

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ზაზა ხოკერაშვილი

მეტროს გვირაბების სავენტრალაციო სისტემების თეორიული
და ექსპერიმენტული კვლევა უსაფრთხო სავენტრალაციო
რეჟიმების დასადგენად

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი

2019

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის, საგანგებო სიტუაციების მართვისა
და შრომის უსაფრთხოების დეპარტამენტში

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: მოწ. პროფესორი ომარ ლანჩავა

რეცენზენტები: პროფ. ა. ბეჟანიშვილი

ტმკ. მ. ჯანგიძე

დაცვა შედგება 2019 წლის 18 ივლისი 14.00 საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამთო-გეოლოგიური
ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის № 73 სხდომაზე,
კორპუსი III, აუდიტორია 209

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას, 77

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატის - სტუ-ს ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი

ასოც. პროფესორი

----- დ. თევზაძე

წინასწარი ცნობები

მეტროპოლიტენი წარმოადგენს ქალაქის ერთ-ერთ ძირითად და მნიშვნელოვან ტრანსპორტის სახეობას, რომელიც უზრუნველყოფს ქალაქში არსებული მგზავრთნაკადების უდიდესი წილის მომსახურებას. მისი როგორც არსებული, ასევე პოტენციური ტექნიკური შესაძლებლობები მნიშვნელოვნად აღემატება ქალაქის დანარჩენი ტრანსპორტის ტექნიკურ შესაძლებლობებს. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, აღნიშნული ტრანსპორტის უსაფრთხო და საიმედო ფუნქციონირება, რასაც უზრუნველყოფს ყველა ის ტექნიკური საშუალებები და სისტემები, რომლებიც უშუალოდ ამ ტრანსპორტისთვისაა შექმნილი. ტექნიკურ საშუალებებში იგულისხმება სარკინიგზო ტრანსპორტის ბაზაზე მოწყობილი მოძრავი შემადგენლობები და მათი ფუნქციონირებისათვის აუცილებელი სათანადო ინფრასტრუქტურა. ეს უკანასკნელი მოიცავს, მეტროპოლიტენისათვის განკუთვნილ, როგორც ძირითად ასევე დამხმარე ნაგებობებს. ძირითადი ნაგებობებია: სადგურები და გადასარბენი ხაზები, რომლებიც შესაძლებელია განლაგებული იყოს, როგორც მიწის ზედაპირზე, ასევე მიწის ქვევით. მსოფლიოს უმეტეს ქალაქებში მეტროპოლიტენის ძირითადი ნაგებობები მიწისქვეშა განლაგებით გვხვდება, ამ კუთხით არც თბილისის მეტროპოლიტენია გამონაკლისი.

აღნიშნული ტრანსპორტის უსაფრთხო მუშაობისათვის, ყველა სხვა სისტემებთან ერთად მნიშვნელოვანია სავენტილაციო სისტემის გამართული და საიმედო ფუნქციონირება, რომლის დანიშნულებაცაა მუშაობის ყოველდღიურ რეჟიმში, უზრუნველყოს მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში ჰაერის ნორმალური ქიმიური შედგენილობისა და სათანადო მიკროკლიმატის შექმნა და შენარჩუნება, ამასთან ერთად ნამუშევარი ჰაერი დააბრუნოს ატმოსფეროში, მუშაობის საგანგებო რეჟიმში სავენტილაციო სისტემამ უნდა უპასუხოს ყველა იმ გამოწვევებს, რომლებიც წარმოიქმნება საგანგებო სიტუაციების ინიცირებისა და განვითარების დროს, ამ შემთხვევაში კი განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია აღნიშნული სისტემის მუშაობა შესაბამის, სწორედ შერჩეულ ოპტიმალურ რეჟიმში.

თემის მნიშვნელობა გამოკვეთილია ბოროტი განზრახვით გამოწვეული ხანძრებისა და აეროზოლური ტერორისტული თავდასხმის მაგალითზე. ამ მიზნით, რიცხვითი მოდელირების მეთოდებით შესწავლილია აეროზოლებისა და ჰაერის ნაკადების მოძრაობის კანონზომიერებები მიწისქვეშ.

მეტროპოლიტენებში, რომელთა ინფრასტრუქტურა მიწის ქვევით არის განლაგებული, საგანგებო სიტუაციის ინიცირების მიზეზები ძირითადად ტექნოგენურია და საკმაოდ მაღალია ალბათობა იმისა, რომ მივიღოთ ხანძრის ხასიათის მქონე საგანგებო ვითარება. ასეთ სივრცეში განვითარებული ხანძარი კი ხასიათდება წვის საკმაოდ მაღალი ტემპერატურით, რომელიც არსებულ ინფრასტრუქტურას ანადგურებს და წვადი მასალის სრული ან არასრული წვის შედეგად გამოყოფილი მომწამლავი და მხუთავი აირებით, რომლებიც ადამიანების სიცოცხლისუნარიანობაზე ახდენენ გავლენას. სიტუაციის ასე განვითარებისას, მნიშვნელოვანია, სავენტილაციო სისტემების მუშაობის სწორი და შესაბამისი რეჟიმების შერჩევა, რადგანაც სწორედ მასზეა დამოკიდებული აღნიშნულ ვითარებაში აღმოჩენილი ადამიანების გადარჩენის შესაძლებლობები. გარდა აღნიშნული საგანგებო ვითარებასთან გამკლავებისა, არანაკლებ მნიშვნელოვანია ისეთ საგანგებო ვითარების პრევენცია, რომელიც მიიღება აეროზოლური ტერორისტული შეტევისას მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში ტოქსიკური აირებისა და პათოგენური მიკრობების გავრცელების შემთხვევაში.

მეტროსა და სხვა მიწისქვეშა სატრანსპორტო კომუნიკაციებზე ტერორისტულმა თავდასხმებმა საზოგადოების წინაშე დააყენა ადამიანების მასობრივი თავშეყრის ადგილების საიმედოდ დაცვის უზრუნველყოფის მეტად მნიშვნელოვანი საკითხები. კერძოდ, მხედველობაში გვაქვს ქ. კაიროს მეტროსთან 2014 წლის, ქ. მინსკის მეტროში 2011 წლის, ქ. მოსკოვის მეტროში 2004 და 2010 წლების აფეთქებების, ქ. ლონდონის მეტროში 2005 წლის, ქ. მადრიდის გვირაბში 2004 წლისა და სატრანსპორტო კომუნიკაციებზე სხვა ტერორისტული თავდასხმები. ქ. ლონდონის მეტროს შემთხვევაში 1500-მდე ადამიანი პირდაპირ დაზარალდა, აგრეთვე დაზარალდა მთელი საზოგადოება დაუცველობის შეგრძნებისა და გაცნობიერების შედეგად.

თემის აქტუალურობა განსაკუთრებით გამოიკვეთა ქ. ტოკიოს მეტროპოლიტენში მომხდარი ინციდენტის შემდეგ, როდესაც ტერორისტების რამდენიმე ჯგუფმა მოახერხა და მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში გაავრცელა მომწამლავი აირი „ზარინი“, შედეგად მივიღეთ რამდენიმე დაღუპული და ორგანიზმის სხვადასხვა ხარისხის მოწამვლით ათასობით ადამიანი.

აღნიშნული ინციდენტის შემდეგ სავსებით საფუძვლიანად გაჩნდა შესაბამისი კითხვა: ხომ არ არის შესაძლებელი, ან კიდევ სხვა გზა და საშუალება იმისა, რომ შესაბამისი მცდელობის შედეგად მოხერხდეს ტოქსიკური აირების ან პათოგენური მიკრობების მოხვედრა და გავრცელება მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში. დღევანდელ მოცემულობაში აღნიშნულ კითხვაზე კვალიფიციური პასუხი არ არსებობს, რადგანაც, მიუხედავად თემის აქტუალურობისა, აღნიშნულ საკითხებზე ჩატარებული კვლევები და სამუშაოები საკმაოდ მწირია.

წინამდებარე ნაშრომი წარმოადგენს ერთ-ერთ პირველს, აღნიშნულ საკითხთან დაკავშირებით, კერძოდ: მეტროპოლიტენის მართვის სისტემების ანალიზის საფუძველზე დავადგინეთ ყველაზე სუსტი რგოლი, საიდანაც თეორიული დაშვებით შესაძლებელია დაუგეგმავი ჰაერის მოხვედრა მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში. შეიძლება ითქვას, რომ ყველაზე სუსტი რგოლი ამ მიმართულებით, სავენტილაციო სისტემებია, რადგანაც ეს ერთადერთი მიმართულებაა, რომლის საშუალებითაც მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცე მიწის ზედაპირს უკავშირდება, თუ არ ჩავთვლით ექსკალატორებისათვის განკუთვნილ დახრილ გვირაბებსა და მიწისქვეშა გადასარბენების მიწის ზედაპირთან მიერთების ლოკაციებს - პორტალებს. ეს ორი უკანასკნელი, განსაკუთრებით ქ. ტოკიოს ინციდენტის შემდეგ, მნიშვნელოვნად კონტროლდება.

