



## ჰაერის კრიტიკული სიჩქარის ანალიზი ვენტილაციით კონტროლირებადი ხანძრისათვის გვირაბში

ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი ო. ლანჩავა

*ანოტაცია. ნაშრომში განხილულია ღია სივრცეში, გვირაბში და აპარტამენტში განვითარებული ხანძრების სცენარები. ძლიერი ხანძრების თეორიული ანალიზის საფუძველზე ნაჩვენებია გვირაბების სავენტილაციო სისტემების კოლასფისის შესაძლებლობა. მოცემულია ვენტილაციით კონტროლირებადი ხანძრის სიმძლავრის ცვალებადობის ხასიათი სავენტილაციო ნაკადის სიჩქარის მიხედვით. წვის პროდუქტების ეფექტურად სამართავი კრიტიკული სიჩქარის ანალიზი გაკეთებულია დიდი სიმძლავრის გვირაბის ხანძრებისათვის. ნაჩვენებია ფრუდის კრიტერიუმის კრიტიკული რიცხვითი სიდიდის ცვალებადობის ხასიათი კრიტიკული სიჩქარის მიხედვით. ნაჩვენებია ფრუდის კრიტიკული რიცხვით სარგებლობის მიზანშეუწონლობა დიდი სიმძლავრის ხანძრების კრიტიკული სიჩქარის ანალიზისათვის.*

*საკვანძო სიტყვები: გვირაბის ვენტილაცია; ვენტილაციით კონტროლირებადი ხანძარი; კრიტიკული სიჩქარე; უკუდინების სივრცე; ფრუდის კრიტერიუმი.*

### შესავალი

ხანძრის კერიდან გვირაბის გასწვრივ ორივე მიმართულებით შესაძლებელია გავრცელდეს სითბო, კვამლი და ტოქსიკური პროდუქტები, რომლებიც იწვევენ ადამიანების სხვადასხვა სიმძიმის დაზიანებას. ნებისმიერ შემთხვევაში, მიწისქვეშა ხანძარი იწვევს მძიმე შედეგებს, ხელისშემშლელი ფაქტორია ევაკუაციისა და სიცოცხლის გადარჩენის საქმეში, მნიშვნელოვნად ართულებს მაშველთა გუნდისა და მეხანძრეთა მუშაობის პირობებს.

გვირაბებში უკვე მომხდარი ხანძრების კერაზე ტემპერატურა აღწევს 1300-დან 1650 K-მდე. სამიტის გვირაბში (დიდი ბრიტანეთი) მომხდარი ხანძრის დროს



ტემპერატურა იყო  $1500^{\circ}C$ , ხოლო აგურის სამაგრი 10-15 მმ სისქის მდნარი მასით დაიფარა [1].

საავტომობილო გვირაბებში მომხდარი ძლიერი ხანძრებიდან აღსანიშნავია:

– იაპონიის „ნიჰომაკას“ გვირაბში მომხდარი ხანძარი, რაც განვითარდა 1979 წელს მანქანების შეჯახების შედეგად. ხანძარი მძვინვარებდა 4 დღე-ღამის განმავლობაში და მისი ლოკალიზაცია მოხერხდა მხოლოდ მას შემდეგ, რაც გვირაბში ყველა სახის წვადი მასალა ამოიწურა;

– აშშ-ის „კალდეკოტის“ გვირაბში 1982 წელს. ნასვამი მძლოლის მიზეზით მომხდარი ავარია, რომელსაც მოჰყვა ძლიერი ხანძარი, დაიღუპა 7 ადამიანი;

– საფრანგეთში დასახლებულ პუნქტ Beaun-თან 1982 წელს მომხდარი ხანძარი, რომლის შედეგად დაიღუპა 53 ადამიანი, მათ შორის 44 ბავშვი;

– საფრანგეთ-იტალიის „მონზლანის“ გვირაბის ხანძარი 1999 წელს. ხანძარი გაჩნდა ავტომანქანის ძრავაში, მძლოლმა ვერ შეძლო რა მისი ჩაქრობა, მიატოვა მანქანა და ფეხით წავიდა იტალიის მიმართულებით. სანამ გვირაბის დირექცია დაკეტავდა გვირაბს, ყველა მანქანა, რომელიც შევიდა საფრანგეთის მხრიდან მოჰყვა ხანძრის ტოქსიკური პროდუქტების გავლენის არეალში და არავინ არ გადარჩენილა, ხოლო იტალიის მხრიდან შესულ მანქანებში ყველა გადარჩა. ტოქსიკური აირები ვრცელდებოდა იტალიის მიმართულების პორტალიდან საფრანგეთის მხარეზე 1 მ/წმ სიჩქარით, მძვინვარებდა 53 საათის განმავლობაში. 5 დღის განმავლობაში ხანძრის ჩაქრობის შემდეგ, ცხელი აირები გამოდიოდა გვირაბიდან ბუნებრივი წევით. 40 ადამიანი, მათ შორის 1 მეხანძრე დაიღუპა, მოცემული გვირაბისათვის ეს იყო რიგით მე-18 და ყველაზე ძლიერი ხანძარი 1965 წლიდან;

– ავსტრიის ტაუერნის გვირაბში 1999 წელს მომხდარი ხანძარი ავტომანქანების შეჯახების შედეგად გრძელდებოდა 15 სთ-ის განმავლობაში;

– შვეიცარიის „გოტარდის“ გვირაბში მომხდარი ხანძარი 2001 წელს, რომელიც გაჩნდა ავტომანქანების შეჯახების შედეგად, გრძელდებოდა 20 სთ-ის განმავლობაში [2].



