

სიცოცხლის გადარჩენა საავტომობილო გვირაბში ხანძრის პროდუქტების გავრცელების შემზღუდავი ტრანსფორმირებადი ელემენტების გამოყენებით

ომარ ლანჩავა ¹, ლეონ მახარაძე ², გიორგი ნოზაძე ², მარად ჯანგიძე ², გიორგი ჯავახიშვილი ², თეიმურაზ კუნჭულია ¹, ზაზა ხოკერაშვილი ¹, ნინო არუდაშვილი ¹, დავით ცანავა ¹, სამსონ სებისკვერაძე ³

¹ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, კოსტავას 77

² გ.წულუკიძის სამთო ინსტიტუტი, თბილისი, მინდელის 7

³ შპს „ლოჯინი“, თბილისი, პეკინის 17

აბსტრაქტი

ნაშრომში განხილულია საავტომობილო გვირაბებში ხანძრის განვითარების სხვადასხვა სცენარები. შესწავლილია ნამწვი პროდუქტების გავრცელების დინამიკა ხანძრის სიმძლავრის, გვირაბის გეომეტრიის, განლაგებისა და სავენტილაციო ნაკადის აეროდინამიკის მხედველობაში მიღებით. ნაჩვენებია ძლიერი ხანძრის გავლენა სავენტილაციო სისტემის მდგრადობაზე და მის გამართულ ფუნქციონირებაზე. განხილულია სხვადასხვა ტიპის რიცხვითი მოდელები FDS პროგრამულ გარემოში. თეორიულად და რიცხვითი ექსპერიმენტებით დადგენილია, რომ ძლიერ ხანძარს გვირაბებში შეუძლია აღძრას საგვირაბო ვენტილატორების სტატიკურ წნევაზე უფრო დიდი დინამიკური წნევა. ამ უკანასკნელს შეუძლია სავენტილაციო ნაკადების მოძრაობის მიმართულების შეცვლა 3% და უფრო მეტი დახრილობის გვირაბებში მაშინ, როცა ხანძრის კერა, ჰაერმიწოდებელ პორტალთან შედარებით, განლაგებულია ჰიფსომეტრიულად დაბლა, რაც მკვეთრად აუარესებს უბედურების ზონაში მოხვედრილი ადამიანების თვითევაკუაციის შესაძლებლობებს. ნაჩვენებია, რომ ხანძრის შემთხვევაში სიცოცხლის გადარჩენის ერთ-ერთი საიმედო გზაა ნამწვი აირების გავრცელების შემზღუდავი ევაკუაციის პერიოდის გახანგრძლივების მიზნით. შემოთავაზებულია

ტრანსფორმირებადი მოქნილი სისტემა სიცოცხლის გადასარჩენად, რომელიც გვირახების აეროდინამიკური წინაღობის ხელოვნურად გაზრდის შედეგად წვის მავნე პროდუქტების გავრცელებას შეაფერხებს ადამიანების ევაკუაციის გზაზე. ჰორიზონტალურ და დახრილ გვირახებში ხანძრის განვითარების სცენარების გათვალისწინებით, შეფასებულია ხანძრის დამაზიანებელი ფაქტორების გავრცელების დინამიკა მაშინ, როცა აღარ მოქმედებს ვენტილაცია და გამოსავალი არის მხოლოდ მოქნილი სისტემის გამოყენება. მოდელირების შედეგები ცხადყოფენ, რომ მოქნილი სისტემის მეშვეობით გვირახის განივი კვეთის 50 %-ით გადაფარვის შემთხვევაში შესაძლებელია მნიშვნელოვანი დადებითი შედეგების მიღება წვის პროდუქტების გავრცელების შეზღუდვისა და სიცოცხლის გადარჩენის საქმეში. შემოთავაზებული სისტემის გამოყენება ამცირებს ხანძრის სახიფათო ფაქტორების გავრცელების ინტენსიურობას და ცალსახად დაეხმარება უბედურების ზონაში მოყოლილ ადამიანებს. შესრულებული ანალიზი მკაფიოდ უჩვენებს მის საჭიროებას და იმასაც, რომ მომხდარი ხანძრების ყოველმხრივი შესწავლა და განზოგადება გამოდგება მათი თავიდან აცილებისა და მავნე გავლენის შესამცირებელი მომავალი ღონისძიებების ადეკვატური დაგეგმვისა და განხორციელებისათვის. აღნიშნული დღის წესრიგში აყენებს ხანძრის შემთხვევათა გულმოდგინე დაწვრილებითი აღწერას, ანალიზსა და მოქმედების ცხადი ალგორითმის დამუშავების აუცილებლობას და შედეგების გავრცელებას მაშველებზე, გვირახის მომსახურე პერსონალსა და მთელ საზოგადოებაზე.

საკვანძო სიტყვები: აეროდინამიკური წინაღობა, ევაკუაცია, მოქნილი ელემენტი, სიცოცხლის გადარჩენა, ხანძრის განვითარება მიწისქვეშ.

1. შესავალი

მსოფლიოს გვირახებში მომხდარი კატასტროფული ხანძრების შემდეგ, ევროკავშირმა დიდი ყურადღება გაამახვილა ტრანსევროპულ ქსელზე (TERN), რომლის ფარგლებშიც არსებული, მშენებარე და დაპროექტების სტადიაზე მყოფი გვირახების უსაფრთხოება პირველი პრიორიტეტია. TERN-ის გვირახებისათვის, რომელთა სიგრძე აღემატება 500 მ, ევროპის პარლამენტმა და ევროპის საბჭომ მიიღეს დირექტივა (COMMISSION DIRECTIVE 2004/102/EC, 2004) უსაფრთხოების მინიმალური დონის შესახებ ტრანს-ევროპული საავტომობილო ქსელისათვის. უფრო მეტიც, აღნიშნული დოკუმენტის პრეამბულის 25-ე პუნქტი პირდაპირ მოუწოდებს ევროკავშირის წევრ სახელმწიფოებს, რომ მათ წახალისონ დაწესებული

მოთხოვნების რეალიზაცია ისეთ გვირაბებშიდაც, რომლებიც არ შედიან TERN-ის ფარგლებში. დირექტივის პრეამბულის მე-8 პუნქტის მიხედვით დიდი ხნის წინ ექსპლუატაციაში შესული გვირაბების უსაფრთხოების დონე უნდა ამოიწიოს. მე-18 პუნქტის თანახმად კი არსებული გვირაბების რემონტის ფასი ფართო ზღვრებში იცვლება ქვეყნებისა და განსაკუთრებით, გეოგრაფიული მიზეზების გამო. ამიტომ მოდერნიზაცია უნდა მოხდეს ეტაპობრივად, გათვლილია ათწლეულებზე, ხოლო საექსპერტო შეფასებით ევროკავშირის ქვეყნებში სახანძრო უსაფრთხოების უზრუნველყოფა იცვლება 2.6-6.3 მლრდ ევროს ფარგლებში. ქვედა ზღვარი შეესაბამება ვენტილაციის ტექნოლოგიის მოდერნიზაციას.

გვირაბის ხანძრების საშიშროება ძირითადად განპირობებულია ცხელი და მომწამვლელი კვამლის გავრცელებით მიწისქვეშა სივრცეში, რომელიც აგრეთვე თითქმის მთლიანად ზღუდავს ხილვადობას (Ilias et al., 2017). მიწისქვეშ ხანძრის განვითარების თავისებურებები მრავალი ავტორის ყურადღების საგანი გახდა, დაგროვილია საკმარისი გამოცდილება და შესაძლებელია კვალიფიციურად გადაწყდეს ხანძართან დაკავშირებული მეტად მნიშვნელოვანი საკითხები: მიწისქვეშ კვამლის გავრცელების სცენარები (Vantelon et al., 1991; Deberteix et al., 2001; Vauquelin and Telle, 2005; Chow et al., 2015; Li et al., 2018; Ingason and Li, 2011), გვირაბებში ტემპერატურის განაწილებისა და გავრცელების საკითხები (Lei et al., 2021; Lanchava et al., 2019 A; Lanchava and Javakhishvili, 2021), ხანძრის განვითარების დინამიკა და სცენარები მიწისქვეშ (Deberteix et al., 2001; Ilias et al., 2017; Lanchava et al., 2017; Li and Ingason, 2018), კვამლისა და ტოქსიკური წვის პროდუქტების გავრცელება სავენტილაციო ნაკადის მოძრაობის საპირისპირო მიმართულებით (Vauquelin, 2005; Lanchava et al., 2017; Li and Ingason, 2017), კრიტიკული სიჩქარის თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევა (Yi et al., 2014; Weng et al., 2016; Li et al., 2010; Li and Ingason, 2017), ხანძრის გავლენა სავენტილაციო სისტემაზე (Lanchava and Javakhishvili, 2021).

სტატისტიკის მიხედვით ცალკეულ გვირაბში სერიოზული ხანძრის მოხდენის შესაძლებლობა ართუ ისე მაღალია, მაგრამ გვირაბების რაოდენობის მატება და მოძრაობის ინტენსიურობის ზრდა იწვევს ხანძრის გაჩენის რისკის მომატებას. ძლიერი ხანძარი კი შეზღუდულ მიწისქვეშა სივრცეში აუცილებლად გამოიწვევს კატასტროფულ შედეგებს.

ასეთი მაგალითებია ხანძარი მონბლანის გვირაბში (საფრანგეთი/იტალია) 1999 წლის 24 მარტს, რომელმაც იმსხვერპლა 39 ადამიანი; ხანძარი ავსტრიის გვირაბში ტაუერნი, რომელმაც იმსხვერპლა 12 ადამიანი (8 ავარიით მიღებული ტრავმებით, 4 ტოქსიკური აირებით სუნთქვის შედეგად); ხანძარი ფუნკულორის გვირაბში (ავსტრია) 2000 წლის 11 ნოემბერს, რომლის შედეგად ტოქსიკური აირებით სუნთქვის შედეგად დაიღუპა 155 ადამიანი (Bird and Carvel, 2005); ხანძარი გოტარდის გვირაბში (შვეიცარია) 2001 წლის 24 ოქტომბერს, რომლის შედეგად დაიღუპა 11 ადამიანი; ბოროტი განზრახვით გაჩენილი ხანძარი მეტროს სადგურში დაეგუ (სამხრეთ კორეა), რომელმაც იმსხვერპლა 198 ადამიანი, დამატებით 146 ადამიანი მოიწამლა ტოქსიკური

აირებით და კვამლით (Li and Ingason, 2018); ხანძარი იანჭოუს გვირაბში (ჩინეთი) 2014 წლის 1 მარტს, რომლის დროსაც დაიღუპა 40 ადამიანი, 12 მოიწამლა, განადგურდა 42 ავტომობილი (Wan et al. , 2019).

პირველივე ტრაგიკული ხანძრების შემდეგ, გაეროს ეკონომიკური და სოციალური საბჭოს, ევროპული კომისიის, შიდა ტრანსპორტის კომიტეტმა ჩამოაყალიბა ექსპერტთა ჯგუფები, რომლებმაც დაამუშავეს უსაფრთხოების რეკომენდაციები, დაფინანსდა მთელი რიგი სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები, რომლებიც მიძღვნილი იყო გვირაბების უსაფრთხო ექსპლუატაციის სხვადასხვა ასპექტებისადმი. ამის შემდეგ ევროპულმა კომისიამ მხარი დაუჭირა სპეციალური მრავალპროფილური ჯგუფის შექმნას, რომლის მუშაობის შედეგები პერიოდულად ქვეყნდება და მნიშვნელოვან საპროგრამო დოკუმენტებს წარმოადგენენ გვირაბების უსაფრთხო ექსპლუატაციის უზრუნველყოფის მეტად მნიშვნელოვან საკმეში (TRANS/AC 7/9, 2001; TRANS/AC 7/9, 2002; COMMISSION DIRECTIVE 2004/102/EC, 2004).

აღნიშნულ მრავალპროფილურ ჯგუფში სამუშაოდ მიწვეული იყვნენ ევროპის ეკონომიკური კომისიის ყველა წევრი-ქვეყანა, აგრეთვე სპეციალური ორგანიზაციები, რომელთა შორის აღსანიშნავია: მსოფლიოს მეგზვეთა საზოგადოება (World Road Association), რომელიც უფრო ცნობილია ძველი სახელით „პიარკი“ (PIARC - Permanent International Association of Road Congresses); საერთაშორისო მეგვირაბეთა ასოციაცია (ITA - International Tunnelling Association); საერთაშორისო საგზაო ფედერაცია (IRF - International Road Federation); საერთაშორისო საგზაო-სატრანსპორტო კავშირი (IRU - International Road Transport Union). ამ ჯგუფში უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფი ოთხი ძირითადი ფაქტორის მიხედვით დამუშავდა რეკომენდაციები. ეს ფაქტორებია: საგზაო მოძრაობის მონაწილეები (სულ 10 რეკომენდაცია, ნუმერაცია 1.01 - 1.10); ექსპლუატაცია (სულ 16 რეკომენდაცია, ნუმერაცია 2.01- 2.16); ინფრასტრუქტურა (სულ 11 რეკომენდაცია, ნუმერაცია 3.01-3.11); სატრანსპორტო საშუალებები (სულ 6 რეკომენდაცია, ნუმერაცია 6.01-6.06). აღნიშნული რეკომენდაციები აქტუალურია დღევანდელ პირობებშიც ყველა ორგანიზაციისათვის რომლებიც აპროექტებენ, ეწევიან მშენებლობას ან ექსპლუატაციას უწევენ გვირაბებს. წინამდებარე ნაშრომში განხილული საკითხები შეეხება რეკომენდაციებს 2.05; 2.14; 3.02; 3.03; 3.06; 3.07; 3.08.