აქედან გამომდინარე, შეიძლება აღინიშნოს, რომ პრობლემური სწორედაც, რომ სავენტილაციო სისტემა და უფრო კონკრეტულად, შედარებით დაუცველი ის კვანძია, სადაც ნამუშევარი ჰაერის ატმოსფეროში დასაბრუნებელი სავენტილაციო ჭაური უერთდება გადასარბენ გვირაბს, განსაკუთრე-

ბით იმ შემთხვევაში, როდესაც აღნიშნული სავენტილაციო ჭაური არ არის აღჭურვილი გამწოვი სავენტილაციო დანადგარით.

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

პრობლემის არსი ისაა, რომ მეტროპოლიტენის სავენტილაციო სისტემების ექსპლუატაციის ხასიათი და გამოყენებული სავენტილაციო ტექნოლოგია, სავენტილაციო არხებით მიწისქვეშ ტოქსიკური ნივთიერებების გავრცელების პოტენციურ საფრთხეს შეიცავს. მეტროპოლიტენის სავენტილაციო სისტემების არცერთი კონფიგურაცია (გრძივი, განივი, კომბინირებული) არ არის საკმარისად მოქნილი ეფექტური მართვისათვის, ვერ უზრუნველყოფს სქემის ან პარამეტრების შეცვლას ვითარების შესაბამისად და ამის გამო, მზად არ არის აიცილოს შიდა (საბოტაჟის მსგავსი) და გარე (ტერაქტის მსგავსი) თავდასხმა.

ცალკე პრობლემაა სავენტილაციო დანადგარებისა და გვირაბში მატარებლების მოძრაობისას, დგუმის ეფექტით განპირობებული ჰაერის ნაკადის მიმართულების ხშირი ცვლებადობა გადასარბენი გვირაბების შახტებში, რაც მოითხოვს სავენტილაციო დანადგარებისა და დგუმის ეფექტის ერთობლივი პარალელური მოქმედების საკითხის ღრმა ანალიზს თეორიულად და კომპიუტერული მოდელირებითაც. აღნიშნული პრობლემა თავისთავადაც საინტერესოა და არ არის შესწავლილი სათანადო სიღრმით, ხოლო საბოტაჟისა და ტერორისტული საშიშროების მხედველობაში მიღებით პრობლემა კიდევ უფრო მეტ მნიშვნელობას იძენს ჩვენი აზრით.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, მეტროპოლიტენის სავენტილაციო სისტემების ექსპლუატაციის ხასიათი შეიცავს პოტენციურ საშიშროებას აეროზოლური ტერაქტის განსახორციელებლად. პრობლემა აგრეთვე არის აღნიშნული სავენტილაციო სისტემების არაეფექტურობა ადამიანების სიცოცხლის გადარჩენის თვალსაზრისით მომხდარი ტერაქტის შემთხვევაში, რადგან საუკეთესო პრევენციის შემთხვევაშიც ტერაქტის გამორიცხვა დაუშვებელია.

პრობლემა მნიშვნელოვანია იმიტომ, რომ მსოფლიოს არცერთ მეტროპოლიტენში ჯერჯერობით გამოყენებული არ არის საბოტაჟისა და ტერორიზმის საშიშროებისაგან დაცული სავენტილაციო სისტემა და არ არის პერსონალი მომზადებული აღნიშნული მიმართულებით.

კვლევის მიზანია ანალიზის გზით დადგინდეს მიწისქვეშ სავენტილაციო ნაკადების მოძრაობისა და გავრცელების კანონზომიერებები, როცა ნაკადი წარმოადგენს სხვადასხვა სიმკვრივის აირების ნარევეს. ნაშრომის მიზანია აგრეთვე მიღებული კანონზომიერებების საფუძველზე, მატარებლის გვირაბში მოძრაობისას დგუმის ეფექტის შესწავლის გზით, მიწისქვეშა სივრცეში აირების უკონტროლო გავრცელების შესაძლებლობის გამოკვეთა, შეფასება და თავიდან აცილება.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. თანამედროვე კომპიუტერული ტექნოლოგიები საშუალებას იძლევა საკმაოდ მაღალი სიზუსტით ავლწეროთ მატარებლის გვირაბში მოძრაობისას დგუმის ეფექტის შედეგად აღძრული ჰაერის ნაკადები. მნიშვნელოვანია აგრეთვე მეტროს გვირაბებში აქროლადი ტოქსიკური ნივთიერებების გავრცელების დინამიკის კვლევა კომპიუტერული მოდელირებით. მომხდარი ტერაქტის შემთხვევაში სიცოცხლის გადასარჩენი ღონისძიებების დაგეგმვა, რაც ვენტილაციის მართვის პოტენციურ შესაძლებლობას მოგვცემს ახალი გამოწვევების შესაბამისად. აქედან გამომდინარე მოვახდინეთ სიტუაციის კომპიუტერული მოდელირება PyroSim 2016 პროგრამულ გარემოში.

გამოვლინდა მატარებლის გვირაბში მოძრაობისას, დგუმის 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. მოცემულია შესაბამისი ცხრილები და აგებულია მათი ცვალებადობის გრაფიკები, რომელთა საშუალებითაც შესაძლებელია სავენტილაციო მახასიათებლების დადგენა გადასარბენი გვირაბის გეომეტრიიდან გამომდინარე.

კომპიუტერული მოდელირების ღირსებაა ის გარემოება, რომ შედარებით ნაკლები დანახარჯებით შესაძლებელია სრულმასშტაბიანი ექსპერიმენტების ჩატარება. მოდელირება შესაძლებელია საკვლევი გარემოს ფიზიკური მახასიათებლებისა და სასაზღვრო პირობების ცვალებადობის გზით ფართო ფარგლებში. კომპიუტერული მოდელირების ხარვეზის - ნაკლები სიზუსტის ბალანსირება აღნიშნულ ამოცანებში განხორციელებულია მრავალი ცდით ტურბულენტურობის, ჰაერის სიმკვრივის ან ნაკადის სხვა მახასიათებელი პარამეტრების ცვალებადობის გზით.

უნდა აღინიშნოს, რომ რიცხვითი მოდელირების შედეგად დადგენილი სავენტილაციო მახასიათებლების განმსაზღვრელი პარამეტრები კარგ თანხვედრაში არიან თეორიული ანგარიშით მიღებულ ანალოგიურ სიდიდეებთან, რაც ჩანს ნაშრომში მოცემული გრაფიკებიდან და ცხრილებიდან და რაც აგრეთვე გვაძლევს იმის აღნიშვნის საფუძველს, რომ კომპიუტერული მოდელირებით მიღებული კანონზომიერებები სარწმუნოდ მივიჩნით.

კვლევის შედეგები და მეცნიერული სიახლე. დადგინდა ახალი კანონზომიერება, მეტროპოლიტენის მატარებლის გვირაბში მოძრაობისას, დღუშის ეფექტის შედეგად აღძრული ჰაერის ნაკადებს აქვთ 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 წნევისა და გაიშვიათების რიცხვით მნიშვნელობაზე.

გამოვლინდა სავენტილაციო სისტემის მუშაობის ტექნოლოგიური ხარვეზი, რაც სავენტილაციო ჰაერის არასაკმარის რაოდენობაში ან ჰაერის არასათანადო ხარისხში კი არ მდგომარეობს, არამედ არსებულ სავენტილა-

ციო 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 ნაშრომში ჩამოყალიბებულია მეტროპოლიტენის სავენტილაციო სისტემის მუშაობაზე ახალი საფრთხეების შესაბამისი მოთხოვნები, აღნიშნული პრობლემური კვანძის უსაფრთხო ფუნქციონირებისათვის სათანადო ტექნიკური საშუალებების გამოყენების შესაძლებლობები. კერძოდ:

1. ყველა სავენტილაციო ჭაური, რომელიც განკუთვნილია ნამუშევარი აირის ატმოსფეროში დასაბრუნებლად, პოტენციურად წარმოადგენს რა იმ მიმართულებას, საიდანაც შესაძლებელია არასანქცირებული ჰაერის მოხვედრა მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში, უნდა აღიჭურვოს ე.წ. მარტივი ცალმხრივი სარქველებით, რომლებიც გაატარებენ ნამუშევარ ჰაერს მხოლოდ გადასარბენი გვირაბიდან ატმოსფეროს მიმართულებით, ხოლო საპირისპირო მიმართულებით ჰაერის ნაკადის მოძრაობას შეზღუდავენ.

2. იგივე ჭაურები ასევე შესაძლებელია აღიჭურვოს გამწოვი სავენტილაციო დანადგარებით, რომელთა სამუშაო მაჩვენებლების (განვითარებული წნევის, ჰაერის ხარჯის) ანგარიშისთვის ამოსავალი სიდიდე იქნება მაქსიმალური გაიშვიათების რიცხოვრივი მნიშვნელობა, რომელიც ფორმირდება მატარებლის უკანა სივრცეში გადასარბენ გვირაბში მოძრაობისას და აგრეთვე მატარებლის გვირაბში მოძრაობისას დგუმის ეფექტით განპირობებული ჰაერის ხარჯი.

კვლევის შედეგების გამოყენების სფერო. მიღებული შედეგების გამოყენება შესაძლებელია როგორც თბილისის, ისე სხვა ქალაქების მეტროპოლიტენების ექსპლუატაციის უსაფრთხოების გაზრდის მიზნით.

ცნობები დისერტაციის მოცულობისა და სტრუქტურის შესახებ. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, ლიტერატურული მიმოხილვის, 3 თავის, ძირითადი დასკვნებისა და 26 დასახელების გამოყენებული ლიტე-

რატურის ნუსხისაგან. ნაშრომის მოცულობა შეადგენს კომპიუტერზე ნაბეჭდ 121 გვერდს, რომელიც შეიცავს 10 ცხრილს, 55 ნახაზს და 1 სურათს.