საზოგადოების დიდი ყურადღება მიიქცია მე-20 საუკუნის ბოლოს და 21-ე საუკუნის დასაწყისში მომხდარმა ხანძრებმა ჟურნალისტების აქტიურობის შედეგად. გარდა ზემოაღნიშნული ხანძრებისა, აღნიშნულზე დიდი გავლენა მოახდინა აგრეთვე სხვა სატრანსპორტო გვირაბებში მომხდარმა ხანძრებმა. კერძოდ, ბაქოს მეტროში 1995 წელს მომხდარმა ძლიერმა ხანძარმა რომლის დროსაც დაიღუპა 200-ზე მეტი ადამიანი, 2003 წელს სამხრეთ კორეის დაეგუს მეტროში ბოროტი განზრახვით გაჩენილმა ხანძარმა, რომლის დროსაც ასევე 200-მდე ადამიანი დაიღუპა. ავსტრიის ქალაქ კაპრუნის ინციდენტი 2000 წელს, როცა ფუნიკულორის მატარებელში ხანძრის შედეგად 151 ადამიანი დაიღუპა. იმავე ხანძარმა იმსხვერპლა შემხვედრი მატარებლის მემანქანე და ზედა პორტალთან ტრანსპორტის მომლოდინე 3 ადამიანი.

აღნიშნული დიდად საყურადღებოა. გაეროს ევროპულ კომისიაში საერთაშორისო ექსპერტების ჯგუფები შეიქმნა, რომლებსაც განრიგით ხელმძღვანელობდნენ ევროკავშირის წევრი ქვეყნების ტრანსპორტის მინისტრები. აღნიშნული ჯგუფი ამზადებდა და პერიოდულად გამოსცემდა სათანადო დოკუმენტებს, რომელთა მცირე ნაწილი მოცემულია ლიტერატურულ წყაროებში [2-10].

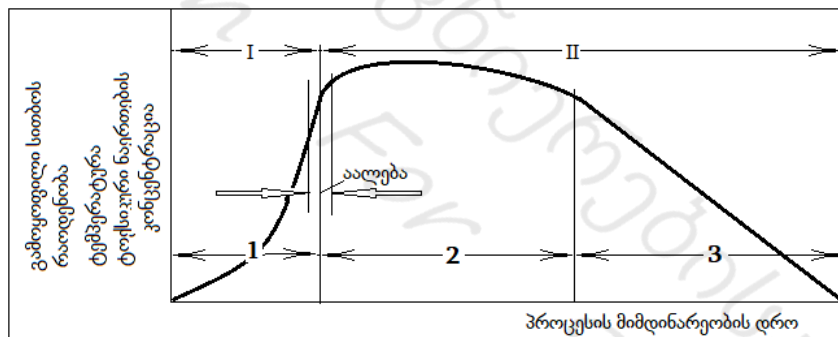
## გვირაბის ხანძარი და ღია ხანძარი

გვირაბის ხანძარი ღია ხანძრისაგან მინიმუმ ორი მნიშვნელოვანი განსხვავებით ხასიათდება: 1. წვადი მანქანებისაგან გამოყოფილი სითბო უფრო მეტად საგრძნობია მიწისქვეშ, რადგან სივრცე ჩაკეტილია და წვის პროდუქტების დისიპაცია შედარებით ნაკლებია; 2. შესაძლებელია ნაკადის უკუდინების წარმოქმნა, რაც ცვლის ვენტილაციის სქემას და ხშირ შემთხვევაში იწვევს მის კოლაფსს [12-14].

ღია ადგილებისაგან განსხვავებით, გვირაბში ჟანგბადი ყოველთვის არ არის საკმარისი და ამიტომ გვხვდება ორი ტიპის ხანძარი: ა) საწვავით კონტროლირებადი ხანძარი (სკხ) და ბ) ვენტილაციით კონტროლირებადი ხანძარი (გკხ). სკხ-ის შემთხვევაში ჰაერის რაოდენობა დიდია და ხანძრის სიმძლავრეს (სითბოს, კვამლის,

ტოქსიკური ნაერთების რაოდენობას) განაპირობებს საწვავის რაოდენობა. ასეთი ხანძრის პირობებში, ჰაერის დიდი რაოდენობის გამო, წვის პროდუქტების კონცენტრაცია ჰაერში დაბალია. ვკხ-ის შემთხვევაში ხანძრის სიმძლავრეს განაპირობებს ჰაერის ხარჯი, რადგან საწვავის რაოდენობა ამ შემთხვევაშიც დიდია. წვის პროდუქტების კონცენტრაცია მაღალია და შესაძლებელია წარმოიქმნას აქროლადების აფეთქების საშიშროება დიდი კონცენტრაციისას.

ამგვარად, იმისდა მიუხედავად, გვირაბში წვა მიმდინარეობს ბუნებრივი, თუ ხელოვნური ვენტილაციის პირობებში, ყოველთვის გვხვდება ორი ტიპის ხანძარი: საწვავით კონტროლირებადი და ვენტილაციით კონტროლირებადი. ორივე შემთხვევაში ხანძრის განვითარება ხდება ნახაზზე 1 ნაჩვენები სქემით. აღსანიშნავია, რომ მხოლოდ ვკხ-ის შემთხვევაში არის მოსალოდნელი ჰაერის ნარევის აფეთქება.



