



საგანგებო ვენტილაციის მარვენებლების ანალიზი საავტომობილო გვირაბისათვის

პროფესორი ომარ ლანჩავა
პროფესორი ნინო რატიანი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი,
სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტი,
შრომის უსაფრთხოებისა და საგანგებო
სიტუაციების მართვის დეპარტამენტი

მოხსენება კონკურსისათვის „წლის
საუკეთესო მიღწევა“
თბილისი, 2023 წელი



შესავალი

ზემოთ, მარჯვენა მხარეზე მოცემულია გაეროს ევროპული კომისიის დასკვნის პირველი გვერდი.



სხვა ქვეყნების ანალოგიურად, საქართველოს ეკონომიკის მდგრადობაც დიდადაა დამოკიდებული სატრანსპორტო სისტემის გამართულ მუშაობაზე. ამ სისტემაში გვირავი საკვანძო ელემენტია, რადგან გზის ყველაზე უფრო რთული მონაკვეთის გადალახვა მისი მეშვეობით ხდება და სწრაფდება ტვირთბრუნვა. გვირავი ზოგადად და განსაკუთრებით მაღალი გამტარებლობის პირობებში, იმავდროულად პრობლემური ელემენტიცაა, რადგან მასში მოსალოდნელია ხანძრის გაჩენა. ხანძრის შემთხვევებმა მსოფლიოს გვირავებში აჩვენა, რომ ხანძარს გვირავში აქვს უფრო მაღალი ტემპერატურა და არის უფრო დამანგრეველი, ვიდრე ეს ზოგადად არის მოსალოდნელი ღია სივრცეში. ამის გამო ხანგრძლივ უარყოფით გავლენას მოახდენს გვირავის ნორმალურ ფუნქციონირებაზე. გვირავების ფუნქციონირების ხანგრძლივი პერიოდით მოშლა კი გამოიწვევს პირდაპირ ზარალს, შეაფერხებს ეკონომიკის განვითარებას და ქვეყანას უმძიმეს მდგომარეობაში ჩააყენებს.

ამის გამო გვირავის უსაფრთხო ვენტილაციასთან დაკავშირებული საკითხების ახალი გადაწყვეტების შემოტანა მნიშვნელოვანია. აღნიშნულ გადაწყვეტებში გაანალიზებული უნდა იქნეს მსოფლიოს გვირავებში მომხდარი რეზონანსული ხანძრების მიზეზები და შედეგები. უფრო რეალისტურად უნდა იქნეს შეფასებული სავენტილაციო სისტემის შესაძლებლობები.



ამონარიდი გაეროს ევროპული კომისიის მოსხენებიდან - გვირაბის ხანძრის ანალიზი ექსპერტთა მიერ

REPORT OF THE AD HOC MULTIDISCIPLINARY GROUP OF EXPERTS ON
SAFETY IN TUNNELS ON ITS FIFTH SESSION

(17-18 January 2002)

ATTENDANCE

1. The Ad hoc Multidisciplinary Group of Experts on Safety in Tunnels held its fifth session in Geneva from 17 to 18 January 2002 under the chairmanship of Mr. Michel Egger (Switzerland). Representatives of the following ECE member States participated: Austria; Belgium; Finland; France; Germany; Italy; Netherlands; Norway; Slovakia; Switzerland; Turkey; and United Kingdom. The UNECE Trans-European North-South Motorway Project (TEM) was represented. The following international organizations participated: International Road Association (PIARC); International Tunnelling Association (ITA); International Road Federation (IRF); International Road Transport Union (IRU); and International Touring Alliance/International Automobile Federation (AIT & FIA). Representatives of the Swiss Touring Club (TCS) and the National Fire Protection Agency (NFPA) of the United States participated as observers.

