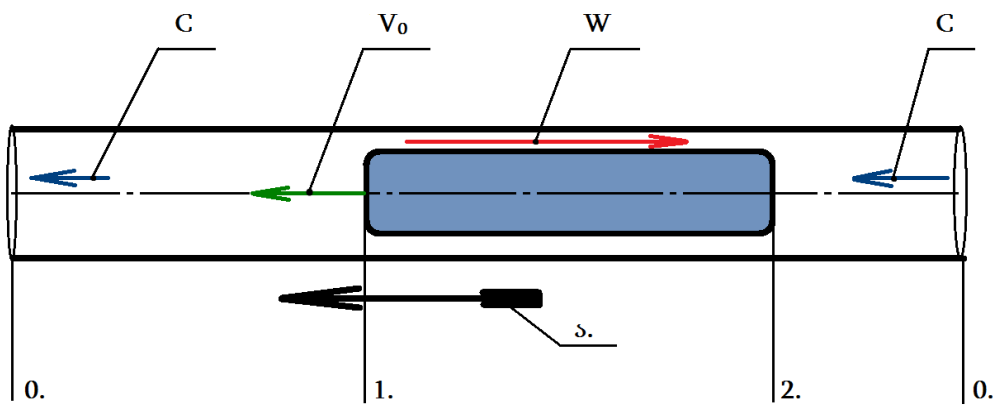
1 - ჩამორჩენის ზონა; 2 - საჰაერო ჯამები

## თავი 2. დგუშური ეფექტის გავლენა მეტროპოლიტენის ვენტილაციის ტექნოლოგიურ პარამეტრებზე

მატარებლის მოძრაობისას 60 კმ/სთ სიჩქარით ვაგონში შემავალი და გამავალი ჰაერის ხარჯი შეადგენს 5000-6000 მ<sup>3</sup>/სთ, რაც უზრუნველყოფს ჰაერის 40-47 ჯერად ცვლას.

მოცემულ სავენტილაციო სისტემის ექსპლუატაციამ აჩვენა თავისი ხარვეზები, რაც შემდეგში მდგომარეობს: მატარებლის მაღალი სიჩქარით მოძრაობისას, ვაგონის გარკვეულ ზონებში აღინიშნება ჰაერის ინტენსიური მოძრაობა (ჰაერის დაბერვა დიდი სიჩქარით), ვაგონის შუა სივრცეების განიავება შეზღუდულია, ვაგონის თეფშა დიფუზორებიდან და ღია ფანჯრებიდან შემოსული ხმაური ხშირ შემთხვევაში 80-85 დბ-მდე აღწევს რაც 250-500 ჰც სიხშირის ბგერების შემთხვევაშიც საგრძნობლად მაღალია. აღნიშნული ხარვეზები გამოსწორებულია „ე“ ტიპის მოდერნიზებულ და ასევე „ი“ ტიპის ვაგონებში, სადაც ჰაერის მიწოდება ხორციელდება ვაგონის სავენტილაციო დანადგარებიდან, რომლებიც განლაგებულნი არიან დასაჯდომი სავარძლების ქვევით, ხოლო ჰაერის გამოშვება კი ხორციელდება ფანჯრების ქვედა დონეზე არსებული ე.წ. საჰაერო ჟალუზებიდან.

მეტროპოლიტენის სავენტილაციო სისტემის ფუნქციონირებისას, ჰაერის ნაკადის აღძვრა სავენტილაციო დანადგარების მუშაობისას და მატარებლის გვირაბში მოძრაობის დროს დგუშის ეფექტის შედეგად ხორციელდება. აღნიშნული სისტემის ოპტიმალურად ფუნქციონირებისათვის განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს, მატარებლის გვირაბში მოძრაობისას დგუშის ეფექტით განპირობებულ ვენტილაციის ტექნოლოგიურ მახასიათებლებს, კერძოდ მატარებელზე მიმწყდომ, წინწაგდებულ

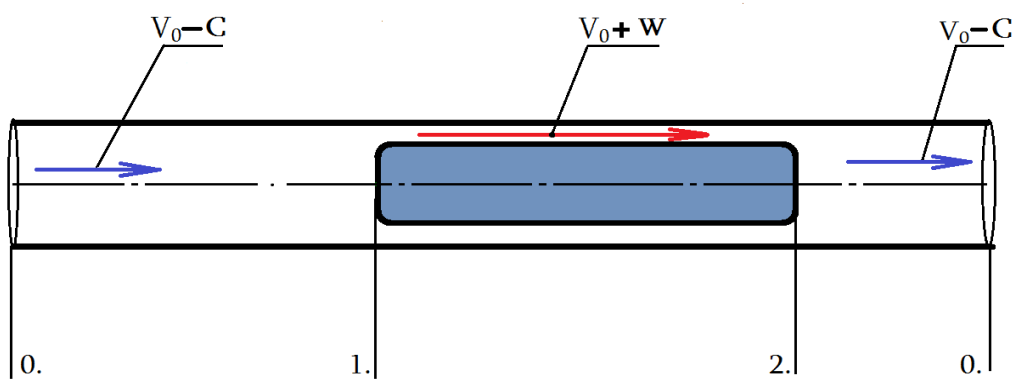


**ნახ. 16. გვირაბში მატარებლის მოძრაობისას, დგუშის ეფექტით აღძრული ჰაერის ნაკადების განაწილების სქემა**

$V_0$ - მატარებლის მოძრაობის სიჩქარე;  $C$  - დგუშის ეფექტით გამოწვეული ჰაერის ცირკულაციური ნაკადის სიჩქარე მატარებლის წინ და უკან;  $W$ - მატარებლისა და გვირაბის პერიმეტრებს შორის არსებულ ღრეჩოში გადადინებული ჰაერის ნაკადის მოძრაობის სიჩქარე

და მიდევნებულ ჰაერის ცირკულაციურ, მატარებლის პერიმეტრსა და გვირაბის პერიმეტრს შორის არსებულ ღრეჩოში გადადინებულ ჰაერის ნაკადის სიჩქარეებს. აღნიშნული ჰაერის ნაკადის სიჩქარეების მნიშვნელობების მიხედვით შესაძლებელია დგუშის ეფექტის სავენტილაციო ჰაერის ხარჯის ანგარიში. აღნიშნულ საკითხთან დაკავშირებით, მნიშვნელოვანია ვ. ცოდუკოვის ნაშრომი სადაც განხილულია სხვადასხვა ავტორების მიერ შესრულებული თეორიული კვლევებისა და ფიზიკური მოდელირების შედეგები, როცა მატარებელი უძრავია და მოძრაობს ჰაერის გარემო აეროდინამიკურ მილში ან სითხე მეტროს სადგურებისა და გადასარბენების ჰიდრავლიკურ მოდელში [1].

ნახ. 16.-ზე წარმოდგენილია გვირაბში მატარებლის მოძრაობისას დგუშის ეფექტის შედეგად აღძრული ჰაერის ნაკადების განაწილების სქემა.  $V_0$  სიჩქარით მოძრავი მატარებელი გვირაბის 0-1 მონაკვეთზე C სიჩქარით წინ აღძრავს ცირკულაციურ ნაკადს და წარმოქმნის აგრეთვე იმავე C სიჩქარით მოძრავ მიდევნებულ ნაკადს მატარებლის უკან, 2-0 მონაკვეთზე. მატარებლისა და გვირაბის პერიმეტრებს შორის არსებულ სივრცეში ადგილი აქვს ჰაერის ნაკადის გადადინებას W სიჩქარით. აღნიშნული სიჩქარე დამოკიდებულია მატარებლის თავსა და ბოლოში წნევათა სხვაობაზე, აგრეთვე მატარებლის მოძრაობით გამოწვეულ ეფექტიაზე. ამ უკანასკნელზე კი გავლენა აქვს მატარებლის ბორბლებისა და ღერძების ბრუნვით და გადატანით მოძრაობას, ვაგონებს შორის სივრცეში არსებული ჰაერის ბალიშის მოძრაობას მატარებელთან ერთად, მის შინაგან ტურბულენტურ და აეროდინამიკურ გავლენას ღრეჩოში ჰაერის ნაკადის ცირკულაციაზე.



**ნახ. 17. უძრავი მატარებლის შემთხვევაში ფარდობით სიჩქარეთა სქემა**

$V_0 - C$  - მიმწყდომი ნაკადის სიჩქარე მატარებლის წინ და მატარებლის უკან;  $V_0 + W$  - ჰაერის ნაკადის ფარდობითი სიჩქარე ღრეჩოში

განვიხილოთ ჰაერის ფარდობითი მოძრაობა იმ პირობით, რომ მატარებელი გვირაბში გაჩერებულია უძრავად და მოძრაობს მხოლოდ სავენტილაციო ჰაერის ნაკადი. აღნიშნულის სქემა წარმოდგენილია ნახ. 17.-ზე.

რეალურად მიმდინარე პროცესში მატარებლის მოძრაობით აღძრული ჰაერის ნაკადი იყოფა ორ მდგენელად: მატარებელზე მიმწყდომი ნაკადისა და დგუშის ეფექტით გამოწვეული ცირკულაციური ნაკადის სახით მატარებლის წინ და უკან, რომელთა შორის ადგილი აქვს დამოკიდებულებას

$$V_T = V_0 - C, \text{ მ/წმ} \quad (1)$$

სადაც  $C$  არის დგუშის ეფექტით გამოწვეული ცირკულაციური ნაკადის სიჩქარე მატარებლის წინ და უკან, მ/წმ.

მეორეს მხრივ, მოძრავი მატარებლის შემთხვევაში, მიმწყდომი ნაკადი აგრძელებს მატარებლის შემხვედრ მოძრაობას და გადაედინება ღრეჩოში ფარდობითი სიჩქარით

$$V_G = V_0 \pm W, \text{ მ/წმ} \quad (2)$$

სადაც  $V_G$  არის გადადინებული ნაკადის ფარდობითი სიჩქარე ღრეჩოში, მ/წმ.

უწყვეტობის განტოლებიდან გამომდინარე შეიძლება დაიწეროს

$$V_T f = V_G (f - F), \text{ მ}^3/\text{წმ} \quad (3)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ გვირაბის შევსების კოეფიციენტი

$$\alpha = \frac{F}{f} \quad (4)$$

სადაც  $F$  არის მატარებლის ვაგონის მიდელური კვეთის ფართობი, მ<sup>2</sup>;  $f$  - გვირაბის განივკვეთის ფართობი, მ<sup>2</sup>.

(3) ფორმულის გარდაქმნით მივიღებთ:

$$V_G = \frac{V_T}{(1 - \alpha)}, \text{ მ/წმ} \quad (5)$$

ამგვარად (5) ფორმულით განისაზღვრება გვირაბისა და მატარებლის პერიმეტრს შორის არსებულ ღრეჩოში გადადინებული ჰაერის ნაკადის სიჩქარე, რაც ვენტილაციის ერთ-ერთი ტექნოლოგიური მახასიათებლის მნიშვნელოვანი პარამეტრია.

უწყვეტობის განტოლებიდან გამომდინარე და აღნიშნულ პროცესში მოქმედი ყველა ფაქტორის აეროდინამიკური მახასიათებლების შესაბამისი მნიშვნელობების გამოყენებით მიღებულია მიმწყდომ ჰაერის ნაკადის სიჩქარესა და მატარებლის მოძრაობის სიჩქარეს შორის დამოკიდებულება:

$$\frac{V_T}{V_0} = \frac{1}{1 + \frac{1}{(1-\alpha) \sqrt{\xi_T \frac{f}{F_w} \frac{1-\alpha}{1+0.004n \frac{S_w}{F_w}}}}} \quad (6)$$

უკვე განმარტებული სიდიდეების გარდა ფორმულაში (6) მიღებულია შემდეგი აღნიშვნები:  $\xi_T$  არის გვირაბის სრული წინაღობის კოეფიციენტი გვირაბის მოცემული სიგრძის ( $l$ , მ), მატარებლის სიგრძის ( $L$ , მ) და გვირაბის ეკვივალენტური რადიუსისათვის ( $R$ , მ);  $F_w$  - ვაგონის ეკვივალენტური ფართობი, მ<sup>2</sup>;  $n$  - ვაგონების რიცხვი შემადგენლობაში;  $S_w$  - ვაგონის ზედაპირის ფართობი ფსკერის ფართობის გამოკლებით, მ<sup>2</sup>.

გვირაბის სრული წინაღობის კოეფიციენტი იანგარიშება ფორმულით

$$\xi_T = 1.5 + 0.007 \frac{l-L}{R} \quad (7)$$

ვაგონის ეკვივალენტური ფართობი იანგარიშება შუბლური წინაღობის კოეფიციენტის სიდიდის გათვალისწინებით

$$F_w = c_w F, \text{ მ}^2 \quad (8)$$

სადაც  $c_w$  არის ვაგონის შუბლური წინაღობის კოეფიციენტი.

