

ტექნიკური უნივერსიტეტი

ომარ ლანჩავა

კვლევის მეთოდები პროფესიულ უსაფრთხოებაში



დამტკიცებულია სახელმძღვანელოდ
საქართველოს ტექნიკური
უნივერსიტეტის
სარედაქციო-საგამომცემლო საბჭოს
მიერ. 26.03.2026, ოქმი №1

თბილისი
2026

უაკ 622.861(075.771)

სახელმძღვანელო აერთიანებს პროფესიული უსაფრთხოების მრავალფეროვან თემებს. მათ შორისაა: ISO სტანდარტების გამოყენება, საწარმოო ტრავმატიზმისა და დაავადებების ანალიზი, ჰაერისა და ვენტილაციის ნორმირება, აფეთქებისა და ხანძრის პრევენცია, გამოსხივებისა და განათების რეგულაცია, ხმაურისა და ვიბრაციის კონტროლი, ელექტრო- და სტატიკური უსაფრთხოება, მაღალი წნევის მოწყობილობების ექსპლუატაცია, ცემენტის წარმოების რისკები და მრავალფაქტორული ანალიზი. ყოველი თავი მოიცავს განმარტებებს, პრაქტიკულ გაანგარიშებებს, საკონტროლო კითხვებსა და სტუდენტისთვის გასაგებ გზამკვლევებს.

გამოცემა განკუთვნილია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამთო-გეოლოგიური და მთის მდგრადი განვითარების ფაკულტეტის მაგისტრატურისა და დოქტორანტურის სტუდენტებისათვის.

რეცენზენტები: საქართველოს ეროვნული მეცნიერებათა აკადემიის საინჟინრო მეცნიერებათა და საინფორმაციო ტექნოლოგიების განყოფილების აკადემიკოს-მდივანი, კოსმოსური სამხედრო-საინჟინრო ტექნიკის გენერალური კონსტრუქტორი ელგუჯა მემმარიაშვილი,

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამთო-გეოლოგიური და მთის მდგრადი განვითარების ფაკულტეტის პროფესორი ნინო რატიანი



სახელმძღვანელო მომზადებულია შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით. გრანტის ნომერი FR-22-12949

© საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2026

ISBN 978-9941-528-29-3

<http://www.gtu.ge>

ყველა უფლება დაცულია. ამ წიგნის არც ერთი ნაწილის (იქნება ეს ტექსტი, ფოტო, ილუსტრაცია თუ სხვა არანაირი ფორმით და საშუალებით (იქნება ეს ელექტრონული თუ მექანიკური) არ შეიძლება გამომცემლის ნებართვის გარეშე.

საავტორო უფლებების დარღვევა ისჯება კანონით.

წიგნში მოყვანილი ფაქტების სიზუსტეზე პასუხისმგებელია ავტორი/ავტორები.

ავტორის/ავტორთა პოზიციას შეიძლება არ ემთხვეოდეს საგამომცემლო სახლის პოზიცია.



1. წინასწარი შენიშვნები

1.1. განმარტებები

თეორიული ინტეგრაცია:

- მოცემული თავი ქმნის სახელმძღვანელოს მეთოდოლოგიურ საფუძველს.
- აქ ჩამოყალიბებულია რისკის ცნება, მისი ინდექსების ფორმულირება და ანალიზის მეთოდები.
- მოცემული თავი უზრუნველყოფს სისტემური ანალიზის (სისანის) ჩარჩოს, რომელიც შემდგომ თავებში პრაქტიკულად გამოიყენება.
- ამ თავში წარმოდგენილი რისკის ინდექსი ($R = P \times S$) ქმნის საფუძველს ერთფაქტორული ანალიზისათვის. შემდგომ თავებში, განსაკუთრებით მე-13 თავში, ეს მოდელი ფართოვდება მრავალფაქტორულ და მრავალკომპონენტიან ანალიზად, სადაც ერთდროულად გათვალისწინებულია სხვადასხვა ტექნიკური, ორგანიზაციული, ჰიგიენური და სოციალური ფაქტორები. ამგვარად, პირველი თავის მეთოდოლოგიური ჩარჩო გარდაიქმნება კომპლექსურ სისტემურ მოდელად, რომელიც უზრუნველყოფს უფრო სრულყოფილ და რეალისტურ შეფასებას.

ინტეგრაცია სტანდარტებთან:

- ISO 31000-ის მოთხოვნა: რისკის იდენტიფიკაცია, რაოდენობრივი შეფასება ($R = P \times S$) და პრიორიტეტების განსაზღვრა.
- ISO 45001-ის ხაზგასმა: პრევენციული ზომები, თანამშრომელთა ჩართულობა და უსაფრთხოების პროცედურების სტანდარტიზაცია.

პედაგოგიური ინტეგრაცია:

- მკითხველს აძლევს ინსტრუმენტებს რისკის ინდექსების პრაქტიკული გამოთვლისათვის.
- სახელმძღვანელოში მოცემული მოკლე შენიშვნები პარაგრაფების მიხედვით აჩვენებს, თუ როგორ უკავშირდება განხილული საკითხი ISO სტანდარტებს.
- **რისკის ინდექსის ფორმულა ($R = P \times S$):** წარმოადგენს ISO 31000-ის მოთხოვნას — რისკის რაოდენობრივი შეფასება ინდექსის საშუალებით.
- **პრიორიტეტების განსაზღვრა:** ISO 31000 მოითხოვს პრიორიტეტების მატრიცას, რათა მაღალი რისკები პირველ რიგში მოექცეს კონტროლქვეშ.
- **კონტროლის ზომების დაგეგმვა:** ISO 45001 ხაზს უსვამს პრევენციულ ზომებს — ტექნიკურ, საორგანიზაციო და ინდივიდუალურ დონეზე.
- **მონიტორინგი და გაუმჯობესება:** ISO 45001-ის PDCA ციკლი (Plan–Do–Check–Act - დაგეგმვა-განხორციელება-შემოწმება-მოქმედება) უზრუნველყოფს უსაფრთხოების სისტემის უწყვეტ აღმავალ გაუმჯობესებას.

ამ პარაგრაფს უნდა დაუბრუნდეთ მოცემული თავის მასალის სრულად ათვისების შემდეგ [1-4].

1.2. ძირითადი ცნებები და დოკუმენტები

რისკის ზოგადი განმარტება. რისკი განისაზღვრება როგორც გაურკვევლობის შედეგი, რომელიც გავლენას ახდენს მიზნების მიღწევაზე. იგი შეიძლება იყოს როგორც დადებითი (შესაძლებლობა), ისე უარყოფითი (საფრთხე) და საჭიროებს სისტემურ ანალიზსა და მართვას. მაღალი რისკის სექტორებში — როგორებიცაა სამთამადნო მრეწველობა, ტრანსპორტი, ქიმიური მრეწველობა, ჯანდაცვა, მშენებლობა და სხვა რისკი უკავშირდება სიცოცხლის, ჯანმრთელობისა და უსაფრთხოების პირდაპირ საფრთხეს, რაც ზრდის მისი მართვის სტრატეგიულ მნიშვნელობას.

საფრთხე – ზიანის პოტენციური წყარო. ზიანი შესაძლებელია მიადგეს ადამიანებს, ინფრასტრუქტურას, გარემოს. ადამიანის შემთხვევაში ზიანი გამოიხატება დაავადებებით, ტრავმიანობით ან ჯანმრთელობის სხვაგვარი მოშლით ერთეული ან ჯგუფური შემთხვევის პირობებში. ინფრასტრუქტურის შემთხვევაში ზიანი გამოიხატება შენობა-ნაგებობის სრული ან ნაწილობრივი ნგრევით. გარემოს ზიანი შესაძლებელია მიადგეს ტოქსიკური, ფეთქებადი და სხვა სახიფათო ნივთიერებების, ან ხანძრის გავრცელებით, რომელიც იმოქმედებს აგრეთვე ფლორასა და ფაუნაზე.

ერთეული შემთხვევა – ზიანის ერთეულ შემთხვევასთან საქმე გვაქვს, როცა ის მიადგება მხოლოდ ერთ ადამიანს.

ჯგუფური შემთხვევა – არის მაშინ, თუ ზიანი მიადგა ერთზე მეტ ადამიანს.

საშიში სიტუაციები – პირობები, სადაც არსებობს ზიანის მიღების რეალური ალბათობა.

საფრთხის სიმძიმე (ინტენსიურობა) – კონკრეტული საფრთხის სიდიდის ან სიმძიმის ხარისხი. განსაკუთრებით გაძლიერებულია საფრთხეების საშიშროება სტიქიური მოვლენებისა და ბუნებრივი კატასტროფების დროს.

რისკი – საშიშროების რეალიზაციის ალბათობა და მასთან დაკავშირებული ზიანის სიდიდე. როდესაც ვსაუბრობთ რისკზე, აუცილებელია განვასხვავოთ მისი რეალიზაციის **ალბათობა** (რამდენად ხშირად შეიძლება მოხდეს) და **სიმძიმე** (რამდენად მძიმე შედეგი მოჰყვება).

უსაფრთხოება – მდგომარეობა, სადაც საფრთხეები და რისკები შემცირებულია მისაღებ დონემდე.

პროფესიული უსაფრთხოება – პროფესიულ საქმიანობასთან დაკავშირებული უსაფრთხოების ისეთი გარემოს შექმნა ადამიანისათვის, რომ გამოირიცხოს მისი ჯანმრთელობის ან სხვაგვარი დაზიანება.

რისკების შეფასება – პროცესია, რომლის საშუალებითაც განისაზღვრება რისკის დონე, მისი წყაროები და ზემოქმედების მასშტაბი.

რისკების მართვა – დონისძიებების ერთობლიობაა, რომელიც მიმართულია იდენტიფიცირებული რისკების შემცირებაზე ან გამორიცხვაზე.

რისკების მართვის ეტაპები – საფრთხეების იდენტიფიკაცია, რისკის ხარისხობრივი/რაოდენობრივი შეფასება, პრიორიტეტების განსაზღვრა, კონტროლის ზომების დაგეგმვა, მონიტორინგი და შედეგების შეფასება. სამუშაო პროცესებზე დაკვირვება და უკუკავშირის მიღება. ყოველივე აღნიშნული ეხმარება უსაფრთხოების დონის გაუმჯობესებას [5-7].

საერთაშორისო სტანდარტები: ISO 31000 და ISO 45001.

ISO 31000:2018 წარმოადგენს საერთაშორისოდ აღიარებულ სტანდარტს, რომელიც უზრუნველყოფს ზოგად წესებსა და რეკომენდაციებს ორგანიზაციული რისკების მართვისთვის. მისი ძირითადი მახასიათებლებია:

- რისკის იდენტიფიკაცია, ანალიზი და შეფასება.
- კონტექსტზე მორგებული მიდგომა.
- ინტეგრირება ორგანიზაციულ პროცესებში.
- განმეორებადი გადახედვა და გაუმჯობესება.

ISO 31000 ხელს უწყობს ორგანიზაციის გამძლეობას, სტრატეგიული მიზნების მიღწევას და პროცესების უწყვეტ გაუმჯობესებას. იგი არ განსაზღვრავს სერტიფიცირების მოთხოვნებს, არამედ წარმოადგენს ჩარჩოს, რომლის გამოყენებაც შეიძლება ნებისმიერი ტიპისა და ზომის ორგანიზაციის მიერ.

ISO 45001:2018 არის სამუშაო გარემოს უსაფრთხოების მართვის საერთაშორისო სტანდარტი. ის განსაკუთრებულ ყურადღებას ამახვილებს შრომის უსაფრთხოების რისკების შეფასებაზე და პრევენციულ ზომებზე. მისი ძირითადი პრინციპებია:

- სისტემური მიდგომა შრომის უსაფრთხოების რისკებზე.
- თანამშრომელთა ჩართულობა და კონსულტაცია.
- პროცესების მონიტორინგი და გაუმჯობესება.
- დამსაქმებლის პასუხისმგებლობა და სამართლებრივი შესაბამისობა.

ISO 45001 პირდაპირ ითვალისწინებს რისკებზე დაფუძნებული აზროვნების კონცეფციას, რაც გულისხმობს ორგანიზაციის ვალდებულებას, იდენტიფიცირება მოახდინოს არა მხოლოდ არსებული, არამედ პოტენციური რისკებისაც და შეიმუშაოს პრევენციული პოლიტიკა. ISO 45001 ხაზგასმით აღნიშნავს, რომ კოლექტიური დაცვის ღონისძიებები უნდა იყოს პრიორიტეტული, ხოლო ინდივიდუალური დაცვის საშუალებები — დამატებითი უზრუნველყოფა.

ISO 31000 და ISO 45001 არ არის დარგზე მიბმული სტანდარტები — ისინი ქმნიან უნივერსალურ ჩარჩოს, რომელიც ადაპტირდება კონტექსტის მიხედვით.

სხვა საერთაშორისო სტანდარტები:

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection - არაიონიზირებული გამოსხივებისგან დაცვის საერთაშორისო კომისია) ადგენს ელექტრომაგნიტური ველების ზღვრულ მნიშვნელობებს, რომლებიც განსაზღვრავს ადამიანის ჯანმრთელობისთვის უსაფრთხო დონეებს.

IAEA (International Atomic Energy Agency – ბირთვული ენერგიის საერთაშორისო სააგენტო) ადგენს მაიონებელი გამოსხივების უსაფრთხოების სტანდარტებს, მათ შორის დოზიმეტრულ მონიტორინგს, ნარჩენების მართვას და პერსონალის ინდივიდუალური დაცვის წესებს.

WHO (World Health Organization – ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაცია) ხაზს უსვამს ჯანმრთელობის დაცვის ორგანიზაციული და ჰიგიენური ღონისძიებების მნიშვნელობას განსაკუთრებით მგრძნობიარე ორგანოებისთვის (თვალები, ტვინი, გულ-სისხლძარღვთა სისტემა).

წინამდებარე სახელმძღვანელოში მოკლე შენიშვნების სახით მოცემულია განხილული მასალის კავშირი საერთაშორისო სტანდარტებთან. მოკლე შენიშვნები უზრუნველყოფენ, რომ მკითხველი არ დაკარგავს საერთო სურათს და დაინახავს თითოეული თემის ადგილს საერთაშორისო სტანდარტების კონტექსტში.

1.3. ISO სტანდარტების პრაქტიკული გამოყენება (სამთო მრეწველობა)

მიზანი – ISO 31000 და ISO 45001 სტანდარტების გამოყენება პრაქტიკულ კონტექსტში, რათა მკვლევარმა შეძლოს საფრთხეების იდენტიფიცირება, რისკების რაოდენობრივი შეფასება და კონტროლის ზომების დაგეგმვა.

ნაბიჯები:

1. საფრთხის იდენტიფიკაცია

- განსაზღვრე ყველა შესაძლო საფრთხე (მაგალითად, ნგრევა, აფეთქება, მტვრის ინჰალაცია).
- თითოეულ საფრთხეს მიაკუთვნე კატეგორია: ტექნიკური, ადამიანური, გარემოს პირობებიდან გამომდინარე.

2. რისკის ინდექსის გამოთვლა (*მოკლე შენიშვნა: აღნიშნული ხერხი წარმოადგენს ISO 31000-ის მოთხოვნას — რისკის რაოდენობრივი შეფასება ინდექსის საშუალებით.*)

- გამოიყენე ფორმულა:

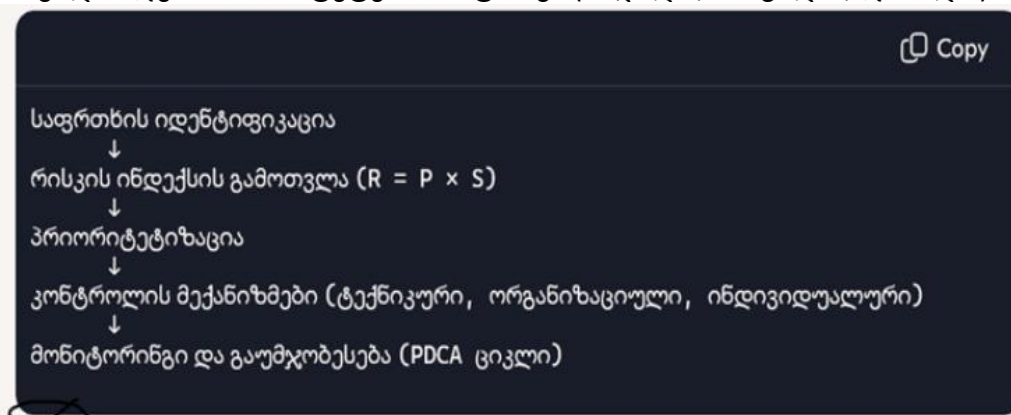
$$R = P \times S, \quad (1.1)$$

სადაც R არის რისკის ინდექსი; P — რეალიზაციის ალბათობა; S — შედეგის სიმძიმე.

- მაგალითად: აფეთქების ალბათობა $P = 0,2$, შედეგის სიმძიმე $S = 5$.
- რისკის ინდექსის გამოთვლა $R = 0,2 \times 5 = 1,0$.
- ინდექსი R მიუთითებს საშუალო რისკზე, რომელიც საჭიროებს კონტროლის ზომებს.

3. პრიორიტეტების განსაზღვრა (*მოკლე შენიშვნა: ISO 31000 მოითხოვს პრიორიტეტების მატრიცის შექმნას იმ მიზნით, რომ მაღალი რისკები პირველ რიგში მოექცეს კონტროლქვეშ.*)

- მაღალი ინდექსის მქონე საფრთხეები პირველ რიგში უნდა მოექცეს კონტროლის ქვეშ.
- ჩამოყალიბდეს პრიორიტეტების მატრიცა (მაღალი, საშუალო, დაბალი).



ფიგ. 1.1. რისკის მართვის ეტაპები სამთამადნო ინდუსტრიაში
ISO სტანდარტების მიხედვით.

4. კონტროლის ზომების დაგეგმვა

- ტექნიკური: ვენტილაციის სისტემების გაუმჯობესება.

- საორგანიზაციო: პერსონალის ტრენინგი.
- ინდივიდუალური: დამცავი აღჭურვილობის გამოყენება.

5. მონიტორინგი და გაუმჯობესება

- რეგულარული შემოწმება ISO 45001-ის მოთხოვნების შესაბამისად.
- უკუკავშირის მიღება პერსონალისგან.
- ინდექსების პერიოდული გადახედვა.

ISO სტანდარტების პრაქტიკული გამოყენების ვიზუალური სქემა სამთო დარგში [15, 16, 18–21]: **საფრთხის იდენტიფიკაცია → ინდექსის გამოთვლა → პრიორიტეტების განსაზღვრა → კონტროლის ზომები → მონიტორინგი.**

1.4. ISO სტანდარტების პრაქტიკული გამოყენება (ჯანდაცვა)

მიზანი – ჯანდაცვის სფეროში ISO 31000 და ISO 45001 სტანდარტების გამოყენება, რათა მოხდეს პაციენტებისა და პერსონალის უსაფრთხოების სისტემური მართვა.

ნაბიჯები:

1. საფრთხის იდენტიფიკაცია

- ინფექციის გავრცელება (ჰოსპიტალური ინფექციები).
- მედიკამენტების არასწორი დოზირება.
- ტექნიკური მოწყობილობების მტყუნება (მაგ., სუნთქვის აპარატი).
- ფსიქოსოციალური რისკები (სტრესი, გადაღლა).

2. რისკის ინდექსის გამოთვლა

- გამოიყენე (1) ფორმულა $R = P \times S$.
- მაგალითად: - ინფექციის გავრცელების ალბათობა $P = 0.3$, შედეგის სიმძიმე $S = 4$.
- რისკის ინდექსის გამოთვლა $R = 0.3 \times 4 = 1.2$.
- ინდექსი მიუთითებს მნიშვნელოვან რისკზე, რომელიც მოითხოვს დაუყოვნებელ კონტროლს.

3. პრიორიტეტების განსაზღვრა

- მაღალი ინდექსის მქონე საფრთხეები (ინფექცია, ტექნიკური მოწყობილობის მტყუნება) პირველ რიგში უნდა მოექცეს კონტროლის ქვეშ.
- საშუალო რისკები (სტრესი, გადაღლა) მოითხოვს სისტემურ მონიტორინგს.

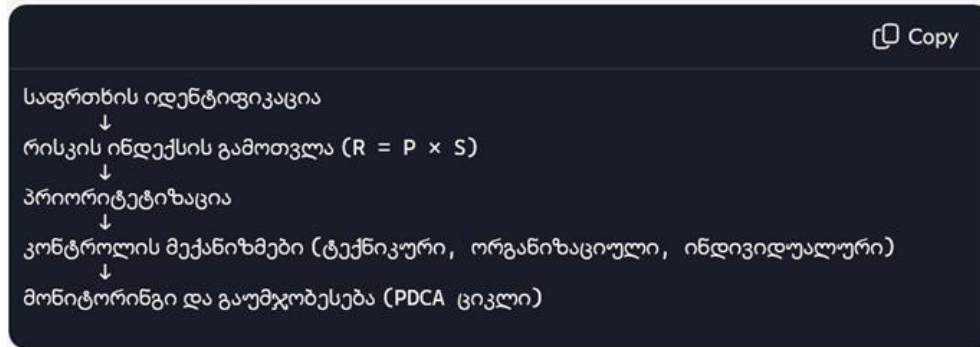
4. კონტროლის ზომების დაგეგმვა

- ტექნიკური: მოწყობილობების რეგულარული შემოწმება და სერტიფიცირება.
- საორგანიზაციო: მედიკამენტების დოზირების ორმაგი შემოწმების პროცედურა.
- ინდივიდუალური: პერსონალის ტრენინგი ინფექციის პრევენციაზე, სტრესის მართვის პროგრამები.

5. მონიტორინგი და გაუმჯობესება

- ISO 45001-ის მოთხოვნების შესაბამისად უსაფრთხოების სისტემის რეგულარული აუდიტი.

- უკუკავშირის მიღება პერსონალისა და პაციენტებისგან.
- ინდექსების პერიოდული გადახედვა და გაუმჯობესება.



**ფიგ. 1.2. რისკის მართვის ეტაპები ჯანდაცვაში
ISO სტანდარტების მიხედვით.**

ISO სტანდარტების პრაქტიკული გამოყენების ვიზუალური სქემა ჯანდაცვაში:
 საფრთხის იდენტიფიკაცია → ინდექსის გამოთვლა → პრიორიტეტიზაცია → კონტროლის ზომები → მონიტორინგი.

1.5. ISO სტანდარტების პრაქტიკული გამოყენება (ციფრული ტექნოლოგიები)

მიზანი – ISO 31000 და ISO 45001 სტანდარტების გამოყენება ციფრულ გარემოში, რათა მოხდეს მონაცემთა უსაფრთხოების, კიბერუსაფრთხოებისა და პერსონალის სამუშაო პირობების სისტემური მართვა.

ნაბიჯები:

1. საფრთხის იდენტიფიკაცია

- კიბერშეტევები (მონაცემთა გაჟონვა, სისტემის პარალიზება).
- პროგრამული უზრუნველყოფის მტყუნება.
- პერსონალის გადაღლა მუდმივი ონლაინრეჟიმის გამო.
- ელექტრომომარაგების ან ქსელის შეფერხება.

2. რისკის ინდექსის გამოთვლა

- გამოიყენე (1) ფორმულა $R = P \times S$.
- მაგალითი: მონაცემთა გაჟონვის ალბათობა $P = 0,25$, შედეგის სიმძიმე $S = 5$.
- რისკის ინდექსის გამოთვლა $R = 0,25 \times 5 = 1,25$.
- ინდექსი მიუთითებს მაღალ რისკზე, რომელიც მოითხოვს დაუყოვნებელ კონტროლს.

3. პრიორიტეტიზაციის განსაზღვრა

- მაღალი ინდექსის მქონე საფრთხეები (კიბერშეტევები, ელექტრომომარაგების შეფერხება) პირველ რიგში უნდა მოექცეს კონტროლის ქვეშ.

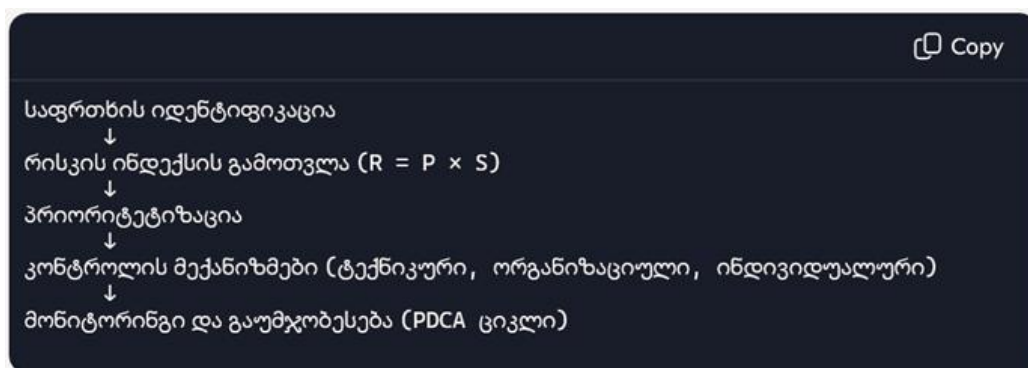
- საშუალო რისკები (პერსონალის გადაღლა) მოითხოვს სისტემურ მონიტორინგს და მხარდაჭერას.

4. კონტროლის ზომების დაგეგმვა

- ტექნიკური: კიბერუსაფრთხოების სისტემების გაძლიერება, მონაცემთა დამიფვრა.

- საორგანიზაციო: IT პერსონალის რეგულარული ტრენინგი, სამუშაო დროის მოქნილი განაწილება.

- ინდივიდუალური: სტრესის მართვის პროგრამები, მუშაობისა და დასვენების ბალანსის დაცვა.



ფიგ. 1.3. რისკის მართვის ეტაპები ციფრულ ტექნოლოგიებში ISO სტანდარტების მიხედვით.

5. მონიტორინგი და გაუმჯობესება

- ISO 31000-ის მოთხოვნების შესაბამისად რისკების პერიოდული გადახედვა.

- ISO 45001-ის შესაბამისად პერსონალის სამუშაო პირობების აუდიტი.

- უკუკავშირის მიღება მომხმარებლებისა და თანამშრომლებისგან.

ISO სტანდარტების პრაქტიკული გამოყენებისას მიღებული შედეგები გამოიყენება:

- რისკების პრიორიტეტიზაციაში.

- რესურსების განაწილებაში.

- უსაფრთხოების პოლიტიკის დაგეგმვაში.

- სასწავლო პროცესში პრაქტიკული მაგალითების შექმნაში.

- საერთაშორისო სტანდარტებთან შესაბამისობის შემოწმებაში.

ISO სტანდარტების პრაქტიკული გამოყენების ვიზუალური სქემა ციფრულ ტექნოლოგიებში: **საფრთხის იდენტიფიკაცია → ინდექსის გამოთვლა → პრიორიტეტების განსაზღვრა → კონტროლის ზომები → მონიტორინგი.**

1.6. ISO სტანდარტების პრაქტიკული გამოყენება (მშენებლობა)

მიზანი – ISO 31000 და ISO 45001 სტანდარტების გამოყენება მშენებლობის სფეროში, რათა მოხდეს სამუშაო გარემოსა და პროცესების უსაფრთხოების სისტემური მართვა.

ნაბიჯები:

1. საფრთხის იდენტიფიკაცია:

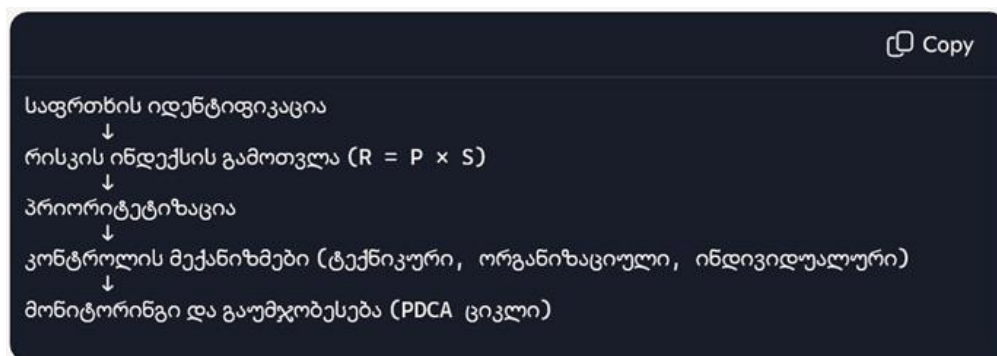
- სიმაღლიდან ჩამოვარდნა.
- მძიმე ტექნიკის მტყუნება.
- ქიმიური ნივთიერებების ზემოქმედება.
- ელექტროენერგიის გამოყენებისას ავარიები.

2. რისკის ინდექსის გამოთვლა:

- გამოიყენე (1) ფორმულა $R = P \times S$.
- მაგალითი: სიმაღლიდან ჩამოვარდნის ალბათობა $P = 0,15$, შედეგის სიმძიმე $S = 5$.
- რისკის ინდექსის გამოთვლა $R = 0,15 \times 5 = 0,75$.
- ინდექსი მიუთითებს მნიშვნელოვან რისკზე, რომელიც მოითხოვს კონტროლის ზომებს.

3. პრიორიტეტების განსაზღვრა:

- მაღალი ინდექსის მქონე საფრთხეები (სიმაღლიდან ჩამოვარდნა, მძიმე ტექნიკის მტყუნება) პირველ რიგში უნდა მოექცეს კონტროლის ქვეშ.
- საშუალო რისკები (ქიმიური ნივთიერებები, ელექტროენერგიის ავარიები) მოითხოვს სისტემურ მონიტორინგს.



**ფიგ. 1.4. რისკის მართვის ეტაპები სამშენებლო სექტორში
ISO სტანდარტების მიხედვით.**

4. კონტროლის ზომების დაგეგმვა:

- ტექნიკური: დამცავი ბადეები, უსაფრთხოების სარტყლები, ტექნიკის რეგულარული შემოწმება.
- საორგანიზაციო: უსაფრთხოების ინსტრუქტაჟი, სამუშაოს ზონების მონიშვნა.

- ინდივიდუალური: დამცავი ჩაფხუტის, ხელთათმანის, სპეციალური ფეხსაცმელის გამოყენება.

5. მონიტორინგი და გაუმჯობესება:

- ISO 45001-ის მოთხოვნების შესაბამისად უსაფრთხოების სისტემის რეგულარული აუდიტი.

- ინციდენტების სტატისტიკის ანალიზი.

- ინდექსების პერიოდული გადახედვა და გაუმჯობესება [8-13, 15, 16].

ISO სტანდარტების პრაქტიკული გამოყენების ვიზუალური სქემა მშენებლობაში:
საფრთხის იდენტიფიკაცია → ინდექსის გამოთვლა → პრიორიტეტების განსაზღვრა → კონტროლის ზომები → მონიტორინგი.

დამატებითი მითითება მკვლევრისათვის:

მიუხედავად იმისა, რომ სახელმძღვანელოში მოცემულია კონკრეტული მაგალითები (მეთანის გამოყოფა, ინფექციის გავრცელება, კიბერშეტევა, სიმაღლიდან ჩამოვარდნა და სხვ.), მკვლევარმა თავისი გამოცდილებისა და პრაქტიკული დაკვირვებების საფუძველზე უნდა შეარჩიოს დამატებითი რისკები.

- ეს საშუალებას აძლევს მკვლევარს მოარგოს ინდექსის ფორმულა რეალურ საკვლევ გარემოზე.

- ინდივიდუალური გამოცდილება უზრუნველყოფს დარგობრივ სპეციფიკას და ზრდის კვლევის სანდოობას.

- სახელმძღვანელო მხოლოდ ჩარჩოს იძლევა, ხოლო კონკრეტული რისკების შერჩევა ხდება მკვლევრის პროფესიული კომპეტენციის მიხედვით.

- როგორც მათემატიკური მატრიცების 1.1-1.4 ფიგურებიდან ჩანს, ყველა განხილულ შემთხვევაში, დარგობრივი კუთვნილების მიუხედავად, რისკის მართვის ეტაპები ერთმანეთის იდენტურია, რაც მეტად მნიშვნელოვანია მასალის გააზრების ინტერესებიდან გამომდინარე.

1.7. ექსპერტული შეფასება

მიზანი – ექსპერტული შეფასება არის კვლევითი მეთოდი, რომელიც საშუალებას აძლევს მკვლევარს შეაფასოს კონკრეტული რისკი, განსაზღვროს მისი გამომწვევი ფაქტორები და შეიმუშაოს ინდექსები, რომლებიც ასახავს რისკის ინტენსიურობასა და მართვის შესაძლებლობას.

ნაბიჯები მკვლევრისათვის:

1. **რისკის შერჩევა** — მაგალითად, მეთანის გამოყოფა (სამთო საქმეში).

2. **ცვლადების განსაზღვრა** — მონაცემები უნდა იყოს ხელმისაწვდომი ან შეგროვდეს ინსპექტირების გზით.

3. **ფორმულის შედგენა** — ასახოს მიზეზ-შედეგობრივი კავშირი.

4. **მონაცემთა შეგროვება** — სენსორები, ინციდენტების არქივი, ტექნიკური დოკუმენტაცია.

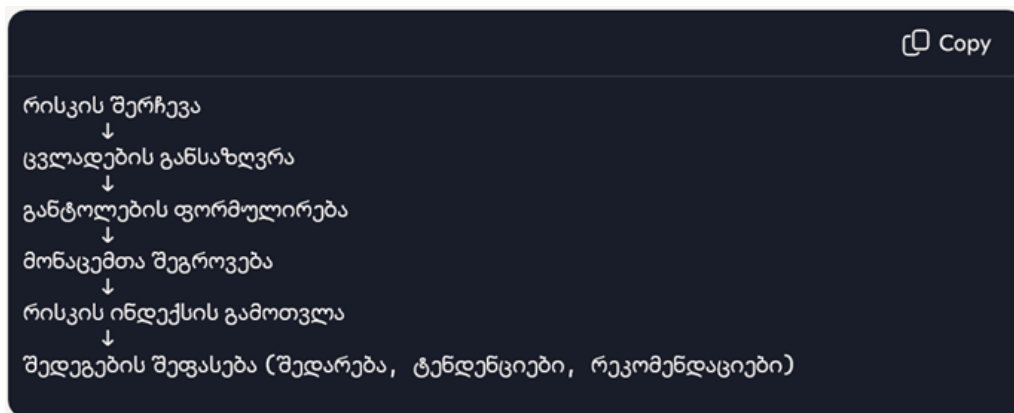
5. **რისკის ინდექსის გამოთვლა** — სხვადასხვა უბნის, დროის ან პროცესის მიხედვით (1) ფორმულით.

6. **შედეგების შეფასება** — შედარება, ტენდენციის გამოვლენა, პოლიტიკის რეკომენდაცია.

7. **ექსპერტული შეფასება** უნდა დამოწმდეს სტატისტიკური მონაცემებით და ინდექსების ჯამი უნდა იყოს 1-ის ტოლი, რათა შედეგები იყოს გაწონასწორებული.

ISO სტანდარტების პრაქტიკული გამოყენებისას მიღებული შედეგები გამოიყენება:

- რისკების პრიორიტეტიზაციაში.
- რესურსების განაწილებაში.
- უსაფრთხოების პოლიტიკის დაგეგმვაში.
- სასწავლო პროცესში პრაქტიკული მაგალითების შექმნაში.
- საერთაშორისო სტანდარტებთან შესაბამისობის შემოწმებაში.



ფიგ. 1.5. ექსპერტული შეფასების ეტაპები პროფესიული უსაფრთხოების კვლევაში.

1.8. როგორ უნდა იმოქმედოს მკვლევარმა

მიზანი - კვლევისათვის ინსტრუქციული რუკის შექმნა, რომელიც აერთიანებს კვლევის მიზნის განსაზღვრას, რისკების კლასიფიკაციას, მეთოდოლოგიის შერჩევას, ინდექსების გამოყენებას, მონაცემთა შეგროვებასა და შედეგების ინტერპრეტაციას.

ნაბიჯები:

1. კვლევის მიზნის ფორმულირება:

- განსაზღვრე, რა ტიპის რისკების შესწავლას აპირებ (კლინიკური, ქიმიური, ფიზიკური),
იყოს: კონკრეტული დარგის რისკების შეფასება, ინდექსების შედარება, პრევენციული მექანიზმების ანალიზი.

2. ტიპოლოგიური კლასიფიკაციის გამოყენება:

- შეადგინე რისკების რუკა ფუნქციური კატეგორიების მიხედვით.
- მაგალითად: ქიმიური რისკი → ანესთეზია ჯანდაცვაში; საღებავები მშენებლობაში.

3. მეთოდოლოგიური ჩარჩოს შერჩევა:

- დაკვირვება → ქცევითი და ერგონომიული რისკები.
- ინტერვიუ → ფსიქო-სოციალური და ორგანიზაციული რისკები.
- სტატისტიკური ანალიზი → ინციდენტების სიხშირე და ტენდენციები.
- მოდელირება → ტექნიკური და ფიზიკური რისკების პროგნოზირება.
- ტრიანგულაცია → მონაცემთა სანდოობის გაძლიერება.

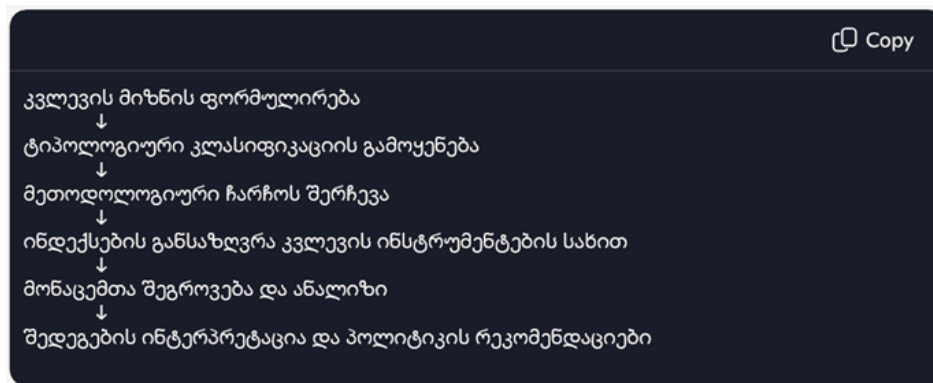
4. ინდექსების როგორც კვლავითი ინსტრუმენტის განსაზღვრა:

• უსაფრთხოების ინტეგრირებული ინდექსი (SII - Security Integrated Index): აერთიანებს ინციდენტების სიხშირეს, პრევენციული მექანიზმების ეფექტიანობას, პერსონალის ჩართულობას.

• გავლენის ინდექსი (II - Impact Index): ასახავს რისკის ინტენსიურობასა და მისი შემცირების პოტენციალს.

• ინდექსის ფორმულა უნდა იყოს დარგის სპეციფიკაზე მორგებული.

• ყველა ინდექსის წონის ჯამი უნდა იყოს 1-ის ტოლი, რაც უზრუნველყოფს შედეგების გაწონასწორებულ განაწილებას.



ფიგ. 1.6. ინსტრუქციული გზამკვლევი მკვლევრისთვის პროფესიული უსაფრთხოების სფეროში.

5. მონაცემთა შეგროვება და ანალიზი:

- გამოიყენე კითხვარები, ინსპექტირების ანგარიშები, ტექნიკური დოკუმენტაცია.
- მონაცემები დაიშალოს ანალიზისთვის და კვლავ ინტეგრირდეს სინთეზის ეტაპზე.

6. შედეგების ინტერპრეტაცია და პოლიტიკის რეკომენდაცია:

- ინდექსების შედარება სხვადასხვა დარგში.
- პრიორიტეტების განსაზღვრა (სად არის ყველაზე მაღალი გავლენის ინდექსი - II)?
 - რეკომენდაციების ფორმულირება: ტრენინგი, ინსპექტირება, ტექნოლოგიური ინტეგრაცია.

1.9. წარმოებებისა და ტექნოლოგიური პროცესების უსაფრთხოება

ცნებები წარმოება და ტექნოლოგიური პროცესები ერთმანეთთან ახლოს მდგომი მნიშვნელობებია, თუმცა იდენტური არ არიან. ტექნოლოგიური პროცესი, როგორც წესი, წარმოების პროცესის ნაწილია, რადგან წარმოების პირობებში შესაძლებელია საქმე გვექონდეს რამდენიმე ტექნოლოგიურ პროცესთან.

ამგვარად, წარმოების პროცესი არის მომუშავეთა და შრომის საშუალებების ყველა მოქმედების ერთობლიობა, რომელიც საჭიროა სასაქონლო პროდუქციის გამოსაშვებად, მომსახურების უზრუნველსაყოფად ან მესამე პირებისათვის სხვა სამუშაოების შესასრულებლად.

ტექნოლოგიური პროცესი კი არის მოქმედება, რომლითაც წარმოების პროცესში რეალიზდება გარკვეული ტექნოლოგია.

წარმოებებისა და ტექნოლოგიური პროცესების უსაფრთხოების მოთხოვნები მოცემულია შრომის დაცვის ერთიან უსაფრთხოების წესებში, დარგობრივ და დარგთაშორის ნორმებში, სანიტარიულ წესებში, ტექნოლოგიურ რეგლამენტებში, შრომის უსაფრთხოების სტანდარტებსა და სხვა ანალოგიურ დოკუმენტებში.

ერთიანი უსაფრთხოების წესები სავალდებულოა ყველა დარგის საწარმოებისა და ორგანიზაციებისათვის მათი უწყებრივი დაქვემდებარების მიუხედავად (მაგალითად, დაპროექტების სანიტარიული ნორმები; ელმომარაგების, დამიწების, ვენტილაციის, გათბობის, წყალმომარაგებისა და სხვა კომუნიკაციების მოწყობის წესები).

დარგთაშორისი უსაფრთხოების წესები უზრუნველყოფს იმ სამუშაოების უსაფრთხო შესრულებას, რომლებიც საერთო ხასიათისაა სხვადასხვა დარგში. მაგალითად, ზეინკლების, ხარატების ან ელექტროშემდუღებლებისათვის მოქმედებს ერთიანი მოთხოვნები უსაფრთხოების ტექნიკისა და საწარმოო სანიტარიის მიმართულებით.

დარგობრივი უსაფრთხოების წესები კი კონკრეტული მრეწველობისათვისაა შემუშავებული და ვრცელდება დარგის ყველა საწარმოზე. მაგალითად, ქვანახშირისა და საწვავი ფიქლების მახტებში მოქმედებს სპეციალური „უსაფრთხოების წესები“, რომლებიც სწორედ ამ დარგის სპეციფიკას ითვალისწინებს.

უსაფრთხოების ზოგადი მოთხოვნებით, საწარმოო პროცესების უსაფრთხოება, მათი მოქმედების მთელ ციკლში, მიიღწევა საშიში სიტუაციის წარმოქმნის რისკის დასაშვები დონის შენარჩუნებით, რაც შესაძლებელია შემდეგი გზებით:

1. ისეთი ტექნოლოგიების გამოყენებით, რომლის დროსაც: ა) გამოირიცხულია მომუშავეთა უშუალო კონტაქტი მავნე და სახიფათო საწარმოო ფაქტორებთან; ბ) ავარიის მოხდენის რისკი შემცირებულია მინიმუმამდე ტექნოლოგიის განვითარებისა და ეკონომიკური მიზანშეწონილობიდან გამომდინარე; გ) ავარიის შემთხვევაში მავნე ფაქტორებს არ ექნებათ წვდომა მომუშავეებზე; დ) მომუშავეთა დაცვის დონე გაზრდილია და მათ მიერ უზრუნველყოფილია უსაფრთხოების წესების მკაცრი და განუხრელი დაცვა.

2. ისეთი საწარმოო შენობების, ნაგებობებისა და სათანადო საინჟინრო უზრუნველყოფის გამოყენება, რომლებიც სანიტარიულ-ჰიგიენურ და სახანძრო უსაფრთხოებას ავტომატურად შეინარჩუნებენ საჭირო დონეზე ყველა საწარმოო მოედანზე და სათავსოში.

3. უსაფრთხო საწარმოო მოწყობილობების გამოყენებით, რომლებიც უზრუნველყოფენ მომუშავეთა უსაფრთხოებას მონტაჟის (დემონტაჟის) სამუშაოების შესრულებისას.

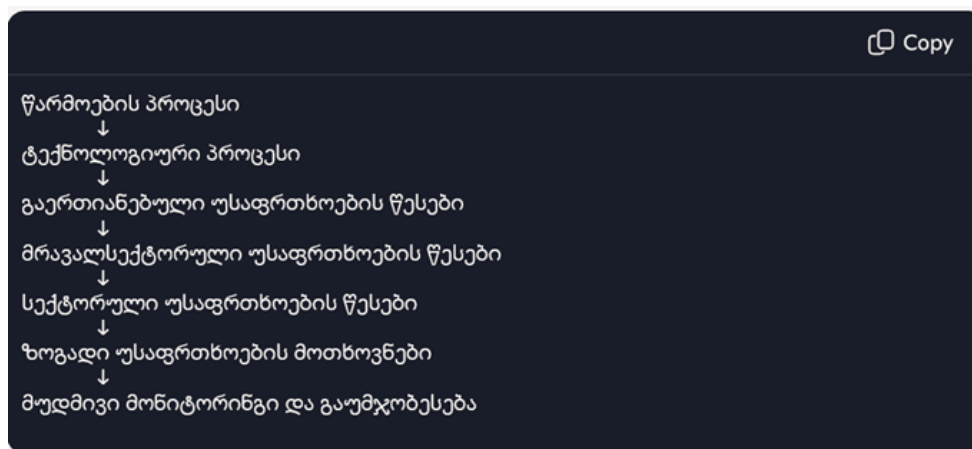
4. საწარმოო მოწყობილობების რაციონალური განლაგებით, აგრეთვე სამუშაო ადგილების რაციონალური განლაგებით და საწარმოო პროცესის ასეთივე წარმართვით ერგონომიკური მოთხოვნების გათვალისწინებით და მათ საფუძველზე.

5. შრომისა და დასვენების ოპტიმალური რეჟიმების დამუშავება-გამოყენებით, მაღალი საწარმოო და შრომითი დისციპლინის დაცვით.

6. პროექტით და ტექნოლოგიური რეგლამენტით გათვალისწინებული ნედლეულის, ნამზადების, ნახევარფაბრიკატების და სხვათა გამოყენებით, რაც არ გამოიწვევს მომუშავეებზე გაუთვალისწინებელი რისკების წარმოქმნას და ხელს არ შეუწყობს სახიფათო ან მავნე პირობების დადგომას.

7. უსაფრთხოების მოთხოვნების შესაბამისი ნედლეულის, ნამზადების, ნახევარფაბრიკატებისა და სხვათა, აგრეთვე მზა პროდუქციის სათანადო შენახვა-დასაწყობებით რისკის გამორიცხვა.

8. დაცვის კოლექტიური და ინდივიდუალური საშუალებების გონივრული გამოყენებით, რომლებიც შესაბამისობაში იქნება სახიფათო და მავნე ფაქტორების გამოვლინების ადგილებთან.



ფიგ. 1.7. წარმოებისა და ტექნოლოგიური პროცესების უსაფრთხოების ღონისძიებები პროფესიული უსაფრთხოების სტანდარტების მიხედვით.

9. წარმოების სახიფათო ზონების აღმოჩენით, გამოყოფით და მონიშვნით.

10. მომუშავეთა პროფესიული ცოდნის ამადლებით – ინსტრუქტაჟით, სწავლებებით, სტაჟირებით და აგრეთვე, მაღალი კვალიფიკაციის კადრების შერჩევით.

11. მონიტორინგის ეფექტური მეთოდებისა და საშუალებების გამოყენებით მთელი პროცესისათვის ან ცალკეული ციკლებისათვის.

12. შენობა-ნაგებობების, ინსტრუმენტების, მოწყობილობის გამართულ მდგომარეობაში შენარჩუნებით საწარმოო პროცესის მთელი პერიოდისათვის.

აღნიშნულთან ერთად, საწარმოო პროცესმა არ უნდა გამოიწვიოს გარემოს (ჰაერის, ნიადაგის, წყლის) დაბინძურება ან უნდა შეძლოს შენარჩუნება გარკვეულ, ამ პროცესებისათვის განსაზღვრულ დასაშვებ ფარგლებში

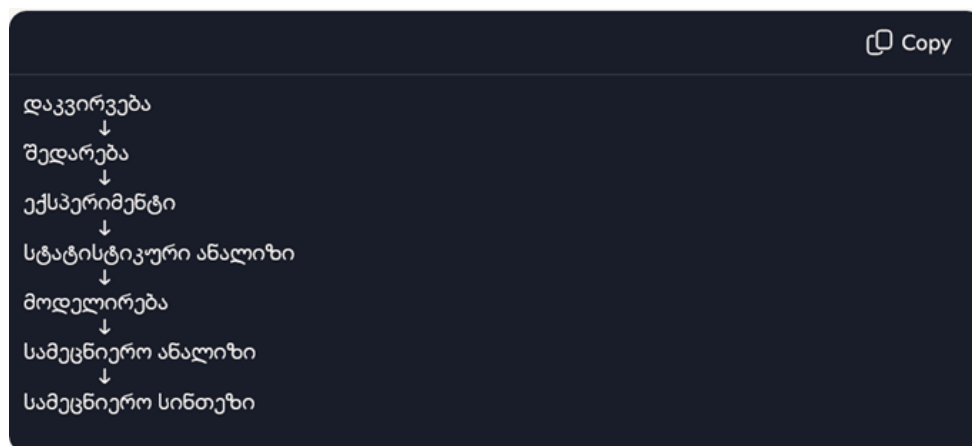
1.10. კვლევის მეთოდები

პროფესიულ უსაფრთხოებაში

პროფესიულ უსაფრთხოებაში გამოყენებული კვლევის მეთოდები უზრუნველყოფს სისტემურ მიდგომას პრობლემების გაგებისა და გადაჭრისათვის. იგი შედგება სხვადასხვა მეთოდების, ტექნიკისა და მეთოდოლოგიისაგან, ანუ კვლევის გეგმისაგან, რომლებიც ვალიდურობას, სიზუსტესა და სანდოობას უზრუნველყოფენ. პროფესიულ უსაფრთხოებაში გამოიყენება კვლევის შემდეგი მეთოდები:

- **დაკვირვება** – უშუალო ფაქტების შეგროვება.
- **შედარება** – მონაცემების შეჯერება განსხვავებებისა და მსგავსებების დასადგენად. მაგალითად, ერთმანეთს შედარდება ქვეყნების, რეგიონების, ცალკეული ობიექტების მონაცემები ოპტიმალური შედეგების გამოსავლენად და გასავრცობად ან აშკარად ნეგატიური მიდგომების თავიდან ასაცილებლად.
- **ექსპერიმენტი** – რეალურად მიმდინარე პროცესების პირობების შეცვლა ახალი შედეგების მისაღებად ან გასაზომად.
- **სტატისტიკური ანალიზი** – მონაცემების რაოდენობრივი დამუშავება.
- **მოდელირება** – რეალური პროცესის შეცვლა ფიზიკური ან მათემატიკური მოდელით რისკების წინასწარი შეფასებისთვის.
- **მეცნიერული ანალიზი და სინთეზი.**

მეცნიერული ანალიზი – მოვლენის ან პროცესის დაშლა მის შემადგენელ ნაწილებად, რათა უკეთ გავიგოთ თითოეული ელემენტის თვისებები, ურთიერთკავშირი და გავლენა. მაგალითად, კონკრეტული ინციდენტის ანალიზი საშუალებას გვაძლევს დავინახოთ, რა ფაქტორებმა შეუწყო ხელი მის განვითარებას.