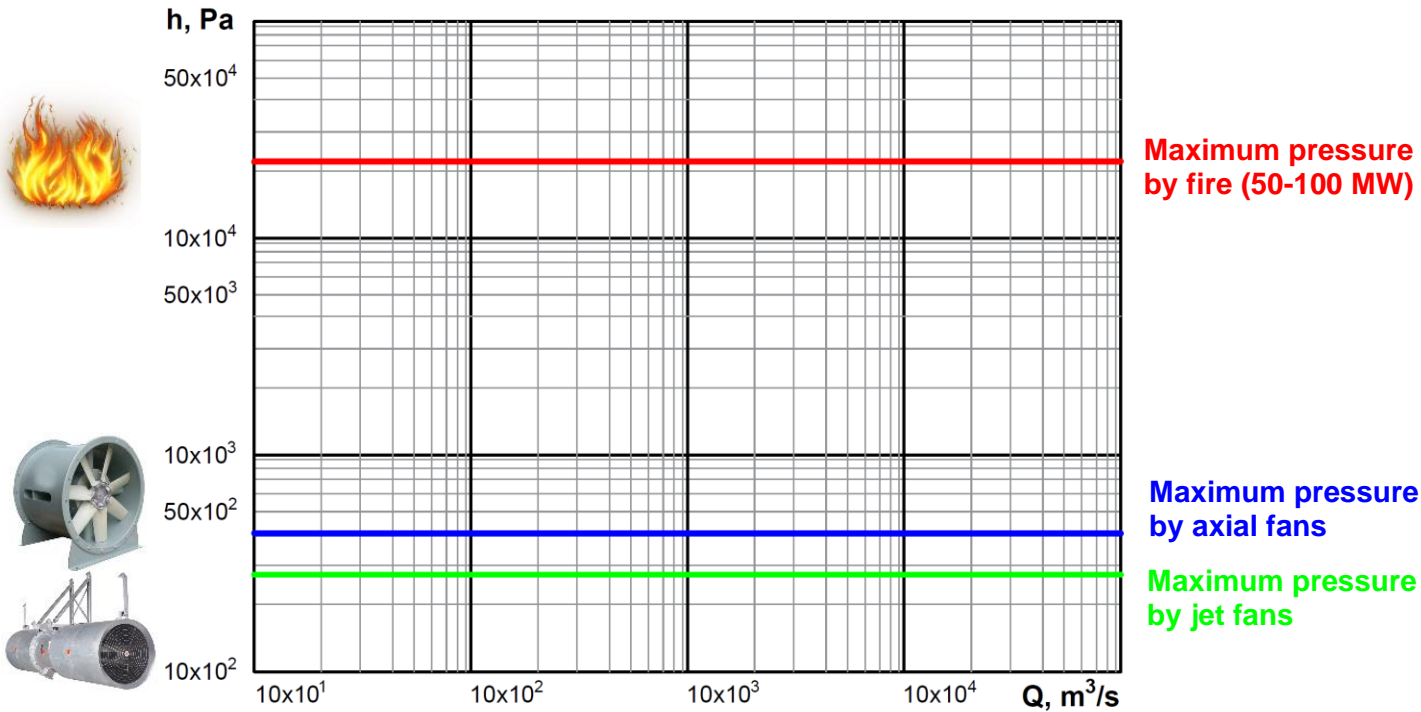
მარჯვნივ მოცემულია დოკუმენტის მე-2 გვერდი, სადაც ჩანს კომისიის სტატუსი. დასკვნის მე-8 პუნქტში აღნიშნულია, რომ გვირაბის ვენტილაცია მუშაობდა ეფექტურად, ხოლო მე-9 პუნქტის თანახმად, ადამიანები დაიღუპა ტოქსიკური აირებით სუნთქვის შედეგად, ანუ ვენტილაცია არ იყო ეფექტური.

მოგვყავს მითითებული პუნქტები: “8. The rescue team had arrived on the scene of the accident within 2 minutes. The smoke was contained in a two-kilometre stretch of the tunnel. All the tunnel facilities such as emergency lighting, ventilation, traffic management, etc. functioned as planned and efficiently. 9. The 11 victims were found 1 to 2 kilometers away from the fire. None of them had injuries. All died from toxic smoke inhalation. Some of the victims were found dead at the wheel of their vehicle...”



ტოქსიკური აირების არაპროგნოზირებადი გავრცელება

ტოქსიკური აირების არაპროგნოზირებადი გავრცელების მიზეზი არის ის გარემოება, ხანძარი აღძრავს ყველაზე მძლავრი ვენტილატორების სტატიკურ წნევაზე გაცილებით უფრო მეტ დინამიკურ წნევას. აღნიშნული მექანიკური და თერმული ნაკადების ალგებრულად შეკრების შემდეგ ხდება სავენტილაციო ნაკადის „გადაყირავება“, ანუ ტოქსიკური აირების არაპროგნოზირებადი გავრცელება მიწისქვეშა სივრცეში.



ნახაზი შედგენილია იდეალური აირების კლაპეირონის განტოლების გამოყენებით, საიდანაც ჩანს, რომ ხანძარი ერთი რიგით უფრო მაღალ წნევას აღძრავს საგვირაბე ვენტილატორებთან შედარებით, რომელთა დიამეტრი აღწევს 5 მ. ნამწვი აირები მაღალი ტემპერატურისა და დაბალი წნევის პირობებში დიდი უტყუარობით შესაძლებელია განვიხილოთ იდეალურ აირად.



