



დგუშის ეფექტით გამოწვეული ჰაერის ნაკადების შეფასებისათვის მეტროს გვირაბში

ტექნ. მეცნ. დოქტორი, პროფესორი ო. ლანჩავა,
აკად. დოქტორი გ. ნოზაძე, დოქტორანტი ზ. ხოკერაშვილი,
აკად. დოქტორი ნ. არუდაშვილი

ნაშრომში განხილულია მეტროს გვირაბებში დგუშის ეფექტის რიცხვითი მოდელირების შედეგები თეორიული ანალიზის გათვალისწინებით, აგრეთვე მიღებული სიდიდეების ცვალებადობის მაჩვენებელი ცხრილები და გრაფიკები გვირაბის მატარებლით შევსების კოეფიციენტისა და მისი სიჩქარის მიხედვით. მიღებული შედეგები შედარებულია ლიტერატურული წყაროებიდან ცნობილ ანალოგიურ მაჩვენებლებთან. შედარების შედეგად დადგენილია წარმოდგენილი ძირითადი შედეგების კარგი თანხვედრა სამეცნიერო ლიტერატურიდან ცნობილ ზოგად კანონზომიერებებთან. მეტროს გვირაბებში მატარებლების მოძრაობის დგუშის ეფექტისათვის დამახასიათებელია ორი ფაზის არსებობა. პირველ ფაზაში დგუშის ეფექტი ხასიათდება არასტაციონარულობით, ხოლო მეორე ფაზაში პროცესი სტაბილიზდება. ცირკულაციური და გადადინებული ნაკადების სიჩქარეთა დადგენის დროს აუცილებელია აღნიშნული ფაზების მხედველობაში მიღება.

სამუშაო შესრულებულია შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფინანსური მხარდაჭერით, საგრანტო პროექტი N¹ 216968, „აეროზოლური ტერორიზმის პრევენციის მეთოდების დამუშავება თბილისის მეტროს ვენტილაციისათვის“

ამოცანის დასმა

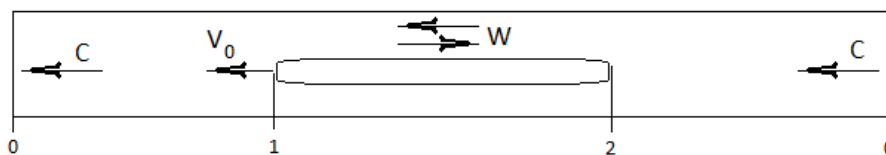
კომპიუტერული ტექნოლოგიების განვითარების თანამედროვე დონე საშუალებას იძლევა მეტროს გვირაბებში სავენტილაციო ნაკადების დინამიკა დიდი სიზუსტით აღიწეროს დენად გარემოთა რიცხვითი მოდელირებით. ნაშრომში განხილულია მეტროს გადასარბენ გვირაბებში დგუშის ეფექტით გამოწვეული სავენტილაციო ნაკადების განაწილების ხასიათი

არასტაციონარულ ფაზაში, რაც საგრძნობ გავლენას ახდენს მეტროპოლიტენის სავენტილაციო პარამეტრების განსაზღვრაზე.

ამოცანა განხორციელებულია თბილისის მეტროს გადასარბენი გვირაბების პირობებისთვის. შედგენილია საბაზო მოდელები შემდეგი მონაცემებისათვის: გვირაბის სიგრძე - 1200 მ; გვირაბის განივი კვეთის ფართობი – 12.50-20.24 მ², მატარებლის სიგრძე - 80 მ; მატარებლის სიჩქარე – 25-50 კმ/სთ; მატარებლის განივი კვეთის ფართობი - 5.0-7.5 მ². მოდელირება და გამოთვლები შესრულდა PyroSim 2016-ის პროგრამულ გარემოში.

რიცხვით ამოცანებში, გვირაბში მიმდინარე პროცესების აეროდინამიკური პარამეტრების დადგენისათვის, გადასარბენი გვირაბის ერთ-ერთ პორტალთან ცნობილი იყო ჰაერის მიმწყდომი ნაკადის სათანადო სიჩქარე, რომელიც ყოველ კონკრეტულ მომენტში შეესაბამებოდა მატარებლის სიჩქარეს, ხოლო ეს უკანასკნელი თავსდებოდა სიჩქარეთა მითითებულ დიაპაზონში (25-50 კმ/სთ). PyroSim 2016-ის პროგრამულ გარემოს აქვს შესაძლებლობა მატარებელსა და გვირაბის პერიმეტრს შორის არსებულ ღრეჩოში ასახოს სიჩქარეთა ველის განაწილების უთანაბრობა დროის მიხედვით, რაც განსაკუთრებით დამახასიათებელია არასტაციონარული ფაზისათვის.

ნახაზზე 1 სქემატურად არის გამოსახული რეალური პროცესი, რომელსაც სინამდვილეში აქვს ადგილი მატარებლის გვირაბში მოძრაობისას. V_0 სიჩქარით მოძრავი მატარებელი გვირაბის 0-1 მონაკვეთზე C სიჩქარით წინ აღძრავს ცირკულაციურ ნაკადს და წარმოქმნის აგრეთვე იმავე C სიჩქარით მოძრავ მიდევნებულ ნაკადს მატარებლის უკან, 2-0 მონაკვეთზე. მატარებლისა და გვირაბის პერიმეტრებს შორის არსებულ სივრცეში ადგილი აქვს ჰაერის ნაკადის გადადინებას W სიჩქარით. აღნიშნული სიჩქარე დამოკიდებულია მატარებლის თავსა და ბოლოში წნევათა სხვაობაზე, აგრეთვე მატარებლის მოძრაობით გამოწვეულ ექვეციაზე. ამ უკანასკნელზე კი გავლენა აქვს მატარებლის ბორბლებისა და ღერძების ბრუნვით და გადატანით მოძრაობას, ვაგონებს შორის სივრცეში არსებული ჰაერის ბალიშის მოძრაობას მატარებელთან ერთად, მის შინაგან ტურბულენტურ და აეროდინამიკურ გავლენას ღრეჩოში ჰაერის ნაკადის ცირკულაციაზე.





