

# საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

დავით ცანავა

ტრანსფორმირებადი ელემენტების გამოყენების თეორიული და  
ექსპერიმენტული კვლევა გვირაბების უსაფრთხო ვენტილაციის  
პარამეტრების დასადგენად

სადოქტორო პროგრამა: პროფესიული უსაფრთხოება და ჯანმრთელობა

შიფრი: 1022.1.1

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი

2023 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში

სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტი

შრომის უსაფრთხოებისა და საგანგებო სიტუაციების მართვის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი ომარ ლანჩავა

რუმინეთის ტექნიკურ მეცნიერებათა აკადემიის საპატიო წევრი

ბალკანეთის ქვეყნების სამთო აკადემიის საპატიო წევრი

რეცენზენტები:

*პროფესორი ა. ბეჟანიშვილი* -----

*აკად.დოქტ. თ. გობეჯიშვილი* -----

დაცვა შედგება 2023 წლის „ 15 „ ივლისს, 14.00 საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის

სადისერტაციო ნაშრომის დაცვის კოლეგიის სხდომაზე,

კორპუსი III, აუდიტორია 437

მისამართი: 0160, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა – ფაკულტეტის ვებგვერდზე

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი,

ასოცირებული პროფესორი:

დ. თევზაძე

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

### თემის აქტუალურობა:

ქვეყნის სატრანზიტო პოტენციალის გამოყენების ოპტიმალურად დაგეგმვა-სა და განხორციელებას, მნიშვნელოვანი ფუნქცია გააჩნია და ერთ-ერთ პრიორიტეტულ მიმართულებად განიხილება სახელმწიფოს ეკონომიკის განვითარების სტრატეგიულ გეგმაში. აღნიშნულთან დაკავშირებით, მსოფლიო ბანკის, აზიის განვითარების ბანკის, ევროპის განვითარების ბანკისა და სხვა დონორი ორგანიზაციების დაფინანსებით, წარმატებით მიმდინარეობს მნიშვნელოვანი საავტომობილო-სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურული პროექტების დაგეგმვა და რეალიზება, რაც თავისთავში გულისხმობს, ქვეყნის მასშტაბით, თანამედროვე სტანდარტების ჩქაროსნული ავტომაგისტრალებისა და მათი უსაფრთხოდ, გამართულად და სრულფასოვნად ფუნქციონირებისათვის აუცილებელ, დამხმარე ნაგებობების მშენებლობას. აღნიშნული ინფრასტრუქტურული პროექტების განხორციელების ფარგლებში, ქვეყნის მასშტაბით დაგეგმილია და ზოგ შემთხვევაში უკვე მიმდინარეობს 50-ზე მეტი, თანამედროვე სტანდარტების საავტომობილო სატრანსპორტო გვირაბების მშენებლობა.

საავტომობილო გვირაბების დაპროექტებისას, ერთ-ერთ ძირითად საფრთხედ, გვირაბების შემდგომი ექსპლუატაციისას, სხვადასხვა მიზეზებით ინიცირებული და განვითარებული ხანძრები განიხილება, შესაბამისად საავტომობილო გვირაბში ინიცირებული და განვითარებული ხანძრისას, სახიფათო ზონაში აღმოჩენილი ადამიანების სიცოცხლისა და ჯანმრთელობის გადარჩენაზე ზრუნვა №1 ამოცანას წარმოადგენს, ამასთან ერთად ასეთ ვითარებაში მოხვედრილი ადამიანების გადარჩენის ერთ-ერთი ძირითად და ეფექტურ შესაძლებლობას, მათი დროული და ორგანიზებული ევაკუაციის განხორციელება წარმოადგენს. ორგანიზებული ევაკუაციის წარმატებით განხორციელება კი დამიკიდებულია სხვადასხვა სუბიექტურ თუ ობიექტურ ფაქტორებზე.

სუბიექტურ ფაქტორად შეიძლება განვიხილოთ თვით სახიფათო ზონაში აღმოჩენილი ადამიანების უნარ-ჩვევების დონე, მათ მიერ ვითარების დროულად

და ადეკვატურად შეფასების შედეგად, სწორი და რაციონალური გადაწყვეტილების მიღების შესაძლებლობები.

ობიექტურ ფაქტორებად განიხილება: 1) სატრანსპორტო გვირაბების თანამედროვე ტექნოლოგიებზე დამყარებული გვირაბის აქტიური და პასიური უსაფრთხოების, აგრეთვე სხვა დამხმარე სისტემებით აღჭურვა და გვირაბის ექსპლუატაციის პროცესში მათი გამართული, ერთმანეთთან კოორდინირებული და ეფექტური ფუნქციონირება. 2) სატრანსპორტო გვირაბებში ხანძრის, ინიცირების ადრეულ ეტაპზე მაიდენტიფიცირებელი სისტემების გამართული ფუნქციონირება. 3) გვირაბში ხანძრის ინიცირებასა და განვითარებასთან დაკავშირებით გვირაბის სავენტილაციო სისტემის ფუნქციონირების სწორი და შესაბამისი რეჟიმის დროული შერჩევა და შესაბამისად მუშაობის აღნიშნულ რეჟიმზე სწრაფი გადასვლა, რაც სავენტილაციო სისტემების ტექნოლოგიაზე და მის მოქნილობაზეა დამოკიდებული. 4) სახიფათო ზონაში აღმოჩენილი ადამიანებისათვის ორგანიზებული ევაკუაციის განსახორციელებლად ადეკვატური და სწორი ინფორმაციის დროული მიწოდება. 5) **საევაკუაციო დროის ხანგრძლივობა** 2001 წელს ამოქმედებული სახანძრო უსაფრთხოების დირექტივის მიხედვით, ხანძრის ინიცირების მომენტიდან 10 წთით განისაზღვრება.

სახანძრო უსაფრთხოების ამოცანების ოპტიმალურად გადაწყვეტის მიზნით, არსებითად მნიშვნელოვან საკითხს ხანძრის მიერ ინიცირებული პროცესებისა და მოვლენების კონტროლი წარმოადგენს. გვირაბში ხანძრის ინიცირებისა და განვითარების დროს ფორმირებული საკმაოდ ჭარბი რაოდენობის სითბო, კვამლი და წვის დანარჩენი ტოქსიკური პროდუქტები ხასიათდებიან ხანძრის კერის გარშემო დინამიური და ტურბოლენტური გავრცელებით.

**კვლევის მეცნიერულ სიახლეს** წარმოადგენს ჩვენს მიერ შემოთავაზებული მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემები, რომელთა მეშვეობით, გვირაბში ხანძრის ინიცირებისა და განვითარების შემთხვევაში, მოხდება ხანძრის კერის ორივე მხარეს გვირაბის განივი კვეთის ნაწილობრივი გადაფარვა, შედეგად გადაფარვის ლოკაციებზე გაიზრდება გვირაბის აეროდინამიკური წინაღობა და შესაბამისად შეფერხდება გვირაბში კვამლისა და წვის სხვა პროდუქტების გავრცელება, ამასთან ერთად ადამიანების გადაადგილებას სიცოცხლის გადარჩენის მიზნით ევაკუაციის განხორციელებისას ხელი არ ეშლება. ხანძრის პირობებში მოქნილი ტრანსფორმირებადი

სისტემების გამოყენება ასევე ხელს შეუწყობს სუფთა და დაბინძურებული ჰაერის ნაკადების ერთმანეთისაგან გამიჯვნას სიმკვრივეთა განსხვავების ხარჯზე, შედეგად გვირახის კრიტიკულ მონაკვეთზე საევაკუაციო მიმართულებაზე სუფთა ჰაერის შენარჩუნება უფრო ხანგრძლივი დროით მოხდება, რაც დადებითად აისახება საევაკუაციო დროის ხანგრძლივობის გაზრდაზე.

იდეა განვითარდა სადოქტორო ნაშრომში წარმოდგენილი სამეცნიერო ლიტერატურის კრიტიკულად განხილვის შედეგად, რომელსაც საფუძვლად დაედო ხანძრის მიწისქვეშა გვირახებში განვითარების სხვადასხვა სცენარები, წვის ტოქსიკური პროდუქტების გავრცელების დინამიკა, სავენტილაციო ჰაერის ნაკადის კრიტიკული სიჩქარე, კვამლისა და წვის ტოქსიკური პროდუქტების უკუდინება და ზოგადად, გვირახებში მათი გავრცელების კანონზომიერებები, განსაკუთრებით გვირახის სავალი ნაწილის ბლოკირების მხედველობაში მიღებით.

**კვლევის მიზანი** - ჩვენი აზრით, სატრანსპორტო გვირახებში ხანძრის ინიცირებისა და განვითარებისას, სახიფათო ზონაში აღმოჩენილი ადამიანების სიცოცხლისა და ჯანმრთელობის გადარჩენისა და შენარჩუნების კონტექსტში, ერთ-ერთ არსებით პრობლემას საევაკუაციო დროის ხანგრძლივობის სიმცირე წარმოადგენს და შესაბამისად, მისი ოპტიმალურად გამოყენების შესაძლებლობას დიდი მნიშვნელობა უნდა მიენიჭოს. საზოგადოდ ცნობილია, რომ გვირახში ხანძრის ინიცირებისას საევაკუაციო დროის ხანგრძლივობა ხანძრის განვითარების სცენარის, გვირახის გეომეტრიის, სავენტილაციო სისტემების მუშაობის ოპტიმალური რეჟიმების, ამასთან მათი ობიექტური მახასიათებლების მიხედვით მკაცრად არის შეზღუდული და განისაზღვრება, ხანძრის ინიცირების მომენტიდან ვიდრე სავენტილაციო სისტემის კოლაფსამდე, რაც სავენტილაციო ჰაერის გადაყირავებით გამოვლინდება. ეს ისეთი შემთხვევაა, როდესაც გვირახის სავენტილაციო სისტემების მუშაობის საგანგებო რეჟიმში აღძრული ჰაერის ნაკადები ხანძრის განვითარებაზე ვეღარ ახდენს გავლენას და პროცესებზე ხანძრის შედეგად ფორმირებული წვევის ძალები დომინირებენ, ხოლო საევაკუაციო დროის ოპტიმალურად გამოყენებას, კი სახიფათო ზონაში აღმოჩენილი ადამიანების დროული ინფორმირებულობის შემთხვევაში, ძირითადად, მათი უნარ-ჩვევების დონე განაპირობებს. ამასთან ერთად, რაც უფრო ინტენსიურად მიმდინარეობს ხანძრის კერის გაძლიერება, მით უფრო მცირდება ესოდენ მნიშვნელოვანი

საევაკუაციო დროის ხანგრძლივობა, რასაც კრიტიკულად მნიშვნელოვანი გავლენა აქვს ინცინდენტის ზონაში აღმოჩენილი ადამიანების სიცოცხლის გადარჩენის შესაძლებლობაზე. **კვლევის მიზანაც სწორედ ისაა, რომ გვირაბის სახანძრო უსაფრთხოების მართვის სისტემის განვითარებისა და დახვეწის კვალდაკვალ, შესაძლებლობის ფარგლებში, მაქსიმალურად გავზარდოთ საგანგებო ვითარებაში აღმოჩენილი ადამიანების სიცოცხლისა და ჯანმრთელობის გადასარჩენი აუცილებელი საევაკუაციო დროის ხანგრძლივობა.** აღნიშნულის მიღწევა, როგორც უკვე ავლნიშნეთ შესაძლებელია ჩვენს მიერ შემოთავაზებული მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემების ინტეგრირებით გვირაბის სახანძრო უსაფრთხოების მართვის ერთიან სისტემაში.

**კვლევის ობიექტსა და მეთოდებს** წარმოადგენს, რიცხვითი მოდელირების FDS და CFD პროგრამულ გარემოში სრულმასშტაბიანი საავტომობილო გვირაბი და შე-საბამისი მასშტაბის ნატური გვირაბის მოდელი, სადაც განხორციელდა რეალურ გარემოში ინიცირებული და განვითარებული ხანძრების დამოდელება. ექსპერიმენტები მიმდინარეობდა განსხვავებული სიმძლავრის ხანძრების განვითარებისას მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემების გამოყენებით და მათ გარეშე. შესაბამისად მოხდა შესწავლა და **გაანალიზდა** მიღებული შედეგები, რომლებიც დაკავშირებულია: 1) სავენტილაციო ჰაერის ნაკადების მახასიათებლების, მათ შორის სავენტილაციო ჰაერის კრიტიკული სიჩქარის, კვამლის გავრცელების უკუდინების მანძილისა და გვირაბის დახრილობის კოეფიციენტის გრადიენტ-ფაქტორის ცვალებადობის დინამიკასთან. 2) გვირაბის დახრილობის, ხანძრის განვითარების სცენარებისა და განვითარებული ხანძრის სიმძლავრის გავლენა კრიტიკულ სიჩქარესა და კვამლის გავრცელების უკუდინების მანძილთან. 3) მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემების ფუნქციონირების ეფექტურობასთან.