თუ (6) ფორმულის ტოლობის მარჯვენა მხარეს ავლიშნავთ -  $\omega$  მაშინ მატარებლის სიჩქარის გამოთვლა შეიძლება:

$$V_0 = \frac{V_T}{\omega} \text{ მ/წმ} \quad (9)$$

ხოლო ფორმულის (1) გათვალისწინებით ცირკულაციური ჰაერის ნაკადის სიჩქარის საანგარიშო ფორმულა მიიღეწბს სახეს:

$$C = V_0(1-\omega), \text{ მ/წმ} \quad (10)$$

მატარებლის გვირაბში მოძრაობისას, დგუმის ეფექტით აღძრული სავენტილაციო ჰაერის ხარჯი შესაძლებელია განისაზღვროს ფორმულით

$$Q = Cf, \text{ (მ}^3\text{/წმ)} \quad (11)$$

აღნიშნული ფორმულების გამოყენება შესაძლებელია მატარებლის გვირაბში მოძრაობისას დგუმის ეფექტით განპირობებული ვენტილაციის ტექნოლოგიურ მახასიათებლების განმსაზღვრელი პარამეტრების როგორც თეორიულად გაანგარიშებისათვის ასევე ექსპერიმენტების ან რიცხვითი მოდელირების დაგეგმვისა და განხორციელების შემთხვევაში.

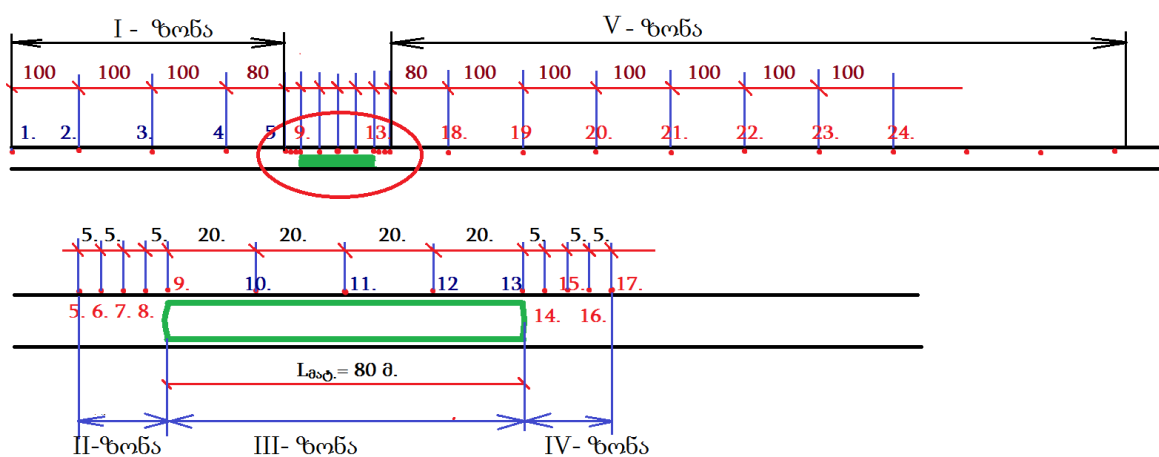


დღევანდელი კომპიუტერული ტექნოლოგიები საშუალებას იძლევა საკმაოდ მაღალი სიზუსტით აღწეროთ მეტროპოლიტენის გვირაბებში აღმრული ჰაერის ნაკადების ცვალებადობის დინამიკა. აქედან გამომდინარე ამოცანის დასმა მოხდა თბილისის მეტროპოლიტენის გადასარბენი გვირაბებისათვის, შეიქმნა საბაზო მოდელები შემდეგი საწყისი პარამეტრების მიხედვით:

გადასარბენი გვირაბის სიგრძე - 1200 მ; გადასარბენი გვირაბის განივი კვეთის ფართობი -  $12,25 \div 20,40$  მ<sup>2</sup>; მატარებლის სიგრძე - 80 მ; მატარებლის სიჩქარე -  $25 \div 50$  კმ/სთ; მატარებლის განივი კვეთის ფართობი -  $5,0 \div 7,5$  მ<sup>2</sup>. მოდელირება და გამოთვლები შესრულდა PyroSim 2016-ის პროგრამულ გარემოში.

რიცხვითი ექსპერიმენტის შედეგები მატარებლის გვირაბში მოძრაობისას დგუშის ეფექტისათვის, როდესაც გვირაბის შევსების კოეფიციენტი  $\alpha \leq 0,25$ , მოცემულია ნაშრომში [39], აგრეთვე აღნიშნულ თემასთან მიმართებაში საკითხები დამუშავებულია სტატიებში [40], [41], [43], [45].

სასაზღვრო პირობის სახით მოცემული იყო გვირაბის მარცხენა პორტალიდან ჰაერის მიმწყდომი ნაკადი, რომლის სიჩქარე შეესაბამებოდა, მატარებლის სიჩქარეს მიღებულ დიაპაზონში (25-50 კმ/სთ), ხოლო გვირაბის შევსების კოეფიციენტი მოცემული გვექონდა  $\alpha = 0,35 \div 0,61$  ზღვრებში. მოდელირება შესრულდა სამი სხვადასხვა შემთხვევისთვის: მოძრავი შემადგენლობის პირველი ვაგონი გადასარბენი გვირაბის მარცხენა პორტალიდან განთავსებული იყო 200; 300 და 400 მ-ით დაშორებით. ჰაერის ნაკადის სიჩქარისა და შესაბამისი წნევის აღმრიცხველი სენსორები განლაგებული იყო გადასარბენი გვირაბის მთელს სიგრძეზე ნახ. 18.-ზე წარმოდგენილი სქემის მიხედვით.



ნახ. 18. რიცხვითი მოდელირებისას, ჰაერის ნაკადის სიჩქარისა და შესაბამისი წნევის აღმრიცხველი დეტექტორების გადასარბენ გვირაბში განლაგების სქემა

აღნიშნული სქემა შეესაბამება შემთხვევას, როდესაც მოძრავი შემადგენლობის პირველი ვაგონი გადასარბენი გვირაბის მარცხენა პორტალიდან დაშორებული

იყო 400 მ მანძილით. სქემის მიხედვით გადასარბენი გვირაბის I და V ზონებში სენსორები განლაგებული იყო ყოველ 100 მ-ში; II და IV ზონებში- ყოველ 5 მ-ში; III ზონაში ე.წ. ღრეჩოშიკი - ყოველ 20 მ-ში.

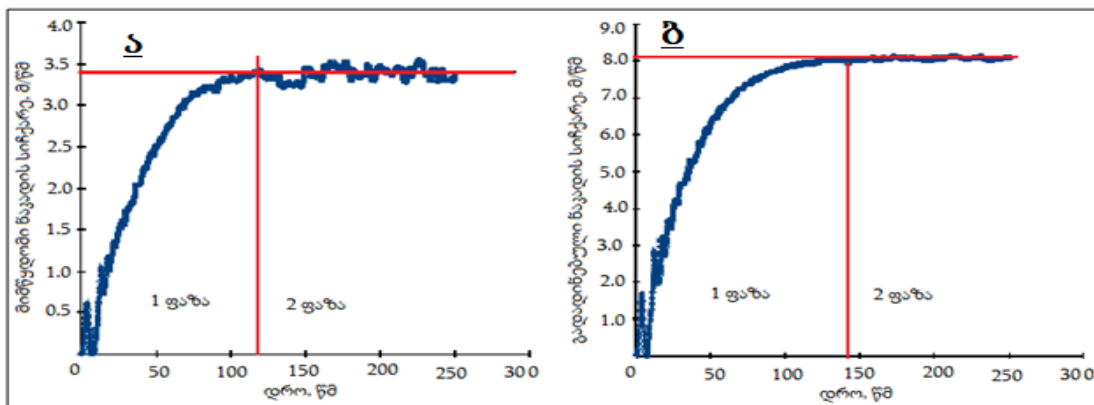
ცხრილი 1

მიმწყდომი ნაკადისა და მატარებლების სიჩქარეთა თანაფარდობა  $\omega$  ამოსავალ სიდიდეებთან ერთად, რომლებსთვისაც შესრულდა რიცხვითი მოდელირება

$F, \text{მ}^2$	$f, \text{მ}^2$	$\alpha$	$F_w$	$S_w, \text{მ}^2$	$R, \text{მ}$	$c_w$	$\xi_T$	$\omega$
5,00	12,25	0,408	4,8	130	0,88	0,95	10,41	0,667
6,25	12,25	0,510	6,0	147	0,88	0,95	10,41	0,570
7,50	12,25	0,610	7,1	164	0,88	0,95	10,41	0,464
7,50	20,40	0,370	7,1	164	1,27	0,95	7,67	0,652

მიმწყდომი ჰაერის ნაკადის სიჩქარესა და მატარებლის მოძრაობის სიჩქარეს შორის თანაფარდობის  $\omega$  რიცხობრივი მნიშვნელობები მისი ანგარიშისთვის საჭირო ამომავალ სიდიდეებთან ერთად მოცემულია ცხრილი 1-ში.

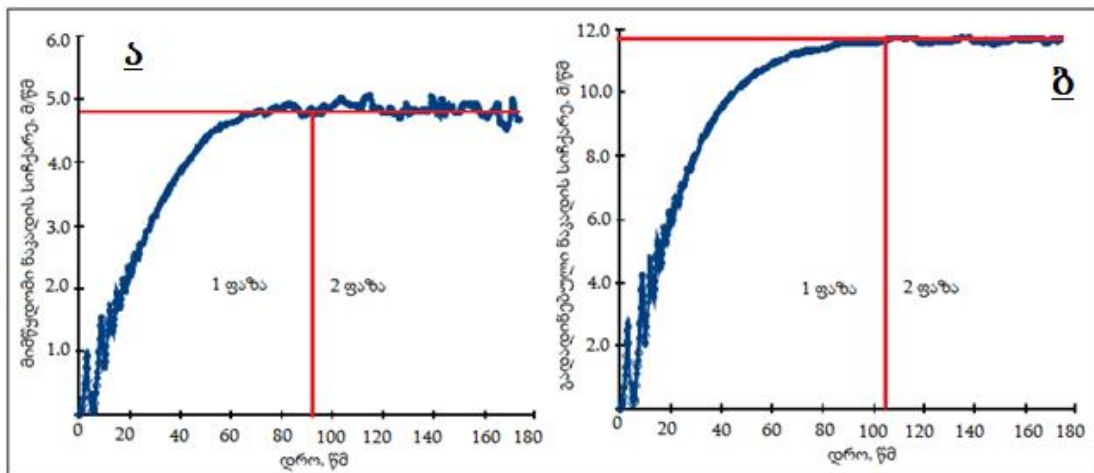
აღნიშნულ ცხრილში გამოყენებულია შემდეგი აღნიშვნები:  $F$  - მატარებლის მიდელური კვეთის ფართობი,  $\text{მ}^2$ ;  $f$  - გვირაბის განივკვეთის ფართობი,  $\text{მ}^2$ ;  $\alpha$  - მატარებლით გვირაბის შევსების კოეფიციენტი;  $F_w$  - ვაგონის განივკვეთის ეკვივალენტური ფართობი,  $\text{მ}^2$ ;  $S_w$  - ვაგონის ზედაპირის ფართობი ფსკერის ფართობის გამოკლებით,  $\text{მ}^2$ ;  $R$  - გვირაბის ეკვივალენტური რადიუსი  $R = f/P$ ,  $\text{მ}$ ;  $c_w$  - ვაგონის შუბლური წინაღობის კოეფიციენტი;  $\xi_T$  - გვირაბის სრული წინაღობის კოეფიციენტი;  $\omega$  - თანაფარდობა მიმწყდომი ნაკადისა და მატარებლების სიჩქარეთა შორის.



ნახ. 19. მიმწყდომი სავენტილაციო ნაკადის სიჩქარის დინამიკა პორტალთან (ა) და მატარებელსა და გვირაბს შორის ღრეჩოში (ბ), როცა მატარებლის სიჩქარეა 26 კმ/სთ, ხოლო  $\alpha = 0,61$ ,  $\omega = 0,47$

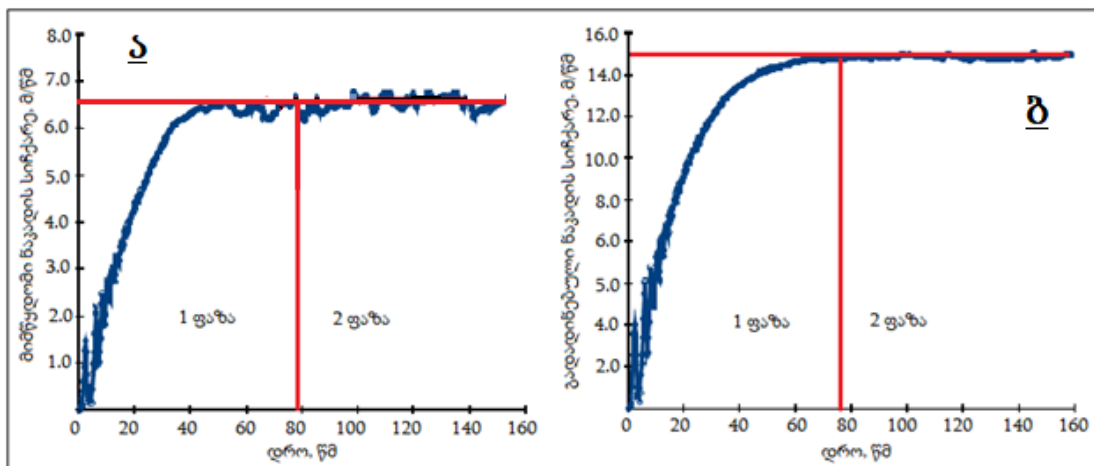
რიცხვითი მოდელირების დროს მიმწყდომი ჰაერის ნაკადის სიჩქარის ცვალებადობა ხდებოდა მატარებლის სიჩქარის ცვალებადობის შესაბამისად. მიღე-

ბული შედეგები შესაძლებელია გაანალიზებული იქნას ერთ-ერთი ექსპერიმენტის მონაცემების მიხედვით.