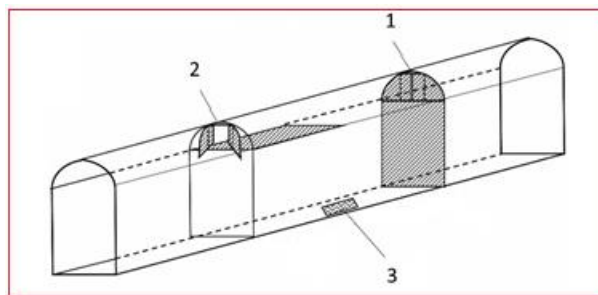
2. ტრანსფორმირებადი სისტემა

წინამდებარე ნაშრომში შემოთავაზებულია მარტივი მოქნილი მოწყობილობა, რომელიც მთლიანად ან ნაწილობრივ გადაკეტავს გვირაბის განივკვეთს, დაყოფს გვირაბს შედარებით მოკლე სიგრძის მონაკვეთებად, პარალელურად მოახდენს ხანძრის კერის სრულ ან ნაწილობრივ იზოლირებას დროის იმ შუალედში, რაც საკმარისი უნდა აღმოჩნდეს სიცოცხლის

გადარჩენისათვის. სპეციალური დირექტივის შესაბამისად, მითითებული დროის შუალედი არის პირველი 10 წთ ხანძრის დაწყებიდან (TRANS/AC 7/9, 2001). ამგვარად, შემოთავაზებული მოწყობილობა გაზრდის გვირაბის აეროდინამიკურ წინაღობას, შეაფერხებს წვის პროდუქტების გავრცელებას სავენტილაციო ნაკადთან ერთად და არის სავენტილაციო ტექნოლოგიის ნაწილი.

ხაზგასმით აღვნიშნავთ, რომ შემოთავაზებული მოწყობილობის პრეროგატივა არის სიცოცხლის გადარჩენაში ხელშეწყობა. თუმცა გვირაბში ანალოგიური მოწყობილობის დამონტაჟების შემთხვევაში როგორც გვირაბის მომსახურე პერსონალს, ისე მაშველებს სავენტილაციო ნაკადისა და მასთან ერთად მოძრავი წვის ტოქსიკური პროდუქტების მართვის ერთმნიშვნელოვნად უფრო მეტი საშუალება ექნებათ. აღნიშნული მოწყობილობა შესაძლებელია დამონტაჟდეს ყოველ 200-500 მ მანძილზე და რაღაცნაირად შეუთავსდეს საავარიო გასასვლელებს, რომლებიც აღნიშნულ ადგილებში უნდა მოეწყოს მითითებული დოკუმენტის (COMMISSION DIRECTIVE 2004/102/EC, 2004) დამატება I-ის 2.3.8 პუნქტის თანახმად. ან შესაძლებელია დამონტაჟდეს საავარიო სადგურებთან ყოველ 150 მ მანძილზე ახალი გვირაბებისათვის და 250 მ მანძილზე ძველი გვირაბებისათვის, რასაც ითვალისწინებს მოცემული დოკუმენტის პუნქტი 2.10.3.

ამგვარად, გვირაბის დამყოფი შემოთავაზებული სისტემის განლაგება გვირაბში მოხდება სათანადო სტანდარტით განსაზღვრულ უბნებზე და გვირაბის განივი კვეთის გეომეტრიის შესაბამისად მას უნდა ექნეს ტრანსფორმირების შესაძლებლობა. სხვანაირად მას შესაძლებელია აგრეთვე ვუწოდოთ ტრანსფორმირებადი სისტემა. ფიგ. 1-ზე წარმოდგენილია გვირაბში დამონტაჟებული მოქნილი დამყოფი ტრანსფორმირებადი სისტემა. აღნიშნული მოწყობილობა უფრო დაწვრილებით არის აღწერილი საქართველოს პატენტში (Lanchava et al. , 2021).



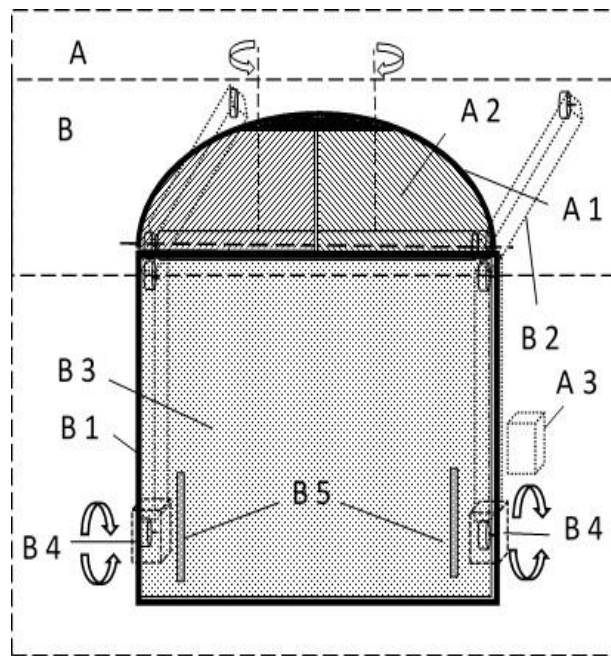
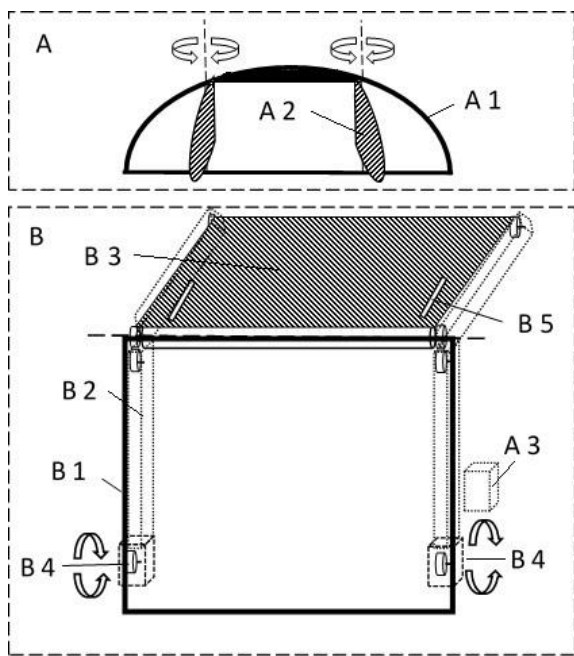
ფიგ. 1. გვირაბში დამონტაჟებული მოქნილი დამყოფი ტრანსფორმირებადი სისტემა:

1 - გაშლილ (მოქმედ) მდგომარეობაში; 2 - აკეცილ მდგომარეობაში; 3 – ხანძრის ლოკალიზაციის უბანი

შემოთავაზებული მოწყობილობა შედგება ორი სექციისაგან - A და B. სისტემა აკეცილი სახით წარმოდგენილია ფიგ. 2-ზე, ხოლო გაშლილი (მოქმედი) სახით - ფიგ. 3-ზე. სექცია A შედგება - გვირაბის ჭერის ფორმის შესაბამისი თაღური (ან სხვა) ფორმის ჩარჩოსაგან A1, სადაც განლაგებულია ცეცხლგამძლე (700 °C – მდე მედეგი ბაზალტის ან სხვა უფრო

ტემპერატურამდეგი მასალის) A2 ფირფიტებით დამზადებული ზღუდარები, რომელთაც სათანადო დამოუკიდებელი ჯაჭვური გადაცემის კინემატიკური სქემის გამოყენებით დამოუკიდებელ რეჟიმში შეუძლიათ A სექციის ჩარჩოთი შემოფარგლული თაღური განივი კვეთის ნაწილობრივ ან მთლიანდ გადაკეტვა და გახსნა.

სექცია B შედგება - სწორკუთხა ფორმის ჩარჩოსაგან B1, რომელიც შემოფარგლავს ტრანსპორტის მოძრაობისათვის განკუთვნილ გვირაბის სწორკუთხა განივ კვეთს ისე, რომ მუშა მდგომარეობაში სათანადო დამოუკიდებელი ჯაჭვური გადაცემის B2 კინემატიკური სქემის გამოყენებით მართკუთხა ფორმის მოქნილი ცეცხლგამძლე ფარდა B3 სრულად ან ნაწილობრივ კეტავს გვირაბის სავალი ნაწილისათვის განკუთვნილ განივკვეთს, ხოლო აკეცილ მდგომარეობაში იგი განთავსებულია ჰორიზონტალურად გვირაბის თაღური ნაწილის დასაწყისში, A სექციის ქვედა ნაწილში. ორივე სექცია შეიცავს დამოუკიდებელ მართვის პულტებს A3 და B4 (იხ. ფიგ. 2), რომლებიც განთავსებულია სექციების მახლობლად გვირაბის კედელზე და მათი ამოქმედება შესაძლებელია როგორც გვირაბის მართვის ცენტრალური პულტიდან, ისე განთავსების ადგილიდან.



ფიგ. 2. სისტემა აკეცილ მდგომარეობაში

ფიგ. 3. სისტემა მუშა მდგომარეობაში

იმის გამო, რომ აღნიშნულ მოწყობილობაზე უკვე მიღებული გვაქვს საქართველოს პატენტი, საერთაშორისო კლასიფიკაციის ინდექსით A 62 C 2/06, მხოლოდ მოკლედ აღვნიშნავთ იმ ძირითადი იდეების შესახებ, რომლებმაც განაპირობეს მოცემული მოწყობილობის დამუშავება.

პირველ რიგში ესაა ის გარემოება, რომ მშენებარე გვირაბებისათვის ზოგადად რეკომენდებულია ცეცხლგამძლე წინაღობებით მათი დაყოფა მოკლე სიგრძის მონაკვეთებად ხანძრის ლოკალიზაციის მიზნებისათვის. აგრეთვე ის, რომ „ძველ“ გვირაბებში არ არის ანალოგიური ცეცხლგამძლე წინაღობების განთავსების ადგილი, ისეთნაირად, რომ არ შემცირდეს ტრანსპორტისათვის განკუთვნილი მიწისქვეშა ძვირადღირებული სივრცე (Lanchava et al., 2009).

იდეის განვითარებაში დიდი როლი ითამაშა აგრეთვე ევროპარლამენტისა და ევროპის საბჭოს ერთობლივმა სახელმძღვანელო დოკუმენტმა (COMMISSION DIRECTIVE 2004/102/EC, 2004), რომლის პრეამბულის მე-11 პუნქტის თანახმად უსაფრთხოების ზომები ისეთი უნდა იყოს, რომ უბედურების ზონაში მოხვედრილმა ადამიანებმა შეძლონ თვითევაკუაცია. ამავე დოკუმენტის პირველი დანართის 2.3.9 პუნქტი კი მოთხოვნას აწესებს ევაკუაციის ხელშემწყობ სათანადო საშუალებებზე, კერძოდ მეტალის კარებზე, რომელიც გამოყენებული უნდა იქნეს კვამლისა და სითბოს მოხვედრის აღსაკვეთად ევაკუაციის გზაზე.

საავტომობილო გვირაბებში ხანძრების დროს უსაფრთხოების იდეის რეალიზაციასთან დაკავშირებით თანამედროვე საინჟინრო საზოგადოების მიერ შემოთავაზებულია რამოდენიმე საგამომგონებლო წინადადება, რომლებიც გვირაბის კვეთის სრულად გადაკეტვას ითვალისწინებს და რიგ შემთხვევებში გამორიცხულია გადასაკეტი ფართობის რეგულირების შესაძლებლობა (Amelchukov and Korotkov, 2007; Seitlinger, 2002; Wagner et al., 2003).

დღემდე არსებულ სამეცნიერო ლიტერატურაში არ არსებობს აღნიშნული ტექნოლოგიის რამდენადმე სრულყოფილი სამეცნიერო შეფასება. წინამდებარე სტატიის მიზანს სხვა საკითხებთან ერთად, წარმოადგენს რიცხვითი მოდელირების გზით აჩვენოს მოცემული იდეის რაციონალური რეალიზაციის ფარგლები.