ნახ. 1. ხანძრის განვითარების გრაფიკული გამოსახულება: I - აალებამდელი პერიოდი; II - აალების მომდევნო პერიოდი; 1 - აღმავალი ფაზა; 2 - სრული სიმძლავრის ფაზა; 3 - მიღევადი ფაზა

## სავენტილაციო სისტემის კოლაფსი

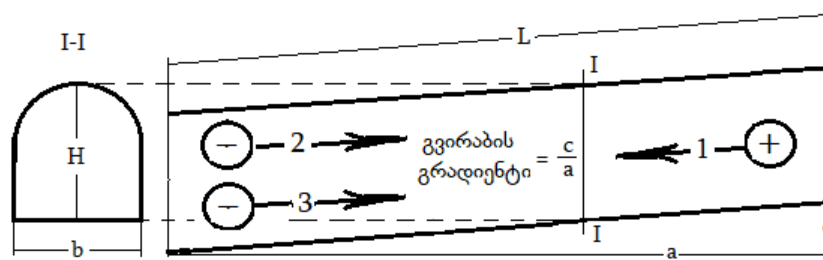
სამეცნიერო მიმოქცევაში შემოღებული გვაქვს ძლიერი ხანძრების კვლევის ამოსავალი პრინციპი, რაც იმაში მდგომარეობს, რომ ხანძრის პირობებში, გარკვეული პერიოდის შემდეგ, ვენტილატორების მუშაობის გავლენა სავენტილაციო ნაკადზე

კლებადობით ხასიათდება იმისდა მიუხედავად, თუ რა მიმართულებით განვითარდება მაღალი ტემპერატურის გავლენა - ეს იქნება ხანძრით გამოწვეული დინამიკური წნევის გაზრდა, ჰაერის სიმკვრივის შემცირება, თუ ორივე ერთად. მაშასადამე, კოლაფსი არის ძლიერი და სწრაფად განვითარებადი ხანძრის შედეგად გვირახის სავენტილაციო სისტემის დეპრესიის თანაზომადი დომინანტური დინამიკური წნევის აღძვრისა და გავრცელების პროცესი [15-18]. აღსანიშნავია, რომ ხანძრის მიერ განვითარებული დინამიკური წნევა ვენტილატორის მიერ განვითარებულ წნევასთან ალგებრულად იკრიბება.

კოლაფსთან ძალიან ახლოსაა FDS მოდელირებით მიღებული შედეგი, რომელიც მოცემულია ნაშრომში [19], სადაც კერძოდ აღნიშნულია, რომ ხანძარს აქვს ტენდენცია შეეწინააღმდეგოს სავენტილაციო ჭავლის გავრცელებას, რაც უფრო დიდია ხანძარი, მით უფრო მეტია წინაღობა. ცხადად არის ნაჩვენები, რომ სულ უფრო მეტი ჭავლური ვენტილატორი არის საჭირო წვის პროდუქტების გვირახიდან არინებისათვის ხანძრის ზრდისაგან დამოკიდებულებით. ნაშრომში [20] აღნიშნულია, რომ გვირახში ხანძრის კერაზე აეროდინამიკური წინაღობა 6-ჯერ მაინც იზრდება.

## სავენტილაციო ნაკადის მოძრაობის მიმართულების ნიშანი

იმის გამო, რომ ხანძრის მიერ აღძრული დეპრესია და ვენტილატორის დეპრესია ალგებრულად იკრიბება, შესაძლებელია კანონზომიერი ხასიათი მიეცეს დახრილ გვირახებში სავენტილაციო ნაკადის მოძრაობის დადებით და უარყოფით მიმართულებების შერჩევის საკითხს, რასაც ჯერ-ჯერობით ადგილი არ აქვს.





ნახ. 2. სუფთა ჰაერისა და წვის პროდუქტების მოძრაობის მიმართულებები გვირაბის გრადიენტის მიხედვით: 1 - სუფთა ჰაერის მოძრაობის დადებითი მიმართულება (დაღმავალი); 2 - სუფთა ჰაერის მოძრაობის უარყოფითი მიმართულება (აღმავალი); 3 - წვის პროდუქტების მოძრაობის ბუნებრივი მიმართულება (უარყოფითი, აღმავალი):  $L$  - გვირაბის სიგრძე, მ;  $b$  - გვირაბის სიგანე, მ;  $H$  - გვირაბის სიმაღლე, მ;  $a$  - გვირაბის სიგრძის ჰორიზონტალური პროექცია, მ;  $c$  - გვირაბის ვერტიკალური სიმაღლე, მ

ვინაიდან ხანძრის მოვლენა უარყოფითია საზოგადოდ, ამიტომ ხანძრის მიერ აღძრული წვევის მიმართულება უარყოფითად უნდა ჩაითვალოს. შესაბამისად, ვენტილაციის დადებითი მიმართულება იქნება საპირისპირო, ანუ მაშინ, თუ სუფთა ჰაერის შემოსასვლელი ჰიფსომეტრიულად უფრო მაღლაა განლაგებული, ვიდრე ხანძრის კერა. მაშასადამე, სუფთა ჰაერის მოძრაობის დადებითი მიმართულება არის დაღმავალი, ხოლო უარყოფითი მიმართულება - აღმავალი. წვის პროდუქტების მოძრაობის ბუნებრივი მიმართულება ყოველთვის არის აღმავალი და უარყოფითი (იხ. ნახ. 2).