ფიგ. 1.8. კვლევის მეთოდები პროფესიულ უსაფრთხოებაში.

მეცნიერული სინთეზი – ანალიზის საპირისპირო პროცესია, როდესაც მიღებული მონაცემები და დაკვირვებები ერთიანდება საერთო სურათში. სინთეზის საშუალებით

სხვადასხვა წყაროდან მიღებული ინფორმაცია ინტეგრირდება და იძლევა გადაწყვეტილებების მიღების საშუალებას.

მეცნიერული ანალიზი წარმოადგენს ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს კვლევის მეთოდს, რომელიც უზრუნველყოფს როგორც თეორიული, ისე პრაქტიკული საკითხების სიღრმისეულ შეფასებას. მისი საშუალებით შესაძლებელია რთული პროცესებისა და მოვლენების დეტალური სტრუქტურიზაცია, კანონზომიერებების გამოვლენა და ისეთი დასკვნების ჩამოყალიბება, რომლებიც ემყარება მკაფიო ლოგიკურ და ემპირიულ საფუძვლებს. აღნიშნული მეთოდი განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია შრომის უსაფრთხოების სფეროში, რადგან სწორედ მეცნიერული ანალიზი ქმნის საფუძველს რეალისტური რისკების იდენტიფიცირებისა და მათი ეფექტიანი მართვისათვის. იგი არა მხოლოდ აკადემიურ სიღრმეს ანიჭებს კვლევას, არამედ პრაქტიკულ ღონეზეც უზრუნველყოფს რეკომენდაციების სანდოობასა და გამოყენებადობას.

მეცნიერული ანალიზი საშუალებას იძლევა რომ მოხდეს არა მხოლოდ ფაქტობრივი მონაცემების სისტემატიზაცია, არამედ მრავალფაქტორული რისკების გამოვლენა, მათი რაოდენობრივი და ხარისხობრივი შეფასება და პროგნოზირება. შესაბამისად, მეცნიერული ანალიზი წარმოადგენს არა დამხმარე, არამედ ფუნდამენტურ ინსტრუმენტს, რომლის გარეშეც შეუძლებელია შრომის უსაფრთხოების თანამედროვე სტანდარტების ჩამოყალიბება და სრულყოფა.

პროფესიულ უსაფრთხოებაში კვლევის მეთოდები მოიცავს როგორც რაოდენობრივ, ისე ხარისხობრივ მიდგომებს, რათა შეფასდეს რისკები, ქცევები, და უსაფრთხოების პოლიტიკის ეფექტიანობა. დეტალურად განვიხილოთ მეცნიერული მეთოდები, რომლებიც ყველაზე ხშირად გამოიყენება პროფესიულ უსაფრთხოებაში და აგრეთვე შევხვით მათი გამოყენების მიზნებს.

რაოდენობრივი მეთოდები:

ეს მეთოდები ემყარება სტატისტიკურ მონაცემებს და გამოიყენება რისკების, ინციდენტების სიხშირისა და უსაფრთხოების პოლიტიკის ეფექტიანობის შესაფასებლად. რაოდენობრივი მეთოდების სახეობებია:

- **გამოკითხვები და კითხვარები**

გამოიყენება უსაფრთხოების საკითხებზე დასაქმებულთა ცოდნის, დამოკიდებულებების და ქცევების შესაფასებლად.

- **სტატისტიკური ანალიზი**

ინციდენტების, ავარიებისა და პროფესიული დაავადებების მონაცემების ანალიზი, რათა გამოვლინდეს ტენდენციები და რისკ-ფაქტორები.

- **მონიტორინგი და გაზომვები**

გარემოს პირობების (მაგ., ტემპერატურის, ხმაურის, ტოქსიკური ნივთიერებების კონცენტრაციის) რეგისტრაცია სპეციალური საზომი მოწყობილობებით.

ხარისხობრივი მეთოდები:

ხარისხობრივი მიდგომები ფოკუსირდება ადამიანურ ფაქტორებზე, ქცევებსა და ორგანიზაციულ კულტურაზე.

- **ინტერვიუები და ფოკუს-ჯგუფები**

ღრმა ინფორმაციის მიღება დასაქმებულების გამოცდილებაზე, აღქმასა და უსაფრთხოების კულტურაზე.

- **დაკვირვება სამუშაო პროცესზე**

რეალურ სამუშაო გარემოში ქცევებისა და პროცედურების შეფასება, რათა გამოვლინდეს შესაძლო საფრთხეები.

- **შემთხვევის ანალიზი**

კონკრეტული ინციდენტის დეტალური შესწავლა, რათა გაირკვეს მიზეზები და შემუშავდეს პრევენციული ზომები.

შერეული მეთოდები:

როდესაც რაოდენობრივი და ხარისხობრივი მიდგომები კომბინირდება, კვლევა ხდება უფრო კომპლექსური და სიღრმისეული.

- მაგალითად, ინციდენტების სტატისტიკური ანალიზის შემდეგ შეიძლება ჩატარდეს ინტერვიუები, რათა გაირკვეს ქცევითი მიზეზები.

1.11. მეთოდოლოგიური რუკა - ტრიანგულაცია

ქვემოთ მოცემულ ცხრილში წარმოდგენილია მეთოდოლოგიური რუკა კვლევის მეთოდების გამოყენების პრიორიტეტების შესახებ.

ცხრილი 1.1

კვლევის მეთოდების გამოყენების პრიორიტეტები

მეთოდი	გამოყენება
დაკვირვება	ერგონომიული, ქცევითი რისკები
სტატისტიკური ანალიზი	ინციდენტების სიხშირე, ტენდენციები
მოდელირება	ფიზიკური, ქიმიური რისკების პროგნოზი
ინტერვიუ	ფსიქო-სოციალური, ორგანიზაციული რისკები

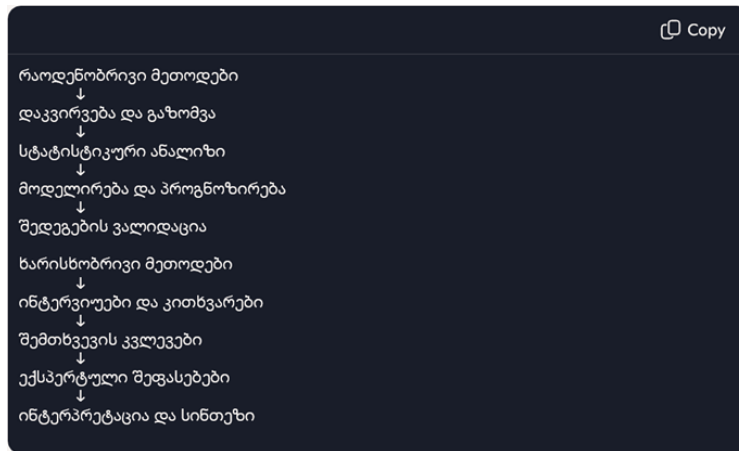
კვლევის სანდოობის გასაზრდელად ხშირად გამოიყენება **ტრიანგულაცია**, რომელიც განისაზღვრება როგორც მეთოდების კომბინაცია ერთი და იმავე ფენომენის შესწავლის პროცესში, ანუ მონაცემების გადამოწმება სხვადასხვა მეთოდით (მაგ. დაკვირვება + ინტერვიუ + სტატისტიკა), რაც იძლევა უფრო ობიექტურ და მრავალმხრივ სურათს.

ამგვარად, ტრიანგულაცია გულისხმობს ერთი და იმავე ფენომენის შესწავლას სხვადასხვა მეთოდით, რათა მიღებული შედეგები იყოს უფრო ობიექტური, სანდო და მრავალმხრივი. აი, კონკრეტული მაგალითი პროფესიული უსაფრთხოების კონტექსტში. ქიმიური რისკების შეფასება ლაბორატორიაში.

- დაკვირვება: უსაფრთხოების სპეციალისტი რეალურ სამუშაო პროცესში აკვირდება პერსონალის ქცევებს — იყენებენ თუ არა დამცავ აღჭურვილობას, როგორ ინახავენ ქიმიურ ნივთიერებებს.

- ინტერვიუები: პერსონალთან ჩატარდება დაწვრილებითი ინტერვიუები, რათა გაირკვეს მათი აღქმა და დამოკიდებულება ქიმიური რისკების მიმართ.

- სტატისტიკური ანალიზი: განიხილება ინციდენტების ისტორია — რამდენჯერ დაფიქსირდა ქიმიური ნივთიერებების გაჟონვა, მოწამვლა ან სხვა შემთხვევა.



ფიგ. 1.9. რაოდენობრივი და ხარისხობრივი მეთოდები პროფესიული უსაფრთხოების კვლევაში.

1.12. კვლევის მეთოდების დაწვრილებითი მოდულური აღწერა

1. დაკვირვება

გამოიყენება ქცევითი და ერგონომიული რისკების შესაფასებლად. მკვლევარი უშუალოდ აკვირდება სამუშაო პროცესს, აფიქსირებს პერსონალის ქცევებს, პოზებს, მოძრაობის ლოგიკას და უსაფრთხოების წესების დაცვას.

გამოყენება:

- სამთო დარგში: ვაგონეტების მართვისას ქცევითი დარღვევების დაფიქსირება.
- ჯანდაცვაში: პაციენტის გადაადგილებისას პერსონალის ქცევის შეფასება.

2. ინტერვიუები

ფოკუსირებულია ფსიქო-სოციალურ და ორგანიზაციულ რისკებზე. მკვლევარი ატარებს ღრმა ინტერვიუებს თანამშრომლებთან, რათა შეაფასოს სტრესი, გადაღლა, უსაფრთხოების კულტურა და კომუნიკაცია.

გამოყენება:

- სამთო დარგში: უსაფრთხოების აღქმის შეფასება.
- ჯანდაცვაში: მედპერსონალის ემოციური დატვირთვის ანალიზი.

3. სტატისტიკური ანალიზი

შეაფასებს ინციდენტების სიხშირეს, ტენდენციებს და რისკ-ფაქტორებს. გამოიყენება ისტორიული მონაცემების რაოდენობრივი დამუშავებისთვის.

გამოყენება:

- სამთო დარგში: მეთანის აფეთქებების სტატისტიკა.
- ჯანდაცვაში: სამედიცინო შეცდომების რაოდენობრივი ანალიზი.

4. მოდელირება

გამოიყენება ფიზიკური და ტექნიკური რისკების პროგნოზირებისთვის. მკვლევარი ქმნის სიმულაციურ სცენარებს, რათა შეაფასოს შესაძლო ავარიები ან სისტემური ჩავარდნები.

გამოყენება:

- სამთო დარგში: გვირაბის ჩამონგრევის პროგნოზირება.
- ჯანდაცვაში: ინფექციის გავრცელების მოდელირება.

5. ტრიანგულაცია

მონაცემთა სანდოობის გასაზრდელად გამოიყენება რამდენიმე მეთოდის კომბინაცია — მაგალითად, დაკვირვება + ინტერვიუ + სტატისტიკა. ეს უზრუნველყოფს ობიექტურობას და მრავალმხრივ ანალიზს.

გამოყენება:

- სამთო დარგში: ქიმიური რისკების შეფასება.
- ჯანდაცვაში: კლინიკური შემთხვევის მრავალმხრივი ანალიზი.

6. კითხვარები და გამოკითხვები

გამოიყენება დასაქმებულთა ცოდნის, დამოკიდებულებებისა და ქცევების შესაფასებლად.

გამოყენება:

- სამთო დარგში: დაცვის ინდივიდუალური საშუალებების გამოყენების ცოდნის შეფასება.
- ჯანდაცვაში: ჰიგიენის პროტოკოლების ცოდნის დონის დადგენა.

7. შემთხვევის ანალიზი

მკვლევარი იკვლევს კონკრეტულ ინციდენტს დეტალურად, რათა დაადგინოს მიზეზები, პროცესული ჩავარდნები და პრევენციული ზომები.

გამოყენება:

- სამთო დარგში: აფეთქების ან ნგრევის შემთხვევის გაშლა.
- ჯანდაცვაში: სამედიცინო შეცდომის დეტალური ანალიზი.

8. საზომი მონიტორინგი

შეიცავს გარემოს პირობების რაოდენობრივ შეფასებას სპეციალური მოწყობილობებით.

გამოყენება:

- სამთო დარგში: აირების კონცენტრაციის, ტემპერატურის, ვიბრაციის მონიტორინგი.
- ჯანდაცვაში: რადიაციის დონე, ჰაერის სტერილურობა.

9. ექსპერიმენტი

მკვლევარი ცვლის სამუშაო გარემოს ან პროცედურას, რათა შეაფასოს ახალი პრევენციული ზომების ეფექტიანობა.

გამოყენება:

- სამთო დარგში: ახალი ვენტილაციის სისტემის ტესტირება.
- ჯანდაცვაში: ახალი დეზინფექციის პროტოკოლის გავლენა ინფექციებზე.

1.13. რისკების ტიპოლოგია

დარგთაშორისი პარალელები:

პროფესიული უსაფრთხოების კვლევებში რისკების ტიპოლოგია შესაძლებელს ხდის როგორც დარგის სპეციფიკის, ისე უნივერსალური ნიშნების იდენტიფიცირებას. მიუხედავად ჯანდაცვისა და მშენებლობის სფეროების ფუნქციური განსხვავებულობისა, ორივე სექტორში რისკები შეიძლება კლასიფიცირდეს საერთო კატეგორიების მიხედვით, რაც ქმნის დარგთაშორისი ანალიზის შესაძლებლობას. ანალოგიური შესაძლებლობა თვალსაჩინოა სხვა დარგების შემთხვევაშიც, რაც ზოგჯერ სასარგებლო აღმოჩნდება პრაქტიკული თვალსაზრისით. ჩვენი შეხედულებით უსაფრთხოება იმდენად მნიშვნელოვანი ფასეულობაა, რომ მისი ყოველმხრივი დაწვრილებითი განხილვა და ანალიზი არასდროს არ არის ზედმეტი.

რისკების ტიპების განხილვამდე შევჩერდეთ საშიშ და მავნე საწარმოო ფაქტორების განმარტებაზე. საწარმოო პროცესებს თან ახლავს საშიში (სახიფათო) და მავნე ფაქტორები, რომლებიც იწვევენ მომუშავე პერსონალის ტრავმებსა და დაავადებებს ან ხელს უწყობენ მათ გამოწვევას.

სახიფათო არის ისეთი საწარმოო ფაქტორი, რომელიც პერსონალზე ზემოქმედებისას იწვევს ტრავმას ან ჯანმრთელობის მკვეთრ გაუარესებას. მავნე შესაძლებელია იყოს როგორც საწარმოო ფაქტორი, ისე გარემო. ორივე შემთხვევაში ადამიანის შრომისუნარიანობა არსებითად მცირდება და ზიანი აღგება ჯანმრთელობას. მავნე საწარმოო ფაქტორის ხანგრძლივი მოქმედება შეუქცევად პროცესებს იწვევს და ადამიანი პროფესიულად ავადდება.

მაშასადამე, სახიფათო საწარმოო ფაქტორები ან პროცესები იწვევენ ტრავმატიზმს, ხოლო მავნე საწარმოო ფაქტორები — პროფესიულ დაავადებებს. მავნე საწარმოო ფაქტორი შესაძლებელია გამოვლინების მიხედვით შეფასდეს როგორც სახიფათო. ამ შემთხვევაში მავნე ფაქტორი დიდი ინტენსიურობით ან სიმძლავრით ხასიათდება. ხშირ შემთხვევაში მავნე ფაქტორი ტრავმატიზმის ხელშემწყობია სამუშაო ადგილებზე.

გამომწვევი მიზეზების ან პროცესების მიხედვით გავრცელებულია შემდეგი სახეების სახიფათო და მავნე საწარმოო ფაქტორები:

- ფიზიკური;
- ქიმიური;
- ბიოლოგიური;
- ფსიქოფიზიკური.

ფიზიკური ფაქტორები. მათ მიეკუთვნება ვიბრაცია, ხმაური, მაიონებელი გამოსხივების მაღალი დონე, თბური გამოსხივების ანომალურად მაღალი დონე, ელექტრომაგნიტური გამოსხივების მაღალი დონე, ელექტრული ველის მაღალი დაძაბულობა, მაგნიტური ველის მაღალი დაძაბულობა, სინათლის სხივის გაზრდილი ენერგია, ულტრაიისფერი ან ინფრაწითელი რადიაციის მაღალი დონე და სხვ.

ქიმიური ფაქტორები. მათი განმპირობებელია ტექნოლოგიურ პროცესებში გამოყენებული სხვადასხვა ტოქსიკური, ფეთქებადი, წვადი და შხამიანი ნივთიერებების გავრცელება საწარმოო გარემოში. აღნიშნული ნივთიერებები შესაძლებელია აგრეთვე იყოს როგორც ტექნოლოგიური პროცესის საბოლოო ან საშუალოდ პროდუქტი.

ბიოლოგიურ ფაქტორები. მათ მიეკუთვნება სხვადასხვა სახის მიკრობების, ფაგების, შტამებისა და სხვათა გავრცელება სამუშაო გარემოში.

ფსიქოფიზიკური ფაქტორები. აქ მოიაზრება ცუდი ჯანმრთელობა, არასათანადო დასვენება, შრომის დისციპლინის დარღვევა და სხვ.

მავენე და საშიში ფაქტორების ზემოქმედების თავიდან აცილება ან შემცირება სხვადასხვა მეთოდით ხდება. მათ შორისაა ვენტილაცია, ეკრანირება, იზოლაცია, კონდიციონირება, ფილტრაცია და დეზაქტივაცია. თითოეული მეთოდის არსი და გამოყენების სფერო მხოლოდ მოკლედ განიხილება, რადგან დეტალური განხილვა ამ სახელმძღვანელოს ფარგლებიდან გადის.

ქვემოთ წარმოდგენილი ცხრილი 1.2 ასახავს რისკების ტიპებს და მათ შესაბამის გამოვლინებებს ჯანდაცვისა და სამშენებლო სექტორებში.

წარმოდგენილი ტიპოლოგია თანხვედრაშია ჩვენ მიერ შემოთავაზებულ ფუნქციურ კლასიფიკაციასთან, რომლის მიხედვითაც რისკები უნდა შეფასდეს მათი ტიპისა და მოქმედების მექანიზმის მიხედვით. ამგვარი ტიპოლოგიური სტრუქტურა არა მხოლოდ ამარტივებს რისკების იდენტიფიკაციას, არამედ ქმნის მათი რაოდენობრივი შეფასებისა და ერთმანეთთან შესადარებელი ინდექსების ფორმულირების წინაპირობას.

რისკების მართვის დარგთაშორისი მეთოდოლოგია ეფუძნება სისანს — სისტემურ ანალიზს, რომელიც აერთიანებს რაოდენობრივ და ხარისხობრივ მიდგომებს. კვლევის მიზანია ისეთი მეთოდოლოგიური ჩარჩოს ჩამოყალიბება, რომელიც შესაძლებელს გახდის როგორც უნივერსალური, ისე დარგის სპეციფიკური რისკების ეფექტიან იდენტიფიკაციასა და მართვას. ამ პროცესში განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ტრიანგულაციას — სხვადასხვა მეთოდის კომბინაციას ერთი და იმავე ფენომენის შესასწავლად, რაც ზრდის მონაცემების სანდოობასა და ინტერპრეტაციის სიღრმეს.

ცხრილი 1.2

რისკების ტიპოლოგია ჯანდაცვისა და სამშენებლო სექტორებში

• ტიპი	• ჯანდაცვა	• მშენებლობა
კლინიკური	დიაგნოზის შეცდომა, მედიკამენტური რისკი	ტექნიკური ხარვეზი, კონსტრუქციული გაუმართაობა
ქიმიური	ანესთეზია, სადუზინფექციო მასალა	სადებავეები, ბეტონის შემადგენლობა
ფიზიკური	რადიაცია, ელექტრომაგნიტური ზემოქმედება	სიმაღლეზე მუშაობა, მძიმე ტექნიკა
ფსიქოლოგიური	სტრესი, გადაღლა	სამუშაო დატვირთვა, უსაფრთხოების შიში
ფინანსური	ბიუჯეტის გადაჭარბება, დაფინანსების რისკი	პროექტის დაგვიანება, ხარჯების ზრდა
ორგანიზაციული	კოორდინაციის ნაკლებობა, HR პრობლემები	კონტრაქტორების არათანმიმდევრული მუშაობა
იურიდიულ-ეთიკური	პაციენტის უფლებები, თანხმობის პროცედურა	შრომის უსაფრთხოების დარღვევა, ნებართვების არარსებობა
ინფორმაციული	მონაცემთა დაცვა, კიბერუსაფრთხოება	BIM სისტემების დაცვა, პროექტის მონაცემთა გაჟონვა

სოციალური/კულტურული	ეთნიკური ბარიერები, კომუნიკაცია	მრავალენოვანი გუნდი, კულტურული უთანხმოება
---------------------	------------------------------------	--

არსებობს რიგი გარემოებები, როდესაც რისკების მართვის სტანდარტიზებული მიდგომები ეფექტიანად გამოიყენება როგორც ჯანდაცვაში, ისე მშენებლობაში:

- **სტანდარტიზებული პროცესები:** ინდივიდუალური დამცავი საშუალებების გამოყენება, უსაფრთხოების ტრენინგები, ინსპექტირების პროტოკოლები.
- **რისკის რაოდენობრივი შეფასება:** ინციდენტების სიხშირის, ავარიების მაჩვენებლებისა და ფინანსური დანაკარგების სტატისტიკური ანალიზი.
- **საერთაშორისო სტანდარტების ინტეგრაცია:** ISO 31000 და ISO 45001-ის ჩარჩოები უზრუნველყოფს პროცესების ჰარმონიზაციას და მონიტორინგის სტრუქტურას.

ამ პირობებში შესაძლებელია უნივერსალური ინდექსების გამოყენება, როგორებიცაა უსაფრთხოების ინტეგრირებული ინდექსი (SII) და გავლენის ინდექსი (II), რაც ზრდის რისკების მართვის პროგნოზირებადობასა და სტრატეგიულობას.

ზემოაღნიშნულის მიუხედავად, არსებობს კრიტიკული შემთხვევები, როდესაც აუცილებელია დარგის სპეციფიკური მიდგომების გამოყენება:

- კლინიკური გადაწყვეტილებები და ტექნიკური კონსტრუქცია: ჯანდაცვაში გადაწყვეტილებები ეფუძნება ბიოეთიკურ პრინციპებს და პაციენტის ინდივიდუალურ მდგომარეობას, ხოლო მშენებლობაში — ინჟინრულ გათვლებსა და ტექნიკურ რეგლამენტებს.
 - ეთიკური ჩარჩოები: პაციენტის თანხმობის პროცედურები, კონფიდენციალურობა და სამედიცინო ეთიკა განსხვავდება მშენებლობის ნებართვითი და შრომითი რეგულაციებისგან.
 - რისკის წყაროს ბუნება: ბიოლოგიური, ქიმიური და ფსიქო-სოციალური რისკები ჯანდაცვაში მოითხოვს განსხვავებულ მიდგომებს ფიზიკურ და ტექნიკურ რისკებთან შედარებით, რომლებიც დომინირებენ მშენებლობაში.
- ამგვარად, დარგის სპეციფიკაზე გადასვლა აუცილებელია იქ, სადაც უნივერსალური ჩარჩო ვერ უზრუნველყოფს საკმარის სიზუსტეს, ადეკვატურობას და ეთიკურ შესაბამისობას.

1.14. ინტეგრირებული ინდექსების საანგარიშო ფორმულები

მეთანის გამოყოფის რისკის ინდექსის (*MRI* – Methane Release Index) გაანგარიშების მიზანი არის მეთანის გამოყოფის ინტენსიურობისა და პრევენციული მექანიზმების ეფექტიანობის შეფასება. საანგარიშო ფორმულას აქვს სახე:

$$MRI = \frac{C_m \cdot F_e}{T_s \cdot R_p}, \quad (1.2)$$

სადაც C_m არის მეთანის კონცენტრაცია, %; F_e – გამოყოფის თვიური სიხშირე, გამოყოფის შემთხვევები/თვე; T_s – სენსორული სისტემების რეაგირების დრო, წმ; R_p – პრევენციული ღონისძიებების რაოდენობა (სტანდარტული პროცედურები).

ინტერპრეტაცია: რაც უფრო მაღალია MRI , მით უფრო მაღალია რისკი. ინდექსი უნდა შეფასდეს დინამიკურად, სხვადასხვა უბნის მიხედვით.

მაღალი წნევის ზონის სტაბილურობის ინდექსის (PSI – Pressure Stability Index) მიზანია: მაღაროს ან შახტის სტრუქტურული სტაბილურობის შეფასება მაღალი წნევის ზონებში. საანგარიშო ფორმულას აქვს სახე:

$$PSI = \frac{S_r}{P_z \cdot D_f}, \quad (1.3)$$

სადაც S_r არის სტაბილურობის რეიტინგი (ექსპერტული შეფასება 1–10, აღნიშნულ შეფასებას ქვემოთ ცალკე პარაგრაფს მივუძღვნიტ); P_z – წნევის დონე, მგპა; D_f – დეფორმაციის სიხშირე კვირის განმავლობაში, შემთხვევები/კვირა.

ინტერპრეტაცია: მაღალი PSI მიუთითებს სტაბილურ ზონაზე. დაბალი PSI საჭიროებს გამაგრების დამატებით ღონისძიებებს.

ტრანსპორტირების უსაფრთხოების ინდექსის (TSI – Transport Safety Index) მიზანია: შეაფასოს ვაგონეტებით და კონვეიერით ტრანსპორტირების უსაფრთხოება. საანგარიშო ფორმულას აქვს სახე:

$$TSI = \frac{N_i}{V_t \cdot E_s}, \quad (1.4)$$

სადაც N_i არის ინციდენტების რაოდენობა ტრანსპორტირების პროცესში; V_t – ტვირთის რაოდენობა, ტ/დღ; E_s – უსაფრთხოების სისტემების (დამცავი მექანიზმების) რაოდენობა.

ინტერპრეტაცია: დაბალი TSI მიუთითებს ეფექტიან ტრანსპორტირებაზე. მაღალი TSI საჭიროებს სისტემურ გადახედვას.

გამდიდრების პროცესის რისკის ინდექსის (ERI – Enrichment Risk Index) მიზანია: შეაფასოს სველი და მშრალი გამდიდრების პროცესში არსებული ტექნოლოგიური და ქიმიური რისკები. საანგარიშო ფორმულას აქვს სახე:

$$ERI = \frac{C_r \cdot T_p}{M_s \cdot Q_c}, \quad (1.5)$$

სადაც C_r არის ქიმიური რეაგენტების რაოდენობა; T_p – პროცესის ხანგრძლივობა, წთ; M_s – უსაფრთხოების მონიტორინგის სისტემების რაოდენობა, ც; Q_c – პროდუქტის ხარისხის კონტროლის სიხშირე.

ინტერპრეტაცია: მაღალი ERI მიუთითებს ტექნოლოგიური რისკების ზრდაზე. ინდექსი უნდა შეფასდეს ცალ-ცალკე სველი და მშრალი გამდიდრების პროცესებისთვის.

1.15. უსაფრთხოების

ინტეგრირებული ინდექსი. ISO

სტანდარტების გამოყენება

ეს პარაგრაფი არის წინა პარაგრაფის გაგრძელება ISO სტანდარტების პრაქტიკული გამოყენების კუთხით. შესაძლებელია შემუშავდეს **უსაფრთხოების ინტეგრირებული ინდექსი**, რომელიც აერთიანებს სხვადასხვა ტიპის რისკებს ერთიან მაჩვენებელში

ჯამური ციფრის სახით. ეს ინდექსი გამოიყენება როგორც შედარებისთვის, ისე პროგნოზისთვის სხვადასხვა სფეროში.

უსაფრთხოების ინტეგრირებული ინდექსის სტრუქტურის გასააზრებლად დავუშვათ, რომ გვაქვს 1.3 ცხრილში მოცემული რისკები. განვიხილოთ მხოლოდ ჯანდაცვის შემთხვევა. ცხრილი აჩვენებს, თუ როგორ შეიძლება სხვადასხვა ტიპის რისკების სინშირე და წონა გაერთიანდეს ერთიან მაჩვენებელში.

ცხრილი 1.3

უსაფრთხოების ინტეგრირებული ინდექსი ჯანდაცვისათვის

რისკების კატეგორია	სინშირე 0-10 სკალით, R_i	წონა 0-1 სკალით w_i , ერთის ნაწილებში	$R_i * w_i$
ფიზიკური რისკები	7	0,25	1,75
ქიმიური რისკები	5	0,20	1,00
ბიოლოგიური რისკები	9	0,30	2,70
ფსიქო-სოციალური რისკები	6	0,15	0,90
ერგონომიული რისკები	4	0,05	0,20
ტექნიკური/მექანიკური რისკები	3	0,05	0,15

პირველ სვეტში რისკები დახარისხებული და გაერთიანებულია მათი მოქმედების მიხედვით, სტრუქტურირებულიად.

მეორე სვეტში მოცემულია ინციდენტების სინშირე 0-10 სკალის მიხედვით. ეს სკალა პირობითია და მისი გამოყენება დამოკიდებულია კონტექსტზე. აბსოლუტური სკალა — 10 ნიშნავს მაქსიმალურ შესაძლო რისკს (მაგ., სიკვდილიანობა, სისტემური კოლაფსი). შედარებითი სკალა — 10 ნიშნავს ყველაზე მაღალ რისკს მოცემულ გარემოში (მაგ., კონკრეტულ კლინიკაში ან საბადოზე). მეორე სვეტში მოცემულია სტატისტიკურ ან სხვა ობიექტურ მონაცემებზე დაფუძნებული სინშირეები. მაგალითად, შესაძლებელია ეს იყოს საშუალო წლიური მონაცემები, წლიური მაქსიმუმები, ხუთწლიანი საშუალო ან წლიური მაქსიმუმი, მაგალითად 2000-2025 წლების პერიოდში და ა.შ., ანუ ნებისმიერი პერიოდის ობიექტური მაჩვენებლები. რისკების სინშირის შედარებითი ანალიზი მოცემულია 1.7 ცხრილში, რომლის მხედველობაში მიღება ყოველთვის საჭიროა.

მესამე სვეტში მოცემულია ექსპერტების მიერ განსაზღვრული წონა. ამ სვეტში შესაძლებელია აგრეთვე ექსპერტული წონის მაგივრად იყოს მონაცემებზე დაფუძნებული წონა, ანუ წონა, რომელიც განისაზღვრება თვითონ რისკის სინშირის რიცხვითი მნიშვნელობებით (მეორე სვეტის მონაცემების მიხედვით) შემდეგი ფორმულით:

$$w_i = \frac{R_i}{\sum_{j=1}^n R_j}, \quad (1.6)$$

სადაც R_i არის კონკრეტული ტიპის რისკის ინციდენტების სინშირე; w_i — შესაბამისი წონა; $\sum_{j=1}^n R_j$ — ყველა ინციდენტის ჯამური სინშირე. მონაცემებზე დაფუძნებულ წონაში იგულისხმება, რომ გვაქვს ინციდენტების სტატისტიკა ან სხვა ობიექტური მონაცემები ინციდენტების განმეორებადობის (სინშირის) შესახებ, რომლის მიხედვითაც მოხდა

წონის გაანგარიშება. აღსანიშნავია, რომ დარგის სპეციფიკა ყველაზე უფრო მეტად ვლინდება წონის მაჩვენებელში.

7-საფეხურიანი განმარტება მე-3 სვეტთან დაკავშირებით:

საფეხური 1 – როგორ ვადგენთ წონებს.

- წონები განისაზღვრება 0–1 სკალით: დაბალი (0.1–0.3), საშუალო (0.4–0.6), მაღალი (0.7–1.0). სამივე კატეგორიის დადგენილი წონების ჯამი უნდა იყოს 1-ის ტოლი.
- დამხმარე კითხვები: ეხება სიცოცხლეს/ჯანმრთელობას? → მაღალი; პროცესის უსაფრთხოებას? → საშუალო; მხოლოდ ეფექტურობას/კომფორტს? → დაბალი.

საფეხური 2 – როგორ ვაზუსტებთ წონებს.

- თუ ერთ კატეგორიაში ბევრი ფაქტორი იყრის თავს, საშუალო დაიყოფა ორ ნაწილად: საშუალოზე დაბალი (0.3–0.4) და საშუალოზე მაღალი (0.6–0.7).
- საჭიროების შემთხვევაში დაზუსტებისათვის გამოიყენე დარგობრივი პარალელები: სამთო მრეწველობა → მეთანი (ძალიან მაღალი), მტვერი (საშუალო), განათება (დაბალი).

საფეხური 3 – როგორ ვამოწმებთ წონების შერჩევის სიზუსტეს.

- შეადარე არჩეული წონები:
- ექსპერტულ შეფასებასთან → მაგალითად, პროფესიონალების მიერ შედგენილ რისკის პრიორიტეტულ სიასთან.
- სტატისტიკურ მონაცემებთან → ავარიების, შემთხვევების ან ინციდენტების სიხშირესთან.
- თუ განსხვავება დიდია, შეასწორე. ეს უზრუნველყოფს, რომ ინდექსი რეალურად ასახავდეს რისკის სიმძიმეს.

საფეხური 4 – როლის ვწყვეტთ მგრძნობელობაზე ზრუნვას.

- პრაქტიკული ზღვარი: 5–7 კატეგორია.
- ნაკლები კატეგორიის შემთხვევაში შედეგები ზედმეტად ზოგადია, მგრძნობელობა დაბალია და შესაბამისად, აკლია სიზუსტე.
- თუ კატეგორიების რიცხვი მეტია, პროცესი რთულდება და სიზუსტე ისე არ იზრდება, რომ ღირდეს ამის გაკეთება.
- სტუდენტისთვის: 3 კატეგორია საკმარისია პირველ ეტაპზე; გამოცდილების მატებასთან ერთად შეიძლება გადავიდეს 5 კატეგორიაზე.

საფეხური 5 – საბოლოო სარგებლიანობა.

- კატეგორიები ქმნიან სართულებს, წონები კი - კიბეებს, რომლებიც ამ სართულებზე აღის.
- სტუდენტი ხედავს ნაგებობას მთლიანად და თანდათან სწავლობს დეტალების გარჩევას.
- ეს პროცესი უზრუნველყოფს პრიორიტეტების მკაფიოდ განსაზღვრას და 1.3 ცხრილის სწორად შედგენას.

საფეხური 6 – ჯამური წონის ზღვარი.

- როგორც უკვე აღინიშნა, ყველა ფაქტორის ჯამი $w_i = 1$.
- ეს არ არის აბსოლუტური ჭეშმარიტება, არამედ პრაქტიკული ინსტრუმენტი, რომელიც გვეხმარება პროცესების შეფასებაში და გადაწყვეტილებების მიღებაში.
- უფრო ადვილია თავიდან მარტივი პროცესის შეფასება გავაკეთოთ და შემდეგ შეფასებათა ერთიანობა მიგვიყვანს უფრო გაწონასწორებულ შედეგამდე, ვიდრე წინასწარვე მხოლოდ ინტუიციით განსაზღვრული საბოლოო შედეგი.

საფეხური 7 – დაზუსტების რესურსი.

- ფაქტორებისათვის დამახასიათებელი წონების დახმარებით მიღებულ შედეგს ყოველთვის აქვს დაზუსტების რესურსი.
- პირველი მიახლოება ქმნის საწყის რუკას, მაგრამ მეორე ან მესამე მიახლოება აღმოჩნდება უფრო ზუსტი და უკეთესი.
- დაზუსტება-დახვეწა არის პროცესის ბუნებრივი ნაწილი, რომელიც უზრუნველყოფს კანონზომიერებაზე დაფუძნებულ, უფრო სანდო შედეგს.

დასკვნითი საზგასმა – კოეფიციენტების გამოყენება და შედეგების დანიშნულება:

- კოეფიციენტების გამოყენება ცალკეული მაჩვენებლების მიხედვით უფრო უტყუარია, ვიდრე მხოლოდ თვალის შეფასება.
- გამოუცდელი მკვლევარი ნაკლებ შეცდომას დაუშვებს, თუ თითოეულ ფაქტორს მიაკუთვნებს რიცხვით კოეფიციენტს.
- კოეფიციენტების სისტემა ზრდის სიზუსტეს, ქმნის უკეთესი ანალიზის შესაძლებლობას და ინარჩუნებს დაზუსტების რესურსს.

მიღებული შედეგების გამოყენების სფეროები:

- რისკების პრიორიტეტიზაცია,
- რესურსების განაწილება,
- უსაფრთხოების პოლიტიკის დაგეგმვა,
- სასწავლო პროცესში პრაქტიკული მაგალითების შექმნა,
- საერთაშორისო სტანდარტებთან შესაბამისობის შემოწმება.

მეოთხე სვეტი მოცემულია უსაფრთხოების ინტეგრირებული ინდექსი, რომელიც იანგარიშება ფორმულით:

$$SII = \sum_{i=1}^n R_i \cdot W_i, \quad (1.7)$$

სადაც SII არის უსაფრთხოების ინტეგრირებული ინდექსი; R_i — რისკის სიხშირე (0–10); W_i — რისკის წონა (0–1).

უსაფრთხოების ინტეგრირებული ინდექსის ჯამური მაჩვენებელი $SII = 6,70$ მიუთითებს, რომ ჯანდაცვის სფეროში რისკების საერთო დონე საშუალოზე მაღალია.

უსაფრთხოების ინტეგრირებული ინდექსის გამოყენება შეიძლება:

- სხვადასხვა კლინიკის ერთმანეთთან შედარებისთვის,
- პრევენციული პოლიტიკის ეფექტიანობის ანალიზისთვის,
- დარგთაშორისი შედარებისთვის (მაგ. სამთო სამუშაოებთან),
- პროგნოზირებისთვის (რისკების ზრდის ან შემცირების ტენდენციების შეფასება),
- პრიორიტეტების განსაზღვრისთვის (რომელი კატეგორია მოითხოვს უფრო აქტიურ მართვას).

როგორც აღინიშნა, მესამე სვეტში გვაქვს ექსპერტული წონა, რომელიც შეიძლება განისაზღვროს: დარგის სპეციფიკის მიხედვით, პრიორიტეტების მიხედვით, პოლიტიკის ან სტანდარტების მიხედვით. მონაცემებზე დაფუძნებული და ექსპერტული ორივე წონა სწორია, უბრალოდ ემსახურება სხვადასხვა მიზანს. მონაცემზე დაფუძნებული წონა საჭიროა ობიექტური შეფასებისთვის, ექსპერტული წონა — პოლიტიკის ან პრევენციის ფოკუსისთვის, შესაძლებელია ორივეს გამოყენება შედეგების შესადარებლად.

უსაფრთხოების ინტეგრირებული ინდექსი სამთო დარგისათვის მოცემულია 1.4 ცხრილში, რომელიც არის ჯანდაცვის პირობებისათვის შედგენილი 1.3 ცხრილის ანალოგი.

ცხრილი 1.4

უსაფრთხოების ინტეგრირებული ინდექსი სამთო დარგისათვის

რისკების კატეგორია	სიხშირე 0-10 სკალით, R_i	წონა 0-1 სკალით w_i , ერთის ნაწილებში	$R_i * w_i$
ფიზიკური რისკები	8	0,30	2,40
ქიმიური რისკები	6	0,20	1,20
ბიოლოგიური რისკები	3	0,10	0,30
ფსიქო-სოციალური რისკები	5	0,15	0,75
ერგონომიული რისკები	7	0,15	1,05
ტექნიკური/მექანიკური რისკები	6	0,10	0,60

ცხადია, რომ 1.3 და 1.4 ცხრილების მიხედვით შეგვიძლია ვიმსჯელოთ ორი დარგის მიხედვით განხილული უსაფრთხოების ინტეგრირებული (ჯამური) ინდექსის სიდიდეზე, აგრეთვე შევაფასოთ და ერთმანეთს შევადაროთ რისკების ცალკეული კატეგორიის გავლენა სათანადო ინდექსის მიხედვით.

დამატებითი მოსაზრებები წონებთან დაკავშირებით: ექსპერტული წონები რატომ შემოვიტანეთ მაშინ, როცა ხელთ გვაქვს ობიექტური სტატისტიკური მონაცემების მიხედვით ნაანგარიშები, რომლებიც თითქოსდა უფრო შესაბამისი უნდა იყოს. საქმე ის არის, რომ:

1. მონაცემები არ არის სრული რეალობა.

ისტორიული მონაცემები ასახავს მომხდარს, მაგრამ არა შესაძლებელს. მაგალითად, თუ კლინიკაში არ დაფიქსირებულა ტექნიკური ავარია, მისი წონა იქნება 0 — თუმცა ეს არ ნიშნავს, რომ ანალოგიური რისკი არ არსებობს. ექსპერტი ხედავს პოტენციურ საფრთხეს, რომელიც ჯერ არ რეალიზებულა. ამიტომ ექსპერტის მიერ განსაზღვრული წონა მნიშვნელოვანია.

2. მონაცემები შეიძლება იყოს არასაკმარისი ან დამახინჯებული.

მცირე კლინიკაში ინციდენტების რაოდენობა დაბალია, მაგრამ რისკი მაინც მაღალია. ზოგჯერ მონაცემები არ არის სტანდარტულად აღრიცხული (მაგალითად, ფსიქო-სოციალური ზეწოლა ხშირად არ ფიქსირდება). ექსპერტი ავსებს იმ სიცარიელეს, რასაც სტატისტიკა ვერ ასახავს. ექსპერტს აქვს შესაძლებლობა შეფასებაში შემოიტანოს ე.წ. **სუბიექტური კორექტორი**.

3. სტრატეგიული პრიორიტეტები.

ორგანიზაციამ შეიძლება გადაწყვიტოს, რომ ერგონომიული რისკები უნდა იყოს პრიორიტეტული, მიუხედავად იმისა, რომ სტატისტიკურად ნაკლები ინციდენტია და მისი წონა შედარებით ნაკლებია.

ექსპერტული წონა ასახავს პოლიტიკას ან პრევენციულ ფოკუსს და სტრატეგიულ ხედვას.

4. მულტიკრიტერიული შეფასება.

მონაცემები ხშირად მხოლოდ სიხშირეს ასახავს. ექსპერტი კი აფასებს: სიხშირეს, სიმძიმეს, გამოვლენის სირთულეს, პრევენციის შესაძლებლობას.

ანალოგიური კომპლექსური ხედვა მხოლოდ ექსპერტს აქვს. ამიტომ ექსპერტული და მონაცემზე დაფუძნებული წონები კი არ უჯიბრებიან, არამედ ავსებენ ერთმანეთს.

უსაფრთხოების ინტეგრირებულ (ჯამურ) ინდექსთან SII ერთად სამეცნიერო მიმოქცევაშია გავლენის ერთიანი ინდექსი II , რომელიც იანგარიშება ფორმულით:

$$II_i = R_i \cdot W_i, \quad (1.8)$$

სადაც II_i არის გავლენის ერთიანი ინდექსი ცალკეული რისკისათვის.

აღნიშნული ინდექსების შინაარსისა და დანიშნულების ერთმანეთისაგან გასამიჯნად სასარგებლოა 1.5 ცხრილი.

ცხრილი 1.5

განსხვავება ჯამურ და გავლენის ინდექსებს შორის

მახასიათებელი	გავლენის ერთიანი ინდექსი II_i	ჯამური ინდექსი SII
შინაარსი	აერთიანებს რისკის სიხშირეს და წონას თითოეული კატეგორიისთვის	ყველა კატეგორიის $R_i \cdot W_i$ ჯამი
საანგარიშო ფორმულა	$II_i = R_i \cdot W_i$	$SII = \sum_{i=1}^n R_i \cdot W_i$
დანიშნულება	თითოეული რისკის კატეგორიის გავლენის შეფასება	სისტემური რისკის საერთო მაჩვენებელი
გამოყენება	კატეგორიების შედარება, პრიორიტეტების განსაზღვრა	დარგთაშორისი შედარება, პროგნოზირება, სტრატეგიული ანალიზი
მაგალითი	ბიოლოგიური რისკი: $II = 9 \times 0,3 = 2,7$	ყველა II -ის ჯამი $SII = 6,70$

შენიშვნა: თითოეული რისკის კატეგორიის გავლენა გამოითვლება როგორც II — გავლენის ერთიანი ინდექსი, რომელიც წარმოადგენს სიხშირისა და წონის ნამრავლს. ხოლო ყველა კატეგორიის II -ის ჯამი ქმნის ჯამურ ინდექსს SII , რომელიც გამოიყენება სისტემური რისკის საერთო დონის შესაფასებლად.

უსაფრთხოების ინტეგრირებული (ჯამური) ინდექსის SII -ის ცვალებადობის დიაპაზონის ინტერპრეტაცია დარგების მიხედვით მოცემულია 1.6 ცხრილში, რომელიც უნდა შევაფასოთ როგორც სამოქმედო ცხრილი.

ცხრილი 1.6

უსაფრთხოების ინტეგრირებული (ჯამური) ინდექსის საორიენტაციო რიცხვითი სიდიდეები

რისკის დონე	სამთამადნო საქმე	მშენებლობა	ჯანდაცვა	ციფრული ტექნოლოგიები
დაბალი	$R < 1,0$	$R < 0,8$	$R < 0,5$	$R < 0,3$
საშუალო	$1,0 \leq R < 2,0$	$0,8 \leq R < 1,5$	$0,5 \leq R < 1,0$	$0,3 \leq R < 0,7$
მაღალი	$2,0 \leq R < 3,5$	$1,5 \leq R < 2,5$	$1,0 \leq R < 2,0$	$0,7 \leq R < 1,5$
კრიტიკული	$R \geq 3,5$	$R \geq 2,5$	$R \geq 2,0$	$R \geq 1,5$

ერთხელ კიდევ ვუბრუნდებით რისკების სიხშირესა და 0-10 სკალას. როდესაც ხელთ გვაქვს რაოდენობრივი მონაცემები, მაშინ შესაძლებელია დადგინდეს შემთხვევათა მაქსიმალური რიცხვი. მაგალითად, გვაქვს 5 ტოქსიკური გაჟონვის შემთხვევა, რომელიც არის მაქსიმუმი ყველა სხვა მომხდარ შემთხვევას შორის. 0-10 სკალის პირობებში 5 ტოქსიკური გაჟონვის შემთხვევა ფასდება მაქსიმუმით - 10 ქულით. აქედან გამომდინარე, ყოველი ერთეული უნდა შეფასდეს 2 ქულით და დანარჩენი ინციდენტებიც დალაგდება კლებადობის მიხედვით. სხვა რისკების შემთხვევებშიც ანალოგიურად ვიქცევით, რისკების მაქსიმალურ რიცხვს შეესაბამება 10 ქულა. დანარჩენი მაჩვენებლები კი პროპორციულად გადაგვყავს 0–10 სკალაზე. აღნიშნული მიდგომა ქმნის რიცხვითად გამყარებულ რისკის ქულებს. ადვილი მისახვედრია, რომ სკალის მგრძნობელობისა და შედეგების სიზუსტის ინტერესებიდან გამომდინარე, შესაძლებელია სხვა მასშტაბის სკალით სარგებლობა.

როდესაც არ გვაქვს რაოდენობრივი მონაცემები, მაშინ ვიყენებთ ექსპერტულ შეფასებას, რათა განვსაზღვროთ შესაძლო მაქსიმუმი. მაგალითად, ამ ადგილზე ან ამ პროცესში მოსალოდნელია მაქსიმუმ 3 ბიოლოგიური რისკი ან პირდაპირი შეფასება 0–10 სკალაზე თითოეული რისკისთვის ექსპერტის მიერ. შესაძლებელია რამდენიმე ექსპერტმა შეაფასოს რისკი და ცხრილში შეტანილი იქნეს რისკების სიხშირის საშუალო მნიშვნელობები.

რისკების სიხშირის განსაზღვრის წყაროების შედარებითი ანალიზი მოცემულია 1.7 ცხრილში.