ნახ. 20 . მიმწყდომი სავენტილაციო ნაკადის სიჩქარის დინამიკა პორტალთან (ა) და მატარებელსა და გვირაბს შორის ღრეჩოში (ბ), როცა მატარებლის სიჩქარეა 36,8 კმ/სთ, ხოლო  $\alpha = 0,61$ ,  $\omega = 0,47$

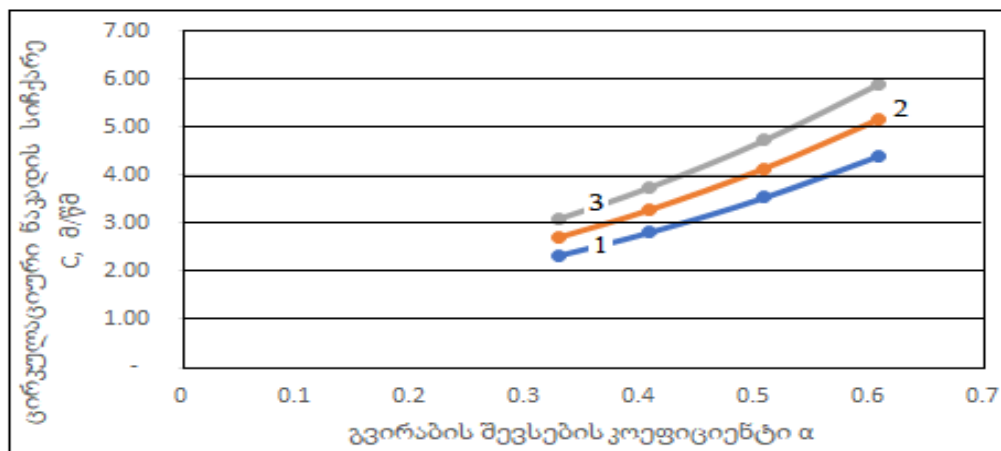
ნახ. 19.; ნახ 20.; ნახ21. წარმოდგენილია რიცხვითი მოდელირების ერთ-ერთი შედეგები, კერძოდ: მიმწყდომი და ე.წ. ღრეჩოში გადადინებული ჰაერის ნაკადების სიჩქარის ცვალებადობის დინამიკა, მატარებლის სიჩქარის ცვალებადო-ბასთან მიმართებაში.



ნახ. 21. მიმწყდომი სავენტილაციო ნაკადის სიჩქარის დინამიკა პორტალთან (ა) და მატარებელსა და გვირაბს შორის ღრეჩოში (ბ), როცა მატარებლის სიჩქარეა 49,8 კმ/სთ, ხოლო  $\alpha = 0,61$ ,  $\omega = 0,47$

წარმოდგენილი ნახაზებიდან ნათელია, რომ როგორც მიმწყდომი ასევე ე.წ. ღრეჩოში გადადინებული ჰაერის ნაკადების სიჩქარეთა ცვალებადობის დინამიკა შეიძლება განვიხილოთ ორ ფაზად: I ფაზაში ნაკადების სიჩქარეთა ცვალებადობის

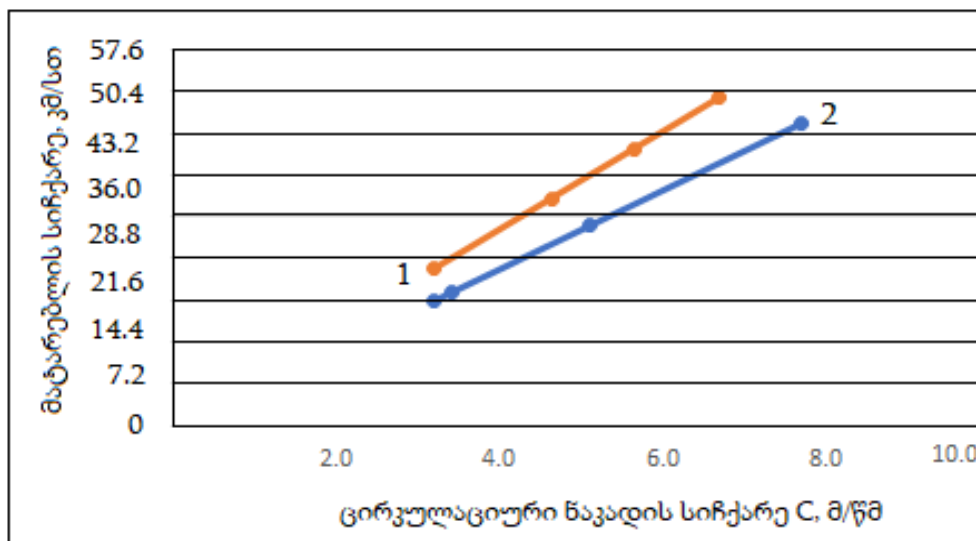
დინამიკა არასტაციონარული ხასიათისაა, რაც გარკვეული დროის შემდეგ, II-ფაზაში გადადის სტაციონალურ მდგომარეობაში. აღნიშნული ფაზები უნდა ახასიათებდეს მატარებლის გვირაბში მოძრაობისას, დგუშის ეფექტის შედეგად აღძრულ ჰაერის ყველა ნაკადს.



ნახ. 22. ცირკულაციური ნაკადის სიჩქარის ცვალებადობა გვირაბის შევსების კოეფიციენტის მიხედვით მატარებლის სიჩქარეებისათვის, კმ/სთ:

1 -  $V_0 = 30$ ; 2 -  $V_0 = 35$ ; 3 -  $V_0 = 40$

ნახ. 22.-ზე წარმოდგენილია რიცხვითი მოდელირების ერთ-ერთი შედეგი, კერძოდ: მატარებლის მოძრაობის სიჩქარის მიხედვით, მატარებლის გვირაბში მოძრაობისას, დგუშის ეფექტის შედეგად აღძრული ცირკულაციური სავენტილაციო ნაკადის სიჩქარის დამოკიდებულება გვირაბის შევსების კოეფიციენტზე.



ნახ. 23. ცირკულაციური ნაკადის  $C$  სიჩქარის ცვალებადობა მატარებლის სიჩქარის  $V_0$  მიხედვით, როცა: 1-  $\alpha = 0,57$ ; 2-  $\alpha = 0,61$

ნახ.23.- ზე წარმოდგენილია გვირაბის შევსების კოეფიციენტის მიხედვით, გადასარბენ გვირაბში აღძრული ჰაერის ცირკულაციური ნაკადის სიჩქარის დამოკიდებულება მატარებლის მოძრაობის სიჩქარესთან.

აღნიშნული გრაფიკების საშუალებით, რომლებიც ექსპერიმენტების შედეგების მიხედვით არის აგებული, შესაძლებლობას იძლევა დგუშის ეფექტით განპირობებული სავენტილაციო ტექნოლოგიური მახასიათებლების საჭირო პარამეტრების დადგენასა და ამ თავში მოყვანილი ფორმულების საშუალებით ვიანგარიშით ვენტილაციისათვის საჭირო ჰაერის ხარჯი.

ცხრილი 2 - ში წარმოდგენილია სავენტილაციო ტექნოლოგიური მახასიათებლების ზოგიერთი განმსაზღვრელი პარამეტრების თეორიული და ექსპერიმენტით მიღებული მონაცემების ერთმანეთთან შედარების შედეგები. როგორც ცხრილი 2-დან ჩანს თეორიული და ექსპერიმენტის შედეგები ერთმანეთთან კარგ თანხვედრაში არიან. ამგვარად, მატარებლის სიჩქარის მიხედვით, შესაძლებელია დგუშის ეფექტით გამოწვეული მიმწყდომი, ცირკულაციური, გადადინებული ნაკადების სიჩქარეებისა და ჰაერის ხარჯის გამოთვლა, რომლებიც მეტროს ვენტილაციის ძირითადი ტექნოლოგიური მახასიათებლებია. ამასთან საპროექტო მონაცემებიდან გამომდინარე, ცირკულაციური ნაკადის სიჩქარის გამოთვლა უფრო ხელსაყრელია მატარებლის სიჩქარესთან კავშირის, ნახ. 23. - ზე მოცემული გრაფიკების მიხედვით.

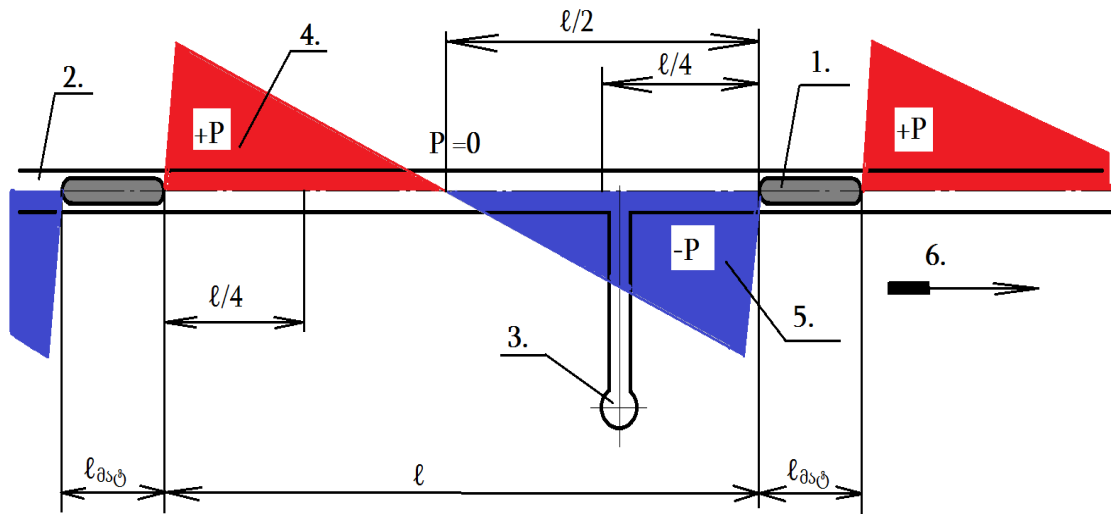
**ცხრილი 2**

**რიცხვითი ექსპერიმენტით მიღებული, სავენტილაციო ნაკადის დამახასიათებელი სიდიდეების შედარება თეორიული ანალიზით მიღებულთან, როცა  $\alpha = 0,61$  და  $\omega = 0,47$**

მატარებლის სიჩქარე $V_0$ , კმ/სთ	მიმწყდომი ჰაერის ნაკადის სიჩქარე (თეორია) $V_T$ , მ/წმ	ცირკულაციური ნაკადის სიჩქარე (თეორია) $C$ , მ/წმ	გადადინებული ნაკადის სიჩქარე (თეორია) $V_G$ , მ/წმ	მიმწყდომი ნაკადის სიჩქარე (ექსპერიმენტი) $V_{T-EX}$ მ/წმ	ცირკულაციური ნაკადის სიჩქარე (ექსპერიმენტი) $C$ , მ/წმ	გადადინებული ნაკადის სიჩქარე (ექსპერიმენტი) $V_G$ , მ/წმ	ცდომილება, %
26,0	3,4	2,9	8,7	3,4	3,5	8,1	6,9
36,8	4,8	5,4	12,3	4,8	6,3	11,6	5,8
49,8	6,5	7,3	16,6	6,5	7,5	15,4	7,2

მიმდინარე ნაშრომის 1.2. თავში დასმულ კითხვაზე პასუხის გასაცემად, მნიშვნელოვანია დავადგინოთ გვირაბში მატარებლის მოძრაობისას, დგუშის ეფექტის შედეგად, მატარებლის წინ და უკან ფორმირებული, შესაბამისად ჭარბი წნევისა და გაიშვიათების ცვალებადობის დინამიკა. ამისათვის განვიხილოთ გადასარბენი გვირაბი, რომელიც საპირისპირო მიმართულებების გადასარბენ გვირაბთისაგან გამოყოფილია გრუნტის ფენით ან ყრუ ბეტონით. განვიხილოთ აღნიშნულ გვირაბში ერთმანეთს მიდევნებული, ერთნაირი თანაბარი სიჩქარის მქონე ორი მატარებელი.

აღნიშნულ შემთხვევაში მატარებლებს შორის სივრცეში ფორმირებული ჰაერის წნევების განაწილების ეპიურას ექნება სახე, როგორც გამოსახულია ნახ. 24.-ზე [1].



**ნახ. 24. გადასარბენ გვირაბში მოძრავ მატარებლებს შორის არსებულ სივრცეში ფორმირებული ჰაერის წნევების განაწილების ეპიურა**

1 - მოძრავი შემადგენლობა; 2 - გადასარბენი გვირაბი; 3 - სავენტიაციო ჭაური; 4 - ჭარბი წნევის გამომსახველი ეპიურის ნაწილი; 5 - გაიშვიათების ეპიურის ნაწილი; 6- მატარებლის მოძრაობის მიმართულება.