სხვადასხვა სამეცნიერო ლიტერატურაში სავენტილაციო ნაკადის მოძრაობის დადებით და უარყოფითი მიმართულებად, პირობითად, მიღებულია როგორც აღმავალი, ისე დაღმავალი ნაკადები და სრული გაურკვევლობაა ამ მხრივ.

## გვირაბისა და აპარტამენტის ხანძარი

იმის გამო, რომ ხანძარი შესაძლებელია გაჩნდეს მატარებლის ვაგონში ან სხვა სატრანსპორტო საშუალებაში, საჭიროა ხანძრის განვითარების თავისებურების ცოდნა ამ შემთხვევისათვის, რომელიც უფრო ახლოსაა აპარტამენტის ხანძართან (აბ), ვიდრე გვირაბის ხანძართან (გბ).

შევნიშნოთ, რომ გვირაბისა და აპარტამენტის ხანძრები ერთმანეთისაგან მინიმუმ ოთხი ნიშნით მაინც განსხვავდებიან:

1. იმისდა მიუხედავად, თუ როგორ ხდება გვირაბის ვენტილაცია: ბუნებრივი, თუ მექანიკური წვევის გზით, თვით სატრანსპორტო საშუალებაში წვა ყოველთვის



ნაკარნახებია ბუნებრივად, ღიობებში შესული ჰაერის გავლენით. ამ შემთხვევაში ვენტილაციის ფაქტორი განპირობებულია ღიობის (ფანჯრის, კარების) გეომეტრიით, საიდანაც შემოდის ჰაერი და იანგარიშება ფორმულით  $A_0\sqrt{h_0}$ , ( $m^{5/2}$ ), სადაც  $A_0$  არის ღიობის განივი კვეთის ფართობი,  $m^2$ ;  $h_0$  - ღიობის სიმაღლე,  $m$ . როგორც ცნობილია, გბ-ის მაჩვენებლები გეომეტრიის გარდა დამოკიდებულია გვირაბის დახრილობაზე, გარშემომცველი მასივის თვისებებზე (რომელიც შესაძლებელია თვითონ იყოს წვადი, ან გამოყოფდეს წვად აირებს), მეტეოროლოგიურ პირობებზე პორტალებთან, პორტალების ტოპოლოგიაზე და ა.შ. აპარტამენტის ხანძარი პრაქტიკულად, ყოველთვის არის ვენტილაციით კონტროლირებადი და შესაბამისად, წვის პროდუქტების აფეთქებადობით ხასიათდება.

2. პიკურ მაჩვენებელზე გასვლა ახ-ში უფრო სწრაფად ხდება, ვიდრე გბ-ში. საზოგადოდ, პიკურ მაჩვენებელზე გასვლა დროის კლებადობის ნიშნით ასეთია: გვირაბის, აპარტამენტისა და ღია ხანძრები. ადვილი მისახვედრია, რომ ახ-ს ახასიათებს აფეთქების შესაძლებლობა უფრო მეტად, ვიდრე გბ-ს, რადგან ეს უკანასკნელი შესაძლებელია იყოს საწვავით კონტროლირებადიც.

3. გბ-ს ახასიათებს უკუდინების მოვლენა, ხოლო ახ-ს უკუგაჭოლვა, რაც არის ვკბ-ის პირობებში ვენტილაციის რეჟიმის მკვეთრი შეცვლა, ჟანგბადის მატება ჰაერთან ერთად და ხანძრის გაძლიერება.

4. კვამლისა და წვის პროდუქტების სტრატეფიკაცია. ახ-ში წვის პროდუქტები ზემოთაა, ხოლო ქვემოთ არის ცივი ჰაერი. გბ-ებში ანალოგიური სტრატეფიკაცია დამახასიათებელია ვენტილაციის განივი სისტემისათვის, რომელიც შედარებით იშვიათად გამოიყენება სიძვირის გამო. აღსანიშნავია, რომ შემოთავაზებული გვაქვს მოქნილი სავენტილაციო სისტემა, რომელიც ხელს უწყობს ბიფურკაციული (დაყოფილი) ნაკადების წარმოქმნას და გამოსაყენებელია ევაკუაციისა და ხანძრის ქრობის სტადიებზე იაფფასიანი გრძივი სავენტილაციო სისტემის პირობებშიც. აღნიშნულ სისტემაში ბიფურკაციულ ნაკადებს შორის ზღვარი გრძელ გვირაბებში ადვილად იშლება და განსაკუთრებით, უკუდინების შემთხვევაში. ერთი გაზის



ტივტივადობის უნარს მეორის მიმართ უჩვენებს უგანზომილებო პარამეტრი - რიჩარდსონის რიცხვი ( $Ri$ ), რომელიც უჩვენებს მასების გაცვლას შრეებს შორის და განსხვავდება აღნიშნულით ფრუდის ( $Fr$ ) რიცხვისაგან, რომელიც შრის ზოგად ფორმას აჩვენებს სავენტილაციო ნაკადში. ვენტილაციით კონტროლირებადი გვირაბის ხანძრებისათვის რიცხვითი ანალიზით მიღებული შედეგები მოცემულია ნაშრომებში [21-25].