ცხრილი 1.7

რისკების სიხშირის შედარებითი ანალიზი

მეთოდი	ადწერა	უპირატესობა	ნაკლი
სტატისტიკური	ისტორიული მონაცემები	ობიექტურობა	ზოგჯერ არასაკმარისია
პროგნოზული	მოდელირება, სიმულაცია	სცენარებზე მორგებული	დამოკიდებულია ვარაუდებზე
ექსპერტული	ინტერვიუები, ფოკუს-ჯგუფები	კონტექსტური სიღრმე	სუბიექტურობა

რისკის სიხშირის შეფასება, თუნდაც რაოდენობრივ მონაცემებზე დაყრდნობით, ყოველთვის შეიცავს მიახლოებითობას, რადგან:

- შემთხვევების რაოდენობის სიზუსტე ვერ განსაზღვრავს საფრთხის ზუსტ დონეს, რადგან მაგალითად, 5 ტოქსიკური გაჟონვა შეიძლება იყოს მცირე მასშტაბის, ხოლო სხვა ერთი შემთხვევა იყოს კატასტროფული მასშტაბის.
- მონაცემები ხშირად არასრულია — ბევრი რისკი არ ფიქსირდება ან არ აღირიცხება დროულად, ან მიჩქმალულია რაიმე მიზეზით.
- ექსპერტული შეფასება სუბიექტურია — დამოკიდებულია გამოცდილებაზე, აღქმაზე, კონტექსტზე.
- თვით სკალის არჩევა (მაგალითად, 0–10) თვითონაც შემთხვევითია და არ არის აბსოლუტური.

აქ ბუნებრივად ისმის კითხვა — როგორ ვმართოთ ეს მიახლოებითობა პრაქტიკულად? აღნიშნულის პასუხი შემდეგია, რაც ყოველთვის უნდა გვქონდეს მხედველობაში:

1. გამჭვირვალობა — ყოველთვის საჭიროა მითითება, რომ შეფასება ეფუძნება მოდელირებულ ან ექსპერტულ მონაცემებს.

2. ინდექსის მგრძნობელობის ანალიზი — ინდექსის სხვადასხვა სცენარის გამოცდა (0-10), (0-8) და ა.შ., ინდექსის მგრძნობელობის დაზუსტება და ოპტიმალურის შერჩევა.

3. ინტერვალებით მუშაობა — რაც ნიშნავს, საშუალო, მინიმალური, მაქსიმალური ან (საშუალო $\pm$ სტანდარტული გადახრა) სიდიდეებით ოპერირებას.

4. დოკუმენტირება — აღწერე, როგორ განისაზღვრა მაქსიმუმი, რა წყაროებზე დაყრდნობით.

მთავარი ისაა, რომ მოდელი არ არის რეალობა, ის არის რეალობის ანალიტიკური ანარეკლი — და მისი ღირებულება იზომება იმით, რამდენად კარგად ეხმარება საჭირო გადაწყვეტილების მიღებას, მიუხედავად მიახლოებითობისა. ამგვარად, ექსპერტულად შესაძლებელია განისაზღვროს როგორც რისკის სიხშირე, ისე მათი წონა. აღნიშნული კი ემსახურება ლეგიტიმურ მიზნებს. ილუსტრაციისათვის ექსპერტულად განსაზღვრული წონები შეტანილია 1.8 ცხრილში, ხოლო რისკების სხვადასხვა კატეგორიების წვლილს უსაფრთხოების ინტეგრირებულ ინდექსში ორი სხვადასხვა დარგისათვის — ჯანდაცვისა და სამთო სამუშაოებისათვის აჩვენებს ფიგ. 1.10.

წარმოდგენილი მეთოდოლოგია და ინდექსური მოდელი ქმნის საფუძველს პროფესიული უსაფრთხოების სისტემური ანალიზისთვის (სისანისათვის), რაც შესაძლებელს ხდის როგორც დარგთაშორის შედარებას ანალიზის მაჩვენებლების მიხედვით, ისე კონკრეტული რისკების პრიორიტეტიზაციას და მართვას.

ცხრილი 1.8

ექსპერტების მიერ განსაზღვრული წონების ილუსტრაცია

კატეგორია	წონა სამთო სამუშაოებში	წონა ჯანდაცვაში
ფიზიკური რისკები	0,30	0,15
ქიმიური რისკები	0,20	0,25
ბიოლოგიური რისკები	0,10	0,30
ფსიქო-სოციალური რისკები	0,10	0,15
ერგონომიული რისკები	0,10	0,05
ტექნიკური/მექანიკური რისკები	0,20	0,10
ჯამი	1,0	1,0

ცხადია, რომ ინდექსების ფორმულირება და მათი რიცხვობრივი სიდიდეები მნიშვნელოვნად განსხვავდება დარგების მიხედვით. ეს განსხვავება არ არის მხოლოდ ტექნიკური — იგი ასახავს დარგის სპეციფიკურ რისკ-პროფილს, მონაცემთა სტრუქტურას და შეფასების ლოგიკას. შესაბამისად, დარგთაშორისი მიდგომა ამ ეტაპზე ვერ უზრუნველყოფს ინდექსების შინაარსობრივ გაერთიანებას, სამაგიეროდ ქმნის მეთოდოლოგიური თანხვედრის ჩარჩოს, რომელიც საშუალებას იძლევა სხვადასხვა დარგში გამოყენებული ინდექსები შეფასდეს ერთნაირი ანალიტიკური პრინციპებით — ერთიანი მოქმედების ალგორითმის მეშვეობით.

როდის არის შესაძლებელი უნივერსალური მეთოდების გამოყენება — არსებობს რიგი გარემოებები, როდესაც რისკების მართვის სტანდარტიზებული მიდგომები ეფექტიანად გამოიყენება როგორც ჯანდაცვაში, ისე მშენებლობაში:

- **სტანდარტიზებული პროცესები:** ინდივიდუალური დამცავი საშუალებების გამოყენება, უსაფრთხოების ტრენინგები, ინსპექტირების პროტოკოლები.
- **რისკის რაოდენობრივი შეფასება:** ინციდენტების სიხშირის, ავარიების მაჩვენებლებისა და ფინანსური დანაკარგების სტატისტიკური ანალიზი.
- **საერთაშორისო სტანდარტების ინტეგრაცია:** ISO 31000 და ISO 45001-ის ჩარჩოები უზრუნველყოფს პროცესების ჰარმონიზაციას და მონიტორინგის სტრუქტურას.

ამ პირობებში შესაძლებელია უნივერსალური ინდექსების გამოყენება, როგორებიცაა უსაფრთხოების ინტეგრირებული ინდექსი (SII) და გავლენის ინდექსი (II), რაც ზრდის რისკების მართვის პროგნოზირებადობასა და სტრატეგიულობას.

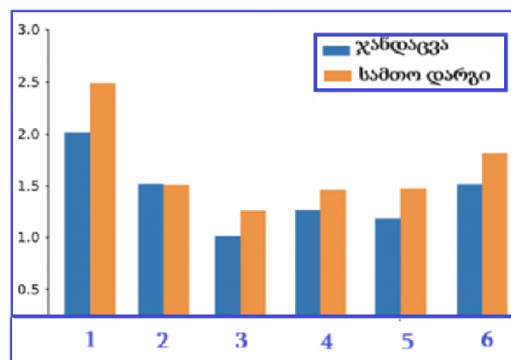
ზემოაღნიშნულის მიუხედავად, არსებობს კრიტიკული შემთხვევები, როდესაც აუცილებელია დარგის სპეციფიკური მიდგომების გამოყენება:

- **კლინიკური გადაწყვეტილებები და ტექნიკური კონსტრუქცია:** ჯანდაცვაში გადაწყვეტილებები ეფუძნება ბიოეთიკურ პრინციპებს და პაციენტის ინდივიდუალურ მდგომარეობას, ხოლო მშენებლობაში — ინჟინრულ გათვლებსა და ტექნიკურ რეგლამენტებს.

- **ეთიკური ჩარჩოები:** პაციენტის თანხმობის პროცედურები, კონფიდენციალურობა და სამედიცინო ეთიკა განსხვავდება მშენებლობის ნებართვითი და შრომითი რეგულაციებისგან.

- **რისკის წყაროს ბუნება:** ბიოლოგიური, ქიმიური და ფსიქო-სოციალური რისკები ჯანდაცვაში მოითხოვს განსხვავებულ მიდგომებს ფიზიკურ და ტექნიკურ რისკებთან შედარებით, რომლებიც დომინირებენ მშენებლობაში.

ამგვარად, დარგის სპეციფიკაზე გადასვლა აუცილებელია იქ, სადაც უნივერსალური ჩარჩო ვეღარ უზრუნველყოფს საკმარის სიზუსტეს, ადეკვატურობასა და ეთიკურ შესაბამისობას.



ფიგ. 1.10. უსაფრთხოების ინტეგრირებული ინდექსის ცვალებადობა ჯანდაცვასა და სამთო სამუშაოებში რისკების მიხედვით: 1- ფიზიკური; 2 - ქიმიური; 3 - ბიოლოგიური; 4 - ფსიქო-სოციალური; 5 - ერგონომიული; 6 - ტექნიკური/მექანიკური.

დარგთაშორისი მიდგომები ეფექტურია სტრუქტურირებულ, რაოდენობრივად შეფასებად საფრთხეებთან, განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც გამოიყენება სტანდარტიზებული პროცესები და ISO სტანდარტები.

დარგის სპეციფიკაზე გადასვლა აუცილებელია ეთიკურ, კლინიკურ და ტექნიკურ დეტალებზე, სადაც უნივერსალური მოდელები ვერ უზრუნველყოფენ საკმარის სიზუსტეს. უსაფრთხოების ინტეგრირებული ინდექსი (SII) და გავლენის ინდექსი (II) წარმოადგენენ სტრატეგიულ ინსტრუმენტებს, რომლებიც აუმჯობესებენ რისკების მართვის პროცესის პროგნოზირებადობას და პრიორიტეტიზაციას.

1.16. დაცვის კოლექტიური და ინდივიდუალური საშუალებები

დაცვის კოლექტიური საშუალებები იყოფა ობიექტურ და სუბიექტურ კატეგორიებად.

- დაცვის ობიექტური საშუალებები — მოქმედებენ პერსონალისგან დამოუკიდებლად და ქმნიან უსაფრთხო სამუშაო გარემოს. მრეწველობის ობიექტებზე, ტრანსპორტში, სოფლის მეურნეობაში და სხვაგან გამოყენებული კოლექტიური საშუალებები დაყოფილია კლასებად და მოცემულია სათანადო სახელმწიფო სტანდარტებში. მათ მიეკუთვნება ჰაერის გარემოს, სამუშაო ადგილის განათების, ხმაურისა და ვიბრაციის ნორმალიზაციის საშუალებები; ელექტრული დენის დარტყმისაგან, მექანიკური, ქიმიური, ბიოლოგიური ფაქტორებისგან დასაცავი საშუალებები; დაცული ზონების, აკრძალული ზონების დაწესება, საწარმოო და საცხოვრებელი ზონების გამმიჯნავი გამწვანების მოწყობა და სხვა.

ობიექტური საშუალებების ეფექტურობა არ უნდა იყოს დამოკიდებული ადამიანის გამოცდილებაზე, კვალიფიკაციასა და მსგავს რეალობებზე — მათ ყველა შემთხვევაში უნდა შეეძლოს ადამიანზე უარყოფითი ფაქტორების ზემოქმედების შემცირება. ობიექტური საშუალებებია ყველა დაბრკოლება (გარსაცმი, შემოდოვება, იზოლაცია და ა.შ.), რომლებიც ადამიანს საშუალებას არ მისცემს შეეხოს მბრუნავ ნაწილებს, ელექტროქსელებს, შევიდეს სამიშ ტერიტორიაზე და სხვ. სამუშაო ადგილების უსაფრთხოება და კომფორტულობა: ვენტილაცია, კონდიცირება, გათბობა, დამცავი დამიწება, დამცავი დანულება, პოტენციალთა გათანაბრება, ხმაურის ჩახშობა, ვიბრაციის შემცირება და ა.შ., აგრეთვე დაცვის ობიექტური საშუალებებია, რომლებიც მოქმედებენ ადამიანის კვალიფიკაციისა და სხვა სუბიექტური თვისებებისაგან დამოუკიდებლად [10, 17].

ობიექტური დაცვის სისტემების პროექტირების, წარმოებისა და ექსპლუატაციისას აუცილებელია გათვალისწინდეს მათი ელემენტების მტყუნების ალბათობა, რომელიც შეიძლება ტრავმატიზმის ან საგანგებო სიტუაციების გამომწვევი გახდეს. ამ გზით განისაზღვრება მომსახურების ოპტიმალური პირობები, დათვალიერებისა და რემონტის ვადები, რაც სისტემის საიმედოობას ზრდის [19-23].

საიმედოობა ხასიათდება სამი ძირითადი თვისებით: მედეგობა, რემონტისათვის ვარგისიანობა და მტყუნების დაბალი დონე.

- მედეგობა ნიშნავს მოწყობილობის უნარს შეინარჩუნოს მუშაობის შესაძლებლობა განსაზღვრულ პერიოდში, ტექნიკური დათვალიერებისა და რემონტის გათვალისწინებით.

- რემონტისათვის ვარგისიანობა გულისხმობს, რომ ტექნიკური მომსახურებისა და რემონტის შემდეგ საშუალება კვლავ შეძლებს მტყუნების თავიდან აცილებას ან დროულად შეტყობინებას.

- მტყუნების დაბალი დონე უზრუნველყოფს სისტემის თანდათანობითი გაუარესების კონტროლს, რაც მოითხოვს ძირითადი ელემენტების პერიოდულ გამოცდას და მათი პარამეტრების შედარებას საპასპორტო მონაცემებთან.

რთულ სისტემებში რომელიმე ელემენტის მტყუნებამ შესაძლებელია გამოიწვიოს მთელი სისტემის დაცვითი თვისებების მოშლა. ამის გამო ისეთი ელემენტები, რომლებიც ყველაზე ხშირად გამოდიან მწყობრიდან, საჭიროებენ დუბლირებას ან მთელმა სისტემამ ასეთ დროს უნდა გააკეთოს შეტყობინება საწარმოო საშიშროების წარმოქმნის შესახებ და მოქმედება გააგრძელოს აკრძალვის რეჟიმით, ანუ შეუძლებელი გახადოს საწარმოო პროცესის წარმართვა ძირითადი ხაზების ბლოკირების გზით. შესაბამისად, უმტყუნო მუშაობის რაოდენობრივი შეფასება უნდა მოხდეს უმტყუნო მუშაობისა და საშიში მტყუნების რაოდენობრივი მაჩვენებლების მიხედვით ან უსაფრთხო მუშაობის პირობით (მხედველობაში გვაქვს აკრძალვის რეჟიმი).

დაცვის ობიექტურ საშუალებებს შორის პირობითად განიხილება ინდივიდუალური დაცვის საშუალებები, რომლებიც იცავენ ადამიანის მთელ სხეულს ან მის ცალკეულ ორგანოს (მაგ., მაეკრანებელი კოსტუმები, დამცავი სათვალეები, საყურისები, პირბადეები და ა.შ.), რადგან ისინი ტექნიკურად უზრუნველყოფენ დაცვას, თუმცა მათი ეფექტიანობა დამოკიდებულია სწორ გამოყენებაზე.

- **დაცვის სუბიექტური საშუალებები** — მათი დაცვითი ეფექტი განპირობებულია პერსონალის ინდივიდუალური მონაცემებითა და აღქმით. მაგალითად, გამაფრთხილებელი ნიშნები და პლაკატები ვერ იმოქმედებს იმ თანამშრომელზე, რომელსაც მხედველობა დაქვეითებული აქვს; ინსტრუქტაჟის შედეგიც დამოკიდებულია ცოდნის ათვისებაზე. შესაბამისად, სუბიექტურმა საშუალებებმა უნდა გამოიწვიონ მომუშავის მიერ შეგნებული დაცვითი მოქმედებების შესრულება, რითაც მცირდება საშიში და მავნე ფაქტორების ზემოქმედება.

უსაფრთხოების წესების სწავლება, ცოდნის პერიოდული შემოწმება, მათი დაცვა კონტროლის გზით, ასევე კვალიფიკაციის ამაღლება და დისციპლინის დაცვა ხელს უწყობს სუბიექტური დაცვის საშუალებების ეფექტურ გამოყენებას.

კოლექტიური სუბიექტური დაცვის საშუალებებს შორისაა კონტროლისა და სიგნალიზაციის მოწყობილობები, გამაფრთხილებელი პლაკატები, ხმოვანი და სინათლის სიგნალები. ავტომატური კონტროლის სისტემები და საზომი ხელსაწყოები (მანომეტრი, თერმომეტრი, ვოლტმეტრი და სხვ.) გამოიყენება პროცესების რეჟიმის შესამოწმებლად და საშიში სიდიდეების დროულად გამოსავლენად.

პრაქტიკაში ხშირად გამოიყენება ორფერიანი შუქსიგნალი — წითელი და მწვანე. მაგალითად, სარემონტო თხრილებში წითელი შუქი მიუთითებს ქსელის ჩართვაზე და მუშაობის აკრძალვაზე, ხოლო მწვანე — ქსელიდან ამორთვაზე. თუ არცერთი სიგნალი არ ანთია, უსაფრთხოების პრინციპით ეს უნდა ჩაითვალოს როგორც წითელი სიგნალი, სანამ მიზეზი არ დადგინდება.

ტრანსპორტი, ამწე მექანიზმები და სხვა დანადგარები აღჭურვილია ხმოვანი სიგნალებით, რომლებიც პერსონალს აფრთხილებს საფრთხის შესახებ. ისინი გამოიყენება ფეთქებადი სამუშაოების, დიდი კონსტრუქციების მონტაჟისა და სხვა სახიფათო პროცესების დროს.

პლაკატები იყოფა სამ კატეგორიად:

- ამკრძალავი — არ იმუშაოთ დამცავი დამიწების გარეშე; არ იმუშაოთ დუბლირებული ონკანების გარეშე; არ იმუშაოთ გამწოვი ვენტილაციის ჩართვის გარეშე; ნუ მოსწევთ და სხვ.

- გამაფრთხილებელი — ფრთხილად, მოსალოდნელია არაგაბარიტული ტვირთი; მოერიდეთ მატარებელს და სხვ.

- მაჩვენებელი — სახანძრო გასასვლელი; დასვენების ზონა; ავტომანქანის შესაკეთებელი თხრილი; სასადილო; სამედიცინო პუნქტი და სხვ.

ადამიანის ორიენტაციის გასამარტივებლად გამოიყენება ფერების სტანდარტული შეღებვა. მაგალითად, წითელი ფერი მიუთითებს აკრძალვაზე ან საფრთხეზე, ხოლო ელექტროდანადგარებში ფაზები განსხვავებული ფერებითაა მონიშნული (ა-ფაზა — ყვითელი, ბ-ფაზა — მწვანე, ც-ფაზა — წითელი). მილსადენებში წყალი აღინიშნება მწვანედ, ორთქლი — წითლად, ჰაერი — ცისფრად, ბუნებრივი აირი — წითლად. ჟანგბადის ბალონები იღებება ცისფრად შავი წარწერით, ნახშირორჟანგის ბალონები — შავად ყვითელი წარწერით.

ადამიანის დროული რეაქცია სიგნალებზე, პლაკატებზე და საზომი ხელსაწყოების მაჩვენებლებზე თავიდან აგვაცილებს უბედურ შემთხვევებს. თუმცა ყურადღების კონცენტრაციაზე უარყოფითად მოქმედებს დაღლილობა, ხმაური, ვიბრაცია, ჯანმრთელობის მდგომარეობა, განათების ნაკლებობა, ცუდი ვენტილაცია და ინფორმაციული გადატვირთვა.

სპეცტანსაცმელი, ფეხსაცმელი და დაცვის სხვა ინდივიდუალური საშუალებები ორგანიზაციის საკუთრებაა და მომუშავის გათავისუფლებისას იგი დაბრუნებული უნდა იქნეს. თუ ისინი ვადამდე გაცვდა და ეს მომუშავის ბრალი არ არის, ადმინისტრაცია ვალდებულია შეცვალოს იგი ან განაახლოს.

თუ დაბრუნებული საშუალებები კარგ მდგომარეობაშია, ისინი შეიძლება ხელმეორედ გაიცეს სხვა თანამშრომელზე, სანიტარიული დამუშავების შემდეგ და განესაზღვროს გამოყენების ვადა. თუ ადმინისტრაცია ვერ უზრუნველყოფს შესაბამისი საშუალებების გაცემას, მომუშავე უფლებამოსილია თავად შეიძინოს და ორგანიზაცია ვალდებულია აუნაზღაუროს ხარჯი კანონმდებლობის შესაბამისად.

ორგანიზაცია ვალდებულია უზრუნველყოს სპეცტანსაცმლისა და ინდივიდუალური დაცვის საშუალებების შენახვა, გარეცხვა, გამრობა, დეზინფექცია და შეკეთება. სხვადასხვა დარგში გამოიყენება სპეცტანსაცმლისა და ფეხსაცმლის განსხვავებული სახეები, რომელთა მიზანია ადამიანის სხეულის და ჯანმრთელობის დაცვა მავნე ზემოქმედებისგან.

აღნიშნულის გათვალისწინებით სახელმძღვანელოს მომდევნო თავებში საფრთხისა და რისკების შესწავლის შემდეგ, დასკვნითი პარაგრაფის სახით მათი შესუსტების ეფექტური გზებიც იქნება განხილული დაცვის კოლექტიური და ინდივიდუალური საშუალებების გამოყენებით. აქედან გამომდინარე, მოცემული პარაგრაფი 1.2-1.6 პარაგრაფებთან და ზოგიერთ პარაგრაფში ჩართულ მოკლე შენიშვნებთან ერთად შესაძლებელია განვიხილოთ როგორც გლობალური ჩარჩო-გასაღები მთელი სახელმძღვანელოსათვის.

კოლექტიური დაცვის საშუალებები (CPE):

კოლექტიური დაცვის საშუალებები გულისხმობს ტექნიკურ და საორგანიზაციო ღონისძიებებს, რომლებიც ერთდროულად იცავს მუშაკთა ჯგუფს. პროფესიული

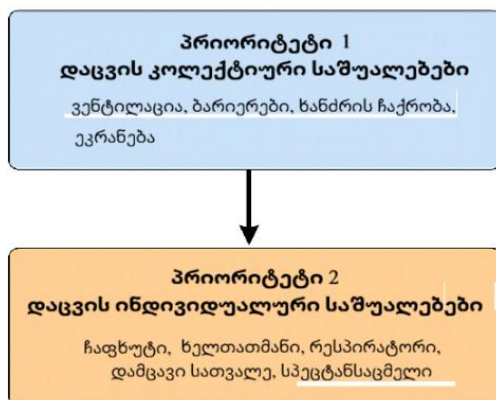
უსაფრთხოების სტანდარტებში ისინი პრიორიტეტულად განიხილება, რადგან სისტემურ დაცვას უზრუნველყოფს და საფრთხეს უშუალოდ მის წყაროსთან ამცირებს. მაგალითები:

- ვენტილაციისა და ჰაერის გაწმენდის სისტემები;
- ხმაურის შემცირების ბარიერები და აკუსტიკური იზოლაცია;
- უსაფრთხოების ბადეები, მოაჯირები და ხარაჩოები მშენებლობაში;
- ავტომატური ხანძარსაწინააღმდეგო სისტემები;
- რადიაციული დამცავი ფარები და კონსტრუქციები.

ინდივიდუალური დაცვის საშუალებები (IPE):

ინდივიდუალური დაცვის საშუალებები არის პერსონალური მოწყობილობები და ინსტრუმენტები, რომლებსაც მუშაკები იყენებენ კონკრეტული საფრთხისგან თავის დასაცავად. ისინი დამატებითი ღონისძიებებია, რომლებიც გამოიყენება მაშინ, როცა კოლექტიური დაცვა საკმარისი არ არის ან ვერ ხერხდება რისკის სრულად აღმოფხვრა. მაგალითები:

- ჩაფხუტები, ხელთათმანები და დამცავი ფეხსაცმელი;
- რესპირატორები და გაზის ნიღბები;
- ყურის საცობები და ყურსასმენები;
- დამცავი სათვალეები და სახის ფარები;
- სპეციალური ტანსაცმელი (ქიმიურად მდგრადი კომბინიზონები, ამრეკლავი ჟილეტები).



ფიგ. 1.11. დაცვის საშუალებების იერარქია პროფესიულ უსაფრთხოებაში.

პრიორიტეტის პრინციპი:

პროფესიული უსაფრთხოების სტანდარტები (ISO 45001, ILO კონვენციები) ხაზს უსვამენ, რომ კოლექტიური დაცვის საშუალებები ყოველთვის უნდა იყოს პრიორიტეტული ინდივიდუალურ საშუალებებთან შედარებით. კოლექტიური ღონისძიებები საფრთხეს წყაროსთანავე გამორიცხავს, ხოლო ინდივიდუალური მხოლოდ ამცირებს ზემოქმედებას. შესაბამისად, ორგანიზაციებმა პირველ რიგში უნდა დანერგონ კოლექტიური გადაწყვეტილებები და შემდეგ უზრუნველყონ ინდივიდუალური დაცვის საშუალებები, როგორც დამატებითი მხარდაჭერა.

1.17. რისკის ინდექსების გამოთვლის პრაქტიკული მაგალითები

ჯანდაცვა — ინფექციის გავრცელება

ამოცანის პირობა:

კლინიკაში დაფიქსირდა ინფექციის გავრცელების 12 შემთხვევა. საჭიროა რისკის ინდექსის გამოთვლა სიმძიმისა და ალბათობის მიხედვით. ამოცანის ამოხსნა მოცემულია ცხრილ 1.9-ში.

ცხრილი 1.9

ექსპერტის მიერ განსაზღვრული წონის ილუსტრაცია

ინციდენტი	შემთხვევები	სიმძიმე, S	ალბათობა, P	წონა, W	რისკის ინდექსი, R
ინფექციის გავრცელება	12	4	0,30	1,00	1,20

როგორ მივიღეთ ამოხსნა და განისაზღვრა მაჩვენებლები:

- სიმძიმე=4: სიმძიმის ცვალებადობის დიაპაზონი 1–5. ავირჩიეთ 4, რადგან შედეგი სერიოზულია (ხანგრძლივი ჯანმრთელობის ზიანი), მაგრამ არა კატასტროფული.

- ალბათობა=0,30: ცვალებადობის დიაპაზონი 0–1. გამოვედით შემთხვევების სიხშირიდან (12 შემთხვევა ამ პერიოდში). 0,30 ნიშნავს - ხშირი, მაგრამ არა მუდმივი. შესაძლებელი იყო 0,50, თუ გავრცელება ყოველი მეორე პაციენტზე იქნებოდა; ჩვენს მონაცემებში უფრო დაბალი მაჩვენებელია.

- წონა=1,00: გვაქვს მხოლოდ ერთი კატეგორია → ამიტომ წონა ავტომატურად = 1.

- რისკის ინდექსის გამოთვლა:

$$R = P \times S = 0,30 \times 4 = 1,20.$$

შედეგების გამოყენება შესაძლებელია შემდეგი მიმართულებებით:

- პრევენცია: ჰიგიენური წესების გამკაცრება.
- კონტროლი: ინფექციის მონიტორინგი.
- პოლიტიკა: სავალდებულო სტანდარტების შემოღება ან დაცვა.
- განათლება: პერსონალის ტრენინგი და ცნობიერების ამაღლება.

მშენებლობა — სიმაღლიდან ჩამოვარდნა, ტექნიკის ავარია, ქიმიური ზემოქმედება

ამოცანის პირობა:

მშენებლობაზე დაფიქსირდა: სიმაღლიდან ჩამოვარდნის 7, ტექნიკის ავარიის 5 და ქიმიური ზემოქმედების 3 შემთხვევა. საჭიროა რისკის ინდექსის გამოთვლა ყველა კატეგორიის მიხედვით. ამოცანის ამოხსნა მოცემულია ცხრილ 1.10-ში.

როგორ მივიღეთ ამოხსნა და განისაზღვრა მაჩვენებლები:

- სიმძიმე: სიმძიმის ცვალებადობის დიაპაზონი 1–5.
 - ჩამოვარდნა → 5 (სიცოცხლის დაკარგვის მაღალი რისკი).
 - ავარია → 4 (სერიოზული შედეგი, ნაკლებად კატასტროფული).
 - ქიმიური → 3 (საშუალო სიმძიმე).

- ალბათობა: ცვალებადობის დიაპაზონი 0–1. გამოვედით ფაქტობრივი სიხშირიდან: 7, 5, 3.

- გონივრული შერჩევა: 0,15, 0,10, 0,05 — ადეკვატურად ასახავს იშვიათიდან უფრო ხშირამდე. ეს არის საორიენტაციო, მაგრამ თანმიმდევრული. მათი ჯამი შეადგენს 0,30.

- წონა: განაწილება შემთხვევების რაოდენობის მიხედვით:

- $7/15=0,47$, $5/15=0,33$, $3/15=0,20 \rightarrow$ ჯამი = 1.

- რისკის ინდექსის გამოთვლა ყოველ კატეგორიაზე:

$$R = P \times S = 0,15 \times 5 = 0,75.$$

$$R = P \times S = 4 \times 0,10 = 0,40.$$

$$R = P \times S = 3 \times 0,05 = 0,15.$$

ცხრილი 1.10

წარმოებისა და ტექნოლოგიური პროცესების უსაფრთხოება

ინციდენტი	შემთხვევები	სიმძიმე, S	ალბათობა, P	წონა, W	რისკის ინდექსი, R
სიმაღლიდან ჩამოვარდნა	7	5	0,15	0,47	0,75
ტექნიკის ავარია	5	4	0,10	0,33	0,40
ქიმიური ზემოქმედება	3	3	0,05	0,20	0,15

შედეგების გამოყენება შესაძლებელია შემდეგი მიმართულებებით:

- პრევენცია: დაცვითი აღჭურვილობის გამოყენება, საშიში ზონების მარკირება.
- პოლიტიკა: სიმაღლეზე მუშაობის პროტოკოლების შედგენა.
- კონტროლი: ინსპექციების გრაფიკი.
- საგანგებო მზადყოფნა: სწრაფი დახმარება ადგილზე.

ტრანსპორტი — გვირაბის ხანძარი

ამოცანის პირობა:

საავტომობილო გვირაბში მოხდა ხანძრის 4 შემთხვევა. საჭიროა ინდექსის შეფასება. ამოცანის ამოხსნა მოცემულია ცხრილ 1.11-ში.

ცხრილი 1.11

ხანძრის შემთხვევების შეფასება

ინციდენტი	შემთხვევები	სიმძიმე, S	ალბათობა, P	წონა, W	რისკის ინდექსი, R
ხანძარი გვირაბში	4	5	0,20	1,00	1,00

როგორ მივიღეთ ამოხსნა და განისაზღვრა მაჩვენებლები:

- სიმძიმე: სიმძიმის ცვალებადობის დიაპაზონი 1–5. ავირჩიეთ 5 — პოტენციურად კატასტროფული შედეგი (სიცოცხლე, ინფრასტრუქტურა).

- ალბათობა: ცვალებადობის დიაპაზონი 0–1. 4 შემთხვევა მიუთითებს იშვიათ, მაგრამ რეალურ რისკზე → 0,20 არის გონივრული, საორიენტაციო მაჩვენებელი (შეიძლება 0,15–0,25).
- წონა=1,00: გვაქვს მხოლოდ ერთი კატეგორია → ამიტომ წონა ავტომატურად = 1.
- რისკის ინდექსის გამოთვლა:

$$R = P \times S = 5 \times 0,20 = 1,00.$$

შედეგების გამოყენება შესაძლებელია შემდეგი მიმართულებებით:

- პრევენცია: გვირახში შესვლამდე ტექნიკური დათვალიერება.
- კონტროლი: კვამლის/ტემპერატურის სენსორების, ვიდეომონიტორინგის დამატება.
- პოლიტიკა: სავალდებულო აღრიცხვის ფურცლების შემოღება.

ენერგეტიკა — ხანძარი ელექტროსადგურში

ამოცანის პირობა:

ელექტროსადგურში დაფიქსირდა 6 ხანძარი. საჭიროა ინდექსის შეფასება. ამოცანის ამოხსნა მოცემულია ცხრილ 1.12-ში.

ცხრილი 1.12

მეთოდოლოგიური რუკა-ტრიანგულაცია

ინციდენტი	შემთხვევები	სიმძიმე, S	ალბათობა, P	წონა, W	რისკის ინდექსი, R
ხანძარი ელსადგურში	6	5	0,25	1,00	1,25

როგორ მივიღეთ ამოხსნა და განისაზღვრა მაჩვენებლები:

- სიმძიმე: სიმძიმის ცვალებადობის დიაპაზონი 1–5. ავირჩიეთ 5 — კატასტროფული შედეგის პოტენციალი (ენერგოსისტემის კოლაფსი).
- ალბათობა: ცვალებადობის დიაპაზონი 0–1. 6 შემთხვევა → იშვიათი, მაგრამ არა ერთეული. 0,20–0,30 დიაპაზონში გონივრულად ავირჩიეთ 0,25.
- წონა=1,00: გვაქვს მხოლოდ ერთი კატეგორია → ამიტომ წონა ავტომატურად = 1.
- რისკის ინდექსის გამოთვლა:

$$R = P \times S = 5 \times 0,25 = 1,25.$$

შედეგების გამოყენება შესაძლებელია შემდეგი მიმართულებებით:

- პრევენცია: ხანძარსაწინაღო სისტემების, თერმული მონიტორინგის დანერგვა.
- პოლიტიკა: სავალდებულო ინსპექტირების შემოღება.
- საგანგებო მზადყოფნა: რეაგირების ჯგუფების ჩამოყალიბება.

ციფრული ტექნოლოგიები — კიბერშეტევა, პროგრამული შეცდომა, ქსელის გათიშვა

ამოცანის პირობა:

დაფიქსირდა 8 კიბერშეტევა, 4 პროგრამული შეცდომა, 3 ქსელის გათიშვა. საჭიროა ინდექსის შეფასება. ამოცანის ამოხსნა მოცემულია ცხრილ 1.13-ში.

როგორ მივიღეთ ამოხსნა და განისაზღვრა მაჩვენებლები:

- სიმძიმე: სიმძიმის ცვალებადობის დიაპაზონი 1–5.
- კიბერშეტევა → 5 (სისტემური კრიზისი, მონაცემთა ზარალი).

- პროგრამული შეცდომა → 3 (საშუალო სიმძიმე).
- ქსელის გათიშვა → 4 (სერიოზული შედეგი).
 - ალბათობა: ცვალებადობის დიაპაზონი 0–1 (ზოგადად). აქ მოცემულია შერჩევის ერთ-ერთი გზა მკაფიოდ, საიდუმლოს გარეშე:
 - სულ ინციდენტები = 15.
 - საორიენტაციო ალბათობა ავირჩიეთ სიხშირის გონივრული ინტერპრეტაციით: 0,27, 0,10, 0,13.
 - ეს არ არის ზუსტი; მიზანია ასახოს ხშირი, საშუალო, იშვიათი დონის განსხვავებები ისე, რომ ინდექსი იყოს სტაბილური და ინტერპრეტირებადი.
 - წონა: განაწილება შემთხვევების რაოდენობის მიხედვით:
 - $78/15 \approx 0,53$, $3/15 \approx 0,20$, $4/15 \approx 0,27 \rightarrow \text{ჯამი} = 1$.
 - რისკის ინდექსის გამოთვლა ყოველ კატეგორიაზე:
 - $R = P \times S = 0,27 \times 5 = 1,35$.
 - $R = P \times S = 0,10 \times 3 = 0,30$.
 - $R = P \times S = 0,13 \times 4 = 0,52$.

ცხრილი 1.13

კვლევის მეთოდების დეტალური მოდულური აღწერა

ინციდენტი	შემთხვევები	სიმძიმე, S	ალბათობა, P	წონა, W	რისკის ინდექსი, R
კიბერშეტევა	8	5	0,27	0,53	1,35
პროგრამული შეცდომა	3	3	0,10	0,20	0,30
ქსელის გათიშვა	4	4	0,13	0,27	0,52

შედეგების გამოყენება შესაძლებელია შემდეგი მიმართულებებით:

პრევენცია: მრავალფაქტორული კიბერუსაფრთხოება (IAM, SIEM, patching).

- პოლიტიკა: მონაცემთა დაცვის სავალდებულო სტანდარტების შემოღება.
- კონტროლი: 24/7 მონიტორინგი, ინციდენტ-მენეჯმენტი.

1.18. შეჯამება ინდექსების შესარჩევად

1. სიმძიმე S :

ყოველთვის აირჩევა დიაპაზონიდან 1–5.

1 → უმნიშვნელო შედეგი, 5 → კატასტროფული შედეგი.

შერჩევა ხდება შედეგის სიმძიმის მიხედვით (მაგალითად, სიცოცხლის დაკარგვა = 5).

2. ალბათობა P :

დიაპაზონი 0–1.

შერჩევა ხდება შემთხვევების სიხშირის მიხედვით.

მნიშვნელობა არის საორიენტაციო, ასახავს იშვიათ, საშუალო, ხშირ დონეებს.

მაგალითად: 0,05 → იშვიათი, 0,30 → ხშირი, 0,50 → ყოველი მეორე, 0,70–1,00 → მუდმივი.

3. წონა W :

მიიღება შემთხვევების რაოდენობით.

ნორმალიზდება ისე, რომ ყველა კატეგორიის წონის ჯამი ყოველთვის იყოს 1.

თუ მხოლოდ ერთი კატეგორიაა, წონა ავტომატურად = 1.

4. რისკის ინდექსი R :

გამოთვლილია ფორმულით: $R = P \times S$.

ნამრავლი აჩვენებს რისკის სამიშროების დონეს.

5. ინტერპრეტაცია:

- ინდივიდუალური მაჩვენებლები შეიძლება არ იყოს კატასტროფული, მაგრამ ჯამური სურათი მაინც გვაძლევდეს სერიოზულ ნიშნულს (მაგ., კიბერშეტევაში ≈ 0.30).

- სტუდენტმა უნდა დაინახოს, რომ რისკის ინდექსი არის ინსტრუმენტი, და არა ზუსტი პროგნოზის საშუალება.

6. გამოყენება:

- შედეგების გამოყენება შესაძლებელია პოლიტიკაში, კონტროლში, პრევენციაში, საგანგებო მზადყოფნაში, განათლებაში.

- ანუ ამ შემთხვევაში ფორმულაა: შეფასება → განმარტება → გამოყენება.

მოკლე განმარტება: ISO 45001 მიზნად ისახავს უსაფრთხო სამუშაო გარემოს შექმნას — თუმცა ზოგჯერ მას განიხილავენ როგორც ორგანიზაციული კულტურის ცვლილების ინსტრუმენტს, რაც ტექსტში პირდაპირ არ არის ხაზგასმული.

- **რისკი რას ნიშნავს?** — გაურკვევლობის შედეგი, რომელიც გავლენას ახდენს მიზნების მიღწევაზე.

- **საფრთხე რას გულისხმობს?** — ზიანის პოტენციური წყარო (ადამიანი, ინფრასტრუქტურა, გარემო).

- **რისკის ინდექსი როგორ გამოითვლება?** — $R = P \times S$ (აღბათობა $\times$ სიმძიმე).

- **ISO 31000-ის მთავარი იდეა?** — ორგანიზაციული რისკების მართვის ჩარჩო, მუდმივი გაუმჯობესებით.

- **ISO 45001-ის მთავარი იდეა?** — შრომის უსაფრთხოების სისტემური მართვა, თანამშრომელთა ჩართულობით და პრევენციული ზომებით.

- **რისკების მართვის ეტაპები?** — იდენტიფიკაცია → შეფასება → პრიორიტეტები → კონტროლი → მონიტორინგი.

- **უსაფრთხოება რას ნიშნავს?** — მდგომარეობა, სადაც საფრთხეები და რისკები შემცირებულია მისაღებ დონემდე.

1.19. გასამეორებელი კითხვები

პარაგრაფების მიხედვით

1.1. წინასწარი შენიშვნები (კითხვები — მოკლე პასუხები)

1. რა არის რისკი ISO 31000-ის მიხედვით?

2. რა განსხვავებაა საფრთხესა და რისკს შორის?
3. რა არის ISO 45001-ის ძირითადი მიზანი?
4. როგორია რისკის მართვის ციკლი?
5. რა არის პრევენციული მექანიზმების როლი?

რისკი ISO 31000-ის მიხედვით — გაურკვევლობის შედეგი, რომელიც გავლენას ახდენს მიზნების მიღწევაზე.

საფრთხე vs რისკი — საფრთხე არის ზიანის წყარო, რისკი კი მისი რეალიზაციის ალბათობა და შედეგის სიმძიმე.

ISO 45001-ის მიზანი — შრომის უსაფრთხოების სისტემური მართვა და პრევენციული ზომების დანერგვა.

რისკის მართვის ციკლი — იდენტიფიკაცია → შეფასება → პრიორიტეტები → კონტროლი → მონიტორინგი.

პრევენციული მექანიზმების როლი — საფრთხეების თავიდან აცილება და რისკების შემცირება.

1.2. ISO სტანდარტების გამოყენება სამთო მრეწველობაში

1. რა ძირითადი რისკებია სამთო მრეწველობაში?
2. როგორ შეიძლება მეთანის გამოყოფის ინდექსის განსაზღვრა?
3. რა მონაცემებია საჭირო სამთო უსაფრთხოების ინდექსის შესადგენად?
4. როგორია დაცვის ინდსაშუალებების გამოყენების მნიშვნელობა?
5. რა რეკომენდაციებია პოლიტიკის დონეზე?

ძირითადი რისკები — ნგრევა, აფეთქება, მტვრის ინჰალაცია, მეთანის დაგროვება.

მეთანის ინდექსი — $R = P \times S$ ფორმულით, სადაც P არის გამოყოფის ალბათობა, S — შედეგის სიმძიმე.

საჭირო მონაცემები — გაზის კონცენტრაცია, ვენტილაციის ეფექტიანობა, ინციდენტების სტატისტიკა.

PPE-ს მნიშვნელობა — ინდივიდუალური დაცვის საშუალებები ამცირებს პერსონალის დაზიანების რისკს.

პოლიტიკის რეკომენდაციები — უსაფრთხოების რეგულაციების გამკაცრება, მონიტორინგის სისტემების დანერგვა.

1.3. ISO სტანდარტების გამოყენება ჯანდაცვაში

1. რა ტიპის რისკებია ჯანდაცვაში ყველაზე გავრცელებული?
2. როგორ გამოითვლება ინფექციის გავრცელების ინდექსი?
3. რა მეთოდებია მონაცემთა შეგროვებისთვის ჯანდაცვაში?
4. რა არის ფსიქო-სოციალური რისკების მაგალითი?
5. როგორ შეიძლება პრევენციული ზომების ეფექტიანობის შეფასება?

ყველაზე გავრცელებული რისკები — ინფექციები, მედიკამენტების არასწორი დოზირება, ტექნიკური მოწყობილობების მტყუნება.

ინფექციის ინდექსი — $R = P \times S$, მაგალითად, $P=0.3, S=4 \rightarrow R=1.2$.

მონაცემთა შეგროვება — კლინიკური დაკვირვება, სტატისტიკური ანგარიშები, პერსონალის უკუკავშირი.

ფსიქო-სოციალური რისკის მაგალითი — სტრესი, გადაღლა, ემოციური გამოფიტვა.

პრევენციული ზომების შეფასება — რეგულარული აუდიტი, უკუკავშირი პაციენტებისა და პერსონალთან.

1.4. ISO სტანდარტების გამოყენება ციფრულ ტექნოლოგიებში

1. რა საფრთხეებია ციფრულ გარემოში?
2. როგორ შეიძლება კიბერშეტევის ინდექსის განსაზღვრა?
3. რა ტექნიკური ზომებია მონაცემთა უსაფრთხოებისთვის?

4. როგორია პერსონალის გადაღლის რისკის მართვა?
5. რა არის მონიტორინგის როლი ციფრულ უსაფრთხოებაში?

ციფრული საფრთხეები — კიბერშეტევები, მონაცემთა გაჟონვა, სისტემური მტყუნება.

კიბერშეტევის ინდექსი — $R = P \times S$, სადაც P არის შეტევის ალბათობა, S — შედეგის სიმძიმე.

ტექნიკური ზომები — მონაცემთა დამიფვრა, რეგულარული განახლებები.

გადაღლის რისკის მართვა — სამუშაო დროის ბალანსი, სტრესის მართვის პროგრამები.

მონიტორინგის როლი — სისტემური კონტროლი და დროული რეაგირება საფრთხეებზე.

1.5. ISO სტანდარტების გამოყენება მშენებლობაში

1. რა ძირითადი რისკებია მშენებლობაში?
2. როგორ გამოითვლება სიმაღლიდან ჩამოვარდნის ინდექსი?
3. რა ინდივიდუალური დაცვის საშუალებები გამოიყენება მშენებლობაში?
4. როგორია მძიმე ტექნიკის მტყუნების პრევენცია?
5. რა არის საორგანიზაციო ზომების მაგალითი?

ძირითადი რისკები — სიმაღლიდან ჩამოვარდნა, მძიმე ტექნიკის მტყუნება, მასალების ჩამოვარდნა.

ჩამოვარდნის ინდექსი — $R = P \times S$, მაგალითად, $P=0.2, S=5 \rightarrow R=1.0$.

ინდივიდუალური დაცვის საშუალებები — ჩაფხუტი, უსაფრთხოების ღვედი, დამცავი ფეხსაცმელი.

ტექნიკის პრევენცია — რეგულარული ტექნიკური შემოწმება და სერტიფიცირება.

საორგანიზაციო ზომა — პერსონალის ტრენინგი და უსაფრთხოების წესების მკაცრი დაცვა.

1.6. ექსპერტული შეფასება

1. რა ნაბიჯებია ექსპერტული შეფასების პროცესში?
2. როგორ უნდა შეადგინოს მკვლევარმა მიზეზ-შედეგობრივი ფორმულა?
3. რა წყაროებიდან შეიძლება მონაცემების შეგროვება?
4. როგორ ხდება ინდექსების შედარება სხვადასხვა უბანში?
5. რა არის შედეგების ინტერპრეტაციის მთავარი მიზანი?

1.7. როგორ უნდა იმოქმედოს მკვლევარმა

1. რა არის კვლევის მიზნის ფორმულირების პირველი ნაბიჯი პროფესიულ უსაფრთხოებაში?
2. როგორ გამოიყენება ტიპოლოგიური კლასიფიკაცია რისკების რუკის შესადგენად?
3. რომელი მეთოდია ყველაზე ეფექტური ფსიქო-სოციალური რისკების შესაფასებლად?
4. რა განსხვავებაა უსაფრთხოების ინტეგრირებულ ინდექსსა (SII) და გავლენის ინდექსს (II) შორის?

5. როგორ ხდება შედეგების ინტერპრეტაცია და პოლიტიკის რეკომენდაციების ჩამოყალიბება?

ნაბიჯები — მონაცემთა შეგროვება → მიზეზ-შედეგობრივი ანალიზი → ინდექსების შედარება → ინტერპრეტაცია.

მიზეზ-შედეგობრივი ფორმულა — საფრთხე → რისკი → შედეგი.

მონაცემთა წყაროები — სტატისტიკა, დაკვირვება, დოკუმენტური მასალა.

ინდექსების შედარება — სხვადასხვა უბნის მონაცემების პარალელური ანალიზი.

ინტერპრეტაციის მიზანი — უსაფრთხოების პოლიტიკის გაუმჯობესება და რეკომენდაციების შემუშავება.

1.8. წარმოებებისა და ტექნოლოგიური პროცესების უსაფრთხოება

1. რა განსხვავებაა წარმოებისა და ტექნოლოგიური პროცესის ცნებებს შორის?
2. რომელი ძირითადი ღონისძიებები უზრუნველყოფს საწარმოო პროცესების უსაფრთხოებას?

3. როგორია კოლექტიური და ინდივიდუალური დაცვის საშუალებების გამოყენების მნიშვნელობა?

4. რა როლი აქვს მონიტორინგის მეთოდებს საწარმოო პროცესების უსაფრთხოების უზრუნველყოფაში?

5. როგორ უნდა იქნეს გათვალისწინებული გარემოს დაცვის მოთხოვნები წარმოების პროცესში?

წარმოება და ტექნოლოგიური პროცესი — წარმოება არის მთლიანობა, პროცესი — მისი კონკრეტული ეტაპი.

ძირითადი დონის ძიებები — ტექნიკური კონტროლი, უსაფრთხოების წესების დაცვა, პერსონალის ტრენინგი.

კოლექტიური და ინდივიდუალური დაცვა — კოლექტიური ზომები იცავს ჯგუფს, ინდივიდუალური — კონკრეტულ ადამიანს.

მონიტორინგის როლი — პროცესების უწყვეტი კონტროლი და რისკების დროული აღმოჩენა.

გარემოს დაცვის გათვალისწინება — ნარჩენების მართვა, დაბინძურების პრევენცია, ეკოლოგიური სტანდარტების დაცვა.

დამატებითი საკონტროლო კითხვები და მოკლე პასუხები (პარაგრაფები 1.9–1.14):

1.9. ერთეული და ჯგუფური შემთხვევა

კითხვა: რა განსხვავებაა ერთეულ და ჯგუფურ შემთხვევას შორის?

პასუხი: ერთეული შემთხვევა ეხება მხოლოდ ერთ ადამიანს, ჯგუფური — ერთზე მეტს.

1.10. საშიში სიტუაციები და სიმძიმე

კითხვა: როგორ განისაზღვრება საშიში სიტუაცია და საფრთხის სიმძიმე?

პასუხი: საშიში სიტუაცია არის ზიანის რეალური ალბათობა, სიმძიმე — შედეგის სიდიდე.

1.11. რისკის განმარტება

კითხვა: რა არის რისკი და როგორ განვასხვავებთ მის კომპონენტებს?

პასუხი: რისკი = რეალიზაციის ალბათობა × შედეგის სიმძიმე.

1.12. უსაფრთხოების ცნება

კითხვა: რას ნიშნავს 'უსაფრთხოება' პროფესიულ კონტექსტში?