დისერტაციის ძირითადი შინაარსი

თავი 1. ლიტერატურის მიმოხილვა, წინასწარი ცნობები

მეტროპოლიტენი წარმოადგენს ქალაქის ერთიანი სატრანსპორტო სისტემის ერთ-ერთ ძირითად და მთავარ შემადგენელ ნაწილს, რომელიც მნიშვნელოვან როლს ასრულებს არსებული მდზავრთნაკადების მომსახურების პრობლემის გადაჭრაში. ადამიანებს, აღნიშნული ტრანსპორტით სარგებლობისას, გარკვეული დროის გატარება უხდებათ მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში, აქედან გამომდინარე, არსებითად მნიშვნელოვანია ის გარემო, რომელიც შექმნილია აღნიშნული სივრცის ნებისმიერ საგემენტში. მეტროპოლიტენის ექსპლუატაციის პროცესში, მუდმივად მიმდინარეობს იმ მავნე ფაქტორების ფორმირება, რომლებსაც შეუძლიათ საკმარის უარყოფითად იმოქმედონ მგზავრებისა და მომსახურე პერსონალის ჯანმრთელობაზე. აღნიშნულის თავიდან აცილების მიზნით, აუცილებელია მეტროპოლიტენის სავენტილაციო სისტემის გამართული და საიმედო ფუნქციონირება, რაც გამოიხატება სისტემის მუშაობის ორი რეჟიმით: 1. მუშაობის ჩვეულებრივი რეჟიმი, რომლის დროსაც მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეს სუფთა ჰაერი მიეწოდება მიწისზედა სივრციდან, ამის პარალელურად ნამუშევარი ჰაერი ბრუნდება ატმოსფეროში; 2. მუშაობის საგანგებო რეჟიმი, რომლის დროსაც სავენტილაციო სისტემამ უნდა უპასუხოს ყველა იმ გამოწვევას, რომელიც წარმოიქმნება ნებისმიერი მიზეზით ინიცირებული და განვითარებული საგანგებო სიტუაციის დროს.

ზოგადად სავენტილაციო სისტემები ჰაერის ნაკადის აღძვრის მეთოდის მიხედვით გვხვდება:

1. ჰაერის ნაკადის ბუნებრივად აღძვრის სავენტილაციო სისტემები;
 2. ჰაერის ნაკადის ხელოვნურად აღძვრის სავენტილაციო სისტემები.
- მეტროპოლიტენებში ჰაერის ნაკადის ბუნებრივად აღძვრის სავენტი-

ლაციო სისტემებს, თავისი სპეციფიკიდან გამომდინარე, პრაქტიკაში საკმაოდ იშვიათად გამოიყენებენ.

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

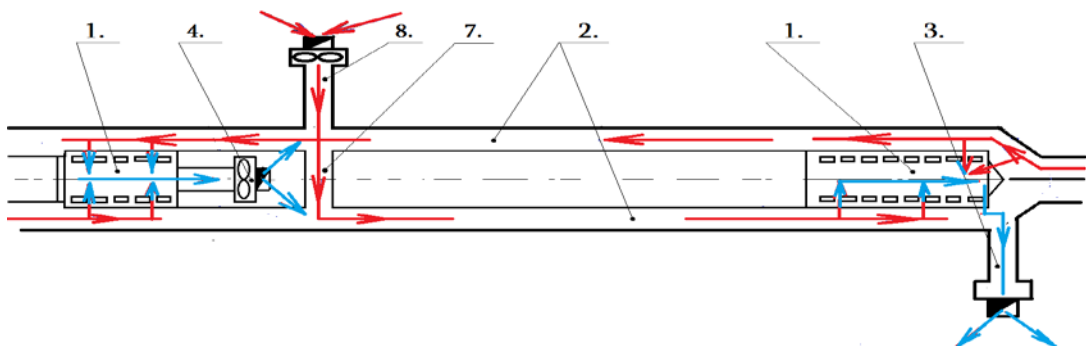
1. ჰაერის გრძივი მიწოდების სავენტილაციო სისტემები;
2. ჰაერის განივი მიწოდების სავენტილაციო სისტემები;
3. ჰაერის კომბინირებული მიწოდების სავენტილაციო სისტემები.

მეტროპოლიტენისათვის, გადასარბენი გვირაბების ვენტილაციისათვის გამოიყენებენ ჰაერის გრძივი მიწოდების სავენტილაციო სისტემებს, სადაც ჰაერის ნაკადის აღძვრა, გვირაბში მატარებლის მოძრაობისას, დგუმის ეფექტის შედეგად ხორციელდება, ხოლო მიწისქვეშა სადგურების ვენტილაციისას კი_ ჰაერის კომბინირებული მიწოდების სისტემებს, სადაც ჰაერის ნაკადის აღძვრა, სავენტილაციო დანადგარებით ხდება.

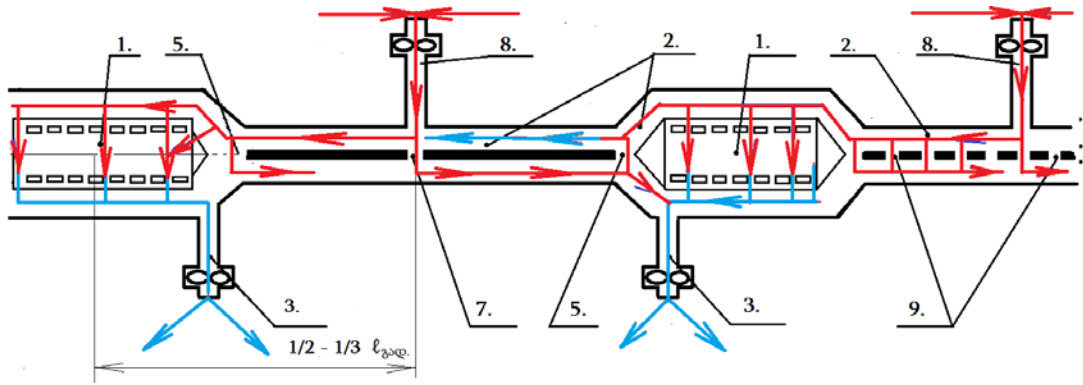
აღძრული ჰაერის ნაკადების მიმართულების ცვლილების შესაძლებლობის მიხედვით, ჰაერის ხელოვნურად აღძვრის სავენტილაციო სისტემები გვხვდება: რევერსიული და არარევერსიული ტიპის.

ჰაერის ხელოვნურად აღძვრის, რევერსიული ტიპის სავენტილაციო სისტემის გამოყენების შემთხვევაში, საჭიროების მიხედვით, შესაძლებელია ჰაერის ნაკადების მიმართულებების ცვლილება, რაც სისტემის მოქნილობაზე მეტყველებს.

ნახ. 1. (ა; ბ) წარმოდგენილია მეტროპოლიტენის, ჰაერის ხელოვნურ-



ნახ. 1. (ა) მეტროპოლიტენის, ჰაერის ხელოვნურად აღძვრის, რევერსიული ტიპის, სადგურსა და გადასარბენზე თითო-თითო სავენტილაციო ჭაურით აღჭურვილ სავენტილაციო სისტემის სქემა. წელიწადის ცივი პერიოდისათვის



ნახ. 1. (ბ) მეტროპოლიტენის, ჰაერის ხელოვნურად აღდგერის, რევერსიული ტიპის, სადგურსა და გადასარბენზე თითო-თითო სავენტილაციო ჭაურით აღჭურვილ სავენტილაციო სისტემის სქემა. წელიწადის ცივი პერიოდისათვის

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; 6 - გადამშვები სარქველები; 7 - სავენტილაციო გამკვეთები; 8 - გადასარბენი გვირაბების სავენტილაციო ჭაურები; 9 - ორ პარალელურ გადასარბენ გვირაბს შორის არსებულ ტიხარში მოწყობილი დიოზები. ლურჯი ისრებით ნაჩვენებია ნამუშევარი ჰაერის ნაკადის მიმართულება; წითელი ისრებით ნაჩვენებია სუფთა ჰაერის ნაკადის მიმართულება

რად აღდგერის, ერთ-ერთი რევერსიული ტიპის, სადგურსა და გადასარბენზე, თითო-თითო სავენტილაციო ჭაურით აღჭურვილი სავენტილაციო სისტემის სქემა. აღნიშნული სქემის მიხედვით, წელიწადის ცივი პერიოდის განმავლობაში, სუთა ჰაერის მიწოდება ხდება მიწისქვეშა გადასარბენზე არსებული სავენტილაციო ჭაურიდან, ხოლო ნამუშევარი ჰაერი ატმოსფეროში ბრუნდება სადგურთან არსებული სავენტილაციო ჭაურის გავლით. წელიწადის თბილი პერიოდის შემთხვევაში სისტემა რევერსირდება, რის შედეგადაც სუფთა ჰაერი მიეწოდება სადგურებთან არსებული სავენტილაციო ჭაურის გავლით მეტროპოლიტენის სადგურებს, ხოლო ნამუშევარი ჰაერის ატმოსფეროში დაბრუნება ხორციელდება გადასარბენზე არსებული სავენტილაციო ჭაურის საშუალებით. ვენტილაციის ასეთი სისტემა, წელიწადის თბილი პერიოდის განმავლობაში, მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში უზრუნველყოფს შედარებით გრილ და სასიამოვნო, ხოლო წელიწადის ცივ პერიოდში კი - უფრო თბილ გარემოს, რაც ორივე შემთხვევაში დადებითად აისახება, როგორც მგზავრების, ასევე მომსახურე პერსონალის გუნება-განწყობა.