ნახ. 1. გვირაბში მატარებლის მოძრაობის შემთხვევაში აბსოლუტური სიჩქარეების სქემა: V_0 - მატარებლის მოძრაობის სიჩქარე; C - დგუშის ეფექტით გამოწვეული ცირკულაციური ნაკადის სიჩქარე მატარებლის წინ და უკან; W - გადადინებული ნაკადის მოძრაობის სიჩქარე მატარებლისა და გვირაბის პერიმეტრებს შორის ღრეჩოში

ზემოაღნიშნული ფაქტორების კონკრეტული მნიშვნელობებიდან გამომდინარე, W სიჩქარის ვექტორი შესაძლებელია მიმართული იყოს როგორც მატარებლის მოძრაობის, ისე მისი საპირისპირო მიმართულებით. მატარებლით გვირაბის შევსების α კოეფიციენტის რიცხვითი სიდიდიდან გამომდინარე, რომელიც გამოყენებული იყო მოდელირების დროს, თბილისის მეტროს პირობებისათვის, ძირითადად ადგილი აქვს ღრეჩოში ჰაერის გადადინებას მატარებლის მოძრაობის საპირისპირო მიმართულებით, ხოლო მატარებლის თანმხვედრი ჰაერის ნაკადის აღმძვრელი მიზეზები, რომელთა შესახებაც ზემოთ იყო აღნიშნული, ამ შემთხვევაში უმნიშვნელოა.

დასმული საკითხის შესწავლას დაეთმო საკმაოდ ხანგრძლივი პერიოდი. ერთ-ერთი პირველი ნაშრომი ამ მიმართულებით შესრულებული იყო გ. აბრამოვიჩის მიერ. მან თეორიულად შეისწავლა მიმწყდომი ნაკადისა და მატარებლების სიჩქარეებს შორის დამოკიდებულება ღია ტრასაზე და სარკინიგზო გვირაბებში [1]. აღსანიშნავია აგრეთვე ვ. ცოდუკოვის ნაშრომი, რომელიც უშუალოდ მეტროს ვენტილაციას შეეხება და მასში განხილულია სხვადასხვა ავტორების მიერ შესრულებული თეორიული კვლევებისა და ფიზიკური მოდელირების შედეგები, როცა მატარებელი უძრავია და მოძრაობს ჰაერის გარემო აეროდინამიკურ მილში ან სითხე მეტროს სადგურებისა და გადასარბენების ჰიდრავლიკურ მოდელში [2]. ბოლო პერიოდის სამეცნიერო ნაშრომებიდან აღსანიშნავია [3], რომელშიც მოცემულია ჩინეთში გამოქვეყნებული მრავალი შრომის ანალიზი და აღნიშნულია, რომ ხსენებულ ქვეყანაში აღმავლობას განიცდის ახალი მეტროების მშენებლობა და შესაბამისად, დიდი ყურადღება ექცევა საკითხის ყოველმხრივ შესწავლას. განსაკუთრებით აღსანიშნავია შვედეთში შესრულებული სამეცნიერო კვლევები ჰ. ინგასონის ხელმძღვანელობით [4], რომელიც ნაყოფიერად მუშაობს სატრანსპორტო გვირაბების ვენტილაციის სფეროში, მათში ხანძრებისა და საგანგებო სიტუაციების პრევენციის კუთხით. აღნიშნული ნაშრომებისათვის საერთო ისაა, რომ დგუშის ეფექტის გავლენის შესწავლა ხდება უძრავი მატარებლის

პირობებში და ცვალებადია ჰაერის ხარჯი, წნევა ან ვენტილაციის სხვა დამახასიათებელი პარამეტრი.

რიცხვითი მოდელირების შედეგები დგუშის ეფექტისათვის, როცა გვირახის მატარებლით შევსების კოეფიციენტი $\alpha \leq 0.25$, მოცემულია ჩვენს ნაშრომში [5], ხოლო წინამდებარე ნაშრომში წარმოდგენილია არასტაციონარული ფაზის მოდელირებით მიღებული შედეგების ანალიზი მნიშვნელობებისათვის, როდესაც $\alpha = 0.35 - 0.61$.

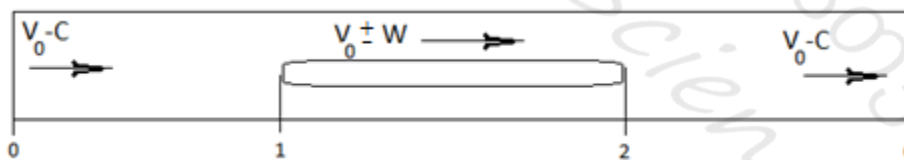
თეორიული ანალიზი

გვირახის მატარებლით შევსების α კოეფიციენტის გაანგარიშება შესაძლებელია ფორმულით

$$\alpha = \frac{F}{f}, \quad (1)$$

სადაც F არის მატარებლის ვაგონის მიდელური კვეთის ფართობი, მ²; f - გვირახის განივკვეთის ფართობი, მ².

განვიხილოთ ჰაერის ფარდობითი მოძრაობა იმ პირობით, რომ მატარებელი იქნება უძრავი, ხოლო იმოდრავებს მხოლოდ სავენტილაციო ნაკადი, რომლის მიხედვითაც ჩატარდა რიცხვითი მოდელირება. მოდელირების შესაბამისი ფარდობითი სიჩქარეთა სქემა მოცემულია ნახაზზე 2.