პასუხი: საფრთხეები და რისკები შემცირებულია მისაღებ დონემდე.

1.13. რისკების მართვის ეტაპები

კითხვა: როგორია რისკების მართვის ძირითადი ეტაპები?

პასუხი: იდენტიფიკაცია → შეფასება → პრიორიტეტები → კონტროლი → მონიტორინგი.

1.14. უსაფრთხოების ინტეგრირებული ინდექსი და ISO სტანდარტები

კითხვა: რა როლი აქვთ ISO 31000 და ISO 45001 სტანდარტებს უსაფრთხოების ინტეგრირებულ ინდექსში?

პასუხი: ისინი ქმნიან უნივერსალურ ჩარჩოს, რომელიც რისკების რაოდენობრივი შეფასებისა და სხვადასხვა დარგში პრევენციული ზომების დაგეგმვის საშუალებას იძლევა.

1.20. გამოყენებული

ტერმინების განმარტება

ცხრილი 1.14

ტერმინების განმარტება

ქართული ტერმინი	ინგლისური ტერმინი	განმარტება
საფრთხე	Hazard	პოტენციური ზიანის წყარო

რისკი	Risk	საფრთხის რეალიზაციის ალბათობა × შედეგის სიმძიმე
უსაფრთხოება	Safety	მდგომარეობა, სადაც რისკები მისაღებ დონემდეა შემცირებული
პროფესიული უსაფრთხოება	Occupational Safety	სამუშაო გარემოს უსაფრთხოება (შრომის უსაფრთხოება)
რისკის შეფასება	Risk Assessment	რისკის დონის, წყაროსა და მასშტაბის განსაზღვრა
რისკების მართვა	Risk Management	დონისძიებების ერთობლიობა რისკების შესამცირებლად
ალბათობა	Probability	რამდენად ხშირად შეიძლება მოხდეს
სიმძიმე	Severity	უარყოფითი შედეგის სიდიდე/ინტენსიურობა
ნორმატიული აქტები	Normative Acts	სამართლებრივი საფუძვლები
იერარქია	Hierarchy	ნორმების რანჟირება იურიდიული ძალის მიხედვით
უპირატესი იურიდიული ძალა	Superior Legal Force	მაღალი ნორმა ყოველთვის სჭარბობს დაბალს
ISO 31000	ISO 31000	რისკების მართვის საერთაშორისო სტანდარტი
ISO 45001	ISO 45001	პროფესიული უსაფრთხოების მართვის საერთაშორისო სტანდარტი
PDCA ციკლი	PDCA Cycle	დაგეგმვა–განხორციელება– შემოწმება–მოქმედება

2. საწარმოო ტრავმატიზმი და პროფესიული დაავადება

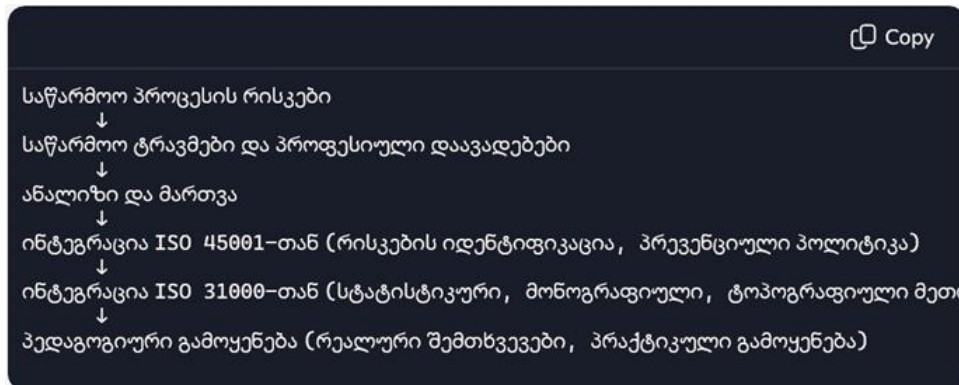
2.1. გზამკვლევი მე-2 თავისათვის

თეორიული ინტეგრაცია:

- მე-2 თავში მოცემული მასალა პრაქტიკულ მაგალითებზე აჩვენებს, თუ როგორ რეალიზდება რისკები საწარმოო პროცესში.
- ტრავმატიზმი და პროფესიული დაავადებები წარმოადგენენ რისკის შედეგებს, რომლებიც საჭიროებენ ანალიზსა და მართვას.

ინტეგრაცია სტანდარტებთან:

- ISO 45001-ის მოთხოვნა: სამუშაო გარემოს რისკების იდენტიფიკაცია და პრევენციული პოლიტიკა.
- ISO 31000-ის ჩარჩო: ტრავმატიზმის ანალიზის მეთოდები (სტატისტიკური, მონოგრაფიული, ტოპოგრაფიული) როგორც რისკის ანალიზის ინსტრუმენტები.



ფიგ. 2.1. საწარმოო რისკების ინტეგრაცია ISO სტანდარტებთან და პედაგოგიურ პრაქტიკასთან.

პედაგოგიური ინტეგრაცია:

- მკითხველს აძლევს შესაძლებლობას რეალურ შემთხვევებზე გამოიყენოს ანალიზის მეთოდები.
- ქვემოთ მოცემული მოკლე შენიშვნები ხაზს უსვამს სათანადო პუნქტების ISO სტანდარტებთან შესაბამისობას.
- საშიში და მავნე ფაქტორები: **მოკლე შენიშვნა:** ISO 45001 მოითხოვს სამუშაო გარემოს რისკების იდენტიფიკაციას და მათ კლასიფიკაციას.

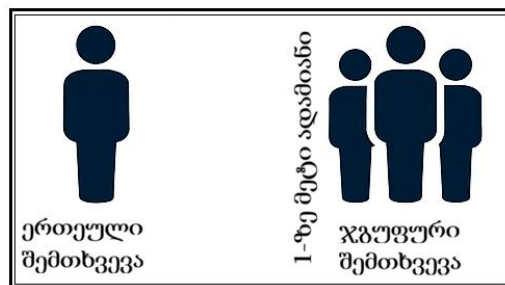
- ტრავმატიზმის ანალიზის მეთოდები (სტატისტიკური, მონოგრაფიული, ტოპოგრაფიული): **მოკლე შენიშვნა:** ეს მეთოდები შეესაბამება ISO 31000-ის ჩარჩოს — რისკის ანალიზისა და შეფასების ინსტრუმენტებს.
- პირველადი დახმარების აღმოჩენის წესი: **მოკლე შენიშვნა:** ISO 45001 ხაზს უსვამს თანამშრომელთა ჩართულობას და უსაფრთხოების პროცედურების სტანდარტიზაციას.
- შრომისუნარიანობა და დაღლილობა: **მოკლე შენიშვნა:** ISO 45001 ითვალისწინებს ფსიქოსოციალური რისკების მართვას, როგორებიცაა გადაღლა და სტრესი.

2.2. ცნებების განმარტება

საწარმოო ტრავმა და პროფესიული დაავადება. საწარმოო პროცესში ადამიანს შეიძლება ორი სახის დაზიანება შეემთხვეს:

- **საწარმოო ტრავმა** — უეცარი ზემოქმედების შედეგად მიღებული დაზიანება, რომელიც წარმოიშობა სახიფათო სამუშაო პირობების გამო.
- **პროფესიული დაავადება** — ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში მავნე ფაქტორების ზემოქმედებით განვითარებული დაავადება.

საწარმოო ტრავმა არის უბედური შემთხვევა, რომელიც ხდება სამსახურებრივი მოვალეობის შესრულებისას. ტრავმად ითვლება ასევე დაზიანება ზეგანაკვეთური სამუშაოსას, სტიქიური უბედურების შედეგების ლიკვიდაციისას, მივლინებაში ყოფნისას, ან საწარმოს ტრანსპორტით გადაადგილებისას.



ფიგ. 2.2. ტრავმატიზმისა და პროფესიული დაავადების შემთხვევების კლასიფიკაცია.

ტრავმატიზმის მიზეზები შეიძლება იყოს:

1. **ტექნიკური ხარვეზები** — გაუმართავი მანქანები, კონსტრუქციული დეფექტები, არასაკმარისი ავტომატიზაცია.
2. **სანიტარიულ-ჰიგიენური დარღვევები** — ჰაერის პარამეტრების გადახრა ნორმებიდან, განათების ნაკლებობა, არასაკმარისი საყოფაცხოვრებო პირობები.
3. **საორგანიზაციო ხარვეზები** — არასწორი ინსტრუქტაჟი, უსაფრთხოების წესების დარღვევა, არასათანადო მომარაგება ინდივიდუალური დაცვის საშუალებებით.
4. **ფსიქოფიზიკური ფაქტორები** — გადაღლა, ჯანმრთელობის პრობლემები, დისციპლინის დარღვევა, ალკოჰოლის მოხმარება სამუშაოზე.

ტრავმები კლასიფიცირდება სიმძიმის მიხედვით:

- **მსუბუქი** — ნაკაწრები, დაჟეჟილობა; შრომისუნარიანობა შენარჩუნებულია.
- **საშუალო** — შრომისუნარიანობის დაკარგვა რამდენიმე (1—3) დღით.
- **ძვირი** — ინვალიდობის გამოწვევა, შრომისუნარიანობის ნაწილობრივი ან სრული დაკარგვა.
- **სასიკვდილო** — ადამიანის გარდაცვალება.

პროფესიული დაავადება — ქრონიკული დაზიანება, რომელიც წარმოიშობა ვიბრაციის, ხმაურის, მტვრის, მავნე აირების ან გამოსხივების მუდმივი ზემოქმედებით. გავრცელებული მაგალითებია: ვიბროდაავადება, პნევმოკონიოზი, დერმატიტი, ბურსიტი და სხვ.

არსებობს მწვავე პროფესიული დაავადებაც, რომელიც სწრაფად ვითარდება (ერთ სამუშაო ცვლაში) განსაკუთრებით მავნე ნივთიერებების ან გამოსხივების დიდი დოზებით მიღებისას. დოზის მიღება შესაძლებელია მოხდეს სასუნთქი გზების, მხედველობის, კანის ან კუჭნაწლავის ტრაქტის გზით. ასეთი შემთხვევებია ქლორით მოწამვლა, ნახშირბადისა და აზოტის ოქსიდებით მოწამვლა, მხედველობის დაზიანება (თვალების ამოწვა) ულტრაიისფერი სხივებით შედეგების სამუშაოებისას და სხვ.

ჯგუფური შემთხვევები: თუ ერთზე მეტი ადამიანი ერთდროულად ავადდება ან ტრავმირდება, ეს უკვე ჯგუფური პროფესიული დაავადება ან ჯგუფური ტრავმატიზმია.

2.3. საშიში და მავნე საწარმოო

ფაქტორები

ზოგადი განმარტება

საწარმოო პროცესებს თან ახლავს ისეთი ფაქტორები, რომლებიც შეიძლება იყოს როგორც სახიფათო, ისე მავნე. ორივე შემთხვევაში ისინი ზიანს აყენებენ ადამიანის ჯანმრთელობას და ამცირებენ შრომისუნარიანობას.

- **სახიფათო ფაქტორი** — იწვევს ტრავმას ან ჯანმრთელობის მკვეთრ გაუარესებას.
- **მავნე ფაქტორი** — მოქმედებს ხანგრძლივად და იწვევს დაავადებებს, ხშირად შეუქცევად პროცესებს.

ამგვარად, სახიფათო ფაქტორები დაკავშირებულია ტრავმატიზმთან, ხოლო მავნე ფაქტორები — პროფესიულ დაავადებებთან. ზოგჯერ მავნე ფაქტორი იმდენად ინტენსიურია, რომ შეიძლება სახიფათოდ შეფასდეს და ტრავმის გამომწვევიც გახდეს.

ფაქტორების ძირითადი ჯგუფები - გამომწვევი მიზეზების მიხედვით ისინი იყოფა ოთხ ძირითად კატეგორიად:

- **ფიზიკური;**
- **ქიმიური;**
- **ბიოლოგიური;**
- **ფსიქოფიზიკური.**

ფიზიკური ფაქტორები. ამ ჯგუფში შედის ვიბრაცია, ხმაური, მაიონებული და თბური გამოსხივების მაღალი დონე, ელექტრომაგნიტური გამოსხივება, ელექტრული და მაგნიტური ველის მაღალი დაძაბულობა, სინათლის სხივის გაზრდილი ენერგია, ულტრაიისფერი ან ინფრაწითელი რადიაციის მაღალი დონე და სხვ.

ქიმიური ფაქტორები. წარმოიშობა საწარმოო გარემოში ტოქსიკური, ფეთქებადი, წვადი და შხამიანი ნივთიერებების გავრცელების შედეგად. ეს ნივთიერებები შეიძლება ტექნოლოგიური პროცესის შუალედური ან საბოლოო პროდუქტი იყოს.

ბიოლოგიური ფაქტორები. მიკრობების, ფაგების, შტამებისა და სხვა ბიოლოგიური აგენტების გავრცელება, რომლებიც სამუშაო გარემოში ადამიანის ჯანმრთელობას საფრთხეს უქმნის.

ფსიქოფიზიკური ფაქტორები. ადამიანის ცუდი ჯანმრთელობა, არასათანადო დასვენება, შრომის დისციპლინის დარღვევა, გადაღლა და სხვა პიროვნული ან ფსიქოლოგიური გარემოებები, რომლებიც ზრდიან უბედური შემთხვევების ალბათობას.

თავიდან აცილებისა და შემცირების მეთოდები. მავნე და სახიფათო ფაქტორების ზემოქმედების შესუსტება ხდება სხვადასხვა ტექნიკური და ორგანიზაციული გზით. მათ შორისაა:

- ვენტილაცია;
- ეკრანირება;
- იზოლაცია;
- კონდიციონირება;
- ფილტრაცია;
- დეზაქტივაცია.

ამ მეთოდების არსი, გამოყენების სფერო და მოქმედების პრინციპები დეტალურად განიხილება სახელმძღვანელოს მომდევნო ნაწილებში.

2.4. საწარმოო ტრავმატიზმის ანალიზის მეთოდები

საწარმოო ტრავმატიზმის შემთხვევების ანალიზისათვის გამოიყენება შემდეგი მეთოდები: 1. სტატისტიკური, 2. მონოგრაფიული, 3. ტოპოგრაფიული, 4. ტექნიკური და 5. ეკონომიკური.

1. სტატისტიკური მეთოდი. ამ შემთხვევაში ხდება ტრავმატიზმის მონაცემების დამუშავება სხვადასხვა მაჩვენებლების (კოეფიციენტების) დადგენის მიზნით.

ტრავმატიზმის სიხშირის მაჩვენებელი კალენდარული დროის რომელიმე პერიოდისათვის, მაგალითად, წლისათვის, საშუალოდ 1000 მუშაზე, განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$K_1 = \frac{1000N}{n}, \quad (2.1)$$

სადაც K_1 არის მოცემული საწარმოსათვის ტრავმატიზმის სიხშირის კოეფიციენტი აღნიშნულ პერიოდში; N , n — შესაბამისად უბედური შემთხვევების ჯამური რიცხვი დროის სათანადო პერიოდში და მომუშავეთა სიითი რაოდენობა მოცემულ საწარმოში. ფორმულიდან ჩანს, რომ კოეფიციენტის მინიმალური სიდიდე 0-ის ტოლია, ე.ი. $K_1^{min} = 0$. აღნიშნული კოეფიციენტი საწარმოო ტრავმატიზმის გამომწვევი შემთხვევების დინამიკის შეფასების საშუალებას იძლევა მოცემული საწარმოს ფარგლებში. აღნიშნული კოეფიციენტის მეშვეობით აგრეთვე შესაძლებელია ერთმანეთთან შედარდეს სხვადასხვა ხასიათის საწარმოების ანალოგიური მაჩვენებლები.

შედარებით მცირე საწარმოებისათვის ტრავმატიზმის სიხშირის კოეფიციენტს ანგარიშობენ 100 მუშაკისათვის. ამ შემთხვევაში (2.1) ფორმულაში რიცხვით კოეფიციენტ 1000-ის მაგივრად აიღება 100. აღნიშნული მიღებული პრაქტიკაა და გაუგებრობა არ უნდა გამოიწვიოს სხვადასხვა მონაცემებმა, რომლებიც შესაძლებელია შეგვხვდეს სათანადო ლიტერატურაში.

საწარმოო ტრავმატიზმის სიმძიმის მაჩვენებელი განისაზღვრება ფორმულით:

$$K_2 = \frac{D}{N}, \quad (2.2)$$

სადაც განმარტებული სიდიდეების გარდა K_2 არის ტრავმატიზმის სიმძიმის კოეფიციენტი; D — ტრავმის შედეგად ყველა ტრავმირებულის მიერ გაცდენილი დღეების ჯამი. ფორმულიდან ჩანს, რომ კოეფიციენტის მინიმალური სიდიდე 1-ის ტოლია. ე.ი. $K_2^{min} = 1$.

საერთო ტრავმატიზმის მაჩვენებელი იანგარიშება აღნიშნული მაჩვენებლების ერთმანეთზე გამრავლებით. შესაბამისად, კოეფიციენტის მინიმალური სიდიდე 0-ის ტოლი იქნება. ე.ი. $K_3^{min} = 0$, ხოლო საანგარიშო ფორმულაა:

$$K_3 = K_1 K_2. \quad (2.3)$$



ფიგ. 2.3. საწარმოო ტრავმატიზმის ანალიზის მეთოდები ISO სტანდარტების მიხედვით.

კოეფიციენტი, რომელიც უჩვენებს ტრავმატიზმის საერთო რიცხვიდან დაინვალიდების ან გარდაცვალების პროცენტს, განისაზღვრება ფორმულით:

$$K_4 = \frac{T}{N} 100, \quad (2.4)$$

სადაც განმარტებული სიდიდეების გარდა, K_4 არის დაინვალიდებულთა და გარდაცვლილთა პროცენტული მაჩვენებელი; T — დაინვალიდებულთა და გარდაცვლილთა ჯამური რიცხვი. აღნიშნული კოეფიციენტის მინიმალური სიდიდე 0-ის ტოლია. ე.ი. $K_4^{min} = 0$.

ყოველ 1000 მომუშავეზე დაზარალებულთა საშუალო მაჩვენებელი განისაზღვრება ფორმულით:

$$K_5 = 1000 \frac{P}{N}, \quad (2.5)$$

სადაც განმარტებული სიდიდეების გარდა K_5 არის დაზარალებულთა საშუალო მაჩვენებელი ყოველ 1000 მომუშავეზე; P — დაზარალებულთა რიცხვი, რომელიც არის N რაოდენობის მომხდარი უბედური შემთხვევების შედეგი.

სტატისტიკური მეთოდის განსაკუთრებული სახეა ჯგუფური მეთოდი, რომლის მიხედვითაც შემთხვევები რანჟირდება (ჯგუფდება) შემთხვევათა მახასიათებელი ნიშნების მიხედვით და ამ გზით გამოიკვეთება მნიშვნელოვანი ფაქტორები ან მათი კომბინაცია. შესაბამისად, ამ შემთხვევაში უფრო მიზანდასახულადაა შესაძლებელი პროფილაქტიკური ღონისძიებების შერჩევა.

2. მონოგრაფიული მეთოდი (ბერძნული სიტყვებიდან მონოს — ერთი და გრაფო — ვწერ) გულისხმობს პრომასთან დაკავშირებული კონკრეტული მაჩვენებლის ყოვლისმომცველ კვლევას. ამ ტიპის ანალიზი, როგორც წესი, ხორციელდება სხვადასხვა პროფილის სპეციალისტების ერთობლივი მუშაობით.

მაგალითად, შესაძლებელია დეტალურად შეისწავლონ ერთი ოპერაციის შესრულების ხერხები ან კონკრეტული ინსტრუმენტის გამოყენება და შეაფასონ მათი უსაფრთხოება. მიღებული შედეგების საფუძველზე შეიძლება შემუშავდეს რეკომენდაციები, რომ მაგალითად, ელექტრული ხელსაწყოები დამცავი დამიწებით უფრო უსაფრთხოა გამოყენებისას.

მონოგრაფიული ანალიზის მთავარი მიზანია უბედური შემთხვევების გამომწვევი მიზეზების იდენტიფიცირება და შესაბამისი ღონისძიებების შემუშავება, რათა თავიდან იქნას აცილებული მსგავსი შემთხვევები.

3. ტოპოგრაფიული (წარმოდგება ბერძნული სიტყვებიდან ტოპოს - ადგილი, ადგილმდებარეობა და გრაფო - ვწერ) მეთოდის შემთხვევაში საწარმოს ტერიტორიის გრაფიკულ გამოსახულებაზე, რომელიც შესაძლებელია იყოს სქემა, ნახაზი ან სურათი, პირობითი ნიშნებით აღინიშნება ავარიის მოხდენის ადგილები. აღნიშნულის შედეგად, როცა მონაცემები მრავლადაა, საწარმოს ტერიტორიაზე გამოიკვეთება ავარიის მხრივ ყველაზე უფრო საშიში ადგილები.

ტოპოგრაფიული მეთოდით სარგებლობა შესაძლებელია როგორც საწარმოს გეგმაზე, ანუ ჰორიზონტალურ ქრილში, ისე ვერტიკალურ ქრილში.

4. ტექნიკური მეთოდი გულისხმობს სხვადასხვა ტექნიკური საშუალებების გაანგარიშებასა და გამოცდას, რათა დადგინდეს ყველაზე საიმედო და ეფექტური ნომენკლატურა. კვლევის პროცესში ყურადღება ექცევა როგორც პასიურ, ისე აქტიურ სახანძრო დაცვის სისტემებს, ასევე მანქანებს, მექანიზმებს, სამარჯვებს და ინდივიდუალური თუ კოლექტიური დაცვის საშუალებებს.

მიღებული შედეგები საშუალებას იძლევა განისაზღვროს, რომელი ტექნიკური საშუალებები უზრუნველყოფს უსაფრთხოების უფრო მაღალ დონეს და რომელთა გამოყენება მიზანშეწონილია კონკრეტულ საწარმოო პირობებში.

5. ეკონომიკური მეთოდი. ამ შემთხვევაში ხდება ტრავმატიზმის შედეგების ეკონომიკური შეფასება, რომლითაც უნდა გამოჩნდეს დამქირავებლისათვის უსაფრთხო პირობებით მუშაობის ეკონომიკური მიმზიდველობა ახალი ტექნოლოგიების, ტექნიკის, უსაფრთხოების უზრუნველმყოფი საშუალებების თუ სხვათა გამოყენების გზით. საპირისპირო შემთხვევაში, ანუ ანალიზის შედეგად თუ გამოჩნდება, რომ ტრავმატიზმი არაა წამგებიანი მეწარმისათვის, მაშინ შეიძლება ირიბი დასკვნის გაკეთება, რომ ქვეყნის კანონმდებლობა არაა ორიენტირებული დაქირავებულთა უსაფრთხო შრომის პირობებით უზრუნველყოფაზე.

განხილული ანალიზის მეთოდები პირდაპირ უკავშირდება ISO 31000 და ISO 45001 სტანდარტების მოთხოვნებს. კერძოდ:

- **სტატისტიკური მეთოდი** უზრუნველყოფს რისკის რაოდენობრივ შეფასებას (ISO 31000).
- **მონოგრაფიული მეთოდი** ასახავს კონტექსტზე მორგებულ მიდგომას (ISO 31000).
- **ტოპოგრაფიული მეთოდი** უკავშირდება საშიშროებების იდენტიფიკაციას სამუშაო გარემოში (ISO 45001).
- **ტექნიკური მეთოდი** შეესაბამება კონტროლის ზომების შემოწმებას (ISO 45001).
- **ეკონომიკური მეთოდი** აჩვენებს უსაფრთხო სამუშაო პირობების ღირებულებას (ISO 31000).

წარმოდგენილი მასალის ათვისებისას მხედველობაში უნდა გვქონდეს ქვემოთ მოცემული მეთოდოლოგიური ხაზი — განხილული მეთოდების სტანდარტებთან ISO 31000-თან და ISO 45001-თან კავშირი:

- **სტატისტიკური მეთოდი** უკავშირდება ISO 31000-ის მოთხოვნას რისკის იდენტიფიკაცია და შეფასება. სტატისტიკური კოეფიციენტები (K1–K5) ქმნის რაოდენობრივ ბაზას, რომელიც ISO 45001-ის ფარგლებში გამოიყენება სამუშაო გარემოს უსაფრთხოების მონიტორინგისთვის.
- **მონოგრაფიული მეთოდი** შეესაბამება ISO 31000-ის კონტექსტზე მორგებულ მიდგომას. კონკრეტული პროცესის ან ინსტრუმენტის დეტალური კვლევა უზრუნველყოფს ISO 45001-ის პრევენციული ზომების შემუშავებას.
- **ტოპოგრაფიული მეთოდი** უკავშირდება ISO 45001-ის მოთხოვნას საშიშროებების იდენტიფიკაცია სამუშაო გარემოში. ავარიების ადგილების გრაფიკული აღნიშვნა ქმნის ვიზუალურ მონაცემებს, რომლებიც ISO 31000-ის სისტემურ ანალიზში შედის.
- **ტექნიკური მეთოდი** შეესაბამება ISO 45001-ის ტექნიკური კონტროლის ზომებს. ტექნიკური საშუალებების გამოცდა უზრუნველყოფს ISO 31000-ის რისკის მართვის ღონისძიებების ეფექტიანობას.
- **ეკონომიკური მეთოდი** უკავშირდება ISO 31000-ის სტრატეგიული მიზნების მიღწევას. ეკონომიკური ანალიზი აჩვენებს უსაფრთხო სამუშაო პირობების ღირებულებას და ISO 45001-ის დამსაქმებლის პასუხისმგებლობას.

ქვემოთ მოცემულია შედარებითი ცხრილი 2.1, რომელშიც შეჯამებულია ანალიზის მეთოდები, მათი გამოყენება და კვლევითი ღირებულება.

ცხრილი 2.1

ანალიზის მეთოდების კრებისითი ცხრილი, მათი გამოყენება და კვლევითი ღირებულება

მეთოდი	გამოყენების სფერო	კვლევითი ღირებულება
სტატისტიკური	ტრავმატიზმის მონაცემების რაოდენობრივი ანალიზი	ქმნის რისკის ინდექსის რაოდენობრივ ბაზას
მონოგრაფიული	კონკრეტული პროცესის/ინსტრუმენტის დეტალური კვლევა	უზრუნველყოფს კონტექსტზე მორგებულ რეკომენდაციებს

ტოპოგრაფიული	ცხელი წერტილების იდენტიფიცირებას ახდენს სამუშაო გარემოში	ავარიების ადგილების გრაფიკული აღნიშვნა
ტექნიკური	ტექნიკური საშუალებების გამოცდა	ამოწმებს კონტროლის ზომების საიმედოობას
ეკონომიკური	ტრავმატიზმის შედეგების ეკონომიკური შეფასება	აჩვენებს უსაფრთხოების ეკონომიკურ ეფექტიანობას

2.5. ტრავმატიზმის შემთხვევების გამოკვლევა და შემცირება

პირველ თავში განხილული რისკის ინდექსის მოდელი ($R = PxS$) პრაქტიკულად გამოიყენება მე-2 თავის ანალიზის შედეგებში. მაგალითად, სტატისტიკური კოეფიციენტები (K_1-K_5) შესაძლებელია ინტეგრირდეს ინდექსის გამოთვლაში: K_1 ასახავს რეალიზაციის ალბათობას (P), ხოლო K_2-K_4 — შედეგის სიმძიმეს (S). ამგვარად, ტრავმატიზმის ანალიზი ქმნის მონაცემთა ბაზას, რომელიც გარდაიქმნება რისკის ინდექსებად ISO სტანდარტების მოთხოვნების შესაბამისად.

ტრავმატიზმის მიზეზების შესწავლა მოიცავს დაზარალებულთა დახმარებას, ხელშემწყობი გარემოებების ანალიზს და შესაბამისი ღონისძიებების შემუშავებას. ამ პროცესის მიზანია არსებული მიზეზების ლიკვიდაცია და პრევენციული ზომების გატარება, რათა მომავალში შემცირდეს უბედური შემთხვევების რისკი.

გამოკვლევა იწყება დასაქმებულის შეტყობინების მიხედვით, ამ უკანასკნელს საქართველოს კანონის შრომის უსაფრთხოების შესახებ აქვს ვალდებულება დამსაქმებელს შეატყობინოს სამუშაო სივრცეში მომხდარი უბედური შემთხვევის შესახებ, რომელიც შეემთხვა სხვა პირს ან თვით მას, თუ ამ უკანასკნელის ჯანმრთელობის მდგომარეობა შეტყობინების საშუალებას იძლევა.

დამსაქმებელი ვალდებულია:

- დაშავებული პირის სიცოცხლისა და ჯანმრთელობის შესანარჩუნებლად დაუყოვნებლივ მიიღოს ზომები.
- მძიმე, ფატალური და მასობრივი უბედური შემთხვევის მოხდენის ადგილი დაიცვას უცვლელად საგამოძებო ორგანოების მოსვლამდე. გამონაკლისი დაშვებულია დაზარალებულის ჯანმრთელობის შენარჩუნების ინტერესებიდან გამომდინარე. დამსაქმებელი გამონაკლის შემთხვევებში ვალდებულია ზუსტად აღწეროს სიტუაცია ინციდენტის გამომწვევი მიზეზის მოკვლევის ხელშესაწყობად.

ინციდენტების გამოძიებისა და აღრიცხვის წესები:

- ინციდენტის შესახებ შეტყობინება უნდა გაკეთდეს 24 საათის განმავლობაში.

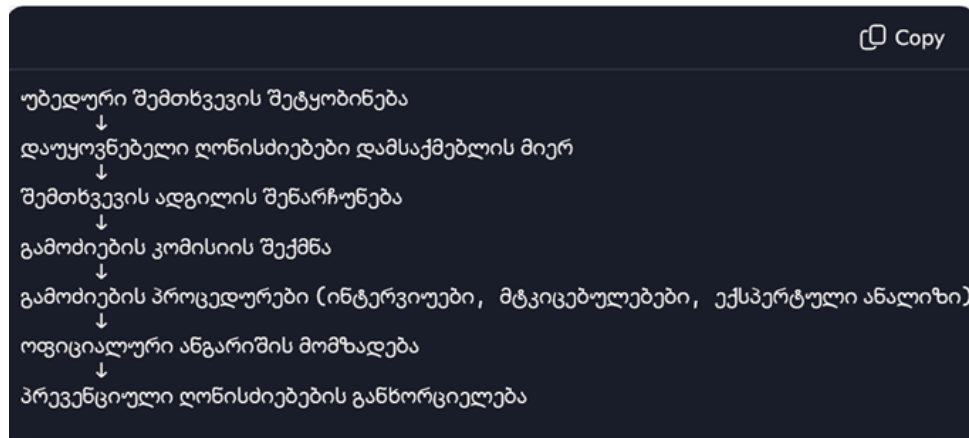
შეტყობინების ადრესატებია:

- დასაქმებულთა გაერთიანება და შრომის უსაფრთხოების საკითხებში დასაქმებულთა წარმომადგენელი;
- სამართალდამცავი ორგანოები, თუ არსებობს დანაშაულის ნიშნები;

- ზედამხედველი ორგანო — მძიმე, ფატალური ან მასობრივი შემთხვევების დროს.

ინციდენტი უნდა აღირიცხოს და შეიქმნას მომკვლევ კომისია, რომლის შემადგენლობაში შედის:

- დაზარალებული ან მისი უფლებამონაცვლე;
- შრომის უსაფრთხოების საკითხებში დასაქმებულთა წარმომადგენელი;
- პროფესიული კავშირის წარმომადგენელი;
- შრომის უსაფრთხოების სპეციალისტი;
- საჭიროების შემთხვევაში — დაზარალებულის სამუშაოდ მიმავლინებული.



ფიგ. 2.4. საწარმოო ტრავმების გამოძიების პროცესი.

თუ შემთხვევა შეემთხვა გარეშე პირს, ინფორმაცია უნდა მიეწოდოს მის დამსაქმებელს. მოკვლევის ოქმი აუცილებლად შედგება ინციდენტის ადგილზე.

მძიმე, ფატალური და მასობრივი შემთხვევების მტკიცებულებები ინახება განსაზღვრული ვადით:

- საშუალო სიმძიმის შემთხვევა — 5 წელი;
- მძიმე შემთხვევა — 7 წელი;
- ფატალური შემთხვევა — 10 წელი;
- მასობრივი უბედური შემთხვევა — 15 წელი.

მოკვლევისას დამსაქმებელი უზრუნველყოფს ინციდენტის შესახებ ყველა პირის გამოკითხვას, რასაც საჭიროდ ჩათვლის მომკვლევ კომისია.

ზემდგომი ორგანოს მიერ მოკვლევის ოქმის საფუძველზე შემუშავებული მითითებების შესრულება სავალდებულოა დამსაქმებლისათვის [24, 25].

კომისიის მიერ მოკვლევა უნდა დასრულდეს:

- საშუალო სიმძიმის შემთხვევაში — 10 კალენდარული დღის ვადაში.
- მძიმე შემთხვევაში — 15 კალენდარული დღის ვადაში.
- ფატალურ შემთხვევაში — 7 კალენდარული დღის ვადაში.
- მასობრივ უბედურ შემთხვევაში — 30 კალენდარული დღის ვადაში.

აღნიშნული მოკვლევის ვადა შესაძლებელია გაორმაგდეს კომისიის ყველა წევრის ხელმოწერით ოქმზე, მათ მიერვე დასაბუთებული გადაწყვეტილების მიხედვით.

საშუალო სიმძიმის, მძიმე, ფატალური და მასობრივი შემთხვევების დროს მომკვლევ კომისიას უფლება აქვს დამსაქმებლისაგან მოითხოვოს:

- გამოცდილი სპეციალისტის მოწვევა ექსპერტად;
- სპეციალური ლაბორატორიული კვლევების ჩატარება;
- უბედური შემთხვევის ადგილის ნახაზები, სქემები, გეგმები, ფოტოები;
- კომისიის წევრებისა და ექსპერტების აღჭურვა სპეცტანსაცმლითა და ინდივიდუალური დაცვის საშუალებებით.

უბედური შემთხვევის შედეგად **დაზარალებულის ჯანმრთელობის შესახებ** ცნობას გაცემს ჯანდაცვის დაწესებულება სამინისტროს მიერ შემუშავებული სქემის მიხედვით.

მოკვლევის დასრულების შემდეგ უნდა შედგეს სათანადო ოქმი, რომელსაც ხელს აწერს კომისიის ყველა წევრი. მათ აქვთ უფლება ხელმოწერასთან ერთად წერილობით დააფიქსირონ ოქმში განსხვავებული აზრი.

მოკვლევის ოქმს თან ერთვის:

1. უბედური შემთხვევის ადგილის ნახაზები, სქემები, გეგმები, ფოტოები, აგრეთვე საჭიროების შემთხვევაში — სხვა დოკუმენტური მასალა.
2. შრომის უსაფრთხოების წესებისა და სხვა სპეციალური ცოდნის დამადასტურებელი ცნობები დაზარალებულის შესახებ.
3. თვითმხილველთა და დაზარალებულის ახსნა-განმარტებები.
4. მოწვეულ პირთა (ექსპერტების) დასკვნები მათი არსებობის პირობებში.
5. ლაბორატორიული ანალიზისა და კვლევის შედეგები მათი არსებობის პირობებში.
6. დაზარალებულის ჯანმრთელობის მდგომარეობასთან დაკავშირებული სამედიცინო დასკვნა.
7. დაზარალებულზე გადაცემული დაცვის ინდივიდუალური საშუალებების გადაცემის შესახებ დამამტკიცებელი დოკუმენტაცია.
8. ზედამხედველი ორგანოს მითითებები მათი არსებობის პირობებში.
9. აგრეთვე სხვა დოკუმენტი, რომელსაც საჭიროდ ჩათვლის კომისია.

ინციდენტების მოკვლევის შედეგების მიწოდება და პრევენციული ღონისძიებები:

მოკვლევითი კომისია ვალდებულია მოკვლევის ოქმი, თანდართული დოკუმენტებით, გადასცეს ზედამხედველ ორგანოს, დაზარალებულს და კომისიის წევრებს მოკვლევის დასრულებიდან არაუგვიანეს ხუთი სამუშაო დღისა.

ტრავმატიზმის შემთხვევების შემცირება შესაძლებელია შემდეგი ღონისძიებებით:

- საორგანიზაციო და ტექნიკური ზომების გატარება;
- სანიტარიულ-ჰიგიენური პირობების უზრუნველყოფა;
- სამკურნალო-პროფილაქტიკური ღონისძიებების დანერგვა;
- პროფესიული უსაფრთხოების ნორმების განუხრელი შესრულება;
- წარმოების ტექნოლოგიის გაუმჯობესება და პროცესების ავტომატიზაცია;
- ინდივიდუალური დაცვის საშუალებების, სპეცტანსაცმლისა და სპეცფეხსაცმლის გამოყენება;
- ხმაურის, განათების და მიკროკლიმატის პარამეტრების ნორმების დაცვა;
- პერსონალის სწავლება და უსაფრთხო სამუშაო ჩვევების ჩამოყალიბება;
- საწარმოო ობიექტების სერტიფიცირება პროფესიული უსაფრთხოების მოთხოვნებთან შესაბამისობის დასადგენად.

საწარმოო ტრავმატიზმის შემთხვევების შემცირება შესაძლებელია: საორგანიზაციო-ტექნიკური, სანიტარიულ-ჰიგიენური, სამკურნალო-პროფილაქტიკური ღონისძიებებით; პროფესიულ უსაფრთხოებასთან დაკავშირებული ნორმების განუხრელი შესრულებით;

წარმოების ტექნოლოგიის გაუმჯობესებით; საწარმოო პროცესების ავტომატიზაციით და მათი ნორმებთან შესაბამისობის კონტროლით; დაცვის ინდივიდუალური საშუალებების, სპეცტანსაცმლის, სპეცფეხსაცმლის და სხვათა გამოყენებით; ხმაურის, განათების, მიკროკლიმატის პარამეტრებისა და სხვათა ნორმების დაცვით; შრომის დაცვის საკითხებში სწავლებების მოწყობით და პერსონალისათვის სათანადო ჩვევების გამომუშავებით; საწარმოო ობიექტების სერტიფიკაციით პროფესიული უსაფრთხოების მოთხოვნებთან შესაბამისობის დადგენის მიზნით.

2.6. პროფესიული დაავადებების შემთხვევების გამოკვლევა

ზოგადი მიდგომა

პროფესიული დაავადებების შემთხვევების გამოკვლევა ხდება იმავე მეთოდებით, რაც ტრავმატიზმის ანალიზისთვის გამოიყენება (სტატისტიკური, მონოგრაფიული, ტოპოგრაფიული, ტექნიკური, ეკონომიკური).

ტრავმა და პროფესიული დაავადება განსხვავებულად ვლინდება, ამიტომ საქართველოს კანონმდებლობა განსაზღვრავს პროფდაავადებათა რეგისტრაციის, მოკვლევისა და ანგარიშგების წესებს.

რეგისტრაცია და ანგარიშგება:

ყველა შემთხვევა, რომელიც წარმოიშობა მძიმე, მავნე ან საშიშ პირობებში და იწვევს მწვავე ან ქრონიკულ დაავადებას, ექვემდებარება აღრიცხვას, მოკვლევასა და ანგარიშგებას.

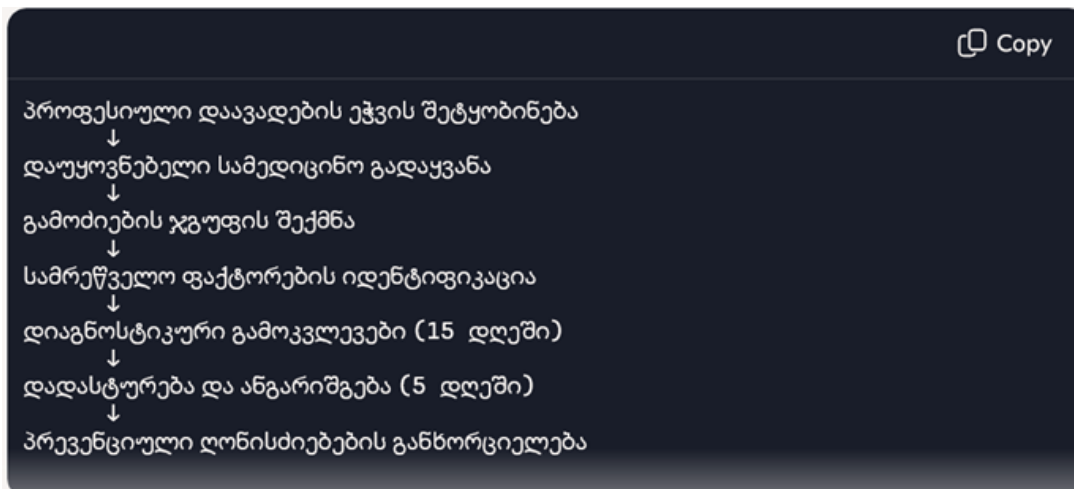
დამსაქმებლის ვალდებულებები:

1. უზრუნველყოს საწარმოო გარემოსა და მავნე პირობების შემცირების ღონისძიებების მუდმივი განხორციელება.
2. მწვავე პროფესიულ დაავადებაზე ეჭვის შემთხვევაში დაუყოვნებლივ გადაიყვანოს დაზარალებული სამედიცინო დაწესებულებაში და აცნობოს ზედამხედველ ორგანოს.
3. შექმნას მოკვლევის ჯგუფი და საჭიროების შემთხვევაში მოიწვიოს სპეციალისტები (ექიმი, საზოგადოებრივი ჯანდაცვის სპეციალისტი, ქიმიკოსი, ტოქსიკოლოგი და სხვ.).
4. განახორციელოს მოკვლევის ჯგუფის ან მოწვეული სპეციალისტების მიერ დასახული ღონისძიებები.
5. შესაძლო გამომწვევი მიზეზის დადგენის შემდეგ, 15 სამუშაო დღეში დაიწყოს დაზარალებულის კვლევები შესაბამის დაწესებულებაში.
6. პროფესიული დაავადების დადგენის შემდეგ, 5 სამუშაო დღეში გაუგზავნოს ზედამხედველ ორგანოს სპეციალური აღრიცხვის ფორმა.
7. უზრუნველყოს დროული მოკვლევა, აღრიცხვა, ანგარიშგება და გამომწვევი მიზეზების აღმოფხვრის ღონისძიებების გატარება.

მოკვლევის ჯგუფის შემადგენლობა და წესები:

1. ჯგუფში შედის:
 - ა. დამსაქმებელი ან მისი უფლებამონაცვლე (ჯგუფის ხელმძღვანელი);

- ბ. დასაქმებულთა წარმომადგენელი შრომის უსაფრთხოების საკითხებში (თუ არსებობს);
 - გ. პროფესიული კავშირის წარმომადგენელი (თუ არსებობს);
 - დ. შრომის უსაფრთხოების სპეციალისტი (თუ არსებობს).
2. თუ ჩამონათვალის ბ–დ პუნქტების შესრულება შეუძლებელია (არ არსებობს წარმომადგენელი ან სპეციალისტი), დამსაქმებელი ვალდებულია გარედან მოიწვიოს შესაბამისი სპეციალისტები, რათა ჯგუფი სრულფასოვნად დაკომპლექტდეს.
 3. ჯგუფში შესაძლებელია ზედამხედველი ორგანოს წარმომადგენლის ჩართვაც.
 4. ჯგუფის შემადგენლობის შესახებ წერილობითი განცხადება უნდა განთავსდეს თვალსაჩინო ადგილზე.
 5. მოკვლევის ჯგუფის შექმნის მიზანია საწარმოო ფაქტორების დადგენა, რომლებიც იწვევენ მწვავე ან ქრონიკულ პროფდაავადებას.
 6. გადაწყვეტილებები მიიღება ხმათა უმრავლესობით.
 7. ფაქტორების დადგენა უნდა მოხდეს 60 კალენდარული დღეში; ვადა შეიძლება გაგრძელდეს მხოლოდ ერთხელ — იმავე ვადით.



ფიგ. 2.5. პროფესიული დაავადების შემთხვევების გამოძიების პროცესი.

ზედამხედველი ორგანოს უფლება-მოვალეობები:

1. შეტყობინების მიღების შემდეგ მოითხოვოს მოკვლევის ჯგუფის შექმნა;
2. საკუთარი ინიციატივით შეადგინოს შრომის პირობების სანიტარიულ-ჰიგიენური დახასიათება და წარუდგინოს ჯგუფს ან დამსაქმებელს;
3. საჭიროების შემთხვევაში შექმნას დამოუკიდებელი კომისია პროფდაავადების დადგენის მიზნით;
4. მოიპოვოს ყველა შესაბამისი ინფორმაცია;
5. განახორციელოს თვითმხილველთა, დასაქმებულთა, დამსაქმებლის და სხვა პირების გამოკითხვა მოკვლევის პროცესში.

2.7. მომუშავეთა სწავლება და ინსტრუქტაჟი

სწავლების პროგრამა:

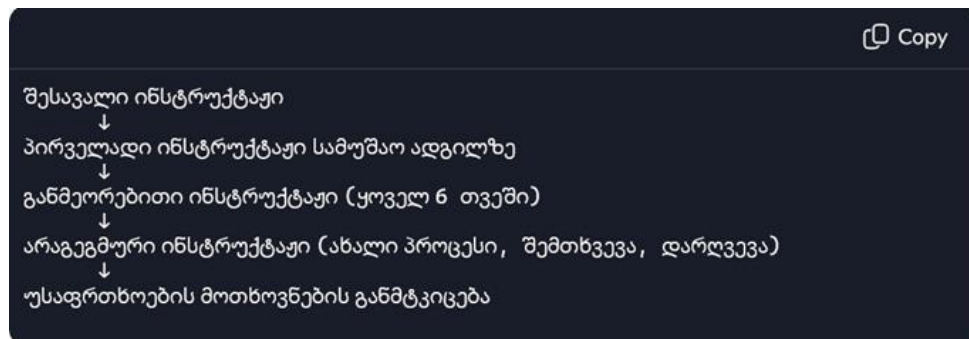
ინჟინერ-ტექნიკური პერსონალისა და მუშების სწავლება შრომის დაცვის საკითხებზე უნდა განხორციელდეს სპეციალური პროგრამის მიხედვით, რომელშიც უნდა აისახოს კონკრეტული საწარმოს თავისებურებები. პროგრამის შედგენისას აუცილებელია გათვალისწინებული იქნეს მოქმედი წესები, ინსტრუქციები და ნორმები; მუშათა სწავლების პროგრამაში უნდა გაშუქდეს საკითხები, რომლებიც უშუალოდ ეხება სამუშაო პირობებს, მათ შორის:

1. საწარმოო სანიტარია და შრომის ჰიგიენა;
2. მავნე ფაქტორების (ხმაური, ვიბრაცია და სხვ.) სალიკვიდაციო მეთოდები;
3. ტრავმატიზმის გამომწვევი მიზეზების პროფილაქტიკა;
4. სამედიცინო-სანიტარული სამსახურის ორგანიზაცია;
5. ელექტროუსაფრთხოება;
6. პერსონალის მოქმედება საწარმოო პროცესებში და ტექნოლოგიურ ხაზებზე;
7. ხანძარსაწინააღმდეგო ღონისძიებები;
8. უბედური შემთხვევების განხილვა და მათი მიზეზების გამოკვლევა.

ინსტრუქტაჟის სახეები:

1. შესავალი ინსტრუქტაჟი

- ტარდება ყველა ახალ თანამშრომელზე, განათლებისა და სამუშაო სტაჟის მიუხედავად.
- მიზანია უსაფრთხოების ღონისძიებების, სამუშაოს უსაფრთხო წარმართვის მეთოდების და საწარმოო სანიტარიის საკითხების გაცნობა.
- მოიცავს შრომის შინაგანაწესს, სამუშაო დროისა და დასვენების წესებს, სპეცტანსაცმლის გამოყენებას, პირველადი დახმარების აღმოჩენას, პირადი ჰიგიენის საფუძვლებს და ზიანის ანაზღაურების პირობებს.
- ატარებს უსაფრთხოების ტექნიკის ინჟინერი.



ფიგ. 2.6. პროფესიული უსაფრთხოების სწავლებისა და ინსტრუქტაჟის სახეები.

2. პირველადი ინსტრუქტაჟი სამუშაო ადგილზე

- ტარდება უშუალო უფროსის მიერ.

- თანამშრომელს დეტალურად აცნობს სამუშაო ადგილს და უსაფრთხოების წესებს.

- აუცილებელია ასევე მაშინ, როცა თანამშრომელი გადაჰყავთ ერთი უბნიდან მეორეზე.

3. განმეორებითი ინსტრუქტაჟი

- ტარდება მინიმუმ ექვს თვეში ერთხელ ან საწარმოს ხელმძღვანელის მიერ დამტკიცებული გრაფიკით. ატარებს სამუშაოს ხელმძღვანელი (ოსტატი, სამუშაოთა მწარმოებელი, სამუშაოთა უფროსი მწარმოებელი)

- მიზანია უსაფრთხოების წესების მოთხოვნების აღდგენა პერსონალის მეხსიერებაში.

- ტარდება ასევე მაშინ, როცა თანამშრომელი გადაჰყავთ სხვა სამუშაოზე ან სხვა მოწყობილობაზე.

4. არაგეგმური ინსტრუქტაჟი

- ტარდება ახალი ტექნოლოგიური პროცესის დანერგვისას.

- აუცილებელია უბედური შემთხვევის ან ისეთი დარღვევის შემდეგ, რომელიც შესაძლოა გამოიწვიოს უბედური შემთხვევა.

დასკვნა

უსაფრთხოების ინჟინერს ევალება მხოლოდ შესავალი ინსტრუქტაჟის ჩატარება, ხოლო პირველადი, განმეორებითი და არაგეგმური ინსტრუქტაჟი უნდა ჩაატაროს — უშუალო უფროსმა.