კრიტიკული სიჩქარე და უკუდინების სიგრძე

კრიტიკული სიჩქარე არის უკუდინების გამომრიცხავი მინიმალური სიჩქარე, რომელიც უნდა მიენიჭოს სავენტილაციო ნაკადს.

ხანძრის შემთხვევაში გვირახის ვენტილაციის მნიშვნელოვანი ტექნოლოგიური პარამეტრებია: კრიტიკული სიჩქარე და უკუდინების სიგრძე. უკუდინება არის წვის პროდუქტების საპირისპირო გავრცელება აღმავალ სავენტილაციო ნაკადზე, ჰაერმიმწოდებელი გვირახის იმ ნაწილში, სადაც იდეის თანახმად, სუფთა ჰაერი უნდა იყოს. აღნიშნულს იწვევს წვის პროდუქტების მაღალი ტემპერატურა, ამის გამო მათი ნაკლები სიმკვრივე და ცურვადობა ამომგდები ძალის ხარჯზე და აგრეთვე, ყველა სახის ნაკადის ალგებრული შეკრებადობა. ეს მეტად საშიში მოვლენაა საგანგებო სიტუაციების მართვის თვალსაზრისით. აღნიშნულს განსაკუთრებით გამოკვეთილად ადგილი აქვს იმ შემთხვევაში, თუ ჰაერის ნაკადი მოძრაობს ჰიფსომეტრიულად მაღალი ნიშნულიდან დაბალისაკენ, ხოლო ხანძრის კერა არის დაბალ ნიშნულზე.

იმისათვის, რომ არ მოხდეს გვირახის სუფთა ჰავლიანი ნაწილის დაკვამლიანება, საჭიროა სუფთა ჰაერის ჰავლს ექნეს კრიტიკულ სიჩქარეზე უფრო მაღალი სიჩქარე. აქედან გამომდინარე, კრიტიკული სიჩქარის მქონე ჰავლი კვამლსა წვის სხვა მავნე პროდუქტებს ხანძრის კერიდან მხოლოდ ერთ მხარეზე გამოდევნის, ხოლო მეორე მხარეზე სუფთა ჰაერი უნდა იყოს იდეის თანახმად.

ავარიული ვენტილაციის სტრატეგიაში მთავარი იყო, რომ გრძივი ვენტილაციის პირობებში შესაძლებელი ყოფილიყო კვამლის კონტროლი ნებისმიერი სიმძლავრის ხანძრის შემთხვევაში. ამ მხრივ კრიტიკული სიჩქარის კონცეფციამ გადამწყვეტი მნიშვნელობა მიიღო საავტომობილო გვირაბებისათვის. ზემოაღნიშნული არის ტრადიციული, კლასიკური მიდგომა საკითხისადმი.

ტრადიციულმა მიდგომამ სიჩქარეზე როგორც ერთ-ერთი ძირითად პარამეტრზე და მასზე აქცენტირებამ მიჩქმალა ცეცხლისა და გვირახის სავენტილაციო ნაკადის ერთმანეთზე გავლენის სხვა საკითხების დამუშავება და ანალიზი, რომელიც ხელახლა გახდა აქტუალური წინ ჩვენს მიერ შესრულებული კვლევების მიხედვით. კლასიკური თეორია და პრაქტიკა არის კერძო შემთხვევა, რომელიც ძალაშია ჰორიზონტალური და მცირე დახრილობის გვირაბებისათვის, ხოლო სხვა შემთხვევაში კრიტიკული სიჩქარის ცნება აზრს კარგავს და საჭიროა ახლებური მიდგომა საგანგებო ვენტილაციის დასამუშავებელი თეორიისა და პრაქტიკისათვის



ხანძრის ტესტირება გვირაბის ფიზიკურ და რიცხვით მოდელებზე

სხვადასხვა სიმძლავრის ხანძრის ტესტირება მოვალდინეთ ნახევრად საველე, ლაბორატორიულ პირობებში და აგრეთვე რიცხვითი მოდელირებით. გამოყენებული იქნა მიწისქვეშ ხანძრის განვითარების 5 სხვადასხვა სცენარი, რომელთა აპროქსიმაცია მოხდა ანალიზურად და გრაფიკულად.