ნახ. 2. უძრავი მატარებლის შემთხვევაში ფარდობითი სიჩქარეთა სქემა:

$V_0 - C$ - მიმწყდომი ნაკადის სიჩქარე მატარებლის წინ (იმავე სიდიდისაა ნაკადი მატარებლის შემდეგ); $V_0 \pm W$ - ჰაერის ნაკადის ფარდობითი სიჩქარე ღრეჩოში

რეალურად მიმდინარე პროცესში მატარებლის მოძრაობით აღძრული ჰაერის ნაკადი იყოფა ორ მდგენელად: მატარებელზე მიმწყდომი ნაკადისა და დგუშის ეფექტით გამოწვეული



ცირკულაციური ნაკადის სახით მატარებლის წინ და უკან, რომელთა შორის ადგილი აქვს დამოკიდებულებას

$$V_T = V_0 - C, \quad (2)$$

სადაც V_T არის მატარებელზე მიმწყდომი ნაკადის სიჩქარე, მ/წმ; V_0 - მატარებლის მოძრაობის სიჩქარე, მ/წმ (კმ/სთ); C - დგუშის ეფექტით გამოწვეული ცირკულაციური ნაკადის სიჩქარე მატარებლის წინ და უკან, მ/წმ.

მეორეს მხრივ, მოძრავი მატარებლის შემთხვევაში, მიმწყდომი ნაკადი აგრძელებს მატარებლის შემხვედრ მოძრაობას და გადაედინება ღრეჩოში ფარდობითი სიჩქარით

$$V_G = V_0 \pm W, \quad (3)$$

სადაც V_G არის გადადინებული ნაკადის ფარდობითი სიჩქარე ღრეჩოში, მ/წმ.

უწყვეტობის განტოლებიდან გამომდინარე შეიძლება დაიწეროს

$$V_T f = V_G (f - F), \quad (4)$$

რომლიდანაც მარტივი გარდაქმნებით მიიღება

$$V_G = \frac{V_T}{(1 - \alpha)}. \quad (5)$$

ამგვარად, ფორმულით (5) განისაზღვრება გადადინებული ნაკადის სიჩქარე რიცხვითი მოდელირების შემთხვევაში, უძრავი მატარებლის პირობებში. იმავე კანონზომიერებას აქვს ადგილი და გადადინებული ნაკადის სიჩქარეც იმავე ფორმულით (5) იანგარიშება მოძრავი მატარებლის შემთხვევაში, რასაც ადგილი აქვს რეალურ პირობებში.

მიმწყდომი ნაკადისა და მატარებლების სიჩქარეებს შორის დამოკიდებულება სარკინიგზო გვირაბებისათვის, როგორც აღინიშნა, შეისწავლა გ. აბრამოვიჩმა, რომელიც ძირითადად განიხილავს სტაბილიზებულ სიჩქარეთა ველს, რაც განპირობებულია სარკინიგზო გვირაბების შედარებით დიდი სიგრძით. მეტროს გადასარბენ გვირაბებში, მათი შედარებით მცირე სიგრძის გამო, ხშირ შემთხვევაში, არც ხდება სიჩქარეთა ველის სტაბილიზება და ადგილი აქვს არასტაციონარულ პროცესს. როგორც ქვემოთ დავინახავთ, ამ შემთხვევაში პროცესის მიმდინარეობა იყოფა 2 ფაზად. აღნიშნულ ფაზებზე ყურადღების გამახვილება გამოიწვია არასტაციონარული ფაზის მნიშვნელობის გამოკვეთამ მეტროს პირობებში შესრულებული რიცხვითი მოდელირების შედეგად და რამდენადაც ჩვენთვის



ცნობილია, საკითხის ასეთი მიდგომით, პირველად ამ ნაშრომშია განხილული. მითითებულ სიჩქარეებს შორის დამოკიდებულება გ. აბრამოვიჩის მიხედვით შემდეგი სახისაა

$$\frac{V_T}{V_0} = \frac{1}{1 + \frac{1}{(1-\alpha) \sqrt{\xi_T \frac{f}{F_w} \frac{1-\alpha}{1+0.004n \frac{S_w}{F_w}}}}} \quad (6)$$

უკვე განმარტებული სიდიდეების გარდა ფორმულაში (6) მიღებულია შემდეგი აღნიშვნები: ξ_T არის გვირაბის სრული წინაღობის კოეფიციენტი გვირაბის მოცემული სიგრძის (l , მ), მატარებლის სიგრძის (L , მ) და გვირაბის ეკვივალენტური რადიუსისათვის (R , მ); F_w - ვაგონის ეკვივალენტური ფართობი, მ²; n - ვაგონების რიცხვი შემადგენლობაში; S_w - ვაგონის ზედაპირის ფართობი ფსკერის ფართობის გამოკლებით, მ².

გვირაბის სრული წინაღობის კოეფიციენტი იანგარიშება ფორმულით

$$\xi_T = 1.5 + 0.007 \frac{l-L}{R} \quad (7)$$

ვაგონის ეკვივალენტური ფართობი იანგარიშება შუბლური წინაღობის კოეფიციენტის სიდიდის გათვალისწინებით

$$F_w = c_w F, \quad (8)$$

სადაც c_w არის ვაგონის შუბლური წინაღობის კოეფიციენტი.

აღნიშვნის $\omega = \frac{V_T}{V_0}$ შემოტანით, მატარებლის სიჩქარის საანგარიშო ფორმულა მიიღებს

სახეს

$$V_0 = \frac{V_T}{\omega}, \quad (9)$$

ხოლო ფორმულის (2) გათვალისწინებით მიიღება ცირკულაციური ნაკადის საანგარიშო ფორმულა

$$C = V_0 (1 - \omega). \quad (10)$$

დღუშის ეფექტით აღძრული ჰაერის ხარჯი შესაძლებელია განისაზღვროს ფორმულით

$$Q = Cf. \quad (11)$$



თბილისის მეტროს პირობებისათვის, ოთხვაგონიანი მატარებლის შემთხვევაში, ω -ს რიცხვითი მნიშვნელობები და ამოსავალი სიდიდეები მოცემულია ცხრილში 1.