ექსპერიმენტებისა და თეორიული მეთოდებით მიღებული შედეგების შედარებისა და ანალიზის საფუძველზე მოხდა შესაბამისი დასკვნების ჩამოყალიბება. **სამუშაოს პრაქტიკული მნიშვნელობა და მიღებული შედეგების გამოყენების სფერო.** ჩატარებული კვლევების შედეგად:

შესწავლილი იქნა ხელოვნური წინაღობების - ტრანსფორმირებადი სისტემების გავლენა სავენტილაციო ნაკადების დინამიკაზე, დამაზიანებელი ფაქტორების გავ-

რცელებაზე და სხვა მნიშვნელოვან პარამეტრებზე, რომელთა მისადაგება შესაძლებელია კონკრეტული გვირაბის გეომეტრიის, ადგილმდებარეობისა და ტოპოლოგიისათვის.

- დადგინდა, რომ ტრანსფორმირებადი სისტემის უპირატესობა არის გვირაბის შეზღუდულ მიწისქვეშა სივრცეში კედლების გამოყენება მისი მონტაჟის მიზნით ანკერების საშუალებით, რაც პრაქტიკულად არ შეამცირებს იმ ძვირადღირებულ მიწისქვეშა სივრცეს, რომელიც განაპირობებს გვირაბის გამტარუნარიანობას სატრანსპორტო საშუალებებისათვის. შესწავლილ იქნა სისტემის ადაპტირების ფართო რესურსი გვირაბის ინფრასტრუქტურასთან. შესაძლებელი იქნება გვირაბის მართვის სისტემასთან მისი ჩართვა როგორც გაყვანილობის მეშვეობით, ისე უსადენო კავშირის გამოყენებით.
- მიღებული შედეგები გამოყენებული იქნება საქართველოს მოქმედ და მშენებარე (50-მდე გვირაბი უნდა აშენდეს უახლოეს 3-5 წელიწადში) საავტომობილო გვირაბებში უსაფრთხო საგანგებო ვენტილაციის დაპროექტების, მონტაჟისა და ექსპლუატაციის საქმეში.

#### **ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა:**

სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავალის, 4 თავის (თავი 1: სამი ქვეთავი, თავი 2: სამი ქვეთავი, თავი 3: ხუთი ქვეთავი, თავი 4: ორი ქვეთავი), დასკვნებისა და 126 ნახეზიდი გვერდისაგან. მას თან ერთვის 10 ცხრილი, 4 სურათი, 25 ნახაზი. გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა შედგება 84 დასახელებისაგან.

## **სადისერტაციო ნაშრომის მოკლე შინაარსი**

### **თბომასაფიზიკური გაანგარიშება**

საავტომობილო გვირაბების უსაფრთხოდ ექსპლუატაციის თვალსაზრისით, მათი თბოფიზიკური გაანგარიშება უაღრესად მნიშვნელოვან კომპონენტს წარმოადგენს, ვინაიდან გვირაბის ჩვეულებრივ რეჟიმში ექსპლუატაციისას, აუცილებელია, რომ გვირაბში სავენტილაციო ჰაერის ტემპერატურამ არ გადააჭარბოს მოქმედი ტექნიკური რეგლამენტით გათვალისწინებულ 35 °C დასაშვებ ტემპერატურას. აღნიშნული იმით აიხსნება, რომ მიწისქვეშ არსებული ნებისმიერი ხელოვნური ან ბუნებრივი ღრუ მოცულობები, მათ შორის საავტომობილო გვირაბები, სადაც ადამიანების ჩართულობით მიმდინარეობს სხვადასხვა სახის ტექნოლოგიური პროცესები, საჭიროვებენ შესაბამისი, მუშა სივრცის ვენტილაციას, აქედან გამომდინარე, გვირაბის სავენტილაციო ჰაერსა და გვირაბის ღრუს გარშემომცველ სამთო მასივს შორის მუდმივად მიმდინარეობს სითბისა და ტენის მიმოცვლის არასტაციონარუ-

ლი პროცესები, რის შედეგადაც ადგილი აქვს სავენტილაციო ჰაერის ნაკადის ტემპერატურისა და ფარდობითი ტენიანობის ცვალებადობას. გვირაბის სავენტილაციო ჰაერის ტემპერატურა და ფარდობითი ტენიანობა წარმოადგენს გვირაბის სივრცეში არსებული მიკროკლიმატის განმარტობებელ მნიშვნელოვან მახასიათებლებს. გვირაბში არსებული მიკროკლიმატი, კი სამუშაო გარემოს სიჯანსაღის ერთ-ერთ ძირითად განმსაზღვრელ ფაქტორად განიხილება.

იმ შემთხვევაში, როდესაც საავტომობილო გვირაბის სამთო მასივი წყალგაუმტარი ქანების ქვევით მდებარეობს, ან გვირაბის გამაგრების ნაწილში გამოყენებულია ტენგაუმტარი მემბრანა, გამორიცხულია საავტომობილო გვირაბის შიგა მუშა სივრცეში წყლის მოდენა. ასეთი მოცემულობის შემთხვევაში გვირაბში არსებულ ჰაერსა და სამთო მასივს შორის ტენის ანუ მასის მიმოცვლა სორბციულად და დესორბციულად მიმდინარეობს, ხოლო მასის გადამტან პოტენციალს, მასაგადატანის პოტენციალს უწოდებენ.

მაშასადამე, საავტომობილო გვირაბის სამთო მასივი, რომელიც წყალგაუმტარი შრის ქვევით მდებარეობს, წარმოადგენს მრავალკომპონენტურ და ჰეტეროგენულ გარემოს, რომლებიც ასევე ხასიათდებიან სითბოსა და მასაგადატანის სტაციონალური ველებით. გვირაბში სავენტილაციო სისტემის ამოქმედებამდე, აღწერილი გარემო წარმოადგენს იზოლირებულ, გაწონასწორებულ და შეუქცევად თერმოდინამიკურ სისტემას, რომელიც მაქსიმალური ენტროპიით ხასიათდება. გვირაბის სავენტილაციო სისტემის ამოქმედების შემთხვევაში, როდესაც სავენტილაციო ჰაერის ტემპერატურისა და ტენიანობის მახასიათებლები განსხვავებულია აღნიშნული სისტემის ანალოგიური მახასიათებლებისაგან, ირღვევა სისტემის წონასწორობა და ადგილი აქვს თბო- მასაგადატანის პროცესს, ხოლო მასაგადატანის პოტენციალი განისაზღვრება:

$$\vartheta = RT \ln \varphi,$$

სადაც  $R$  წარმოადგენს უნივერსალურ მუდმივას,  $\chi$ /(მოლი. $K$ );  $T$  - ჰაერის აბსოლუტური ტემპერატურა,  $K$ ;  $\ln \varphi$  - გაწონასწორებული გარემოს ჰაერის ფარდობითი ტენიანობის ნატურალური ლოგარითმია. მასაგადატანის პოტენციალი ჰიგროსკოპული არესათვის, მოცემული ფორმულის მიხედვით მიიღება მნიშვნელობა უარყოფითი ნიშნით, ხოლო ჰოდროსკოპულ არეში - დადებით მნიშვნელობას იღებს. ჰიდროსკოპული და ჰიგროსკოპული არეების მიჯნაზე მასაგადატანის პოტენციალი



0 - ს უტოლდება, შედეგად მასაგადატანის სკალა გარკვეულ მსგავსებას ავლენს ცელსიუსის ტემპერატურულ სკალასთან.

საავტომობილო გვირაბის თბოფიზიკური გაანგარიშების მიხედვით, ონზაგერის თეორემის თანახმად, კიურის პრინციპის გათვალისწინებით, სამთო მასივსა და სავენტილაციო ნაკადს შორის თბომასაგადაცემას განაპირობებენ პირველი რანგის ტენზორები - ტემპერატურისა და მასაგადატანის პოტენციალის გრადიენტები, რომლებიც არიან პირდაპირი მამოძრავებელი ძალები იმავე დასახელების ნაკადებისათვის და დამატებითი მამოძრავებელი ძალები იმ შემთხვევაში, როცა ნაკადის და ძალების სახელები ერთმანეთს არ ემთხვევა. როგორც ძირითადი, ისე დამატებითი ძალებით განპირობებული ნაკადები ერთნაირად მოქმედებენ სავენტილაციო ნაკადის კლიმატური პარამეტრების - ტემპერატურისა და ფარდობითი ტენიანობის ცვალებადობაზე გვირაბის ფარგლებში, რომელსაც სეზონური ხასიათი აქვს. სამთო მასივიდან სითბოსა და მასის არასტაციონარული გადაცემის კოეფიციენტები სეზონურ ცვალებადობას განიცდიან, რაც მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული გვირაბების ვენტილაციის თბოფიზიკური გაანგარიშების შემთხვევაში.

### **რიცხვითი მოდელირება**

საავტომობილო გვირაბებში ინიცირებული და განვითარებული ხანძრის პირობებში, სახიფათო ვითარებაში აღმოჩენილი ადამიანების სიცოცხლის გადარჩენა პირველი რანგის პრიორიტეტს წარმოადგენს და როგორც კვლევის მიზანშია აღნიშნული, მნიშვნელოვანწილად არის დამოკიდებული საევაკუაციო დროის ხანგრძლივობაზე.

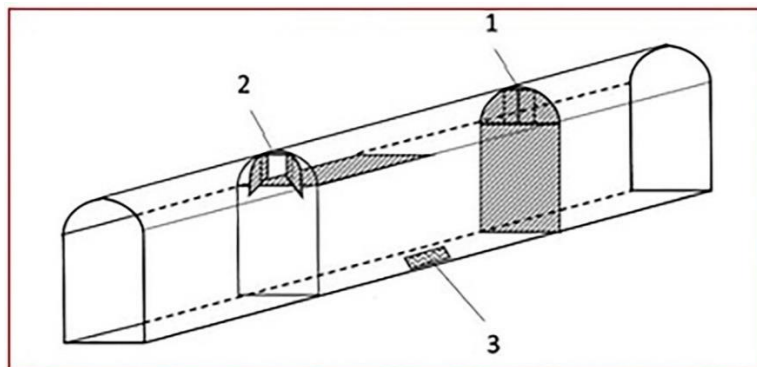
აქედან გამომდინარე, ჩვენს მიერ განხორციელებული კვლევის იდეა ემყარება შემდეგ მოსაზრებას: მას შემდეგ, რაც დროულად მოხდება სატრანსპორტო გვირაბებში ინიცირებული ხანძრის იდენტიფიცირება და გვირაბის სავენტილაციო სისტემების გადაწყობა მუშაობის საგანგებო რეჟიმის შესაბამისად, ამ პროცესის პარალელურად გააქტიურდება მოლოდინის რეჟიმში მყოფი, შესაბამის ლოკაციებზე განთავსებული მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემები, რომლებიც ხანძრის კერიდან გვირაბის ორივე მხარეს გადაფარავს გვირაბის განივ კვეთს ნაწილობრივ, შედეგად აღნიშნულ ლოკაციაზე გაიზრდება გვირაბის აეროდინამიკური წინაღობა, რაც ხელს შეუშლის გვირაბის საევაკუაციო სივრცეში კვამლისა და სხვა დამაზიანებელი ფაქტორების გავრცელებას, ხოლო სახიფათო ზონაში ჩარჩენილ ადამიან-

ნებს შესაძლებლობა ექნებათ დროულად და ორგანიზებულად განახორციელონ თვითევაკუაცია. ამასთან ერთად მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემების გააქტიურება ხელს შეუწყობს გვირაბში სუფთა და დაბინძურებული ჰაერის ნაკადების ერთმანეთისაგან გამიჯვნას, შედეგად გვირაბში საევაკუაციო მიმართულებაზე, სუნთქვისთვის ვარგისი ჰაერის შენარჩუნება უფრო ხანგრძლივი დროით მოხდება, შედეგად გაიზრდება საევაკუაციო დროის ხანგრძლივობა.

მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემის ინსტალაცია შესაძლებელია პრაქტიკულად ნებისმიერ, თუნდაც უკვე მოქმედ სატრანსპორტო გვირაბებში, ისე რომ გვირაბის ჩვეულებრივ რეჟიმში ექსპლუატაციის შემთხვევაში არ შეზღუდოს გვირაბის საკმაოდ ძვირადღირებული სასარგებლო მიწისქვეშა სივრცე.