განხილული იქნა ვენტულაციის კრიტიკული სიჩქარის ცვალებადობა შემდეგი მოდელებისათვის:

ა - ფრუდის მოდელი (ფრუდის კრიტიკული რიცხვის მხედველობაში მიღებით)

$$u_c = \left[\frac{gQ_c}{\rho_0 c_p \left(\frac{Q_c}{\rho_0 c_p H u_c} + T_0 W \right) Fr_c} \right]^{1/3}$$

ბ - ატკინსონის მოდელი

$$u_c^* = \begin{cases} 0.7Q^{*1/3} & Q^* \leq 0.124 \\ 0.35 & Q^* > 0.124 \end{cases} \quad \text{სადაც} \quad u_c^* = \frac{u_c}{\sqrt{gH}}; \quad Q^* = \frac{Q}{\rho_0 c_p T_0 g^{0.5} H^{2.5}}$$

გ - ვუსა და ბაკარის მოდელი

$$u_{c,H}^* = \begin{cases} 0.68Q_{\bar{H}}^{*1/3} & Q_{\bar{H}}^* \leq 0.2 \\ 0.40 & Q_{\bar{H}}^* > 0.2 \end{cases} \quad \text{სადაც} \quad u_{c,H}^* = \frac{u_c}{\sqrt{g\bar{H}}}; \quad Q_{\bar{H}}^* = \frac{Q}{\rho_0 c_p T_0 g^{0.5} \bar{H}^{2.5}}$$

u_c - ვენტულაციის კრიტიკული სიჩქარე; g - აჩქარება; Q_c - სითბოს რაოდენობა; ρ_0 - გარე ჰაერის სიმკვრივე; c_p - ჰაერის იზობარული თბოტევადობა; H - გვირაბის სიმაღლე; W - გვირაბის სიგანე; T_0 - გარე ჰაერის ტემპერატურა; Fr_c - ფრუდის კრიტიკული რიცხვი; u_c^* - უგანზომილებო კრიტიკული სიჩქარე; Q^* - უგანზომილებო სითბოს რაოდენობა; \bar{H} - ჰიდრაულიკური დიამეტრი.



დ - კუნძის მოდელი, რომელშიც თეორიულად იძლევა გვირაბში კვამლის მოძრაობის ანალიზს. აჩვენებს კრიტიკული სიჩქარის ცვალებადობას სითბოს რაოდენობისა და გვირაბის გეომეტრიის მიხედვით.

$$u_c^* = 1.52Q^{*1/3} \frac{\sqrt{C_1 + (C_1 - C_2)6.13Q^{*2/3}}}{1 + 6.13Q^{*2/3}}$$

$$C_1 = \frac{1 - 0.1H/W}{1 + 0.1H/W} \left[1 + 0.1H/W - 0.015(H/W)^2 \right]$$

$$C_2 = 0.574X \frac{1 - 0.1H/W}{1 + 0.1H/W} (1 - 0.2H/W)$$

ე - ინგასონისა და ლის მოდელი (ექსპერიმენტები შესრულდა გვირაბის მოდელებისათვის გვერდების თანაფარდობით) $H/W = 1.0$ და $H/W = 1.15$

$$u_c^* = \begin{cases} 0.81Q^{*1/3} & Q^* \leq 0.15 \\ 0.43 & Q^* > 0.15 \end{cases}$$

წინამდებარე ნაშრომში მოცემული ექსპერიმენტები შესრულდა ლაბორატორიაში გვირაბის მოდელზე მასშტაბით 1:20, ხოლო გვერდების თანაფარდობა იცვლებოდა 1.00 – 1.33 ფარგლებში.