## კრიტიკული სიჩქარის ანალიზი

სუფთა ჰაერის დაღმავალი მოძრაობის შემთხვევაში განსაკუთრებით გამოკვეთილია კვამლისა და წვის სხვა პროდუქტების საპირისპირო მოძრაობა - უკუდინება. უკუდინების კრიტიკული სიჩქარე და უკუდინების სიგრძე არის მნიშვნელოვანი ტექნოლოგიური პარამეტრები, რომლებიც განსაზღვრავენ და განაპირობებენ ევაკუაციის მეთოდებსა და ხანძართან ბრძოლის საშუალებებს.

კრიტიკული სიჩქარე განიმარტება როგორც გრძივი ვენტილაციის მინიმალური სიჩქარე, რომელიც გამორიცხავს კვამლის უკუნაკადის წარმოქმნას, ანუ ეს სიჩქარე არის წვის პროდუქტების გავრცელების საკონტროლო მაჩვენებელი. ფართოდაა შესწავლილი ჰორიზონტალურ გვირაბში კრიტიკული სიჩქარის დამოკიდებულება თბოგამოყოფაზე, ხოლო დახრილ გვირაბებს ნაკლები ყურადღება ექცევა სირთულის გამო.

უკუდინების სიგრძის ფარგლებში კვამლი ვრცელდება სავენტილაციო ნაკადის საპირისპიროდ. აღნიშნული განსაკუთრებით ინტენსიურია მაშინ, თუ სავენტილაციო ნაკადი მოძრაობს მაღალი ნიშნულიდან დაბლისაკენ, ხოლო ხანძრის კერა არის დაბალ ნიშნულზე. უკუდინების სიგრძე უფრო მნიშვნელოვანი მაჩვენებელია ხანძრის ქრობის სტადიაზე, ხოლო კრიტიკული სიჩქარის გამოყენება



უფრო დამახასიათებელია ევაკუაციისათვის. სტატიის მოცულობიდან გამომდინარე, აქ მხოლოდ კრიტიკულ სიჩქარეზე შევაჩერებთ მკითხველის ყურადღებას.

დახრილ გვირაბში კრიტიკული სიჩქარის  $u_c$  რიცხვითი მნიშვნელობის გამოთვლა შესაძლებელია ჰორიზონტალური გვირაბისათვის კრიტიკული სიჩქარის  $u_{c(0)}$  მიხედვით შემდეგი განტოლებით [26]

$$u_c = K_g u_{c(0)}, \quad (1)$$

სადაც  $K_g$  არის გრადიენტ-ფაქტორი, რომელიც გამოიყენება ხანძრების შემთხვევაში დახრილი გვირაბებისათვის.

NFPA 502 გვთავაზობს გრადიენტ-ფაქტორის განტოლებას დახრილი გვირაბებისათვის

$$K_g = 1 + 0.0374s^{0.8}, \quad (2)$$

სადაც  $s$  არის გვირაბის დახრილობა, %, რომელიც განისაზღვრება აწევის სიმაღლის ფარდობით ჰორიზონტალურ სიგრძესთან (იხ. ნახ. 2). სხვა სიტყვებით, თუ კუთხე უდრის  $\theta$ -ს, მაშინ გვირაბის დახრილობა არის  $tg\theta$ . ფორმულაში (2)  $s$  არის დახრილობა, გამოსახული პროცენტებში, ანუ  $s = 100tg\theta$ .

კრიტიკული სიჩქარის გამოთვლა შესაძლებელია ფორმულით

$$u_c = k \left( \frac{g \dot{Q}_c H}{\rho_0 c_p A T} \right)^{1/3}, \quad (3)$$

სადაც  $k$  არის პროპორციულობის მუდმივა;  $g$  - თავისუფლად ვარდნილი სხეულის აჩქარება, მ/წმ<sup>2</sup>;  $\dot{Q}_c$  - ხანძრის შედეგად გამოყოფილი კონვექციური სითბო, კვტ;  $H$  - გვირაბის სიმაღლე, მ;  $\rho_0$  - გარე ჰაერის სიმკვრივე, კგ/მ<sup>3</sup>;  $c_p$  - ჰაერის კუთრი თბოტევადობა, კჯ/(კგ·K);  $T$  - კვამლის საშუალო ტემპერატურა, K;  $A$  - გვირაბის განივი კვეთის ფართობი, მ<sup>2</sup>.

პროპორციულობის მუდმივა განისაზღვრება ფორმულით

$$k = Fr_c^{1/3}, \quad (4)$$

სადაც  $Fr_c$  არის ფრუდის კრიტიკული რიცხვი, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით

$$Fr_c = \frac{\Delta \rho g H}{\rho_0 u_c^2}, \quad (5)$$

სადაც  $\Delta\rho$  არის სიმკვრივეთა სხვაობა გარე ჰაერსა და კვამლს შორის, კგ/მ<sup>3</sup>.

კვამლის საშუალო ტემპერატურა გამოითვლება ფორმულით

$$T = T_0 + \frac{Q_c}{\rho_0 c_p A u_c}, \quad (6)$$

სადაც განმარტებული სიდიდეების გარდა  $T_0$  არის გარე ჰაერის ტემპერატურა,  $K$ .

აღსანიშნავია, რომ  $u_c$  კრიტიკული სიჩქარის განსაზღვრისათვის ფორმულა (3), საჭიროა  $k$  პროპორციულობის მუდმივასა და  $T$  კვამლის საშუალო ტემპერატურის ცოდნა, ხოლო მათი საანგარიშო ფორმულები (4)-(6) შეიცავენ საძიებელ სიდიდეს  $u_c$  - ს. აღნიშნულის დასაძლევად შემოიტანეს 4.5-ის ტოლი ფრუდის კრიტიკული რიცხვი, რაც, როგორც ქვემოთ დავინახავთ, არ არის პრობლემის გადაჭრის გზა.