აღნიშნული სისტემები განთავსდება საავტომობილო გვირაბის მთელს სიგრძეზე 200-300 მ -ის ინტერვალით გვირაბის საგანგებო გასასვლელებთან.

ნახ. 1 - ზე წარმოდგენილია სატრანსპორტო გვირაბში მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემის განთავსების სქემა.

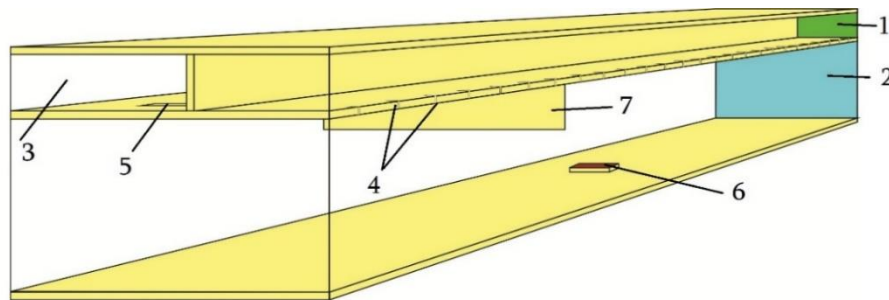


ნახაზი 1. სატრანსპორტო გვირაბში მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემის განლაგების სქემა

აღნიშნული სისტემებით სატრანსპორტო გვირაბის ნაწილობრივ გადაფარვით სამმაგი ეფექტის მიღების შესაძლებლობაა, ჯერ ერთი - თავიდან იქნება აცილებული აფეთქების რისკი, მეორე - გვირაბის ქვედა დონეზე დარჩენილი სატრანსპორტო საშუალებები სისტემის ეფექტურად ფუნქციონირებაზე ნეგატიურ გავლენას ვეღარ მოახდენენ და მესამე - სახიფათო ზონაში აღმოჩენილ ადამიანების გადაადგილებისათვის დაბრკოლების შექმნა გამოირიცხება, შედეგად თვითევაკუაციის ეფექტურობა მნიშვნელოვნად გაიზრდება. ამასთან ერთად აუცილებელია გვირაბის მომსახურე პერსონალის შესაბამისი კვალიფიკაციის დონის არსებობა, რადგანაც

მათ უნდა შეძლონ ეფექტურად მართონ საგანგებო ვითარებაში აღმოჩენილი ადამიანების ევაკუაციის პროცესი.

სატრანსპორტო გვირაბების სახანძრო უსაფრთხოების უზრუნველყოფის სისტემების მოდერნიზაციის, განვითარებისა და მეტად დახვეწის მიზნით, ჩვენს მიერ შემოთავაზებული მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემების დანერგვის ეფექტურობის დასადგენად, ხანძრის განვითარების სცენარების შესწავლის მიზნით, საწყის ეტაპზე, არჩევანი შევაჩერეთ რიცხვითი მოდელირების მეთოდზე, შესაბამისად ამოცანის დასმა მოხდა რიცხვითი მოდელირების FDS პროგრამულ გარემოში. მოდელირება განხორციელდა სამი, ერთმანეთისგან განსხვავებული სასაზღვრო პირობებითა და განსხვავებული გეომეტრიის გვირაბებისათვის. პირველ ეტაპზე შეირჩა 400 მ სიგრძის ჰორიზონტალური საავტომობილო გვირაბი აღჭურვილი ჰაერის ნახევრად განივი მიწოდებისა და განაწილების სავენტულაციო სისტემით. გვირაბის სქემა მოცემულია ნახ. 2 -ზე.



**ნახაზი 2. ერთგვირაბიანი ორმხრივი მოძრაობის საავტომობილო გვირაბი აღჭურვილი ნახევრადგანივი სავენტულაციო სისტემით.**

აღნიშნული სქემისა და გეომეტრიის გვირაბისათვის განხორციელდა 100 მგვტ სიმძლავრის, სამი განსხვავებული სცენარის ხანძრების რიცხვითი მოდელირება FDS პროგრამულ გარემოში.

გვირაბში ხანძრის განვითარების პირველი სცენარის მიხედვით, გვირაბის სავენტულაციო სისტემა მუშაობს საგანგებო რეჟიმში, რომლის მიხედვითაც სუფთა ჰაერის მიწოდება ხდება გვირაბის სავენტულაციო არხისა და შესაბამისი სავენტულაციო ფანჯრების გავლით გვირაბის სავაკუაციო მიმართულებაზე, ხოლო კვამლისა და წვის სხვა პროდუქტების ატმოსფეროში გამოტანა ხორციელდება ხანძრის კერიდან, გვირაბის მარცხენა პორტალის მხარეს, 90 მ - ით დაშორებულ, 8 მ<sup>2</sup> ფარ-

თობის მქონე კვამლისა და ნამწვი პროდუქტების არინების შესაბამისი ფანჯრით, შესაბამისი სახანძრო არხის გავლით. აღნიშნული სცენარის მიხედვით მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემები, არ არის გააქტიურებული.

გვირაბში ხანძრის განვითარების მეორე სცენარში ყველაფერი მეორდება ისე როგორც აღწერილია პირველ სცენარში ერთი განსხვავებით, გააქტიურებულია ხანძრის კერიდან გვირაბის მარცხენა პორტალის მიმართულებით 94 მ მანძილზე განთავსებული მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემა, რომელსაც გადაფარული აქვს გვირაბის განივი კვეთის 50% გვირაბის ჭერიდან სავალი ნაწილის მიმართულებით.

ხოლო მესამე სცენარში ყველაფერი მეორდება როგორც მეორე სცენარშია აღწერილი შემდეგი განსხვავებით, დამატებით ღიაა ხანძრის კერიდან გვირაბის მარჯვენა პორტალის მიმართულებით არსებული კვამლისა და ნამწვი პროდუქტების არინების სახანძრო ფანჯარა, რომელიც მდებარეობს ხანძრის კერიდან 109 მ მანძილზე და გააქტიურებულია ამ მიმართულებით ხანძრის კერიდან 114 მ მანძილზე განთავსებული მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემა, რომელსაც ასევე გადაფარული აქვს გვირაბის განივი კვეთის 50 %.

აღწერილი სამივე სცენარის ხანძრებისათვის დაცული იყო ერთიდაიგივე სასაზღვრო პირობები რომლებიც ითვალისწინებდა, სავენტილაციო სისტემის საგანგებო რეჟიმში ფუნქციონირებისას, ხანძრის პირობებში წვის პროდუქტების რაოდენობის მატებიდან გამომდინარე სავენტილაციო ჰაერის რაოდენობის 33 % - ით ზრდას, ამასთან ერთად სუფთა ჰაერის მისაწოდებელ სავენტილაციო და სახანძრო არხებში ნარჩუნდებოდა ჰაერის ნაკადების ერთიდაიგივე სიჩქარეები: 5, 10, 15, 20 მ/წმ, მოდელირების დრო განისაზღვრა 60 წმ-ით.

ხანძრის აღწერილი სცენარების მიხედვით, მოდელირების შედეგების მოლოდინი მდგომარეობდა, გამოკვეთილიყო ხანძრის განვითარების ისეთი თავისებურებები, რომლებიც ხანძრის განვითარების რეალურ სურათის წარმოდგენის საშუალებას მოგვცემდა.

მოდელირების შედეგები აჩვენებს, რომ შესაბამის ლოკაციაზე განთავსებული მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემებით ხანძრის კერის, გვირაბის ორივე მხარეს ნაწილობრივ გადაფარვის შემთხვევაში, როდესაც სავენტილაციო ჰაერის ნაკადის სიჩქარე მაღალია, მნიშვნელოვნად მცირდება ნახშირბადის მონოქსიდისა და ნამწვი პროდუქტების გავრცელების სიჩქარე და უკუდინების მანძილი, ამასთან ერთად

უნდა აღინიშნოს, რომ საავტომობილო გვირაბში განვითარებული ხანძრის შედეგად აღძრული წვეის ძალების მოქმედება, ძირითადად დამოკიდებულია სახანძრო არხით და შესაბამისი სახანძრო ფანჯრით ნამწვი პროდუქტების გაწოვის სიჩქარეზე, თავისთავად ხანძრის სიმძლავრეზე და წვის მავნე და ტოქსიკური აირების უკუდინების მანძილზე.

რიცხვითი მოდელირების II ეტაპი ითვალისწინებს ხანძრის განვითარების კვლევას დახრილი საავტომობილო გვირაბისათვის, რომელიც აღჭურვილია ჰაერის გრძივი მიწოდებისა და განაწილების სავენტრალაციო სისტემით.

შეირჩა სატრანსპორტო გვირაბის მოდელი შემდეგი გეომეტრიით: სიგრძე 100 მ; სიგანე 8 მ; სიმაღლე 6 მ. გვირაბის დახრის კუთხე იცვლებოდა: 0; 1; 3; 4 და 6%-ით, რაც 0; 0,6; 1,8; 2,4 და 3,6 გრადუსს შეესაბამება. შესწავლილი იქნა 5; 10; 30 და 50 მგვტ სიმძლავრის შესაბამისი ხანძრები. გვირაბში ხანძრის კერა მდებარეობს გვირაბის ცენტრალურ ნაწილში და მისი გავრცელების ფართობი არის 16 მ<sup>2</sup>. ხანძრის მოდელირებისათვის საჭირო რეაგენტად შერჩეული იქნა „ბენზინი“. ხანძრის მოდელირების დრო შეადგენს 120 წმ. დახრილი გვირაბის ჰიდრომეტრულად ზედა პორტალზე მოდელირების 0 წმ-ზე ჩაირთვება ორი ცალი ჭავლური ტიპის სავენტრალაციო დანადგარი, თითოეულის სამუშაო სიმძლავრე 28 მ<sup>3</sup>/წმ, სამუშაო წნევით 2000 პა.

საწყის ეტაპზე მოდელირება განხორციელდა გვირაბის ნულოვანი კუთხით დახრის შემთხვევაში. რიცხვითი მოდელირების დაწყების მომენტიდან მე-20 წმ-ზე ხდება ხანძრის ინიცირება, ხოლო დანარჩენი 100 წმ-ის განმავლობაში მიმდინარეობს მოდელირების მონაცემების მიღება-დაფიქსირება. ხანძრის მიმდინარეობისას დროის ერთეულში გამოყოფილი კვამლისა და ტოქსიკური აირების რაოდენობა სხვადასხვა სიმძლავრის ხანძრებისათვისათვის მოცემულია ცხრილი 1-ში.

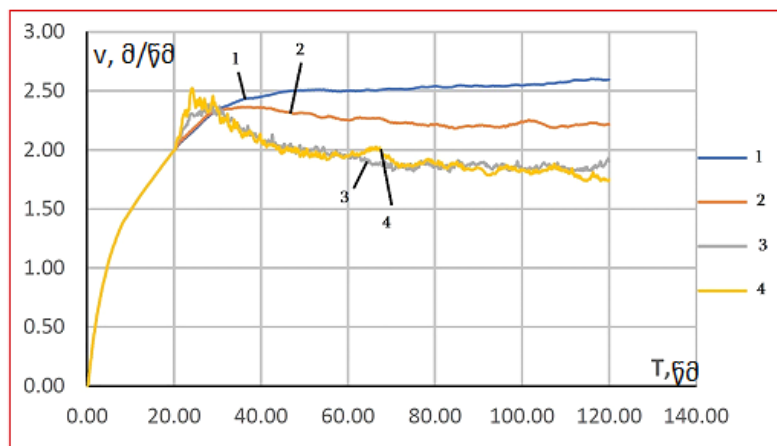
**ცხრილი 1. რიცხვითი მოდელირების შედეგები გვირაბის ნულოვანი კუთხით დახრის შემთხვევაში. გვირაბში ჰაერის ხარჯისა და ჰაერის სიჩქარის მნიშვნელობები განვითარებული ხანძრის შესაბამისი სიმძლავრის მიხედვით**

ხანძრის სიმძლავრე, მგვტ	$u_1$ , მ/წმ	$u_2$ , მ/წმ	$G_2$ , მ <sup>3</sup> /წმ	$G_1$ , მ <sup>3</sup> /წმ	$G$ , მ <sup>3</sup> /წმ
5	2.9	3.6	139.2	172.8	33.6
10	2.9	4.1	139.2	196.6	57.6
30	2.9	5.0	139.2	240.0	100.8

50	2.9	5.6	139.2	268.8	129.6
----	-----	-----	-------	-------	-------

მოდელირების შედეგების მიხედვით, ჰორიზონტალურ გვირაბში ჰაერის ტემპერატურის ზრდასთან ერთად მისი სიმკვრივის შემცირება არ იწვევს ჰაერის განშრევებას, არამედ ხდება ნამწვი პროდუქტების სავენტელაციო ჰაერთან შერევა, შედეგად იზრდება სავენტელაციო ჰაერის ნაკადის სიჩქარე.