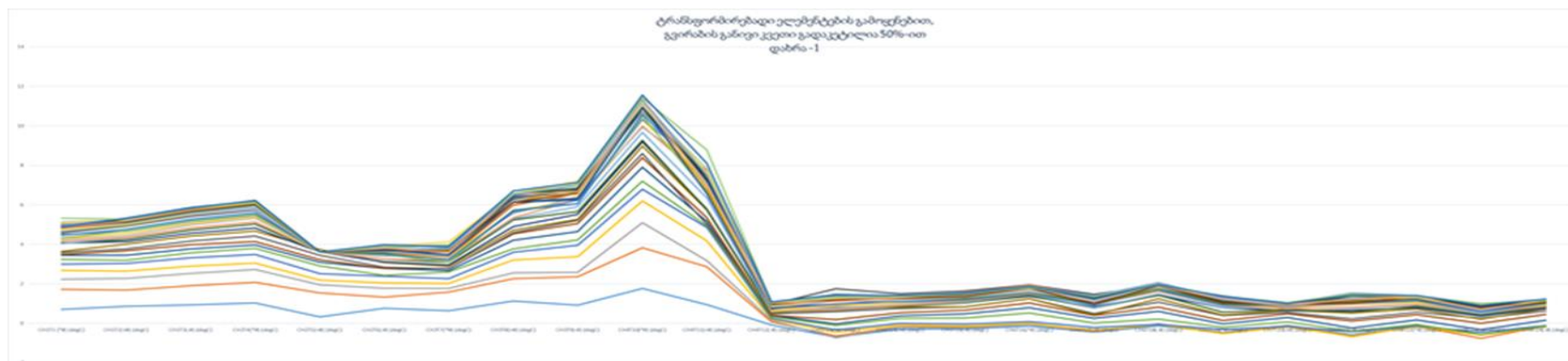
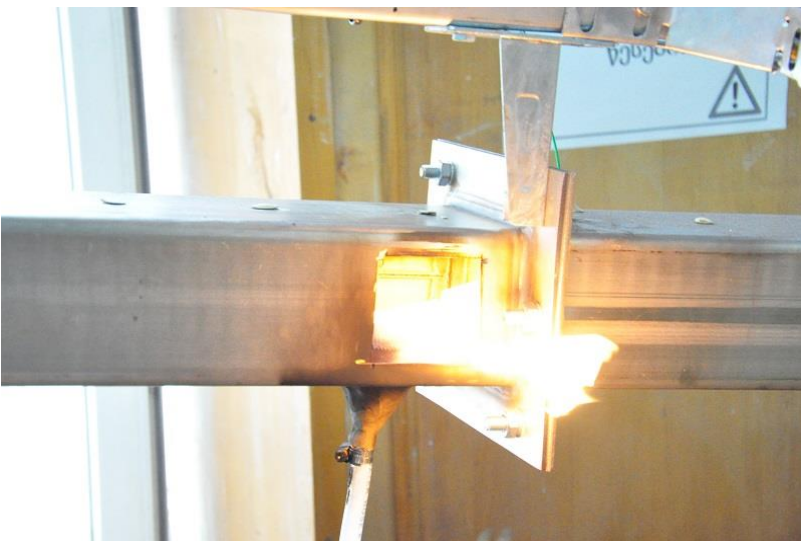


ხანძრის ტესტირება გვირაბის მოდელზე ნახევრად საველე პირობებში (ზემოთ მარცხნივ) და ლაბორატორიაში





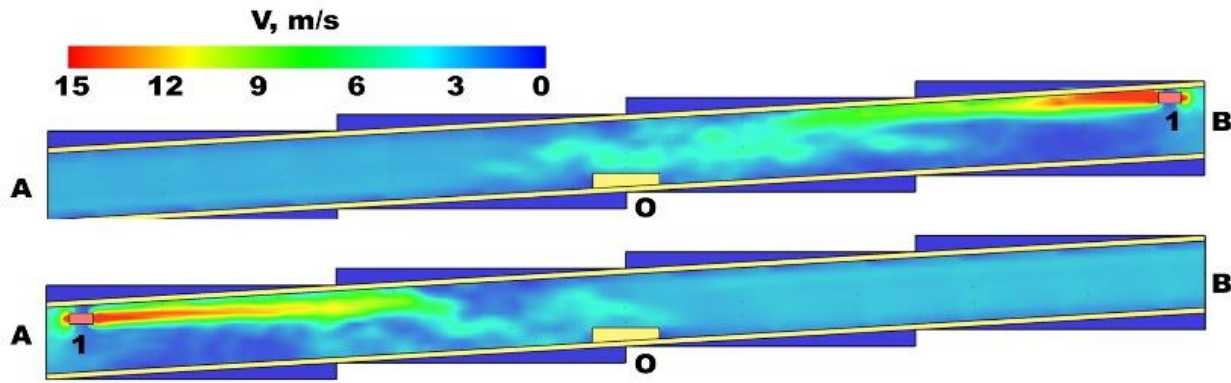
ხანძრის ტესტირება გვირაბის მოდელზე ლაბორატორიაში (საწვავი - გათხევადებული აირი), მარჯვნივ „დათა- თეიკერი“ და სხვა საზომი ხელსაწყოები