ცხრილი 1

მიმწყდომი ნაკადისა და მატარებლების სიჩქარეთა თანაფარდობა ω ამოსავალ სიდიდეებთან ერთად, რომლებისთვისაც შესრულდა რიცხვითი მოდელირება

$F, \text{მ}^2$	$f, \text{მ}^2$	α	F_w	$S_w, \text{მ}^2$	$R, \text{მ}$	c_w	ξ_T	ω
5.00	12.25	0.408	4.8	130	0.88	0.95	10.41	0.667
6.25	12.25	0.510	6.0	147	0.88	0.95	10.41	0.570
7.50	12.25	0.610	7.1	164	0.88	0.95	10.41	0.464
7.50	20.40	0.370	7.1	164	1.27	0.95	7.67	0.652

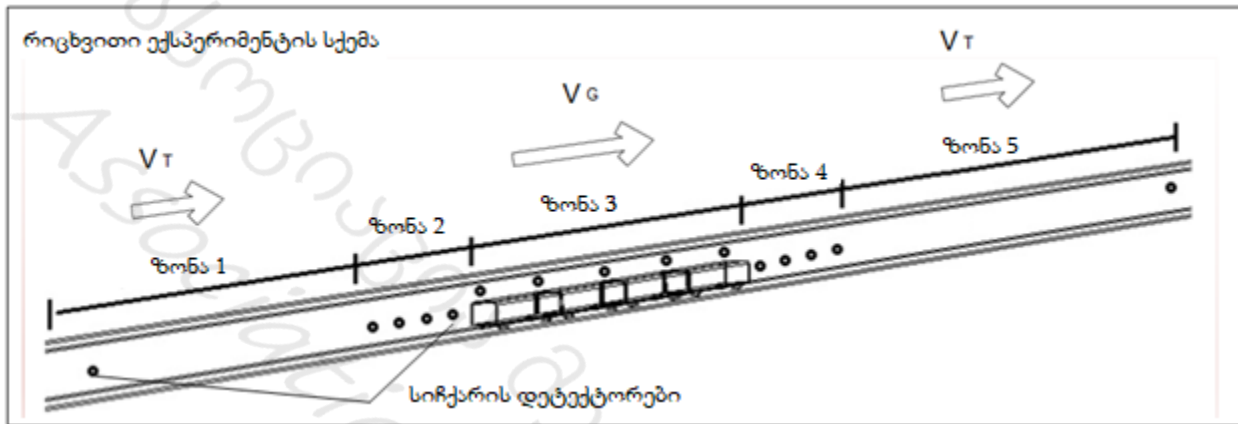
ცხრილში 1 გამოყენებულია შემდეგი აღნიშვნები: F - მატარებლის მიდელური კვეთი, მ^2 ; f - გვირაბის განივკვეთის ფართობი, მ^2 ; α - მატარებლით გვირაბის შევსების კოეფიციენტი; F_w - ვაგონის განივკვეთის ეკვივალენტური ფართობი, მ^2 ; S_w - ვაგონის ზედაპირის ფართობი ფსკერის ფართობის გამოკლებით, მ^2 ; R - გვირაბის ეკვივალენტური რადიუსი, მ ; c_w - ვაგონის შუბლური წინაღობის კოეფიციენტი; ξ_T - გვირაბის სრული წინაღობის კოეფიციენტი; ω - თანაფარდობა მიმწყდომი ნაკადისა და მატარებლების სიჩქარეთა შორის.

მიმწყდომი ნაკადის სიჩქარის მიხედვით ფორმულით (9) განისაზღვრება მატარებლის სიჩქარე V_0 . შემდეგ ფორმულით (2) ან (10) – დგუშის ეფექტით აღძრული ცირკულაციური ნაკადის სიჩქარე გვირაბში C . ფორმულით (11) შესაძლებელია დგუშის ეფექტით აღძრული ჰაერის ხარჯის განსაზღვრა. ამგვარად, წარმოდგენილი მასალით, შესაძლებელია ვენტილაციისათვის საინტერესო ყველა ტექნოლოგიური მაჩვენებლის განსაზღვრა და ანალიზი რიცხვითი მოდელირების მონაცემების მიხედვით.

რიცხვითი მოდელირება და შედეგები

რიცხვითი მოდელირება შესრულდა სათანადო საწყისი და სასაზღვრო პირობების მიხედვით. კერძოდ, როგორც აღინიშნა, მარცხენა პორტალზე გათვალისწინებული იყო

მიმწყდომი ნაკადის სათანადო სიჩქარე, რომელიც ყოველ კონკრეტულ მომენტში შეესაბამებოდა მატარებლის სიჩქარეს 25-50 კმ/სთ დიაპაზონიდან. მატარებლის პირველი ვაგონი კი სხვადასხვა მოდელებში განთავსებული იყო პორტალიდან 200, 300 და 400 მ-ის დაშორებით. ექსპერიმენტის დაწვრილებითი სქემა სიჩქარის დეტექტორებისა და მატარებლის ჩვენებით მოცემულია ნახაზზე 3.