მოდელირების მომდევნო ეტაპი, იგივე სასაზღვრო პირობების მიხედვით განხორციელდა გვირაბის 3 %-იანი დახრილობის შემთხვევისათვის. შედეგების მიხედვით შეიძლება ითქვას, რომ ხანძრის ინიცირებისა და განვითარებისას ნამწვი პროდუქტების სავენტელაციო ჰაერთან შერევის მიუხედავად, სავენტელაციო ჰაერის ნაკადის სიჩქარის ზრდა ყოველთვის არ ფიქსირდება. ნახ. 3 -ზე მოცემულია მოდელირების ერთ-ერთი შედეგის გრაფიკული გამოსახულება, რომლის მიხედვი-



**ნახაზი 1. დახრილ სატრანსპორტო გვირაბში (3%), სავენტელაციო ჰაერის ნაკადის სიჩქარის ცვალებადობა გვირაბში ინიცირებულ და განვითარებულ ხანძრის სიმძლავრესთან: 1- 5 მგვტ; 2-10 მგვტ; 3 – 30 მგვტ; 4 – 50 მგვტ.**

თაც ჩანს, რომ 30 და 50 მგვტ სიმძლავრის გვირაბის ხანძრებისათვის სავენტელაციო ჰაერის ნაკადის სიჩქარე, მიუხედავად იმისა, რომ ამ დროს სავენტელაციო ჰაერის ნაკადს გაცილებით მეტი წვის პროდუქტები ერევა, გაზრდის მაგივრად მცირდება, 5 მგვტ სიმძლავრის ხანძრის შემთხვევასთან მიმართებით.

აღნიშნულის მიზეზი არის ის გარემოება, რომ ხანძრის სიმძლავრის ზრდის შემთხვევაში, სავენტელაციო დანადგარების მიერ აღძრული ნაკადის ინერციის ძალები მნიშვნელოვნად ნაკლებია ჰაერის სიმკვრივის შემცირების ხარჯზე აღძრულ ტივტივადობის ძალებთან შედარებით.



მოდელირების II ეტაპის შედეგების მიხედვით ჰორიზონტალურ გვირაბებში სუფთა ჰაერის შენარჩუნება ხდებოდა სავენტილაციო ჰაერის აღმავალ ნაკადებში, ხოლო გვირაბის 3 %-იანი დახრილობის შემთხვევაში, ხანძრის წვეის ძალებით გამოწვეული, კვამლისა და ნაძწვი პროდუქტებით სავენტილაციო ჰაერის ძლიერი დაშრეებისა და სავენტილაციო ჰაერის ნაკადის გადაყირავების გამო, სუფთა ჰაერის შენარჩუნება გვირაბის აღმავალი მიმართულებითაც შეუძლებელი იყო, ხოლო ხანძრის კერიდან გვირაბის დაღმავალ მიმართულებაზე, სუფთა ჰაერის შენარჩუნება ნებისმიერ შემთხვევაში შეუძლებელი იყო.

რიცხვითი მოდელირების III ეტაპის მიხედვით შეირჩა ჰორიზონტალური გვირაბი გრძივი სავენტილაციო სისტემით, იმ დაშვებით, რომ ხანძრის ინიცირების მომენტიდან გვირაბის სავენტილაციო სისტემა გარკვეული მიზეზების გამო გამოვიდა მწყობრიდან(აღებულია ჰორიზონტალურ გვირაბში ხანძრის პირობებში ადამიანების გადარჩენის ყველაზე გაუარესებული პირობა). გვირაბის სიგრძე განისაზღვრა 400 მ, გვირაბის განივკვეთის ფართობი 42 მ<sup>2</sup>, რიცხვითი ექსპერიმენტის ხანგრძლივობა 190 წმ, სასრული მოცულობის კონტურის მინიმალური ზომაა 0,25 X 0,25 X 0,25 მ, მაქსიმალური - 0,5 X 0,5 X 0,5 მ, ხანძრის კერა მდებარეობს გვირაბის ცენტრალურ ნაწილში 0,1 მ სიმაღლეზე, ხოლო ალის რეაგენტად გამოყენებულია მ27 პოლიურეთანი, მოდელირებისას ხანძრის კერის ფართობი შეადგენდა 5-10 მ<sup>2</sup>.

ექსპერიმენტი განხორციელდა 5, 10, 15, 20, 30, 50 მგვტ სიმძლავრის ხანძრების შემთხვევაში, როდესაც 1. გვირაბი არ არის აღჭურვილი მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემებით და 2. მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემა გააქტიურებულია და 50 %-ით გადაფარა გვირაბის განივი კვეთი ხანძრის კერიდან ორივე მიმართულებით 50 მ დაშორებით.

ცხრილი 2 -ში მოცემულია მოდელირების შედეგები: 60 °C კრიტიკული ტემპერატურის იზოთერმის გავრცელების სიგრძე და სიმაღლე, ხანძრის კერიდან შესაბამისად გვირაბის ჰორიზონტალურ (X) და ვერტიკალურ (Z) სიბრტყეებში, როდესაც გვირაბი არ არის არჭურვილი მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემებით.

ცხრილი 3 -ში მოცემულია მოდელირების შედეგები - 60 °C კრიტიკული ტემპერატურის იზოთერმის გავრცელების სიგრძე და სიმაღლე ხანძრის კერიდან შესაბამისად გვირაბის ჰორიზონტალურ (X) და ვერტიკალურ (Z) სიბრტყეებში,

როდესაც მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემები გააქტიურებულია და გადაფარული აქვს მოდელირებული გვირაბის განივკვეთის 50%.

**ცხრილი 2. მოდელირების შედეგები 60 °C კრიტიკული ტემპერატურის იზოთერმის გავრცელების სიგრძე და სიმაღლე ხანძრის კერიდან (გვირაბი არ არის აღჭურვილი ტრანსფორმირებადი სისტემებით)**

მოდელირების შედეგები 60 °C კრიტიკული ტემპერატურის იზოთერმის გავრცელების სიგრძე და სიმაღლე ხანძრის კერიდან შესაბამისად გვირაბის ჰორიზონტალურ (X) და ვერტიკალურ (Z) სიბრტყეებში, როდესაც მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემები ლოდინის რეჟიმშია		
ხანძრის სიმძლავრე, მგვტ.	ხანძრის კერიდან გვირაბის გასწვრივ გავრცელების მინიმალური მანძილი, ( $l_{min}$ ) მ.	ხანძრის კერიდან გავრცელების მინიმალური სიმაღლე, ( $h_{min}$ ) მ.
5	20	4.00
10	75	2.00
15	75	1.50
20	75	1.25
30	75	1.00
50	75	0.50

როგორც მოდელირების შედეგებიდან ჩანს, გვირაბში ხანძრის ინიცირებისა და განვითარების შემთხვევაში, მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემების გამოყენება მნიშვნელოვან ეფექტს იძლევა საევაკუაციო დროის გაზრდის თვალსაზრისით, კერძოდ ცხრილი 2 და ცხრილი 3 - ში მოცემული მოდელირების შედეგების შედარებით, სახეზეა აღნიშნული სისტემის გამოყენებისას 60 °C კრიტიკული ტემპერატურის იზოთერმის ვერტიკალურ სიგრძეში გავრცელების სიმაღლის მკვეთრი ზრდა, ამასთან ერთად მცირდება 60 °C კრიტიკული ტემპერატურის იზოთერმის გავრცელების მანძილი ხანძრის კერიდან გვირაბის გასწვრივ, ეს კი საევაკუაციო დროის გახანგრძლივების საშუალებას იძლევა, რაც დადებითად აისახება ადამიანების გადარჩენის შესაძლებლობებზე და მაშასადამე, სახანძრო უსაფრთხოების სისტემების ეფექტურობის განმტკიცებაზე. ეფექტურობა განსაკუთრებით ნიშანდობლივია დიდი სიმძლავრის ხანძრების შემთხვევაში.

აღსანიშნავია, რომ მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემებით გვირაბის გადაფარვის შიგა სივრცეში, ჰიფსომეტრულად ნულოვანი დონიდან 2 მ სიმაღლეზე აღინიშნება ტემპერატურის ზრდა ხანძრის სიმძლავრის ზრდასთან ერთად. აღნიშნული მოცემულია ცხრილი 4-ში.



**ცხრილი 3. მოდელირების შედეგები 60 °C კრიტიკული ტემპერატურის იზოთერმის გავრცელება ხანძრის კერიდან (მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემებით გადაფარულია გვირაბის კვეთის 50%)**

მოდელირების შედეგები 60 °C კრიტიკული ტემპერატურის იზოთერმის გავრცელება ხანძრის კერიდან შესაბამისად გვირაბის ჰორიზონტალურ (X) და ვერტიკალურ (Z) სიბრტყეებში, როდესაც მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემები აქტივირებულია და გადაფარულია მოდელირებული გვირაბის 50%		
ხანძრის სიმძლავრე, მგვტ.	ხანძრის კერიდან გვირაბის გასწვრივ გავრცელების მინიმალური მანძილი, ( $l_{min}$ ) მ.	ხანძრის კერიდან გავრცელების მინიმალური სიმაღლე, ( $h_{min}$ ) მ.
5	55	5.0
10	60	4.0
15	65	3.5
20	75	4.5
30	75	3.5
50	75	2.5

ამასთან ერთად, იგივე საწყისი პარამეტრებით, რიცხვითი მოდელირების შედეგების ანალიზი აჩვენებს, რომ კვამლისა და სხვა ნამწვი ტოქსიკული აირების გავრცელების კანონზომიერება 60 °C კრიტიკული ტემპერატურის იზოთერმის გავრცელების კანონზომიერების იდენტურია.

ნახ. 4 - ზე წარმოდგენილია ჰორიზონტალური გვირაბის მოდელში კვამლისა და ნამწვი პროდუქტების გავრცელების სიჩქარის ცვალებადობა ხანძრის სიმძლავრესთან მიმართებაში, როდესაც სავენტილაციო სისტემა მწყობრიდან არის გამოსული.

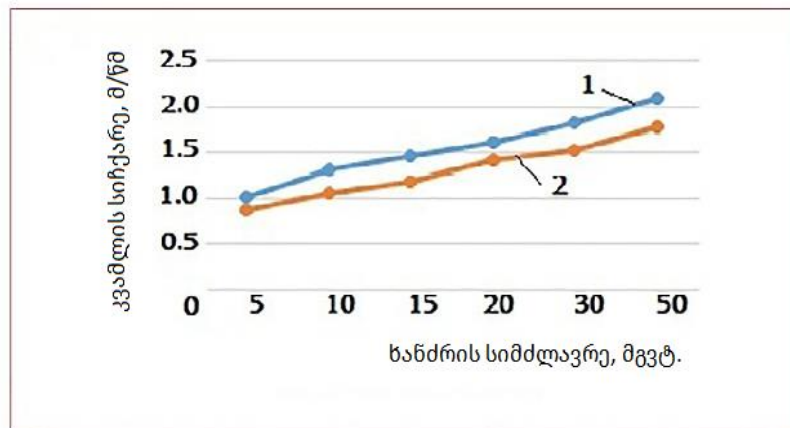
როგორც ნახ. 4 -იდან ჩანს მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემებით გვირაბის განივი კვეთის 50%-ით გადაფარვის შემთხვევაში მცირდება გვირაბში კვამლისა და სხვა ნამწვი პროდუქტების გავრცელების სიჩქარე.