2.8. პირველადი დახმარების

აღმოჩენის წესი

სასიცოცხლო ნიშნების მდგომარეობის მიხედვით განასხვავებენ ოთხ ძირითად შემთხვევას:

1. დაზარალებული გრძნობაზეა, სუნთქავს და აქვს გულისცემა;
2. დაზარალებული უგონოდაა, მაგრამ პულსი და სუნთქვა აღენიშნება;
3. დაზარალებული ცუდად სუნთქავს, თუმცა პულსი ისინჯება;
4. არც პულსია, არც გულისცემა; თვალის გუგები გაფართოებულია, არ რეაგირებს სინათლეზე და მტკივნეულ გამაღიზიანებელზე.

გულისა და სუნთქვის შემოწმება:

- გულის მუშაობა შეამოწმეთ ყურის დადებით მკერდის მარცხენა მხარეს ან პულსის გასინჯვით საძილე არტერიაზე;

- სუნთქვისა და გულისცემის შემოწმება უნდა მოხდეს სწრაფად, 15–20 წამში.

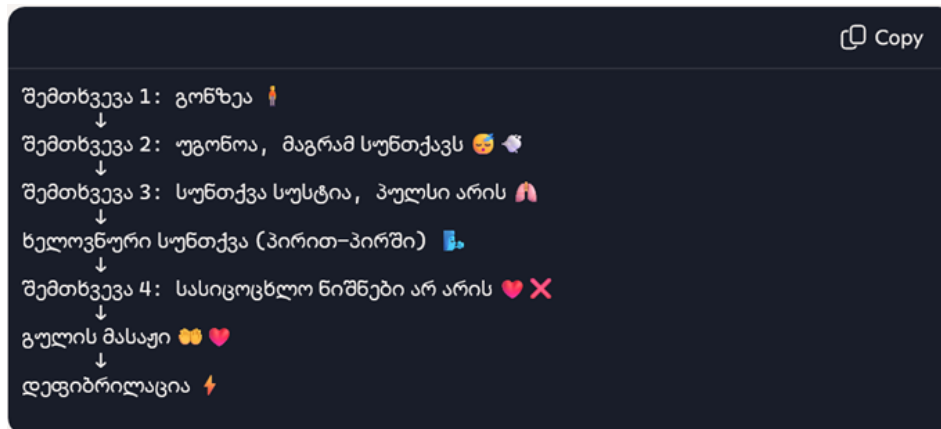
პირველადი დახმარების წესები მდგომარეობის მიხედვით.

1. თუ დაზარალებული გრძნობაზეა:

- არ უნდა იმოძრაოს; დააწვინეთ მშრალ ადგილზე, გადააფარეთ ტანსაცმელი;
- აკონტროლეთ სუნთქვა და გულისცემა;
- მოწამვლის შემთხვევაში — ამოურეცხეთ კუჭი;
- საჭიროების შემთხვევაში საკაცით გადაიყვანეთ საავადმყოფოში.

2. თუ დაზარალებული უგონოდაა, მაგრამ სუნთქავს და პულსი აქვს:

- დააწვინეთ მოხერხებულად, გაუხსენით ქამარი და ტანსაცმელი;
 - უზრუნველყავით სუფთა ჰაერით;
 - ცხვირთან მიუტანეთ ნიშადღურიანი ბამბა, სახეზე შეასხურეთ წყალი, სხეული დაუშილეთ და გაუთბეთ;
 - ექიმის მოსვლამდე უზრუნველყავით მშვიდი გარემო.
- 3. თუ დაზარალებული ცუდად სუნთქავს, მაგრამ პულსი ისინჯება:**
- დაუყოვნებლივ ჩაუტარეთ ხელოვნური სუნთქვა (აპარატით ან პირიდან - პირში მეთოდით);
 - აპარატით ჰაერი მიეწოდება 0,25–1,5 ლ მოცულობით; შესაძლებელია ჟანგბადის ბალონთან მიერთება და ჟანგბადით გამდიდრებული ჰაერის მიწოდება;
 - ხელით ჩატარებული მეთოდი: დაზარალებული დავაწვინოთ ზურგით იატაკზე, თავქვე ამოვუდოთ ერთი ხელი, მეორეთი გადავუწიოთ თავი ისე, რომ ნიკაპი და ყელი ერთ ხაზზე იყოს, შემდეგ თავქვე ამოვუდოთ ტანსაცმელი, გავუსინჯოთ და გამოვუსუფთავოთ პირის ღრუ. თუ პირის ღრუში აქვს პროტეზი – უნდა ამოვუდოთ;
 - ჩაბერვა ხდება 10–12-ჯერ წუთში (ზრდასრულთათვის), 15–18-ჯერ წუთში (ბავშვებისთვის), ანუ ყოველ 3–4 წმ-ში ერთხელ;
 - გაგრძელდეს მანამ, სანამ არ აღდგება ღრმა, რიტმული სუნთქვა.



ფიგ. 2.7. პირველადი დახმარების პროცედურები საწარმოო შემთხვევებისას.

- 4. თუ არც პულსია, არც სუნთქვა — კლინიკური სიკვდილი:**
- დაუყოვნებლივ დაუწყეთ ხელოვნური სუნთქვა და გულის მასაჟი;
 - დაზარალებული გულადმა დააწვინეთ მაგარ ზედაპირზე; ხელისგულებით ბიძგური დაწოლა გულის ქვედა მესამედზე;
 - მკერდი უნდა ჩაიზნეიქოს 3–4 სმ-ით (მსუქნებისთვის 5–6 სმ);
 - სიხშირე — დაახლოებით წამში ერთხელ; ბავშვებისთვის — ორჯერ წამში;
 - თუ დამხმარე ერთია: ყოველ ორ ჩაბერვას მოჰყვება 15 დაწოლა;
 - თუ დამხმარე ორია: ერთი ატარებს მასაჟს, მეორე — სუნთქვას; ყოველ ერთ ჩაბერვას მოყვება 5 დაწოლა;
 - ეფექტურობაზე მიუთითებს პულსის აღდგენა, გუგების შევიწროება, სუნთქვის აღდგენა.

გულის დეფიბრილაცია:

- გულის ფიბრილაციის (ქაოტური შეკუმშვა-გაფართოების) შემთხვევაში საჭიროა დეფიბრილაცია — ძლიერი ელექტრული იმპულსებით გულის მუშობის ნორმალური რიტმის აღდგენა;
- პროცედურა ტარდება სპეციალური აპარატით (დეფიბრილატორით), რომლის ელექტროდები თავსდება დაზარალებულის გულმკერდზე;
- დეფიბრილაციისას არ უნდა შეწყდეს ხელოვნური სუნთქვა და მასაჟი;
- წარმატებული დეფიბრილაციის შემდეგ პულსი აღდგება დაუყოვნებლივ ან 2-4 წუთში.

2.9. ნებართვების მიღება

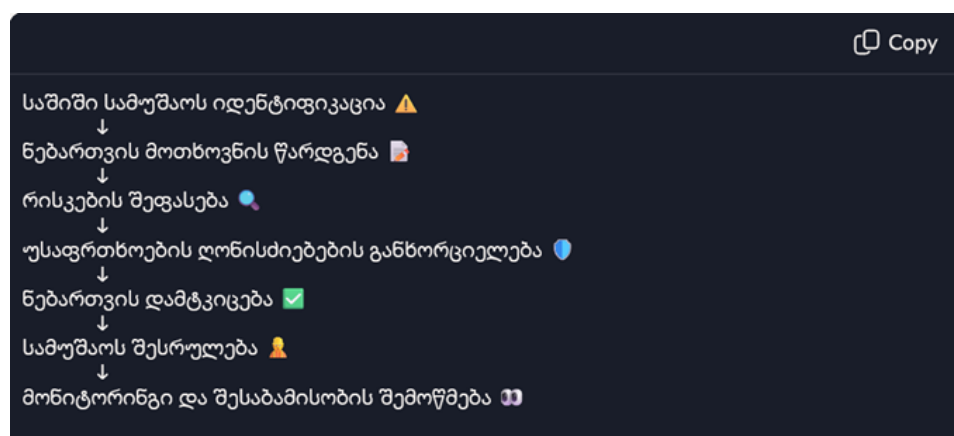
სამუშაოების ჩატარების ნებართვა:

თუ სამუშაოები ტარდება ისეთ ადგილას, სადაც კომუნიკაციებია და არსებობს საფრთხე (დენის დარტყმა, აფეთქება, ხანძარი, ტოქსიკური ნივთიერებების გამოყოფა და სხვ.), მათი შესრულება ნებადართულია მხოლოდ უფლებამოსილი ორგანიზაციების ან პირების მიერ.

ნებართვაში უნდა განისაზღვროს:

1. სამუშაოს მოცულობა და ვადა;
2. მოსალოდნელი საფრთხეები და რისკები;
3. საკონტროლო ზომები საფრთხის შესამცირებლად;
4. შეთანხმება ყველა მონაწილესთან და კოორდინაცია მომიჯნავე სამუშაოებთან;
5. უბედური შემთხვევისას ევაკუაციის გეგმა და გარემოზე ზემოქმედების შემცირების ღონისძიებები;
6. პასუხისმგებელი პირი და მონაწილეთა ჩამონათვალი;
7. მონაწილეთა კვალიფიკაციის დამადასტურებელი დოკუმენტები.

ნებართვის გარეშე სამუშაოს ჩატარება აკრძალულია და იწვევს სამართლებრივ პასუხისმგებლობას.



ფიგ. 2.8. საშიში სამუშაოების ნებართვის პროცესი.

ენერგეტიკული სისტემების გამორთვის ნებართვა:

ელექტროლი, მექანიკური, ჰიდრავლიკური, პნევმატიკური და სხვა ენერგეტიკული სისტემების გამორთვისას ასევე აუცილებელია ზემოთ ჩამოთვლილი 7-პუნქტიანი მოთხოვნების შესრულება. დამატებით:

1. დაგროვილი ენერგიის უტილიზაციის საშუალების მითითება ან მისი შეუძლებლობის დასაბუთება, შეთანხმებული კვალიფიციურ სპეციალისტთან;
2. გამორთვის ადგილებში შემოღობვის მოწყობა და გამაფრთხილებელი ნიშნების განთავსება;
3. გამორთვის საიმედოობის პერიოდული შემოწმება აპრობირებული მეთოდით.

უჩვეულო პირობებში მუშაობის ნებართვა:

შეზღუდულ სივრცეში (მიწისქვეშ, წყალქვეშ, ხიდზე, კამხალზე, ესტაკადაზე) ან ტოქსიკურ, რადიოაქტიურ, ვიბრაციულ, ანომალური ტემპერატურის მქონე გარემოში სამუშაოების ჩატარება ასევე მოითხოვს ზემოთ ჩამოთვლილი 7-პუნქტიანი მოთხოვნის შესრულებას.

დამატებით:

1. დასაბუთება, რომ სამუშაოს შესრულება სხვა გზით შეუძლებელია;
2. დასტური, რომ მონაწილე პერსონალს აქვს შესაბამისი კვალიფიკაცია;
3. ყველა ენერგეტიკული სისტემის გათიშვა, საიმედოობის შემოწმება და აკუმულირებული ენერგიის ზემოქმედების შეფასება;
4. სამუშაო ადგილის შემოღობვა და გამაფრთხილებელი ნიშნების განთავსება;
5. არასანქცირებული შეღწევის თავიდან აცილება მორიგეების დაყენებით;
6. გარემოს ჰაერის ვარგისობის შემოწმება ნორმატიული აქტებით განსაზღვრული წესით და აპარატურით.

ნებართვის გარეშე სამუშაოს ჩატარება აკრძალულია და იწვევს სამართლებრივ პასუხისმგებლობას.

2.10. სამუშაოს მეცნიერული ორგანიზაცია

ტექნიკური პროგრესის გავლენა:

- ტექნიკური პროგრესი აფართოებს წარმოების შესაძლებლობებს, ცვლის შრომის პირობებსა და მეთოდებს, ზრდის ნაყოფიერებას;
- ადამიანის შრომის მოქმედება იცვლება, რადგან მას უწევს არსებული ტექნიკური საშუალებების ოპტიმალურად გამოყენება.

ადამიანისა და მანქანის ურთიერთობა:

- საინჟინრო თვალსაზრისით კარგად დაპროექტებულ მანქანაზე მუშაობისას ადამიანი მაინც უშვებს შეცდომებს, რაც ზოგჯერ ავარიასა და კატასტროფას იწვევს;
- ადამიანი შედარებით მალე იღლება, ყურადღება ეფანტება, გამოთვლით ოპერაციებს ნელა და ხშირად არაზუსტად ასრულებს;
- მანქანა ამ პირობებში უფრო ძლიერი ჩანს, თუმცა მასაც აქვს შეზღუდულობა: ვერ რეაგირებს მოულოდნელ სიტუაციებზე, ვერ ასწორებს შეცდომებს, ვერ იყენებს არასრულ ინფორმაციას.

ფუნქციების განაწილების პრობლემა:

- ადამიანის და მანქანის შესაძლებლობათა შეზღუდულობის გამო აუცილებელია ფუნქციების სწორად განაწილება;

- წარმოებაში ადამიანის როლი იცვლება: ოპერაციები თანდათან გადადის მანქანაზე, ხოლო ადამიანის ფუნქციად რჩება დაპროგრამება, მართვა და კონტროლი;

- თანამედროვე ტექნიკა აიძულებს ადამიანს იმუშაოს უფრო სწრაფად და ხშირად ერთდროულად მართოს მრავალი ობიექტი დისტანციურად.

ფსიქოლოგიური ფაქტორები და ოპტიმალური პირობები:

- წამოიჭრება საკითხები: რამდენი სიგნალის აღქმა შეუძლია ადამიანს ერთდროულად; რა არის მისი სისწრაფის ოპტიმუმი; რომელი ფერი და სინათლეა ოპტიმალური;

- საჭიროა ადამიანის ფსიქიკური პროცესების დრმა შესწავლა;

- სისტემის საიმედოობისათვის მნიშვნელოვანია არა მხოლოდ ცალკეული ფუნქციური შესაძლებლობების დადგენა, არამედ მთლიანობაში ოპერატორის მოქმედების შესწავლა.

დასკვნა

- სამუშაოს მეცნიერული ორგანიზაცია გულისხმობს ფუნქციების ოპტიმალურ განაწილებას ადამიანსა და მანქანას შორის, სამუშაო გარემოსა და სივრცის სწორ ორგანიზაციას, ადამიანთა ურთიერთობისა და მართვის ეფექტურ სისტემას.

2.11. საინჟინრო ფსიქოლოგია

საინჟინრო ფსიქოლოგია თავისი შინაარსით ემთხვევა ტერმინს **ერგონომიკა**, რომელიც შემოიღეს ინგლისში 1949 წელს, როდესაც მეცნიერებმა საფუძველი ჩაუყარეს ერგონომიკულ კვლევათა საზოგადოებას. სხვადასხვა ქვეყანაში ამ დისციპლინას განსხვავებული სახელწოდება აქვს: მაგალითად, აშშ-ში მას **ადამიანური ფაქტორების კვლევა** ან **ადამიანური ინჟინერია** ეწოდება, გერმანიაში — ანთროპოტექნიკა და ა.შ.

ერგონომიკა არის ინტერდისციპლინური მეცნიერება, რომელიც ეფუძნება ტექნიკურ მეცნიერებებს, ფსიქოლოგიას, შრომის ფიზიოლოგიასა და ჰიგიენას. მისი კვლევის საგანია **სისტემა ადამიანი-მანქანა-გარემო**, რაც სრულად მოიცავს ადამიანის ურთიერთობას როგორც ტექნოლოგიურ მოწყობილობებთან, ისე სამუშაო გარემოსთან. ერგონომიკა მჭიდრო კავშირშია **დიზაინთან**, რომლის მიზანია ჰარმონიული საგნობრივი გარემოს შექმნა, რომელიც პასუხობს ადამიანის მატერიალურ და სულიერ მოთხოვნილებებს. ეს მიიღწევა საგნების ფორმალური თვისებების — სტრუქტურული კავშირებისა და კომპოზიციური მთლიანობის — განსაზღვრის გზით.

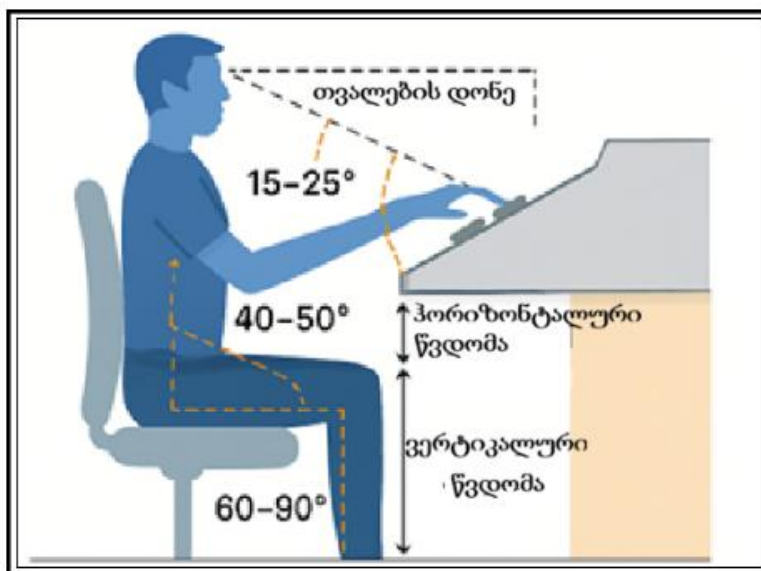
მისი თავისებურება ისაა, რომ ერგონომიკა არ სწავლობს ცალკე ადამიანს ან ცალკე მანქანას. იგი არ არის ანთროპოლოგიის ან ტექნიკური დისციპლინის ნაწილი, არამედ დამოუკიდებელი მიმართულებაა, რომელიც ეფექტურობას აღწევს სწორედ **ადამიანისა და ტექნიკის ურთიერთობის სისტემური ანალიზით**.

სამუშაო ადგილის ორგანიზაცია — მჯდომარე-მდგომარე ტიპი:

მჯდომარე-მდგომარე ტიპის სამუშაო პოზა ოპერატორს საშუალებას აძლევს ნებისმიერ დროს თავად აირჩიოს სასურველი მდგომარეობა — ჯდომა ან დგომა. ეს მოქნილობა არა მხოლოდ ფსიქოლოგიურად, არამედ ფიზიოლოგიურადაც სასარგებლოა: პოზის ცვლა ამცირებს დაღლილობას, უზრუნველყოფს კუნთების

ჯგუფების მონაცვლეობას და აღადგენს სისხლის მიმოქცევას იმ უბნებში, სადაც ხანგრძლივი სტატიკური მდგომარეობა პრობლემას ქმნიდა. განსაკუთრებით აუცილებელია ასეთი პოზა მონოტონური სამუშაოებისას, რადგან პოზის ცვლილება ამცირებს ერთფეროვნებას და ხელს უშლის ოპერატორის გადაღლას ან ძილიანობას.

ამ ტიპის სამუშაო გარემოში მაგიდა და სკამი უფრო მაღალია, ვიდრე მხოლოდ მჯდომარე პოზისთვის განკუთვნილი ავეჯი. ფეხის დასადგამიგ შესაბამისად იზრდება. დანარჩენი პარამეტრები — სამუშაო ზედაპირის ხედვის კუთხე და ზომები — იგივე რჩება, რაც რეკომენდებულია მჯდომარე პოზისთვის.



ფიგ. 2.9. ოპერატორის სამუშაო ზონის სტრუქტურული სქემა მჯდომარე პოზისათვის.

რაციონალური სამუშაო პოზა გულისხმობს სხეულის თავისუფალ მდგომარეობას, ზედმეტი მოძრაობებისა და სტატიკური დაძაბულობის გარეშე. ნორმალურ პოზად ითვლება სხეულის ვერტიკალური მდგომარეობა და წინდახრა 150° -ის ფარგლებში.

სამუშაო ზონები განისაზღვრება ანთროპომეტრიული მონაცემებით. ხელების მოქმედების არე ჰორიზონტალურ სიბრტყეში ნახევარსფეროს წააგავს, რომლის რადიუსი ხელის სიგრძეა. ოპტიმალური ზონა დაახლოებით 40 სმ-ია, მაქსიმალური — 50 სმ. ყველაზე ეფექტური მოძრაობები სწორედ ნორმალურ და ოპტიმალურ ზონებში ხდება, სადაც საკმარისია წინამხრის გადაადგილება და არა მთელი ხელის. აქ უნდა განთავსდეს ხშირად გამოყენებული ხელსაწყოები და მასალები, ხოლო მაქსიმალურ ზონაში — მხოლოდ იშვიათად საჭირო. **ენერგეტიკული ეფექტიანობა** მოითხოვს, რომ მოძრაობები არ აღწევდეს კიდურის ზღვრულ მდგომარეობას (მაქსიმალურ მოხრას ან გაშლას), რადგან ასეთ დროს კუნთს მეტი ძალისხმევა სჭირდება.

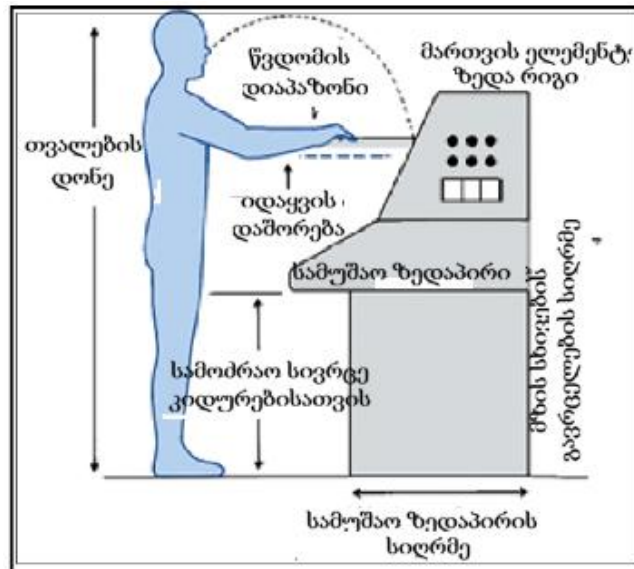
ინდიკაციის საშუალებები:

- ინფორმაცია უნდა განაწილდეს მხედველობით და სმენით არხებზე ისე, რომ მხედველობა ზედმეტად არ გადაიტვირთოს;
- ციფრები და სკალები უნდა იყოს მარტივი, ზედმეტი დეტალების გარეშე;
- მაჩვენებლები იზრდება ქვემოდან ზემოთ ან მარცხნიდან მარჯვნივ;

- გადატვირთვის დიაპაზონი უნდა აღინიშნოს განსხვავებული ფერებით, სასურველია ღია ფონის გამოყენება კონტრასტისთვის.

მართვის ორგანოების განლაგების პრინციპები:

1. **ფუნქციური ორგანიზაცია** — ინსტრუმენტები ჯგუფდება მათი დანიშნულების მიხედვით;
2. **მნიშვნელობის მიხედვით დალაგება** — ყველაზე ხშირად გამოყენებული განთავსდება ოპტიმალურ ზონაში;
3. **მიმდევრობითი განლაგება** — ხელსაწყოები განლაგდება სამუშაო ოპერაციების თანმიმდევრობით;
4. **გამოყენების სიხშირე** — ხშირი გამოყენების ელემენტები უფრო ხელმისაწვდომ ადგილასაა;
5. **ოპტიმალური განლაგება** — გათვალისწინებულია თითოეული ხელსაწყოს სპეციფიკა და სიზუსტის მოთხოვნა.



ფიგ. 2.10. ოპერატორის სამუშაო ზონის სტრუქტურული სქემა მდგომარე პოზისათვის.

მართვის სისტემები:

- ხელით მართვა გამოიყენება მაშინ, როცა საჭიროა სიზუსტე და მცირე ძალა.
- ფეხით მართვა — მაშინ, როცა საჭიროა დიდი ძალა და ნაკლები სიზუსტე.

ერგონომიკა განსაკუთრებულ ყურადღებას აქცევს **ფსიქოტექნიკას** — მართვის ელემენტების ფორმის შესაბამისობას ადამიანის ხელის ანატომიურ და ფიზიოლოგიურ თავისებურებასთან. ღილაკებისა და კლავიშების მოხერხებული ფორმა უზრუნველყოფს ზუსტ და უსაფრთხო მოქმედებას.

მცდარია მოსაზრება, რომ საუკეთესოა ძალისხმევის გარეშე მოქმედი სახელურები. სინამდვილეში ოპერატორს მცირე კუნთური ენერგიის ხარჯვა სჭირდება, რათა მოძრაობა იყოს ზუსტი და კონტროლირებადი.

2.12. შრომისუნარიანობა და დადლილობა

შრომის უსაფრთხოების უზრუნველყოფის ერთ-ერთი ძირითადი პირობაა მომუშავის შრომისუნარიანობის მაღალი დონის შენარჩუნება. შრომისუნარიანობაში იგულისხმება მოცემული დროის განმავლობაში განსაზღვრული ეფექტიანობით შრომითი საქმიანობის შესასრულებლად ადამიანის პოტენციური შესაძლებლობანი.

შრომისუნარიანობის შებრუნებულ სიდიდეს წარმოადგენს დადლილობა. დადლილობა არის მომუშავის ორგანიზმში გამოწვეული ფიზიოლოგიური ცვლილებები, რომელთა მიზეზია შრომითი საქმიანობის პროცესში ენერგიის ხარჯვა.

შრომისუნარიანობის დინამიკა:

შრომისუნარიანობა მუდმივი არ არის — იგი იცვლება დროის განმავლობაში, რასაც შრომისუნარიანობის დინამიკა ეწოდება.

- მუშაობის დასაწყისში, დაახლოებით 0,5–1,5 საათის განმავლობაში, შრომისუნარიანობა თანდათან იზრდება და აღწევს მაქსიმალურ დონეს. ეს ეტაპი ცნობილია როგორც მუშაობაში შესვლის სტადია.

- შემდეგ დგება მყარი შრომისუნარიანობის სტადია, რომელიც საშუალოდ სამი საათი გრძელდება.

- ამის შემდეგ იწყება დადლილობის სტადია, რომელიც 15–30 წუთს მოიცავს. ამ პერიოდში რეკომენდებულია შესვენება.

შესვენების შემდეგ ციკლი მეორდება, თუმცა მუშაობაში შესვლის სტადია უფრო მოკლეა და პროდუქტიულობა შედარებით დაბალია, ვიდრე დღის პირველ ნახევარში.

შრომისუნარიანობის გაზრდის მეთოდები — მეთოდები იყოფა **აქტიურ** და **პასიურ** ჯგუფებად:

აქტიური მეთოდები:

- შრომის განაწილება და თანამშრომლობა;
- სამუშაო რიტმის ოპტიმიზაცია;
- სამუშაო ადგილის რაციონალური ორგანიზება;
- შრომისა და დასვენების რეჟიმის სრულყოფა;
- ფიზიკური ვარჯიშებისა და სპორტის გამოყენება.

პასიური მეთოდები:

- სამუშაო გარემოს მეტეოროლოგიური პირობების გაუმჯობესება;
- განათების ოპტიმიზაცია;
- ხმაურისა და ვიბრაციის შემცირება;
- ჰაერის მტვრიანობისა და დამაზიანებელი ფაქტორების შემცირება.

აქტიური მიდგომები უშუალოდ მოქმედებს შრომის პროცესზე და ადამიანის ორგანიზმზე, ხოლო პასიური ქმნის ისეთ გარემოს, რომელიც ხელს უწყობს ოპტიმალურ შრომისუნარიანობას.

2.13. ობიექტების მართვა

ინფორმაციის გამოსახვის საშუალებები. მათი გამოყენებით ოპერატორი იღებს სრულ ინფორმაციას მართვის ობიექტის მდგომარეობის შესახებ. ინფორმაციის

გამოსახვის საშუალებათა დაპროექტების საბოლოო მიზანია ადამიანის მიერ საჭირო ინფორმაციის დროული მიღების უზრუნველყოფა, ამ ინფორმაციის ანალიზი, ლოგიკური დამუშავება და საჭირო გადაწყვეტილების მიღება.

ოპერატორის მუშაობის ეფექტურობის ამაღლებისა და დაძაბულობის დონის შემცირებისათვის **ინფორმაცია** უნდა აკმაყოფილებდეს **შემდეგ მოთხოვნებს**:

1. შინაარსის მიხედვით ადეკვატურად უნდა ასახავდეს მართვის ობიექტისა და გარემომცველი პირობების მდგომარეობას.

2. რაოდენობის მიხედვით უნდა ასახავდეს მხოლოდ იმ ცნობებს, რომელიც აუცილებელია ოპერატორისათვის გადაწყვეტილების მისაღებად და განსაზღვრული მოქმედების შესასრულებლად.

3. ფორმის მიხედვით უნდა შეესაბამებოდეს ოპერატორის ამოცანებს და მის ფსიქოფიზიოლოგიურ შესაძლებლობებს ინფორმაციის მისაღებად და გადასამუშავებლად.

მართვის ორგანოები. მათი დანიშნულებაა მმართველი ზემოქმედების გადაცემა ოპერატორის მიერ. მათი საშუალებით ოპერატორი ახორციელებს მიღებული გადაწყვეტილებების რეალიზაციას. მართვის ორგანოები უნდა იყოს მუშაობაში საიმედო და მომსახურებისათვის მოსახერხებელი, უნდა გამორიცხავდეს ავარიებსა და ტრავმებს გადატვირთვების ან ოპერატორის შეცდომითი მოქმედებისას.

მართვის ორგანოები **დანიშნულების** მიხედვით შეიძლება დაყვით **ოთხ კლასად**:

1. მართვის ორგანოები, რომლებიც გამოიყენება აპარატურის ჩართვის, გამორთვის და გადართვისას;

2. მართვის ორგანოები, რომელთა საშუალებითაც ხორციელდება განმეორებითი მოქმედებების რიგი;

3. მართვის ორგანოები, რომელთა საშუალებითაც ხორციელდება აპარატების განუწყვეტელი რეგულირება და აწყობა;

4. ავარიული მართვის ორგანოები.

მართვის ორგანოების დაპროექტების დროს აუცილებელია გავითვალისწინოთ რაციონალური სამუშაო მოძრაობები. შრომის პროცესიდან აუცილებლად უნდა გამოვრიცხოთ ზედმეტი, მცირედ ეფექტური, დამღლელი მოძრაობები და მოქმედებანი. სამუშაო ადგილის ელემენტს, რომელზედაც განლაგებულია ინფორმაციის გამოსახვის საშუალებანი და მართვის ორგანოები, მართვის პულტი ეწოდება. მისი კონსტრუქცია განისაზღვრება დანიშნულებით, ოპერატორის მუშაობის სპეციფიკითა და ადამიანის ანთროპომეტრული ფაქტორებით. მართვის პულტის ფორმა და ზომები დამოკიდებულია მასზე განლაგებული ინფორმაციის გამოსახვის საშუალებისა და მართვის ორგანოების რაოდენობაზე, აგრეთვე ოპერატორის სამუშაო პოზაზე.

მართვის პულტზე სხვადასხვა მართვის ორგანოების ოპტიმალური განლაგებისა და ხელით ჩასატარებელი ოპერაციების ზონები მოცემულია 2.10 ნახ-ზე. პირველ ზონაში უნდა განლაგდეს ყველაზე ხშირად გამოყენებული და განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი მართვის ორგანოები.

მართვის სისტემების უსაფრთხოება და პულტების მოწყობა:

იმისათვის, რომ მართვის ელემენტები შემთხვევით არ ამოქმედდეს, ისინი განთავსდება ისე, რომ ოპერატორის მოქმედებებისას უნებლიე შეხება გამოირიცხოს. ამ მიზნისთვის გამოიყენება ბლოკირების მექანიზმები და მექანიკური წინაღობები,

რომლებიც უზრუნველყოფს, რომ ჩართვა ან გამორთვა მოხდეს მხოლოდ განსაზღვრული ძალის გამოყენებით.

მართვის პულტების დაგეგმვისას აუცილებელია გავითვალისწინოთ არა მხოლოდ ადამიანის ანთროპომეტრიული მონაცემები (სიმაღლე, ხელისა და ფეხის მოქმედების რადიუსი, ხედვის ხაზის სიმაღლე და სხვ.), არამედ **შემდეგი ფაქტორებიც:**

1. **ოპერატორის სამუშაო პოზა** — მჯდომარე, მდგომარე ან კომბინირებული;
2. **ინდიკატორების პანელებისა და მართვის ელემენტების განლაგება და ფორმა;**
3. **სამუშაო ადგილის ხილვადობა** — ოპერატორი უნდა ხედავდეს ყველა საჭირო ელემენტს გადანაცვლების გარეშე;
4. **სამუშაო ზედაპირის გამოყენების შესაძლებლობა** — წერის, დოკუმენტების შენახვის, ტელეფონის განთავსების ან სხვა ფუნქციებისთვის.

ამ მიდგომით სამუშაო ადგილი ხდება არა მხოლოდ ფუნქციური, არამედ უსაფრთხო და ოპერატორისთვის კომფორტული.

დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მართვის პულტზე ინფორმაციის გამოსახვის საშუალებებისა და მართვის ორგანოების ურთიერთგანლაგებას. მართვის ელემენტები და ორგანოები უნდა განლაგდეს ისეთნაირად, რომ მუშაობის დროს ოპერატორმა რაციონალურად და ეკონომიურად გამოიყენოს ორივე ხელი. მართვის ორგანოების სიმრავლის დროს რეკომენდებულია სხვადასხვა ფორმის გადამრთველი სახელურების გამოყენება, რათა ოპერატორმა მოახდინოს მართვა მხედველობითი კონტროლის გარეშე.

სამუშაოთა შესრულების მოხერხებულობისა და გადადლის შესამცირებლად დიდი მნიშვნელობა აქვს სამუშაო სავარძლის სწორ შერჩევას. მისი კონსტრუქცია უნდა უზრუნველყოფდეს ძირითადი სამუშაო პოზის შენარჩუნებას დიდი ხნის განმავლობაში, ხელს არ უნდა უშლიდეს სამუშაო მოძრაობებს, პოზისა და მდგომარეობის შეცვლას. უნდა უზრუნველყოფდეს დასვენების საშუალებას.

2.14. კრებსითი მონაცემები, დასახული მიზანი, ინტეგრაცია სტანდარტებთან

მოცემული თავის პირველი პარაგრაფი იძლევა თეორიულ, პედაგოგიურ ინტეგრაციასა და აჩვენებს განსახილველი საკითხების ზოგად კავშირს ISO სტანდარტებთან. ბოლო პარაგრაფის დანიშნულებაა ფინალური მონაცემების დაჯგუფება გავლილი მასალის მიხედვით. კავშირების გამოკვეთა ერთმანეთთან და ტექნიკური რეგლამენტაციის ნორმებთან.

ამის შედეგად სტუდენტმა ერთმანეთისაგან უნდა გამიჯნოს საწარმოო ტრავმა და პროფესიული დაავადება, ერთეული და ჯგუფური შემთხვევები, მათი გამომწვევი მიზეზები: ფიზიკური, ქიმიური, ბიოლოგიური, ფსიქოფიზიკური ფაქტორები (ISO 31000-ის მოთხოვნა). აგრეთვე გააცნობიეროს მათი ზემოქმედების შემცირების მეთოდები. სწავლების ძირითადი მიზანია ფაქტორების კლასიფიკაცია, მათი გავლენის გააზრება და სტანდარტების მოთხოვნებთან ჰარმონიზაცია.

სწავლების შედეგად სტუდენტს უნდა გამოუმუშავდეს ანალიზის სხვადასხვა მეთოდების: სტატისტიკური მეთოდისა და სათანადო კოეფიციენტების, ჯგუფური,

მონოგრაფიული, ტოპოგრაფიული, ტექნიკური და ეკონომიკური მეთოდების ცოდნა და მათი გამოყენების უნარი.

სტუდენტს სწავლების შემდეგ უნდა შეეძლოს მსუბუქი, საშუალო, მძიმე და სასიკვდილო ტრავმების ტიპებისა და გამომწვევი მიზეზების იდენტიფიკაცია. მან უნდა იცოდეს აგრეთვე ქრონიკული და მწვავე დაავადებების ტიპები, გამომწვევი მიზეზები, განვითარების მექანიზმები და მათი შემცირების გზები; უნდა იცოდეს საწარმოო სივრცეში ტოქსიკურ და მავნე ნივთიერებათა კონცენტრაციის შემცირების ხერხები; უნდა ემსახურობდეს უსაფრთხოების კულტურის გაძლიერებას, ჰქონდეს სრული ცოდნა ინსტრუქტაჟის მნიშვნელობის შესახებ. აგრეთვე უნდა შეეძლოს პირველადი დახმარების გაწევა საჭიროების შემთხვევაში და გამოუმუშავდეს სწრაფი რეაგირების უნარი [26-30].

სტუდენტს სწავლების შედეგად გააზრებული უნდა ჰქონდეს უსაფრთხოების კონტროლის მექანიზმები, უნდა შეეძლოს საკუთარი და გარშემო მყოფთა ფიზიკური და ფსიქოლოგიური მდგომარეობის შეფასება (ISO 45001-ის მოთხოვნა). აგრეთვე უნდა შეეძლოს საწარმოო პროცესების კონტროლი, მათი ოპტიმიზაცია და ამის შედეგად რისკების შემცირება და უსაფრთხოების უზრუნველყოფა (ISO 31000-ის მოთხოვნა).

2.15. კითხვები

გამეორებისათვის მოკლე პასუხებით

- 1. რა განსხვავებაა საწარმოო ტრავმასა და პროფესიულ დაავადებას შორის?**
 - ტრავმა უეცარი ზემოქმედების შედეგია, ხოლო დაავადება — ხანგრძლივი მავნე პირობების გავლენის შედეგი.
- 2. რა შემთხვევა ითვლება საწარმოო ტრავმად?**
 - უბედური შემთხვევა სამუშაოს შესრულებისას, მივლინებაში, საწარმოს ტრანსპორტით გადაადგილებისას.
- 3. რა არის მწვავე პროფესიული დაავადება?**
 - უეცრად განვითარებული დაზიანება მავნე ნივთიერებების ან გამოსხივების დიდი დოზით.
- 4. როგორ განისაზღვრება ჯგუფური შემთხვევა?**
 - როცა ტრავმა ან დაავადება ერთზე მეტ ადამიანს ერთდროულად ეხება.
- 5. რა განსხვავებაა სახიფათო და მავნე ფაქტორს შორის?**
 - სახიფათო იწვევს ტრავმას, მავნე — დაავადებას.
- 6. რომელი ფაქტორებია ფიზიკური?**
 - ვიბრაცია, ხმაური, გამოსხივებები, ელექტრული/მაგნიტური ველები.
- 7. რომელი ფაქტორებია ქიმიური?**
 - ტოქსიკური, ფეთქებადი, წვადი, შხამიანი ნივთიერებები.
- 8. რომელი ფაქტორებია ბიოლოგიური?**
 - მიკრობები, ფაგები, შტამები.
- 9. რომელი ფაქტორებია ფსიქოფიზიკური?**
 - გადაღლა, ცუდი ჯანმრთელობა, დისციპლინის დარღვევა.
- 10. რა მეთოდებით შეიძლება ფაქტორების ზემოქმედების შემცირება?**

- ვენტილაცია, ეკრანება, იზოლაცია, კონდიციონება, ფილტრაცია.
11. რა არის სტატისტიკური მეთოდის მიზანი?
 - ტრავმატიზმის მონაცემების დამუშავება და კოეფიციენტების დადგენა.
 12. როგორ გამოითვლება ტრავმატიზმის სიხშირის კოეფიციენტი (K_1)?
 - $K_1 = 1000N/n$.
 13. როგორ გამოითვლება სიმძიმის კოეფიციენტი (K_2)?
 - $K_2 = D/N$.
 14. რა არის საერთო ტრავმატიზმის მაჩვენებელი (K_3)?
 - $K_3 = K_1 \times K_2$.
 15. როგორ გამოითვლება დაინვალიდებულთა და გარდაცვლილთა პროცენტი (K_4)?
 - $K_4 = (T/N) \times 100$.
 16. როგორ გამოითვლება დაზარალებულთა საშუალო მაჩვენებელი (K_5)?
 - $K_5 = (1000P)/N$.
 17. რა არის ჯგუფური მეთოდი სტატისტიკაში?
 - შემთხვევების რანჟირება ნიშნების მიხედვით.
 18. რა არის მონოგრაფიული მეთოდის არსი?
 - ერთ კონკრეტულ პროცესზე ან ინსტრუმენტზე ყოვლისმომცველი კვლევა.
 19. რა არის ტოპოგრაფიული მეთოდი?
 - ავარიების ადგილების გრაფიკულ გამოსახულებაზე აღნიშვნა.
 20. რა არის ტექნიკური მეთოდი?
 - ტექნიკური საშუალებების გამოცდა და საიმედოობის შეფასება.
 21. რა არის ეკონომიკური მეთოდი?
 - ტრავმატიზმის შედეგების ეკონომიკური შეფასება.
 22. რა არის ტრავმატიზმის მიზეზების ოთხი ძირითადი ჯგუფი?
 - ტექნიკური, სანიტარიულ-ჰიგიენური, საორგანიზაციო, ფსიქოფიზიკური.
 23. რა არის მსუბუქი ტრავმა?
 - ნაკაწრები, დაჟეჟილობა, შრომისუნარიანობის შენარჩუნებით.
 24. რა არის საშუალო სიმძიმის ტრავმა?
 - შრომისუნარიანობის დაკარგვა 1–3 დღით.
 25. რა არის მძიმე ტრავმა?
 - ინვალიდობა, შრომისუნარიანობის დაკარგვა.
 26. რა არის სასიკვდილო ტრავმა?
 - ადამიანის გარდაცვალება.
 27. რომელი ქრონიკული პროფესიული დაავადებებია გავრცელებული?
 - ვიბროდაავადება, პნევმოკონიოზი, დერმატიტი, ბურსიტი.
 28. როგორ ვითარდება მწვავე პროფესიული დაავადება?
 - ერთი ცვლის განმავლობაში დიდი დოზის ზემოქმედებით.
 29. რა გზებით ხვდება მავნე ნივთიერებები ორგანიზმში?
 - სასუნთქი გზები, მხედველობა, კანი, კუჭ-ნაწლავი.
 30. რატომ არის მნიშვნელოვანი ინსტრუქტაჟი?
 - უსაფრთხოების წესების ცოდნა ამცირებს ტრავმატიზმს.
 31. რა არის პირველადი დახმარების მიზანი?

- დაზარალებულის სიცოცხლის გადარჩენა და მდგომარეობის სტაბილიზაცია.

32. რატომ არის საჭირო ნებართვების სისტემა?

- რათა სამუშაო შესრულდეს უსაფრთხოების წესების დაცვით და კონტროლით.

33. რა არის სამუშაოს მეცნიერული ორგანიზაციის მიზანი?

- პროცესების ოპტიმიზაცია, უსაფრთხოებისა და ეფექტიანობის გაზრდა.

34. რა როლს თამაშობს საინჟინრო ფსიქოლოგია?

- ადამიანის ფსიქოლოგიური და ფიზიკური შესაძლებლობების გათვალისწინება ტექნიკურ სისტემებში.

35. როგორ მოქმედებს დადლილობა უსაფრთხოებაზე?

- ამცირებს ყურადღებას, ზრდის შეცდომებისა და ტრავმების ალბათობას.

36. რა არის ობიექტების მართვის მიზანი პროფესიულ უსაფრთხოებაში?

- საწარმოო პროცესების კონტროლი, რისკების შემცირება და უსაფრთხოების უზრუნველყოფა.

უპასუხეთ ამ კითხვებს მოკლედ, შემდეგ შეადარეთ პასუხები ძირითად ტექსტს.

ISO 45001-ის პრაქტიკული გამოყენება საწარმოო ტრავმატიზმის პროფილაქტიკაში

1. რისკების იდენტიფიკაცია და შეფასება

- პრაქტიკული ნაბიჯი: სამუშაო ადგილებზე რეგულარული ინსპექტირება და რისკების რუკის შედგენა.
- მაგალითი: ავტომობილების ნაწილების საწარმოში ISO 45001-ის დანერგვამ გამოავლინა ერგონომიული რისკები ნაწილების დემონსტრირების სადგურებზე, რამაც გამოიწვია სამუშაო პოზიციის გადახედვა.
- შედეგი: საწარმოში შემცირდა კუნთოვანი სისტემის დაზიანებები და ქრონიკული ტკივილები.

2. კონტროლის ღონისძიებების დანერგვა

- პრაქტიკული ნაბიჯი: ტექნიკური და ორგანიზაციული კონტროლის საშუალებების დანერგვა.
- მაგალითი: ISO 45001-ის მოთხოვნების შესაბამისად, ქიმიურ საწარმოში დამონტაჟდა ავტომატური ვენტილაციის სისტემა, რათა შემცირებულიყო მავნე ნივთიერებების ზემოქმედება.
- შედეგი: შემცირდა ინჰალაციური ტრავმები და პროფესიული დაავადებები.

3. თანამშრომელთა ჩართულობა და ტრენინგი

- პრაქტიკული ნაბიჯი: ISO 45001 მოითხოვს თანამშრომელთა აქტიურ მონაწილეობას უსაფრთხოების პროცესებში.
- მაგალითი: ტექსტილის საწარმოში ISO 45001-ის დანერგვისას მუშაკები ჩაერთნენ უსაფრთხოების კომიტეტებში, სადაც თავად აფასებდნენ რისკებს და სთავაზობდნენ პროფილაქტიკურ ღონისძიებებს.

- შედეგი: გაიზარდა თანამშრომელთა პასუხისმგებლობა და შემცირდა უბედური შემთხვევების რაოდენობა.

4. მონიტორინგი და უწყვეტი გაუმჯობესება

- პრაქტიკული ნაბიჯი: ISO 45001 მოითხოვს მონაცემების შეგროვებას და ანალიზს.
- მაგალითი: ენერგეტიკის სექტორში ISO 45001-ის დანერგვამ უზრუნველყო ტრავმატიზმის სტატისტიკის რეგულარული ანალიზი, რის საფუძველზეც შემუშავდა ახალი პროფილაქტიკური პროგრამები.
- შედეგი: ტრავმატიზმის მაჩვენებელი შემცირდა 20%-ით.

5. უსაფრთხოების კულტურის გაძლიერება

- პრაქტიკული ნაბიჯი: ISO 45001 ხაზს უსვამს უსაფრთხოების კულტურის შექმნას.
- მაგალითი: მცირე საწარმოებში ISO 45001-ის დანერგვამ ხელი შეუწყო უსაფრთხოების წესების ყოველდღიურ პრაქტიკაში ინტეგრაციას, მაგალითად, პერსონალის მიერ PPE-ის (Personal Protective Equipment — დაცვის ინდივიდუალური საშუალებების) სისტემატურ გამოყენებას.
- შედეგი: შემცირდა მცირე ტრავმების რაოდენობა და გაძლიერდა უსაფრთხოების კულტურა.

სტუდენტებისთვის მოკლე რეზიუმე

ISO 45001-ის პრაქტიკული გამოყენება საწარმოო ტრავმატიზმის პროფილაქტიკაში გულისხმობს:

- რისკების იდენტიფიკაციას (ერგონომიული, ქიმიური, მექანიკური);
- კონტროლის ღონისძიებების დანერგვას (ტექნიკური და ორგანიზაციული);
- თანამშრომელთა ჩართულობას (უსაფრთხოების კომიტეტები, ტრენინგები);
- მონიტორინგს და გაუმჯობესებას (სტატისტიკის ანალიზი);
- უსაფრთხოების კულტურის გაძლიერებას (PPE-ის გამოყენება, წესების ინტეგრაცია).

ეს მიდგომა უზრუნველყოფს ტრავმატიზმის შემცირებას, პროფესიული დაავადებების პროფილაქტიკას და უსაფრთხო სამუშაო გარემოს შექმნას.

ლიტერატურული წყაროები: ISO ოფიციალური სახელმძღვანელო ISO 45001:2018; Occupational injury prevention and ISO 45001 risk assessment; Examples of ISO 45001 application in industry.

გამოსაყენებელი სტანდარტები:

ISO 45001 — სამუშაო გარემოს რისკების იდენტიფიკაცია;
ISO 31000 — ანალიზის მეთოდები.

3. ჰაერის შედგენილობა და ნორმირება

3.1. გზამკვლევი მე-3 თავისათვის

თეორიული ინტეგრაცია:

- ეხება გარემოს პარამეტრებს: ჰაერის შედგენილობა, წნევა, ტენიანობა, სიმკვრივე.
- აჩვენებს, როგორ მოქმედებს გარემოს ფიზიკურ-ქიმიური მონაცემები უსაფრთხოებაზე.

ინტეგრაცია სტანდარტებთან:

- ISO 45001-ის მოთხოვნა: ჰაერის ხარისხის კონტროლი და სანიტარიულ-ჰიგიენური ნორმების დაცვა.
- ISO 31000-ის ჩარჩო: რაოდენობრივი მონაცემების გამოყენება რისკის ინდექსის განსაზღვრისას.

პედაგოგიური ინტეგრაცია:

- სავარჯიშო მაგალითები აძლევს მკითხველს პრაქტიკულ უნარს მონაცემების გაანგარიშებისა და ნორმებთან შედარებისათვის.
- ქვემოთ მოცემული მოკლე შენიშვნები აჩვენებს ISO სტანდარტებთან კავშირს.
- ატმოსფერული ჰაერის შემადგენლობა: **მოკლე შენიშვნა:** ISO 45001 მოითხოვს ჰაერის ხარისხის კონტროლს სამუშაო გარემოში.
- პარციალური წნევები (დალტონის კანონი): **მოკლე შენიშვნა:** ISO 31000-ის მიხედვით, ეს მონაცემები გამოიყენება რისკის ინდექსის განსაზღვრისას.
- ფარდობითი ტენიანობა: **მოკლე შენიშვნა:** ISO 45001-ის სანიტარიულ-ჰიგიენური ნორმები მოითხოვს ტენიანობის კონტროლს სამუშაო სივრცეში.
- შემთხვევის შესწავლა (მაგ., მაღარო, ჰოსპიტალი): **მოკლე შენიშვნა:** ISO 45001 ითხოვს რეალურ გარემოში მონიტორინგს და უკუკავშირის სისტემას.