აღნიშნული სქემის მიხედვით, ერთ გვირაბში მყოფ ორ მატარებელს შორის არსებულ სივრცეში ჰაერის წნევების განაწილებას სწორხაზოვანი ხასიათი გააჩნია, რაც იმას ნიშნავს, რომ მაქსიმალური ჭარბი წნევა შექმნილია მატარებლის წინ, ხოლო მინიმალური მატარებლის უკან. წნევის მაქსიმუმის და მინიმუმის აბსოლიტური მნიშვნელობები თითქმის იდენტურია. ჰაერის წნევის ნულოვანი მნიშვნელობა  $P=0$ , პა მოცემულია მოძრავ შემადგენლობების შუაში როცა მათ შორის მანძილი  $l/2$  ტოლია. თუ მატარებლების მოძრაობის სიჩქარეები უცვლელია, ეპიურაზე წარმოდგენილი წნევების განაწილების სურათი თან სდევს მატარებლების გვირაბში მოძრაობას. თუ გადასარბენ გვირაბს მიერთებული აქვს სავენტიაციო ჭაური, მაშინ აღნიშნული ჭაურიდან სავენტიაციო ჰაერი ან შეიწოვება ან პირიქით ატმოსფეროში გამოიდევენება, ეს დამოკიდებულია აღნიშნულ ჭაურთან ეპიურის მდგომარეობაზე. ამასთან ერთად შეწოვილი ან დაბრუნებული ჰაერის რაოდენობა უშუალოდ არის დამოკიდებული დროის მოცემულ მომენტისთვის სავენტიაციო ჭაურთან ეპიურის მდებარეობაზე. მატარებლებს შორის არსებულ სივრცის მოცემულ წერტილში, დროის მოცემულ მომენტში, ჰაერის წნევის ან გაიშვიათების რიცხობრივი მნიშვნელობა ტოლია დროის აღნიშნულ მომენტში, გვირაბის განსახილველი წერტილიდან, მატარებლებს შორის არსებული მანძილის შუა წერტილამდე-  $l/2$  არსებულ მონაკვეთის აეროდინამიკური წინაღობისა, როგორც ავღნიშნეთ შუა წერტილისთვის  $P=0$  პა, ხოლო ჰაერის საშუალო წნევა ან გაიშვიათება, რომელიც მოქმედებს გვირაბში, ტოლი იქნება აეროდინამიკური წინაღობის საშუალო მნიშვნელობისა, რომელიც დამოკიდებულია  $P=0$  პა. წერტილიდან მატარებლის თავსა ან მეო-

რე მატარებლის ბოლოსთან არსებულ მანძილზე, უფრო ზუსტად  $\ell/2 \times 2 = \ell/4$  მანძილზე. აღნიშნული საშუალო წნევის ან საშუალო გაიშვიათების შედეგად სავენტიაციო ჭაურთან ჰაერი ან გამოიდევენება ატმოსფეროში ან პირიქით შეაღწევს მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში.

აღნიშნულ სივრცეში არსებული საშუალო წნევის ან გაიშვიათების გამოთვლა შესაძლებელია (12) ფორმულით:

$$\pm P_{საშ} = \frac{\lambda_{გვ} \ell}{d_{გვ}^4} \frac{1.2 \times C_{გორ}^2}{2}, \text{ პა} \quad (12)$$

მოცემულ ფორმულაში გარდა ცნობილი სიდიდეებისა,  $\lambda_{გვ}$ - გვირაბისაეროდინამიკური წინაღობაა, რომელიც შეირჩევა ცხრილებიდან [1].  $d_{გვ}$ - ექვივალენტური ჰიდრაულიკური დიამეტრია რომელიც გამოითვლება:

$$d_{გვ} = 4R = 4 \frac{f_{გვ}}{P_{გვ}}, \text{ მ} \quad (13)$$

ცხრილი 3 - ში წარმოდგენილია (12) ფორმულით ნაანგარიშევი მატარებლის წინ და უკან პორმირებული ჭარბი წნევისა და გაიშვიათების მნიშვნელობები ცხრილი 2 - ში მოცემული ჰაერის ცირკულაციური ნაკადის სიჩქარეებისათვის:

**ცხრილი 3**

**მატარებლის წინ და მატარებლის უკან ფორმირებული ჭარბი წნევისა და გაიშვიათების რიცხოვრივი მნიშვნელობები ნაანგარიშევი (12) ფორმულით:**

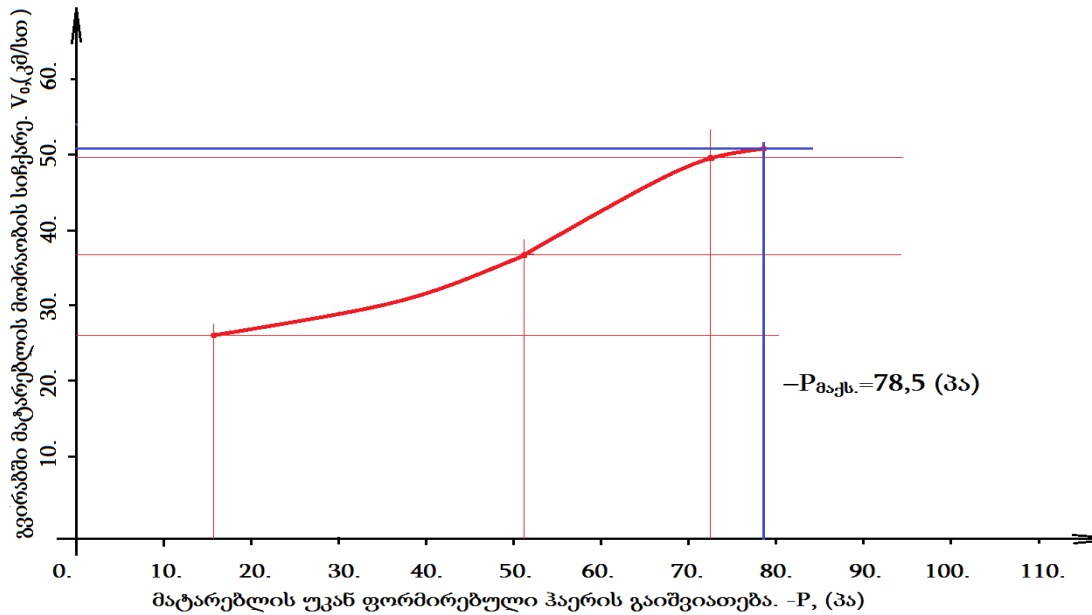
$V_0$ , კმ/სთ	$C_{გორ}$ , მ/წმ	+ $P_{საშ}$ , პა	- $P_{საშ}$ , პა
26,0	3,5	15,8	15,8
36,8	6,3	51,2	51,2
49,8	7,5	72,6	72,6
50,4	7,8	78,5	78,5

აღნიშნული მონაცემები მიღებულია ამავე თავში მოცემული საწყისი პირობებისთვის, როდესაც გვირაბში მატარებლებს შორის მანძილი  $\ell = 800$  მ; შესაბამისად ავაგეთ მატარებლის უკან ფორმირებული გაიშვიათებისა და მატარებლის სიჩქარეს შორის დამოკიდებულების გრაფიკი: ნახ. 25.-ზე აღნიშნული გრაფიკიდან ჩანს, რომ როდესაც გვირაბში მატარებლის სიჩქარე აღწევს მაქსიმუმს  $V_0 = 50,4$  მ/წმ, მატარებლის უკან იქმნება მაქსიმალური გაიშვიათება,  $P_{მაქს.} = - 78,5$  პა.

მიღებული მონაცემების მიხედვით ნათელია, რომ როდესაც მატარებლის ბოლო ვაგონი გაივლის გადასარბენი გვირაბის იმ კვეთს, სადაც ხდება ნამუშევარი ჰაერის ატმოსფეროში დასაბრუნებელი სავენტიაციო ჭაურის შერწყმა გადასარბენ გვირაბთან, მოხდება აღნიშნული მიმართულებიდან დაუგეგმავი ჰაერის მოხვედრა მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში.



ამ შინაარსში უფრო შორსაც შეიძლება წასვლა, კერძოდ: მატარებლის გვირაბში მოძრაობისას მატარებლის წინ და უკან წარმოქმნილ წნევათა შორისი სხვაობა გამოითვლება [44].



ნახ. 25. მეტროპოლიტენის გადასარბენ გვირაბში მოძრავ მატარებლის სიჩქარესა და მატარებლის უკან ფორმირებულ გაიშვიათებას შორის დამოკიდებულების გრაფიკი

$$\Delta P = 0,0072V_0^4, \text{ პა} \quad (14)$$

თუ  $P_1$ -ით ავლნიშნავთ მატარებლის წინ, ხოლო  $P_2$  - მატარებლის უკან არსებულ წნევას, მაშინ შეიძლება დავწეროთ, რომ

$$\Delta P = P_1 - P_2, \text{ პა} \quad (15)$$

განვიხილოთ მატარებლის გადასარბენ გვირაბში მოძრაობა პირობით:

$$\alpha = 1.$$

ამ შემთხვევაში შეიძლება დავწეროთ:  $P_1 = (-P_2)$ , პა

მაშინ

$$\Delta P = 2P_1, \text{ პა} \quad (16)$$

ამ ყველაფრის გათვალისწინებით  $V_0$  სიჩქარით მოძრავი მატარებლის წინ არსებული წნევა გამოითვლება:

$$P_1 = 0,0036V_0^4, \text{ პა} \quad (17)$$

ხოლო მატარებლის უკან ფორმირებული გაიშვიათება

$$P_2 = (-0,0036V_0^4), \text{ პა} \quad (18)$$



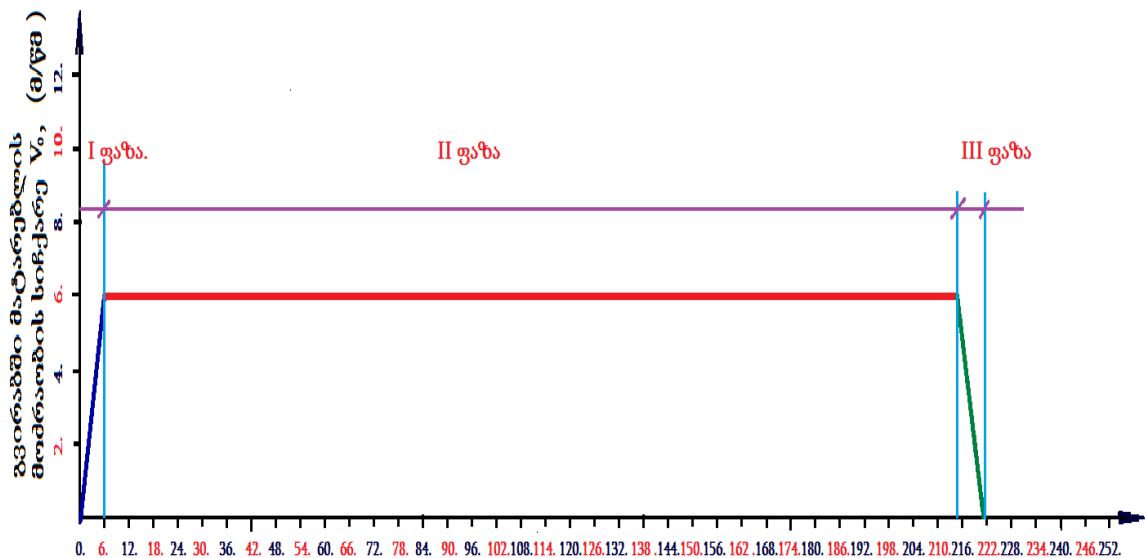
აღნიშნული დაშვების საფუძველზე განვიხილოთ მატარებლის გვირაბში მოძრაობა შემდეგი საწყისი პარამეტრების გათვალისწინებით:

- |                                    |                                  |
|------------------------------------|----------------------------------|
| 1. გადასარბენი გვირაბის სიგრძე -   | $L_{გვ.} = 1200$ მ.              |
| 2. გვირაბის განივი კვეთის ფართობი- | $S_{გვ.} = 16$ მ <sup>2</sup> .  |
| 3. მატარებლის სიგრძე               | $L_{მატ.} = 80$ მ.               |
| 4. მატარებლის სიჩქარეები           | $V_{მატ.} = 6; 8; 10; 12$ მ/წმ   |
| 5. მატარებლის აჩქარება             | $A_{მატ.} = 1$ მ/წმ <sup>2</sup> |
| 6. სადგურის სიგრძე                 | $L_{სად.} = 100$ მ.              |

აღნიშნული მოცემულობისათვის მატარებლის გვირაბში მოძრაობისას მის წინა და უკანა სივრცეში წარმოქმნილი ჰაერის ნაკადის წნევების დინამიკის დასადგენად განვიხილოთ მოძრავი შემადგენლობის მოძრაობის სამი ფაზა:

I ფაზა- მატარებელი სადგურში არის გაჩერებული და მოძრაობას იწყებს თანაბარაჩქარებოლად როცა  $A_{მატ.} = 1$  მ/წმ<sup>2</sup>. მოცემოლი შესაბამისი სიჩქარის დამყარებამდე  $V_0 = 6; 8; 10; 12$  მ/წმ.

II ფაზა- მატარებელი მოძრაობს გვირაბში მოცემული საანგარიშო სიჩქარით:  $V_{მატ.} = 6; 8; 10; 12$  მ/წმ.