**ცხრილი 4. მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემებით გვირაბის გადაფარვის შიგა სივრცეში, ჰიფსომეტრულად ნულოვანი დონიდან 2 მ სიმაღლეზე არსებული ჰაერის ტემპერატურა ხანძრის სიმძლავრესთან მიმართებით**

ხანძრის სიმძლავრე, მგვტ.	გვირაბის გადაფარვის შიდა სივრცეში, იატაკიდან 2 მ სიმაღლეზე არსებული ჰაერის ტემპერატურა, °C.
5	73
10	100
15	105
20	158
30	180
50	204

უნდა ავლნიშნოთ, რომ ადამიანის უსაფრთხოების თვალსაზრისით, სანიტარულ-ჰიგიენური ნორმების მიხედვით, ნახშირბადის მონოქსიდის კონცენტრაციის მაქსიმალური დასაშვები ზღვარი, დროის ფაქტორის გათვალისწინებით შემდეგია: 8 სთ-იანი სამუშაო განრიგის მიხედვით საწარმოო სივრცეში ნახშირბადის მონოქსიდის მაქსი-მალური დასაშვები კონ-ცენტრაციაა - 20 მგ/მ<sup>3</sup>. 1 სთ - იანი ხანგრძლი-ვობის შემთხვევაში მაქ-სიმალური დასაშვები კონცენტრაცია - 50 მგ/მ<sup>3</sup>.

15 წთ - იანი დროის მონაკვეთის შემთხვევაში 200 მგ/მ<sup>3</sup> (სივრცეში სადაც ადამიანი მხოლოდ 15 წთ იმყოფება, დაუშვებელია, რომ ნახშირბადის მონოქსიდის კონცენტრაცია 200 მგ/მ<sup>3</sup> აღემატებოდეს).

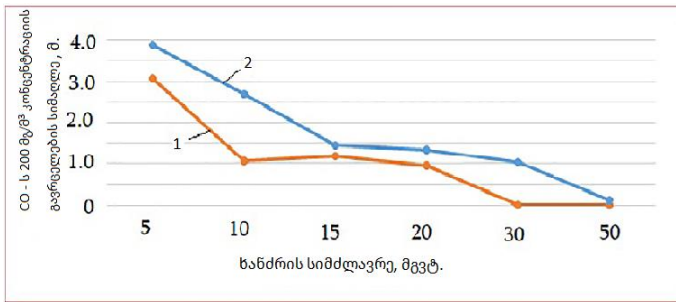


**ნახაზი 4. ჰორიზონტალური გვირაბის მოდელზე კვამლისა და ნამწვი პროდუქტების გავრცელების სიჩქარის ცვალებადობა ხანძრის სიმძლავრესთან მიმართებაში, როდესაც სავენტილაციო დანადგარები ხანძრის ინიცირების მომენტიდან მწყობრიდან გამოვიდნენ.**

აღნიშნული სტანდარტების მიხედვით გვირაბში ხანძრის ინიცირებისა და განვითარების შემთხვევაში, სახიფათო ზონიდან ადამიანების ევაკუ-აციისათვის საჭირო უსოდენ ძვირფასი დრო განისაზღვრება ხანძრის ინიცირების მომენტიდან ვიდრე გვირაბში სავაკუაციო მიმართულებით 2 მ სიმაღლეზე ნახშირბადის მონოქსიდის კონცენტრაცია არ მოაღწევს 200 მგ/მ<sup>3</sup>.

ნახ. 5- ზე წარმოდგენილია, რიცხვითი მოდელირების ერთ-ერთი შედეგი ჰორიზონტალური გვირაბისათვის, როდესაც ხანძრის ინიცირების მომენტიდან სავენტილაციო დანადგარები მწყობრიდან გამოვიდნენ. 1 გრაფიკი გამოხატავს გვირაბის ჭერიდან გვირაბის სავალი ნაწილის მიმართულებით არსებული სივრცის, 200 მგ/მ<sup>3</sup> კონცენტრაციის ნახშირბადის მონოქსიდით შევსების სიმაღლეს, როდესაც გვირაბი არ არის აღჭურვილი მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემებით. აღნიშ-

ული გრაფიკიდან კარგად ჩანს, რომ 5 მგვტ ხანძრის შემთხვევაში, შესაბამისი კონ-



ცენტრაციის ნახშირბადის მონოქსიდი გვირახის სივრცეს დაახლოებით 3 მ სიმაღლიდან ზევით სრულად ავსებს, 10 მგვტ სიმძლავრის ხანძრის შემთხვევაში, კი მოცემუ-

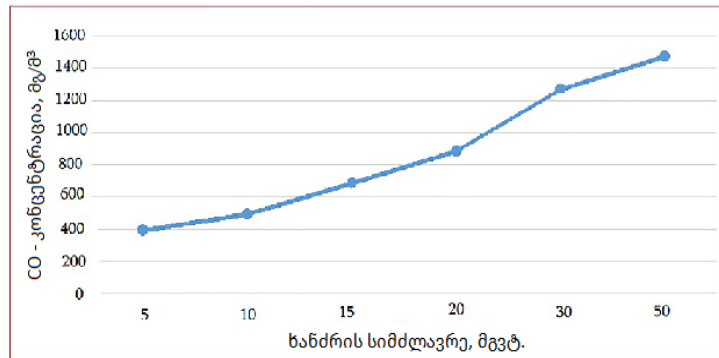
**ნახაზი 5. ჰორიზონტალურ გვირახებში, სადაც მწყობრიდან გამოვიდა სავენტილაციო დანადგარები, ხანძრის ინიცირებისა და განვითარების დროს ფორმირებული, 200 მგ/მ³ კონცენტრაციის ნახშირბადის მონოქსიდი, გვირახის სივრცის ჭერიდან სავალი ნაწილის მიმართულებით შევსების სიმაღლე სხვადასხვა სიმძლავრის ხანძრებისათვის.** ლი კონცენტრაციის ნახშირბადის მონოქსიდი ავსებს გვირახის სივრცეს დაახლოებით 1 მ სიმაღლიდან ზევით. ნათელია, რომ რაც უფრო იზრდება ხანძრის სიმძლავრე, მით უფრო იზრდება ნახშირბადის მონოქსიდი გაჯერებული გვირახის სივრცე ზევიდან ქვედა მიმართულებით და შედეგების მიხედვით 30 და 50 მგვტ სიმძლავრის ხანძრის შემთხვევაში გვირახი სრულად ივსება ნახშირბადის მონოქსიდის იმ კონცენტრაციით, რომელიც ადამიანის სიცოცხლისუნარიანობაზე მკვეთრ ნეგატიურ გავლენას ახდენს. შესაბამისად ასეთ პირობებში ევაკუაციის წარმატებით განხორციელების შესაძლებლობა პრაქტიკულად შეუძლებელია. უნდა აღინიშნოს, რომ გვირახიდან, ხანძრის პირობებში ორგანიზებული ევაკუაციის წარმატებით განხორციელებისათვის მნიშვნელოვანია რომ გვირახის შიგა სივრცეში, გვირახის სავალი ნაწილიდან 2 მ სიმაღლის დონემდე მაქსიმალურად იყოს შენარჩუნებული სუფთა ჰაერი.

ნახ. 5 -ის მე-2 გრაფიკი აღნიშნავს, გვირახის ჭერიდან გვირახის სავალი ნაწილის მიმართულებით 200 მგ/მ³ კონცენტრაციის ნახშირბადის მონოქსიდი გვირახის სივრცის შევსების სიმაღლეს სხვადასხვა სიმძლავრის ხანძრების შემთხვევაში, როდესაც მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემები აქტიურ მდგომარეობაში იმყოფებიან და გადაფარული აქვთ ხანძრის კერიდან ორივე მიმართულებით 50 მ მანძილზე გვირახის განივი კვეთის 50 %. აღნიშნული გრაფიკების შედარებით ჩანს, რომ მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემების გამოყენების შედეგად 200 მგ/მ³ კონცენტრაციის ნახშირბადის მონოქსიდის გვირახში გავრცელების სიმაღლე, სადაც სუფთა ჰაერი მეტნაკლებად ნარჩუნდება 18-20 % მატულობს, რაც ადასტურებს აღნიშნული სისტემების გამოყენების ეფექტურობას.

ამასთან ერთად, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, გვირაბში ხანძრის კერასთან, მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემებით გვირაბის განივი კვეთის 100% - იანი გადაფარვის შიგა ე.წ. ჩაკეტილ სივრცეში, წვადი მასალის არასრული წვის შედეგად, მკვეთრად იზრდება ნახშირბადის მონოქსიდის კონცენტრაცია, თუ გავითვალისწინებთ, რომ ნახშირბადის მონოქსიდისა და ჰაერის საწვავი ნარევის აფეთქების შუალედი 12,5 – 75 %-ია, შესაბამისად სახეზეა აღნიშნულ სივრცეში ფეთქებადსაშიში სიტუაციის ფორმირების შესაძლებლობა.

რიცხვითი მოდელირების ერთ-ერთ მიზანს წარმოადგენდა: დაგვედგინა მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემებით, ხანძრის კერის ორივე მხარეზე გვირაბის განივი კვეთის 50%-იანი გადაფარვის შემთხვევაში ე.წ. ჩაკეტილ სივრცეში ნახშირბადის მონოქსიდის კონცენტრაციის ცვალებადობა ხანძრის სიმძლავრის მიხედვით. შედეგები მოცემულია ნახაზი 6 - ზე.

ექსპერიმენტის ხანგრძლივობის 180 წმ-ის განმავლობაში, სისტემის მიერ გვირაბის პერიმეტრის 50 % - იანი გადაფარვის შემთხვევაში, აღნიშნულ სივრცეში ნახშირბადის მონოქსიდის კონცენტრაციის მკვეთრი ზრდა აღინიშნება რომელიც რამდენჯერმე აღემატება ადამიანის სიცოცხლისათვის დასაშვებ კრიტიკულ



**ნახაზი 6. მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემებით ხანძრის კერის ორივე მხარეზე გვირაბის პერიმეტრის 50% - იანი გადაფარვის შემთხვევაში, გადაფარვის სივრცეში ნახშირბადის მონოქსიდის კონცენტრაციის ცვალებადობა ხანძრის სიმძლავრესთან მიმართებაში**

ზღვარს (200 მგ/მ<sup>3</sup>), ამასთან ერთად ნახშირბადის მონოქსიდის კონცენტრაცია აღნიშნულ სივრცეში მაინც მნიშვნელოვნად ნაკლებია ვიდრე აფეთქების შუალედი. ექსპერიმენტის შედეგები ადასტურებს იმ მოსაზრებას, რომ მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემების დანერგვის შემთხვევაში, როდესაც გვირაბის განივი კვეთის 50 %-იანი გადაფარვა ხდება ხანძრის კერის ორივე მხარეზე, იზრდება საევაკუაციო დრო, რაც მეტად აუმჯობესებს ადამიანების სიცოცხლის გადარჩენის





დასმული ამოცანების გადაწყვეტისა და ანალიზის მიზნით გვირავის მოდელზე ჩატარდა ექსპერიმენტული კვლევა ორი განსხვავებული შემთხვევისათვის:

1) სატრანსპორტო გვირავის მოდელზე ხანძრის განვითარება-გავრცელების კვლევა და მონაცემების ანალიზი ხორციელდება, როდესაც გვირაბი არ არის აღჭურვილი მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემებით.

2) სატრანსპორტო გვირავის მოდელზე ხანძრის კვლევა და მონაცემების ანალიზი ხორციელდება, როდესაც გვირაბში მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემები გააქტიურებულია.

გვირავის მოდელზე შევისწავლეთ:

ა) გვირაბში განვითარებული ხანძრისას ფორმირებული წვის პროდუქტების ტემპერატურული ველის გავრცელების ბუნება და ხასიათი;

ბ) გვირავის სავენტილაციო ჰაერის ნაკადის კრიტიკული სიჩქარის დამოკიდებულება გვირავის დახრის კუთხესთან;

გ) გვირავის სავენტილაციო ჰაერის ნაკადის კრიტიკული სიჩქარისა და უკუდინების მანძილის ცვალებადობის ტემპის განმაპირობებელი უგანზომილებო გრადიენტ ფაქტორის კოეფიციენტი.

დ) გვირაბში ხანძრის განვითარებისას, გვირავის სახანძრო უსაფრთხოების უზრუნველყოფის მართვის ერთიანი სისტემის მოქნილობისა და ეფექტურობისათვის აუცილებელი მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემების ფუნქციონირების ეფექტურობა.

საწყის ეტაპზე, დანზინგერისა და კენედის მიერ შემუშავებული გვირავის ხანძრის დამოდლების მეთოდის მიხედვის მიხედვით გავიანგარიშეთ ნატურალური ზომების გვირაბში განვითარებული, შესაბამისი სიმძლავრის ხანძრის დამოდლებისათვის საჭირო მასშტაბი.