მაგალითად, ჩვენს მიერ წარმოდგენილი რიცხვითი მოდელირების შედეგები აჩვენებს, რომ მეტალის კარების ან მოქნილი ცეცხლგამძლე ბარიერების გამოყენება გვირაბის კვეთის სრული გადაკეტვით მეტად სარისკოა, რადგან ძლიერი ხანძრის შემთხვევაში კერაზე არასრულ წვას ექნება ადგილი. ასეთ შემთხვევაში სავენტილაციო ჰაერში შესაძლებელია ნახშირბადის მონოოქსიდის აფეთქების მხრივ საშიში კონცენტრაციის წარმოქმნა. რიცხვითი მოდელების შედეგების მიხედვით, რომელიც ქვემოთ დაწვრილებით არის აღწერილი, შემოთავაზებული მოქნილი სისტემისათვის, უფრო ეფექტური არის გვირაბის განივი კვეთის ნაწილობრივად გადაფარვა და კონტროლის უზრუნველყოფა მისი ჭერის არეალში, რადგან წვის პროდუქტები მაღალი ტემპერატურის გამო აღმავალი მოძრაობით ხასიათდებიან.

ნაწილობრივ გადაფარვას ორმაგი ეფექტი ექნება პრაქტიკული თვალსაზრისით. პირველ რიგში შესაძლებელია მინიმუმამდე დავიყვანოთ ფეთქებადი ნარევის წარმოქმნის რისკი. ამასთან, მოწყობილობის მოქმედების ეფექტურობაზე უარყოფით გავლენას ვერ მოახდენს

ხანძრის შედეგად გვირახში მიტოვებული მანქანები, რადგან მოწყობილობის ბოლომდე გამლა გვირახის კვეთში საჭირო არაა. აგრეთვე ისიც აღსანიშნავია, რომ გვირახის კვეთის ნაწილობრივი გადაფარვა მისი აეროდინამიკური წინააღმდეგობის გაზრდას ემსახურება, ხოლო გაჩერებული ავტომობილი თვითონვე არის ასეთი წინააღმდეგობის ჰაერის მოძრაობის გზაზე. ამიტომ ხანძრის გავლენის არეში მოხვედრილ ადამიანებს უფრო მეტი დრო დარჩებათ თვითევაკუაციისათვის. ამ შემთხვევაში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება გვირახის მომსახურე პერსონალის კვალიფიკაციას, რომელმაც დისტანციურად უნდა დაამყაროს კავშირი უბედურების ზონაში მოხვედრილ ადამიანებთან და კვალიფიციურად მართოს მათი ევაკუაციის პროცესი.

2.1. ხანძრის მიერ აღძრული დინამიკური წნევის გაანგარიშება

ხანძრის მიერ აღძრული დინამიკური წნევის თეორიულად განსაზღვრა შესაძლებელია კლაპეირონის განტოლებით, რომელითაც ერთმანეთთან დაკავშირებულია აირების წნევა, კუთრი მოცულობა და ტემპერატურა შემდეგი ფორმულით

$$pv = RT \quad (1)$$

სადაც p არის წნევა; v - აირის კუთრი მოცულობა ($pv = 1$, $v = 1/\rho$), მ³/კგ; ρ - სიმკვრივე, კგ/მ³; R - აირის კუთრი მუდმივა, $R = 287$ ჯ/(კგ.კ); T - აბსოლუტური ტემპერატურა, კ.

აღსანიშნავია, რომ ენრიკო ფერმი ციტირებული ნაშრომის (Fermi, 1937) მე-16 პარაგრაფში მიუთითებს, რომ კლაპეირონის განტოლება კარგად ასახავს რეალური გაზების მდგომარეობას მაღალი ტემპერატურებისა და დაბალი წნევების პირობებში, რაც ზუსტად შეესაბამება გვირახის ხანძრებს, რადგან სტატიკური წნევის გაზრდა აქ არ ხდება. ამგვარად, კლაპეირონის განტოლებით გვირახებში ხანძრის შემთხვევისათვის შესაძლებელია სარწმუნო შედეგების მიღება. აღნიშნული კიდევ უფრო დამაჯერებელია იმის გათვალისწინებით, რომ ვენტილატორების გაანგარიშების, დამზადების, გამოცდისა და ექსპლუატაციის პირობებში გამოყენებულია ჰაერის სტანდარტული სიმკვრივე $\rho = 1.2$ კგ/მ³, რომელიც მიიღება კლაპეირონის განტოლებით ზღვის დონეზე ატმოსფერული წნევისა $p = 101.3$ კპა და 20 °C ტემპერატურისათვის, ანუ სავენტილაციო ნაკადი აპრობირებული ტექნოლოგიით პრაქტიკულადაც მიჩნეულია იდეალურ აირად.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, (1) ფორმულის თანახმად, 1000 °C ტემპერატურის მქონე ხანძრის მიერ აღძრული დინამიკური წნევა, გვირახებში შეადგენს 121.6 კპა, რაც აღემატება ატმოსფერულ წნევას, ხოლო 8-ჯერ ყველაზე მძლავრი ვენტილატორების მაქსიმალურ სტატიკურ წნევას. ამ დროს ჰაერის სიმკვრივე შემცირებულია 0.277 კგ/მ³-მდე. შესაბამისად, ძლიერი ხანძრის შემთხვევაში პრაქტიკულად შეუძლებელი გახდება სავენტილაციო ნაკადის მართვა

ვენტილატორების მეშვეობით და ჰაერის მოძრაობის მიმართულება და ხარჯი განპირობებული იქნება ხანძრის მიერ აღძრული დეპრესიით.

ცხადია, რომ ხანძრის სიძლიერე დამოკიდებულია საწვავის მასაზე, რომელიც გარკვეული კანონზომიერებით დაკავშირებულია ნაძვვი აირის m მასასთან. (1) განტოლების ორივე მხარის გამრავლებით აღნიშნულ სიდიდეზე მიიღება

$$pV = mRT \quad (2)$$

სადაც $V = mv$ არის ჰაერის ის მოცულობა, რომელიც მონაწილეობს წვის პროცესში, მ³, რომლის სიდიდე ჰაერის სიჩქარის პირდაპირ პროპორციულია. ე.ი.

$$dV = Sdl = Sdu \quad (3)$$

სადაც dV არის მოცულობის ნაზარდი, მ³; S - გვირაბის განივი კვეთის ფართობი, მ², $S = Const$; dl - ნაკადის მიერ გავლილი მანძილი მოცემულ მომენტში, მ; du - ნაკადის სიჩქარის ნაზარდი მოცემულ მომენტში, რომელიც აგრეთვე დამოკიდებულია ხანძრით აღძრულ წევაზე, მ/წმ.

1.5-2 კმ სიგრძის გვირაბებისათვის, ტრანსპორტის მოძრაობის სიჩქარიდან გამომდინარე, ევაკუაცია უნდა დასრულდეს 2 წთ-ის განმავლობაში. საინტერესოა წნევის ცვალებადობა სწორედ ამ პერიოდისათვის. მაშასადამე, დამოუკიდებელი ცვლადის - τ დროის ცვალებადობის ინტერვალი შემდეგია $0 \leq \tau \leq 120$, სადაც τ გამოსახულია წამებში, ხოლო ფორმულა (3) მიიღებს სახეს

$$V = S \int_0^{120} [u_0 + u(\tau)] d\tau \quad (4)$$

სადაც u_0 არის ჰაერის ნაკადის საწყისი სიჩქარე, მ/წმ; $u(\tau)$ - ჰაერის ნაკადის სიჩქარე, რომელიც წარმოდგენილია დროის ფუნქციის სახით, მ/წმ.

(4) ფორმულის გათვალისწინებით (1) ფორმულიდან მიიღება კერაზე ხანძრის მიერ განვითარებული წნევის სიდიდე

$$p_2 = \frac{mRT}{S \int_0^{120} [u_0 + u(\tau)] d\tau} \quad (5)$$

ამ ფორმულაში ინტეგრალქვეშა ფუნქციის პირველადი არაა ცნობილი. ექსპერიმენტული მონაცემების მიხედვით შესაძლებელია მიახლოებითი ამონახსნის მიღება (Lanchava and Javakhishvili, 2021). ცნობილია, რომ 1 მ³ ბენზინის ორთქლის დაწვას ესაჭიროება 58.80 მ³ ჰაერი, ხოლო ამ დროს ბენზინის ორთქლის სიმკვრივეა 0.73 კგ/მ³. მიღებული ჰაერის მოცულობა 1545000 მ³ ესაჭიროება დაახლოებით 18 ტონა ბენზინის ორთქლის დაწვას, რომლის დროსაც აღიძვრება დაახლოებით 42.6 კპა სიდიდის ჭარბი წნევა. ცხადია, რომ ნოხომაკას გვირაბში მომხდარი ხანძრისას (Bird and Carvel, 2005), რომლის დროსაც დაიწვა 173 ავტომანქანა, წვადი მასალები საწვავთან ერთად, უფრო მეტი ეკვივალენტური მასის იქნებოდა. ყველა შემთხვევაში, პირველი მიახლოებით, სახეზეა სატრანსპორტო გვირაბებში გამოყენებული ვენტილატორების მაქსიმალურ სტატიკურ წნევაზე (2.0-4.0 კპა) გაცილებით დიდი წევის აღძვრა ხანძრის მიერ.

შესაბამისად, 2.0-4.0 კპა წვეის აღძვრა გვირაბში, რითაც ხასიათდებიან ჭავლური ვენტილატორები, შესაძლებელია იმ შემთხვევაშიდაც, თუ საწვავის მასა იქნება გაცილებით ნაკლები, დაახლოებით 0.9-1.8 ტონის ფარგლებში.

2.2. გვირაბის ხანძრის შეფასება აღმოდებული მანქანების მიხედვით

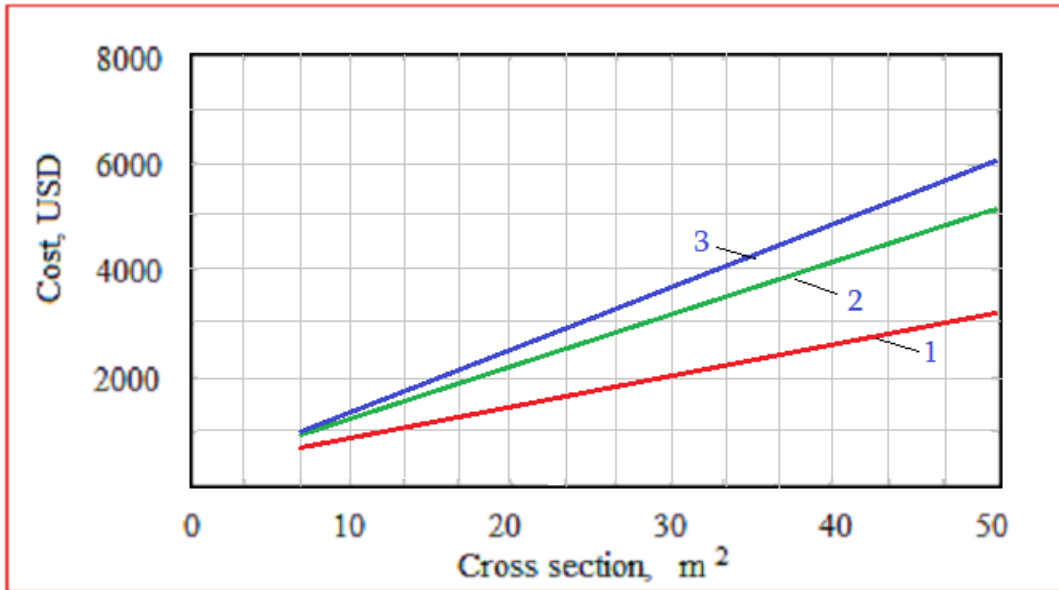
ხანძრის შემთხვევაში აღმოდებული მანქანების რიცხვისა და სახეობის მიხედვით ხანძრის სიმძლავრის განსაზღვრისათვის გვირაბის მომსახურე პერსონალს დაეხმარება ცხრილი, რომელიც აღებულია დოკუმენტიდან (TRANS/AC 7/9, 2001).