ყობილებაზე. ასეთი სავენტილაციო სისტემების გამოყენება ძირითადად მკაცრი კლიმატური პირობების შემთხვევაში ხდება.

ქ. თბილისის მეტროპოლიტენში გამოიყენებენ ჰაერის ხელოვნურად აღმზრის, არარევერსიულ, ყველა სადგურზე და თითქმის ყველა გადასარბენზე სავენტილაციო ჭაურით აღჭურვილ სავენტილაციო სისტემებს.

თავი 2. მეტროს ვენტილაციის გაანგარიშება სითბური ფაქტორის მიხედვით

მეტროპოლიტენის სავენტილაციო სისტემების ნორმალურად ფუნქციონირებისათვის, განსაკუთრებით მუშაობის ჩვეულებრივ, ყოველდღიურ რეჟიმში, უმნიშვნელოვანესია სავენტილაციო საჭირო ჰაერის ხარჯის გაანგარიშება, რომელიც სავენტილაციო ჰაერის ერთ-ერთ ძირითად მახასიათებელს წარმოადგენს. აღნიშნული მახასიათებლის განმსაზღვრელი პარამეტრის გაანგარიშება ხორციელდება ისეთ მაჩვენებლებზე დაყრდნობით როგორცაა:

- 1- არსებული მგზავრთნაკადები;
- 2- მიწისქვეშა სივრცეში გამოყოფილი მავნე აირები;
- 3- ჭარბი სითბო;
- 4- ჭარბი ტენი;
- 5- ჰაერცვლის ჯერადობა.

ჩამოთვლილთაგან, თითოეულის მიხედვით გაანგარიშების შემდეგ საანგარიშო ჰაერის ხარჯის მნიშვნელობად აიღება ის მონაცემი, რომელიც ყველაზე მეტი აღმოჩნდება.

იმისათვის, რომ საერთო ჯამში დავადგინოთ სავენტილაციო სისტემის კიდევ სხვა დანარჩენი სავენტილაციო მახასიათებლების განმსაზღვრელი პარამეტრები და შევირჩიოთ შესაბამისი სავენტილაციო დანადგარები, საჭიროა: 1. გავიანგარიშოთ სავენტილაციო ჰაერის საჭირო ხარჯი „ პიკის საათის“ დროს მგზავრების საერთო რაოდენობის მიხედვით, ისე, რომ ერთ მგზავრზე მინიმუმ 50 მ³/ სთ სუფთა ჰაერი უნდა მოდიოდეს. აღნიშნული

ჰაერის რაოდენობა საკმარისია მგზავრებისა და მომსახურე პერსონალის ნორმალური სუნთქვისათვის და მათ მიერ გამოყოფილი ჭარბი ტენის ასიმილაციისათვის, აქედან გამომდინარე სავენტილაციო ჰაერის ხარჯის ანგარიში ჭარბი ტენის მიხედვით საჭირო აღარ არის.

შემდგომ ანგარიშობენ საჭირო სავენტილაციო ჰაერის ხარჯს სამთო მასივებიდან გამოყოფილი მავნე აირების კონცენტრაციის მიხედვით და შემდგომი ანგარიშისთვის, საბაზისოდ იღებენ მათ შორის უდიდესს. მიღებული შედეგი მოწმდება ჰაერის ცვლის ჯერადობის მიხედვით (1) ფორმულით.

$$k = \frac{L}{V}, \text{ სთ}^{-1} \quad (1)$$

k - ჰაერის ცვლის ჯერადობის მაჩვენებელია; L - სავენტილაციო ჰაერის ხარჯი, მ³/ სთ; V - მეტროპოლიტენის მთლიანი მიწისქვეშა სივრცის ჯამური მოცულობა, მ³.

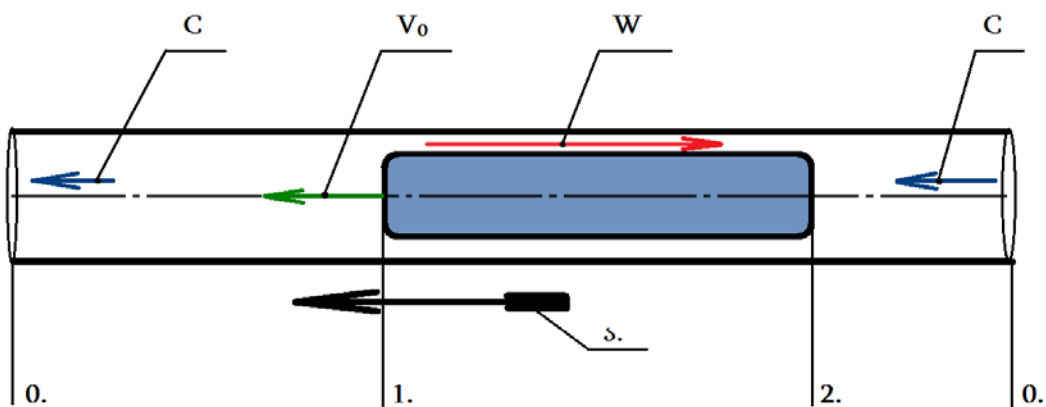
თუ აღმოჩნდა, რომ $k \geq 3$, მაშინ, სავენტილაციო ჰაერის ხარჯის საბაზისო მნიშვნელობად, მიღებულ მნიშვნელობას ტოვებენ, იმ შემთხვევაში თუ $k < 3$, მაშინ საბაზისო სავენტილაციო ჰაერის ხარჯის გაანგარიშება ხელახლა ხდება იმ პირობით, რომ $k = 3$.

საკმაოდ რთულია საჭირო სავენტილაციო ჰაერის ხარჯის გაანგარიშება მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში გამოყოფილი ჭარბი სითბოს მიხედვით, რადგანაც აღნიშნულ სივრცეში მუდმივად მიმდინარეობს სითბოგადაცემის არასტაციონალური პროცესები სამთო მასივსა და სავენტილაციო ჰაერის ნაკადებს შორის, გარდა ამისა არსებული ჭარბი სითბოს გენერირების წყაროები საკმაოდ არაერთფეროვანია, ესენია მგზავრები და მომსახურე პერსონალი, მოძრავი შემადგენლობები, ელ. ენერჯის სხვადასხვა მომხმარებლები და ა. შ. გაანგარიშებას ართულებს აგრეთვე ის გარემოება, რომ საჭიროა ანგარიშისას მხედველობაში მივიღოთ გვირაბის გამაგრების შრეებსა და სამთო მასივს შორის სითბოგადაცემის პროცესების სირთულე, რადგან საჭიროა მათი თბოფიზიკური მახასიათებლების გავლენის გათვალისწინება.

თავი 3. დგუშის ეფექტის გავლენა მეტროს ვენტოლაციის ტექნოლოგიურ პარამეტრებზე

მეტროპოლიტენის სავენტოლაციო სისტემებში ჰაერის ნაკადის აღძვრას ახორციელებს სავენტოლაციო დანადგარები და მატარებლის გვირაბში მოძრაობისას დგუშის ეფექტი. სავენტოლაციო სისტემის გამართული მუშაობისათვის მნიშვნელოვანია დგუშის ეფექტით განპირობებული სავენტოლაციო ჰაერის ტექნოლოგიური მახასიათებლების, მატარებელზე მიმწყდომი, წინწაგდებული და უკან მიდევნებული ჰაერის ცირკულაციური, მატარებლის და გვირაბის პერიმეტრებს შორის არსებულ ღრეჩოში ე. წ. ღრეჩოში გადაგინებული ჰაერის ნაკადის სიჩქარეების დადგენა. აღნიშნული მახასიათებლების განმსაზღვრელი პარამეტრების დადგენით შესაძლებელია დგუშის ეფექტით განპირობებული სავენტოლაციო ჰაერის ხარჯის დადგენა.