მიღებული მასშტაბის მიხედვით გადავიანგარიშეთ ნატურალური ზომების გვირაბში ფორმირებული 5-10-15 მგვტ ხანძრის სიმძლავრეები გვირავის მოდელისათვის, რამაც შეადგინა 0,495 – 0,99 – 1,49 კვტ შესაბამისად. ასევე, შესაბამისი სიმძლავრის ხანძრებისას გამოყოფილი კონვექციური სითბოს რაოდენობები, როგორც ნატურალური ზომის გვირაბში, ასევე სათანადო მოდელზე დაანგარიშდა და მიღებული შედეგები ავსახეთ ცხრილში 5.

რეალურ (ნატურალურ) გვირაბში ინიცირებული და განვითარებული ხანძრის დამოდებების, დანზინგერისა და კენედის მეთოდის საფუძველზე, გაანგარიშდა სავენტილაციო ჰაერის ნაკადის სიჩქარის მასშტაბი. დადგენილი მასშტაბის მიხედვით, გადავიანგარიშეთ ნატურალური ზომების გვირაბში სავენტილაციო დანდგარის მიერ ფორმირებული სავენტილაციო ჰაერის ნაკადის სიჩქარის მნიშვნელობები გვირაბის მოდელისათვის.

**ცხრილი 5. ხანძრის სიმძლავრეების მნიშვნელობები ნატურალური ზომების გვირაბსა და მოდელზე შესაბამისი მასშტაბის მიხედვით.**

ხანძრის სრული სიმძლავრე, გვირაბში და მოდელზე.		კონვექციური სითბოს რაოდენობა, გვირაბში და მოდელზე.		ბუნებრივი აირის ხარჯი, მ <sup>3</sup> /სთ.
$Q_n$ , მგვტ.	$Q_m$ , კვტ.	$Q_{cn}$ , მგვტ.	$Q_{cm}$ , კვტ.	
5 (56 880 კვტ/სთ)	0,495	3,5	0,35	0,053
10 (113 760 კვტ/სთ)	0,99	7,0	0,69	0,106
15 (170 640 კვტ/სთ)	1,49	10,5	1,04	0,16

გვირაბის მოდელში მიღებული სავენტილაციო ჰაერის ნაკადის სიჩქარეების მიხედვით გამოთვლილი სავენტილაციო ნაკადის ხარჯი. გადავიანგარიშეთ გვირაბის მოდელზე 0,495; 0,99; 1,49 კვტ სიმძლავრის ხანძრის განვითარებისას, შესაბამისი

**ცხრილი 6. სავენტილაციო ჰაერის ნაკადის სიჩქარეების მნიშვნელობები ნატურალური ზომების გვირაბსა და მოდელზე შესაბამისი მასშტაბის მიხედვით.**

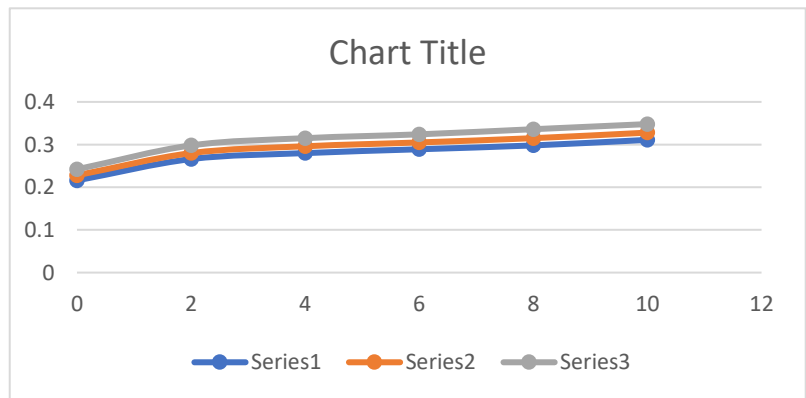
სავენტილაციო ჰაერის ნაკადის სიჩქარე ნატურალურ და მოდელზე		სავენტილაციო ჰაერის მასური ხარჯი მოდელზე $G_m$ ,	ნატურალური ზომების გვირაბში ხანძრის სიმძლავრის შესაბამისი ტემპერატურის ნაზარდის $\Delta T$ საშუალო მნიშვნელობა მოდელზე ანგარიშის მიხედვით, °C			ნატურალური ზომების გვირაბში ხანძრის სიმძლავრის შესაბამისი ტემპერატურის ნაზარდის $\Delta T$ საშუალო მნიშვნელობა მოდელზე ექსპერიმენტის მონაცემების მიხედვით, °C		
$u_n$ , მ/წმ	$u_m$ , მ/წმ	კვტ/სთ	5 მგვტ	10 მგვტ	15 მგვტ	5 მგვტ	10 მგვტ	15 მგვტ
0,5	0,079	10,24	123	242,6	365,7	115,8	255,1	385,6
1,0	0,158	20,5	61,4	121,7	182,4	72,7	120,7	201,7
1,5	0,237	30,7	41,2	81,4	122,5	46,2	97,9	143,4
2,0	0,316	40,95	30,9	60,7	91,6	32,5	64,7	98,8
2,5	0,395	51,2	24,3	48,6	73,6	27,7	47,9	90,1

სიჩქარის 0,079; 0,158; 0,237; 0,316; 0,395 მ/წმ სავენტილაციო ჰაერის ნაკადების დროს გვირაბის მოდელზე ხანძრის კერასთან ფორმირებული ტემპერატურული ველის ნაზარდის საშუალო მნიშვნელობები.

ამასთან ერთად აღსანიშნავია, რომ გვირავის მოდელზე სხვადასხვა სიმძლავრის 0,495; 0,99; 1,49 კვტ ხანძრების განვითარების კვლევისას, როდესაც გვირავის მოდელი არ არის აღჭურვილი მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემებით, სავენტოლაციო ჰაერის ნაკადის შესაბამისი სიჩქარეებისათვის 0,079; 0,158; 0,237; 0,316; 0,395 მ/წმ, მოდელში ხანძრის კერასთან განთავსებული დახურულ აღმქმელიანი თერმოწყვილების მონაცემების „დატათეიქერის“ DT-8 საშუალებით დამუშავების მიხედვით და მის შესაბამისად, დავადგინეთ ტემპერატურული ველის ნაზარდის საშუალო რიცხვითი მნიშვნელობები. შედეგები შეტანილია ცხრილი 6- ში.

ჰორიზონტალური და შესაბამისი დახრის კუთხის მქონე გვირავის მოდელზე განხორციელებული ექსპერიმენტების მიხედვით დავადგინეთ შესაბამისი (0,495; 0,99; 1,49 კვტ) სიმძლავრის ხანძრებისათვის სავენტოლაციო ჰაერის ნაკადის კრიტიკული სიჩქარეების მნიშვნელობები, რომლებიც წარმოდგენილია ნახ. 8-ზე.

ამასთან ერთად ხანძრის დამოდებლების დანზინგერისა და კენედის მეთოდით გავიანგარიშეთ სავენტოლაციო ჰაერის ნაკადის კრიტიკული სიჩქარე 5 – 10 – 15 მგვტ სიმძლავრის ხანძრის შესაბამისი ჰორიზონტალური გვირავის მოდელისათვის, შედეგები კარგ თანხვედრაშია ექსპერიმენტით მიღებულ შედეგებთან, რაც კარგად ჩანს ნახ. 8 -დან.



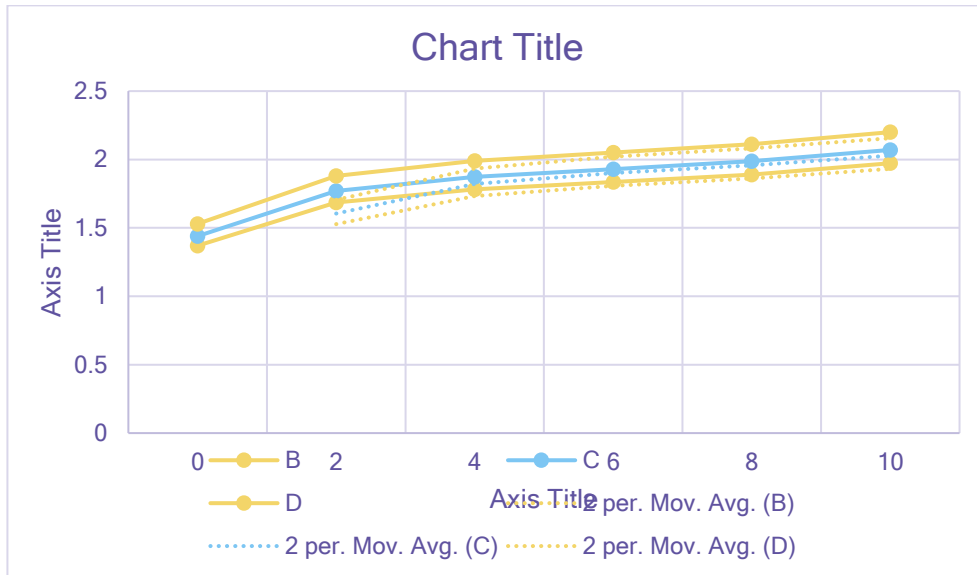
**ნახაზი 8.** გვირავის მოდელზე კრიტიკული სიჩქარის ცვალებადობა ჰორიზონტალური და დახრილი გვირავებისათვის დამოდებულ ხანძრის სხვადასხვა სიმძლავრისათვის: 1 – 0,495კვტ; 2 – 0,99კვტ; 3 – 1,49 კვტ.

აღსანიშნავია, რომ სავენტოლაციო ჰაერის ნაკადის კრიტიკული სიჩქარეების ცვალებადობის აღწერილი დამოკიდებულება გვირავის დახრის კუთხესთან, რომელიც მოცემულია ნახაზი 8 ზე, დამახასიათებელია მხოლოდ სავენტოლაციო ჰაერის ნაკადების დადებითი მიმართულებისათვის. მოცემული გრაფიკის მიხედ-



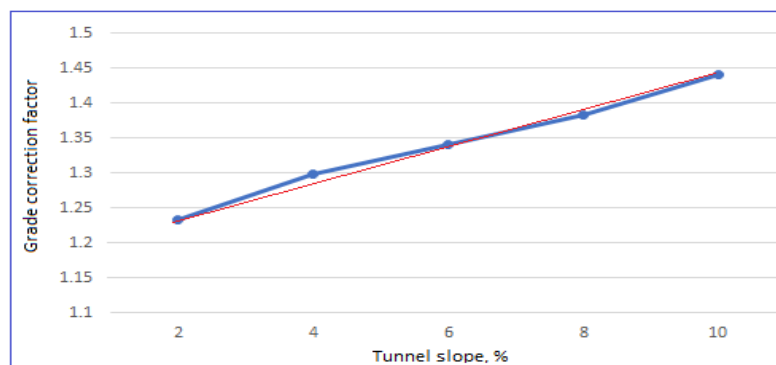
ვით ნათლად ჩანს, რომ გვირავის დახრის კუთხის ზრდასთან ერთად იზრდება სავენტილაციო ჰაერის კრიტიკული სიჩქარის რიცხვითი მნიშვნელობაც.

ნახაზი 9 - ზე წარმოდგენილია ჰორიზონტალურ და დახრილ გვირაბებში სავენტილაციო ჰაერის ნაკადის კრიტიკული სიჩქარის ცვალებადობა რეალური (ნატურალური ზომების) გვირაბისათვის.



ნახაზი 9. ჰორიზონტალურ და დახრილ გვირაბებში კრიტიკული სიჩქარის ცვალებადობა სხვადასხვა სიმძლავრის ხანძრებისათვის: B - 5 მგვტ; C - 10 მგვტ; D - 15 მგვტ.