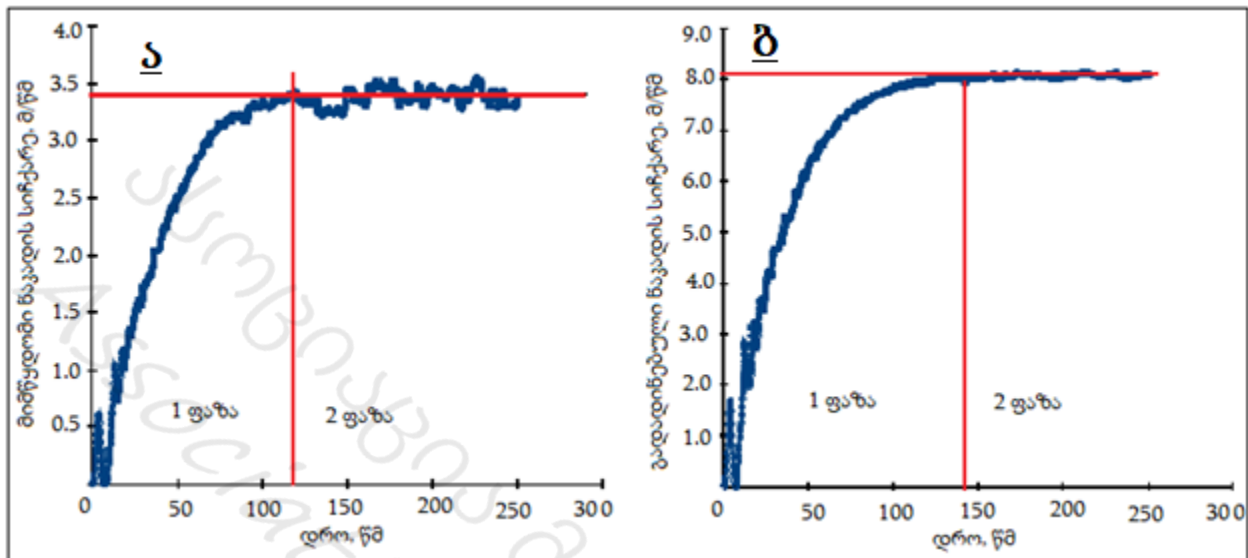


ნახ. 3. რიცხვითი ექსპერიმენტის დაწვრილებითი სქემა ზონების მიხედვით

როგორც ნახაზიდან 3 ჩანს, რიცხვითი მოდელირება შესრულებულია გვირაბში მატარებლის ადგილმდებარეობის მიხედვით წინასწარ შერჩეული 5 სხვადასხვა ზონისათვის. აღნიშნულ ზონებში დადგინდა სავენტილაციო ნაკადის სიჩქარის ცვალებადობის ხასიათი. ყოველ ზონაში სიჩქარის დეტექტორები ერთმანეთისგან სხვადასხვა მანძილით იყო დაშორებული. მაგალითად, პირველ და მეხუთე ზონაში დეტექტორები განთავსდა ყოველ 100 მეტრ მანძილზე (იხ. ნახ. 3, ზონები 1 და 5). მეორე და მეოთხე ზონებში, მატარებლის თავსა და ბოლოსთან, გვირაბის 20 მ სიგრძის მონაკვეთებზე, დეტექტორები ერთმანეთისაგან დაშორებული იყო 5 მ-ით (იხ. ნახ. 3, ზონები 2 და 4). მატარებელსა და გვირაბს შორის არსებულ ღრეჩოში სიჩქარის დეტექტორები განლაგებული იყო ყოველ 20 მეტრ მანძილზე (იხ. ნახ. 3, ზონა 3).

რიცხვითი ექსპერიმენტის დროს სავენტილაციო ნაკადის სიჩქარის რიცხვითი სიდიდის ცვალებადობა ხდებოდა მატარებლის სიჩქარის მიხედვით. მიღებული შედეგები შესაძლებელია გაანალიზებული იქნეს ერთ-ერთი რიცხვითი ექსპერიმენტის მაგალითზე. განვიხილოთ ჰაერის ნაკადის სიჩქარის დინამიკური ცვლილების მაჩვენებელი მრუდები

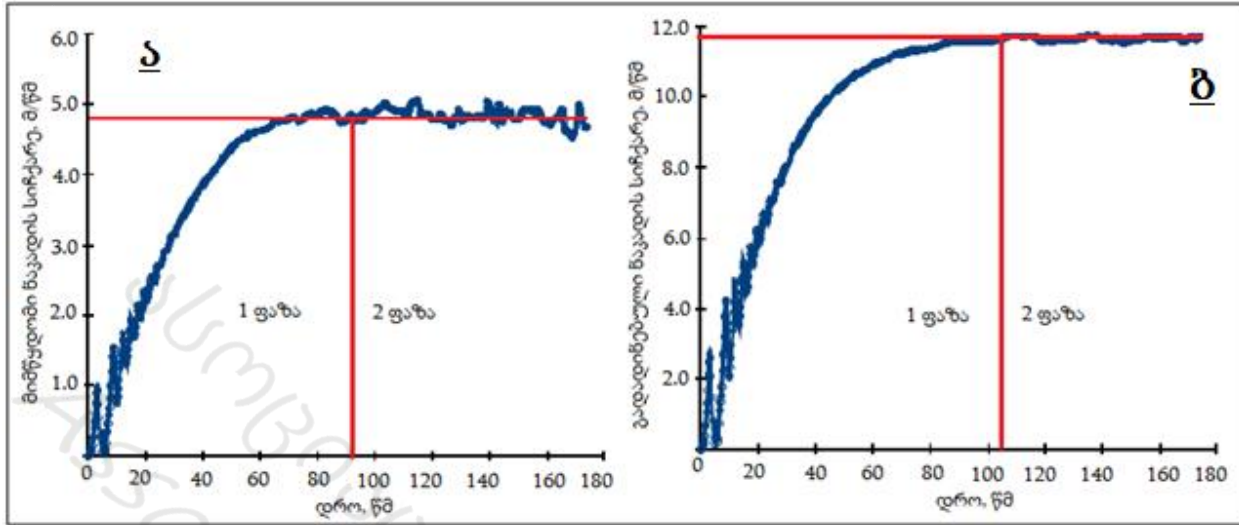
როგორც გვირახში მატარებლის წინ, ისე გვირახსა და მატარებელს შორის არსებულ ღრეჩოში (იხ. ნახ. 4, 5 და 6).