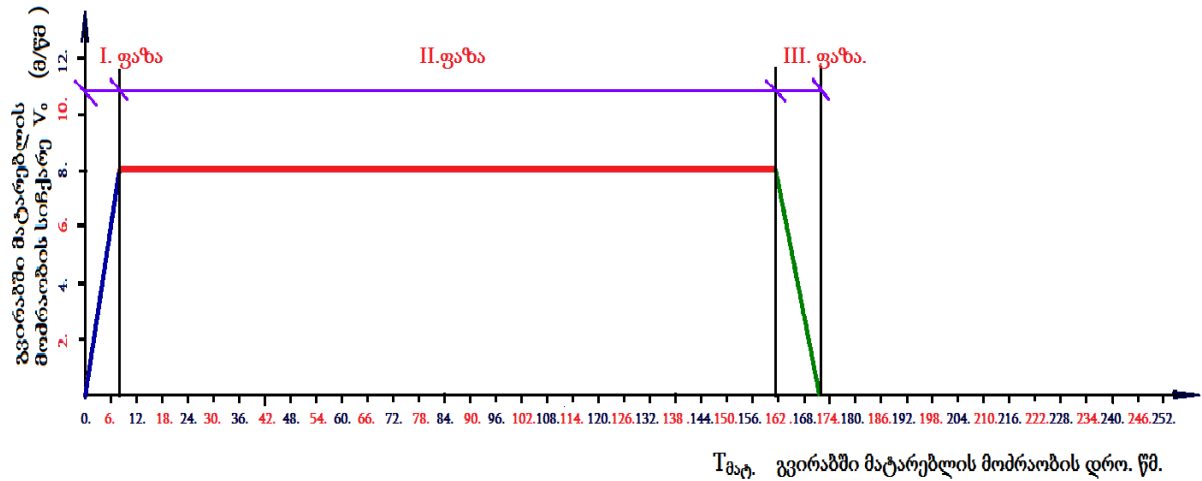
$T_{მატ.}$  გვირაბში მატარებლის მოძრაობის დრო. წმ.

**ნახ. 26. მატარებლის გვირაბში მოძრაობის ტაქოგრამა.  $V_0 = 6$  მ/წმ;  $A_{მატ.} = 1$  მ/წმ<sup>2</sup>;  $L_{გვ.} + L_{სად.} = 1200 + 100 = 1300$  მ**

ლურჯი კონტური ასახავს მატარებლის აჩქარების ფაზას. წითელი კონტური - მატარებლის თანაბარი სიჩქარით მოძრაობის ფაზას. მწვანე კონტური - მატარებლის შენელების ფაზას

III ფაზა- მატარებელი სადგურთან მიახლოებისას ანელებს მოძრაობას  $A_{მატ.} = -1 \text{ მ/წმ}^2$  სრულ გაჩერებამდე.

ნახ. 26.; ნახ. 27.; ნახ. 28.; ნახ. 29. წარმოდგენილია მატარებლის გვირაბში მოძრაობის ტაქოგრამა მატარებლის მოცემული საანგარიშო სიჩქარეების, მოცემული გადასარბენისა და სადგურის სიგრძის შესაბამისად.



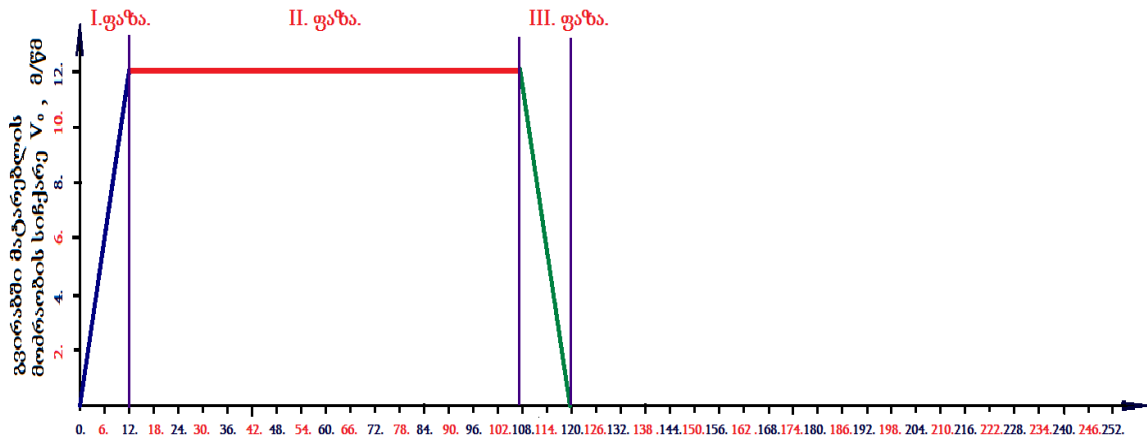
ნახ. 27. მატარებლის გვირაბში მოძრაობის ტაქოგრამა.  $V_0 = 8 \text{ მ/წმ}$ ;  $A_{მატ.} = 1 \text{ მ/წმ}^2$ ;  $L_{გვ.} + L_{სად.} = 1200 + 100 = 1300 \text{ მ}$

ლურჯი კონტური ასახავს მატარებლის აჩქარების ფაზას. წითელი კონტური - მატარებლის თანაბარი სიჩქარით მოძრაობის ფაზას. მწვანე კონტური - მატარებლის შენელების ფაზას.



ნახ. 28. მატარებლის გვირაბში მოძრაობის ტაქოგრამა.  $V_0 = 10 \text{ მ/წმ}$ ;  $A_{მატ.} = 1 \text{ მ/წმ}^2$ ;  $L_{გვ.} + L_{სად.} = 1200 + 100 = 1300 \text{ მ}$

ლურჯი კონტური ასახავს მატარებლის აჩქარების ფაზას. წითელი კონტური - მატარებლის თანაბარი სიჩქარით მოძრაობის ფაზას. მწვანე კონტური - მატარებლის შენელების ფაზას



$T_{mat}$ . გვირაბში მატარებლის მოძრაობის დრო. წმ.

ნახ. 29. მატარებლის გვირაბში მოძრაობის ტაქოგრამა.  $V_0 = 12$  მ/წმ;  $A_{მატ.} = 1$  მ/წმ<sup>2</sup>;  $L_{გგ.} + L_{სად.} = 1200 + 100 = 1300$  მ

ლურჯი კონტური ასახავს მატარებლის აჩქარების ფაზას. წითელი კონტური - მატარებლის თანაბარი სიჩქარით მოძრაობის ფაზას. მწვანე კონტური - მატარებლის შენელების ფაზას

ტაქოგრამაზე წარმოდგენილ ფაზებში მატარებლის წინ წარმოქმნილი ჰაერის წნევის დინამიკის და მისი შემდგომი გრაფიკულად გამოსახვისათვის (17) ფორმულის საშუალებით ვიანგარიშეთ  $P_1$  -ის მნიშვნელობები.

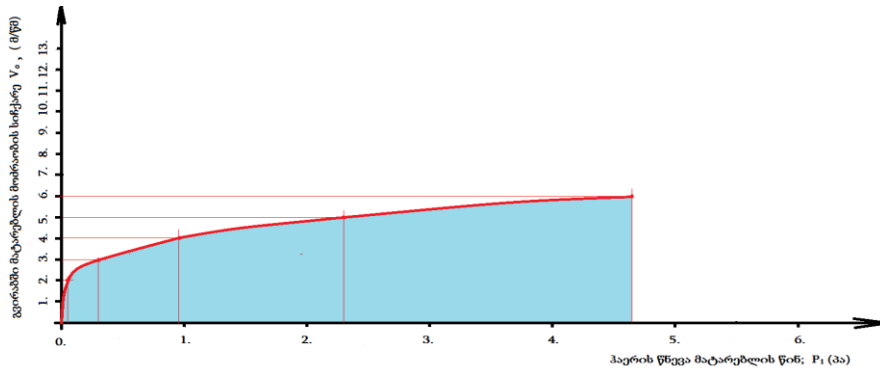
შედეგები შეტანილია ცხრილი 4- ში.

ცხრილი 4

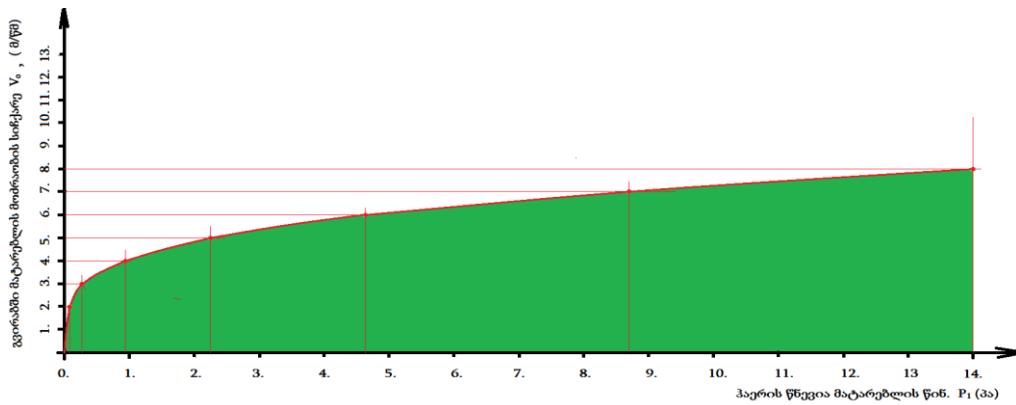
გვირაბში მატარებლის მოძრაობისას მატარებლის მოცემული სიჩქარის შესაბამისი  $P_1$  (ჰაერის წნევა მატარებლის წინ) მნიშვნელობები

$V_0$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
მ/წმ	მ/წმ	მ/წმ	მ/წმ	მ/წმ	მ/წმ	მ/წმ	მ/წმ	მ/წმ	მ/წმ	მ/წმ	მ/წმ	მ/წმ
$P_1$ (პა)	0,0036	0,06	0,29	0,92	2,25	4,67	8,64	14,74	23,62	36,0	52,7	74,65
$T_{მატ.}$ წმ.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.

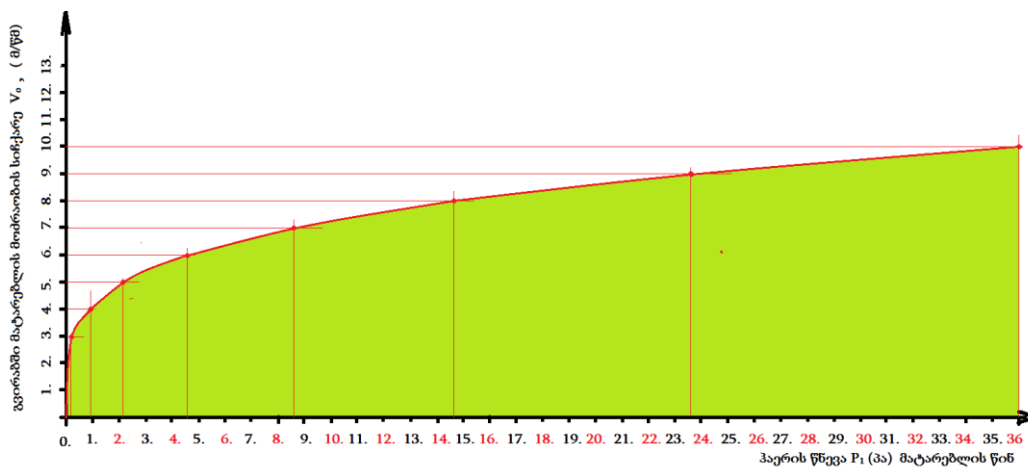
ნახ. 30.; ნახ. 31.; ნახ. 32.; ნახ. 33.- ზე წარმოდგენილია საწყისი მონაცემების მიხედვით, გვირაბში მატარებლის მოძრაობის დაწყებისას მის წინ წარმოქმნილი ჰაერის წნევისა და მატარებლის მოძრაობის სიჩქარეს შორის დამოკიდებულების გრაფიკები.