ნახ. 10 -ზე წარმოდგენილია სხვადასხვა დახრილობის მქონე ნატურალური ზომების გვირაბში განვითარებული 5-10-15 მგვტ სიმძლავრის ხანძრების შასაბა-

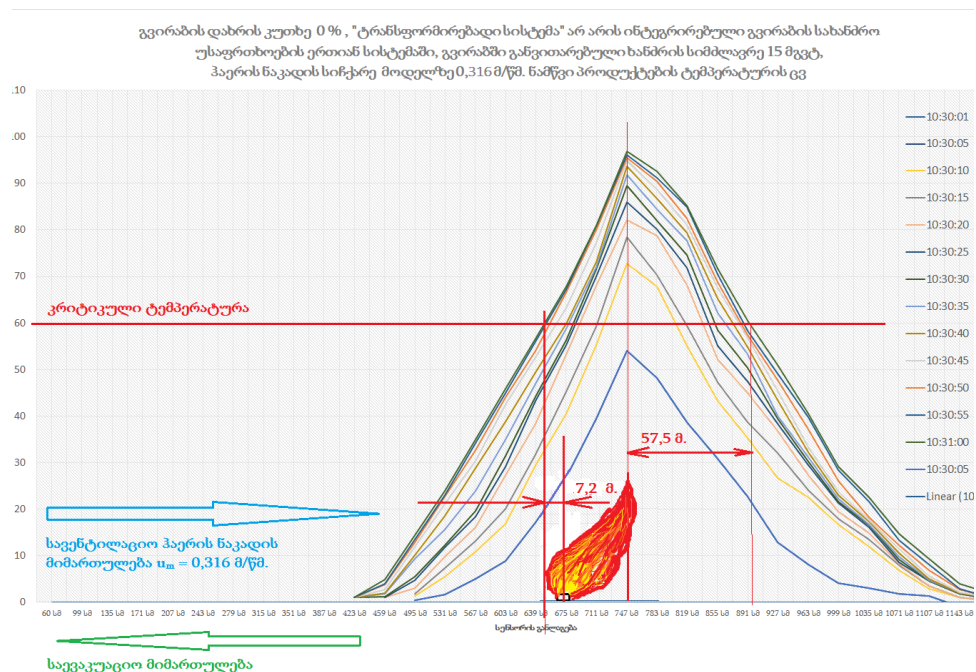


ნახაზი 2. გვირაბის მოდელის დახრილობის მიხედვით „გრადიენტ-ფაქტორის“ გასაშუალებული კოეფიციენტების ცვალებადობა: ლურჯი კონტური - 5-10-15 მგვტ სიმძლავრის ხანძრების საშუალო მაჩვენებლები; წითელი კონტური - გაწრფივებული საშუალო მაჩვენებლები

მისი მასშტაბით დამოძღვებისას, განხორციელებული ექსპერიმენტული კვლევების შედეგად მიღებული უგანზომილებო გრადიენტ-ფაქტორის კოეფიციენტის სა-

შუალო მნიშვნელობების ცვალებადობა გვირავის მოდელის დახრის კუთხის მიხედვით.

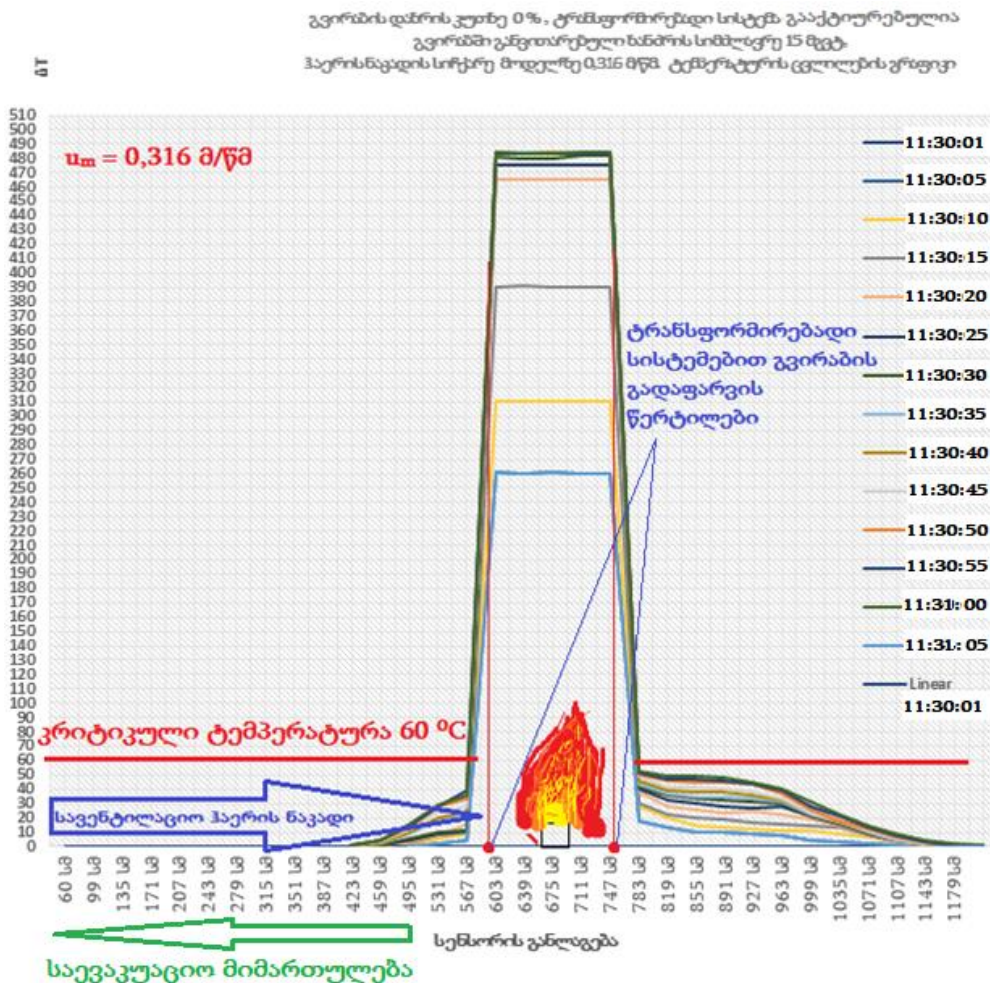
ექსპერიმენტის ერთერთი შედეგი მოცემულია ნახ. 11 - ზე სადაც, წარმოდგენილია ჰორიზონტალური გვირავის მოდელზე წვის პროდუქტების ტემპერატურული ნაზარდის  $\Delta T$ - ცვალებადობა, როდესაც ჰორიზონტალურ გვირავის მოდელზე განვითარებული ხანძრის სიმძლავრეა 1,49 კვტ (ნატურალური ზომების გვირავში 15 მგვტ შესაბამისი), ამასთან მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემები გვირავის ერთიან სახანძრო უსაფრთხოების სისტემაში არ არის ინტეგრირებული, სავენტილაციო ჰაერის ნაკადის სიჩქარე  $u_m = 0,316$  მ/წმ (ნატურალური ზომების გვირავში 2,0 მ/წმ).



**ნახაზი 11. ჰორიზონტალური გვირავის მოდელში განვითარებული შესაბამისი სიმძლავრის ხანძრის განვითარების ექსპერიმენტული კვლევის პროცესში, თერმოწყვილებიდან მიღებული ციფრული მონაცემების, DT-85 „დატათეიქერის“ მიერ დამუშავების შედეგად მიღებული წვის პროდუქტების ტემპერატურის ცვალებადობის მრუდები.**

ამ გრაფიკიდან ჩანს, რომ როდესაც სავენტილაციო ჰაერის ნაკადის სიჩქარე  $u_m = 0,316$  მ/წმ ( $u_n = 2,0$  მ/წმ) აღმატება მოცემული გეომეტრიის ჰორიზონტალური გვირავის მოდელისათვის სავენტილაციო ჰაერის ნაკადის კრიტიკულ სიჩქარეს  $u_c = 0,242$  მ/წმ ( $u_n = 1.53$  მ/წმ) უკუდინებას ადგილი არ აქვს, ამასთან, გვირავში ჰაერის ტემპერატურის მაქსიმალური ნაზარდი არის 98,8 °C და არ მდებარეობს ჰიფსომეტრულად უშუალოდ ხანძრის კერის თავზე, ის გადაწეულია საევაკუაციო ჰაერის ნა-

კადის მიმართულებით 72 სმ მანძილით (ნატურალური ზომების გვირაბში 28,8 მ-ით). ხანძრის კერიდან საევაკუაციო მიმართულებით 60 °C კრიტიკული ტემპერატურა ვრცელდება 658 სმ (18 სმ-ით) ნიშნულამდე, რაც ნატურალური ზომების გვირაბში 7,2 მ-ის ტოლფასია, ხოლო ხანძრის კერიდან სავენტილაციო ჰაერის ნაკადის მიმართულებით 60 °C კრიტიკული ტემპერატურა ვრცელდება 216 სმ (ნატურალური ზომების გვირაბში 84,5 მ) მანძილზე.



ნახაზი 12. ჰორიზონტალური გვირაბის მოდელში განვითარებული 1,49 კვტ სიმძლავრის ხანძრის ექსპერიმენტული კვლევის პროცესში, თერმოწყვილებიდან მიღებული ციფრული მონაცემების, DT-85 „დატათიქერის“ მიერ დამუშავების შედეგად მიღებული წვის პროდუქტების ტემპერატურის ცვალებადობის მრუდები. გვირაბის ერთიან სახანძრო უსაფრთხოების სისტემაში ინტეგრირებულია „მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემები“ და იმყოფებიან აქტიურ მდგომარეობაში

ნახ. 25 -ზე წარმოდგენილია ჰორიზონტალური გვირაბის მოდელში ნამწვი პროდუქტების ტემპერატურის ნაზარდის  $\Delta T$ - ცვალებადობა, როდესაც ჰორიზონტალურ გვირაბის მოდელში განვითარებული ხანძრის სიმძლავრე არის 1,49 კვტ



(ნატურალური ზომების გვირაბში 15 მგვტ შესაბამისი). ამასთან ერთად, გვირაბის ერთიანი სახანძრო უსაფრთხოების მართვის სისტემაში ინტეგრირებულია და გააქტიურებულია მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემები, შესაბამისად ხანძრის კერიდან გვირაბის მოდელის ორივე მხარეზე 0,75 მ (ნატურალური ზომების გვირაბში 30 მ) მანძილზე გადაფარულია გვირაბის განივი კვეთის 50%, სავენტილაციო ჰაერის ნაკადის სიჩქარე  $u_m = 0,316$  მ/წმ (ნატურალური ზომების გვირაბში 2,0 მ/წმ), ნახ. 25-ზე წარმოდგენილი გრაფიკიდან ნათლად ჩანს, რომ ტრანსფორმირებადი სისტემებით ხანძრის კერის 50%-იანი გადაფარვისას შიგა სივრცეში ჰაერის ტემპერატურის ნაზარდი  $\Delta T = 485$  °C, 60 °C კრიტიკული ტემპერატურის ნიშნულზე შედარებით მაღალი ტემპერატურის გავრცელება გააქტიურებული მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემებით გვირაბის განივკვეთის გადაფარვის არედან გვირაბის დანარჩენ სივრცეში არ აღინიშნება.

### დასკვნები

1. ჰორიზონტალურ საავტომობილო გვირაბებში, რომლებიც აღჭურვილი არიან ჰაერის ნახევრად განივი მიწოდებისა და განაწილების სავენტილაციო სისტემებით, 100 მგვტ სიმძლავრის ხანძრის განვითარების შემთხვევაში, ხანძრის კერიდან გვირაბის ორივე მხარეზე სახანძრო და სავენტილაციო ფანჯრებიდან 4 მ - ის დაშორებით მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემების საშუალებით გვირაბის სავალი ნაწილის განივი კვეთის 50% - იანი გადაფარვით, ამასთან ერთად, სახანძრო ფანჯრებში ჰაერის დამატებით ჰაერის ინტენსიური გაწოვით შესაძლებელია შევადგინოთ წვის პროდუქტების (დამაზიანებელი ფაქტორების) უკონტროლო გავრცელება გვირაბის სავალი ნაწილის გასწვრივ სავაკუაციო მიმართულებით.

აღსანიშნავია, რომ გააქტიურებული ტრანსფორმირებადი სისტემებით შემოსაზღვრული ხანძრის ლოკალიზაციის უზნის ფარგლებში ხდება ყველა დამაზიანებელი ფაქტორის ზღვრული მაჩვენებლების სწრაფი ზრდა, რაც მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული გვირაბის მომსახურე ოპერატორის მიერ უბედურების ზონაში მოქცეული ადამიანების ევაკუაციასთან დაკავშირებული გადაწყვეტილებების მიღების დროს.

2. 3 % და მეტი დახრილობის მქონე საავტომობილო გვირაბებში, რომლებიც აღჭურვილნი არიან ჰაერის გრძივი მიწოდების სავენტილაციო სისტემებით, ინიცირებული და განვითარებული, 5 – 10 – 30 – 50 მგვტ სიმძლავრის ხანძრების რიცხვითი

მოდელირების შედეგად დადგინდა, რომ სავენტილაციო ჰაერის ნაკადის დადგენილ მიმართულებაზე, კვამლისა და სხვა წვის პროდუქტების ნარევის სიმკვრივე მცირდება, რაც გამოწვეულია ხანძრის კერაზე ფორმირებული საკმაოდ მაღალი ტემპერატურით, რომელიც 30 მგვტ სიმძლავრის ხანძრის შემთხვევაში 610 °C უტოლდება. მაშასადამე, ასეთი ხანძრის პირობებში ფორმირებული წნევა, დადგენილი კლასიფიკაციის მეთოდის მიხედვით, უტოლდება 71 კპა, რაც თითქმის ორჯერ აღემატება მოდელირებისას გამოყენებული სავენტილაციო დანადგარების მიერ შექმნილ წნევას, შედეგად შეიძლება ითქვას, რომ 3% და მეტი დახრილობის გვირაბებში, გრძივი ვენტილაციის დადებითი ნაკადების შემთხვევაში ძლიერი ხანძრების განვითარებისას, სავენტილაციო დანადგარების მიერ შექმნილი წნევის ძალები ვეღარ ახდენენ გავლენას ხანძრის შედეგად ფორმირებულ პროცესებზე, რაც საბოლოოდ იწვევს სავენტილაციო სისტემის გადაყრავებას, ეს უკანასკნელი კი გამოიხატება გვირაბის ორივე პორტალიდან კვამლის ინტენსიური გამოდინებით.