ნახ. 2.-ზე წარმოდგენილია გვირაბში მატარებლის მოძრაობისას დგუ-

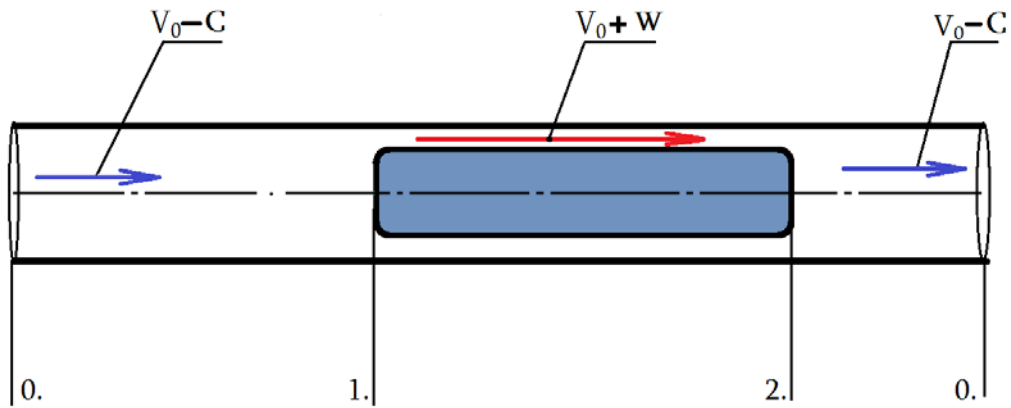


ნახ. 2. გვირაბში მატარებლის მოძრაობისას, დგუშის ეფექტით აღძრული ჰაერის ნაკადების განაწილების სქემა

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

შის ეფექტის შედეგად აღძრული ჰაერის ნაკადების განაწილების სქემა. აღნიშნული სქემის მიხედვით V_0 სიჩქარით მოძრავი მატარებლის წინ და უკან აღიძვრება შესაბამისად წინწაგდებული და მიდევნებული ჰაერის ცირკულაციური ნაკადები C სიჩქარით, ხოლო მატარებლის და გვირაბის პერი-

მეტრებს შორის არსებულ ღრეჩოში ე. წ. ღრეჩოში გადადინებული ჰაერის ნაკადი სიჩქარით W . იმისათვის, რომ განვსაძღვროთ აღძრული ჰაერის



ნახ. 3. 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

ნაკადების სიჩქარეები, განვიხილოთ ჰაერის ფარდობითი მოძრაობა იმ პირობით, რომ მატარებალი დაგს გვირაბში უძრავად და მოძრაობს მხოლოდ ჰაერი, მაშინ მიმწყდომი ჰაერის ნაკადის სიჩქარე გამოისახება მე-(2) ფორმულით.

$$V_T = V_0 - C, \text{ მ/წმ} \quad (2)$$

ხოლო ღრეჩოში გადადინებული ჰაერის ფარდობითი სიჩქარე

$$V_G = V_0 \pm W, \text{ მ/წმ} \quad (3)$$

უწყვეტობის განტოლებისა და გვირაბის შევსების კოეფიციენტის მიხედვით დავადგინეთ ღრეჩოში გადადინებული ჰაერის ნაკადის სიჩქარე

$$V_G = \frac{V_T}{(1 - \alpha)}, \text{ მ/წმ} \quad (4)$$

ცირკულაციური ჰაერის ნაკადის სიჩქარე

$$C = V_0(1 - \omega), \text{ მ/წმ} \quad (5)$$

დგუმის ეფექტით განპირობებული სავენტილაციო ჰაერის ხარჯი

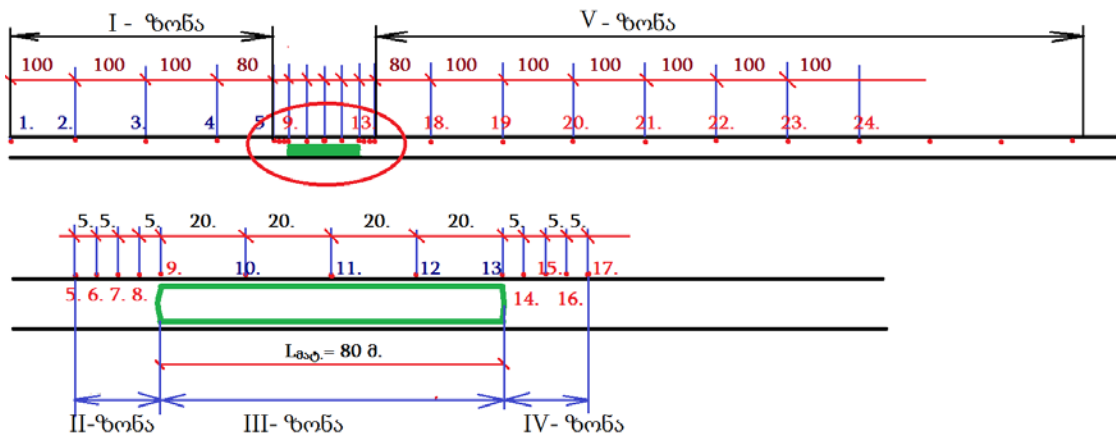
$$Q = Cf, \text{ (მ}^3\text{/წმ)} \quad (6)$$

აღნიშნული ფორმულიბი შესაძლებელია გამოვიყენოთ დგუმის ეფექტით განპირობებული ვენტილაციის ტექნოლოგიური მახასიათებლების განმსაზღვრელი პარამეტრების, როგორც თეორიული გაანგარიშებისას ასე-

ვე ექსპერიმენტების ან რიცხვითი მოდელირების დაგეგმვისა და განხორციელების შემთხვევაში.

დღევანდელი ტექნოლოგიები საშუალებას იძლევა საკმაოდ მაღალი სიზუსტით ავლწეროთ ზემოთ მოყვანილი პროცესები, აქედან გამომდინარე ამოცანის დასმა მოხდა ქ. თბილისის მეტროპოლიტენისათვის, შეიქმნა საბაზისო მოდელები შემდეგი საწყისი პარამეტრებით: გადასარბენი გვირაბის სიგრძე - 1200 მ; გადასარბენი გვირაბის განივი კვეთის ფართობი - $12,25 \div 20,40$ მ²; მატარებლის სიგრძე - 80 მ; მატარებლის სიჩქარე - $25 \div 50$ კმ/სთ; მატარებლის განივი კვეთის ფართობი - $5,0 \div 7,5$ მ². მოდელირება და გამოთვლები შესრულდა PyroSim 2016-ის პროგრამულ გარემოში.

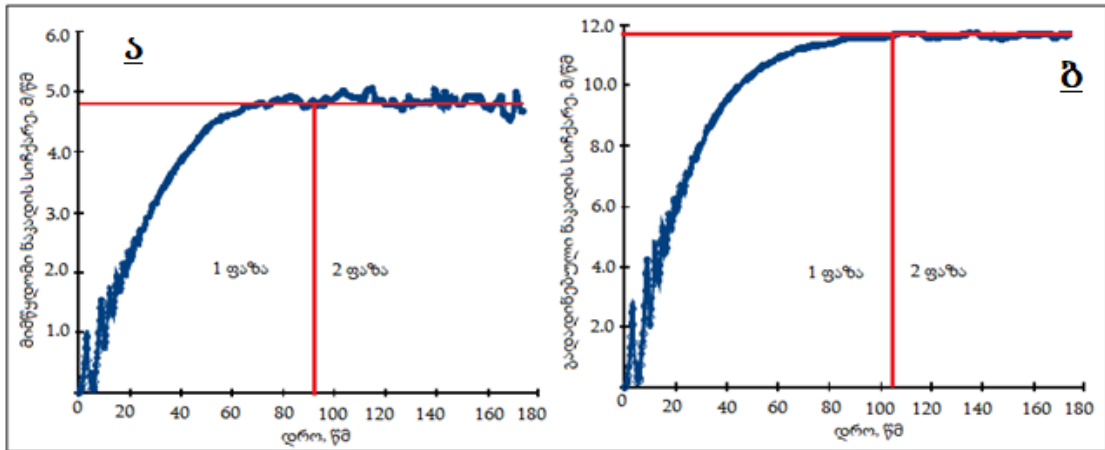
ნახ. 4.-ზე წარმოდგენილია რიცხვითი მოდელირების ერთ-ერთი სქემა სადაც ნაჩვენებია გვირაბის მთელ სიგრძეზე მოწყობილი სენსორების განლაგება. აღნიშნული სენსორები ახორციელებდნენ პროცესის დროს აღძრუ-



ნახ. 4. რიცხვითი მოდელირებისას, ჰაერის ნაკადის სიჩქარისა და შესაბამისი წნევის აღმრიცხველი დეტექტორების გადასარბენ გვირაბში განლაგების სქემა

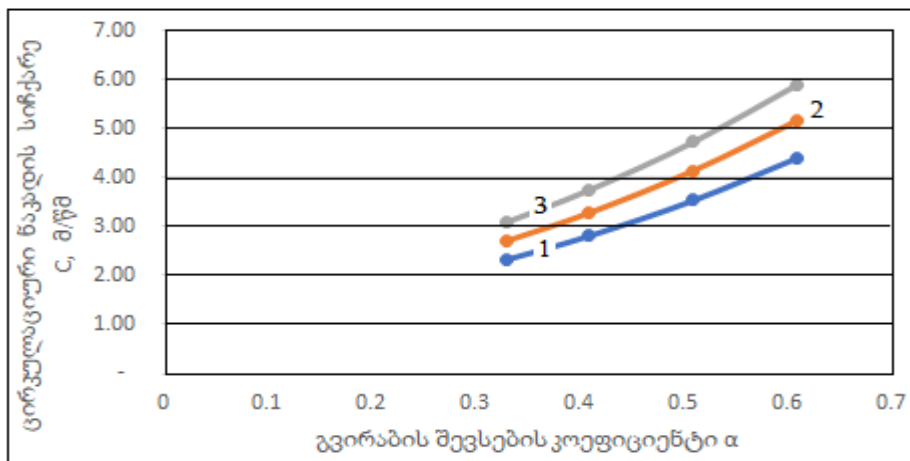
ლი ჰაერის ნაკადების სიჩქარეებისა და ჭარბი წნევის ცვლილების გრაფიკულ ჩაწერას.