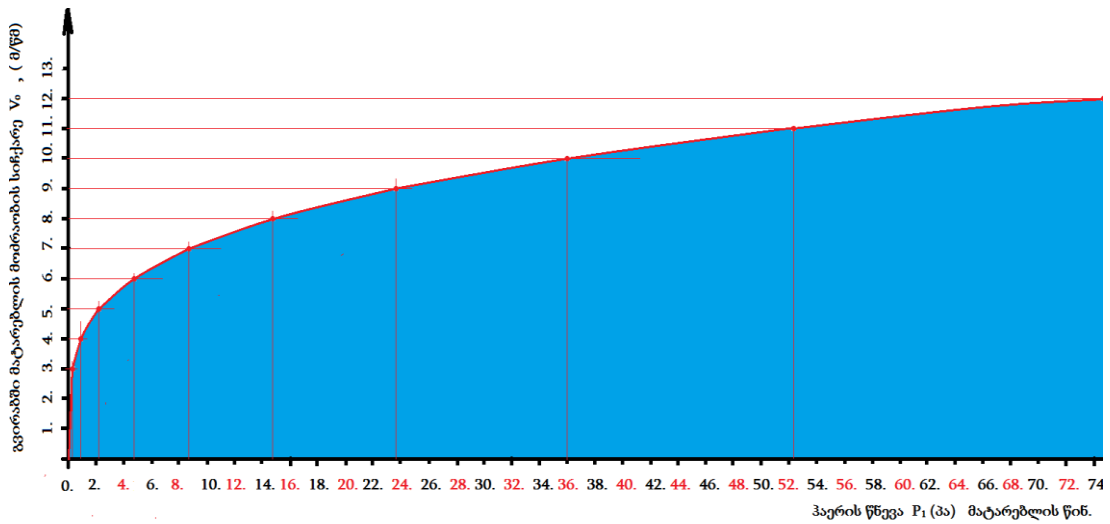
ნახ. 30. მეტროპოლიტენის გვირაბში მატარებლის მოძრაობის დაწყებისას I ფაზაში მატარებლის წინ ჰაერის წნევის  $P_1$  (პა) დამოკიდებულება მატარებლის სიჩქარის ზრდასთან  $V_0 = (0 \div 6)$  მ/წმ



ნახ. 31. მეტროპოლიტენის გვირაბში მატარებლის მოძრაობის დაწყებისას I ფაზაში მატარებლის წინ ჰაერის წნევის  $P_1$  (პა) დამოკიდებულება მატარებლის სიჩქარის ზრდასთან  $V_0 = (0 \div 8)$  მ/წმ

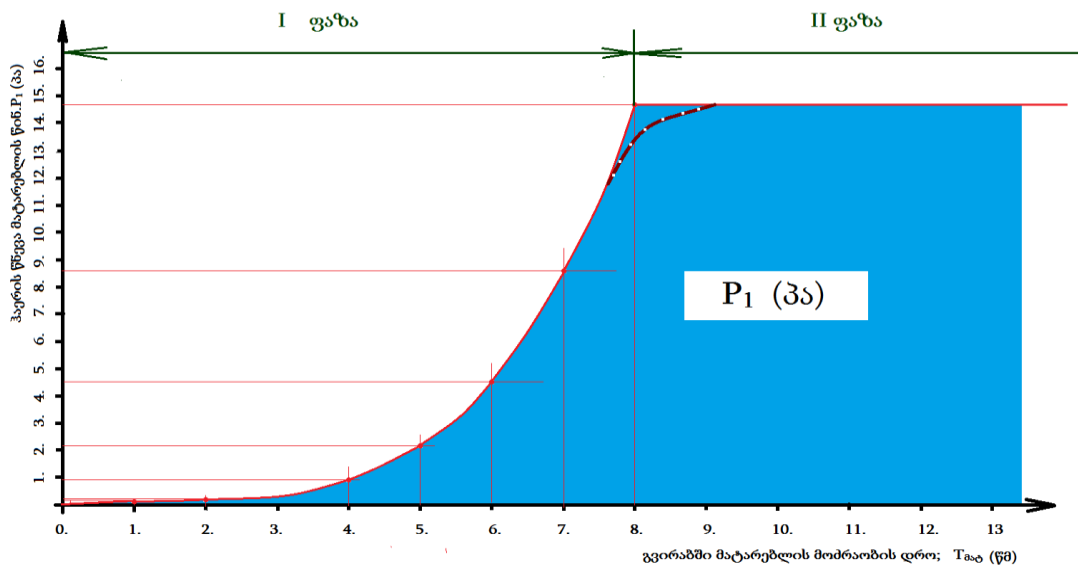


ნახ. 32. მეტროპოლიტენის გვირაბში მატარებლის მოძრაობის დაწყებისას I ფაზაში მატარებლის წინ ჰაერის წნევის  $P_1$  (პა) დამოკიდებულება მატარებლის სიჩქარის ზრდასთან  $V_0 = (0 \div 10)$  მ/წმ



**ნახ. 33.** მეტროპოლიტენის გვირაბში მატარებლის მოძრაობის დაწყებისას I ფაზაში მატარებლის წინ ჰაერის წნევის  $P_1$  (პა) დამოკიდებულება მატარებლის სიჩქარის ზრდასთან  $V_0 = (0 \div 12)$  მ/წმ

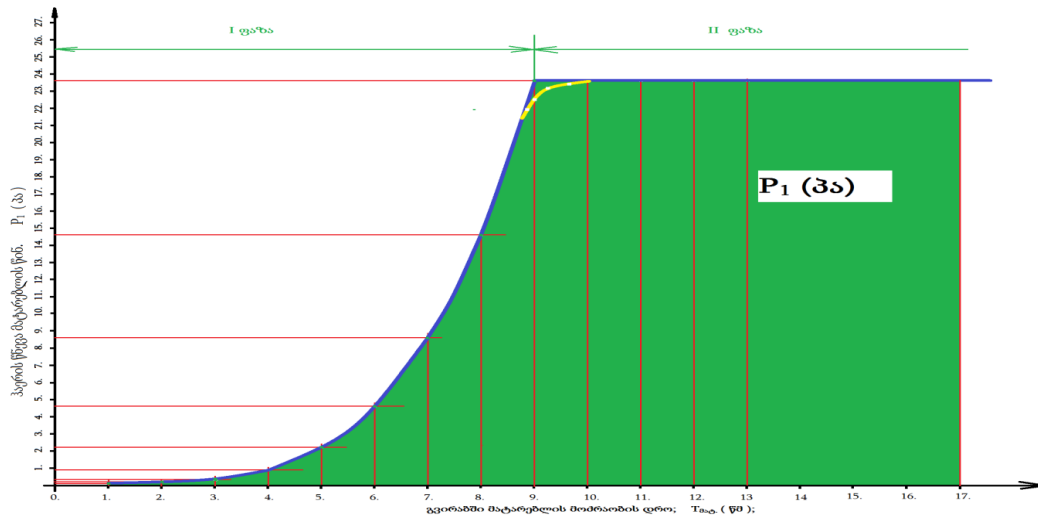
როგორც აღნიშნული გრაფიკებიდან ჩანს მატარებლის მოძრაობის დაწყების მომენტიდან მის წინ ჰაერის წნევა მდორედ იზრდება სანამ მატარებლის სიჩქარე 5 მ/წმ მიაღწევს, ამის შემდეგ მატარებლის სიჩქარის ზრდასთან ერთად, შედარებით მკვეთრად იზრდება ჰაერის წნევაც.



**ნახ. 34.** მატარებლის წინ ჰაერის წნევის ცვალებადობის დინამიკა I-II ფაზაში. მატარებლის სიჩქარე  $V_0 = (0 \div 8)$  მ/წმ

მატარებელი როდესაც დაამყარებს საანგარიშო მუდმივ სიჩქარეს სავარაუდოდ მის წინ ჰაერის წნევაც შეინარჩუნებს მიღწეულ მნიშვნელობას მოძრაობის II ფაზაში, მანამ სანამ არ გადავა მოძრაობის III ფაზაში, ანუ შენელებიდან სრულ გაჩერებამდე.

ნახ. 34.; ნახ. 35.-ზე წარმოდგენილია მატარებლის წინ აღძრული ჰაერის ნაკადის წნევის დროში ცვალებადობის დინამიკა, როდესაც მატარებელი ამყარებს მუდმივ სიჩქარეს შესაბამისად  $V_0=8$  მ/წმ და  $V_0=9$  მ/წმ. ნახაზები ასახავს მატარებლის მოძრაობის I ფაზიდან II ფაზაში გადასვლის მომენტს.



ნახ. 35. მატარებლის წინ ჰაერის წნევის ცვალებადობის დინამიკა I-II ფაზაში. მატარებლის სიჩქარე  $V_0=(0 \div 9)$  მ/წმ

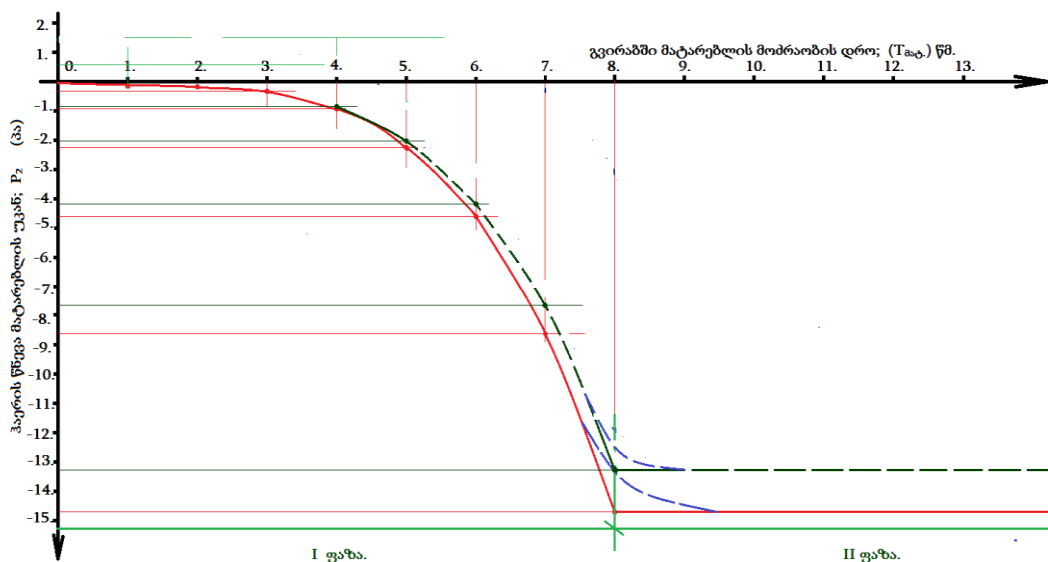
გრაფიკის მკვეთრი გადასვლის მიზაში შეიძლება შემდეგნაირად ავხსნათ: მოძრაობის დაწყებიდან 8 წმ-ის შემდეგ არსებული აჩქარება მკვეთრად ნულდება, რა თქმა უნდა პრაქტიკაში აჩქარების მკვეთრი განულება გამორიცხულია და გრაფიკზე მდორე გადასვლა გამოსახულია წყვეტილით ხაზებით. მატარებლის მოძრაობის III ფაზაში, შენელების დაწყებიდან სრულ გაჩერებამდე მატარებლის წინ არსებულ ჰაერის ფენებზე დაწნევა მცირდება. არ შეიძლება იმის თქმა, რომ მატარებლის სიჩქარის შემცირებასთან ერთად ჰაერის წნევის შემცირება იგივე დინამიკით მიმდინარეობს, როგორც იზრდებოდა ჰაერის წნევა მოძრაობის დაწყების მომენტში. ამ გარემოების ახსნა შესაძლებელია თუგავითვალისწინებთ ჰაერის მოძრაობისას ინერციის და დრეკადობის ფაქტორს.

ჩვენთვის ყველაზე მნიშვნელოვანია გავარკვიოთ თუ რა ხდება მატარებლის უკანა სივრცეში მოძრაობის დაწყებიდან შენელების მომენტამდე, ანუ I და II ფაზებში ვიდრე III ფაზა დაიწყება. აღნიშნულის გარკვევა შესაძლებელია ანალოგიური მსჯელობის საფუძველზე, კერძოდ (18) ფორმულის საშუალებით შეგვიძლია და დავადგინოთ მატარებლის უკან წარმოქმნილი გაიშვიათების რიცხოვრივი მაჩვენებლები.

გვირაბში მატარებლის მოძრაობისას მატარებლის მოცემული სიჩქარის შესაბამისი  $-P_2$  (ჰარვის გაიშვიათება მატარებლის უკან) ის მნიშვნელობები

$V_0$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	მ/წმ	მ/წმ	მ/წმ	მ/წმ	მ/წმ	მ/წმ	მ/წმ	მ/წმ	მ/წმ	მ/წმ	მ/წმ	მ/წმ
$-P_2$ (პა)	0,0036	0,06	0,29	0,92	2,25	4,67	8,64	14,74	23,62	36,00	52,7	74,65
$T_{მატ.წმ.}$	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.

ცხრილი 5-ში წარმოდგენილია (18) ფორმულით ნაანგარიშები შედეგები.