3. ჰორიზონტალურ საავტომობილო გვირაბებში, სადაც სხვადასხვა მიზეზებით ინიცირებული და განვითარებული 5 -10 -15 – 30 - 50 მგვტ სიმძლავრის ხანძრის ინიცირებისას გარკვეული მიზეზების გამო, მწყობრიდან გამოვიდა ჰაერის გრძივი მიწოდებისა და განაწილების სავენტილაციო სისტემა(დადგა ყველაზე გაუარესებული ვითარება), რიცხვითი ექსპერიმენტის შედეგად დადგინდა, რომ, როდესაც მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემით გადაფარულია 50 მგვტ სიმძლავრის ხანძრის კერის ორივე მხარეზე 50 მ-ით დაშორებით გვირაბის განივი კვეთის 50%, 60 0C კრიტიკული ტემპერატურის იზოთერმა ხანძრის ინიცირებიდან 180 წმ-ის შემდეგ, ვრცელდება გვირაბის ორივე მხარეს 75 მ მანძილზე, ამ დროს გავრცელების სიმაღლეა 2,5 მ (ადამიანის სიმაღლეზე უფრო მაღლა), რაც მნიშვნელოვანი შედეგია. აღნიშნული სისტემის არ გამოყენების შემთხვევაში კი იზოთერმის გავრცელების სიმაღლე 0,5 მ-ია, ეს, კი ადამიანის სუნთქვისათვის საშიში პირობაა.

4. ჰორიზონტალურ და 1<sup>0</sup>; 2<sup>0</sup>; 3<sup>0</sup>; 4<sup>0</sup>....6<sup>0</sup> დახრილ საავტომობილო გვირაბის 1 : 40 მასშტაბის ფიზიკურ მოდელზე, სადაც ფუნქციონირებს ჰაერის გრძივი მიწოდებისა და განაწილების სავენტილაციო სისტემა 5 – 10 – 15 მგვტ სიმძლავრის ინიცირებული და განვითარებული ხანძრების დამოდებებისას განხორციელებული ექსპერიმენტის შედეგად დადგინდა:

ა) შესაბამისი გეომეტრიის საავტომობილო გვირაბში, 15 მგვტ სიმძლავრის განვითარებული ხანძრის დამოძღვებისას, როდესაც გვირაბის დახრის კუთხე შეადგენს  $5,7^\circ$ , ანუ  $10\%$ , სავენტილაციო ჰაერის ნაკადის კრიტიკული სიჩქარე არ აღემატება  $u_c = 2,3$  მ/წმ, გვირაბის  $0^\circ$  დახრილობის შემთხვევაში კი  $u_c = 1,53$  მ/წმ.

ბ) ნატურალური ზომების გვირაბში განვითარებული 5 – 10 - 15 მგვტ სიმძლავრის ხანძრებისას, როდესაც გვირაბის დახრილობა იცვლება  $1^\circ$ - $6^\circ$ -ის დიაპაზონში უგან-ზომილებო გრადიენტ-ფაქტორის კოეფიციენტის ცვალებადობა წრფივია და განისაზღვრება 1,24 - 1,44-ის ფარგლებით.

გ) ჰორიზონტალურ საავტომობილო გვირაბებში, 5 – 10 - 15 მგვტ სიმძლავრის ხანძრების განვითარებისას, იმ შემთხვევაშიც, კი როდესაც არ არის დაცული სავენტილაციო ჰაერის ნაკადის კრიტიკული სიჩქარის პირობა ნამწვი პროდუქტების უკუდინების გამოსარიცხად, მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემების გამოყენება გამორიცხავს ხანძრის დამაზიანებელი ფაქტორების გავრცელებას საევაკუაციო მიმართულებით, ხოლო იმ შემთხვევაში როდესაც სავენტილაციო ჰაერის ნაკადის სიჩქარე აღემატება ნაკადის კრიტიკული სიჩქარის მნიშვნელობას და მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემებით ხანძრის კერიდან ორივე მხარეს 30 მ -ს დაშორებით გადაფარულია გვირაბის პერიმეტრის  $50\%$  ზედა ნაწილში, გვირაბის ორივე მხარეზე ნამწვი პროდუქტების გავრცელება არ აღინიშნება.

შედეგად შეიძლება ითქვას, რომ მოქნილი ტრანსფორმირებადი სისტემების დანერგვა გვირაბის სახანძრო უსაფრთხოების ერთიან სისტემაში, როგორც პასიური უსაფრთხოების სისტემა, ხანძრის პირობებში გააქტიურებისას მნიშვნელოვნად შეზღუდავს გვირაბში კვამლისა და ნამწვი პროდუქტების გავრცელებას, რაც დადებითად აისახება საევაკუაციო დროის გახანგრძლივებაზე, ეს კი მეტი სიცოცხლის გადარჩენის ტოლფასია.

#### აპრობაცია

სადისერტაციო ნაშრომში წარმოდგენილი ძირითადი საკითხები მოხსენდა საერთაშორისო სიმპოზიუმსა და კონფერენციებს, გაშუქებულია სამეცნიერო სტატიებში, განხილულ იქნა კოლოკვიუმების და სადისერტაციო ნაშრომის წინასწარ დაცვაზე.

#### პუბლიკაცია

1. ცანავა, დ. (2023). მოდელურ გვირაბში ხანძრის განვითარების სცენარების ანალიზი სიცოცხლის გადარჩენის მიზნით რეალურ მიწისქვეშა სივრცეში. ქართველი მეცნიერები, 5(1)., გვ. 289-302. doi: <https://doi.org/10.52340/gs.2023.05.01.25>

2. ლანჩავა, ო., მახარაძე, ლ., ნოზაძე, გ., ჯანგიძე, მ., ჯავახიშვილი, გ., კუნჭულია, თ., ხოკერაშვილი, ზ., არუდაშვილი, ნ., ცანავა, დ., სებისკვერაძე, ს. (2022.). სიცოცხლის გადარჩენა საავტომობილო გვირაბში ხანძრის პროდუქტების გავრცელების შემზღუდავი ტრანსფორმირებადი ელემენტების გამოყენებით. ქართველი მეცნიერები. 4(2)., გვ. 1-29. doi:<https://doi.org/10.52340/gs.2022.04.02.01>
3. Lanchava, O., Nozadze, G., Tsanava, D. (2022). FDS Modelling Results for 50-100 MW Fires in Terms of Semi-Transverse Ventilation in Road Tunnels. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences.T.16, N4., pp. 115-122.
4. Lanchava, O., Kunchulia, T., Khokerashvili, Z., Arudashvili, N., Tsanava, D. (2022). Determination of Non-Stationary Heat and Mass Transfer Coefficients in Tunnels. BULLETIN OF THE GEORGIAN NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, vol. 16, no. 2., pp. 33-39. Retrieved from <http://science.org.ge/bnas/vol-16-2.html>
5. Ilias, N., Lanchava, O., Nozadze, G., & Tsanava, D. (2021). Study of propagation of harmful factors of fire in short road tunnels with different inclinations. 9th edition of the International Multidisciplinary Symposium "UNIVERSITARIA SIMPRO 2021". (p. 9). MATEC Web of Conferences 342, 03023. Doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202134203023>
6. Lanchava, O., Ilias, N., Radu, S.M., Nozadze, G., Tsanava, D. (2021). Analysis of the use of transformable elements in intelligent tunnel ventilation systems. 10th International Symposium on Occupational Health and Safety (SESAM 2021). Petrosani, Romania: MATEC Web of Conferences 354, 00020. Doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202235400020>

## **ABSTRACT**

### **Theoretical and experimental study of the use of transformable elements for the development of safe ventilation parameters in tunnels**

The paper considers the nature of the damaging factors formed during the fires of different strengths, initiated and developed in horizontal and variously inclined road tunnels, and their relationship with tunnel shape, geometry, inclination, critical velocity of air flow, as well as backlayering distance of smoke and other combustion products in the tunnel. The value of the duration of evacuation time necessary to save the lives of people in the danger zone during a fire in a tunnel is calculated; a significant emphasis is placed on the importance of the thermophysical calculation of tunnels to ensure their safe operation.

In order to improve the fire safety management systems and rescue the lives of people in extreme conditions, flexible transformable systems are proposed, which during a fire in a tunnel, at the expense of the increased aerodynamic resistance, will prevent the spread of harmful combustion products on the way of evacuation of people. The efficiency of the above device is studied by numerical and physical modeling for tunnels with different gradients for different fire strengths and scenarios.

A numerical modeling method was used to study the correlation between the backlayering distance of the carbon monoxide propagation and the air flow velocity in the ventilation and fire ducts and the efficiency of flexible transformable systems for the corresponding boundary conditions in case of a 100 MW fire in a horizontal tunnel equipped with a semi-transverse air ventilation system. The results show that the use of

transformable systems gives at least 10% of the effect in reducing the backlayering distance of propagation of smoke and other combustion products.

The nature of the propagation of damaging factors in a horizontal tunnel equipped with a longitudinal air distribution ventilation system in case of 5, 10, 30 and 50 MW fires when the tunnel ventilation system fails and transformable systems are activated is assessed and compared to the tunnel scenario without transformable systems. The results of the numerical simulations show that when 50% of the tunnel cross section is closed by a transformable system, significant positive results in limiting the spread of combustion products and saving human lives can be obtained.

The propagation of combustion products from fires of different strengths of 5, 10, 15, 20, 30, 50 MW is considered in tunnels up to 400 m long, with tunnel inclinations on models of 0, 1, 3, 5, 7, 9% and tunnel cross-sectional area of 42.5 m<sup>2</sup>. The dynamic change of the damaging factors such as carbon monoxide and temperature due to the “chimney effect” is demonstrated. Modeling is performed with FDS software using a finite-volume method. The time of the simulated process is 180 s. The minimum finite volume cell size is 0.25 x 0.25 x 0.25 m. The fire seat is located in the central part of the tunnel. The obtained results are given in the plane of the central longitudinal section of the tunnel. The boundary condition is given as an increase in dynamic pressure caused by the height difference between the portals in normal conditions.

The variation of the critical velocity depending on the tunnel slope, characteristic value of this variation - the gradient coefficient, and the pattern of smoke propagation are studied. The said values are observed on the tunnel model for varying air temperatures. Measurements are made with K-type thermocouples with open and closed sensors. The maximum possible temperature measured is 800°C. The thermocouples are placed in holes made in the ceiling of the model tunnel. The distance between the holes is 5 and 10 cm, which corresponds to the natural tunnel length of 5 and 10 m. The fire is simulated by natural gas. Simultaneous readings from thermocouples, as well as air and gas flow meters, primary analysis and data digitalization are done with datataker DT85.

The present paper proposes a simple flexible device that will allow a section of the tunnel to be completely or partially closed off, divide the tunnel into relatively short sections and simultaneously completely or partially isolate the seat of fire within the time interval sufficient to save lives. According to a special directive, this time interval is the first 10 minutes from the onset of fire. So, the proposed device will increase the aerodynamic resistance of the tunnel, prevent the spread of combustion products together with the ventilation flow and is a part of the ventilation system. We would like to emphasize that the prerogative of the proposed device is to help save lives. However, if such a device is installed in the tunnel, both the tunnel staff and the lifeguards will definitely have more opportunities to control the ventilation flow and the toxic combustion products moving together with it. The above-mentioned device may be installed every 200 to 500 m and somehow aligned with the tunnel emergency exits, which must be provided at specified locations. Or, it can be installed near the emergency stations at 150 m intervals for new tunnels and 250 m intervals for old tunnels, as provided for in the new tunnel safety regulations. In this way, the partitioning system will be placed in a tunnel in sections defined by the relevant standards and it must be transformable depending on the geometry of a tunnel cross-section.