3.2. ატმოსფერული ჰაერის შედგენილობა

ატმოსფერული ჰაერი აირისებრი გარსია, რომელიც გარს არტყია დედამიწას, მოძრაობს მასთან ერთად და შედგება აირებისა და სხვადასხვა ორთქლის ნარევისაგან. ატმოსფერული ჰაერის ფიზიკური მდგომარეობა და ქიმიური შედგენილობა იცვლება დროსა და სივრცეში. სიმაღლის მატებით მისი ტემპერატურა, ტენიანობა, სიმკვრივე და წნევა მცირდება, ხოლო ოზონის შემცველობა მატულობს.

ატმოსფერულ ჰაერს ახასიათებს წნევა, რომელიც დედამიწის მიზიდულობის გავლენით განპირობებული ჰაერის მასის დაწოლაა დედამიწის ზედაპირზე და სხვა საგნებზე. ნაგებობების ვენტილაციის შემთხვევაში ჰაერის ნაკადზე ყოველთვის მოქმედებს ატმოსფერული წნევა, ანუ მოცემული დონის ზემოთ არსებული ჰაერის მასის დაწოლა.

ეკვატორიდან პოლუსებისაკენ, ატმოსფერული წნევა იზრდება და ტემპერატურა კლებულობს. ჰაერს მაქსიმალური ტემპერატურა და ტენიანობა აქვს ზღვის დონეზე ტროპიკებთან.

სიმაღლის მატებით ჰაერი უფრო და უფრო გაიშვიათებულია, მაგრამ მისი პროცენტული შედგენილობა მაღალი ტურბულიზაციის შედეგად პრაქტიკულად უცვლელია დედამიწის ზედაპირიდან 75-85 კმ სიმაღლის ფარგლებში. გადახრა ძირითადად გვხვდება მსხვილი სამრეწველო ცენტრების, ტყის მასივებისა და სხვა მსგავსთა თავზე, ანუ დედამიწის ზედაპირზე განთავსებული ინდუსტრიული ან რეკრეაციული ზონების მიხედვით, ხოლო ცვალებადობა ძირითადად ხდება ნახშირორჟანგის ხარჯზე, რომელიც ე.წ. სათბურის ეფექტით ხასიათდება. ისტორიული თვალსაზრისით ატმოსფერული ჰაერის შედგენილობა განუხრელად იცვლება მისი ხარისხის გაუარესების მიმართულებით ადამიანის ტექნოგენური საქმიანობის, ამის გამო ტყის მასივების შემცირებისა და უდაბნოების წარმოქმნის შედეგად.

ატმოსფერული ჰაერი, ისე როგორც ჰაერის ნებისმიერი ლოკალური მოცულობა (ჭურჭელში, სათავსში, გვირაბში და ა.შ.) აკმაყოფილებს ამაგის კანონს:

$$V = \sum V_i, \quad (3.1)$$

სადაც V არის ჰაერის საერთო მოცულობა, m^3 ; V_i — ჰაერის ცალკეული კომპონენტის (მაგალითად, აზოტის, ჟანგბადის და ა.შ.) მოცულობა, m^3 ; i -ს ადგილზე შესაძლებელია დაიწეროს აზოტის, ჟანგბადისა და სხვა მდგენელის ინდექსი.

ამაგის კანონი ერთი შეხედვით ძალიან მარტივია — ჰაერის მთელი მოცულობა მისი ცალკეული კომპონენტების მოცულობათა ჯამის ტოლია. ცალკეული მდგენლის მოცულობას ეწოდება პარციალური მოცულობა, ანუ ის მოცულობა, რასაც იკავებს მოცემული აირი ნარევის საერთო მოცულობიდან მოცემული ტემპერატურისა და წნევის პირობებში.

ამასთან ერთად პარციალურ მოცულობას თავისი შესაბამისი პარციალური წნევაც ახასიათებს, რომელიც ის წნევაა, რაც ექნება ნარევის მოცემულ კომპონენტს იმ შემთხვევაში, თუ მარტო ის დაიჭერს ნარევის მთელ მოცულობას. პარციალური წნევების კანონს დალტონის კანონი ეწოდება, ხოლო მისი ფორმულა შემდეგია:

$$P = \sum P_i, \quad (3.2)$$

სადაც P არის ჰაერის ნარევის საერთო წნევა, პა; P_i — ჰაერის ცალკეული კომპონენტის წნევა, პა.

ჰაერის ყოველი კომპონენტი, შესაძლებელია დახასიათდეს მისი კონცენტრაციის მიხედვით როგორც მთელი ატმოსფეროსათვის, ისე ჰაერის ლოკალური

რაოდენობისათვის შეზღუდულ სივრცეში. ჰაერის ნებისმიერი მდგენელის მოცულობითი კონცენტრაცია გამოითვლება ფორმულით:

$$c_i = \frac{V_i}{V} \times 100\%, \quad (3.3)$$

სადაც c_i არის აირთა ნარევის ცალკეული კომპონენტის კონცენტრაცია, %. 100%-ის გარეშე მიღებულ სიდიდეს უგანზომილებო კონცენტრაცია ეწოდება, რომელიც შედარებით იშვიათად გამოიყენება პოსტსაბჭოთა სივრცეში. სხვა ქვეყნებში უგანზომილებო კონცენტრაცია ფართოდ გამოიყენება და მას ეწოდება მემილიონედი ნაწილი — მნ (ინგლისურად - *ppm* - part per million).

ზღვის დონეზე ატმოსფერული ჰაერის პროცენტული შედგენილობა მოცულობის მიხედვით, ანუ ცალკეული კომპონენტის კონცენტრაცია მოცემულია 3.1 ცხრილში.

ცხრილი 3.1

ატმოსფერულ ჰაერის შედგენილობა და მოცულობითი კონცენტრაცია ზღვის დონეზე

N	ატმოსფერული ჰაერის შემადგენელი კომპონენტები	c_i , %
1	აზოტი	78,0840
2	ჟანგბადი	20,9476
3	არგონი	0,9340
4	ნახშირორჟანგი	0,0314
5	ჰელიუმი, ნეონი, კრიპტონი, ქსენონი, ოზონი, რადონი, წყალბადი, წყალბადის ზეჟანგი, ამიაკი, იოდი და სხვა შემთხვევითი მინარევები	0,0030
6	სულ	100

შენიშვნა: პროცენტული შედგენილობა ნაჩვენებია აბსოლუტურად მშრალი ჰაერისათვის. წყლის ორთქლის პროცენტული რაოდენობა იცვლება 0,2-2,6%-ის დიაპაზონში. ცხრილში შეტანილი ნახშირორჟანგის კონცენტრაცია შესაძლებელია განხილული იქნეს, როგორც 'ისტორიული' თანამედროვე მონაცემია ~0.04% (400 ppm).

ზღვის დონეზე 0 °C ტემპერატურის დროს ჟანგბადის პარციალური წნევა 3.1 ცხრილის მონაცემების მიხედვით შეადგენს დაახლოებით ატმოსფერული წნევის 1/5-ს, ანუ 20,95 კპა-ს. ასეთი პარციალური წნევის პირობებში ხდება ადამიანის სისხლის მაქსიმალური გაჯერება ჟანგბადით. როგორც ვხედავთ, ამ შემთხვევაში უფრო მოსახერხებელია წნევის ერთეულით, კპა-ით სარგებლობა, რადგან პარციალური წნევის რიცხვითი სიდიდე ზუსტად შეესაბამება მოცემული კომპონენტის პროცენტებით გამოხატულ მოცულობით კონცენტრაციას.

მამასადამე, კილოპასკალებით გამოხატული ჰაერის რომელიმე კომპონენტის პარციალური წნევის რიცხვითი სიდიდე რიცხობრივად მისი კონცენტრაციის პროცენტული რაოდენობის ტოლია. შესაბამისად, ატმოსფერულ ჰაერში აზოტის პარციალური წნევაა 78,08 კპა; არგონის — 0,93 კპა; ნახშირორჟანგის — 0,03 კპა.

სავარჯიშო მაგალითი:

- მოცემულია ჰაერის ნარევი: 78% აზოტი, 21% ჟანგბადი, 1% სხვა აირები.
- საერთო წნევაა 100 კპა.
- 1. გამოთვალე თითოეული კომპონენტის პარციალური წნევა.
- 2. შეადარე მიღებული შედეგები ზღვის დონის მონაცემებს.
- 3. განსაზღვრე, რომელი კომპონენტის ცვლილება იმოქმედებს ყველაზე მეტად ადამიანის ჯანმრთელობაზე.

ამოხსნა:

- აზოტის პარციალური წნევა: $P_N = 100 \times 0,78 = 78$ კპა;
- ჟანგბადის პარციალური წნევა: $P_O = 100 \times 0,21 = 21$ კპა;
- სხვა აირების პარციალური წნევა: $P_{სხვა} = 100 \times 0,01 = 1$ კპა.

შედეგი ემთხვევა ზღვის დონის მონაცემებს. ყველაზე კრიტიკული კომპონენტია ჟანგბადი, რადგან მისი შემცირება პირდაპირ მოქმედებს ადამიანის ჯანმრთელობაზე.

შენიშვნა:

ჰაერის კომპონენტების კვლევა მხოლოდ ფიზიკურ-ქიმიური მონაცემების ცოდნას არ გულისხმობს. აღსანიშნავია, რომ ერთი და იგივე მეთოდი სხვადასხვა სფეროში განსხვავებულ პრობლემას წყვეტს, რაც ქვემოთ მოცემული მაგალითებიდანაც ჩანს.

- სამთო მრეწველობა: ჟანგბადის შემცირება მალაროებში პირდაპირ ზრდის ასფიქსიის რისკს. კვლევის მეთოდები (გაზქრომატოგრაფია, მიწისქვეშ გაზიანობის ანალიზი) გამოიყენება უსაფრთხოების მონიტორინგისთვის.

- ჯანდაცვა: ჰოსპიტალურ გარემოში ჟანგბადისა და ნახშირორჟანგის დონე კრიტიკულია პაციენტების სუნთქვის აპარატების მართვისას.

- IT და ციფრული ტექნოლოგიები: მონაცემთა ცენტრების ვენტილაციაში ჰაერის შემადგენლობა განსაზღვრავს მოწყობილობების გამძლეობას.

შემთხვევის შესწავლა:

სამთო საწარმოში გაზომვებმა აჩვენა ჟანგბადის შემცირება 19%-მდე. შედეგად, მუშაკებში გაჩნდა დაღლილობის შეგრძნება და სუნთქვის გაძნელება. კვლევის მეთოდებით (გაზქრომატოგრაფია) დადასტურდა პრობლემა და დაინერგა დამატებითი ვენტილაცია.

ISO კავშირი:

- **ISO 45001:** მოითხოვს სამუშაო ადგილებში ჟანგბადის და მავნე აირების მონიტორინგს;

- **ISO 31000:** ჟანგბადის დეფიციტს კრიტიკულ პროფესიულ რისკად მიიჩნევს;

- **ISO 10012:** უზრუნველყოფს გაზების გაზომვის ინსტრუმენტების სიზუსტეს;

- **ISO 14001:** ჰაერის შემადგენლობის მონიტორინგს გარემოსდაცვით მართვასთან აკავშირებს.

3.3. ჰაერის წნევა და ფარდობითი ტენიანობა

წნევის მოძველებული ერთეული 1 ფიზიკური ატმოსფერო არის წნევა, რომლითაც მოქმედებს ფართობის ერთეულზე 760 მმ სიმაღლის ვერცხლისწყლის სვეტი ზღვის დონეზე 0 °C ტემპერატურის დროს. წნევის ძველ და საერთაშორისო სისტემის (პასკალი, კილოპასკალი, ჰექტოპასკალი, მეგა-პასკალი) ერთეულებს შორის შემდეგი დამოკიდებულებაა:

$$1 \text{ ფიზ. ატმ.} = 760 \text{ მმ ვწყ. სვ.} = 1,0332 \text{ კგ/სმ}^2;$$

$$1 \text{ ბარი} = 1,02 \text{ ფიზ. ატმ.} = 1000 \text{ ჰპა} = 100 \text{ კპა};$$

$$1 \text{ მგპა} = 106 \text{ ნ/მ}^2 = 10,2 \text{ ფიზ. ატმ.};$$

$$1 \text{ ფიზ. ატმ.} \approx 1 \text{ ბარი} = 1000 \text{ ჰპა}.$$

1982 წლიდან ქიმიის დარგში სტანდარტული ატმოსფერული წნევის სიდიდედ შემოღებულია 1 ბარი, ანუ 100 კპა. ატმოსფერული წნევისა და ჟანგბადის პარციალური წნევის ცვალებადობა სიმაღლის მიხედვით წარმოდგენილია ნახ. 3.1-ზე.



ნახ. 3.1. ატმოსფერული წნევისა და ჟანგბადის პარციალური წნევის ცვალებადობა:

1 - ჰაერის წნევა; 2 - ჟანგბადის პარციალური წნევა. დატანილია იალბუზისა და ევერესტის სიმაღლეთა შესაბამისი საშუალო სიდიდეები.

ატმოსფეროში ყოველთვის არის მექანიკური მინარევები: მტვერი, კვამლის ნაწილაკები, წყლის უმცირესი წვეთები და ყინულის ანალოგიური კრისტალები. ჰაერი დიდი რაოდენობის მტვერს შეიცავს მატერიკების თავზე, ხოლო ოკეანეების ზემოთ უფრო სუფთაა. გამონაკლისია ატლანტის ოკეანის ცენტრალური ნაწილი, სადაც გაბატონებულია სამრეწველო რაიონებიდან მიმართული ძლიერი ქარები. მატერიკების თავზეც მუდმივი არაა მტვრიანობა. ადვილი მისახვედრია, რომ ატმოსფეროს მომეტებული მტვრიანობა შეინიშნება მსხვილი ინდუსტრიული ცენტრების თავზე.

აღსანიშნავია, რომ აღნიშნული მექანიკური მინარევებიც აკმაყოფილებენ ამაგისა და დალტონის კანონებს და დამატებით ყველა მათგანისათვის შესაძლებელია აგრეთვე (3.3) ფორმულის გამოყენება. მამასადამე, საერთო წნევის უცვლელობის პირობებში, მტვერი და კვამლი, განავითარებენ რა ჰაერში საკუთარ პარციალურ წნევას, პროპორციულად ამცირებენ დანარჩენი ყველა კომპონენტისა და მათ შორის, ჟანგბადის პარციალურ წნევას. ამგვარად, ეს უკანასკნელი კომპონენტები იკავებენ რა ჟანგბადის ადგილს, თითქოსდა 'აძევებენ' მას აირთა ნარევიდან.



ფიგ. 3.2. მექანიკური მინარევების გავლენა ჟანგბადის პარციალურ წნევაზე.

(3.3) ფორმულით მიღებული შედეგი წყლის ორთქლის შემთხვევაში გვაძლევს ჰაერის ფარდობით ტენიანობას. წყლის ორთქლის შემთხვევისათვის უფრო მიღებულია შემდეგი ფორმულა:

$$\varphi = \frac{p}{p_h} \times 100\%, \quad (3.4)$$

სადაც φ არის ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა, %; p, p_h — შესაბამისად წყლის ორთქლის პარციალური წნევა და იმავე ტემპერატურაზე გაჯერებული წყლის ორთქლის პარციალური წნევა, პა. 100%-ის გარეშე მიღებულ სიდიდეს ეწოდება ფარდობითი ტენიანობა ერთის ნაწილებში.

სავარჯიშო მაგალითი:

- სამუშაო სივრცეში გაზომილი წყლის ორთქლის პარციალური წნევა არის 2 კპა, ხოლო გაჯერებული ორთქლის წნევა იმავე ტემპერატურაზე — 2,5 კპა.

1. გამოთვალე ფარდობითი ტენიანობა (φ).
2. შეაფასე, რამდენად ახლოსაა შედეგი ნორმატიულ მნიშვნელობასთან (40–60%).
3. ჩამოაყალიბე, რა გავლენა შეიძლება ჰქონდეს ამ ტენიანობას სამუშაო გარემოზე.

ამოხსნა:

- სამუშაო სივრცეში ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა:

$$\varphi = \frac{2}{2.5} \times 100\% = 80\%.$$

შედეგი აღემატება ნორმატიულ დიაპაზონს (40–60%). მაღალი ტენიანობა ზრდის სოკოსა და ბაქტერიების გავრცელების რისკს სამუშაო გარემოში.

შენიშვნა:

ჩანს, რომ ტენიანობისა და წნევის კვლევა უნივერსალური მეთოდია, გამოყენება სხვადასხვა სფეროში:

- სოფლის მეურნეობა — სათბურებში ტენიანობის კონტროლი განსაზღვრავს მოსავლის ხარისხს.
- სამშენებლო სფერო — მაღალი ტენიანობა ზრდის კონსტრუქციების კოროზიის რისკს.
- ჯანდაცვა — ოპერაციულ ბლოკებში ტენიანობის ზედმეტი დონე ხელს უწყობს ინფექციების გავრცელებას.

ამგვარად, ფარდობითი ტენიანობის გამოსათვლელი ერთი და იგივე ფორმულა $\varphi = P/P_h \times 100\%$ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს როგორც ინდუსტრიულ, ისე სოციალურ კონტექსტში.

შემთხვევის შესწავლა:

ჰოსპიტალში ტენიანობის დონე 75% აღწევდა. შედეგად, ინფექციების გავრცელება გაიზარდა. კვლევის საფუძველზე დაინერგა ტენიანობის კონტროლის ავტომატური სისტემა.

3.4. ჰაერის სიმკვრივე

სიმკვრივე. ჰაერის, ისე როგორც ნებისმიერი სხვა ნივთიერების სიმკვრივე არის მოცულობის ერთეულზე მოსული მასა, მისი განზომილებაა კგ/მ³. ყველა ნივთიერების სიმკვრივე საზოგადოდ ρ ასოთი აღინიშნება, ხოლო ვენტილაციის მიზნებისათვის ჰაერის სიმკვრივეს γ სიმბოლოთი აღნიშნავენ. რადგანაც ρ ასოთი უკვე ვისარგებლეთ წყლის ორთქლის პარციალური წნევის აღსანიშნავად, ამიტომ სიმკვრივის აღსანიშნავად ვისარგებლოთ γ სიმბოლოთი. ამგვარად, ყველა ნივთიერებისათვის სიმკვრივე განისაზღვრება ფორმულით:

$$\gamma = \frac{m}{V}, \quad (3.5)$$

სადაც m არის ნივთიერების მასა, კგ; V — ნივთიერების მოცულობა, მ³.

სიმკვრივე საშუალოდ ახასიათებს ჰაერის ნებისმიერი რაოდენობის მასას ისე, რომ მისი რიცხვითი სიდიდე დამოკიდებული არაა მოცემულ ადგილზე ჰაერის საერთო რაოდენობაზე. ადვილი მისახვედრია, რომ მარტო მასის ერთეულით სარგებლობისას რიცხვითი სიდიდე დამოკიდებულია ნივთიერების რაოდენობაზე მოცემულ ადგილზე (ან მოცულობაში).

მოცულობის საშუალოდ დასახასიათებლად გამოიყენება სიმკვრივის შებრუნებული სიდიდე, რომელსაც კუთრი მოცულობა ეწოდება. აღნიშნული სიდიდით სარგებლობენ თერმოდინამიკაში, სადაც ძირითადი მუშა სხეული ჰაერი ან აირთა ნარევი.

სარგებლობენ აგრეთვე კუთრი წონის ცნებით, რომელიც არის ნიუტონებით გამოსახული ნივთიერების წონის ფარდობა მის მოცულობასთან.

მოცულობითი სიმკვრივე. ტექნიკაში და საზოგადოდ, ადამიანის პრაქტიკული საქმიანობის სფეროში საქმე გვაქვს არაერთგვაროვან სხეულებთან, მასალებთან ან პროდუქტებთან, მაგალითად, ქვიშა, ქვანახშირი, შეშა, მარცვლეული და ა.შ.



ფიგ. 3.3. ჰაერის სიმკვრივის გამოთვლა.

აღნიშნული მასალების ან პროდუქტების შესაფასებლად სარგებლობენ მოცულობითი სიმკვრივის ცნებით, რაც არის ერთეული მოცულობის მასა, მისი განზომილებაა კგ/მ³. ადვილი მისახვედრია, რომ ერთი და იმავე მასალისაგან დამზადებული ფოროვანი სხეულის, მაგალითად, სამშენებლო ბლოკის მინერალური ნაწილის სიმკვრივე უცვლელია, მაშინ როდესაც მისი მოცულობითი სიმკვრივე ცვალებადია შემჭიდროვების ხარისხის მიხედვით. რაც უფრო მაღალი წნევით იქნება დამზადებული ბლოკი, მით უფრო ნაკლები სივარცელები იქნება მასში და შესაბამისად, მით უფრო მეტი სიდიდის მოცულობითი სიმკვრივით დახასიათდება.

აღსანიშნავია, რომ მოცულობითი სიმკვრივის სისტემგარეშე ერთეული ტ/მ³ ფართოდ გამოიყენება საინჟინრო საქმეში მყარი და თხევადი მასალების შესაფასებლად და მას ხშირად მოცულობით წონას უწოდებენ, რაც მცდარი ტერმინია.

ფარდობითი სიმკვრივე. ჰაერის კომპონენტების შემთხვევაში სარგებლობენ ფარდობითი სიმკვრივის ცნებით. ჰაერის ამა თუ იმ კომპონენტის ფარდობითი სიმკვრივე უგანზომილებო სიდიდეა, რომელიც ერთმანეთთან ადარებს მოცემული კომპონენტის სიმკვრივისა და ჰაერის ნარევის საშუალო სიმკვრივის რიცხვით სიდიდეებს. ფარდობითი სიმკვრივე განისაზღვრება ფორმულით:

$$\zeta_i = \frac{\gamma_i}{\gamma}, \quad (3.6)$$

სადაც ζ_i არის ჰაერის i კომპონენტის ფარდობითი სიმკვრივე; γ_i — ჰაერის i კომპონენტის სიმკვრივე, კგ/მ³; γ — მრავალკომპონენტიანი ჰაერის საშუალო სიმკვრივე, კგ/მ³.

რომელიმე კომპონენტის ჰაერის მიმართ ფარდობითი სიმკვრივის გაანგარიშება შესაძლებელია მიახლოებითი ფორმულით:

$$\zeta_i \approx \frac{M_i}{29}, \quad (3.7)$$

სადაც განმარტებული სიდიდის გარდა M_i არის ჰაერის i კომპონენტის მოლეკულური წონა, აიღება 3.2 ცხრილის მიხედვით; 29 — ჰაერის დამრგვალებული მოლეკულური წონა.

ცხრილი 3.2

ნივთიერებათა მოლეკულური წონები

ქიმიური ფორმულა	მოლეკულური წონა	ქიმიური ფორმულა	მოლეკულური წონა	ქიმიური ფორმულა	მოლეკულური წონა
NH_3	17,031	H_2COCH_2	44,053	NO_2	46,006
AsH_3	77,945	$HCHO$	30,026	N_2O_4	92,011
C_6H_6	78,114	H_2NNH_2	32,045	O_3	47,998
Br_2	159,808	H_2	2,016	PH_3	33,998
CS_2	76,143	HBr	80,912	CH_3CHOCH_2	58,080
CO	28,010	HCl	36,461	SiH_4	32,117
CCl_4	153,822	HCN	27,026	SO_2	64,065
Cl_2	70,905	H_2S	34,082	SO_2F_2	102,062
ClO_2	67,452	CH_3SH	48,109	$(CH_3)_2NNH_2$	60,0984
$(CH_3)S$	62,136	CH_3NHNH_2	46,072	ჰაერი	29,000
C_2H_4	28,054	NO	30,006		

3.2 ცხრილის მონაცემების გათვალისწინებით წყალბადის შემთხვევისათვის (3.7) ფორმულა მიიღებს სახეს:

$$\zeta_{H_2} \approx \frac{2,16}{29} \approx 0,074, \quad (3.8)$$

შესაბამისად, წყალბადის ფარდობითი სიმკვრივე ჰაერის მიმართ შეადგენს 0,074 ანუ წყალბადი ჰაერზე უფრო მსუბუქია და არასაკმარისი ტურბულიზაციის შემთხვევაში მისი დაგროვება შესაძლებელია ნაგებობათა თაღურ ნაწილში და შეძლებულია იატაკთან.

3.2 ცხრილის მონაცემებითა და (3.7) ფორმულით შესაძლებელია მითითებულ ნივთიერებათა ფარდობითი სიმკვრივის განსაზღვრა და ტექნოლოგიურ პროცესებში მავნე, საშიშ და ტოქსიკურ მინარევთა უპირატესი დაგროვების ადგილთა პროგნოზი.

სავარჯიშო მაგალითი:

- ჰაერის საშუალო სიმკვრივეა 1,2 კგ/მ³.
- წყალბადის მოლეკულური წონა $M=2$, ჰაერის საშუალო $M=29$.
- 1. გამოთვალე წყალბადის ფარდობითი სიმკვრივე ჰაერის მიმართ.
- 2. ახსენი, რატომ არის წყალბადი უფრო მსუბუქი.
- 3. განსაზღვრე, სად შეიძლება დაგროვდეს წყალბადი საწარმოო გარემოში და რა რისკებს ქმნის.

ამოხსნა:

- წყალბადის ფარდობითი სიმკვრივე ჰაერის მიმართ:

$$\zeta_{H_2} \approx \frac{2}{29} = 0,074.$$

წყალბადი ჰაერზე ბევრად მსუბუქია, ამიტომ გროვდება ნაგებობის ზედა ნაწილში (თაღებთან). ეს ქმნის აფეთქების რისკს, თუ ვენტილაცია არასაკმარისია.

მენიშვნა:

სიმკვრივის კვლევა პრაქტიკულად ყველა დარგში მნიშვნელოვანია.

- ტრანსპორტი — ავიაციაში ჰაერის სიმკვრივე განსაზღვრავს ძრავის მუშაობას და საწვავის ხარჯვას.
- ენერგეტიკა — მილსადენებში გაზის სიმკვრივის ცვალებადობა გავლენას ახდენს წნევაზე და უსაფრთხოებაზე.
- სამთო მრეწველობა — მსუბუქი აირების თაღებში დაგროვება (მაგ., წყალბადი, მეთანი) ქმნის აფეთქების რისკს.

მაგალითებიდან ჩანს, რომ სიმკვრივის კვლევა არა მხოლოდ თეორიული მნიშვნელობისაა, არამედ შესაძლებელია რეალური უსაფრთხოების ინდექსების საფუძველი გახდეს.

შემთხვევის შესწავლა:

ქიმიურ საწარმოში წყალბადის დაგროვებამ გამოიწვია აფეთქების საფრთხე. კვლევის შედეგად დამონტაჟდა გაზის დეტექტორები და განახლდა ვენტილაციის სისტემა.

3.5. ჰაერის მინარევთა

კონცენტრაცია

ჰაერის მინარევები. ატმოსფერული ჰაერი სხვადასხვა ნივთიერებებს შეიცავს. ჰაერში ბუნებრივად არსებულ ნივთიერებებს ეწოდება ჰაერის კომპონენტები, ხოლო ადამიანის საქმიანობით ჰაერში შეტანილ ნივთიერებებს — ჰაერის მინარევები. ადამიანის საქმიანობის შედეგად შეტანილი ჰაერის მინარევები შესაძლებელია იყოს ისეთივე, როგორიც ბუნებაში გვხვდება ან იყოს ისეთი, რომელსაც მხოლოდ ტექნოგენური წარმოშობა ახასიათებს. აგრეგატული მდგომარეობის მიხედვით მინარევი არის მყარი, თხევადი და აირისებრი.

ჰაერის მავნე მინარევი არის ისეთი, რომელიც უსაფრთხოების მოთხოვნების დარღვევის შემთხვევაში, ადამიანის სხეულთან კონტაქტისას (კანის, ფილტვების, კუჭის, სისხლის მეშვეობით), იწვევს საწარმოო ტრავმას, პროფესიულ დაავადებას ან ჯანმრთელობის მდგომარეობის სხვა გაუარესებას, რომლის გამოვლენა შესაძლებელია თანამედროვე მეთოდებით.

ყველა სახეობის მავნე მინარევის დასაშვები ნორმები განსხვავებულია მათი კლასის შესაბამისად. სულ გვხვდება 4 კლასი. I კლასი არის განსაკუთრებით სახიფათო ნივთიერებები, რომელთა დასაშვები კონცენტრაცია სამუშაო ზონის ჰაერში შეადგენს 0,1

მგ/მ³-ზე ნაკლებს; II კლასი — სახიფათო ნივთიერებები, დასაშვები კონცენტრაცია — 0,1-1,0 მგ/მ³; III კლასი — ზომიერად სახიფათო ნივთიერებები, დასაშვები კონცენტრაცია — 1,1-10,0 მგ/მ³; IV კლასი — ნაკლებად სახიფათო ნივთიერებები, დასაშვები კონცენტრაცია — > 10,0 მგ/მ³.



3.4. მექანიკური მინარევების გავლენა ჟანგბადის პარციალურ წნევაზე.

ცხრილი 3.3

მავნე ნივთიერებების კლასიფიკაცია ადამიანის ორგანიზმზე მათი ზემოქმედების მიხედვით

მაჩვენებლის დასახელება	I კლასი	II კლასი	III კლასი	IV კლასი
ზღვ სამუშაო ზონის ჰაერში, მგ/მ ³	< 0,1	0,1-1,0	1,1-10,0	> 10,0
საშუალო სასიკვდილო კონცენტრაცია ჰაერში, მგ/მ ³	< 500	500-5000	5001-50000	> 50000
სასიკვდილო დოზა კუჭში მოხვედრისას, მგ/კგ	< 15	15-150	151-5000	> 5000
სასიკვდილო დოზა კანზე მოხვედრისას, მგ/კგ	< 100	100-500	501-2500	> 2500

შენიშვნები:

1. განზომილება მგ/კგ ნიშნავს ადამიანის წონის ყოველ კილოგრამზე მოსულ მავნე ნივთიერებას.
2. კლასები: I — განსაკუთრებით სახიფათო ნივთიერებები; II — სახიფათო ნივთიერებები; III — ზომიერად სახიფათო ნივთიერებები; IV — ნაკლებად სახიფათო ნივთიერებები.
3. ცხრილის მონაცემები არ ვრცელდება ისეთ მავნე ნივთიერებებზე, რომლებიც შეიცავენ რადიაქტიურ და ბიოლოგიურ (რთული ბიოლოგიური კომპლექსები, ბაქტერიები, ფაგები და ა.შ.) ნივთიერებებს.

ISO კავშირი:

- **ISO 45001** მოითხოვს სამუშაო ადგილის ჰაერის ხარისხისა და დასაშვები ზემოქმედების ზღვრული მაჩვენებლების დაცვის უწყვეტ მონიტორინგს.
- **ISO 31000** შრომის უსაფრთხოების რისკების შეფასებისას მინარევების კონცენტრაციას რაოდენობრივად განსაზღვრად რისკ-ფაქტორად მიიჩნევს.
- **ISO 14001** ხაზს უსვამს გარემოსდაცვით მენეჯმენტს, სამუშაო ადგილის ემისიებს უფრო ფართო ეკოლოგიურ ზემოქმედებასთან აკავშირებს.

განსაკუთრებით სახიფათოა ისეთი მინარევი, რომელიც იწვის ან ფეთქდება ჰაერის რომელიმე კომპონენტთან (ჟანგბადთან, ნახშირორჟანგთან ან აზოტთან) ერთად. მავნეა ისეთი მინარევი, რომელიც გარკვეულ პირობებში იწვევს ადამიანის დაზიანებას. მაგალითად, ნეიტრალური ნაცარი შესაძლებელია გახდეს მავნე იმ შემთხვევაში, თუ მოხვდება ადამიანის თვალებში ან სასუნთქ გზებში.

მინარევთა კონცენტრაცია. მინარევთა კონცენტრაცია შესაძლებელია გამოსახული იქნეს ჰაერში მისი მოცულობის ან მასის მიხედვით. მოცულობის მიხედვით იქნება გამოსახული კონცენტრაციის მაჩვენებელი, თუ მასის მიხედვით, იგი უნდა იქნეს დაყვანილი ჰაერის ერთეულ მოცულობაზე.

მოცულობის ერთეულზე დაყვანილი მინარევთა კონცენტრაცია არის უგანზომილებო სიდიდე, რადგან წილადის მრიცხველში გვაქვს მინარევთა მოცულობა, ხოლო მნიშვნელში — ჰაერის საერთო მოცულობა. პროცენტებში გადასაყვანად აღნიშნული სიდიდე უნდა გამრავლდეს 100-ზე. ანალოგიური სიდიდის გამოსათვლელი ფორმულა (3.3) ზემოთ იყო მოცემული, როცა ვიხილავდით ჰაერის კომპონენტებს. იმავე ფორმულითაა შესაძლებელი მინარევების მოცულობითი კონცენტრაციის განსაზღვრა. ამიტომ ხელმეორედ მოვიტანთ მხოლოდ ფორმულას, ნუმერაციის გარეშე, ოდნავი ცვლილებით:

$$c_1 = \frac{V_i}{V} \times 100\%.$$

ამგვარად, მოცულობის მიხედვით მინარევთა კონცენტრაცია გამოისახება %-ებით მოცულობა მოცულობაში, ხოლო სათანადო სიდიდე — c_1 სიმბოლოთი.

ზღვ. მავნე მინარევი შესაძლებელია სხვადასხვა კონცენტრაციით მოხვდეს ჰაერში და იყენებენ ცნებას **ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაცია**, რომლის აბრევიატურა არის **ზღვ** და ნიშნავს მინარევის ისეთ კონცენტრაციას, რომელიც არაა საშიში. შესაძლებელია მოცემული იქნეს მგ/მ³, ან ppm-ის სახით. მაგალითად, CO -სათვის ზღვ არის 200 მგ/მ³ იმ შემთხვევაში, თუ ადამიანი ასეთ გარემოში არ იმყოფება 15 წთ-ზე უფრო ხანგრძლივად, ppm-ის, ანუ მნ-ის მიხედვით იგივე სიდიდე არის 160, რაც მიღებულია 200-ის გაყოფით 1,25-ზე — კილოგრამობით გამოსახულ ჰაერის სტანდარტულ სიმკვრივეზე.

სავარჯიშო მაგალითი:

- საწარმოში გაზომილი მტვრის კონცენტრაციაა 5 მგ/მ³.
 - ნორმატიული მაქსიმალურად დასაშვები კონცენტრაცია (MAC) არის 3 მგ/მ³.
1. განსაზღვრე, რამდენჯერ აღემატება ფაქტობრივი მაჩვენებელი ნორმას.

2. ჩამოაყალიბე ორი შესაძლო კონტროლის ღონისძიება (ტექნიკური ან საორგანიზაციო).

3. შეაფასე, რა შედეგი შეიძლება ჰქონდეს ნორმის გადაჭარბებას პერსონალის ჯანმრთელობაზე.

ამოხსნა:

- გადაჭარბება: $\frac{5}{3} \approx 1.67 \rightarrow 67\%$ -ით აღემატება ნორმას.
 - კონტროლის ღონისძიებები:
 - **ტექნიკური:** ვენტილაციის სისტემის გაძლიერება, ფილტრაციის დანერგვა.
 - **საორგანიზაციო:** სამუშაო დროის შემცირება მტვრის მაღალი კონცენტრაციის ზონაში.
- ნორმის გადაჭარბება ზრდის რესპირატორული დაავადებების რისკს.

შენიშვნა:

ჰაერის მინარევების კვლევა ერთ-ერთი ყველაზე ფართოდ გავრცელებული და გამოყენებადი სფეროა.

- ქიმიური მრეწველობაში — ტოქსიკური აირების კონცენტრაციის კონტროლი აუცილებელია პერსონალის დაცვისთვის.
 - ჯანდაცვაში — მტვრის და ბაქტერიების დონე ჰოსპიტალურ გარემოში განსაზღვრავს ინფექციის გავრცელების რისკს.
 - ციფრულ ტექნოლოგიებში — მტვრის მაღალი დონე მონაცემთა ცენტრში ამცირებს მოწყობილობების სიცოცხლის ხანგრძლივობას.
 - სამთო დარგში — მტვერი იწვევს რესპირატორულ დაავადებებს, ხოლო ორგანულ ნივთიერებათა მტვერი შესაძლებელია გახდეს აფეთქების მიზეზი.
- ცხადია, რომ მინარევების კვლევას პირდაპირი გავლენა აქვს ეკონომიკურ, ტექნოლოგიურ და ჯანმრთელობის შედეგებზე.

ISO კავშირი:

- **ISO 45001:** მტვრისა და გაზის მონიტორინგი სავალდებულოა მუშაკთა უსაფრთხოებისთვის.
- **ISO 14001:** მტვრის გამოყოფა დაკავშირებულია გარემოსდაცვითი შესაბამისობის ნორმებთან.
- **ISO 31000:** MAC-ის (მაქსიმალურად დასაშვები კონცენტრაციის) გადაჭარბება უსაფრთხოების აუდიტში რაოდენობრივად განსაზღვრადი რისკის ინდიკატორია.

შემთხვევის შესწავლა:

მშენებლობის ობიექტზე მტვრის კონცენტრაციის დონე 2-ჯერ აღემატებოდა დასაშვებ ნორმას. შედეგად, მუშაკებში გაჩნდა რესპირატორული პრობლემები. კვლევის საფუძველზე დაინერგა მტვრის ფილტრაციის სისტემა.

3.6. ჰაერის ძირითადი კომპონენტები

ჰაერის ძირითადი კომპონენტებია ჟანგბადი, ნახშირორჟანგი და აზოტი. აღნიშნულს გარდა ჰაერს შესაძლებელია შეერიოს ფეთქებადი, ტოქსიკური, რადიექტიური ნივთიერებები აირის, მტვრის ან ორთქლის სახით.

ჟანგბადი. ჟანგბადისათვის (O_2) დამახასიათებელი არ არის სუნი, ფერი და გემო. მისი ფარდობითი სიმკვრივე ზღვის დონეზე და $0^{\circ}C$ ტემპერატურაზე შეადგენს 1,103, ე.ი. ჟანგბადის სიმკვრივე ატმოსფერული ჰაერის საშუალო სიმკვრივეზე მეტია. ჟანგბადის მოლეკულური წონაა 32, ნორმალურ პირობებში, როცა ჰაერის სიმკვრივეა 1,2 გ/ლ, 1 ლ ჟანგბადის მასაა 1,323 გ. $0^{\circ}C$ ტემპერატურაზე მოცულობის მიხედვით წყალში ხსნადობა 5% შეადგენს.

ადამიანი ჩასუნთქვისას ითვისებს ჰაერში არსებული ჟანგბადის დაახლოებით 1/5. ამონასუნთქი ჰაერი შეიცავს დაახლოებით 17 % O_2 და 4% CO_2 . ამონასუნთქ ჰაერში ოდნავ მატულობს აზოტის კონცენტრაცია, ხოლო ორგანიზმის მიერ შთანქმული ჟანგბადის რაოდენობა აღემატება გამოყოფილ ნახშირორჟანგს.

როგორც აღინიშნა, ადამიანის სისხლის მაქსიმალური გაჯერება ჟანგბადით ხდება მაშინ, როცა მისი პარციალური წნევა შეადგენს 20,95 კპა (ატმოსფერული წნევის დაახლოებით 1/5). აღვილად დამახსოვრების მიზნით აღნიშნულ დამთხვევას ვუწოდოთ მეხუთედების კანონი.

მაშასადამე, მეხუთედების კანონი ისაა, რომ ატმოსფერული ჰაერის საერთო შედგენილობიდან დაახლოებით 1/5 მოდის ჟანგბადზე, ხოლო ადამიანი ითვისებს ჩასუნთქულ ჰაერში არსებული ჟანგბადის დაახლოებით 1/5 ნაწილს.

ამოსუნთქულ ჰაერში ჟანგბადის პროცენტული რაოდენობის მიხედვით (17 %) შესაძლებელია დავადგინოთ დისკომფორტის ზონის შესაბამისი პარციალური წნევა, რაც შეადგენს 17,0 კპა-ს. ამ დროს ადამიანს უხშირდება სუნთქვა და გულისცემა, ხოლო ჟანგბადის 12,0 კპა პარციალური წნევისას ატმოსფერო სასიკვდილოა ადამიანისათვის. მაშასადამე, 17,000-20,950 კპა არის ჟანგბადის პარციალურ წნევათა ადამიანის სასიცოცხლო დიაპაზონი.

ნეიტრალური აირის ატმოსფერულ ჰაერზე უეცარი დამატება შეზღუდულ სივრცეში იწვევს ჟანგბადის კონცენტრაციის მკვეთრ შემცირებას. 3% კონცენტრაციისას, ანუ რაც იგივეა, 3 კპა პარციალური წნევისას ადამიანი 1-2 წთ-ში გრძნობას კარგავს, ხოლო 5-10 წთ-ში ხდება კლინიკური სიკვდილი. მაგალითად, ჟანგბადის კონცენტრაციის მკვეთრი შემცირება შესაძლებელია მიწისქვეშა სამუშაოების ჩატარებისას, სამთო მასივიდან ნეიტრალური აირის უეცარი გამოყოფის შემთხვევაში.

ნებადართულია, რომ ზღვის დონეზე უფრო ღრმად განლაგებულ სასარგებლო წიაღისეულის მოსაპოვებელ გვირაბებში სავენტილაციო ჰაერში ჟანგბადის კონცენტრაცია გაცილებით უფრო ნაკლები იყოს (19,0-19,5%), ვიდრე ეს გვხვდება ზღვის დონეზე 3.1 ცხრილის შესაბამისად. საქმე ისაა, რომ ჰაერის წნევის საერთო ზრდის გამო

დიდ სიღრმეებზე მატულობს აგრეთვე ჟანგბადის პარციალური წნევა და უფრო ნაკლები კონცენტრაციის შემთხვევაშიც მისი სიდიდე არ გამოდის ზემოაღნიშნული სასიცოცხლო დიაპაზონიდან.

ISO კავშირი:

- **ISO 45001** მოითხოვს ჟანგბადის დონის მონიტორინგს დახურულ სივრცეებში.
- **ISO 31000** ჟანგბადის დეფიციტს კრიტიკულ რისკ-ფაქტორად მიიჩნევს.
- **ISO 7396-1** (სამედიცინო აირების მილსადენების სისტემები) უზრუნველყოფს ჟანგბადის მიწოდებას ჯანდაცვის დაწესებულებებში.

ნახშირორჟანგი (ნახშირბადის დიოქსიდი). ნახშირორჟანგი (CO_2) ოდნავ მომჟავო სუნის უფერო აირია. მისი ფარდობითი სიმკვრივე შეადგენს 1,52-ს, მოლეკულური წონა — 44-ს, ნორმალურ პირობებში 1 ლ ნახშირორჟანგის მასაა 1,96 გ. 0 °C ტემპერატურაზე წყალში ხსნადობა 179,7%-ს შეადგენს მოცულობის მიხედვით.

ნახშირორჟანგი ქიმიურად მეტად ინერტულია, არ იწვის და წვას ხელს არ უწყობს.

ფიზიოლოგიურად მცირედ ტოქსიკურია. ბუნებრივ ფონთან შედარებით 100-ჯერ გაზრდილი კონცენტრაციისას (3%) სუნთქვის სტიმულირებას ახდენს ცენტრალური ნერვული სისტემის სასუნთქი ცენტრის აგზნების გამო. 6%-იანი კონცენტრაციისას ადამიანი სისუსტეს გრძნობს და სუნთქვა უჭირს, 10%-ზე გრძნობას კარგავს, ხოლო 20-25% იწვევს სასიკვდილო მოწამვლას.

ნახშირორჟანგის უეცარი ბუნებრივი გამოყოფა შესაძლებელია ქვანახშირის შახტებში. ცნობილია შემთხვევები, როცა უეცრად გამოყოფილი ნახშირორჟანგის მოცულობა შეადგენდა 700 ათას მ³, ხოლო მასთან ერთად გამოტყორცნილი სამთო მასის წონა — 65 ათას ტ.

ISO კავშირი:

- **ISO 45001** მოითხოვს CO_2 -ის მონიტორინგს სამუშაო ადგილებში.
- **ISO 14001** CO_2 -ის ემისიებს გარემოსდაცვით მდგრადობასთან აკავშირებს.
- **ISO 31000** CO_2 -ის დაგროვებას სამთო და სამრეწველო უსაფრთხოების სფეროში რისკის სცენარად მიიჩნევს.

აზოტი. აზოტისათვის (N_2) დამახასიათებელი არ არის სუნი, ფერი და გემო. მისი ფარდობითი სიმკვრივეა 0,97, მოლეკულური წონა — 28,016, ნორმალურ პირობებში 1 ლ აზოტის მასა — 1,25 გ, 0 °C ტემპერატურაზე წყალში ხსნადობა — 2%. აზოტი ქიმიურად ძლიერ ინერტულია. ჰაერში მისი კონცენტრაციის ზრდა ადამიანზე გავლენას ახდენს მხოლოდ იმიტომ, რომ ამ დროს მცირდება ჟანგბადის პარციალური მოცულობა და წნევა.

ISO კავშირი:

- **ISO 45001** მოითხოვს ინერტული აირების მონიტორინგს დახურულ სივრცეებში.
- **ISO 31000** აზოტის დაგროვებას ჟანგბადის გამოძევებასთან დაკავშირებულ რისკ-ფაქტორად მიიჩნევს.
- **ISO 14001** აზოტის ოქსიდებს გარემოსდაცვით შესაბამისობასთან აკავშირებს.

3.7. ჰაერის კონცენტრაციის ნორმირება

ადამიანის ტექნოგენური საქმიანობის შედეგად შესაძლებელია ჰაერში მოხვდეს ტოქსიკური, რადიოაქტიური, წვადი, ფეთქებადი და სხვა მავნე მინარევები, რომელთა ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაცია (ზდკ) სხვადასხვა დარგის ნორმების მიხედვით არის რეგლამენტირებული. აღნიშნული ნორმირების მიზანია მკვეთრად შემცირდეს ან აღიკვეთოს ადამიანის ორგანიზმში ტოქსიკური და მავნე ნივთიერებების მოხვედრა სუნთქვის, შეხების თუ სხვა გზით.

ნორმების დაცვა აუმაღლებს შრომის პირობებს, სამუშაო ადგილებზე აგვაცილებს ადამიანების მოწამვლას და ხანგრძლივი პერსპექტივით — პროფესიულ დაავადებას.

ადვილად მისახვედრი მიზეზების გამო სხვადასხვა დარგობრივი ნორმების მონაცემების მოტანა მოცემული სახელმძღვანელოს ფარგლებში შეუძლებელია. მითუმეტეს ძნელია ამის გაკეთება ჩვენი ქვეყნის პირობებში, რადგან საქართველოში მოქმედებს ტექნიკური რეგლამენტაციის მრავალფეროვანი ნორმები (მხედველობაში გვაქვს საქართველოს მთავრობის 2006 წლის 24 თებერვლის #45 დადგენილება). აღნიშნულიდან გამომდინარე, ჰაერის ტოქსიკური და მავნე მინარევების განხილვისას მოცემულია ზდკ-ის მნიშვნელობები ყველაზე უფრო მკაცრი ნორმების მიხედვით — მიწისქვეშა სამუშაოების პირობისათვის. სხვა სამუშაოებისათვის ნორმა უფრო ნაკლები სიმკაცრით ხასიათდება [31-34].

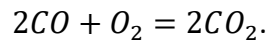
ISO კავშირი:

- **ISO 45001:** მოითხოვს სამუშაო ადგილზე ჰაერის ხარისხისა და პროფესიული ზემოქმედების ზღვრული ნორმების დაცვის მუდმივ მონიტორინგს.
- **ISO 31000:** ჰაერის მინარევების კონცენტრაციას უსაფრთხოების მართვის სისტემებში რაოდენობრივად განსაზღვრულ რისკ-ფაქტორად მიიჩნევს.
- **ISO 14001:** ჰაერის ხარისხის ნორმალიზაციას გარემოსდაცვით მართვასა და მდგრადობასთან აკავშირებს.
- **ISO 10012:** უზრუნველყოფს საზოგადოების მართვის სისტემების სანდოობას ჰაერის კონცენტრაციის მონიტორინგისას.

3.8. ჰაერის ტოქსიკური და ფეთქებადი მინარევები

ნახშირბადის მონოოქსიდი ანუ ნახშირჟანგი. ნახშირბადის მონოოქსიდისათვის (CO) დამახასიათებელი არ არის სუნი, ფერი და გემო. მისი ფარდობითი სიმკვრივე შეადგენს 0,97-ს, მოლეკულური წონა — 28-ს, ნორმალურ პირობებში 1 ლ ნახშირბადის მონოოქსიდის მასა — 1,25 გ-ს, 0 °C ტემპერატურაზე წყალში ხსნადობა — 3,3%-ს.

ნახშირბადის მონოოქსიდი იწვის და ფეთქდება ჰაერში 12,5-75,0% კონცენტრაციის დიაპაზონში. აფეთქების მაქსიმალური ენერგია აქვს 30%-იან ნარევს, რომლის აალების ტემპერატურა არის 630-810 °C. წვის რეაქციას აქვს სახე:



აირი მეტად ტოქსიკურია, რადგან ადვილად უერთდება სისხლის ჰემოგლობინს (ჟანგბადთან შედარებით 250-300-ჯერ უფრო აქტიურად) და მისგან აძევებს ჟანგბადს. ადამიანის სისხლის სრულად გაჯერებისათვის საკმარისია 300 სმ³ (1 ლ = 1000 სმ³) ნახშირბადის მონოოქსიდი.