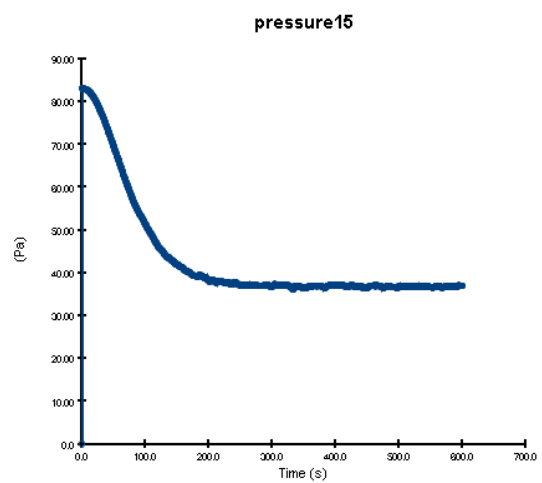
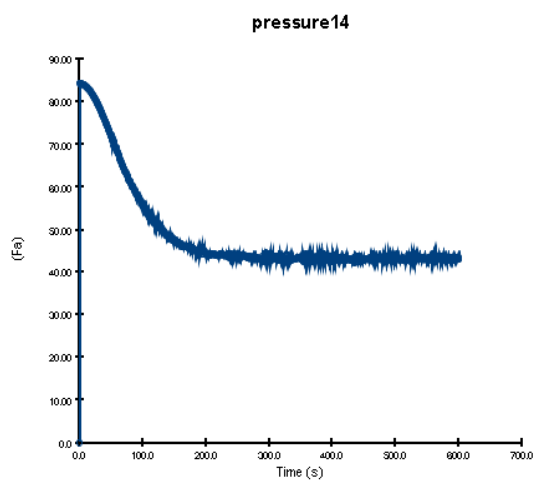
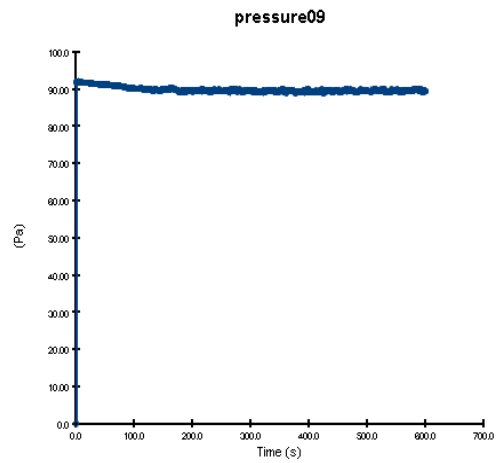
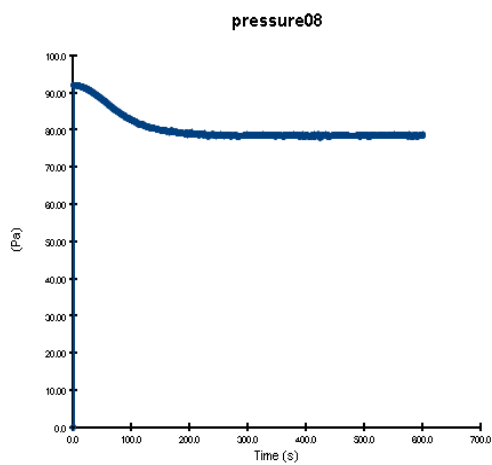
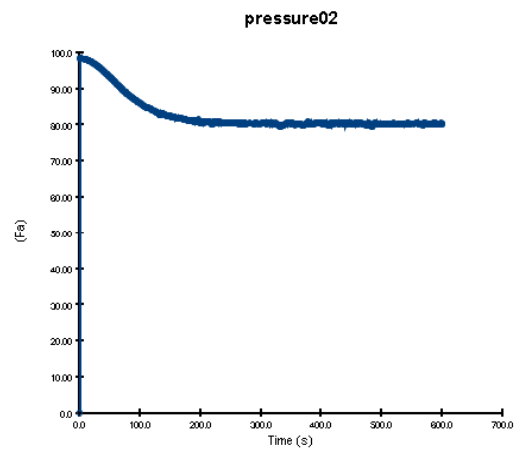
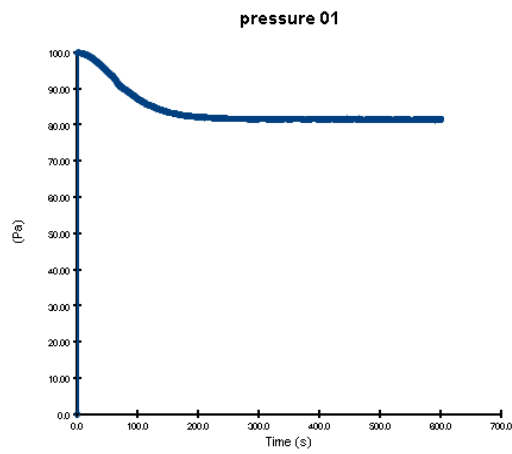
ნახ. 36. მატარებლის უკან ჰარვის გაიშვიათების დინამიკა მოძრაობის I-II ფაზაში

ცხრილი 5-ის მონაცემების მიხედვით ნახ. 36.-ზე გამოსახულია მატარებლის უკან წარმოქმნილი გაიშვიათების დინამიკა. (გამოსახულია წითელი უწყვეტი კონტურით).

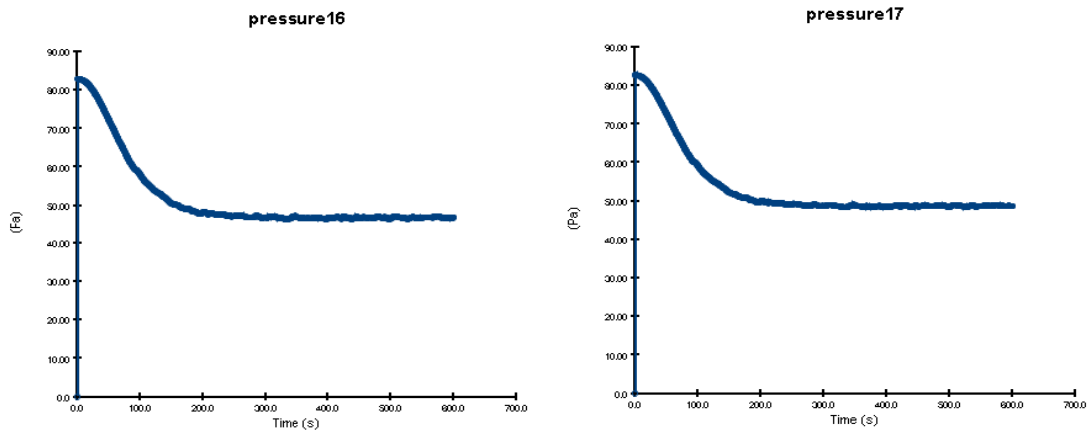
აღნიშნული მსჯელობა და თეორიულ მოსაზრება დასაშვებად მიგვაჩნია იმ საწყისი დაშვების გათვალისწინებით რომელიც ზემოთ იყო მოყვანილი, კერძოდ: გვირაბის შევსების კოეფიციენტი  $\alpha = 1$ .

რა თქმა უნდა რეალურ გარემოში გვირაბის შევსების კოეფიციენტი მნიშვნელოვნად ნაკლებია ერთზე, რაც იმის მანიშნებელია, რომ დიდი ალბათობით ე.წ. ღრეჩოში გადადინებულ ჰარს გარკვეული გავლენა უნდა ქონდეს, როგორც მატარებლის წინ წარმოქმნილ ჰარს წნევაზე ასევე მატარებლის უკან ფორმირებულ გაიშვიათებაზე. აღნიშნულის დასადგენათ განვიხილოთ რიცხვითი მოდელირების

ერთ-ერთი შედეგი კერძოდ ნახ.18. სქემის მიხედვით 1; 2; 8; 9; 14; 15; 16; 17 სენსორების გრაფიკული ჩანაწერები, რომლებიც წარმოდგენილია ნახ. 37.-ზე.







**ნახ. 37. ჭარბი წნევის სენსორების გრაფიკული ჩანაწერები შესაბამისად 1; 2; 8; 9; 14; 15; 16; 17 ლოკაციებზე**

აღნიშნული გრაფიკული ჩანაწერები შეესაბამება შემთხვევას, როდესაც მატარებელი გვირაბში დგას გაჩერებული მარცხენა პორტალიდან 400 მ მანძილზე; გვირაბის შევსების კოეფიციენტი  $\alpha = 0,61$ ; მარცხენა პორტალთან შექმნილია ჭარბი წნევა 100 პა.

საინტერესო და მნიშვნელოვანია № 9 სენსორის გრაფიკული ჩანაწერი, რომელიც განთავსებულია უშუალოდ მატარებლის შუბლთან. როგორც გრაფიკიდან ჩანს მატარებლის შუბლთან ჰაერის ჭარბი წნევა დაახლოებით 90 პა ტოლია, რასაც პორტალთან მიცემულ წნევაზე დაახლოებით 10% იანი კლება აქვს. (ასეთივე შედეგებია მარცხენა პორტალთან 200; 300; 400 პა ჭარბი წნევის მინიჭების შემთხვევაშიც). აღნიშნული განპირობებულია მატარებელსა და გვირაბს შორის არსებულ ღრეჩოთი, რადგან ღრეჩოს არარსებობის შემთხვევაში საფუძვლიანი მოსაზრებით შეიძლება ითქვას, რომ აღნიშნულ წნევის ვარდნას მოცემულ ლოკაციაზე ადგილი არ უნდა ქონდეს. თუ აღნიშნულს დაუკავშირებთ ჩვენს მიერ ზემოთ მოყვანილ თეორიულ მოსაზრებას მაშინ შეიძლება ითქვას, რომ მატარებლის წინ ფორმირებული ჭარბი წნევის რიცხობრივი მნიშვნელობები რეალურ მოცემულობაში (როდესაც გვირაბის შევსების კოეფიციენტი  $\alpha = 0,61$ ) იქნება 10 % -ით შემცირებული ვიდრე ცხრილი 4 - ში მოცემული, თეორიული ანგარიშით მიღებული ანალოგიური მნიშვნელობები  $\alpha = 1$  - ის შემთხვევაში. თუ გავითვალისწინებთ უწყვეტობის კანონს, მაშინ რეალურ მოცემულობაში მატარებლის უკან ფორმირებული გაიშვიათების რიცხობრივი მნიშვნელობები ( $- P_2$ ) გამოსახული ცხრილი 5 ში საჭიროებს შესაბამის კორექტირებას.

კორექტირებული შედეგები გამოვსახეთ ცხრილი 6 - ში. რა თქმა უნდა გაიშვიათების შესაბამისი შედეგები დგება გვირაბში მატარებლის მოძრაობის II ფაზაში, ხოლო მატარებლის მოძრაობის დაწყებიდან ვიდრე II ფაზა მატარებლის უკან გაიშვიათება ფორმირდება 0-დან ცხრილი 6 - ში მოცემულ შესაბამის მნიშვნელობებამდე.

ცხრილი 6

გვირაბში მატარებლის მოძრაობისას მატარებლის მოცემული სიჩქარის შესაბამისი -P<sub>2</sub> (ჰარეის გაიშვიათება მატარებლის უკან) ის კორექტირებული მნიშვნელობები

V <sub>0</sub>	2მ/წმ	3მ/წმ	4მ/წმ	5მ/წმ	6მ/წმ	7მ/წმ	8მ/წმ	9მ/წმ	10მ/წმ	11მ/წმ	12მ/წმ
-P <sub>2</sub> (პა) (თეორ)	0,06	0,29	0,92	2,25	4,67	8,64	14,74	23,62	36,00	52,7	74,65
-P <sub>2</sub> (პა) (კორექ)	0,054	0,261	0,828	2,025	4,203	7,776	13,27	21,26	32,4	47,43	67,19
T <sub>მატ.</sub> წმ.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.

ცხრილი 6 -ში მოცემული მატარებლის უკან ფორმირებული გაიშვიათების კორექტირებული მნიშვნელობების მიხედვით მოვახდინეთ ნახ. 36. -ზე წითელი კონტურით გამოსახული, მატარებლის უკან ფორმირებული გაიშვიათების დინამიკის კორექტირება, შესაბამისად წარმოდგენილია იგივე ნახაზზე მწვანე წყვეტილი კონტურით.

## დასკვნა

1. თეორიული და კომპიუტერული მოდელირების შედეგების ანალიზით დადგინდა, რომ მეტროპოლიტენის გვირაბში მატარებლის მოძრაობისას, დგუშის ეფექტის შედეგად აღძრული ჰაერის ნაკადები: მატარებლის წინ წაგდებული და უკან მიდევნებული, არეთვე გვირაბისა და მატარებლის პერიმეტრებს შორის არსებულ ღრეჩოში გადადინებული ჰაერის ნაკადები, ძირითადად არასტაციონალური ხასიათისაა, გადასარბენი გვირაბის არასაკმარისი სიგრძიდან გამომდინარე აღნიშნული ჰაერის ნაკადები სტაბილიზაციას ვერ ახერხებენ, რადგანაც ჰაერის ნაკადების არასტაციონალური მდგომარეობიდან სტაბილურ მდგომარეობაში გადასვლისათვის დაახლოებით 100 წმ- ია საჭირო, ამ დროში კი მატარებელი სრულად ფარავს გადასარბენი გვირაბის მთელ მანძილს.

2. მატარებლის გვირაბში მოძრაობისას დგუშის ეფექტის შედეგად აღძრული ცირკულაციური ჰაერის ნაკადის სიჩქარესა და გვირაბის შევსების კოეფიციენტს შორის დამოკიდებულება პროპორციული ხასიათისაა, აგრეთვე პირდაპირპროპორციულ დამოკიდებულებაშია გვირაბში მატარებლის მოძრაობის სიჩქარესთან.

3. კომპიუტერული მოდელირებით მიღებული სავენტილაციო მახასიათებლების რიცხობრივი მნიშვნელობები კარგ თანხვედრაში არიან თეორიული ანალიზისა და ანგარიშით მიღებულ ანალოგიურ მაჩვენებლებთან, აქედან გამომდინარე მოდელირების შედეგად მიღებული მონაცემებით შესაძლებელია დგუშის ეფექტისათვის საჭირო ჰაერის ხარჯის ანგარიში.

4. თეორიული და მოდელირების შედეგების ანალიზის საფუძველზე, შეიძლება ითქვას შემდეგი: გვირაბში მატარებლის მოძრაობისას მატარებლის წინ და უკან შესაბამისად ჰაერის ჭარბ წნევისა და გაიშვიათების ფორმირებაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მატარებლისა და გვირაბის პერიმეტრებს შორის არსებული ღრეჩო და მაშასადამე გვირაბის შევსების კოეფიციენტი  $\alpha$ . აღსანიშნავია, რომ მატარებლის უკან ფორმირებული გაიშვიათების რიცხობრივი მაჩვენებელი შესაძლებელია უმნიშვნელოდ ჩამორჩებოდეს მატარებლის წინ ფორმირებულ ჭარბი წნევის რიცხობრივ მაჩვენებელს, რაც გამოწვეულია დისიპაციური პროცესებით, რომელსაც იწვევს ღრეჩოში გადადინებული ჰაერის ნაკადის ტურბოლენტური ხასიათი.