ნახ. 5.-ზე წარმოდგენილია მოდელირების ერთ-ერთი შედეგი. როგორც ჩანს მიმწყდომი და ასევე ღრეჩოში გადადინებული ჰაერის ნაკადის სიჩქარის ცვალებადობა ხასიათდება ორი ფაზით: არასტაციონალური და სტაციონალურით, შეიძლება ითქვას, რომ რეალურ პროცესშიც მატარებლის წინწაგდებული და მიდევნებული ჰაერის ცირკულაციური ნაკადებიც



ნახ. 5. მიმწყდომი სავენტლაციო ნაკადის სიჩქარის დინამიკა პორტალთან (ა) და მატარებელსა და გვირაბს შორის ღრეჩოში (ბ), როცა მატარებლის სიჩქარეა 49,8 კმ/სთ, ხოლო $\alpha = 0,61$, $\omega = 0,47$

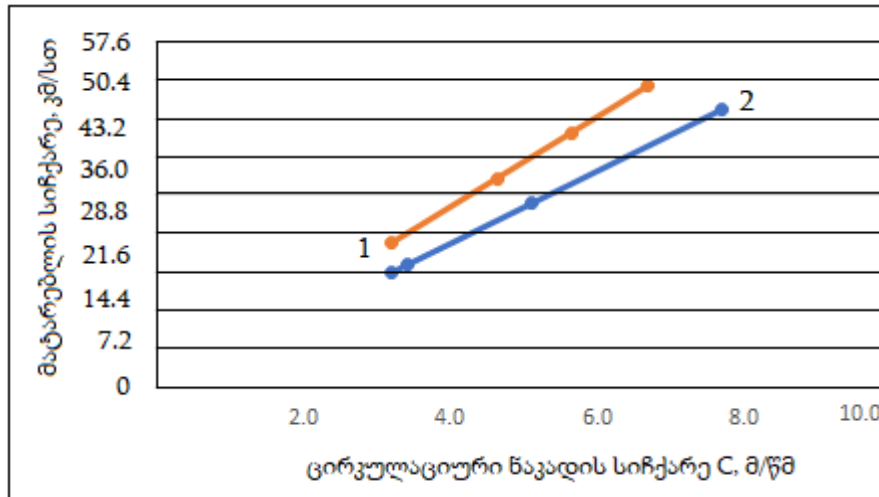
ანალოგიურად ორი ფაზით დახასიათდება. ნიშანდობლივია, რომ არასტაციონალური ფაზა გრძელდება დაახლოებით 90 წმ, რაც იმას ნიშნავს, რომ მეტროპოლიტენის გადასარბენ გვირაბში მატარებლის მოძრაობისას აღმრული ჰაერის ნაკადები თითქმის მუდმივად იმყოფებიან არასტაციონალურ ფაზაში.



ნახ. 6. ცირკულაციური ნაკადის სიჩქარის ცვალებადობა გვირაბის შევსების კოეფიციენტის მიხედვით მატარებლის სიჩქარეებისათვის, კმ/სთ:

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

რიცხვითი მოდელირების შედეგების ანალიზის საფუძველზე დადგინდა მატარებლის გვირაბში მოცემული, შესაბამისი, სიჩქარეებით მოძრაობისას აღმრული ცირკულაციური ნაკადის სიჩქარის დამოკიდებულება გვი-



ნახ. 7. ცირკულაციური ნაკადის C სიჩქარის ცვალებადობა მატარებლის სიჩქარის V_0 მიხედვით, როცა: 1- $\alpha = 0,57$; 2- $\alpha = 0,61$

რაბის შევსების კოეფიციენტზე და მოცემული გვირაბის შევსების კოეფიციენტებისას, ცირკულაციური ჰაერის ნაკადის სიჩქარის დამოკიდებულება მატარებლის მოძრაობის სიჩქარესთან. აღნიშნული მოცემულია შესაბამისად ნახ.6. -ზე და ნახ.7. -ზე.

ცხრილი 1 - ში წარმოდგენილია სავენტილაციო ტექნოლოგიური მახასიათებლების ზოგიერთი განმსაზღვრელი პარამეტრების თეორიული და ექსპერიმენტით მიღებული მონაცემების ერთმანეთთან შედარების შედეგ-

ცხრილი 1.

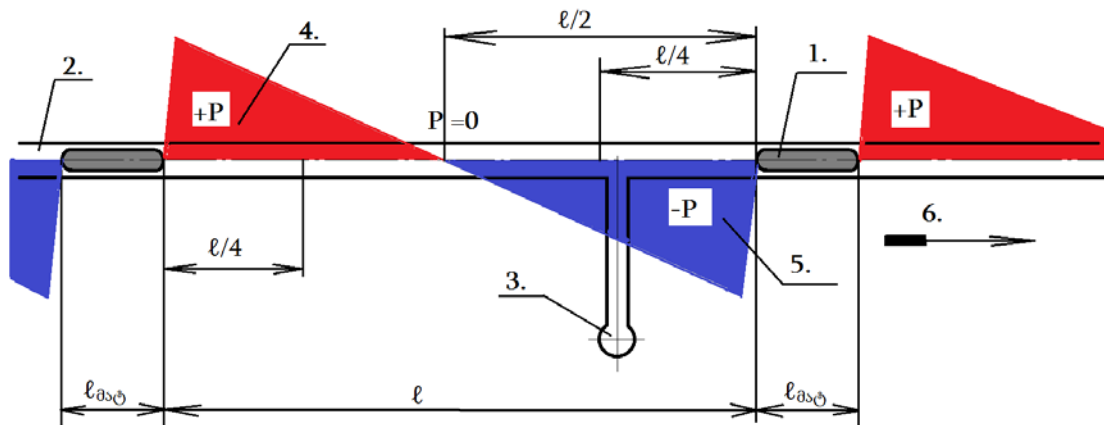
რიცხვითი ექსპერიმენტით მიღებული, სავენტილაციო ნაკადის დამახასიათებელი სიდიდეების შედარება თეორიული ანალიზით მიღებულთან, როცა $\alpha = 0,61$ და $\omega = 0,47$

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

ბი.

ცხრილი 1-დან ნათელია, რომ თეორიული და ექსპერიმენტის შედეგები ერთმანეთთან კარგ თანხვედრაში არიან.

მნიშვნელოვანია დავადგინოთ მატარებლის გვირაბში მოძრაობისას, ხომ არ ხდება, სავენტილაციო სისტემების საშუალებით დაუგეგმავი ჰაერის მოხვედრა მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა სივრცეში, რადგანაც აღნიშნული უშუალოდ არის დაკავშირებული აეროზოლური ტერორისტული შეტევის განხორციელების შესაძლებლობასთან. ამისათვის საჭიროა განვსაზღვროთ გვირაბში მატარებლის მოძრაობისას, მატარებლის უკან ფორმირებული გაიშვიათების მნიშვნელობა. განვიხილეთ გადასარბენ გვირაბში l საანგარიშო მანძილით დამორებული ორი მატარებლის მოძრაობა. ამ მოცემულობაში მატარებლების წინ და უკან ფორმირებული ჭარბი წნევისა და გაიშვიათების განაწილების ეპიურა გამოსახულია ნახ. 8. -ზე.



ნახ. 8. გადასარბენ გვირაბში მოძრავ მატარებლებს შორის არსებულ სივრცეში ფორმირებული ჰაერის წნევების განაწილების ეპიურა

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

ნახაზიდან ჩანს, რომ ნამუშევარი ჰაერის ატმოსფეროში დასაბრუნებელი სავენტილაციო ჭაურიდან (3) შესაძლებელია მოხდეს ჰაერის როგორც გამოდევნა გადასარბენი გვირაბიდან, ასევე პირიქით, ჰაერის შეწოვა გადასარბენ გვირაბში, ეს დამოკიდებულია ეპიურის რომელი ნაწილი გაივლის აღნიშნული სავენტილაციო ჭაურის გადასარბენთან მიერთების ლოკაციას.

მე (7) ფორმულის საშუალებით, შესაბამისი ცირკულაციური ჰაერის ნაკადის სიჩქარეების მიხედვით გავიანგარიშეთ მატარებლის წინ და უკან

$$\pm P_{საშ} = \frac{\lambda_{გვ} l}{d_{გვ}^4} \frac{1.2 \times C_{გორ}^2}{2}, \text{ პა} \quad (7)$$

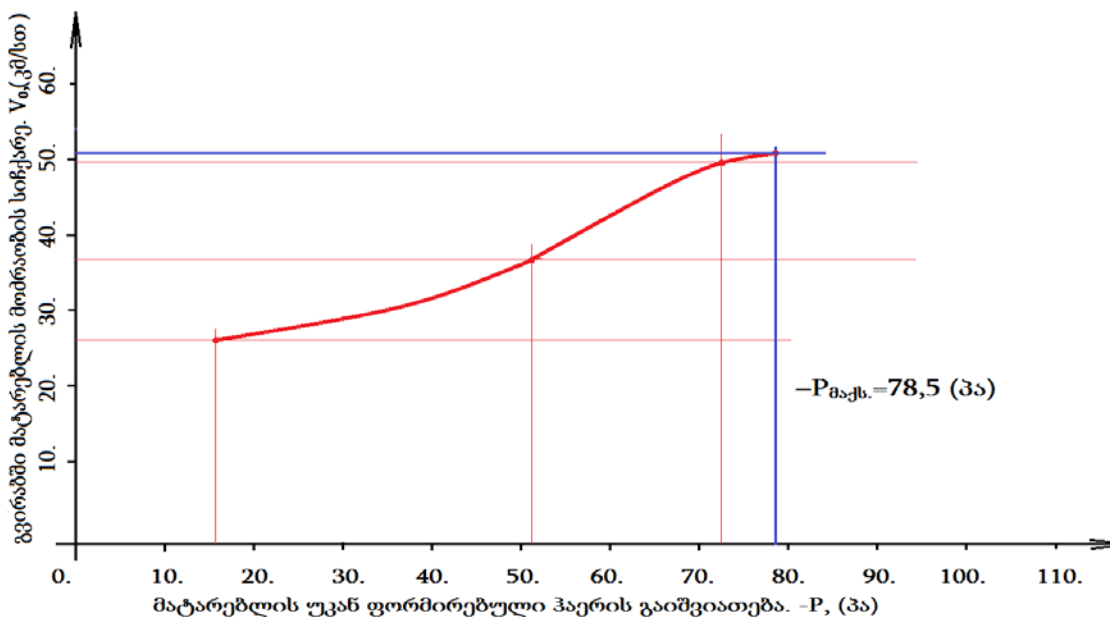
წარმოქმნილი ჭარბი წნევა და გაიშვიათება. შედეგები შეტანილია ცხრილი 2-ში.