აღნიშნული აირით მოწამვლის სიმპტომები შემდეგია:

1. სუსტი მოწამვლა — ნახშირბადის მონოოქსიდის 0,048% კონცენტრაციის ჰაერით სუნთქვა 1 სთ-ის განმავლობაში. ამ დროს აღინიშნება თავის ტკივილი, ხმაური ყურებში, თავბრუ და გაძლიერებული გულისცემა.

2. ძლიერი მოწამვლა — ნახშირბადის მონოოქსიდის 0,128% კონცენტრაციის ჰაერით სუნთქვა 0,5-1 სთ-ის განმავლობაში. ამ დროს ზემოაღნიშნული სიმპტომების გარდა დამატებით აღინიშნება მოძრაობის უნარის დაკარგვა და აზროვნების უნარის შეზღუდვა.

3. სასიკვდილო დოზა — ნახშირბადის მონოოქსიდის 0,4% კონცენტრაციის ჰაერით მცირე ხნით სუნთქვისას ადამიანი კარგავს გრძნობას და ეწყება კრუნჩხვები, ხოლო 1% კონცენტრაციისას დამტუპველია რამდენიმე შესუნთქვა.

მოწამვლის ხარისხი აგრეთვე დამოკიდებულია ადამიანის აგებულებაზე (მსუქანი, გამხდარი), ორგანიზმის მდგომარეობაზე (დასვენებული, დაღლილი). ფრჩხილებში მითითებულ პირველ შემთხვევებში მოწამლულობა უფრო ადვილად გადასატანია.

CO-თი მოწამვლისას პირველი დახმარებაა ხელოვნური სუნთქვის ჩატარება სუფთა ჰაერზე.

გამოიყოფა არასრული წვის შედეგად, მათ შორის შიდაწვის ძრავებშიც. გამოიყოფა აგრეთვე კომპრესორებში მაშინ, თუ მისი მაცივარი წესრიგში არაა. ამ დროს კომპრესორის დგუშისა და სხვა ნაწილების გასაპოხად გამოყენებული ზეთი მაღალი ტემპერატურის გავლენით იშლება ნახშირჟანგად და მეთანად.

სხვადასხვა სამუშაო ადგილებში მისი დასაშვები კონცენტრაცია ერთმანეთისაგან განსხვავებულია [35-38]. ქვანახშირის შახტებში მისი დასაშვები კონცენტრაცია არის 0,0024% (20 მგ/მ³).

ISO კავშირი:

- **ISO 45001:** მოითხოვს სამუშაო ადგილებში CO-ს მონიტორინგს.
- **ISO 31000:** CO-ს ზემოქმედებას კრიტიკული რისკის სცენარად განიხილავს.
- **ISO 14001:** CO-ს ემისიებს გარემოსდაცვით შესაბამისობასთან აკავშირებს.

აზოტის ოქსიდები. აზოტის ოქსიდებისათვის (NO , NO_2 , N_2O_4 , N_2O_5) დამახასიათებელია მურა ფერი და მწვავე სუნი. ჰაერში მდგრადი ფორმებია აზოტის

ორჟანგი NO_2 და ორაზოტოთხეანგი N_2O_4 . ტემპერატურის ზრდისას ეს უკანასკნელი იშლება აზოტის ორჟანგად. ორივე მათგანი კარგად იხსნება წყალში.

აზოტის ორჟანგის ფარდობითი სიმკვრივე შეადგენს 0,97-ს, მოლეკულური წონა — 46,01-ს, ნორმალურ პირობებში 1 ლ ნახშირბადის მონოოქსიდის მასაა 2,05 გ.

ორაზოტოთხეანგის ფარდობითი სიმკვრივე შეადგენს 3,18-ს, მოლეკულური წონა — 92,02-ს, ნორმალურ პირობებში 1 ლ ნახშირბადის მონოოქსიდის მასა — 4,11 გ-ს.

აზოტის ოქსიდები მეტად ტოქსიკური ნივთიერებებია, იწვევენ სასუნთქი გზებისა და თვალების გაღიზიანებას, მძიმე შემთხვევებში — ფილტვების შეშუპებას. მათი მომწამვლელი ზემოქმედება მაშინვე არ ვლინდება, აღნიშნულისათვის საჭიროა 4-6 სთ, ხოლო ზოგჯერ 20-30 სთ. მოწამვლის სიმპტომებია: გულისრევა, ხველება, თავის ტკივილი, ტემპერატურის მომატება, გულის მოქმედების დარღვევა, გალურჯება. აზოტის ოქსიდების სასიკვდილო დოზაა მისი ხანმოკლე შესუნთქვა 0,025% კონცენტრაციისას [39].

აზოტის ოქსიდები იმიტომაც განსაკუთრებით საშიში, რომ ადამიანი მათ ვერ შეიგრძნობს. შესაძლებელია მან მიიღოს სასიკვდილო დოზა და მინიმუმ 4 სთ-ის განმავლობაში ვერც შეიგრძნოს და გარშემო მყოფებმაც ვერაფერი ვერ შეამჩნიონ. აღნიშნულის გამო მნიშვნელოვანია დოზიმეტრული კონტროლი ისეთ ობიექტებზე, სადაც მოსალოდნელია მათი გამოყოფა. აზოტის ოქსიდები გამოიყოფა აფეთქებითი სამუშაოებისას. ამის გამო საჭიროა ჟანგბადის ნულოვანი ბალანსის მქონე ფეთქებადი ნივთიერებების გამოყენება ისეთ ობიექტებზე, სადაც ვენტილაციის პირობები გართულებულია. დიზელის ძრავების გამონაბოლქვები მომეტებულად შეიცავენ აზოტის ოქსიდებს და შედარებით ნაკლები რაოდენობით — ნახშირბადის მონოოქსიდს. ბენზინზე მომუშავე შიდაწვის ძრავები კი — პირიქით, უპირატესად გამოყოფენ ნახშირბადის მონოოქსიდს.

ქვანახშირის შახტებში აზოტის ოქსიდების დასაშვები კონცენტრაცია აზოტის ორჟანგზე გადაანგარიშებით არ უნდა აღემატებოდეს 0,0002%-ს.

ISO კავშირი:

- **ISO 45001:** მოითხოვს NO_x -ის მონიტორინგს სამრეწველო და სამთო გარემოში.
- **ISO 31000:** NO_x -ის ზემოქმედებას განიხილავს, როგორც დაგვიანებულ, მაგრამ კრიტიკულ რისკს.

- **ISO 14001:** NO_x -ის ემისიებს გარემოსდაცვით მდგრადობასთან აკავშირებს.

- **ISO 10012:** დოზიმეტრიული მონიტორინგის გაზომვის სიზუსტის უზრუნველყოფა.

გოგირდოვანი აირი. გოგირდოვანი აირი (SO_2) უფეროა, რომელსაც აქვს ძლიერი მხუთავი სუნი და მომჟავო გემო. მისი ფარდობითი სიმკვრივე არის 2,22, მოლეკულური წონა — 64,07, ნორმალურ პირობებში 1 ლ გოგირდოვანი აირის მასა — 2,86 გ. 20 °C ტემპერატურაზე წყლის 1 მოცულობაში იხსნება გოგირდოვანი აირის 40 მოცულობა.

გოგირდოვანი აირი ძლიერ ტოქსიკურია, იგი იწვევს სასუნთქი გზებისა და თვალების გაღიზიანებას, მძიმე შემთხვევებში იწვევს ბრონქების ანთებას, სასისა და ფილტვების

შეშუპებას. 0,05% კონცენტრაცია სასიკვდილოდ საშიშია რამდენიმე შესუნთქვისას. 0,0005% კონცენტრაციას ადამიანი შეიგრძნობს და ამის გამო მისი საშიშროება გარკვეულ კონტროლს ექვემდებარება საზომი ხელსაწყოების გარეშე [40].

ქვანახშირის მახტებში მისი დასაშვები კონცენტრაციაა 0,00035%.

ISO კავშირი:

- **ISO 45001:** მოითხოვს SO_2 -ის მონიტორინგს სამუშაო ადგილებში.
- **ISO 14001:** SO_2 -ის ემისიებს გარემოსდაცვით შესაბამისობასთან აკავშირებს.
- **ISO 31000:** SO_2 -ის ზემოქმედებას კრიტიკულ რისკ-ფაქტორად მიიჩნევს.

გოგირდწყალბადი. გოგირდწყალბადი (H_2S) უფერო აირია, რომელსაც აქვს ლაყე კვერცხის სუნი და მოტკბო გემო. მისი ფარდობითი სიმკვრივე არის 1,19, მოლეკულური წონა — 34,09, ნორმალურ პირობებში 1 ლ გოგირდწყალბადის მასა — 1,52 გ. 0 °C ტემპერატურაზე წყლის 1 მოცულობაში იხსნება გოგირდწყალბადის 4,4 მოცულობა. გოგირდწყალბადი იწვის და ჰაერში 6%-იანი კონცენტრაციისას ფეთქდება. ადამიანი გოგირდწყალბადს შეიგრძნობს ჰაერში 0,0001% კონცენტრაციისას.

გოგირდწყალბადი ძლიერ ტოქსიკურია, გამაღიზიანებლად მოქმედებს თვალებზე და სასუნთქ გზებზე. მოწამვლის სიმძიმის მიხედვით მისი ნიშნებია: თვალებისა და სასუნთქი გზების გაღიზიანება და წვა, დაღლილობის შეგრძნება, გულის რევა, გრძნობის დაკარგვა. სასიკვდილო დოზაა 0,1% კონცენტრაცია მცირე ხნით.

მოწამვლის შემთხვევაში პირველი დახმარებაა ხელოვნური სუნთქვის ჩატარება ჰაერის სუფთა ჭავლზე და ქლორის შესუნთქვა, ქლორიანი ხსნარით დასველებული ცხვირსახოცის შემოხვევა სასუნთქ ორგანოებზე [41].

ქვანახშირის მახტებში მისი დასაშვები კონცენტრაციაა 0,00066%.

ISO კავშირი:

- **ISO 45001:** მოითხოვს H_2S -ის მონიტორინგს შეზღუდულ სივრცეებში.
- **ISO 31000:** H_2S -ის დაგროვებას მაღალი რისკის სცენარად მიიჩნევს.
- **ISO 10012:** უზრუნველყოფს გაზის აღმოჩენის სისტემებში გაზომვის სიზუსტეს.

ამიაკი. ამიაკი (NH_3) უფერო აირია დამახასიათებელი მკვეთრი სუნით. მისი ფარდობითი სიმკვრივეა 0,596, მოლეკულური წონა — 17,03, ნორმალურ პირობებში 1 ლ ამიაკის მასა — 0,77 გ. კარგად იხსნება წყალში. ჰაერში 30% კონცენტრაციისას ფეთქდება.

ამიაკი ტოქსიკურია, აღიზიანებს კანს, თვალებსა და სასუნთქ გზებს. დიდი კონცენტრაცია იწვევს სასის შეშუპებას.

ჰაერში ამიაკის მაქსიმალური დასაშვები კონცენტრაციაა 0,0025%.

ISO კავშირი:

- **ISO 45001:** მოითხოვს ამიაკის მონიტორინგს სამრეწველო სამუშაო ადგილებში.
- **ISO 14001:** ამიაკის ემისიებს გარემოსდაცვით მართვასთან აკავშირებს.
- **ISO 31000:** ამიაკის ზემოქმედებას რაოდენობრივ რისკად მიიჩნევს.

აკროლეინი. აკროლეინი (CH_2CHCOH) უფერო ადვილად აორთქლებადი სითხეა. ის წარმოიქმნება მაღალ ტემპერატურაზე ღიზელის საწვავისა და საპოხი მასალების

დამლის შედეგად. ორთქლი კარგად იხსნება წყალში, ხოლო მისი ფარდობითი სიმკვრივე შეადგენს 1,9.

აკროლეინი ძლიერ მომწამვლელი ნივთიერებაა, რომელიც აღიზიანებს თვალსა და სასუნთქ გზებს, იწვევს თავბრუს, ღებინებას, ტკივილებს მუცელში. 0,014% კონცენტრაციის აკროლეინის შემცველი ჰაერით 10-წთ-იანი სუნთქვა იწვევს ადამიანის დაღუპვას.

ჰაერში აკროლეინის მაქსიმალური დასაშვები კონცენტრაცია არის 0,00008%.

მძიმე ნახშირწყალბადები, აცეტილენი. მძიმე ნახშირწყალბადებიდან ჰაერში შესაძლებელია მოხვდეს ეთანი (C_2H_6), პროპანი (C_3H_8) და ბუთანი (C_4H_{10}). აღნიშნული ნივთიერებები გამოიყოფა ფეთქებადი სამუშაოების შესრულებისას, აგრეთვე მეტამორფიზმის დაბალი ხარისხის მქონე ქვანახშირის საბადოების დამუშავებისას. სამივე აირი აფეთქება-საშიშია და ამასთან ერთად ჰაერს აძლევს ნარკოტიკულ თვისებას [41].

აცეტილენიც (C_2H_2) ასევე საშიში ფეთქებადი ნივთიერებაა, რომელიც გამოიყოფა ფეთქებადი სამუშაოებისას.

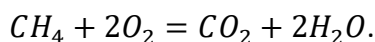
ISO კავშირი:

- **ISO 45001:** მოითხოვს აკროლეინის მონიტორინგს სამრეწველო გარემოში.
- **ISO 14001:** აკროლეინის გამოყოფას გარემოსდაცვით შესაბამისობასთან აკავშირებს.
- **ISO 31000:** აკროლეინის ზემოქმედებას კრიტიკულ რისკად მიიჩნევს.

მეთანი. აღნიშნული აირი ყველაზე საშიშია იმის გამო, რომ ფართოდაა გავრცელებული. მეთანისათვის (CH_4) დამახასიათებელი არ არის სუნი, ფერი და გემო. მისი ფარდობითი სიმკვრივეა 0,5539, მოლეკულური წონა — 16,03, ნორმალურ პირობებში 1 ლ მეთანის მასა — 0,716 გ, 0 °C ტემპერატურაზე წყალში ხსნადობა — 3,5%. ჩვეულებრივ პირობებში მეთანი ინერტულია და უერთდება მხოლოდ ჰალოიდებს.

მცირე რაოდენობის მეთანი ფიზიოლოგიურად მავნე არაა. ჰაერში მისი კონცენტრაციის მატება საშიშია იმიტომ, რომ მის ხარჯზე ხდება ჟანგბადის კონცენტრაციის შემცირება. 50-80% კონცენტრაციისას ჟანგბადის ნორმალური შემცველობის ჰაერი იწვევს თავის ძლიერ ტკივილსა და ძილის შეგრძნებას. მეთანთან ეთანისა და პროპანის მინარევი ჰაერს მცირედ აძლევს ნარკოტიკულ თვისებას.

მეთანი იწვის ღია ცისფერი ალით, რომლის ქიმიური ფორმულაა:



მიწისქვეშ, ნახშირის მომპოვებელ სამთო საწარმოებში მეთანის წვა მიმდინარეობს ჟანგბადის უკმარისობის პირობებში, რაც იწვევს ნახშირბადის მონოოქსიდის წარმოქმნას, რეაქცია მიდის შემდეგი ფორმულით:



გამოყოფილი წყლის ორთქლის უდიდესი ნაწილი სწრაფად კონდენსირდება, რაც იწვევს გაიშვიათების შექმნას მოცემულ არეში და ხელს უწყობს ჰაერის ახალი ნაკადის

შემოდინებას. მეთანის აალების ტემპერატურაა 650-750 °C. აალების ტემპერატურა დამოკიდებულია ჰაერში მეთანის შემცველობაზე, ჰაერის ნარევის შედგენილობაზე, მის წნევაზე და აალების წყაროს სახეობაზე. მეთანის წვის სითბოა 54 425 კჯ/კგ (13 000 კკალ/კგ).

ჰაერთან მეთანი წარმოქმნის წვად და ფეთქებად ნარევეს. ჰაერში 5-6% კონცენტრაციისას იწვის მხოლოდ სითბოს წყაროს ახლოს. 5-6%-დან 14-16%-მდე კონცენტრაციისას ჰაერ-მეთანის ნარევი ფეთქდება, ხოლო 14-16%-ის ზემოთ არც იწვის და არც ფეთქდება, მაგრამ აქვს წვის უნარი სითბოს წყაროს სიახლოვეს ჟანგბადის მიწოდების პირობით (ნახ. 3.5). აფეთქების სიძლიერე დამოკიდებულია მასში მონაწილე მეთანის აბსოლუტურ რაოდენობაზე.



ნახ. 3.5. მეთანის აფეთქებადობის ზღვრები ჰაერში არსებულ ჟანგბადთან.

აფეთქებას მაქსიმალური ძალა აქვს მეთანის 9,5% კონცენტრაციისას. უფრო მაღალი კონცენტრაციისას მეთანის ნაწილი აუფეთქებელი რჩება ჟანგბადის ნაკლებობის გამო. მეთანის მაღალი თბოშემცველობა განაპირობებს ნარჩენი ნაწილის მიერ აფეთქების ალის ტემპერატურის საგრძნობ დაწევას. 14-16%-ზე უფრო მაღალი კონცენტრაციისას ხდება თვითთაქრობა და აფეთქება არ წარმოიშობა [42-44].

ყველაზე ადვილად აღდება ნარევი, რომელშიც მეთანის კონცენტრაცია 7-8% არ აღემატება.

სხვადასხვა ნახშირწყალბადებისა (მეთანის, ეთანის და ა.შ.) და წყაბადის ჰაერთან X ნარევის აფეთქებადობის ქვედა ზღვარი განისაზღვრება ლე შატელიეს ფორმულით:

$$X = \frac{100}{\frac{K_1}{N_1} + \frac{K_2}{N_2} + \dots + \frac{K_m}{N_m}} \quad (3.9)$$

სადაც $K_1, K_2, \dots, K_m$ არის ნარევის ყოველი ფეთქებადი ან წვადი კომპონენტის კონცენტრაცია (%) იმ პირობით, რომ $\sum_{i=1}^m K_i = 100\%$; — ყოველი ფეთქებადი კომპონენტის აფეთქების ქვედა ზღვარი ნორმალური შედგენილობის ჰაერში, %.

მეთან-ჰაერის ნარევის აფეთქებადობის ზღვრები ფართოვდება მისი საწყისი ტემპერატურის ან წნევის გაზრდით. მაგალითად, 10 ატმოსფეროს ტოლ წნევაზე ნარევის აფეთქებადობის დიაპაზონია 5,9-17,2%.

მეთანისათვის დამახასიათებელია აალების შეყოვნების თვისება სითბოს წყაროსთან შეხების შემდეგ, რასაც ინდუქციის პერიოდი ეწოდება. ინდუქციის პერიოდის ხანგრძლივობა მკვეთრად მცირდება ნარევის ტემპერატურის ზრდით და უმნიშვნელოდ იზრდება მეთანის კონცენტრაციის გაზრდით ჰაერში.

ინდუქციის პერიოდს დიდი მნიშვნელობა ენიჭება აფეთქების სამუშაოების ჩასატარებლად მეთანშემცველ ნახშირის მახტებში. აქ იყენებენ ე.წ. დაცულ აფეთქებად ნივთიერებებს, რომლის აფეთქების პროდუქტების უსაფრთხო ტემპერატურამდე გაცივებისათვის საჭირო დრო ნაკლებია ინდუქციის პერიოდის ხანგრძლივობაზე.

მეუზღუდავ სივრცეში მეთანის აფეთქების პროდუქტების ტემპერატურა აღწევს 1875 °C, ხოლო ჩაკეტილ სივრცეში — 2150-2650 °C. გამოყოფილი აირების წნევა დაახლოებით 9-ჯერ აღემატება ნარევის საწყის წნევას აფეთქებამდე. აფეთქების ტალღით მეთან-ჰაერის ნარევის წინასწარი შეკუმშვის პირობებში შესაძლებელია შედარებით მაღალი წნევების განვითარება აფეთქების პროდუქტების მიერ, 30 მეგაპასკალი (დაახლოებით 30 ატმოსფერო) და მეტი. ჰაერში მეთანის აფეთქებისას ტალღის სიჩქარე წამში იცვლება რამდენიმე ათეული მეტრიდან 1000-მეტრამდე.

ქვანახშირის მახტებში მეთანის დასაშვები კონცენტრაცია სამუშაო ადგილებზე შეადგენს 1,0%.

აღსანიშნავია, რომ მახტებში მომხდარი მეთანის აფეთქებების შედეგად დაღუპული ადამიანების რიცხვი აშშ-ში დაახლოებით 100-ჯერ უფრო ნაკლებია, ვიდრე უკრაინაში. ამ უკანსკნელ ქვეყანაში ყოველ მილიონ ტონა მოპოვებულ ქვანახშირზე 2005 წლის მონაცემებით იღუპება 4 ადამიანი.

კიდევ უფრო უარესი მდგომარეობაა საქართველოში. მილიონ ტონა მოპოვებულ ნახშირზე გადაანგარიშებით, 2010 წლის შედეგების შესაბამისად, ტყიბულში დაღუპულთა რიცხვი დაახლოებით 1000-ჯერ აღემატება იმავე სიდიდეს აშშ-ის პირობებში.

წყალბადი. წყალბადი (H_2) უფრო აირია. მისი ფარდობითი სიმკვრივეა 0,07, მოლეკულური წონა — 1,0, ნორმალურ პირობებში 1 ლ წყალბადის მასა — 0,09 გ, 0°C ტემპერატურაზე წყალში ხსნადობა — 2,1%. წყალბადი იწვის და აფეთქდება ჰაერში მისი კონცენტრაციისას 4-74%. აალების ტემპერატურა შეადგენს 450-550 °C-ს. წყალბადი გამოიყოფა აკუმულატორების ბატარეების დამუხტვისას. კალიუმისა და ქვანახშირის მახტებში, ზოგიერთი სახეობის ქანთა მასივიდან და ა.შ. წყალბადის მაქსიმალურად დასაშვები კონცენტრაცია ჰაერში შეადგენს 0,5%-ს.

ISO კავშირი:

- **ISO 45001:** მოითხოვს მეთანისა და წყალბადის მონიტორინგს სამთო და სამრეწველო სამუშაო ადგილებში.

- **ISO 31000:** მეთანის/წყალბადის აფეთქებადობას შრომის უსაფრთხოების მაღალი რისკის სცენარებად მიიჩნევს.
- **ISO 14001:** მეთანისა და წყალბადის ემისიებს გარემოსდაცვით მდგრადობასთან აკავშირებს.
- **ISO 10012:** უზრუნველყოფს გაზომვის სიზუსტეს ფეთქებადი აირის აღმოჩენის სისტემებში.

3.9. საწარმოო მტვერი ჰაერში და მისი ზემოქმედება

სხვადასხვა ტექნოლოგიური პროცესის დროს წარმოიქმნება საწარმოო მტვერი — ჰაერში შეტივნარებული მცირე ზომის ნაწილაკები, რომლებიც ნელ-ნელა ილექება. ჰაერში შეტივნარებულ მტვერს ეწოდება დისპერსიული ფაზა, ხოლო ჰაერს — დისპერსიული გარემო. მტვრისა და ჰაერის ნარევს კი აეროზოლი ეწოდება.

ტექნოლოგიურ პროცესებში მტვერი წარმოიქმნება მასალების დამსხვრევის, დაფქვის, გაცრის, ტრანსპორტირების, დატვირთვა-გადმოტვირთვის, გადამუშავების დროს. აგრეთვე მიწის სამუშაოების, ელექტროშედულებისა და სხვა სამუშაოების შესრულებისას.

წარმოშობის მიხედვით მტვერი შეიძლება იყოს ორგანული, არაორგანული და შერეული. ორგანულს მიეკუთვნება ცხოველური და მცენარეული წარმოშობის მტვერი. მაგალითად, ბეწვი, მერქანი, ქვანახშირი, ტორფი და სხვ. არაორგანულს მიეკუთვნება ლითონური და მინერალური წარმოშობის მტვერი. მაგალითად, ალუმინის, ცემენტის, სამშენებლო ქვების და სხვათა.

ადამიანის ორგანიზმზე მტვრის მავნე მოქმედება დამოკიდებულია მის ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებზე, ზომებზე, ფორმაზე, კონცენტრაციაზე, მოქმედების ხანგრძლივობაზე და სხვ.

მტვრის ქიმიური შედგენილობა არსებით გავლენას ახდენს ორგანიზმზე. მტვრის მოქმედების სპეციფიკა იმით აიხსნება, რომ ორგანიზმში იგი უმთავრესად სასუნთქი ორგანოებიდან ხვდება. ამიტომ, უპირველესად, მტვერი აზიანებს სუნთქვის ორგანოებს. იწვევს ბრონქიტს, პნევმოკონიოზს, ხანდახან ალერგიას. არასპეციფიკურ დაავადებებს მიეკუთვნება ზედა სასუნთქი ორგანოების დაზიანება, კანის გაწითლება, მხედველობის გაუარესება. ჩასუნთქული მტვერი ხშირად იწვევს ტუბერკულოზს, მსუბუქი ფორმის ონკოლოგიურ დაავადებებს. ყველაზე მავნე და აგრესიულ მტვრად ითვლება კაჟმიწის, სილიკატების, ნახშირის, ზოგიერთი ლითონისა და მინერალური შედგენილობის მტვერი, რომლებიც ფილტვებში წარმოშობენ უხეშ ქსოვილს — ფიბროზს, რის შედეგადაც დაზიანებული ფილტვის ნაწილის მოქმედება ირღვევა და იწყება მძიმე პროფესიული დაავადება — პნევმოკონიოზი.

პნევმოკონიოზი პროფესიულ დაავადებათა საერთო სახელია, რომელიც ხანგრძლივი პერიოდით სუნთქვის პირობებში, მავნე აეროზოლების სახეობათა მიხედვით, ქვემოთ მოცემული დაავადებების სახით კონკრეტდება. ამ თვალსაზრისით, ყველაზე საშიშია თავისუფალი სახის კვარცის მტვერი, რომელიც აღწევს სასუნთქი ორგანოებიდან სისხლში და იხსნება მასში. ჰაერი, რომელიც შეიცავს თავისუფალი სახით კაჟმიწას იწვევს სილიკოზს, აზბესტის მტვრის ზემოქმედება იწვევს აზბესტოზს, ტალკის მტვერი — ტალკოზს, ცემენტის მტვერი — ცემენტოზს, ნახშირის მტვერი — ანტრაკოზს, ალუმინის მტვერი — ალუმინოზს და სხვ.



ფიგ. 3.6. ინდუსტრიული მტვერი ჰაერში.

აღნიშნული დაავადებებიდან უფრო მეტად გავრცელებულია პნევმოკონიოზის მეტად საშიში სახეობა — სილიკოზი. იგი ხშირად გვხვდება სამთამადნო წარმოების მუშაკებში. სილიკოზი გვხვდება აგრეთვე იმ მუშებში, რომელთა სამუშაო მოითხოვს ცემენტის, ქვიშის, ხრეშის გამოყენებას.

თავისუფალი სახით კაჟმიწა (ქვიშა, კვარცი) უარყოფითად მოქმედებს კანზე. ადამიანის ხანგრძლივად ყოფნა მტვრიან გარემოში იწვევს კანის დაავადებას, ასუსტებს აგრეთვე მხედველობასა და სმენას. გარდა ამისა, იგი აზიანებს გულს, ფილტვებს, მთელ ორგანიზმს, იწვევს ცენტრალური ნერვული სისტემის მოშლას.

ადამიანის ორგანიზმზე მტვრის მოქმედების მავნებლობა დამოკიდებულია მის დისპერსიულობაზე — ნაწილაკების სიდიდეზე. დისპერსიულობის მიხედვით მტვერი იყოფა სამ ჯგუფად: ხილული (ზომით 10 მკ და მეტი), მიკროსკოპული (ზომით 0,25-10,00 მკ.). და ულტრამიკროსკოპული, რომელიც მხოლოდ ელექტრონულ მიკროსკოპში ჩანს (ზომით 0,25 მკ-ზე ნაკლები) მცირე ზომის ნაწილაკები შედარებით დიდხანს არიან ჰაერთან შეტივნარებული, ამიტომ ასეთი მტვრის მოქმედება უფრო მავნებელია.

მტვრის სისაღე პრაქტიკულ გავლენას არ ახდენს მის მავნებლობაზე. მაგ., კვარცის მტვერი უფრო საშიშია, ვიდრე უფრო სალი ქანების მტვერი (კარბორუნდი, კორუნდი).

მტვრის მოქმედების მავნებლობა ფასდება მისი კონცენტრაციით და ტოქსიკურობით. კონცენტრაცია განისაზღვრება გარკვეული რაოდენობის მტვრიანი ჰაერის გატარებით მტვრის დამჭერ ფილტრში, რომლის შემდეგ დაჭერილი მტვრის მასის გადანგარიშება ხდება ჰაერის მოცულობის მიხედვით. მტვრის მასა განისაზღვრება ფილტრის მასების მიხედვით გაზომვების დაწყებამდე და მის შემდეგ. ფილტრში გატარებული დამტვრიანებული ჰაერის მოცულობა იზომება ელექტრული ან ექვეტორული ასპირატორებით.

ჰაერში მტვრის კონცენტრაცია განისაზღვრება ფორმულით:

$$c_2 = \frac{p_2 - p_1}{V_0}. \quad (3.10)$$

სადაც p_1 არის ფილტრის საწყისი მასა სინჯის აღებამდე, მგ; p_2 — ფილტრის მასა სინჯის აღების შემდეგ, მგ; V_0 — ფილტრში გატარებული ჰაერის მოცულობა, მ³.

შედარებით მცირე მტვრიანობის დროს გამოიყენება *OYEUC-1* ტიპის ან სხვა სახეობის სპეციალური ხელსაწყო — კონიმეტრი, რომელიც შედგება ცილინდრულ ტუმბოსთან შეერთებული მიმღები კამერის, დამნოტივებული კამერისა და საკონტროლო მინისაგან. ამ დროს განისაზღვრება მინაზე დაგროვებული მტვრის მასა, რომლის გადანგარიშებაც უნდა მოხდეს ჰაერის მოცულობის მიხედვით.

მტვრის ნაწილაკების რაოდენობისა და დისპერსიის ხარისხის დასადგენად არსებობს აგრეთვე სხვა მრავალი მეთოდი, რომლის დროსაც გამოიყენება შემდეგი ხელსაწყოები: ნაკადური ულტრამიკროსკოპი *BDK-4*, ფოტომტვერმზომი *F-1*, *F-2*, *FEP-6*, ელექტრული კონიმეტრი *EKTM*, *EK4*, ელექტრული მტვერმზომი *PRP-3* და სხვ.

მტვრის მავნე მოქმედებისაგან თავიდან ასაცილებლად აუცილებელია გამოვიყენოთ კოლექტიური დაცვის საშუალებები, ბიოლოგიური მეთოდები, მტვრის წარმოქმნის და გავრცელების საწინააღმდეგო ტექნოლოგიები. ამ უკანასკნელს მიეკუთვნება მასალის დატენიანება, პროცესის ჰერმეტიზაცია, მტვერწარმომქმნელი მასალების მიღებით ტრანსპორტირება, პროდუქციის დაფასოება და შეფუთვა თანამედროვე მანქანებით, ჩასატვირთ-გადმოსატვირთი მოწყობილობის ჰერმეტიზაცია.

ყველაზე მთავარი კოლექტიური დაცვის ღონისძიებაა ეფექტური ადგილობრივი ვენტილაციის მოწყობა. დაავადების თავიდან აცილების მიზნით სამუშაოზე მიღების დროს მუშაკებს წინასწარ უტარდებათ სამედიცინო შემოწმება, რომელიც გარკვეული პერიოდულობით უნდა განმეორდეს.

მტვრის წარმოქმნისა და გავრცელების აცილება უფრო ეფექტურია ტექნოლოგიური ღონისძიებების გატარებით. ასეთ ღონისძიებას მიეკუთვნება, უპირველესად, მტვრის წარმომქმნელი ყველა პროცესის ჰერმეტიზაცია და მექანიზაცია, მანქანა მოწყობილობებზე სპეციალური ჰერმეტიკული გარსაცმების დაყენება, ტრანსპორტირებისას მასალის დატენიანება, მტვრის გაწმენდა საწარმოო მტვერსასრუტებით და სხვ. ძალიან მნიშვნელოვანია მტვრის წარმომქმნელი ტექნოლოგიური პროცესების დროს ხელით შრომის მინიმუმამდე დაყვანა [45-47].

ლითონის მიღებზე და კონსტრუქციებზე კოროზიის საწინააღმდეგო საფარის გაკეთების, აგრეთვე მქავათი მათი გაწმენდის დროს მთლიანად ან ნაწილობრივ გამოორიცხულია სილიკოზით დაავადების საშიშროება. ამ დაავადების საშიშროება მნიშვნელოვნად მცირდება თუ ცეცხლგამძლე მასალის წარმოებისას კვარცულ ნედლეულს მაგნეზიტურით შევცვლით.

ISO კავშირი:

- **ISO 45001:** მოითხოვს სამუშაო ადგილებში მტვრის დონის მონიტორინგს და დამცავი ზომების გატარებას.
- **ISO 31000:** მტვრის ზემოქმედებას რაოდენობრივად განსაზღვრულ პროფესიულ რისკად მიიჩნევს.
- **ISO 14001:** მტვრის გამოყოფას გარემოსდაცვით მენეჯმენტსა და მდგრადობასთან აკავშირებს.
- **ISO 10012:** უზრუნველყოფს მტვრის მონიტორინგის სისტემებში გაზომვის სიზუსტეს.

3.10. ჰაერის მიკროკლიმატური

პარამეტრების ნორმირება

საწარმოო სივრცეში

წელიწადის თბილი პერიოდი ხასიათდება გარეთა ჰაერის +10 °C ან უფრო მაღალი ტემპერატურით, ხოლო ცივი პერიოდი — +10 °C-ზე ნაკლები ტემპერატურით.

სამუშაო ზონაში ნორმირებულია როგორც ჰაერის მაღალი, ისე დაბალი ტემპერატურა, აგრეთვე ფარდობითი ტენიანობა და ჰაერის სიჩქარე.

ადამიანი მუშაობის ან დასვენების პირობებში სხვადასხვა რაოდენობის სითბოს გამოყოფს. მუშაობის დროს ჭარბი სითბოს გარემოზე გადაცემის მიზნით სხეულიდან იწყება სითბოს აორთქლება (ოფლის გამოყოფა), რითაც უფრო ადვილად ნარჩუნდება ორგანიზმის ტემპერატურული წონასწორობა. სხვა თანაბარ პირობებში, ადამიანის ორგანიზმის თერმორეგულაციის დონე და ხასიათი დამოკიდებულია სათავსოს ჰაერის ტემპერატურაზე, ფარდობით ტენიანობასა და სიჩქარეზე. ჰაერის ფარდობითი ტენიანობის მომატება ამცირებს ოფლის აორთქლებას და ამის შედეგად ადამიანი უფრო მძაფრად შეიგრძნობს მაღალი ტემპერატურის ზეგავლენას. ანალოგიურადაა საქმე დაბალი ტემპერატურის შემთხვევაშიც. მაღალი ფარდობითი ტენიანობა ზრდის ჰაერის თბოგამტარობას და შესაბამისად, ორგანიზმისაგან სითბოს ართმევის უნარს. მაშასადამე, მაღალი ფარდობითი ტენიანობის პირობებში ადამიანი დაბალ ტემპერატურასაც უფრო მძაფრად შეიგრძნობს.

ჰაერის სიჩქარეც ანალოგიურ ზეგავლენას ახდენს ადამიანის შეგრძნებაზე, რადგან სიჩქარის მომატებით იზრდება თბოგადაცემის კოეფიციენტის რიცხვითი სიდიდე და გარკვეულ პირობებში, ადამიანის ორგანიზმის მიერ კონვექციით გაცემული სითბოს

რაოდენობა. ადამიანის ორგანიზმიდან მიმართული კონვექციური თბური ნაკადი შესაძლებელია გაანგარიშებული იქნეს ფორმულით:

$$q = \alpha_q(t_2 - t_1), \quad (3.11)$$

სადაც q არის ადამიანის ორგანიზმის ზედაპირის ერთეულიდან აღძრული თბური ნაკადი, ვტ/(მ²); α_q — თბოგაცემის კოეფიციენტი, ვტ/(მ².გრად); t_1 , t_2 — შესაბამისად, ადამიანის სხეულის ზედაპირისა და ჰაერის გარემოს ტემპერატურა, °C.

ფორმულიდან ჩანს, რომ როცა $t_1 > t_2$, ანუ როცა ადამიანის სხეულის თბოგამცემი ზედაპირის ტემპერატურა უფრო მაღალია ჰაერის ტემპერატურაზე, ჰაერის სიჩქარის გაზრდა გამოიწვევს კოეფიციენტის მატებას და შესაბამისად, უფრო მეტი გაგრილების ეფექტს როგორც ობიექტურად, ისე ცალკეული ინდივიდის სუბიექტური შეგრძნებით. იმ შემთხვევაში, თუ ჰაერის ტემპერატურა უფრო მეტია, მაშინ სიჩქარის მომატება გამოიწვევს დისკომფორტის შეგრძნებას, რასაც ობიექტური საფუძველი ექნება — თბური ნაკადი ამ შემთხვევაში მიმართული იქნება ჰაერიდან ადამიანის სხეულისაკენ. ტანსაცმლისა და სხეულის ღია ადგილების თანაფარდობის გათვალისწინებით ადამიანის სხეულის თბოგამცემი ზედაპირის საშუალო ტემპერატურა შესაძლებელია მივიღოთ $t_1 = 27 - 28$ °C-ის ფარგლებში.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, 28 °C-ზე უფრო მაღალი ტემპერატურისათვის ჰაერის სიჩქარის მომატება გამოიწვევს დისკომფორტის შეგრძნებას, რომელიც მით უფრო მძაფრი იქნება, რაც უფრო მაღალი რიცხვითი სიდიდე ექნება ფარდობით ტენიანობას. ამ დროს სხეულიდან გადაცემული სითბო განპირობებული იქნება მხოლოდ ოფლის აორთქლებით და ადამიანმა შესაძლებელია მიიღოს თბური დარტყმა. თბური დარტყმის მიღება უფრო სავარაუდოა მაღალი ტემპერატურის, მაღალი ფარდობითი ტენიანობისა და ჰაერის მაღალი სიჩქარის პირობებში [48-52].

შედარებით წყნარ მდგომარეობაში მყოფი ადამიანი, როცა გარემოს ტემპერატურა შეადგენს 20 °C, გამოყოფს დაახლოებით 450-600 კჯ სითბოს ერთი საათის განმავლობაში. აქედან კონვექციაზე მოდის დაახლოებით 15,3%, აორთქლებაზე 29,1%, ხოლო დანარჩენი 41,7% თბურ გამოსხივებაზე. შესაბამისად, ამ პირობებისათვის თბოგაცემის კოეფიციენტი $\alpha_q = 10 - 13$ ვტ/(მ²გრად), რომელიც მძიმე სამუშაოს შემთხვევაში შესაძლებელია 4-ჯერ გაიზარდოს.

შემოთმოყვანილი სითბური ბალანსის მონაცემებიდან ჩანს, რომ საერთო გამოყოფილი სითბოს რაოდენობიდან ადამიანი ყველაზე მეტს — 41,7%-ს გამოყოფს გამოსხივებით. სხივური თბოგადაცემა ადამიანის სხეულს და ჰაერს ან სათავსოს ზედაპირს შორის ხდება მათი აბსოლუტურ (კელვინის სკალით გაზომილ) ტემპერატურათა მეოთხე ხარისხის შესაბამისად.

მაღალი ტემპერატურის პირობებში ეფექტურია გამაგრილებელი ეკრანების — ცივი ზედაპირების მოწყობა. ცივი ზედაპირები საზოგადოდ უფრო ეფექტურია ჰაერის კონდიცირებასთან შედარებით აღნიშნული მეოთხეხარისხიანი კანონზომიერების გამო, რადგან კონვექციური ნაკადის სიდიდე ტემპერატურათა სხვაობის მხოლოდ პირველი

ხარისხის პროპორციულია, რაც ჩანს (3.8) ფორმულიდან. ვარიანტების შედარებისას ისიც გასათვალისწინებელია, რომ კონდიცირებული ჰაერი კომფორტულობის შეგრძნებას ზრდის სუნთქვის გამოც.

აღსანიშნავია, რომ ანომალური ტემპერატურული პირობები იწვევს შრომის მწარმოებლურობის შემცირებას 20-30%-ის ფარგლებში.

ოპტიმალური მიკროკლიმატური პირობები არის პარამეტრების ისეთი შერწყმა, რომელიც ადამიანზე ხანგრძლივი და სისტემატური ზემოქმედების დროს იწვევს კომფორტის შეგრძნებას და ქმნის ნაყოფიერი შრომის პირობებს.

დასაშვები მიკროკლიმატური პირობები პარამეტრების ისეთი შერწყმითაა, როცა ადამიანზე ხანგრძლივი და სისტემატური ზემოქმედების შედეგად მიკროკლიმატმა შესაძლებელია გამოიწვიოს ორგანიზმის თერმორეგულაციის მექანიზმის დაძაბვა, მაგრამ არ გამოვიდეს ფიზიოლოგიური შეგუებადობის ზღვრებიდან. ამავე დროს არ შეიგრძნობა დისკომფორტი, არ უარესდება გუნება-განწყობილება და არ ეცემა შრომის ნაყოფიერება. ოპტიმალური პარამეტრების დაცვა სამუშაო ან დასვენების ადგილებზე შესაძლებელია ვენტილაციასთან შერწყმული კონდიცირების სისტემით, ხოლო დასაშვების — მხოლოდ ვენტილაციის სისტემებით.

ამ შემთხვევაში კონდიცირების სისტემა გულისხმობს არა მხოლოდ ჰაერის გაგრილებას, არამედ მის გათბობას, გაშრობა-დატენიანებას, იონიზაციას და ა.შ. საჭიროების შესაბამისად, ანუ ჰაერის სათანადო პარამეტრების ოპტიმალურ ფარგლებში მოქცევას.

ISO კავშირი:

- **ISO 45001:** მოითხოვს სამუშაო ადგილის მიკროკლიმატის მონიტორინგს მუშაკთა ჯანმრთელობისა და უსაფრთხოების დასაცავად.

- **ISO 7730:** განსაზღვრავს თერმული კომფორტის სტანდარტებს შიდა გარემოსთვის.

- **ISO 14001:** აკავშირებს მიკროკლიმატის კონტროლს გარემოსდაცვით მდგრადობასთან.

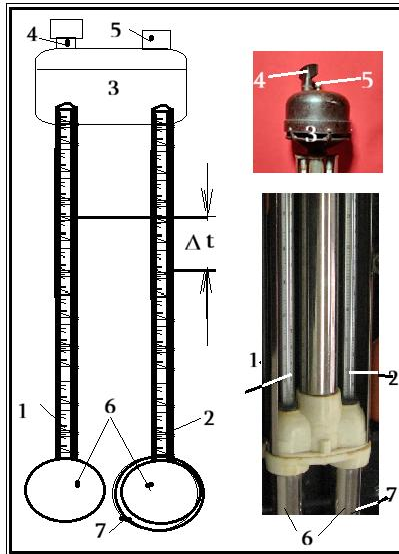
- **ISO 31000:** არანორმალურ მიკროკლიმატს განიხილავს, როგორც რაოდენობრივად განსაზღვრად პროფესიულ რისკ-ფაქტორს.

3.11. ჰაერის სიჩქარის, ხარჯის, რაოდენობის განსაზღვრა

სამუშაო ადგილებზე დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ჰაერის მიკროკლიმატური პარამეტრების პერიოდულ კონტროლს, რაც უნდა მოხდეს აღნიშნული პარამეტრების სარწმუნო გაზომვით და დასაშვებ ნორმებთან შედარების გზით.

ტემპერატურის გაზომვა. ჰაერის ტემპერატურა იზომება თერმომეტრით, რომელიც მოთავსებულია ლითონის დამცავ ბუდეში. ტემპერატურის გაზომვის ადგილზე ვათავსებთ თერმომეტრს და ვიღებთ პირველ ანათვალს 5 წთ-ის შემდეგ, ამის შემდეგ

კიდე 5 წთ-ის შემდეგ ვიღებთ მეორე ანათვალს. თუ პირველი და მეორე ანათვალის ერთნაირია, მაშინ განაზომი მართებულია.



ფიგ. 3.7. ასმანის ფსიქრომეტრი:

1 - ჩვეულებრივი თერმომეტრი; 2 - თერმომეტრი, რომელსაც სინდიყიან ბურთულაზე შემოხვეული აქვს ბატისტის ნაჭერი; 3 - ასპირატორი; 4 - დასაქოქი მექანიზმი; 5 - ჩამოსაკიდებელი კავი; 6 - სინდიყიანი ბურთულები; 7 - სინდიყიან ბურთულაზე შემოხვეული ბატისტის ნაჭერი; Δt – ტემპერატურათა სხვაობა.

ფარდობითი ტენიანობის განსაზღვრა. ფარდობითი ტენიანობის გაზომვა უშუალოდ არ ხდება. ერთდროულად იზომება ჰაერის ტემპერატურა ორი თერმომეტრით. პირველი არის ჩვეულებრივი, ხოლო მეორეს სინდიყის ბურთულაზე ტენიანი ბატისტის ნაჭერი აქვს შემოხვეული. ეს უკანასკნელი ყოველთვის ნაკლებ ტემპერატურას უჩვენებს პირველთან შედარებით. ტემპერატურათა სხვაობის მიხედვით კი სპეციალური ცხრილებიდან განისაზღვრება ფარდობითი ტენიანობა. ორი თერმომეტრით აღჭურვილი ანალოგიური ხელსაწყო, რომელსაც ფსიქრომეტრი ეწოდება, წარმოდგენილია ფიგ. 3.7-ზე.

განაზომების აღების წესი შემდეგია: პიპეტი ბოლომდე უნდა აივსოს გამოხდილი წყლით და მასში უნდა ჩავყოთ თერმომეტრის ბატისტაშემოხვეული სინდიყიანი ბოლო, ხოლო მეორე თერმომეტრს ხელი არ უნდა ვახლოთ. ამის შემდეგ უნდა დაიქოქოს ასპირატორის ვენტილატორი, რომელიც დაქოქვის დაწყებისთანავე დაიწყებს მუშაობას. ბოლომდე დაქოქვის შემდეგ, ფსიქრომეტრი უნდა დაიკიდოს იმ ადგილზე, სადაც სასურველია ფარდობითი ტენიანობის განსაზღვრა. 5-წთ-ის შემდეგ ვიღებთ ანათვლებს თერმომეტრებიდან და მათი სხვაობის მიხედვით ვადგენთ ფარდობითი ტენიანობის სიდიდეს ცხრილებიდან. ფარდობითი ტენიანობის განსაზღვრავი გრაფიკები და ცხრილები მოცემულია ფსიქრომეტრის პასპორტში.

გამოდის აგრეთვე ელექტროფსიქრომეტრები, რომლებშიც ფარდობითი ტენიანობის განსაზღვრის წესი ასმანის იმავე მეთოდს — თერმომეტრების ჩვენებათა სხვაობით სარგებლობას ეფუძნება (ფიგ. 3.8.ბ).



ფიგ. 3.8. ჰიგრომეტრი და ფსიქრომეტრი:
ა - ჰიგრომეტრი; ბ - M-34M ტიპის ელექტროფსიქრომეტრი; 1 - ჩამოსაკიდებელი ჩანგლის დასამაგრებელი ადგილი.

აღნიშნული ფსიქრომეტრით შესაძლებელია ფარდობითი ტენიანობის გაზომვა როგორც ღია ცის ქვეშ, ისე შენობებში. ელექტროენერგია მოცემულ ფსიქრომეტრში გამოიყენება ასპირატორის ასამოქმედებლად. შესაბამისად, აღნიშნულ ფსიქრომეტრს არა აქვს ვენტილატორის დასაქოქი მოწყობილობა. აღნიშნულ ფსიქრომეტრს აგრეთვე არა აქვს ჩამოსაკიდებელი კავი და აღჭურვილია სათანადო ჩანგლით, რომლის დასამაგრებელი ადგილი ნაჩვენებია ნახაზზე.

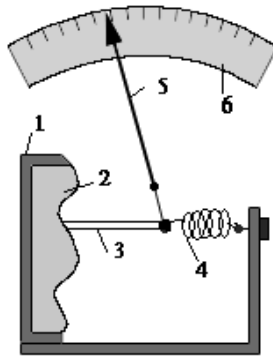


ფიგ. 3.9. ფარდობითი ტენიანობის გაანგარიშების ინფოგრაფიკული სქემა.

ტენიანობის გასაზომად აგრეთვე გამოიყენება უფრო ნაკლები სიზუსტის მქონე ტენიანობის ხელსაწყო ჰიგრომეტრი, რომელიც დაფუძნებულია ადამიანის ცხიმგაცლილი თმის სიგრძის ცვალებადობაზე ფარდობითი ტენიანობის სიდიდის მიხედვით (ფიგ. 3.8.ა).

წნევის გაზომვა. ერთმანეთისაგან უნდა გავმიჯნოთ ბარომეტრული წნევის გაზომვა და წნევათა სხვაობის გაზომვა ჰაერის ნაკადის ორ კვეთს შორის. ფიგ. 3.10-ზე წარმოდგენილია ბარომეტრ-ანეროიდის გამარტივებული სქემა.

უფრო ზუსტია ვერცხლისწყლიანი ბარომეტრი, რომელზეც წნევის ათვლა პირდაპირ მილიმეტრებში ხდება, მაგრამ მის გამოყენებას ახლავს უხერხულობაც: ძნელია ტრანსპორტირება დიდი ზომების გამო, მსხვრევადია და შესაბამისად, გამოსაყენებელია მხოლოდ ლაბორატორიებში. პრაქტიკული სარგებლობისათვის უფრო მოსახერხებელია ლითონის ბარომეტრი — ბარომეტრ-ანეროიდი, რომელსაც შედარებით ნაკლები სიზუსტე ახასიათებს.