ცხრილი 1. ხანძრის სიმძლავრე აღმოდებული მანქანების სახეობისა და რაოდენობის მიხედვით

<i>N</i>	<i>ტრანსპორტის ტიპი</i>	<i>ხანძრის სიმძლავრე, მგვტ</i>
1	<i>მსუბუქი ავტომობილი</i>	<i>2.5-5.0</i>
2	<i>ავტობუსი</i>	<i>20</i>
3	<i>საშუალო ზომის სატვირთო</i>	<i>20-30</i>
4	<i>დიდი ზომის სატვირთო</i>	<i>30</i>
5	<i>ბენზინმზიდი (50 ტ)</i>	<i>300</i>

2.3. ფასთა შედარება გვირაბის გადასაკეტი სხვადასხვა კარებებისათვის

მასალისა და მონტაჟის ფასის მიხედვით (მექანიკური და ავტომატური მოწყობილობების ფასის მხედველობაში მიღების გარეშე) ერთმანეთს შევადარეთ ლითონისაგან და ბაზალტის ქსოვილისაგან დამზადებული კარებების ფასები საქართველოს სამომხმარებლო ბაზრის პირობებში. ამასთან ერთად, ბაზალტის ქსოვილისაგან დამზადებული კარები განხილული იყო ორ ვარიანტად: 1. როცა ბაზალტის ქსოვილის ფორმირებისათვის გამოყენებული იყო ბაზალტისვე არმატურა; 2. როცა ბაზალტის ქსოვილის ფორმირებისათვის გამოყენებული იყო ფოლადის ბადე. ფასების ცვალებადობა კარების ზომებისა და მასალის სახეობის მიხედვით მოცემულია ფიგ. 4-ზე.



ფიგ. 4. მეტალისა და ბაზალტის ქსოვილისაგან დამზადებული კარების ფასების ცვალებადობა მათი ფართობის მიხედვით (მექანიკური და ავტომატური მოწყობილობების ფასის გარეშე): 1 - ბაზალტის ქსოვილი (ფორმირება ბაზალტის არმატურით); 2 - ბაზალტის ქსოვილი (ფორმირება ფოლადის არმატურით); 3 - მეტალის კარები

თუ მხედველობაში მივიღებთ აგრეთვე ბაზალტის ქსოვილის უფრო ნაკლებ მასას ლითონთან შედარებით, მაშინ შეგვიძლია აღვნიშნოთ, რომ მექანიკურ და ავტომატურ მოწყობილობებს ბაზალტის შემთხვევაში უფრო ნაკლები სიმძლავრე დასჭირდებათ, არ გააძვირებენ საბოლოო შედეგს და ფიგ. 4-ზე მოცემული შედეგები ფასთა თანაფარდობის შესახებ შესაძლებელია დამაჯერებლად ჩავთვალოთ.

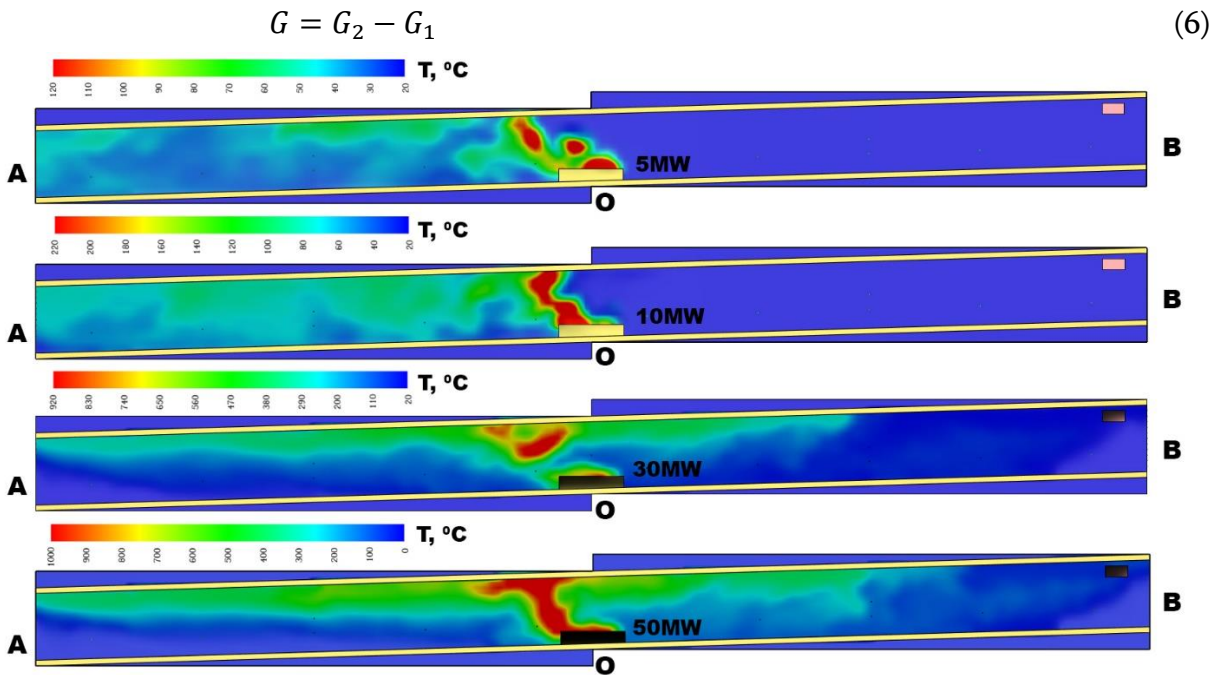
3. შედეგები და დისკუსია

3.1. ხანძრის სცენარები გვირაბში გრძივი ვენტილაციის პირობებში

FDS პროგრამულ გარემოში სასრულ მოცულობათა მეთოდის გამოყენებით შესწავლილია გვირაბში სხვადასხვა სიმძლავრის 5, 10, 30, 50 მგვტ ხანძრების განვითარების სცენარები სხვადასხვა დახრილობის 0, 1, 3, 4, 6 % გვირაბებში. გვირაბის გეომეტრია: სიგრძე - 100 მ; სიგანე - 8 მ; სიმაღლე - 6 მ; ხანძრის კერის ფართობი 16 მ²; ცეცხლის კერა განთავსებულია გვირაბის ცენტრალურ ნაწილში. ხანძრის მოდელირებისათვის წვის რეაგენტი - ბენზინი. მოდელირების დრო 120 წმ, B პორტალთან დროისათვის $\tau = 0$ წმ ერთმანეთის მიმართ პარალელურად ჩაირთვება 2 ცალი ჭავლური ვენტილატორი წარმადობით 28 მ³/წმ და წნევით 2000 პა. ვენტილატორები

ეჟექციით წარიტაცებენ ჰაერის ნაკადს, რომლის ხარჯი შესაძლებელია განისაზღვროს ჰაერის სიჩქარისა და გვირაბის კვეთის მიხედვით. დროის მომენტში $\tau = 20$ წმ მოდელზე ამოქმედდება ხანძარი და ექსპერიმენტი დანარჩენ დროში გრძელდება ხანძრის თანხლებით. ამ პერიოდისათვის სავენტილაციო ნაკადს დაფარული აქვს მანძილი B პორტალიდან ხანძრის კერამდე, რაც სხვადასხვა სიმძლავრის ხანძრის პირობებში ჩანს ფიგ. 5-ზე.

სხვადასხვა სიმძლავრის ხანძრის დროს გამოყოფილი მავნე აირებისა და კვამლის მოცულობის სიდიდეები შეტანილია ცხრილში 2. შეფასება გაკეთებულია გვირაბის ნულოვანი დახრილობის პირობებში. ამ შემთხვევაში ჰაერის სიმკვრივის შემცირება ტემპერატურის მომატების შედეგად პრაქტიკულად არ იწვევს უკუდინებას, ხოლო წვის პროდუქტები შეერევა სავენტილაციო ნაკადში და იწვევს ამ უკანასკნელის სიჩქარის გაზრდას. ჰაერის სიჩქარე გვირაბში განისაზღვრა რიცხვითი მოდელების მიხედვით ჰაერის ნაკადის ფრონტის მოძრაობის შესაბამისად B პორტალიდან A პორტალის მიმართულებით. სიჩქარე u_1 განისაზღვრა B პორტალიდან O წერტილამდე მანძილისა და მის დასაფარავად საჭირო დროის მიხედვით, ჰაერის შესაბამისი ხარჯი არის G_1 . სიჩქარე u_2 შეესაბამება მანძილს O წერტილიდან A პორტალამდე, ჰაერის შესაბამისი ხარჯი არის G_2 . კვამლისა და წვის სხვა ტოქსიკური პროდუქტების ხარჯი განისაზღვრა ფორმულით

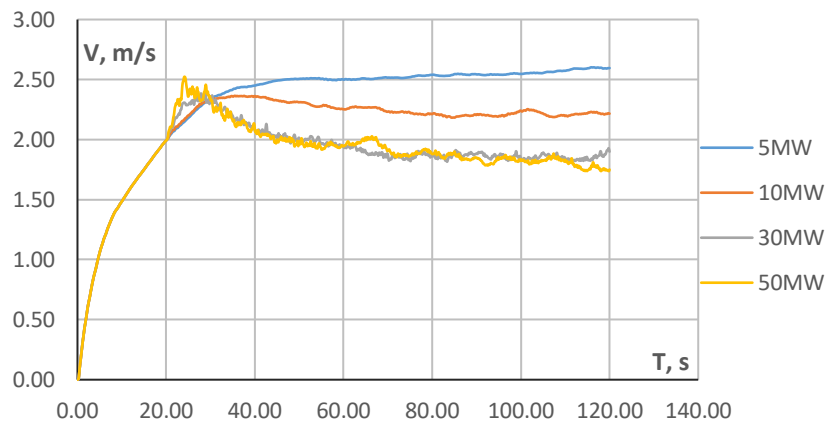


ფიგ. 5. ჰორიზონტალური გვირაბის ვენტილაცია 5, 10, 30, 50 მგვტ ხანძრის გაჩენის მომენტისათვის $\tau = 20$ წმ: 1 - ჭავლური ვენტილატორი; O - ხანძრის კერის ცენტრი

ცხრილი 2. ჰაერის ხარჯი და სიჩქარე გვირაბში რიცხვითი ექსპერიმენტების მიხედვით

ხანძრის სიმძლავრე, მგვტ	u_1 , მ/წმ	u_2 , მ/წმ	G_2 , მ ³ /წმ	G_1 , მ ³ /წმ	G , მ ³ /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

დახრილ გვირაბებში, ხანძრის პროდუქტების შერევის მიუხედავად, ხანძრის ამოქმედების პერიოდის ($\tau = 20$ წმ) შემდეგ, სავენტილაციო ნაკადის სიჩქარე ყოველთვის არ მატულობს. ფიგ. 6-დან ჩანს, რომ 30 და 50 მგვტ სიმძლავრის ხანძრებისათვის სავენტილაციო ნაკადის საშუალო სიჩქარე კლებულობს, მიუხედავად იმისა, რომ ჰაერს უფრო მეტი წვის პროდუქტები შეერევა, ვიდრე 5 მგვტ ხანძრის დროს. ამ შემთხვევაში, საბოლოოდ, ნაკადის ინერციის ძალებს გაცილებით აღემატება ჰაერის სიმკვრივის შემცირებით გამოწვეული ტივტივადობის ძალები. უფრო ზუსტად, პროცესზე გავლენის თვალსაზრისით, სავენტილაციო ნაკადის მოცულობის ზრდის ტემპი გაცილებით ჩამორჩება ტივტივადობის ძალების გავლენის ტემპს.

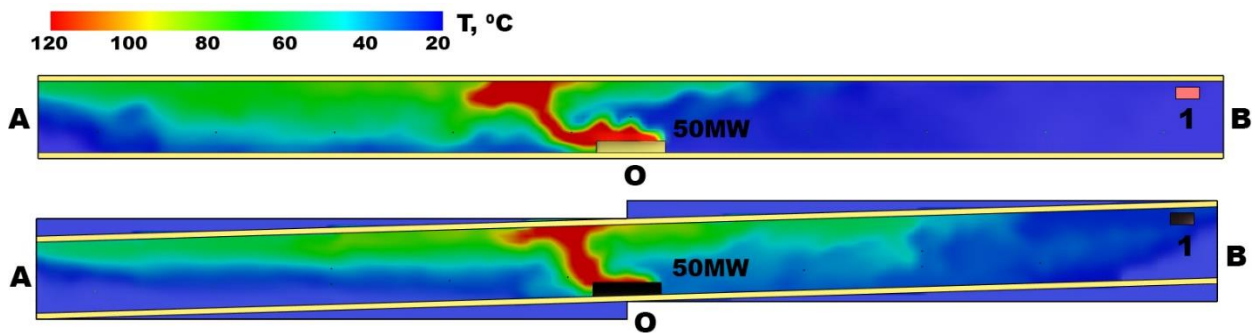


ფიგ. 6. დახრილ გვირაბში (3%) ჰაერის საშუალო სიჩქარის ცვალებადობა ხანძრის სიმძლავრის მიხედვით დადებითი სავენტილაციო ნაკადებისათვის (ანუ მაშინ, როცა ჰაერის ნაკადის მოძრაობის მიმართულება არის დაღმავალი)

აღნიშნული ძალიან კარგად ჩანს ფიგ. 7-დან, რომელზედაც ნაჩვენებია 50 მგვტ ხანძრის განვითარების სცენარები ჰორიზონტალური და დახრილი გვირაბისათვის (3 %). ნულოვანი დახრილობის გვირაბისათვის ტივტივადობის ძალები ხელს არ უშლიან ვენტილაციას, ხოლო ჰაერის ნარევის მოცულობის ზრდის შედეგად მატულობს მისი სიჩქარე. 3 %-იანი დახრილობის შემთხვევაში თვით ხანძარი უკვე აეროდინამიკური წინააღმდეგობისათვის, ხოლო წვის პროდუქტები ორივე პორტალიდან უერთდება ატმოსფეროს. ჰორიზონტალური გვირაბისათვის