ცხრილი 2

მატარებლის წინ და მატარებლის უკან ფორმირებული ჭარბი წნევისა და გაიშვიათების რიცხობრივი მნიშვნელობები ნაანგარიშევი (30) 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 მონაცემების მიხედვით ავაგეთ მატარებლის უკან ფორმირებული გაიშვიათების დამოკიდებულების დრაფიკი მატარებლის მოძრაობის სიჩქარესთან.



ნახ. 9. მეტროპოლიტენის გადასარბენ გვირაბში მოძრავ მატარებლის სიჩქარესა და მატარებლის უკან ფორმირებულ გაიშვიათებას შორის დამოკიდებულების გრაფიკი

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

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

$$\Delta P = 0,0072V_0^4, \text{ პა} \quad (8)$$

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

$$\Delta P = P_1 - P_2, \text{ პა} \quad (9)$$

განვიხილოთ მატარებლის გადასარბენ გვირაბში მოძრაობა პირობით:

$$\alpha = 1.$$

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

მაშინ

$$\Delta P = 2P_1, \text{ პა} \quad (10)$$

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

$$P_1 = 0,0036V_0^4, \text{ პა} \quad (11)$$

ხოლო მატარებლის უკან ფორმირებული გაიშვიათება

$$P_2 = (-0,0036V_0^4), \text{ პა} \quad (12)$$

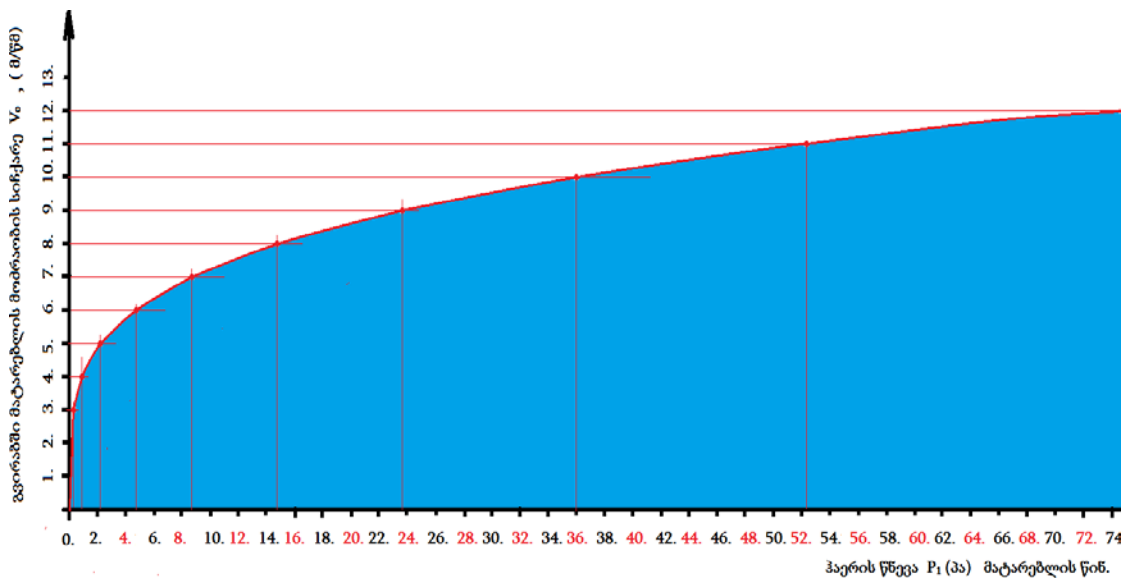
მე-11 ფორმულით ვიანგარიშეთ მატარებლის სიჩქარის შესაბამისად მატარებლის წინ წარმოქმნილი ჭარბი წნევის მნიშვნელობები. შედეგები შეტანილია ცხრილი 3- ში. შესაბამისად ავაგეთ გვირაბში მატარებლის მოძრაობისას მის წინ ფორმირებული ჭარბი წნევისა და მატარებლის სიჩქარეს შორის დამოკიდებულების გრაფიკები.

ერთ-ერთი შედეგი წარმოდგენილია ნახ. 10. -ზე. გრაფიკიდან ნათელია, რომ მატარებლის მოძრაობის დაწყებიდან მის წინ წარმოქმნილი ჭარბი

გვირაბში მატარებლის მოძრაობისას მატარებლის მოცემული სიჩქარის შესაბამისი P_1 (ჰერის 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
P_1 (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.

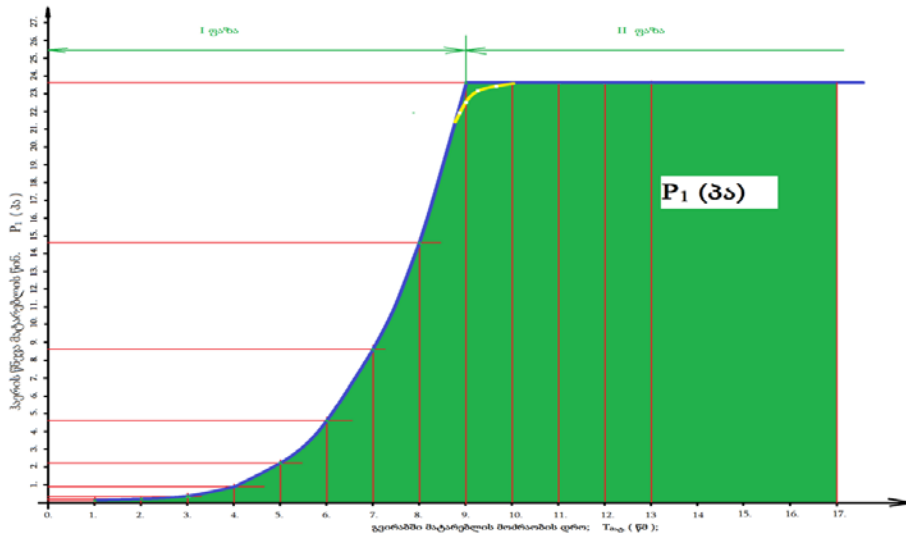
წნევის ზრდა პირველი 5 წთ-ის განმავლობაში შედარებით მდორედ მიმდინარეობს, შემდგომ კი ადგილი აქვს წნევის შედარებით მკვეთრ ზრდას.



ნახ. 10. მეტროპოლიტენის გვირაბში მატარებლის მოძრაობის დაწყებისას მატარებლის წინ ფორმირებული ჰერის წნევის P_1 (პა) დამოკიდებულება მატარებლის სიჩქარის ზრდასთან $V_0 = (0 \div 12)$ მ/წმ

ნახ. 11. -ზე წარმოდგენილია მატარებლის წინ წარმოქმნილი ჭარბი წნევის ცვალებადობის დინამიკა, როდესაც მატარებელი მოძრაობას იწყებს ერთ-ერთი სადგურიდან, ამყარებს პირობითად შესაბამის მუდმივ სიჩქარეს და მოძრაობს გადასარბენ გვირაბში თანაბარშენელების დაწყებამდე.