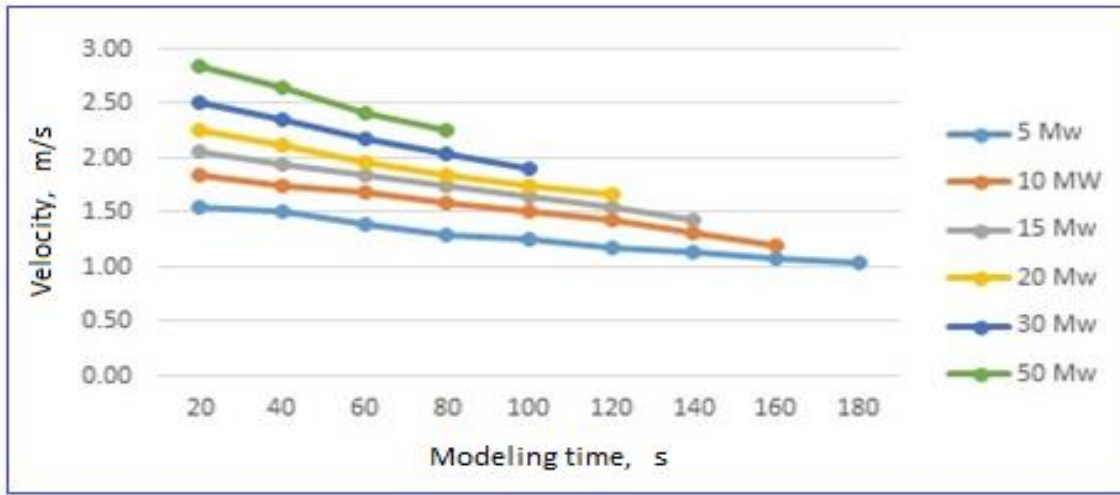
ხანძრის ტესტირების შედეგები: ჰაერის ტემპერატურის ცვალებადობის გრაფიკები, რომელთა პირველადი დამუშავება შესრულებულია „დათა-თეიკერის“ მიერ.



ხანძრის ტესტირება რიცხვით მოდელზე



აღმავალი და დაღმავალი ნაკადების მოდელირების საბაზო სქემები გვირახში: 1 - ჭავლური ვენტლატორი, რომელიც ამოქმედდება დროის მომენტისათვის $t = 0$ წმ; O - ხანძრის კერა, რომელიც ამოქმედდება დროის მომენტისათვის $t = 20$ წმ (როცა სუფთა ჭავლის ფრონტი მიაღწევს ხანძრის კერამდე და გასცდება მას). ზემოთ - დადებითი მიმართულების დაღმავალი სავენტლაციო ნაკადი; ქვემოთ - უარყოფითი მიმართულების აღმავალი სავენტლაციო ნაკადი



ჰორიზონტალურ გვირახში წვის პროდუქტების გავრცელების სიჩქარის ცვალებადობა რიცხვითი ექსპერიმენტით, როცა ცვალებადია ხანძრის სითბოს გამოყოფის მაჩვენებელი ბუნებრივი ვენტლაციის პირობებში



დასკვნა

ამგვარად, სითბოს გამოყოფის მაღალი მაჩვენებლის მქონე ძლიერი ხანძარი აღძრავს საგვირაბე ჭავლური ვენტულატორების სტატიკურ წნევაზე გაცილებით უფრო დიდ დინამიკურ წნევას. შესაბამისად, აღნიშნული სიდიდეებით გამოწვეული ნაკადები, მათი მოძრაობის სხვადასხვა მიმართულებების პირობებში, ალგებრულად შეკრების შემდეგ, იწვევენ ძლიერ უკუდინებას დაღმავალი სავენტილაციო ნაკადების შემთხვევაში. ამიტომ კრიტიკული სიჩქარის დეკლარირებული რიცხვითი სიდიდე 3 მ/წმ ამ შემთხვევაში ვერ უზრუნველყოფს უკუდინების თავიდან აცილებას, რაც მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული სახანძრო ვენტულაციის პროექტების შედგენის დროს, რადგან ამ დროს უარესდება უბედურების ზონაში მოხვედრილი ადამიანების თვითვეაკუაციის შესაძლებლობები.

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 საჭიროებას და მიღებული შედეგების გავრცელებას მაშველებზე, გვირაბის მომსახურე პერსონალსა და მთელ საზოგადოებაზე.



სამუშაო დაფინანსებულია შოთა რუსთაველის ეროვნული
სამეცნიერო ფონდის მიერ
საგრანტო პროექტი FR22 – 12949

პროექტის სამეცნიერო ხელმძღვანელი პროფ. ომარ ლანჩავა