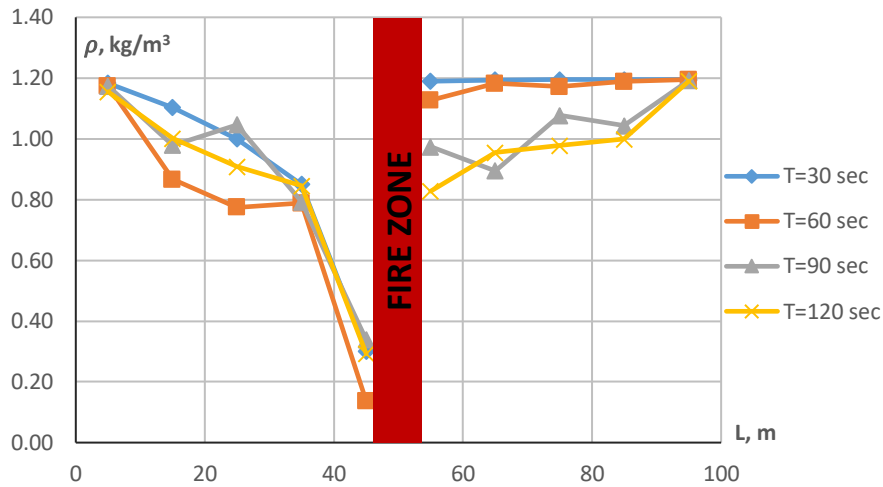
(ფიგ. 7, ზედა ნახაზი) გვირაბის BO მონაკვეთზე შენარჩუნებულია სუფთა ჰაერი. დახრილ გვირაბში კი, ხანძრის წვევის გავლენით ძლიერი უკუდინებისა და ამის შედეგად სავენტოლაციო ნაკადის გადაყირავების გამო, გვირაბის BO მონაკვეთზედაც გაჭუჭყიანებული ჰაერია (ფიგ. 7, ქვედა ნახაზი).

ძლიერი ხანძრის პირობებში ნაკადის გადაყირავებას აუცილებლად ექნება ადგილი, მაგრამ ამოცანაა აღნიშნული მოვლენა რაც შეიძლება გვიან მოხდეს გვირაბის განივ კვეთში ხელოვნური ბარიერების ჩართვისა და გვირაბის აეროდინამიკური წინააღმდეგობის მომატების შედეგად, რათა გაიზარდოს ევაკუაციის პერიოდის ხანგრძლივობა გვირაბის BO მონაკვეთზე. გვირაბის კვეთის ნაწილობრივი გადაფარვა სწორედ აღნიშნულ მიზანს ემსახურება და იგი უფრო ეფექტურია გვირაბის ზედა ნაწილში, რადგან ნაკლები სიმკვრივის მქონე ნაწივი აირები გვირაბის ჰერის არეალში მოძრაობენ. ამის გამო ხანძრის შედეგად გვირაბში მიტოვებული მანქანების არსებობა ხელს არ შეუშლის შემოთავაზებული მოქნილი სისტემის მოქმედების ეფექტურობას საჭიროების დროს.

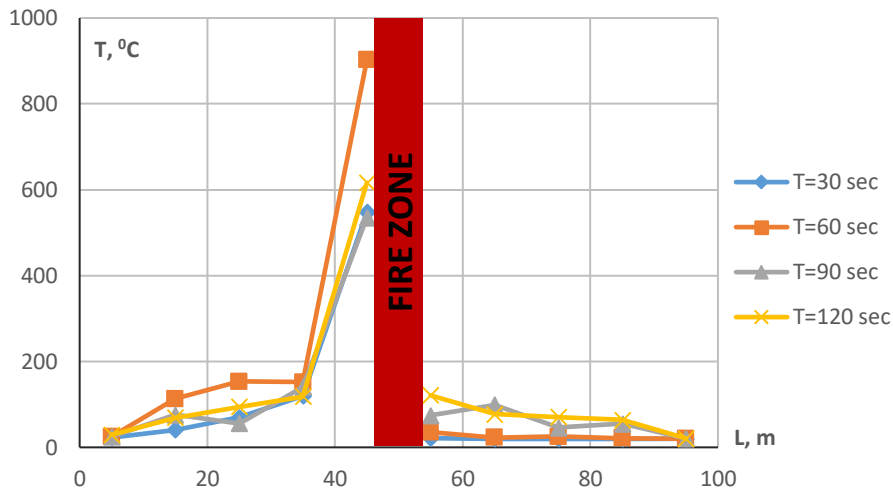


ფიგ. 7. 50 მგვტ სიმძლავრის ხანძრის განვითარების სცენარი ჰორიზონტალური და 3 %-დახრილობის გვირაბისათვის: B პორტალიდან ჰაერის მიწოდება ხდება ვენტოლატორით - 1

სავენტოლაციო ჰაერის სიმკვრივის დინამიკა ხანძრის კერაზე და გვირაბის სიგრძის მიხედვით მოცემულია ფიგ. 8-ზე. ნახაზიდან ჩანს, რომ დაღმავალ ნაკადზე ჰაერის სიმკვრივე შემცირებულია და უშუალოდ ხანძრის კერაზე მისი მინიმალური სიდიდე იცვლება 0.18 - 0.28 კგ/მ³ ფარგლებში. ანალიზისათვის ავიღოთ სიმკვრივის რიცხვითი სიდიდე 0.28 კგ/მ³. ხანძრის კერაზე მაქსიმალური ტემპერატურა, რომელმაც განაპირობა ჰაერის სიმკვრივის შემცირება მოცემულ ნიშნულამდე შეადგენს 610 °C, ანუ 883 K (იხ. ფიგ. 9). ფორმულით (1) გავსაზღვროთ ხანძრის მიერ აღძრული წნევა მოცემულ პირობებში, რაც შეადგენს 71.0 kPa. შევნიშნოთ, რომ ასეთი სიდიდის დინამიკური წნევა გვირაბში გამოიწვევს სავენტოლაციო ნაკადის გადაყირავებას.

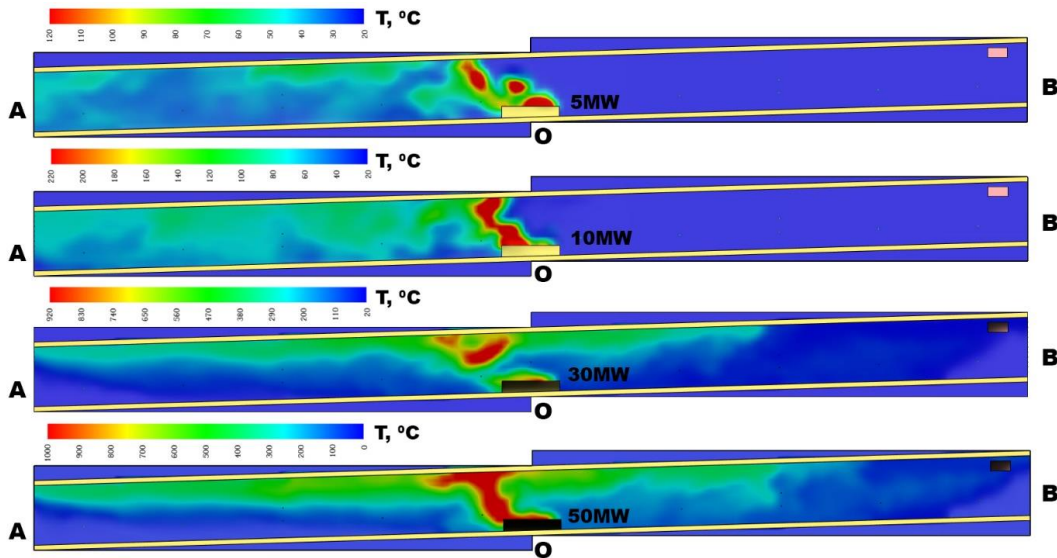


ფიგ. 8. სავენტილაციო ჰაერის სიმკვრივის ცვალებადობა 3% დახრილობის გვირაბის სიგრძის მიხედვით 30 მგვტ სიმძლავრის ხანძრის პირობებში



ფიგ. 9. სავენტილაციო ჰაერის ტემპერატურის ცვალებადობა 30 მგვტ სიმძლავრის ხანძრის პირობებში, გვირაბის ცენტრალურ გრძივ სიბრტყეზე იატაკიდან 1.7 მ სიმაღლეზე 3% დახრილობის გვირაბის სიგრძის მიხედვით.

მაშასადამე, როგორც თეორიულად, ისე რიცხვითი ექსპერიმენტების გზით დადგენილად უნდა მივიჩნიოთ, რომ ძლიერ ხანძარს გვირაბებში შეუძლია აღძრას ვენტილატორებზე უფრო დიდი დინამიკური წნევა, რომელსაც შეუძლია დადებითი სავენტილაციო ნაკადების გადაყირავება 3% და უფრო მეტი დახრილობის გვირაბებში. როგორც აღვნიშნეთ, დადებითია ნაკადი მაშინ, თუ სუფთა ჰაერის მიწოდება ხდება ჰიფსომეტრიულად მაღალი ნიშნულიდან და ადგილი აქვს სუფთა ჰაერის ნაკადის დაღმავალ მოძრაობას.



ფიგ. 10. ხანძრის განვითარების სცენარები 120 წმ-ის შემდეგ დადებითი (დადმავალი) სავენტილაციო ნაკადებისათვის (ხანძრის კერა ჰიფსომეტრიულად განლაგებულია ჰაერმიმწოდებელი B პორტალის დაბლა)

ფიგ. 10-ზე მოცემულია ხანძრის განვითარების სცენარები სხვადასხვა სიმძლავრის ხანძრისათვის 120 წმ-ის ბოლოს. ნახაზიდან ჩანს, რომ 30 MW სიმძლავრის ხანძრის პირობებში, როცა გვირაბის დახრილობა შეადგენს 3 %, გვირაბის ორივე პორტალიდან ატმოსფეროში გადის წვის პროდუქტები, რაც იმის ნიშანია, რომ მოხდა სავენტილაციო ნაკადის გადაყირავება და გვირაბის მთელ სიგრძეზე ყველგან გაჭუჭყიანებული ჰაერია. აღსანიშნავია, რომ მოდელირებული სცენარის მიხედვით, ნამწვი პროდუქტები ხანძრის გაჩენიდან დაახლოებით 30 წმ-ის შემდეგ გავრცელდა საპირისპირო მიმართულებით 50 მ მანძილზე და ატმოსფეროს შეერია იმ პორტალიდან, საიდანაც ხდება ჰაერის მიწოდება.

3.2. შემოთავაზებული სისტემის ფუნქციონირების ეფექტურობა ჰორიზონტალური გვირაბისათვის გრძივი ვენტილაციის პირობებში

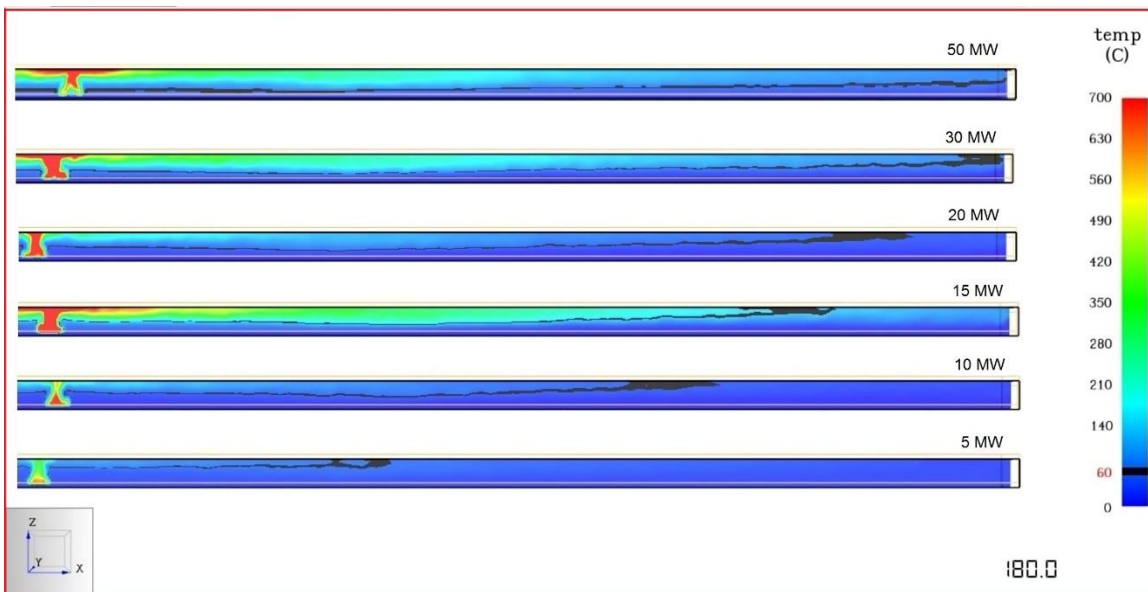
ამგვარად გრძივი ვენტილაციის პირობებში, დადებითი სავენტილაციო ნაკადებისათვის, გარკვეული დროის ინტერვალის გასვლისა და სავენტილაციო ნაკადის გადაყირავების შემდეგ, ხანძრის კერის ორივე მხარეზე გვირაბში იქნება ადამიანის სიცოცხლესთან შეუთავსებელი ჰაერის გარემო. შემოთავაზებულ სისტემას გვირაბის აეროდინამიკური წინააღმდეგობის გაზრდის შედეგად ამ შემთხვევაში შეუძლია ევაკუაციის პერიოდის გახანგრძლივება, რაც მეტად მნიშვნელოვანია სიცოცხლის გადარჩენისათვის. ახლა განვიხილოთ ჰორიზონტალური გვირაბის შემთხვევა, როდესაც არცერთი სავენტილაციო სისტემა არ ფუნქციონირებს.