5. მატარებლის გვირაბში მოძრაობისას მატარებლის უკან ფორმირდება გაიშვიათების ისეთი მნიშვნელობა, რომლის საფუძველზეც ნამუშევარი ჰაერის ატმოსფეროში დასაბრუნებელი სავენტილაციო ჭაურიდან შესაძლებელია დაუგეგმავი ჰაერის მოხვედრა მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში, რაც სერიოზულ საფრთხეს ქმნის აეროზოლური ტერორისტული შეტევის განხორციელებისათვის.

აღნიშნულის თავიდან არიდების მიზნით მიზანშეწონილია დამატებითი ღონისძიებების ჩატარება, კერძოდ:

1. ყველა სავენტილაციო ჭაური, რომელიც განკუთვნილია ნამუშევარი ჰაერის ატმოსფეროში დასაბრუნებლად და პოტენციურად წარმოადგენს იმ მიმართულებას საიდანაც შესაძლებელია არასანქცირებული ჰაერის მოხვედრა მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში უნდა აღიჭურვოს ე.წ. მარტივი ცალმხრივი სარქველებით, რომელთა მუშაობის პრინციპი შემდეგია: აღნიშნული ცალმხრივი სარქველები გაატარებენ ნამუშევარ ჰაერს მხოლოდ გადასარბენი გვირაბიდან ატმოსფეროს მიმართულებით, ხოლო პირიქით მიმართულებას დაბლოკავენ.
2. ყველა სევენტილაციო ჭაური, რომელიც პრობლემურ მიმართულებას ქმნიან ასევე შეიძლება აღიჭურვოს გამწოვი სავენტილაციო დანადგარებით რომელთა სამუშაო სიმძლევრის ანგარიშისთვის ამომავალი სიდიდე იქნება იმ მაქსიმალური გაიშვიათების რიცხობრივი მნიშვნელობა, რომელიც ფორმირდება მატარებლის უკანა სივრცეში გადასარბენ გვირაბში მოძრაობისას.

ნაშრომი შესრულებულია შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფინანსური მხარდაჭერით. საგრანტო პროექტი FR – 22 - 12949 „კრიტიკული სიჩქარისა და ხანძრით გამოწვეული უკუდინების შესწავლა სიცოცხლის გადასარჩენად საავტომობილო გვირაბებში“

### გამოყენებული ლიტერატურა

1. Tsodikov. V. (1975) Ventilacia i Teplosnabjenie Metropolitenov. Moskva. “Nedra”, p. 566 (in Russian).
2. Yang Z., Su X., Ma F., Yu L., Wang H. (2015) An innovative environmental control system of subway. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* **147**, 120–131.
3. Moreno T., Reche C., Minguillón M.C., Capdevila M., de Miguel E., Querol X. (2017) The effect of ventilation protocols on airborne particulate matter in subway systems. *Science of the Total Environment*, 1317–1323.
4. Moreno T., Pérez N., Reche C., Martins V., de Miguel E., Capdevila M., Centelles S., Minguillón M.C., Amato F., Alastuey A., Querol X., Gibbons W. (2014) Subway platform air quality: Assessing the influences of tunnel ventilation, train piston effect and station design. *Atmospheric Environment* **92**, 461 – 468
5. Mendes L., Gini M.I., Biskops G., Colbeck I., Eleftheriadis K. (2018) Airborne ultrafine particles in a naturally ventilated metro station: Dominant sources and mixing state determined by particle size distribution and volatility measurements. *Environmental Pollution* **239**, 82 – 94.

6. Moreno T., Martins V., Querol X., Jones T., Béru Bé K., Minguillón M. C., Amato F., Capdevila M., de Miguel E., Centelles S., Gibbons W. (2015) A new look at inhalable metalliferous airborne particles on rail subway platforms. *Science of the Total Environment* **505**, 367–375.
7. Wang J., Zhao L., Zhu D., Gao H. O., Xie Y., Li H., Xu X., Wang H. (2016) Characteristics of particulate matter (PM) concentrations influenced by piston wind and train door opening in the Shanghai subway system. *Transportation Research. Part D* **47**, 77–88.
8. Xu B. and Hao J. (2017) Air quality inside subway metro indoor environment world-wide: A review. *Environment International* **107**, 33–46.
9. Kim K.H., Ho D. X., Jeon J.S, Kim J.C. (2012) A noticeable shift in particulate matter levels after platform screen door installation in a Korean subway station. *Atmospheric Environment* **49**, 219– 223.
10. Di Perna C., Carbonari A., Ansuini R., Casals M. (2014). Empirical approach for real-time estimation of air flow rates in a subway station. *Tunnelling and Underground Space Technology* **42**, 25–39.
11. Yang L., Zhang Y., Xia J. (2018) Case study of train-induced airflow inside underground subway stations with simplified field test methods. *Sustainable Cities and Society* **37**, 275–287.
12. Zhang Y. and Li X. (2018) A study of fresh air control in subway stations. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* **175**, 384–390.
13. Lia H., Tanga B., Cheb L., Liub J., Sua X. (2017) Conditioning System of Equipment Stations in Metro Systems. *Procedia Engineering* **205**, 3519–3524.
14. Guo-Qing L. and Shi-Jun Y. (2011) A New System to Reduce Air Pollution in Metro Platform. *Procedia Environmental Sciences* **11**, 1454 – 1458.
15. Wanga Y., Xiaofeng L. (2018), STESS: Subway thermal environment simulation software. *Sustainable Cities and Society* **38**, 98–108.
16. ლანჩავა ო., ნოზაძე გ., ხოკერაშვილი ზ., არუდაშვილი ნ. (2017) სითბური ფაქტორის მიხედვით თბილისის მეტროს სავენტილაციო ჰაერის გაანგარიშება. *სამთო ჟურნალი* **1(38)**, 92-95.
17. Lanchava O, Ilias N. (2017) Some issues of thermal calculation of ventilation air for the metro. *Journal of Engineering Sciences and Innovation* **2(2)**, AGIR Publishing House Bucharest, Romania, 92-105.
18. Lanchava O., Ilias N. (2020) Calculation of railway tunnels ventilation. *Journal of Engineering Sciences and Innovation* **5(1)**, AGIR Publishing House Bucharest, Romania, 69-86.

19. Oniani Sh., Lanchava O. (1979) Metodika Prognozirovania Temperaturnogo Rejima Shaxt V Oslajnnix Usloviax. V Kn.: EdinnaIa Metodika Prognozirivania Uslovii V Ugolnix Shaxtax. Makeevka-Donbas. 75-92 (in Russian).
20. ლანჩავა ო., ხოკერაშვილი ზ., არუდაშვილი ნ. (2018) ერთობლივი სითბოსა და ჰიგროსკოპული მასის არასტაციონარული გადაცემა მეტროს სავენტილაციო ჭავლსა და გარშემომცველ სამთო მასივს შორის. *სამთო ჟურნალი* 1(40), 34-43.
21. Lanchava O., Kunchulia T., Khokerashvili Z., Arudashvili N., Tsanova D. (2022) Determination of Non-Stationary Heat and Mass Transfer Coefficients in Tunnels. *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences* 16(2), 32-41.
22. Dzidziguri A., Oniani Sh., Duganov G., I dr. (1966). Teplofizichesskie svoistva gornix porod I metodi ix opredelenia. Tbilisi, Mecniereba, p. 228 (in Russian).
23. Lanchava O. (1998) Hygroscopic heat and mass transfer in underground structures, Tbilisi, GTU, p. 272.
24. Onsager L. (1931). Reciprocal Relations in Irreversible Processes. *Phys. Rev.* 37, 405-426.
25. Lanchava O., Ilias N. (2018) Complex calculation method of temperature, mass transfer potential and relative humidity for ventilation flow in subway. *Journal of Engineering Sciences and Innovation* 3(1), AGIR Publishing House, Bucharest, Romania, 69-84.
26. Lanchava O., Ilias N., Nozadze G., Radu SM. (2018) Heat and hygroscopic mass exchange modelling for safety management in tunnels of metro. "8th International Multidisciplinary Scientific Symposium" Universitaria SIMPRO. Petrosani, Romania, 27-33.
27. Lanchava O. (1985) Heat and mass exchange in newly driven mine workings. *Sov. Min. Sci.* (Engl. Transl.); (United States) 21, 460-464.
28. Lanchava O., Abashidze G., Tsverava D. (2017) Securing fire safety for underground structures. Supplement of Quality Access to Success; Bucharest 18(S1).
29. Lanchava O., Javakhishvili G. (2021) Impact of strong fires on a road tunnel ventilation system. *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences* 15(4), 38-45.
30. Lanchava O., Ilias N. (2020) Critical velocity analysis for safety management in case of tunnel fire. MATEC Web of Conferences 305, 00023. SESAM 2019.
31. კუნჭულია თ., ხოკერაშვილი ზ., არუდაშვილი ნ., ლანჩავა ზ. (2020) სავენტილაციო ნაკადების დინამიკისა და გვირაბების გეომეტრიის გავლენის შეფასება სავაკუაციო პერიოდზე საავტომობილო გვირაბის მოდელზე, დამოდელელებული ხანძრების შემთხვევაში. *ჟურნალი "ქართველი მეცნიერები"*, 5(4), 363.
32. ხოკერაშვილი ზ., კუნჭულია თ., არუდაშვილი ნ., ლანჩავა ზ. (2020). სავენტილაციო ნაკადების დინამიკისა და გვირაბების გეომეტრიის გავლენის

შეფასება საევაკუაციო პერიოდზე საავტომობილო გვირაბის მოდელებზე, დამოდელელებული ხანძრების შემთხვევაში; მე-6 საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენცია „სამთო საქმისა და გეოლოგიის განვითარება ეკონომიკის აღორძინების წინაპირობა“ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტი.

33. Lanchava O., Ilias N., Radu S.M., Makharadze L., Runchulia T., Arudashvili N., Khokerashvili Z. (2020) Analysis of the parameters of the fire modeled in a road tunnel. *Georgian Scientists (4science.ge)*, 1(1).

34. Lanchava O., Ilias N., Radu S.M., Jangidze M., Khokerashvili Z. (2021) Fire Development Study on Physical Models of Transport Tunnels. MATEC Web Conf. 9<sup>th</sup> edition of the International Multidisciplinary Symposium “UNIVERSITARIA SIMPRO 2021”, Petrosani, Romania, **342**.

35. ხოკერაშვილი ზ., ცანავა დ. (2022) ხანძრის ფიზიკური მოდელირების შედეგები საავტომობილო გვირაბებისათვის. *ჟურნალი "ქართველი მეცნიერები"* 4(2), 30-45.

36. Lanchava O., Makharadze L., Nozadze G., Jangidze M., Javakhishvili G., Kunchulia T., Khokerashvili Z., Arudashvili N., Tsanava D., Sebiskveradze S. (2022) Saving lives in a road tunnel using transformable elements restricting the propagation of fire products. *Georgian Scientists* 4(2), 1-29. <https://doi.org/10.52340/gS.2022.04.02.01>

37. Khokerashvili Z., Tsanava D. (2022) Propagation of Carbon Monoxide in Road Tunnels in Case of Fire by Considering the Critical Velocity, Backlayering and Gradient Factor. The International Scientific and Technical Conference "Problems of Engineering Sciences" Yerevan, Republic of Armenia, 31-32.

38. ხოკერაშვილი ზ., მაჭავარიანი ნ., არუდაშვილი ნ., ცანავა დ. (2022) ტრანსფორმირებადი ელემენტებით აღჭურვილ საავტომობილო გვირაბებში ხანძრის განვითარების ანალიზი რიცხვითი მოდელირების მეთოდით. *ჟურნალი "ქართველი მეცნიერები"* 4(5), 359-362.

39. Lanchava O., Ilias N., Nozadze G., Radu S., Moraru R., Khokerashvili Z., Arudashvili N. (2017) The Impact of the Piston Effect on the Technological Characteristics of Ventilation in the Subway Tunnels. Proceedings of 8th International Symposium “Occupational Health and Safety” SESAM 2017, Bucharest, Romania, 342-352.

40. ლანჩავა ო., ნოზაძე გ., ხოკერაშვილი ზ., არუდაშვილი ნ. (2017) დგუმის ეფექტით გამოწვეული ჰაერის ნაკადების შეფასებისათვის მეტროს გვირაბებში. *სამთო ჟურნალი* 2(39), 37-44.

41. ხოკერაშვილი ზ. (2017) მეტროს გვირაბებში დგუმის ეფექტის მოდელირებისა და გაანგარიშების ზოგიერთი საკითხები. კონფერენცია სამთო ინსტიტუტში.

42. Lanchava O., Nozadze G., Khokerashvili Z. (2017) Numerical Modeling of Ventilation Flow Distribution in Subway Tunnels with Considering of the Piston Effect. Proceedings of

9th International Conference “Contemporary problems of architecture and construction”, Batumi, Georgia, 390-392.

43. Lanchava O., Ilias N., Radu S., Nozadze G., Javakhishvili G. (2024) Study of the throttling effect in tunnel fires. MATEC Web of Conferences 389, 00056.

44. Arbuzov G.V. (1950) Ventiliatsia tonnelei i metropolitenov. Transjeldorizdat, p. 88 (in Russian).

45. Lanchava O., Ilias N., Nozadze G., Radu S., Moraru R., Khokerashvili Z., Arudashvili N. (2019) FSD Modelling of the Piston Effect in Subway Tunnels. Environmental Engineering and Management Journal, **18**(4), 317- 325.