უკუდინების კრიტიკული სიჩქარე ფრუდის კრიტერიუმს პირველად დაუკავშირა თომასმა [27], აღნიშნა რა, რომ წვის პროდუქტებისა და ჰაერის ნარევის დინების ხასიათი დამოკიდებულია კვამლის ტივტივადობისა და სავენტისა და ნაკადის ინერციული ძალების ფარდობაზე, რომელიც გამოხატულია ფრუდის კრიტერიუმით და მცირე მასშტაბის სპირტის ალის მიხედვით შემოიტანა კრიტერიუმის კრიტიკული რიცხვითი სიდიდე 1-ის ტოლი, რაც აგრეთვე ნიშნავს, რომ  $k = 1$  ფორმულა (4)-ის თანახმად და არ ნიშნავს, რომ  $T \approx T_0$ , როგორც აღნიშნულია ლიტერატურაში [20].

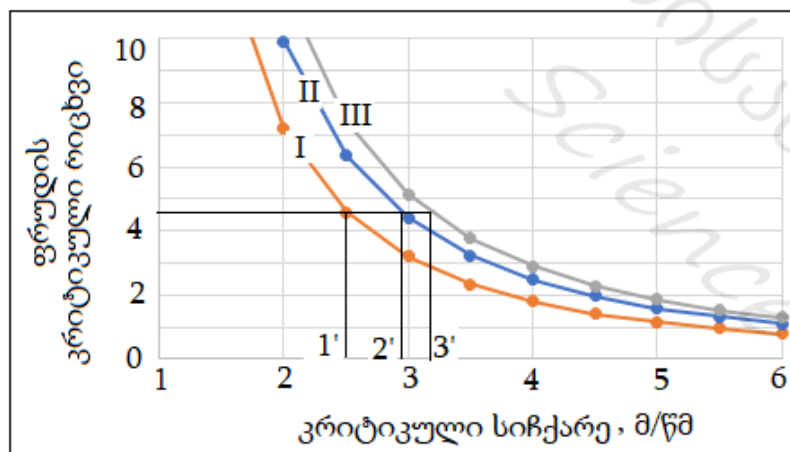
ლისა და სხვების ნაშრომში [28] შესწავლილი იყო 0,3X0,3X10 მ ზომების შეშის ხერგილისაგან გამოწვეული ხანძარი აეროდინამიკურ მილში და აღნიშნული იყო, რომ ხანძრის კერაზე აეროდინამიკური წინაღობა 6-ჯერ მატულობდა სავენტისა და ნაკადისათვის, ხოლო ხანძრის მიღმა ორივე მხარეზე - დაახლოებით 1,5-ჯერ. უკუდინება შეიმჩნეოდა, როცა ხანძრის კერაზე დროსელირებული სავენტისა და ნაკადის სიჩქარე შეადგენდა 0,6 მ/წმ-ს, რაც შეესაბამებოდა ფრუდის კრიტერიუმის რიცხვით სიდიდეს  $\sim 7$ .

დანზიგერმა და კენედიმ [29], ისე, რომ არ შეუსწავლიათ პროცესები სათანადო სიღრმით, რეინოლდსის რიცხვის მსგავსად ელოდნენ რა, რომ ფრუდის

კრიტერიუმსაც ექნებოდა კრიტიკული რიცხვითი სიდიდე, კრიტიკული რიცხვითი მნიშვნელობა 4.5 შემოიტანეს თითქოსდა ლისა და სხვების მითითებული ნაშრომის მიხედვით, რომელიც მრავალი ავტორის მიერ განხილვის საგანი იყო წლების განმავლობაში კრიტიკული სიჩქარისა და უკუდინების მანძილთან დაკავშირებით. ანალოგიურია კენედის მოხსენება „კრიტიკული სიჩქარე: წარსული, აწმყო და მომავალი“, რომელიც მან გააკეთა 1996 წელს ლონდონში სემინარზე „კვამლი და კრიტიკული სიჩქარე გვირაბებში“ [30].

აღნიშნული დაშვება საკითხს ამარტივებს, რადგან ამ შემთხვევაში ფორმულა (4)-ის მიხედვით კოეფიციენტი  $k = 0.606$ , მაგრამ არ არის მართებული. ანალოგიური დაშვებით შეგვიძლია აგრეთვე მივიღოთ კრიტიკული სიჩქარის ცვალებადობის ერთი და იგივე დიაპაზონი და პრობლემა საერთოდ მოიხსნება. აღნიშნული ილუსტრირებულია ნახაზზე 3.

ნახაზიდან 3 ჩანს, რომ კრიტიკული სიჩქარის რიცხვითი სიდიდე იცვლება 2.5-3.2 მ/წმ-ის ფარგლებში, იმ პირობით, თუ  $Fr_c = 4.5$ . სინამდვილეში კრიტიკული სიჩქარის ცვალებადობის დიაპაზონი უფრო ფართოა და შესაბამისად, ფრუდის რიცხვი არ არის 4.5-ის ტოლი.