მოდელირება შესრულებულია FDS პროგრამულ გარემოში სასრულ მოცულობათა მეთოდის გამოყენებით. შედგა რიცხითი მოდელი 400 მ სიგრძის გვირაბში სხვადასხვა სიმძლავრის 5, 10, 15, 20, 30, 50 მგვტ ხანძრებით გამოწვეული ტემპერატურული დამაზიანებელი ფაქტორის გავრცელების დინამიკის შესასწავლად. გვირაბის განივი კვეთის ფართობი შეადგენს 42 მ², მოდელირებული პროცესის დრო შეადგენს 180 წმ. სასრული მოცულობის უჯრედის მინიმალური ზომა არის 0.25 x 0.25 x 0.25 მ, ხოლო მაქსიმალური - 0.5 x 0.5 x 0.5 მ. ცეცხლის კერა განთავსებულია გვირაბის ცენტრალურ ნაწილში. ხანძრის მოდელირებისათვის წვის რეაგენტად აღებულია პოლიუორეთანი M 27, ხანძრის წვის ზედაპირის ფართობი რიცხვით ექსპერიმენტებში შეადგენდა 5-10 მ². ხანძრის კერა იატაკიდან დაშორებული იყო 0.1 მ მანძილით.

რიცხვითი მოდელირება შესრულდა ორი სცენარისათვის:

1. გვირაბის ცენტრალურ ნაწილში გვაქვს სხვადასხვა სიმძლავრის ხანძრები. მოქნილი დამყოფი ტრანსფორმირებადი სისტემა ამოქმედებული არ არის;
2. გვირაბის ცენტრალურ ნაწილში გვაქვს სხვადასხვა სიმძლავრის ხანძრები. მოქნილი დამყოფი ტრანსფორმირებადი სისტემის ამოქმედება ხდება ხანძრის კერიდან 50 მ მანძილზე ისე, რომ ზღუდარების მიერ გადაკეტილია გვირაბის განივი კვეთის 50 %.

ფიგ. 11-ზე და ცხრილში 3 წარმოდგენილია ტემპერატურული დამაზიანებელი ფაქტორის გავრცელების დინამიკა 60 °C კრიტიკული იზოთერმის დინამიკური ცვლილების სახით სხვადასხვა სიმძლავრის ხანძრებისათვის, როდესაც დამყოფი ტრანსფორმირებადი ზღუდარი არ მოქმედებს.



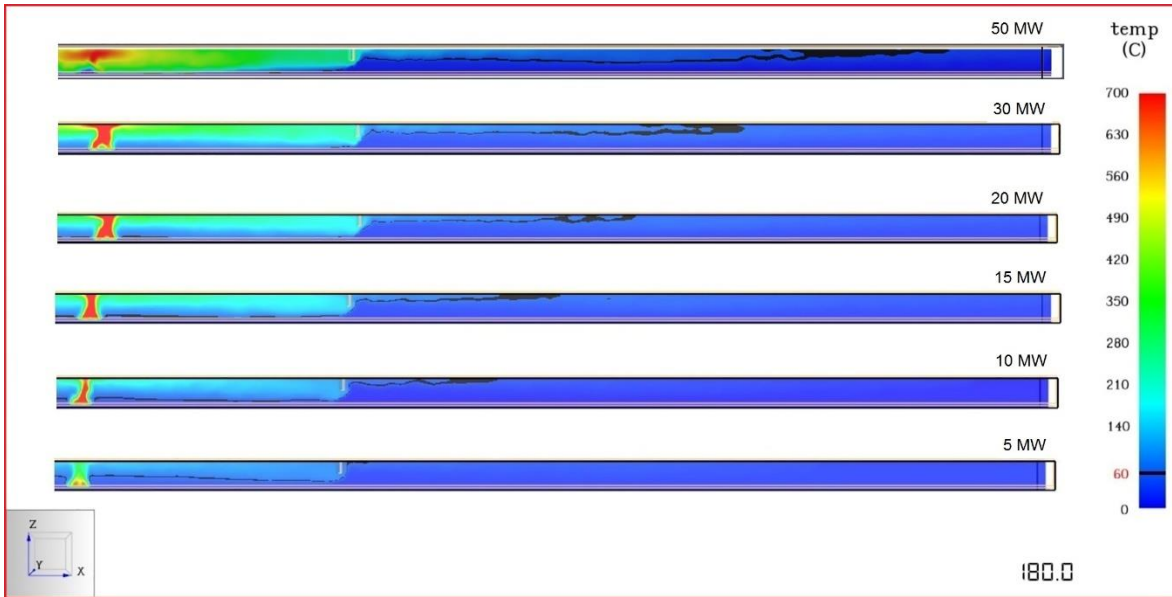
ფიგ. 11. ტემპერატურული დამაზიანებელი ფაქტორის გავრცელების დინამიკა 60° C კრიტიკული იზოთერმის დინამიკური ცვლილების მაგალითზე 5-50 მგვტ სიმძლავრის ხანძრებისთვის

ცხრილი 3. 60 °C იზოთერმის გავრცელება ხანძრის შემთხვევაში ბუნებრივ პირობებში (დამყოფი ტრანსფორმირებადი ზღუდარი არის ლოდინის რეჟიმში)

60 °C იზოთერმის გავრცელება გვირაბის სიგრძის მიხედვით მაშინ, როცა არ არის ამოქმედებული დამყოფი ზღუდარი		
ხანძრის სიმძლავრე, მგვტ	დაშორება ხანძრის კერიდან l_{min} , მ	დაშორება გვირაბის იატაკიდან 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

ცხრილის შედგენისას ორიენტირად აღებულია 60 °C -იანი იზოთერმის გავრცელება. მოცემულია ხანძრის კერიდან დაშორება გვირაბის სიგრძის მიხედვით, როდესაც 60 °C-იანი იზოთერმა ჰიფსომეტრულად მინიმალურ სიმაღლეზეა განლაგებული, რომელიც შესადარია ადამიანის საშუალო სიმაღლესთან.

ფიგ. 12-ზე წარმოდგენილია ტემპერატურული დამაზიანებელი ფაქტორის გავრცელების დინამიკა 60 °C კრიტიკული იზოთერმის დინამიკური ცვლილების სახით სხვადასხვა სიმძლავრის ხანძრებისათვის, როდესაც ტრანსფორმირებადი ზღუდარი მოდელირებული გვირაბის განივკვეთს კეტავს 50 %-ით. მოდელირების შედეგების მიხედვით, ცხრილი 3-ის ანალოგიით, შედგენილია ცხრილი 4. აღნიშნულ ცხრილში მოცემულია ხანძრის კერიდან დაშორება გვირაბის სიგრძის მიხედვით ტრანსფორმირებადი ზღუდარების გარეთ, 60 °C-იანი იზოთერმის ჰიფსომეტრულად მინიმალურ სიმაღლეზე განლაგების პირობებში.



ფიგ. 12. ტემპერატურული დამაზიანებელი ფაქტორის გავრცელების დინამიკა 60 °C კრიტიკული იზოთერმის დინამიკური ცვლილების მაგალითზე 5-50 მგვტ სიმძლავრის ხანძრებისთვის, როდესაც ზღუდარები ამოქმედებულია ხანძრის ორივე მხარეზე და განლაგებულია ხანძრის კერიდან 50 მ მანძილზე

ცხრილი 4. 60 °C იზოთერმის გავრცელება ხანძრის შემთხვევაში ამოქმედებული დამყოფი ტრანსფორმირებადი ზღუდარის პირობებში

60 °C იზოთერმის გავრცელება გვირაბის სიგრძის მიხედვით ზღუდარის გარეთ, როცა გვირაბის კვეთი გადაკეტილია 50 %-ით		
ხანძრის სიმძლავრე, მგვტ	დაშორება ხანძრის კერიდან l_{min} , მ	დაშორება გვირაბის იატაკიდან 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

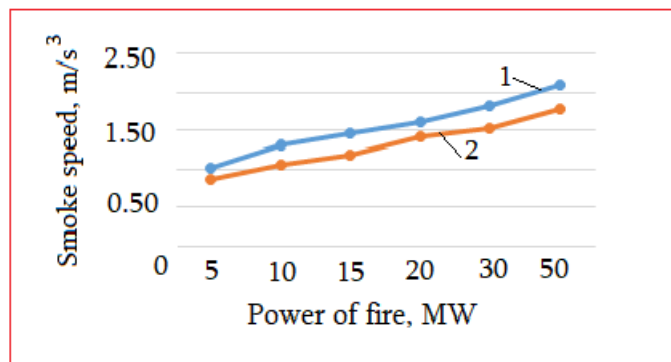
რიცხვითი ექსპერიმენტის წარმოდგენილი შედეგები აჩვენებენ ზღუდარების გამოყენების უპირატესობას. აღსანიშნავია, რომ აღნიშნული უპირატესობა მით უფრო გამოიკვეთილია, რაც უფრო დიდია მოდელირებული ხანძრის სიმძლავრე. მე-3 და მე-4 ცხრილების შედარებიდან

მკაფიოდ ჩანს ზღუდარების გამოყენების ეფექტი იმით, რომ 60 °C იზოთერმის გავრცელების მინიმალური ჰიფსომეტრიული სიმაღლე მკვეთრად იზრდება ზღუდარების გამოყენების დროს, რაც მნიშვნელოვან საევაკუაციო დროით რესურსს ქმნის ზღუდარს გარეთ მყოფი ადამიანებისათვის.

ფიგ. 12-ზე წარმოდგენილი მასალიდან აგრეთვე ჩანს, რომ ზღუდარებით შემოფარგლული ხანძრის კერის სიახლოვეს ადგილი ექნება ტემპერატურის მკვეთრმა ტემბას. აღნიშნული გარემოების საილუსტრაციოდ გვირავის დამყოფ ზღუდართან, გვირავის იატაკიდან 2 მ სიმაღლეზე, სხვადასხვა სიმძლავრის ხანძრებისათვის დაფიქსირდა ტემპერატურა, რომელიც მოცემულია ცხრილში 5.