ანალოგიურად მე-(12) ფორმულით ვიანგარიშეთ მატარებლის უკან



ნახ. 11. მატარებლის წინ ჰაერის წნევის ცვალებადობის დინამიკა I-II ფაზაში.
მატარებლის სიჩქარე $V_0 = (0 \div 9)$ მ/წმ

ფორმირებული გაიშვიათების მნიშვნელობები და შევიტანეთ ცხრილი 4- ში

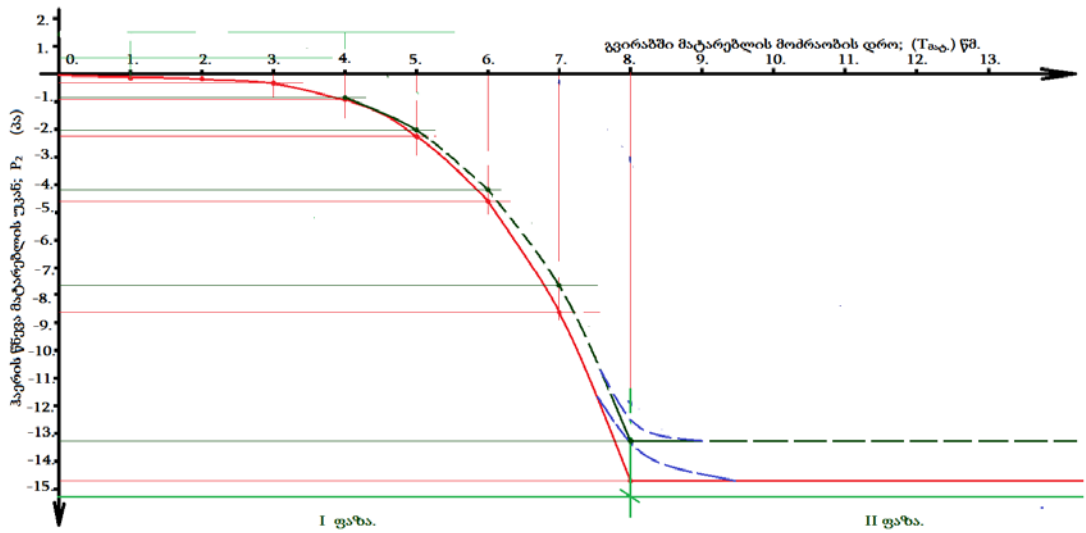
ცხრილი 4

გვირაბში მატარებლის მოძრაობისას მატარებლის მოცემული სიჩქარის შესაბამისი -
 P_2 (ჰარეის 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
$-P_2$												
(კა)	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_{mat}												
წმ.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.

შესაბამისად ავაგეთ მატარებლის უკან ფორმირებული გაიშვიათების ცვალებადობის გრაფიკები, როდესაც მატარებელი იწყებს მოძრაობას და ამყარებს შესაბამის მუდმივ სიჩქარეს, გამოსახულია ნახ. 12.- ზე წითელი კონტურით.

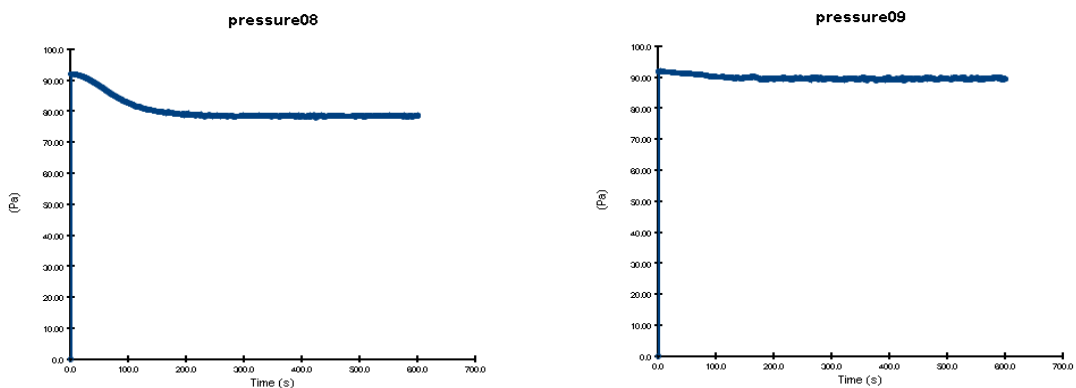
აღნიშნული მსჯელობა და ანგარიში, რა თქმა უნდა ჭეშმარიტია როდ-



ნახ. 12. მატარებლის უკან ფორმირებული ჰაერის გაიშვიათების დინამიკა.

საც გვირაბის შევსების კოეფიციენტი $\alpha = 1$.

რეალურ მოცემულობაში მატარებლის და გვირაბის პერიმეტრებს შორის არსებობს ღრეჩო, რომელსაც დიდი ალბათობით გარკვეული გავლენა უნდა ონდეს, როგორც მატარებლის წინ, ასევე უკან ფორმირებულ ჰარბ წნევისა და გაიშვიათებაზე. აღნიშნულის დასადგენად მოვახდინეთ რიცხვითი მოდელირების შედეგების, სენსორების გრაფიკული ჩანაწერების ანალიზი. მნიშვნელოვანია მატარებლის შუბლთან, № 9 ლოკაციაზე განთავსებული სენსორის ჩანაწერი, წარმოდგენილია ნახ. 13.- ზე.



ნახ. 13. ჰარბი წნევის სენსორების გრაფიკული ჩანაწერები შესაბამისად 8; 9; 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.

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 რიცხოვრივი მნიშვნელობები რეალურ მოცემულობაში (როდესაც გვირაბის შევსების კოეფიციენტი $\alpha = 0,61$) იქნება 10 % - ით შემცირებული ვიდრე ცხრილი 3 - ში მოცემული, თეორიული ანგარიშით მიღებული ანალოგიური მნიშვნელობები $\alpha = 1$ - ის შემთხვევაში. თუ გავითვალისწინებთ უწყვეტობის კანონს, მაშინ რეალურ მოცემულობაში

ცხრილი 5

გვირაბში მატარებლის მოძრაობისას მატარებლის მოცემული სიჩქარის შესაბამისი - P₂ (ჰარის გაიშვიათება მატარებლის უკან) ის კორექტირებული მნიშვნელობები

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

მატარებლის უკან ფორმირებული გაიშვიათების რიცხობრივი მნიშვნელო-
ბები (- P₂) გამოსახული ცხრილი 4 ში საჭიროებს შესაბამის კორექტირებას.

ცხრილი 5 -ში მოცემული მატარებლის უკან ფორმირებული გაიშვი-
ათების კურექტირებული მნიშვნელობების მიხედვით მოვახდინეთ ნახ. 12.
-ზე წითელი უწყვეტი კონტურით გამოსახული, მატარებლის უკან ფორმი-
რებული გაიშვიათების დინამიკის კორექტირება, შესაბამისად წარმოდგე-
ნილია იგივე ნახაზზე ლურჯი 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 რიცხოვრივი 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 α . აღსანიშნავია, რომ მატარებლის უკან ფორმირებული გაიშვიათების რიცხოვრივი მაჩვენებელი შესაძლებელია უმნიშვნელოდ ჩამორჩეობ-

დეს მატარებლის წინ ფორმირებულ ჭარბი წნევის 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 აირის 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 შეზღუდავენ.
2. ყველა სევენტილაციო ჭაური, რომლებიც 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.

აპრობაცია

დისერტაციის ძირითადი დებულებები და შედეგები გამოქვეყნებულია 6 სამეცნიერო ნაშრომში, მათგან ერთი გამოქვეყნებულია მაღალი საერთაშორისო რეიტინგის მქონე ჟურნალში - Environment Engineering and Management Journal (იმპაქტ-ფაქტორი 1.334, იხ. <http://www.eemj.icpm.tuiasi.ro>), გაშუქდა საერთაშორისო სამეცნიერო სიმპოზიუმზე „Sesam 2017„ და მე-4 ყოველწლიურ ღია სამეცნიერო კონფერენციაზე (8 დეკემბერი, 2017წ.), აგრეთვე კოლოქვიუმებსა და თემატურ სემინარებზე.

დისერტაციის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია ნაშრომებში:

1. ლანჩავა ო., ნოზაძე გ., ხოკერაშვილი ზ., არუდაშვილი ნ. სითბური ფაქტორის მიხედვით თბილისის მეტროს სავენტილაციო ჰაერის გაანგარიშება. სამთო ჟურნალი, 1(38), 2017, გვ. 92-95
2. ლანჩავა ო., ხოკერაშვილი ზ., არუდაშვილი ნ. ერთობლივი სითბოსა და ჰიგროსკოპული მასის არასტაციონარული გადაცემა მეტროს სავენტილაციო ჭავლსა და გარშემომცველ სამთო მასივს შორის. სამთო ჟურნალი, N1(40), 2018, გვ. 34-43
3. ლანჩავა ო., ნოზაძე გ., ხოკერაშვილი ზ., არუდაშვილი ნ. დგუშის ეფექტით გამოწვეული ჰაერის ნაკადების შეფასებისათვის მეტროს გვირაბებში. სამთო ჟურნალი, 2(39), 2017, გვ. 37-44.
4. ხოკერაშვილი ზ. მეტროს გვირაბებში დგუშის ეფექტი მოდელირებისა და გაანგარიშების ზოგიერთი საკითხები. კონფერენცია სამთო ინსტიტუტში. 08/ 12/ 2017.
5. Lanchava O., Ilias N., Nozadze G., Radu S., Moraru R., Khokerashvili Z., Arudashvili N. The Impact of the Piston Effect on the Technological Characteristics of Ventilation The in the Subway Tunnels. International Symposium Occupational Health and Safety. Sesam 2017 8- th Edition. pp 342-352. Bucharest, Romania
6. Lanchava O., Ilias N., Nozadze G., Radu S., Moraru R., Khokerashvili Z., Arudashvili N. FSD Modelling Of The Piston Effect In Subway Tunnels. Environmental Engineering and Management Journal. April 2019, Vol.18,Nº 4, pp. 317- 325.

Abstract

Theoretical and Experimental Researches for Setting Up Safe Ventilation Regimes for Subway Tunnels.

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 (Jaran) 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. Con-

sequently, we made a computer modeling of the situation in PyroSim 2016 program.

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 rarefaction 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 numismatic indicators of excessive pressure and rarefaction in front and behind of wagon. Based on the abovementioned we corrected the chart describing rarefaction 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 rarefaction 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.