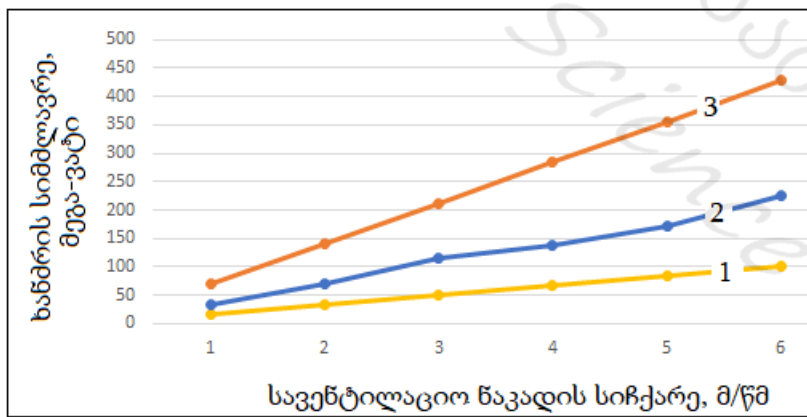


ნახ. 3. ფრუდის კრიტიკული რიცხვის ცვალებადობა კრიტიკული სიჩქარის მიხედვით, როცა გვირაბის სიმაღლე არის 6 მ, გარე ჰაერის ტემპერატურა -29 K, კვამლის საშუალო ტემპერატურების შესაბამისად: I-573; II-903; III-1373 K

აღსანიშნავია, რომ ნახაზზე 3 მოცემული გრაფიკები შეესაბამება ვენტილაციით კონტროლირებად ძლიერ ხანძრებს, რომელთა სიმძლავრის ცვალებადობის ხასიათი სავენტილაციო ნაკადის სიჩქარის მიხედვით მოცემულია ნახაზზე 4.

სამწუხაროდ, არ არის რა დამლეული ფრუდის კრიტიკული რიცხვის მუდმივობის ცნება, აღნიშნული სიდიდითა და ცნებით სარგებლობის მიზნით სამეცნიერო მიმოქცევაში შემოტანილია კრიტიკული სიჩქარის, უკუდინების მანძილის, სითბოს გამოყოფის მაჩვენებლის, კონვექციური სითბოს უგანზომილებო სიდიდეები და მათი ცვალებადობის ზღვრები. მაგალითად, სითბოს გამოყოფის უგანზომილებო მაჩვენებლის შემთხვევაში ეს ზღვარია 0.15, უფრო მეტი მაჩვენებლის შემთხვევაში საქმე გვაქვს დიდი სიმძლავრის ხანძართან, ხოლო უფრო ნაკლები - ადგილი აქვს მცირე სიმძლავრის ხანძარს.

ფრუდის რიცხვის კრიტიკულ სიდიდისა და სათანადო ცნების შეფასებასთან დაკავშირებით ლიტერატურაში [20] აღნიშნულია, რომ კარგად აღწერს რა დიდ ხანძრებს, კრიტიკული რიცხვითი სიდიდე 4.5 არ შეესაბამება ხანძრებს, რომლებიც არც ისე დიდია. თუმცა დიდი ხანძრების შემთხვევაშიც ადგილი აქვს (3)-(6) ფორმულებთან დაკავშირებულ მითითებულ და ნახაზზე 3 მოცემულ შეუსაბამობებს.



ნახ. 4. ვენტილაციით კონტროლირებადი ხანძრის სიმძლავრის ცვალებადობა სავენტილაციო ნაკადის სიჩქარის მიხედვით, როცა გვირავის ფართობი არის



50 მ<sup>2</sup>; გვირაბის სიმაღლე - 6 მ; გარე ჰაერის ტემპერატურა - 293 K ; კვამლის საშუალო ტემპერატურების შესაბამისად: 1 – 573; 2 – 903; 3 – 1373 K

## დასკვნა

წარმოდგენილი შედეგების მიხედვით შესაძლებელია დავასკვნათ, რომ ფრუდის რიცხვის კრიტიკული მაჩვენებელი 4.5 არ შეესაბამება რეალურად მიმდინარე ძლიერ ხანძრებს და გამოვთქვამთ ფრთხილ ვარაუდს იმასთან დაკავშირებით, რომ შესაძლებელია თვით ფრუდის კრიტერიუმის კრიტიკული მაჩვენებლის შესახებ ცნებაც მოკლებული იყოს ფიზიკურ შინაარსს რეალურად მიმდინარე ძლიერი ხანძრებისათვის.

## ლიტერატურა

1. Bird A., Carvel R. Handbook of Tunnel Fire Safety. *Second edition. Thomas Telford Limited*, 2012, 694.
2. FIT - Thematic Network FIT 'Fire in Tunnels' is supported by the European Community under the fifth Framework Program 'Competitive and Sustainable Growth' Contract n° G1RT-CT-2006, 76.
3. UN, Economic and Social Council, Economic Commission for Europe, *Report TRANS/AC.7/9*, 2001, 60.
4. UN, Economic and Social Council, Economic Commission for Europe, *Report TRANS/AC.7/9Add 1*, 2002, 2.
5. UN, Economic and Social Council, Economic Commission for Europe, *Report TRANS/AC.7/13*, 2003. 8.
6. UN, Economic and Social Council, Economic Commission for Europe, *Report TRANS/AC.7/15*, 2004, 7.
7. UN, Economic and Social Council, Economic Commission for Europe, *Report TRANS/AC.7/11*, 2002, 6.
8. The White Book 2001, Published in April 24, 2001, Sweet & Maxwell Ltd, ISBN 10: 0421745800, ISBN 13:9780421745803.
9. Haack. A. Fire Protection in Traffic Tunnels: General Aspects and Results of the EUREKA Project, TUNNELING AND UNDERGROUND SPACE TECHNOLOGY, 1998, 13, 2, 377-381.