ცხრილი 5. ტემპერატურის ცვალებადობა გვირავის იატაკიდან 2 მ სიმაღლეზე ტრანსფორმირებად ზღუდართან (იზოლირებული ხანძრის კერის პირობებში)

<i>ხანძრის სიმძლავრე, მგვტ</i>	<i>ტემპერატურა ხანძრის კერიდან 50 მ მანძილზე (ზღუდართან), h = 2 მ სიმაღლეზე, °C</i>
<i>5</i>	<i>73</i>
<i>10</i>	<i>100</i>
<i>15</i>	<i>105</i>
<i>20</i>	<i>158</i>
<i>30</i>	<i>180</i>
<i>50</i>	<i>204</i>



ფიგ. 13. კვამლის ფრონტის გავრცელების სიჩქარე ჰორიზონტალურ გვირავში იმ შემთხვევაში, როცა არ მოქმედებს სავენტილაციო სისტემა:

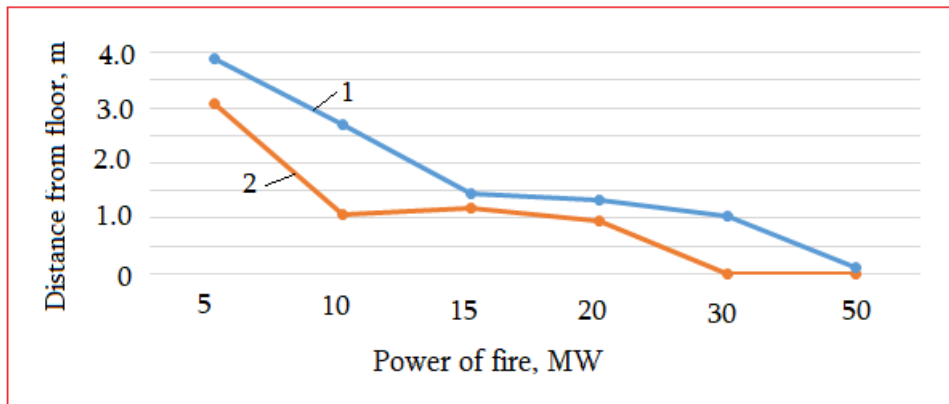
1 - მოქნილი ტიხრის გარეშე; 2 - გვირავის განივი კვეთის მოქნილი ტიხრის საშუალებით 50 %-ით გადაფარვის შემთხვევაში

რიცხვითი მოდელირების შედეგების მიხედვით კვამლისა და ნახშირბადის მონოოქსიდის გავრცელების კანონზომიერებებიც ანალოგიურია იმავე პირობებში. კერძოდ, განხილული და ერთმანეთთან შედარებული გვაქვს რიცხვითი მოდელირების ორი ტიპის ამოცანა სხვადასხვა

სიმძლავრის ხანძრებისთვის: 1) როცა გვირაბში არ გამოიყენება მოქნილი მოწყობილობები; 2) მოქნილი ელემენტების დახმარებით გადაფარულია გვირაბის განივი კვეთის 50 %. შედეგები წარმოდგენილია ფიგურებზე 13 და 14. ფიგ. 14-ის წარმოდგენამდე შევნიშნოთ, რომ სამუშაო ზონაში (იატაკიდან 2 მ სიმაღლემდე), ადამიანების ყოფნის ხანგრძლივობის მიხედვით, დასაშვები კონცენტრაცია ნახშირბადის მონოოქსიდისათვის შემდეგია:

- 8 სთ-იანი სამუშაო დღე - 20.0 მგ/მ³;
- 60 წთ განმავლობაში - 50.0 მგ/მ³;
- 30 წთ განმავლობაში - 100 მგ/მ³;
- 15 წთ განმავლობაში - 200 მგ/მ³.

ასეთი მიდგომა საშუალებას გვაძლევს დავადგინოთ მაქსიმალური საფრთხის შემცველი აგენტების გავრცელების სიჩქარე და შევაფასოთ შემოთავაზებული ტექნოლოგიის ეფექტურობა ადამიანების თვითევაკუაციისათვის საჭირო დროის მიხედვით.



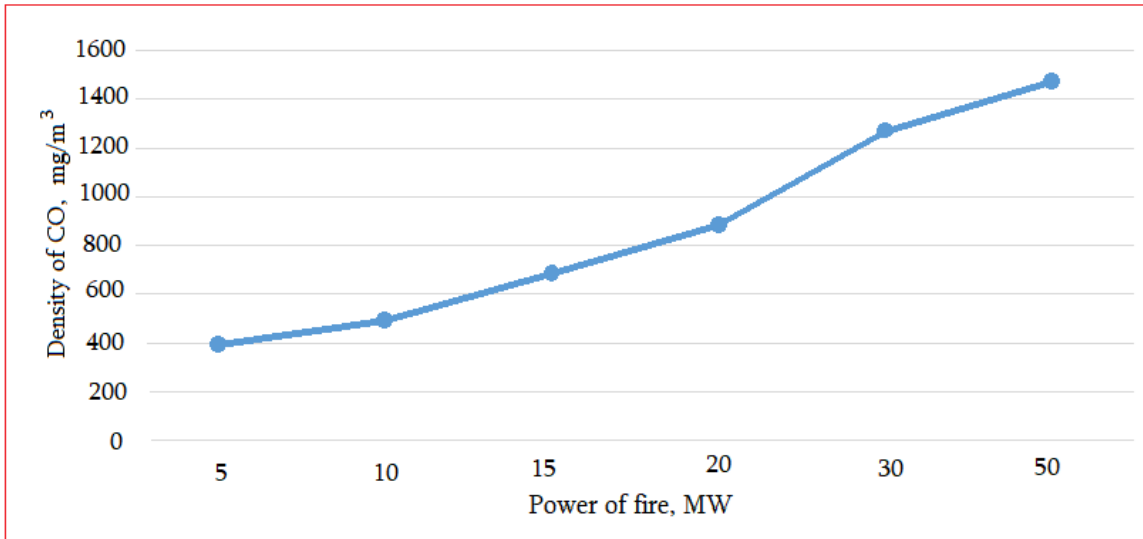
ფიგ. 14. ნახშირბადის მონოოქსიდის 200 მგ/მ³ მოცულობითი კონცენტრაციის იზოხაზის იატაკიდან დაშორების მანძილის ცვალებადობა ჰორიზონტალურ გვირაბში იმ შემთხვევაში, როცა არ მოქმედებს სავენტილაციო სისტემა:

- 1 - მოქნილი ტიხრის გარეშე; 2 - გვირაბის განივი კვეთის მოქნილი ტიხრის საშუალებით 50 %-ით გადაფარვის შემთხვევაში

როგორც წარმოდგენილი მასალიდან (ფიგ. 13-დან) ჩანს, კვამლის ფრონტის გავრცელების სიჩქარე საშუალოდ მცირდება 16-20 %-ით მოქნილი ტრანსფორმირებადი ელემენტების გამოყენების შედეგად. ფიგ. 14-დან კი ჩანს, რომ შემოთავაზებული მოწყობილობის გამოყენების გარეშე 20 მგ/მ³ სიმძლავრის ხანძრის შემთხვევაშიც ნახშირბადის მონოოქსიდის ზღვრული რიცხვითი მნიშვნელობა (200 მგ/მ³) ჩამოდის ადამიანის სამუშაო ზონაში - გვირაბის იატაკიდან 2 მ-მდე სიმაღლეზე. ნახშირბადის მონოოქსიდის 200 მგ/მ³ მოცულობითი კონცენტრაციის

იზოხაზის იატაკიდან დაშორების მანძილი, როგორც ნახაზიდან ჩანს მცირდება 20-25 %, რაც აუმჯობესებს ადამიანების ევაკუაციის პირობებს.

ტემპერატურის ანალოგიურად, მოქნილი ტრანსფორმირებადი ელემენტებით შემოფარგლულ გვირაბის ნაწილში, ხანძრის კერის უშუალო სიახლოვეში, კვამლისა და ნახშირბადის მონოოქსიდის კონცენტრაცია მკვეთრად მატულობს. იმის გამო, რომ ნახშირბადის მონოოქსიდი ფეთქებადობით ხასიათდება დიაპაზონში 12.5 – 75 % (1.45, 10⁵–8.71, 10⁵, მგ/მ³), მოგვაქვს გრაფიკი მხოლოდ ნახშირბადის მონოოქსიდის ცვალებადობის შესახებ მითითებულ დახურულ სივრცეში, რაც წარმოდგენილია ფიგ. 15-ზე.



ფიგ. 15. ნახშირბადის მონოოქსიდის სიმკვრივის ცვალებადობა ტრანსფორმირებადი ელემენტებით შემოფარგლულ სივრცეში ხანძრის სიმძლავრის მიხედვით

ფიგ. 15-დან ჩანს, რომ მოქნილი ტრანსფორმირებადი ელემენტებით შემოფარ-გლულ გვირაბის სივრცეში ადგილი აქვს ნახშირბადის მონოოქსიდის სიმკვრივის სწრაფ ზრდას ისე, რომ მოდელირების დროის 180 წამის გასვლის შემდეგ, აღნიშნული სიდიდე ადამიანისათვის დასაშვებ ზღვარს რამდენჯერმე აღემატება, მაგრამ გაცილებით ნაკლებია ფეთქებადსაშიშ კონცენტრაციასთან შედარებით. აღნიშნულით დასტურდება, რომ მოქნილი ტრანსფორმირებადი ელემენტების გამოყენებით, გვირაბის განივი კვეთის ნაწილობრივი გადაფარვის შემთხვევაში, შემოფარგლული სივრცის მიღმა, ევაკუაციის თვალსაზრისით, მიიღება პოზიტიური შედეგი. იმავე ღონისძიებით შემოფარგლულ სივრცეში არ შეიქმნება ნახშირბადის ფეთქებადსაშიშ კონცენტრაცია, რაც მეტად მნიშვნელოვანია უსაფრთხოების თვალსაზრისით.

წარმოდგენილი კვლევების შედეგები აჩვენებენ, რომ მოქნილი ტრანსფორმირ-ებადი ბარიერებით ხანძრის კერის ლოკალიზაციის შემთხვევაში ჰაერის ტემპერატურა, დაკვამლიანება და წვის სხვა ტოქსიკური პროდუქტების კონცენტრაცია ხანძრის კერის ახლომახლო

შემოფარგლულ სივრცეში მკვეთრად მატულობს. ამით იქმნება ადამიანის სიცოცხლისა და ჯანმრთელობისათვის არახელსაყრელი გარემო ლოკალიზაციის უბანზე. აქედან გამომდინარე, ტრანსფორმირებადი ელემენტების ამოქმედება უნდა მოხდეს ხანძრის კერაზე ვიდეო, თბური და ტოქსიკურ რეჟიმებზე სრულყოფილი დაკვირვებების კონტექსტში. აღნიშნული საკითხი რთული თანამედროვე საინჟინრო პრობლემაა და საჭიროებს შემდგომ შესწავლას. მეორე მხრივ, წარმოდგენილი კვლევები საკმარისად აჩვენებენ მოქნილი ტრანსფორმირება-დი სისტემის ეფექტურობას ადამიანის სიცოცხლისა და ჯანმრთელობისათვის სახიფათო ფაქტორების შემცირებაში ხანძრის კერის ლოკალიზაციის გარეთ, ადამიანების თვითევაკუაციის გზაზე.

ამ ნაშრომში შემოთავაზებული მოქნილი სისტემა ჩვენს მიერ არ განიხილება როგორც ხანძრის ლიკვიდაციის მიზნებისათვის ხელშესაწყობი საშუალება. თუმცა იმის აღნიშვნა აუცილებლად საჭიროა, რომ მიწისქვეშა სივრცეში უფრო გაუმჯობესებული ვითარება მეხანძრეებს შესაძლებლობას მისცემს იმოქმედონ უფრო ნაკლები კლასისა და ფასის აღჭურვილობით, ან ერთი და იმავე კლასის აღჭურვილობის შემთხვევაში - გაიზარდოს მათი გამოყენების ხანგრძლივობა ხანძრის ჩაქრობის მიზნებისათვის.

4. დასკვნები

თეორიულად და რიცხვითი ექსპერიმენტებით დადგენილია, რომ ძლიერ ხანძარს გვირაბებში შეუძლია აღძრას საგვირაბე ვენტილატორების სტატიკურ წნევაზე უფრო დიდი დინამიკური წნევა, რომელსაც შეუძლია სავენტილაციო ნაკადების მოძრაობის მიმართულების შეცვლა („ნაკადების გადაყირავება“) 3% და უფრო მეტი დახრილობის გვირაბებში მაშინ, როცა ხანძრის კერა, ჰაერმიმწოდებელ პორტალთან შედარებით, განლაგებულია ჰიფსომეტრიულად დაბლა, რაც მკვეთრად აუარესებს უბედურების ზონაში მოხვედრილი ადამიანების თვითევაკუაციის შესაძლებლობებს.

აღნიშნული პრობლემის დასაძლევად შემოთავაზებულია ტრანსფორმირებადი მოქნილი სისტემა, რომელიც გვირაბების აეროდინამიკური წინაღობის ხელოვნურად გაზრდის შედეგად შეაფერხებს წვის მავნე პროდუქტების გავრცელებას ადამიანების ევაკუაციის გზაზე. ჰორიზონტალურ და დახრილ გვირაბებში ხანძრის განვითარების სცენარების გათვალისწინებით, შეფასებულია ხანძრის დამაზიანებელი ფაქტორების გავრცელების დინამიკა მაშინ, როცა აღარ მოქმედებს ვენტილაცია და გამოიყენება მოქნილი სისტემა.

რიცხვითი მოდელირების შედეგები ცხადყოფენ, რომ მოქნილი სისტემის მეშვეობით გვირაბის განივი კვეთის 50 %-ით გადაფარვის შემთხვევაში შესაძლებელია მნიშვნელოვანი დადებითი შედეგების მიღება წვის პროდუქტების გავრცელების შეზღუდვისა და სიცოცხლის

გადარჩენის საქმეში. კერძოდ, 50 მგვტ სიმძლავრის ხანძრის შემთხვევაში 60 °C იზოთერმა, ხანძრის განვითარებიდან 3 წთ-ის შემდეგ, ხანძრის კერიდან 75 მ მანძილზე ვრცელდება გვირაბის იატაკიდან 0.5 მ სიმაღლეზე, რაც სახიფათოა ადამიანების გადაადგილებისათვის. ტრანსფორმირებადი სისტემის გამოყენების შემთხვევაში კი იგივე იზოთერმა, იმავე პირობებში, იატაკიდან განლაგებულია ადამიანის საშუალო სიმაღლეზე გაცილებით მაღლა - 2.5 მ-ზე, რაც ქმნის ადამიანების ევაკუაციისათვის საკმარის პირობას.