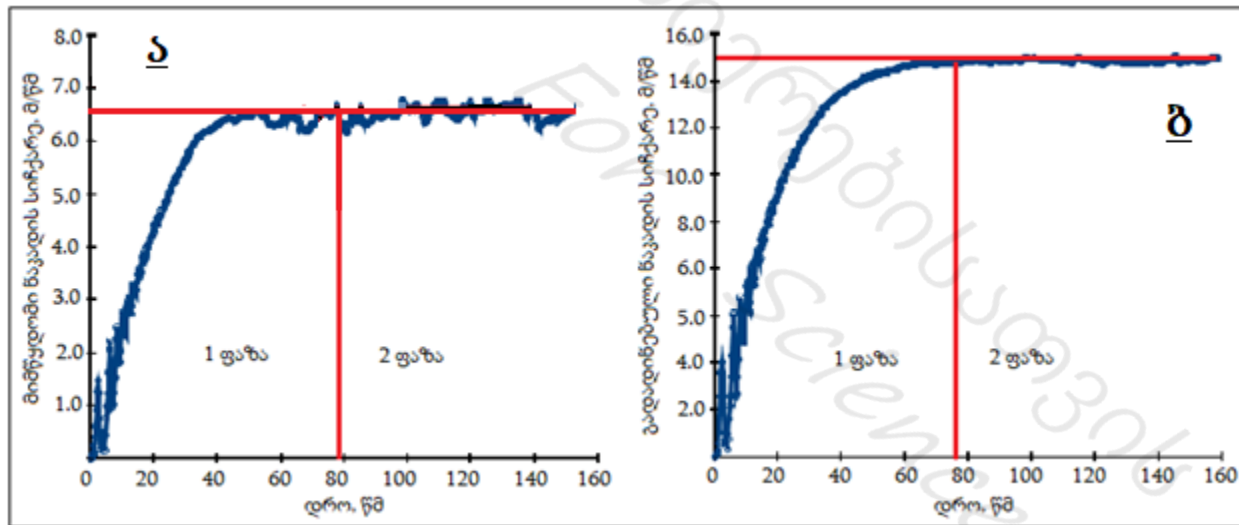
ნახ. 4. მიმწყდომი სავენტიაციო ნაკადის სიჩქარის დინამიკა პორტალთან (ნახაზი, ა) და მატარებელსა და გვირახს შორის ღრეჩოში, როცა მატარებლის სიჩქარეა 16.8 კმ/სთ, ხოლო $\alpha = 0.61$, $\omega = 0.47$

წარმოდგენილი ნახაზებიდან კარგად ჩანს, რომ სავენტიაციო ნაკადების განვითარების დინამიკა პრაქტიკულად შესაძლებელია ორ ფაზად გაიყოს, 1 – არასტაციონარული ფაზა და 2 – სტაციონარული ფაზა. ვინაიდან ფორმულების (9) და (10) მიხედვით ადვილად მყარდება კავშირი ცირკულაციურ ნაკადსა და მიმწყდომ ნაკადს შორის, შესაძლებელია პირველი მიახლოებით დავასკვნათ, რომ ცირკულაციური ნაკადის სიჩქარეც სათანადო ფაზებს გაივლის.

შესაძლებელია აპრიორულად აღინიშნოს, რომ მიმწყდომი ნაკადის არასტაციონარული ფაზის არსებობის გამო, ცირკულაციური ნაკადის საშუალო სიჩქარე რამდენადმე ნაკლები იქნება სტაციონარულ ფაზაში იმავე ნაკადის სიჩქარესთან შედარებით.



ნახ. 5. მიმწყდომი სავენტილაციო ნაკადის სიჩქარის დინამიკა პორტალთან (ნახაზი, ა) და მატარებელსა და გვირაბს შორის ღრეჩოში, როცა მატარებლის სიჩქარეა 36.8 კმ/სთ, ხოლო $\alpha = 0.61$, $\omega = 0.47$



ნახ. 6. მიმწყდომი სავენტილაციო ნაკადის სიჩქარის დინამიკა პორტალთან (ნახაზი, ა) და მატარებელსა და გვირაბს შორის ღრეჩოში, როცა მატარებლის სიჩქარეა 49.8 კმ/სთ, ხოლო $\alpha = 0.61$, $\omega = 0.47$

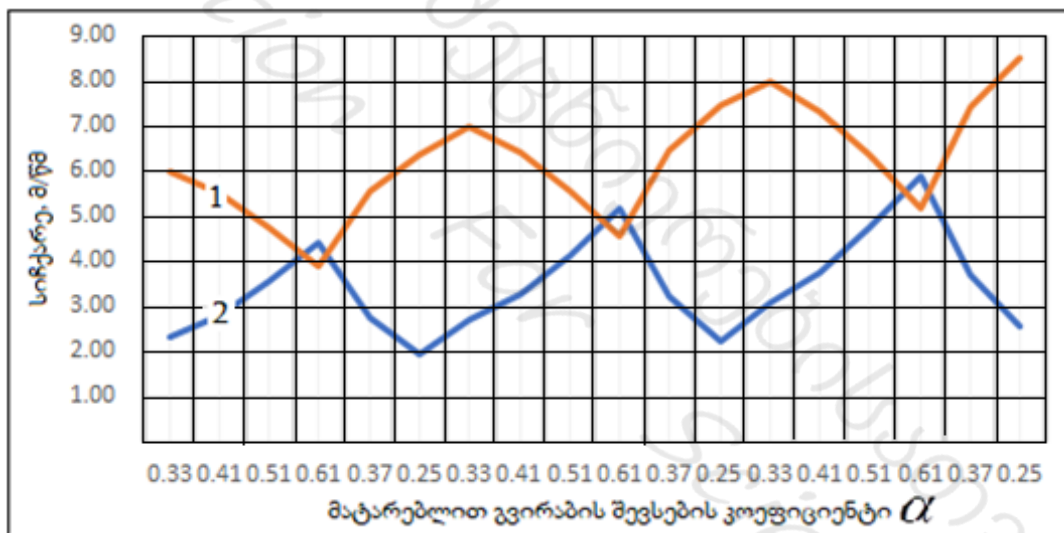
ჩვენს მიერ მოდელირებული პროცესების დროს მიმწყდომი ნაკადის სიჩქარეების ანალიზის საფუძველზე შესაძლებელია შემოღებული იქნეს პროცესის არასტაციონარული დონის დამახასიათებელი კოეფიციენტი ფაზების ხანგრძლივობის მიხედვით

$$K_t = \frac{t_m}{t_p}, \quad (12)$$

სადაც t_m არის არასტაციონარული ფაზის ხანგრძლივობა, წმ; t_p - მოდელირებული პროცესის სრული ხანგრძლივობა, წმ.