10. Li Y.Z., Vylund L., Ingason H., Appel G. Influence of fire suppression on combustion products in tunnel fires. *The work Co-financed by the European Union*, 2015, 70.
11. Lanchava O.A. Heat and mass exchange in permanent mine workings. *Journal of Mining Science*, 1982, **1** (6), 87-92.
12. Lanchava O., Ilias N., Andras I, Moraru R., Neag I. On the Ventilation of Transport Tunnels in the Présence of a Strong (Heavy) Fire. *Annales of the University of Petrosani, Petrosani (Romania)*, 2007, **9** (XXXVI), 1, 219-227.
13. Ланчавა О.А. , Лебанидзе З.Б. По поводу коллапса системы вентиляции тоннеля при сильном пожаре. *Журнал «Транспорт»*, Тбилиси, 2008, **3-4** (31-32), 29-31.
14. Lanchava O., Medzmariashvili E., Ilias N., Khitalishvili G., Lebanidze Z. Prospects of usage of transformable systems for extinguishing fire in tunnels. *International Scientific Conference “Advanced Lightweight Structures and Reflector Antennas”*, Tbilisi, 2009, 301-308.
15. Lanchava O.A. Hygroscopic heat and mass transfer in underground structures. GTU, Tbilisi, 1998.
16. Lanchava O.A. Heat and mass exchange in newly driven mine workings. *Journal of Mining Science*, 1985, **1** (5), 99-104.
17. Lanchava O., Ilias N. Some issues of thermal calculation of ventilation air for the metro. *Journal of Engineering Sciences and Innovation*, 2017, **2** (2), 92-105.
18. Lanchava O., Ilias N. Complex calculation method of temperature, mass transfer potential and relative humidity for ventilation flow in subway. *Journal of Engineering Sciences and Innovation*, 2018, **3** (1), 69-84.
19. Vaitkevicius A., Carvel R. Investigating the Throttling Effect in Tunnel Fires. *Fire Technology*, 2016, **52**, 1619–1628.
20. Li Y.Z., Ingason H. Discussions on critical velocity and critical Froude number for smoke control in tunnels with longitudinal ventilation. *Fire Safety Journal*, 2018, **99**, 22-26.
21. Lanchava O., Nozadze G., Bochorishvili N., Lebanidze Z., Arudashvili N., Jangidze M., Tsikarishvili K. Criteria for evaluation of emergency firefighting in transport tunnels. *Transport Bridge Europe-Asia, Proceedings of conference*, Tbilisi, 2014, 29-35.
22. Lanchava O., Abashidze G., Tsverava D. Securing fire safety for underground structures. *Quality-Access to Success*, 2017, **18**.
23. Lanchava O., Arudashvili N., Khokerashvili Z. Non-stationary transmission of heat and hygroscopic mass between ventilation flow of metro and surrounding mining massif. *Mining Journal*, Tbilisi, 2018, **40** (1), 34-42.
24. Lanchava O., Ilias N., Nozadze G. Some problems for assessment of fire in road tunnels. *Supplement of Quality-Access to Success: Bucharest*, 2017, **18**, (S1), 69-72.
25. Ilias N., Lanchava O., Nozadze G. Numerical modelling of fires in road tunnels with longitudinal ventilation system. *Supplement of Quality-Access to Success: Bucharest*, 2017, **18**, (S1), 85-88.



26. Li Y.Z., Lei B., Ingason H. *Study of critical velocity and backlayering length in longitudinally ventilated tunnel fires. Fire Safety Journal*, Vol. 45, 2010, pp. 361-370.
27. Thomas P.H. *The Movement of Smoke in Horizontal Passages against an Air Flow. Fire Research Station. Boreham Wood. 1968.*
28. Lee C.K., Chaiken R.F., Singer J.M., Interaction between duct fires and ventilation flow: an experimental study. *COMBUSTION SCIENCE AND TECHNOLOGY*. 1979, **20**, 59-72.
29. Danziger N.H., Kennedy W.D. Longitudinal ventilation analysis for the Glenwood canyon tunnels. *Fourth International Symposium on the Aerodynamics & Ventilation of Vehicle Tunnels, BHRA Fluid Engineering*. 1982.
30. Kennedy W.D. Critical velocity: past, present and future. *Seminar of Smoke and Critical Velocity in Tunnels, JFL Lowndes*, 1996, 305–322.

LANCHAVA O.

## ANALYSIS OF CRITICAL AIR VELOCITY FOR TUNNEL FIRES CONTROLLED BY VENTILATION

**ABSTRACT.** The article discusses scenarios for the development of fires in open spaces, in apartments and in tunnels. On the basis of a theoretical analysis of powerful fires, the possibility of the collapse of the ventilation system of tunnels is shown. Graphs of changes in fire power are given as a function of air velocity for fires controlled by ventilation in tunnels. Critical velocity ensuring efficient combustion product management has been analyzed for high-power tunnel fires. The dependence of the change in the critical value of the Froude criterion on the critical air velocity is shown. It is shown that it is not advisable to use the critical Froude number for analyzing the critical speed of fires with small magnitudes.

**KEY WORDS:** tunnel ventilation; ventilation-controlled fire; critical velocity; backflow length; Froude criterion.



სსიპ-ის მენეჯერებისთვის  
Association  
For  
Science