ანალოგიურად, შემოთავაზებული სისტემის გამოყენება ამცირებს ხანძრის სხვა დამაზიანებელი ფაქტორების გავრცელების ინტენსიურობას. კერძოდ, კვამლის გავრცელების საშუალო სიჩქარე მიწისქვეშა სივრცეში მცირდება 16-20 %-ით, ხოლო ნახშირბადის მონოოქსიდის გავრცელების საშუალო სიჩქარე - 20-25 %-ით.

შესრულებული ანალიზი მკაფიოდ უჩვენებს, რომ მომხდარი ხანძრების შესწავლა და განზოგადება გამოდგება მათი მავნე გავლენის შესამცირებელი ღონისძიებების ადეკვატური დაგეგმვისა და განხორციელებისათვის. აღნიშნული დღის წესრიგში აყენებს არა მხოლოდ ხანძრის შემთხვევათა გულმოდგინე დაწვრილებით აღწერასა და ანალიზს, არამედ კონკრეტული გვირაბის გეომეტრიის, ადგილმდებარეობის, ბუნებრივი პირობების, სავენტილაციო სისტემების და ხანძრის სიმძლავრის მიხედვით მოქმედების ცხადი ალგორითმის დამუშავების საჭიროობას და მიღებული შედეგების გავრცელებას მაშველებზე, გვირაბის მომსახურე პერსონალსა და მთელ საზოგადოებაზე.

ნაშრომი შესრულებულია შოთა რუსთაველის სახელობის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფინანსური მხარდაჭერით. გრანტის ნომერი AR-19-1936, პროექტის დასახელება „ტრანსფორმირებადი სისტემების დამუშავება და გამოცდა საავტომობილო გვირაბში სიცოცხლის გადასარჩენად ხანძრის პირობებში“

გამოყენებული ლიტერატურა

Amelchukov S.P., Korotkov I.A., (2007), *Fire curtain*. Russian Patent, No. 2351378 C1, (Russian).

Atkinson G.T., Wu Y., (1996), *Smoke control in sloping tunnels*, Fire Safety Journal, **27**, 335–341.

Bettelini M., Rigert S., Seifert N., (2012), *Flexible devices for smoke control in road tunnels*, 6th International Conference “Tunnel Safety and Ventilation”, Graz, 265-272.

Beard A.N., Carvel R.O., (2005), *The Handbook of Tunnel Fire Safety*, Thomas Telford Publishing, London, 2005.

- Chow W.K. et al., (2015), *Smoke movement in tilted tunnel fires with longitudinal ventilation*, Fire Safety Journal, **75**, 14–22.
- Commission Directive 2004/102/EC, (2004), *On minimum safety requirements for tunnels in the Trans-European Road Network*, THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION, On line at: http://www.ocean-commerce.co.jp/ISPM_Report/pdf_countries/EUDirective2004102EC.pdf
- Deberteix P., Gabay D., Blay D., (2001), *Experimental study of fire-induced smoke propagation in a tunnel in the presence of longitudinal ventilation*, in Proceedings of the International Conference on Tunnel Fires and Escape from Tunnels, Washington.
- Fermi E. (1937) Thermodynamics, New York, Prentice-Hall Inc: 140.
- Ilias N., Lanchava O., Nozadze G., (2017), *Numerical modelling of fires in road tunnels with longitudinal ventilation system*, Supplement of Quality-Access to Success, Bucharest, **18**, 85-88.
- Ingason H., Li Y.Z., (2010), Model scale tunnel fire tests with longitudinal ventilation, *Fire Safety Journal*, **45**, 371–384.
- Ingason H., Li Y.Z., (2011), Model scale tunnel fire tests with point extraction ventilation, *Journal of Fire Protection Engineering*, **21**(1), 5-36.
- Lanchava O.A., (1982), [Heat and mass exchange in permanent mine workings](#), Soviet Mining **18** (6), 529-532.
- Lanchava O.A., (1986), [Heat and mass exchange in newly driven mine workings](#), Sov. Min. Sci. (Engl. Transl.); (United States) **21** (5).
- Lanchava O.A., Lebanidze Z.B., (1982), *Po povodu kollapsa sistemj ventilatsii tonnelia v sil'nom pojhare*, Transport, **3-4 (31-32)**, 29-31 (Russian).
- Lanchava O., Nozadze G., Bochorishvili N., Lebanidze Z., Arudashvili N., Jangidze M., Tsikarishvili K., (2014), *Criteria for evaluation of emergency firefighting in transport tunnels*, “Transport Bridge Europe-Asia”, Materials of International Conference, 29-34, Tbilisi.
- Lanchava O., Abashidze G., Tsverava D., (2017), [Securing fire safety for underground structures](#), Supplement of Quality-Access to Success, Bucharest, **18**, 45-50.
- Lanchava O., Ilias N., (2017), [Some issues of thermal calculation of ventilation air for the metro](#), Journal of Engineering Sciences and Innovation, Bucharest, **2** (2), 92-105.

- Lanchava O., Ilias N., (2018), [Complex calculation method of temperature, mass transfer potential and relative humidity for ventilation flow in subway](#), Journal of Engineering Sciences and Innovation, Bucharest, **3** (1), 69-84.
- Lanchava O., Ilias N., Nozadze G., Radu S.M., (2019, A), *Heat and hygroscopic mass exchange modelling for safety management in tunnels of metro*, **Supplement of Quality-Access to Success, Bucharest, 20**, 27-33.
- Lanchava O., Ilias N., Nozadze G., Radu S.M., Moraru R.I., Khokerashvili Z., Arudashvili N., (2019, B), *FDS modeling of the piston effect in subway tunnels*, Environmental Engineering and Management Journal, Vol. **18**, No. **4**, 317-325.
- Lanchava O., (2019), *Analysis of critical air velocity for tunnel fires controlled by ventilation*, Mining Journal, **1(42)**, 126-132, Tbilisi (Georgian).
- Lanchava O., Ilias N., (2020), [Critical velocity analysis for safety management in case of tunnel fire](#), MATEC Web of Conferences 305, 00023. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202030500023>
- Lanchava O., Nozadze G., Jangidze M., (2021), *A system of transformable barriers to localize fires and minimize life-threatening outcomes in road tunnels*. Patent of Georgia, *15411*. International index A 62 C 2/06.
- Lanchava O., Ilias N., Radu S.M., Jangidze M., Khokerashvili Z., (2021), *Fire development study on physical models of transport tunnels*, MATEC Web of Conferences 342, 03020 (2021). <https://doi.org/10.1051/mateconf/202134203020>
- Lanchava O., Javakhishvili G., (2021), *Impact of strong fires on a road tunnel ventilation system*, BULLETIN OF THE GEORGIAN NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, **15** (4), 38-45.
- Lia J., Li Y.F., Cheng C.H., Chow W.K., (2019), *A study on the effects of the slope on the critical velocity for longitudinal ventilation in tilted tunnels*, Tunneling and Underground Space Technology, **89**, 262-265.
- Lei P., Chen Ch., Zhang Y., Xu T., H. Sun H., (2021), *Experimental study on temperature profile in a branched tunnel fire under natural ventilation considering different fire locations*, International Journal of Thermal Sciences, **159**, 106631.
- Li Y.Z., Lei B., Ingason H., (2010), *Study of critical velocity and backlayering length in longitudinally ventilated tunnel fires*, Fire Safety Journal, **45**, 361-370.

- Li Y.Z., Ingason H., (2017), *Effect of cross section on critical velocity in longitudinally ventilated tunnel fires*, Fire Safety Journal, **91**, 303–311.
- Li Y. Z., Ingason H., Jiang L., (2018), *Influence of tunnel slope on smoke control*, RISE Research Institutes of Sweden, 22.
- Li Y.Z., Ingason H., (2018), *Overview of research on fire safety in underground road and railway tunnels*, Tunneling and Underground Space Technology, **81**, 568–589.
- Seitlinger G., (2002), *Safety device in case of tunnel fires*, German Patent, No. 10127091 A1, (German).
- Tang F., Cao Z.L., Palacios A., Wang Q., (2018), *A study on the maximum temperature of ceiling jet induced by rectangular-source fires in a tunnel using ceiling smoke extraction*, International Journal of Thermal Sciences, **127**, 329–334.
- TRANS/AC 7/9, (2001), *RECOMMENDATIONS OF THE GROUP OF EXPERTS ON SAFETY IN ROAD TUNNELS*, Economic and Social Council, Multidisciplinary Group of Experts on Safety in Tunnels, On line at: <https://unece.org/DAM/trans/doc/2002/ac7/TRANS-AC7-09e.pdf>
- TRANS/AC 7/11, (2002), *REPORT OF THE AD HOC MULTIDISCIPLINARY GROUP OF EXPERTS ON SAFETY IN TUNNELS ON ITS FIFTH SESSION*, Economic and Social Council, Multidisciplinary Group of Experts on Safety in Tunnels, On line at: <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2002/ac7/TRANS-AC7-11e.pdf>
- Vantelon J.P. et al., (1991), *Investigation of Fire-Induced Smoke Movement in Tunnels and Stations: An Application to the Paris Metro*. In IAFSS Fire Safety Science-Proceedings of the third international symposium. Edinburg.
- Vaitkevicius A., Carvel R., (2016), *Investigating the Throttling Effect in Tunnel Fires*, Fire Technology, **52**, 1619–1628.
- Vauquelin O., (2005), *Parametrical study of the backflow occurrence in case of a buoyant release*, Experimental Thermal and Fluid Science, **29**, 725-731.
- Vauquelin O., Telle D., (2005), *Definition and experimental evaluation of the smoke "confinement velocity" in tunnel fires*, Fire Safety Journal, **40**, 320-330.
- Wagner E.W., (2003), *Method and device for extinguishing fires in tunnels*, European Patent Office, No. EP 1312392 A1, (German).
- Wan H., Gao Z., Han J., Ji J., Ye M., Zhang Y., (2019), *A numerical study on smoke back-layering length*

and inlet air velocity of fires in an inclined tunnel under natural ventilation with a vertical shaft, International Journal of Thermal Sciences, **138**, 293–303.

Weng M.C. et al., (2016), *Study on the critical velocity in a sloping tunnel fire under longitudinal ventilation*, Applied Thermal Engineering, **94**, 422–434.

Yi L. et al., (2014), *An experimental study on critical velocity in sloping tunnel with longitudinal ventilation under fire*, Tunnelling and Underground Space Technology, **43**, 198-203.

Saving lives in a road tunnel using transformable elements restricting the propagation of fire products

Omar Lanchava¹, Leon Makharadze², Giorgi Nozadze², Marad Jangidze², Giorgi Javakhishvili², Teimuraz Kunchulia ¹, Zaza Khokerashvili ¹, Nino Arudashvili ¹, Davit Tsanava ¹, Samson Sebiskveradze ³

¹ Georgian Technical University

² G. Tsulukidze Mining Institute

³ LTD Lojini

Abstract

The paper considers various scenarios of fire development in road tunnels. The dynamics of combustion products propagation is studied by taking into account the fire strength, tunnel geometry and layout, and aerodynamics of the ventilation flow. The impact of strong fires on the sustainability and proper operation of ventilation systems is demonstrated, and different types of numerical models are considered with the FDS software environment. Theoretical and numerical experiments have demonstrated that strong fires in tunnels can induce dynamic pressures greater than the static pressures of the tunnel fans. The latter can change the direction of movement of ventilation flows in the tunnels with an inclination of 3% or more when the seat of fire is at a hypsometrical height lower than the air supply portal, thus drastically impairing the self-evacuation capability of people in the disaster zone. It was demonstrated that one of the most reliable ways to save lives in case of fire is to limit the spread of flue gases to prolong the time for evacuation. The paper proposes a transformable flexible system to save lives, which artificially increases the aerodynamic resistance of tunnels to prevent the propagation of harmful combustion products on the people's evacuation route. By considering the fire development scenarios in horizontal and inclined tunnels, the dynamics of the spread of the fire damaging factors when ventilation system is no longer operable and the only solution is the use of the flexible system is examined. The results of modeling evidence that by closing 50% of the tunnel cross-section with a flexible system it is possible to obtain important positive results in reducing the spread of combustion products and saving lives. The use of the

proposed system reduces the intensity of the spread of fire hazards and will definitely help the people in the disaster zone. The analysis carried out clearly shows its necessity and that the comprehensive study of fires and generalization of study results will be useful in adequate planning and implementing future measures to prevent and reduce their harmful effects. Following the above-mentioned, a detailed description, analysis and development of a clear algorithm of action of fire cases, and communicating the results to rescuers, tunnel service personnel and the general public are needed.

Key words: *Aerodynamic resistance, evacuation, flexible element, saving life, fire development under the ground*