ამრიგად, K_t დააკმაყოფილებს უტოლობას $0 \leq K_t \leq 1$.

უტოლობიდან კარგად ჩანს, რომ პროცესი მთლიანად არასტაციონარულია როდესაც $K_t = 1$, ხოლო - სტაციონარულია როდესაც $K_t = 0$. ყველა სხვა შემთხვევაში ადგილი ექნება ფაზათა თანაფარდობის სხვადასხვა მაჩვენებლებს განსახილველ პროცესში. ჩვენს მიერ მოდელირებულ შემთხვევებში სწორედ ასეთ პროცესთა კლასს აქვს ადგილი (იხ. ნახ. 4, ა; 5, ა; 6, ა).



ნახ. 7. მიმწყდომი და ცირკულაციური ნაკადების ცვალებადობის ხასიათი გვირაბის მატარებლის შევსების კოეფიციენტის მიხედვით
1 – მიმწყდომი ნაკადის სიჩქარე; 2 – ცირკულაციური ნაკადის სიჩქარე

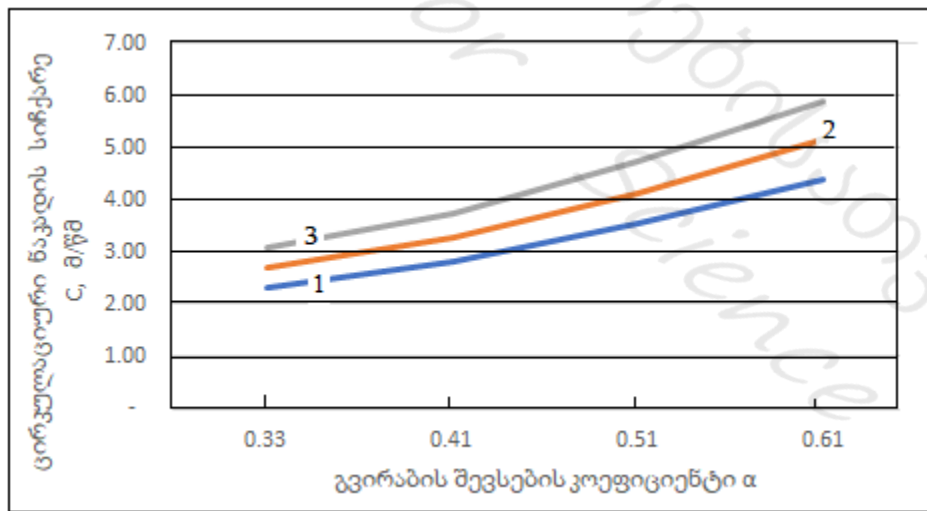
ნახაზზე 7 მოცემულია მიმწყდომი და ცირკულაციური ნაკადების ცვალებადობის ხასიათი გვირაბის მატარებლით შევსების კოეფიციენტის მიხედვით. მატარებელზე მიმწყდომი ნაკადისა და ცირკულაციური ნაკადის სიჩქარეთა ჯამი ნებისმიერ შემთხვევაში უნდა იყოს მატარებლის სიჩქარის ტოლი, რომლის მიხედვითაც შესრულდა გაანგარიშება.

აღსანიშნავია აგრეთვე, რომ ჩვენი კვლევების შედეგად მიმწყდომი და გადადინებული ჰაერის ნაკადის რიცხვითი ექსპერიმენტიდან მიღებული შედეგები კარგ თანხვედრაშია თეორიულად გამოთვლილ მნიშვნელობებთან. ცდომილება არ აღემატება 7.2 %-ს (იხ. ცხრილი 2).

ცხრილი 2

რიცხვითი ექსპერიმენტიდან მიღებული, სავენტილაციო ნაკადის დამახასიათებელი სიდიდეების შედარება თეორიული ანალიზით მიღებულთან, როცა $\alpha = 0.61$ და $\omega = 0.47$

მატარებლის სიჩქარე V_0 , კმ/სთ	მიმწყდომი ნაკადის სიჩქარე (თეორია) V_T , მ/წმ	გადადინებულ ი ნაკადის სიჩქარე (თეორია) V_G , მ/წმ	მიმწყდომი ნაკადის სიჩქარე (ექსპერიმენტი) V_{T-EX} , მ/წმ	გადადინებულ ი ნაკადის სიჩქარე (ექსპერიმენტი) V_{G-EX} , მ/წმ	ცდომილება, %
26.0	3.4	8.7	3.4	8.1	6.9
36.8	4.8	12.3	4.8	11.6	5.8
49.8	6.5	16.6	6.5	15.4	7.2



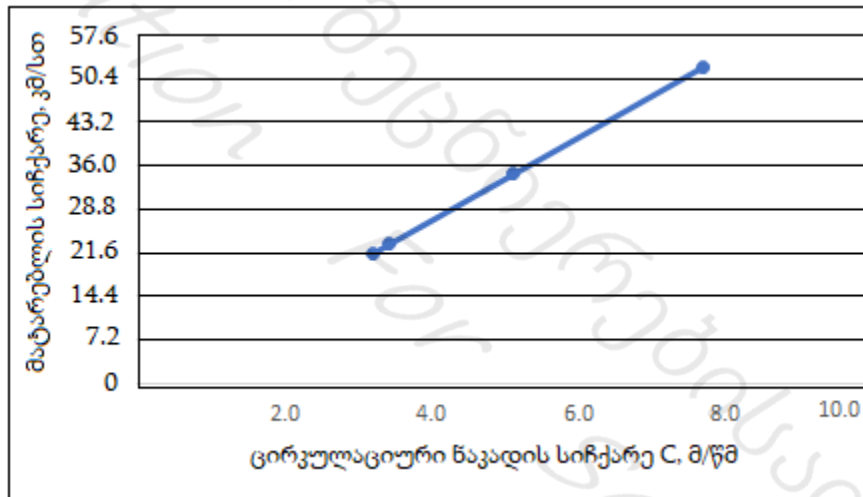
ნახ. 8. ცირკულაციური ნაკადის სიჩქარის ცვალებადობა გვირაბის შევსების კოეფიციენტის მიხედვით მატარებლის სიჩქარეებისათვის, კმ/სთ:

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

როგორც თეორიული ანალიზისა და რიცხვითი ექსპერიმენტების შედეგებიდან ჩანს, ექსპერიმენტული მონაცემები თეორიულთან მიახლოებულია, რაც დამატებით საფუძველს იძლევა იმისათვის, რომ ცირკულაციური ნაკადის გამოთვლაში გათვალისწინებული იქნეს არასტაციონარული ფაზის გავლენა.

რიცხვითი მოდელირების შედეგების მიხედვით შედგენილი გრაფიკები მოცემულია ნახაზზე 8, რომლებიდანაც ჩანს, რომ მატარებლის სიჩქარისა და გვირაბის შევსების კოეფიციენტის მიხედვით დგუშის ეფექტით აღძრული ცირკულაციური ნაკადი პირდაპირ-პროპორციული კანონზომიერებით ხასიათდება.

აღსანიშნავია, რომ მატარებლის სიჩქარისათვის 40-45 კმ/სთ დიაპაზონში ცირკულაციური ნაკადით განპირობებული ჰაერის ხარჯი შესაძლებელია იცვლებოდეს 90-100 მ³/წმ-ის ფარგლებში.



ნახ. 9. ცირკულაციური ნაკადის C სიჩქარის ცვალებადობა მატარებლის სიჩქარის V_0 მიხედვით, როცა $\alpha = 0.61$

როგორც აღინიშნა, მატარებლის სიჩქარის მიხედვით, შესაძლებელია დგუშის ეფექტით გამოწვეული მიმწყდომი, ცირკულაციური, გადადინებული ნაკადების სიჩქარეებისა და ჰაერის ხარჯის გამოთვლა, რომლებიც მეტროს ვენტილაციის ძირითადი ტექნოლოგიური მახასიათებლებია. ამასთან საპროექტო მონაცემებიდან გამომდინარე, ცირკულაციური ნაკადის სიჩქარის გამოთვლა უფრო ხელსაყრელია მატარებლის სიჩქარესთან კავშირის მიხედვით, რაც მოცემულია ნახაზზე 9.



დასკვნები:

- დგუშის ეფექტით აღძრული ცირკულაციური ნაკადის სიჩქარე, მატარებლით გვირაბის შევსების კოეფიციენტის მიხედვით, ხასიათდება წრფივი დამოკიდებულებით და მისი ზრდის ტემპი პირდაპირპროპორციულადაა დამოკიდებული მატარებლის სიჩქარეზე;
- 40-45 კმ/სთ დიაპაზონის მატარებლის სიჩქარისათვის დგუშის ეფექტით აღძრული ჰაერის ხარჯის მაქსიმალური მნიშვნელობის შეფასება თბილისის მეტროს პირობებში მოხდა სტაციონარული ფაზის შესაბამისი სიჩქარის მიხედვით და მისი რიცხვითი სიდიდე არ აღემატება 90-100 მ³/წმ-ს, როცა გვირაბის შევსების კოეფიციენტი $\alpha = 0.35$.

ლიტერატურა

1. Г.Н. Абрамович. Прикладная газовая динамика. Наука, Москва, 1991. 824 с.
2. В.Я. Цодиков. Вентиляция и теплоснабжение метрополитенов. Недра, Москва, 1975. 566 с.
3. S. Pan, L. Fan, J.Liu, J. Xie, Y.Sun, N. Cui, L. Zhang, B. Zheng. A Review of the Piston Effect in Subway Stations. Hindawi Publishing Corporation, Advances in Mechanical Engineering, Volume 2013, Article ID 950205, 7 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/950205>.
4. H. Ingason, M. Kumm, D. Nilsson, A. Lönnemark, A. Claesson, Y.Z. Li, K. Fridolf, R. Åkerstedt, H. Nyman, T. Dittmer, R. Forsén, B. Janzon, G. Meyer, A. Bryntse, T. Carlberg, L. Newlove-Eriksson, and A. Palm. The METRO Project. Report, Mälardalen University, 2012.
5. O. Lanchava, N. Ilias, G. Nozadze, S. Radu, R. Moraru, Z. Khokerashvili, N. Arudashvili. The Impact of the Piston Effect on the Technological Characteristics of Ventilation in the Subway Tunnels. SESAM 2017 “International Symposium on Occupational Health and Safety, Bucharest, Romania, 2017.



ON THE EVALUATION OF AIR FLOWS CAUSED BY A PISTON EFFECT IN SUBWAY TUNNELS

LANCHAVA O., NOZADZE G., KHOKERASHVILI Z., ARUDASHVILI N.

The results of numerical simulation of the piston effect in tunnels of a metro in combination with theoretical analysis are given. In the form of tables and graphs given the changes in these values depending on the speed of the train and the filling factor of the tunnel. The obtained results are compared with known analogous results from the literature sources. As a result of the comparison, there is a good agreement between of the main results presented in this paper and mentioned results. In this work established that the piston effect of the moving train in the subway tunnels is characterized by the existence of two phases that should be taken into consideration during estimation of the speed of air (circulation flows) ahead and rear of the train and the backflow in the annulus between a tunnel and moving train. In the first phase the piston effect has a non-stationary character and the process is stabilized in the second phase.

For Science