ფიგ. 3.10. ბარომეტრ-ანეროიდი:

1 - კორპუსი; 2 - მემბრანა, რომელიც ამოჭრილია ისე, როგორც კორპუსი; 3 - ბერკეტი; 4 - ზამბარა; 5 - ისარი; 6 - დანაყოფებიანი სკალა.

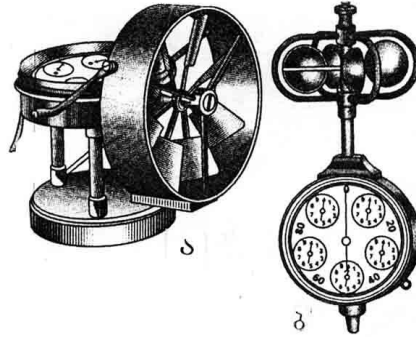
ბარომეტრის ძირითადი ნაწილია ცილინდრული კამერა, რომლისგანაც ჰაერი გამოტუმბულია. კამერა ზემოდან დაფარულია გოფრირებული სახურავით — მემბრანით. გოფრირება აუცილებელია იმისათვის, რომ მემბრანას ექნეს ზამბარისებრი თვისება. ბერკეტის მეშვეობით მემბრანა უერთდება ზამბარას, რომელიც უძრავადაა მიმაგრებული კორპუსთან ერთი ბოლოთი, ხოლო მეორე ბოლოსთან დაკავშირებულია ისარი, რომელიც სკალაზე უჩვენებს წნევის სიდიდეს.

ბარომეტრ-ანეროიდის სკალა დაყოფილია ვერცხლისწყლის სვეტის მილიმეტრებში 600-790-ის დიაპაზონში, ან იმავე დიაპაზონში წნევათა სიდიდეები დატანილია პასკალებში.

იმის გამო, რომ ატმოსფერული წნევა კლებულობს დედამიწის ზედაპირიდან დაშორების კვალობაზე, შესაძლებელია ბარომეტრის სკალა აჩვენებდეს აგრეთვე ზღვის დონიდან დაშორებას. ასეთ ბარომეტრს სიმაღლის მზომი, ანუ ალტიმეტრი ეწოდება. ეს უკანასკნელი გამოიყენება მთამსვლელების, პარაშუტისტების, მფრინავებისა და სხვათა მიერ.

ბარომეტრს ახლავს შემასწორებელი კოეფიციენტები: 1. ტემპერატურული, რომელიც გვიჩვენებს 1 გრადუსით ტემპერატურის ცვლილებისას, როგორ უნდა შესწორდეს განაზომი; 2. მუდმივი შემასწორებელი კოეფიციენტი სხვადასხვა წნევაზე, რომელიც ითვალისწინებს იმ მასალის თვისებებს, რომლისგანაც დამზადებულია ხელსაწყო. ბარომეტრს ახასიათებს ინერციულობა. ამის გამო გაზომვის ადგილზე ბარომეტრის განთავსებიდან 25-30 წთ-ის შემდეგ უნდა ავიღოთ ანათვალი.

ჰაერის სიჩქარის გაზომვა. ჰაერის სიჩქარე იზომება ანემომეტრით, რომელიც ორი სახისაა: ფრთებიანი და ჯამებიანი (ფიგ. 3.11). ფრთებიან ანემომეტრში ტრიალებს მუშათვალ, რომელიც მოთავსებულია ცილინდრში, ხოლო ჯამებიანში — ჯვარედზე დამაგრებული 4 ცალი ნახევრადსფერული ჯამი. ამ უკანასკნელით იზომება მაღალი სიჩქარეები 1-40 მ/წმ-ის დიაპაზონში, ხოლო ფრთებიანი ანემომეტრით ხდება მცირე სიჩქარეების გაზომვა 0,1-5 მ/წმ-ის ფარგლებში.



ფიგ. 3.11. ანემომეტრები:
ა - ფრთებიანი; ბ - ჯამებიანი.

ჰაერის სიჩქარის გაზომვისას მხედველობაში უნდა გვქონდეს, რომ იგულისხმება საშუალო სიჩქარე რაიმე კვეთში. იმ შემთხვევაში, როცა ჰაერის სიჩქარე ჰაერსატარში იმდენად მცირეა, რომ ანემომეტრის ფრთები პერიოდულად ბრუნავს, მაშინ სიჩქარის გაზომვა ხდება ცენტრში, ხოლო ჰაერსატარის მთელი კვეთისათვის საშუალო სიჩქარე გამოითვლება ფორმულით:

$$\bar{V} = kV, \quad (3.12)$$

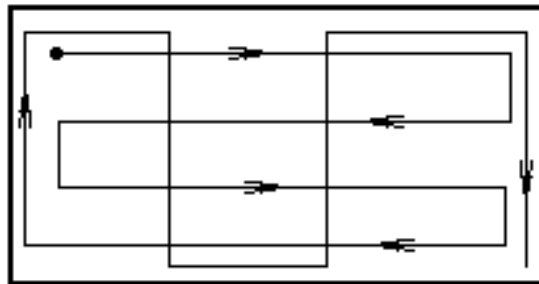
სადაც $\bar{V}$, V შესაბამისად არის ჰაერის საშუალო სიჩქარე ჰაერსატარისათვის და ცენტრში გაზომილი სიჩქარე, მ/წმ; k — კვეთში სიჩქარეთა უთანაბრო განაწილების კოეფიციენტი, $k = 1,2-1,4$. სიჩქარის გაზომვის ამ წესისათვის ნაკლები სიზუსტეა დამახასიათებელი და იყენებენ მხოლოდ მაშინ, როცა სხვა გზით შეუძლებელია სიჩქარის გაზომვა.

სიჩქარე შესაძლებელია გაიზომოს როგორც ჰაერსატარში, ისე ნებისმიერ კვეთში, რომელშიც შესამჩნევია ჰაერის მოძრაობა. ამ შემთხვევაში შესაძლოა დამკვირვებელი იმყოფებოდეს კვეთში, ან კვეთი მდებარეობდეს მის წინ დაახლოებით 2,0-2,5 მ მანძილზე. ამ უკანასკნელ შემთხვევაში დამკვირვებელს ანემომეტრი დამაგრებული აქვს 1,5-2,0 მ სიგრძის ჯოხზე.

ყველა კვეთის შემთხვევაში დამკვირვებელი ანემომეტრიანი ხელით აკეთებს დაახლოებით ისეთ მოძრაობას, როგორიც ნაჩვენებია ნახ. 3.12-ზე. გაზომვა მიზანშეწონილია დასრულდეს 100 წმ-ის განმავლობაში.

დაკვირვებას ახდენს ორი ადამიანი. ერთი ანემომეტრით აკეთებს მოძრაობას მისი ჩართვა-გამორთვის ჩათვლით, ხოლო მეორე — წამზომის ჩართვა-გამორთვას. ეს

უკანასკნელი აგრეთვე აცნობებს პირველს დროის მიმდინარეობის შესახებ ხელის მოძრაობის ტემპის დასაზუსტებლად. ანემომეტრის მაჩვენებელი 100-ზე უნდა გაიყოს, ხოლო ამ უკანასკნელი სიდიდის მიხედვით, ანემომეტრის პასპორტში არსებულ გრაფიკზე დგინდება საშუალო სიჩქარე პირველი მიახლოებით.



ნახ. 3.12. ჰაერის საშუალო სიჩქარის გაზომვა: ისრებით ნაჩვენებია ანემომეტრიანი ხელის მოძრაობის მიმართულება.

სიჩქარის დასაზუსტებლად უნდა ვისარგებლოთ k_1 კოეფიციენტით, თუ სიჩქარე იზომება ჯოხზე დამაგრებული ანემომეტრით, მაშინ $k_1 = 1,14$, ხოლო სხვა შემთხვევაში k_1 განისაზღვრება ფორმულით:

$$k_1 = \frac{S-0,4}{S}, \quad (3.13)$$

სადაც S არის იმ კვეთის ფართობი, რომელშიდაც დამკვირვებელი იმყოფება.



ფიგ. 3.13. ციფრული ელექტროანემომეტრი OMEGA HH-32A.

ბოლო ხანებში გამოდის აგრეთვე სხვადასხვა სახის ელექტრო და ციფრული ანემომეტრები (იხ.ფიგ. 3.13).

ჰაერის ხარჯის გამოთვლა. ჰაერის ხარჯი გამოითვლება საშუალო სიჩქარისა და კვეთის მიხედვით შემდეგი ფორმულით:

$$Q = VS, \quad (3.14)$$

ჰაერის ხარჯის გამოთვლისას დარწმუნებული უნდა ვიყოთ, რომ სხვა კვეთში ჰაერის მოძრაობა არ ხდება, ანუ მოცემულ კვეთში გადის სათავსოს მთელი ჰაერის ხარჯი.

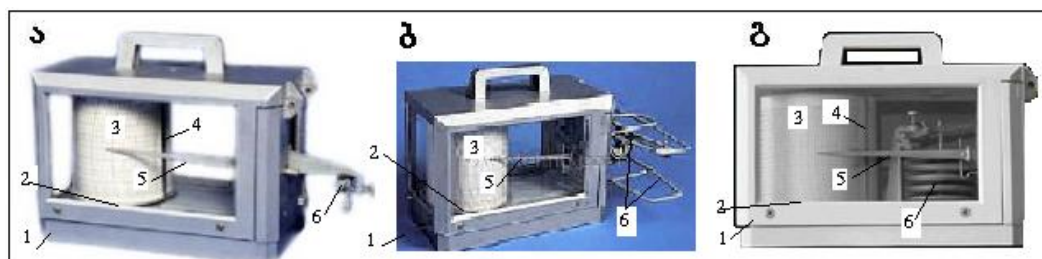
ISO კავშირი:

- **ISO 5167:** განსაზღვრავს სითხის ნაკადის გაზომვის მეთოდებს მილებსა და ჰაერსატარებში.
- **ISO 3966:** განსაზღვრავს ჰაერის სიჩქარისა და ნაკადის გაზომვას ჰაერსატარებში ანემომეტრების გამოყენებით.
- **ISO 7730:** აკავშირებს ჰაერის სიჩქარეს თერმული კომფორტის ინდექსებთან.
- **ISO 10012:** უზრუნველყოფს ბარომეტრებისა და ანემომეტრების სიზუსტეს და კალიბრაციას.
- **ISO 45001:** უსაფრთხოების მიზნით მოითხოვს სამუშაო ადგილის ჰაერის პარამეტრების მონიტორინგს.

3.12. ჰაერის კლიმატური პარამეტრების ცვალებადობა

ჰაერის ტემპერატურა, ფარდობითი ტენიანობა და ბარომეტრული წნევა მუდმივ ცვალებადობას განიცდის, როგორც დღე-ღამის, ისე უფრო ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში. აღნიშნული პარამეტრების ცვალებადობაზე დაკვირვება შესაბამისად ხდება თერმო-, ჰიგრო- და ბაროგრაფებით, რომლებიც წარმოდგენილია ფიგ. 3.14-ზე.

აღსანიშნავია, რომ აღნიშნული ხელსაწყოები კი არ ზომავენ ტემპერატურასა და ბარომეტრულ წნევას ან კი არ განსაზღვრავენ ფარდობით ტენიანობას, არამედ გაზომილი ან განსაზღვრული სიდიდის ცვალებადობას აფიქსირებენ იმ პერიოდის განმავლობაში, რა რესურსიც აქვს მოსამართ საათის მექანიზმს. საათის მექანიზმთან დაკავშირებულია დოლურა, რომელიც ბრუნავს, ხოლო სათანადოდ დაყენებული, მელნით ავსებული კალამი, ტემპერატურის, ფარდობითი ტენიანობის ან ბარომეტრული წნევის დანაყოფებიან ქაღალდზე აღნიშნავს ცვალებადობას გრაფიკის სახით, რომელიც წარმოდგენილია ფიგ. 3.14-ზე.



ფიგ. 3.14. თერმო-, ჰიგრო- და ბაროგრაფები:

ა - თერმოგრაფი; ბ - ჰიგროგრაფი; გ - ბაროგრაფი; 1 - კორპუსი; 2 - საათის მექანიზმი; 3 - მბრუნავი დოლურა; 4 - დოლურაზე სპეციალური ქაღალდის დასამაგრებელი სარტყელი; 5 - ბერკეტი თვითმწერი კალმით; 6 - ტემპერატურის, ტენიანობის, წნევის ცვალებადობის შემგრძნები ელემენტი.

საათის მექანიზმის რესურსის მიხედვით გამოდის დღე-ღამური და კვირეული თერმო-, ჰიგრო- და ბაროგრაფები.

აღნიშნული ხელსაწყოების დაყენება შემდეგნაირად ხდება: წინასწარ შეირჩევა ადგილები, რომლებიც ყველაზე უფრო კარგად დაახასიათებენ მოცემულ სათავსში ტემპერატურის, ფარდობითი ტენიანობის ან ბარომეტრული წნევის ცვალებადობას. ამის შემდეგ განსაზღვრავენ დაკვირვების პერიოდს (დღე-ღამე, კვირა) და შეირჩევენ სათანადო ხელსაწყოსა და დანაყოფებიან სპეციალურ ქაღალდს, რომელიც უნდა დამაგრდეს დოლურაზე. შემდეგ გაზომავენ ან განსაზღვრავენ დაკვირვების ადგილებში სათანადო პარამეტრის რიცხვით სიდიდეს და მის შესაბამისად მექანიზმით აყენებენ კალამს. ამ უკანასკნელში ჩასხმულია სპეციალური მელანი, რომლის ღია ზედაპირი არ შრება 2-3 თვის განმავლობაში. ქაღალდს დამაგრებამდე უკანა მხარეზე უნდა დაეწეროს დაკვირვების ადგილი, თარიღი, ხოლო წინა მხარეზე ჩართვის საათი და დასაკვირვებელი პარამეტრის რიცხვითი სიდიდე დაკვირვების დაწყებისას.

ISO კავშირი:

- **ISO 7726:** განსაზღვრავს გარემოს პარამეტრების (ტემპერატურა, ტენიანობა, წნევა) გაზომვის ინსტრუმენტებსა და მეთოდებს.
- **ISO 45001:** უსაფრთხოების მიზნით მოითხოვს სამუშაო ადგილის კლიმატური პირობების მონიტორინგს.
- **ISO 14001:** აკავშირებს კლიმატის მონიტორინგს გარემოსდაცვით მართვის სისტემებთან.
- **ISO 10012:** უზრუნველყოფს ჩამწერი ინსტრუმენტების სიზუსტეს და კალიბრაციას.

3.13. სათანადო დაცვის საშუალებების გამოყენება

ჰაერის შედგენილობის, წნევის, ტემპერატურის, ტენიანობისა და სიმკვრივის ცვალებადობის კვლევა სამუშაო სივრცეში მხოლოდ ფიზიკურ-ქიმიური მონაცემების ცოდნას არ გულისხმობს; ის პირდაპირ უკავშირდება პროფესიულ უსაფრთხოებას. ISO 45001- პროფესიული ჯანმრთელობისა და უსაფრთხოების მართვის სისტემები, ჰაერის ხარისხის მუდმივ კონტროლს მოითხოვენ. ამ შემთხვევაში აუცილებელი ხდება სანიტარიულ-ჰიგიენური ნორმების დაცვა და ვენტილაციის სისტემების ეფექტიანი მუშაობა. აღნიშნული კეთდება უსაფრთხო სამუშაო გარემოს უზრუნველსაყოფად. ISO 31000 – რისკების მართვის საერთაშორისო სტანდარტი ხაზს უსვამს რაოდენობრივი მონაცემების გამოყენებას რისკის ინდექსის განსაზღვრისას, რაც ჰაერის სხვადასხვა კომპონენტების, მათ შორის პარციალური წნევებისა და ტენიანობის მაჩვენებლების ინტეგრაციას მოითხოვს [53-55].

მოცემულ თავში აღწერილი პრობლემების მავნე გავლენის შესამცირებლად გამოსაყენებელია კოლექტიური დაცვის ობიექტური და სუბიექტური საშუალებები, რითაც სრულდება საერთაშორისო სტანდარტ ISO 45001-ის მოთხოვნები. კერძოდ, მოთხოვნა კოლექტიური დაცვის ღონისძიებებისა და საშუალებების პრიორიტეტულ-

ბის შესახებ. ობიექტური საშუალებებიდან მოცემული თავის კონტექსტში აღსანიშნავია: ვენტილაცია, კონდიციონერება, ჰაერის ფილტრაცია და მსგავსი ღონისძიებები, ხოლო სუბიექტური საშუალებებიდან — გამაფრთხილებელი ნიშნების გამოყენება, ინსტრუქტაჟის მხედველობაში მიღება, ჰიგიენური წესების დაცვა.

აღწერილი პრობლემების მავნე გავლენის შესამცირებლად მოცემული თავის კონტექსტში, აგრეთვე პერსონალის დასაცავად გამოსაყენებელია ინდივიდუალური დაცვის ობიექტური საშუალებები: რესპირატორები, დამცავი ნიღბები.

გლობალური ჩარჩოს განსაზღვრისას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის (WHO) რეკომენდაციებს, რომლებიც ხაზს უსვამენ ჰაერის ხარისხის კონტროლის აუცილებლობას როგორც ინდუსტრიულ, ისე სამედიცინო გარემოში, რათა შემცირდეს ინფექციების, ასფიქსიისა და ჯანმრთელობის დარღვევის სხვა რისკები.

მოცემული პარაგრაფი მკითხველს აძლევს სისტემურ ხედვას, რომ ჰაერის პარამეტრების კვლევა არა მხოლოდ თეორიული საკითხია, არამედ პირდაპირ უკავშირდება საერთაშორისო სტანდარტების მართებულ ინტერპრეტაციას და დაცვის საშუალებების სწორ გამოყენებას.

ISO კავშირი:

- **ISO 45001:** პრიორიტეტს ანიჭებს კოლექტიურ დამცავ ზომებს შრომის უსაფრთხოების სფეროში.
- **ISO 31000:** აერთიანებს ჰაერის პარამეტრების რაოდენობრივ მონაცემებს რისკების მართვაში.
- **ISO 14001:** აკავშირებს ჰაერის ხარისხის კონტროლს გარემოსდაცვით მდგრადობასთან.
- **ISO 10012:** უზრუნველყოფს დამცავ სისტემებში გამოყენებული მონიტორინგის ინსტრუმენტების სიზუსტეს.

3.14. კითხვები

გამეორებისათვის მოკლე პასუხებით

1. რა არის ატმოსფერული ჰაერი?

- ჰაერის აირისებრი გარსი, რომელიც გარს არტყავს დედამიწას და შედგება აირების ნარევისგან.

2. რომელი ძირითადი კომპონენტები ქმნიან ატმოსფერულ ჰაერს?

- აზოტი, ჟანგბადი, არგონი, ნახშირორჟანგი და სხვა მცირე მინარევები.

3. რა პროცენტითაა წარმოდგენილი აზოტი ჰაერში?

- დაახლოებით 78%.

4. რა პროცენტითაა წარმოდგენილი ჟანგბადი ჰაერში?

- დაახლოებით 21%.

5. რა არის პარციალური მოცულობა?

- ნარევის საერთო მოცულობაში კონკრეტული აირის მიერ დაკავებული ნაწილი.
- 6. მოკლედ განმარტეთ დალტონის კანონი.**
ნარევის საერთო წნევა ტოლია მისი კომპონენტების პარციალური წნევების ჯამისა.
 - 7. რა არის პარციალური წნევა?**
 - წნევა, რომელსაც კონკრეტული აირი განავითარებდა, თუ მარტო ის დაიკავებდა მთელ მოცულობას.
 - 8. რა არის კონცენტრაცია %-ში?**
 - კომპონენტის მოცულობის შეფარდება ნარევის საერთო მოცულობასთან $\times 100\%$.
 - 9. რა არის ppm?**
 - მემილიონედი ნაწილი, უგანზომილებო კონცენტრაციის საერთაშორისო ერთეული.
 - 10. რა არის ატმოსფერული წნევა?**
 - ჰაერის მასის დაწოლა დედამიწის ზედაპირზე.
 - 11. რას უდრის სტანდარტული ატმოსფერული წნევა?**
 - 100 კპა (1 ბარი).
 - 12. როგორ იცვლება ატმოსფერული წნევა სიმაღლის მატებით?**
 - სიმაღლის მატებით წნევა მცირდება.
 - 13. რა არის ფარდობითი ტენიანობა?**
 - წყლის ორთქლის ფაქტობრივი წნევის შეფარდება გაჯერებული ორთქლის წნევასთან $\times 100\%$.
 - 14. რა არის ჰაერის სიმკვრივე?**
 - მოცულობის ერთეულზე მოსული მასა (კგ/მ³).
 - 15. რა სიმბოლოთი აღინიშნება ჰაერის სიმკვრივე ვენტილაციაში?**
 - γ (გამოიყენება სხვა დარგებში ტრადიციულად მიღებული ρ -ის ნაცვლად).
 - 16. რა არის კუთრი მოცულობა?**
 - სიმკვრივის შებრუნებული სიდიდე, გამოიყენება თერმოდინამიკაში.
 - 17. რა არის მოცულობითი სიმკვრივე?**
 - არაერთგვაროვანი მასალის ერთეული მოცულობის მასა.
 - 18. რა არის ფარდობითი სიმკვრივე?**
 - კომპონენტის სიმკვრივის შეფარდება ჰაერის საშუალო სიმკვრივესთან.
 - 19. რა არის ჰაერის მინარევი?**
 - ადამიანის საქმიანობით ჰაერში შეტანილი ნივთიერება.
 - 20. რა განსხვავებაა კომპონენტსა და მინარევს შორის?**
 - კომპონენტი ბუნებრივად არსებობს, მინარევი ტექნოგენურად ჩნდება.
 - 21. რა არის MAC- Maximum available concentration?**
 - მაქსიმალურად დასაშვები კონცენტრაცია.
 - 22. რა არის ჰაერის მტვერი?**
 - მექანიკური მინარევი, რომელიც ამცირებს ჟანგბადის პარციალურ წნევას.
 - 23. სად არის ჰაერი უფრო სუფთა?**
 - ოკეანეების თავზე, განსაკუთრებით ცენტრალურ ნაწილში.

24. რა არის ოზონის როლი ატმოსფეროში?

- ფილტრავს ულტრაიისფერ გამოსხივებას.

25. რით არის გამოხატული ნახშირორჟანგის გავლენა?

- სათბურის ეფექტის გამოწვევით.

26. რიცხობრივად რამდენია ჰაერის მოლეკულური წონა?

- დაახლოებით 29.

27. რიცხობრივად რამდენია წყალბადის ფარდობითი სიმკვრივე ჰაერის მიმართ?

- დაახლოებით 0.074 (ჰაერზე მსუბუქია).

28. სად გროვდება წყალბადი ნაგებობაში?

- ზედა ნაწილში, თაღებთან.

29. რა არის ჰაერის ნორმირება?

- ჰაერის ხარისხის შეფასება და სტანდარტებთან შედარება.

30. რატომ არის ჰაერის კვლევა მნიშვნელოვანი პროფესიულ უსაფრთხოებაში?

- რადგან ჰაერის შემადგენლობა პირდაპირ მოქმედებს ჯანმრთელობასა და სამუშაო გარემოს უსაფრთხოებაზე.

4. სათავსოთა ბუნებრივი და ხელოვნური ვენტილაცია

4.1. გზამკვლევი მე-4 თავისათვის

სათავსოთა ბუნებრივი და ხელოვნური ვენტილაცია, რომელიც მე-4 თავში განიხილება, არა მხოლოდ ტექნიკური საკითხია, არამედ კვლევის ობიექტი, რომლის მიზანია სამუშაო გარემოს უსაფრთხო და ჯანმრთელობისთვის ხელსაყრელი პირობების უზრუნველყოფა. უფრო მეტიც, ვენტილაცია არის კვლევის მეთოდების პრაქტიკული დემონსტრაცია პროფესიულ უსაფრთხოებაში.

ნიშანდობლივია, რომ ვენტილაციის ეფექტიანობის შესაფასებლად გამოიყენება კვლევის მეთოდები:

- რაოდენობრივი – ფორმულები, გაანგარიშებები, ნორმატიული მონაცემები.
- ხარისხობრივი – სანიტარიულ-ჰიგიენური დაკვირვება და მონაცემები, გარემოს შეფასება.

შესაბამისად, ვენტილაცია არის პრაქტიკული მაგალითი იმისა, თუ როგორ მუშაობს კვლევის მეთოდოლოგია პროფესიულ უსაფრთხოებაში. ცხადია, რომ ჰაერცვლის ხერხების შესწავლა არის კვლევის მეთოდების გამოყენება რეალურ სამუშაო სივრცეში.

ვენტილაციის გაანგარიშების ფორმულები წარმოადგენენ რაოდენობრივი კვლევის გასაღებს – მეთოდებს, რომლებიც გამოიყენება რისკის შეფასებისთვის. ფორმულები (ჰაერის ხარჯი, სითბოს ასიმილაცია, ტენიანობა, მტვერი, ტოქსიკური მინარევები და სხვ.) უნდა განიმარტოს როგორც რაოდენობრივი კვლევის მეთოდები. ყოველი გაანგარიშება წარმოადგენს რისკის შეფასებას – რამდენად საკმარისია ჰაერის ცვლა, რომ მავნე ფაქტორები შემცირდეს დასაშვებ დონემდე. კვლევის პროცესში და გაანგარიშებების შედეგად მიღებული მონაცემები შედარებულია ნორმატიულ მოთხოვნებთან, რაც წარმოადგენს რისკის ინდექსის პრაქტიკული გამოყენების არსს. რაღა აღნიშვნა უნდა, ვენტილაციის ნორმირების საკითხები პირდაპირ კავშირშია კვლევის მეთოდებთან, ვინაიდან ნორმირება არის კვლევის შედეგების განშლა – მიღებული მონაცემების შედარება სანიტარიულ-ჰიგიენურ სტანდარტებთან. ეს პროცესი წარმოადგენს ხარისხობრივ კვლევას, რომელიც უზრუნველყოფს უსაფრთხოების ინდექსების შესაბამისობას ISO 45001 სტანდარტის მოთხოვნებთან.

ექსპერიმენტული და რიცხვითი კვლევის მეთოდებით შესაძლებელია ბუნებრივი და ხელოვნური წვევის ეფექტიანობის შედარება. მაგალითად, სიმკვრივის ცვალებადობაზე დაკვირვებით ან მატარებლის დგუშური ეფექტის რიცხვითი მოდელირებით სათანადო საწყისი და სასაზღვრო პირობების დაცვის გზით შესაძლებელია ბუნებრივი წვევის სიდიდისა და მიმართულების დადგენა რთული აეროდინამიკური პროცესების

მიმდინარეობისას. შესაძლებელია მექანიკური წევის ეფექტიანობის დადგენა – ვენტილატორის მიერ განვითარებული წნევის ექსპერიმენტული მონაცემებით. შესაძლებელია აგრეთვე ურთიერთსაპირისპირო მიმართულების ბუნებრივ და მექანიკურ წევათა ინტერპრეტაცია, მათი ალგებრულად შეკრება და სათანადო დასკვნების გაკეთება ნორმებთან შედარების გზით.

ხაზგასმით აღვნიშნავთ, რომ წინამდებარე ნაშრომის მე-4 თავი ჩაფიქრებულია წინა თავებთან ჰარმონიზებულიად და მათ უშუალო გაგრძელებად.

- 1 თავი – მეთოდოლოგია და ინდექსები,
- 2 თავი – ტრავმატიზმისა და დაავადებების კვლევა,
- 3 თავი – ჰაერის შედგენილობის კვლევა,
- 4 თავი – ვენტილაციის კვლევა, როგორც უსაფრთხოების უზრუნველყოფის პრაქტიკული მეთოდისა.

დაბოლოს, გვინდა ყურადღება გავამახვილოთ კვლევით და პედაგოგიურ ინტეგრაციაზე. კვლევითი ინტეგრაცია – თითოეული ტექნიკური პარამეტრი (წნევა, სიჩქარე, ტემპერატურა და ა.შ.) უნდა განიმარტოს როგორც კვლევის მონაცემი, რომელიც გამოიყენება რისკის ინდექსების შესაფასებლად. პედაგოგიური ინტეგრაცია – ეს დაწვრილებითი მონაცემები სტუდენტს აძლევს საშუალებას პრაქტიკულად გამოიყენოს კვლევის მეთოდები (გაანგარიშება, შედარება, ნორმირება და ა.შ.).

სახელმძღვანელოს მე-4 თავის დანართში მოცემულია ISO სტანდარტებზე დაფუძნებული 10 დამატებითი გასამეორებელი კითხვა მოკლე პასუხებით. ეს ბლოკი წარმოდგენილია ადგიერებს ინტერპრეტაციას და აჩვენებს, როგორ უკავშირდება ISO 31000 და ISO 45001 პრაქტიკულ კვლევას.

4.2. სათავსებში ჰაერცვლის შექმნის ხერხები

ჰაერცვლა ნიშნავს დახურულ სათავსში არსებული ჰაერის ნაწილობრივ ან სრულ შეცვლას ატმოსფერული ჰაერით, რაც უნდა შესრულდეს გარკვეული ჯერადობით. ასამოდრავებლად ჰაერს უნდა მიენიჭოს ენერგია, რომელიც შესაძლებელია მან მიიღოს ბუნებრივი ან ხელოვნური გზით. აღნიშნული ენერგია იხარჯება აეროდინამიკური წინაღობის გადალახვაზე, ანუ იმ წინაღობის გადალახვაზე, რომელიც ექმნება ჰაერს უძრავ ან მოძრავ ზედაპირებთან ხახუნისას ან სხვა ნაკადთან შერევისას მისი მოძრაობის გზაზე.

ბუნებრივი გზით ჰაერზე მინიჭებულ ენერგიას ბუნებრივი წევა ეწოდება, ხოლო ხელოვნურად მინიჭებულ ენერგიას მექანიკური წევა. ეს უკანასკნელი შესაძლებელია იყოს ატმოსფერულ წნევაზე მეტი ან ნაკლები. პირველ შემთხვევაში საქმე გვაქვს მომდენ ვენტილაციასთან, ხოლო მეორეში – გამწოვთან.

ბუნებრივი წევის მაგალითია ბუხარი, როცა საწვავი ანთების მომენტიდანვე გამოყოფს ცხელ აირებს, რომლებიც გაფართოებისა და ამის შედეგად, სიმკვრივის შემცირების გამო, ანუ გრავიტაციული ძალებით ბუნებრივად მიემართებიან ქვემოდან

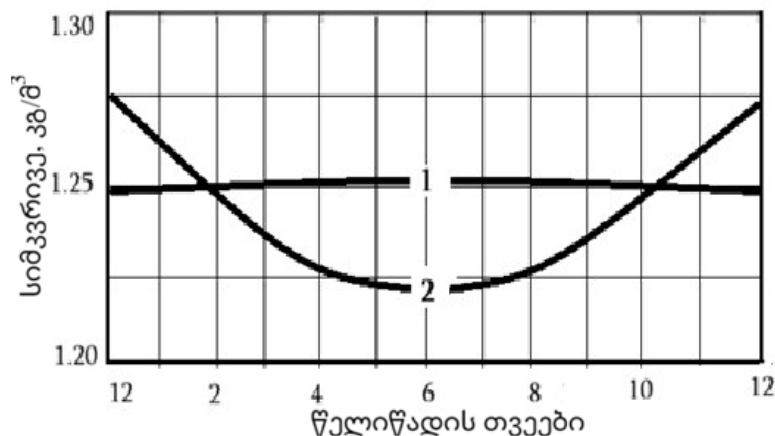
ზემოთ. მაშასადამე, თუ გვაქვს ცეცხლი, მას ბუნებრივადვე მოყვება სათანადო წევა. ბუნებრივი წევის მომდევნო მაგალითია მეტროს გვირაბში მოძრავი მატარებელი, რომელიც დგუშური ეფექტით მის წინ არსებულ ჰაერის მასას ანიჭებს მაღალ წნევას, ხოლო მიდევნებულ ნაკადს შეიწოვს გაიშვიათების ხარჯზე შექმნილი ნაკლები წნევის გამო. მაშასადამე, სახეზე თუ გვაქვს მოძრავი მატარებელი, მაშინ იგი ბუნებრივადვე აღძრავს სათანადო წევას. ეს უკანასკნელი შედარებით ძნელი გამოსათვლელია თეორიულად, ხოლო სიმკვრივის ცვალებადობით განპირობებული წევის გაანგარიშება შესაძლებელია ფორმულით:

$$h = (\gamma_1 - \gamma_2)gH. \quad (4.1)$$

სადაც h არის ბუნებრივი წევის ღებრესია, პა; γ_1, γ_2 – შესაბამისად, ჰაერის საშუალო სიმკვრივე ატმოსფეროში და ბუხრის საკვამურში, ნ/მ³; g – თავისუფლად ვარდნილი სხეულის აჩქარება, მ/წმ²; H – საკვამურის სიმაღლე, მ. დახრილი ჰაერსადენის შემთხვევაში H არის ვერტიკალური სიმაღლე.

ამ ფორმულით შესაძლებელია აგრეთვე გაანგარიშებული იქნეს სიმკვრივის ცვალებადობით აღძრული წევა ნებისმიერი მიწისქვეშა ან მიწისზედა ნაგებობისათვის, როცა ვიცით მასში მოძრავი და ატმოსფერული ჰაერის საშუალო სიმკვრივეები.

მიწისქვეშა ნაგებობის შემთხვევაში მასში მოძრავი ჰაერის საშუალო სიმკვრივე ნაკლებად განიცდის სეზონურ ცვალებადობას, ხოლო ატმოსფერული ჰაერის სიმკვრივე სეზონის შესაბამისად მკვეთრად განსხვავებულია. აღნიშნული ცვალებადობის პრინციპული ხასიათი წარმოდგენილია ნახ. 4.1-ზე.



ნახ. 4.1. ჰაერის საშუალო სიჩქარის ცვალებადობის ხასიათი:
1 - მიწისქვეშა ნაგებობა; 2 - ღია ატმოსფერო.

ნახ. 4.1-ის განმარტებითი შენიშვნები:

- **ზაფხული** — ატმოსფერული ჰაერის სიმკვრივე ნაკლებია მიწის ქვეშ იმავე სიდიდეზე → ნაკადი ზემოთ.
- **ზამთარი** — ატმოსფერული ჰაერის სიმკვრივე მეტია მიწის ქვეშ იმავე სიდიდეზე → ნაკადი ქვემოთ.
- **გარდამავალი პერიოდები** — სიმკვრივეები თანაბარია → ნაკადი არ აღიძვრება, ან შედარებით ნაკლები სიდიდისაა.

- **დღიური ციკლი** — ცვლილებები მცირე ამპლიტუდით, ნაკადის მიმართულება ოდნავ იცვლება.

ნახაზიდან ჩანს, რომ ზაფხულის თვეებში ატმოსფერული ჰაერის სიმკვრივე ნაკლებია მიწისქვეშა ნაგებობის სავენტილაციო ჰაერის სიმკვრივეზე, ხოლო წელიწადის ცივ სეზონში – პირიქით. აღნიშნულის გამო ბუნებრივი წევა სეზონის მიხედვით იცვლის მოძრაობის მიმართულებას. შესაბამისად, გარდამავალ პერიოდში ჰაერის მოძრაობა არ ხდება, რადგან სიმკვრივეთა სხვაობა ნულის ტოლია. ანალოგიურად ხდება ჰაერის სიმკვრივეთა ცვალებადობა დღე-ღამის განმავლობაშიც, ოდონდ უფრო ნაკლები ამპლიტუდით.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, ცხადია, რომ ბუნებრივი წევით განპირობებული ვენტილაციის ორგანიზებული მართვა შეუძლებელია ყოველთვის და უტყუარი მართვა შესაძლებელია მხოლოდ ხელოვნური ვენტილაციის შემთხვევაში.

მაშასადამე, სათავსებში ჰაერცვლა შესაძლებელია გამოვიწვიოთ ბუნებრივი ან ხელოვნური წევის ხარჯზე.

შედარებით ნაკლები ინტენსიურობის არაორგანიზებული ჰაერცვლის გამოწვევა შესაძლებელია შენობაში არსებული ფანჯრების გაღებით, რასაც აერაცია ეწოდება, და შენობის გადამღობი კონსტრუქციების ღიობებისა და ღრეჩოების მეშვეობით, რასაც ჰაერის ინფილტრაცია ეწოდება.

ატმოსფერულზე ჭარბ წნევას მომდენი ვენტილაციის შემთხვევაში ტრადიციულად კომპრესია ეწოდებოდა, ხოლო ატმოსფერულზე ნაკლებ წევას გამწოვი ვენტილაციის დროს – დეპრესია. თანამედროვე ტერმინოლოგიით ორივე მათგანის აღსანიშნავად ისე, როგორც ბუნებრივი წევის შემთხვევაში, დეპრესია გამოიყენება. მაშასადამე, ბუნებრივი წევის დეპრესია ნიშნავს, წნევის ერთეულით (მაგალითად, პასკალით) გაზომილ, ჰაერის ნაკადზე ბუნებრივად მინიჭებულ წნევას, ხოლო მექანიკური წევის დეპრესია ნიშნავს ვენტილატორის მეშვეობით ჰაერის ნაკადზე მინიჭებულ, ატმოსფერულთან შედარებით ჭარბ ან ნაკლებ წნევას [56-60].

ვენტილატორის მიერ განვითარებული წნევა, ანუ ვენტილატორის დეპრესია ყველაზე მძლავრი ნიმუშისათვის, რომლის მწარმოებლურობა არის 1000 მ³/წმ, დიამეტრი – 5 მ, შეადგენს 100 კპა, ანუ დაახლოებით უტოლდება ატმოსფერულ წნევას (101,325 კპა). აღნიშნული წევის შესაფასებლად უნდა აღინიშნოს, რომ ასეთ ვენტილატორებს უკეთებენ ლითონის ცხაურებს ნაკადის მიერ ადამიანების შეტაცების გამოსარიცხად. ასეთ ვენტილატორებს ამზადებს ფირმა “ფლაკტუდი”, რომელმაც სპეციალურად დაამზადა ვენტილატორები ლა-მანშის გვირაბის გასანიავებლად, რომელთა დიამეტრია 4 მ, სტატიკური წნევა – დაახლოებით 3 კპა, მწარმოებლურობა 300 მ³/წმ, სიმძლავრე 900 კვტ.

ნებისმიერი ჰაერსადენის აეროდინამიკური წინაღობის გადასალახავად დასახარჯ ენერგიასაც ანალოგიური სახელი – ჰაერსადენის დეპრესია ეწოდება.

მაშასადამე, ბუნებრივი წევის ან ვენტილატორის დეპრესია არის ჰაერის ნაკადზე ბუნებრივად ან ვენტილატორით მინიჭებულ წევა. ხოლო ჰაერსადენის და სხვა მსგავსთა დეპრესიაა მისი აეროდინამიკური წინაღობის გადასალახავად დასახარჯი წნევა.

ვენტილაციის გაანგარიშების არსია ბუნებრივი წევის საკმარისობის დასაბუთება მოცემული სათავსის ვენტილაციის მიზნებისათვის ან სათანადო სიმძლავრის ვენტილატორის შერჩევა, რომელსაც შესაძლებლობა ექნება გადალახოს ჰაერსაღებოთა ერთობლიობის, ანუ სავენტილაციო ქსელის აეროდინამიკური წინაღობით განპირობებული დეპრესია. რაღა აღნიშვნა უნდა, ბუნებრივი წევის საკმარისობა აგრეთვე ნიშნავს სათავსის აეროდინამიკური წინაღობის დაძლევის ბუნებრივი წევის მიერ. მოცემული პარაგრაფის მასალას შეესაბამება საერთაშორისო სტანდარტები ISO 31000 და ISO 45001.

4.3. ვენტილაციის გაანგარიშება

ჰაერის ხარჯის დადგენა ხდება ჰაერცვლის ჯერადობის დადგენილი ნორმების შესაბამისად, რომელიც განსხვავებულია სათავსის დანიშნულების ან მასში მიმდინარე ტექნოლოგიური პროცესის მიხედვით.

ჰაერცვლის ჯერადობა უჩვენებს, თუ სათავსის ჰაერის მთლიანი მოცულობა 1 სთ-ის განმავლობაში რამდენჯერ შეიცვლება ახალი სავენტილაციო ჰაერით. მნიშვნელოვანი მახასიათებლები ვენტილაციისათვის არის როგორც ჰაერის ხარჯი, ისე მისი სიჩქარე და ჰაერცვლის ჯერადობა. მაგალითად, თუ ჰაერცვლის ჯერადობა 3-ის ტოლია ეს ნიშნავს, რომ 1 სთ-ის განმავლობაში სათავსოს ჰაერი 3-ჯერ შეიცვლება. ჰაერცვლის ჯერადობა დამოკიდებულია აგრეთვე სათავსოს საერთო მოცულობაზე, მასში მომუშავეთა რაოდენობაზე და ტექნოლოგიური პროცესის შედეგად გამოყოფილ ჰაერის მავნე მინარევებზე.

სათავსებში, რომლებშიც 1 მუშაზე მოდის სათავსის 20 მ³ მოცულობა, ზამთარში და წლის გარდამავალ პერიოდში გათვალისწინებული უნდა იქნეს გარე ჰაერის მოდინება მინიმუმ 30 მ³/სთ ყოველ მომუშავეზე. ისეთ სათავსებში კი, სადაც 1 მუშაზე მოდის 20-40 მ³ მოცულობა – მინიმუმ 20 მ³/სთ ყოველ მომუშავეზე. ამასთანავე წლის ყველა პერიოდში დასაშვებია ჰაერის რეცირკულაცია.

ჰაერის რეცირკულაცია არის სათავსიდან ამოწოვილი ჰაერის ხელმეორედ მასში შებრუნება სათბობის დაზოგვის მიზნით. რეცირკულაციას ძირითადად მიმართავენ წლის ცივ პერიოდში ისეთ სათავსებში, სადაც ჰაერი მავნე მინარევებით არ ბინძურდება.

ჰაერის ხარჯის გაანგარიშება ხდება ჭარბი სითბოს, ტენიანობის ასიმილაციის, აგრეთვე მტვრისა და ტოქსიკური მინარევების უსაფრთხო კონცენტრაციამდე დაყვანის პირობიდან გამომდინარე. შემდეგი ანგარიშისათვის იყენებენ ჰაერის ხარჯის იმ მნიშვნელობას, რომელსაც რიცხობრივად ყველაზე მეტი სიდიდე აქვს. ჭარბი სითბოს გასაანგარიშებელ ფორმულებში გამოიყენება ჰაერის მასური ხარჯი, რომელიც იანგარიშება ფორმულით:

$$G = Q\gamma, \quad (4.2)$$

სადაც G არის ჰაერის მასური ხარჯი, კგ/წმ; Q – ჰაერის საშუალო სიმკვრივე, კგ/მ³, $\gamma = 1,25$ კგ/მ³.

ჭარბი სითბოს შემთხვევაში ჰაერის ხარჯი იანგარიშება ფორმულით:

$$G = \frac{q_t}{c_p(t_2 - t_1)}, \quad (4.3)$$

სადაც q_t არის სათავსში გამოყოფილი ჭარბი სითბოს რაოდენობა, კვტ; c_p – ჰაერის თბოტევადობა მუდმივი წნევისას, კჯ/(კგ.გრად); t_1 , t_2 – შესაბამისად, სათავსში მიწოდებული და მისგან ამოწოვილი ჰაერის ტემპერატურა, °C .

მავნე აირების გამოყოფის შემთხვევაში ჰაერის ხარჯი იანგარიშება ფორმულით:

$$Q = \frac{m}{x_2 - x_1}, \quad (4.4)$$

სადაც Q არის ჰაერის მოცულობითი ხარჯი, მ³/წმ; m – სათავსში დროის ერთეულში გამოყოფილი მავნე აირების მასა, მგ/წმ; x_1 , x_2 – შესაბამისად, აირების კონცენტრაცია ატმოსფერულ ჰაერში და სათავსის ჰაერში აირების დასაშვები კონცენტრაცია მგ/მ³.

4.1 და 4.2 ცხრილებში შესაბამისად მოცემულია ადამიანის მიერ სხვადასხვა პირობებში გამოყოფილი ნახშირორჟანგის (ნახშირბადის დიოქსიდის) რაოდენობა და ნახშირორჟანგის შემცველობის დასაშვები სიდიდეები სხვადასხვა დანიშნულების სათავსებში.

ცხრილი 4.1

ადამიანის მიერ სხვადასხვა პირობებში გამოყოფილი ნახშირორჟანგის რაოდენობა

ადამიანის ასაკი და შესრულებული სამუშაოს სახეობა	გამოყოფილი ნახშირორჟანგი	
	ლ/სთ	გ/სთ
ფიზიკური მუშაობა	45	68
შედარებით ნაკლები დატვირთვით მუშაობა დაწესებულებაში	23	35
დასვენების პირობებში	23	35
12 წლამდე ბავშვი	12	18

ცხრილი 4.1-ის განმარტებითი შენიშვნები:

- **ფიზიკური მუშაობა** — CO₂-ის ყველაზე მაღალი გამოყოფა (45-68 ლ/სთ), საჭიროებს ძლიერ ვენტილაციას უსაფრთხო ჰაერის გარემოს შექმნისათვის.
- **ზომიერი მუშაობა დაწესებულებებში** — საშუალო გამოყოფა (23-35 ლ/სთ), ვენტილაცია უნდა ბალანსირებდეს კომფორტსა და უსაფრთხოებას შორის.
- **დასვენებისას** — გამოყოფა მსგავსია ზომიერ მუშაობასთან (23-35 ლ/სთ), მაგრამ ხანგრძლივი ყოფნა მაინც მოითხოვს საკმარის ჰაერის გაცვლას.
- **12 წლამდე ბავშვი** — ყველაზე დაბალი გამოყოფა (12-18 ლ/სთ), თუმცა ჯანმრთელობის მგრძნობელობა მოითხოვს სიფრთხილეს ვენტილაციის დროს.

ცხრილი 4.2

ნახშირორჟანგის (ნახშირბადის დიოქსიდის) შემცველობის დასაშვები სიდიდეები სათავსებში

სათავსის დასახელება	ნახშირორჟანგის რაოდენობა		ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა, %
	ლ/სთ	გ/სთ	
საცხოვრებელი ბინა	1,0	1,5	30 - 60

ბავშვების ოთახი და საავადმყოფო	0,7	1,0	30 - 60
ადამიანთა პერიოდული სამყოფელი (დაწესებულება)	1,25	1,75	30 - 60
ადამიანთა ხანმოკლე სამყოფელი	2	3	> 95

ცხრილი 4.2-ის განმარტებითი შენიშვნები:

- **საცხოვრებელი ბინა** — CO_2 -ის ყველაზე დაბალი ნორმა (1,0 ლ/სთ, 1,5 გ/სთ), უზრუნველყოფს კომფორტსა და ჯანმრთელ გარემოს.
- **ბავშვთა ოთახი და საავადმყოფო** — უფრო მკაცრი ნორმა (0,7 ლ/სთ, 1,0 გ/სთ), რაც ასახავს ბინადართა მაღალ მგრძნობელობას.
- **დროებითი ყოფნის ადგილი (დაწესებულება)** — საშუალო ნორმა (1,25 ლ/სთ, 1,75 გ/სთ), შესაფერისია ოფისებისა და საკლასო ოთახებისთვის.
- **მოკლევადიანი ყოფნა** — CO_2 -ის ყველაზე მაღალი ნორმა (2,0 ლ/სთ, 3,0 გ/სთ), დასაშვებია მხოლოდ ხანმოკლე ყოფნისას.

ჭარბი ტენის შემთხვევაში ჰაერის ხარჯი იანგარიშება ფორმულით:

$$G = \frac{q_m}{d_2 - d_1}, \quad (4.5)$$

სადაც G არის ჰაერის მასური ხარჯი, კგ/წმ; q_m – სათავსში დროის ერთეულში გამოყოფილი წყლის ორთქლის მასა, მგ/წმ; d_1, d_2 – შესაბამისად, ატმოსფერული და სათავსოდან ამოწოვილი ჰაერის ტენშემცველობა, მგ/კგ. აქ კგ-ობით გაზომილია ჰაერის მშრალი ნაწილის მასა, ხოლო მგ-ობით, ტენის მასა. შესაძლებელია ორივე მათგანი გაზომილი იქნეს კგ-ობით. ასეთ შემთხვევაში d_1 და d_2 უგანზომილებო სიდიდეა, რომელსაც უფრო ნაკლები რიცხვითი სიდიდე ექნება პირველ შემთხვევასთან შედარებით.

მტვრის შემთხვევაში ჰაერის ხარჯი იანგარიშება ფორმულით:

$$G = \frac{g_1}{s_2 - s_1}, \quad (4.6)$$

სადაც G არის ჰაერის მასური ხარჯი, კგ/წმ; g_1 – სათავსში დროის ერთეულში გამოყოფილი მტვრის მასა, მგ/წმ; s_1, s_2 – შესაბამისად, სათავსის ჰაერში მტვრის დასაშვები და ატმოსფერულ ჰაერში მტვრის არსებული კონცენტრაცია, მგ/მ³.

როგორც აღინიშნა, მიღებული სიდიდეებიდან შემდეგი გაანგარიშებისათვის ტოვებენ იმ სიდიდეს, რომელსაც ჰაერცვლის მეტი ჯერადობა ესაჭიროება. ამ უკანასკნელის მიხედვით ანგარიშობენ სავენტილაციო ქსელის დეპრესიას შემდეგი ფორმულით:

$$h = RQ^2, \quad (4.7)$$

სადაც h არის სავენტილაციო ქსელის დეპრესია, პა; R – ქსელის აეროდინამიკური წინაღობა, ნ.წმ²/მ⁸; Q – ჰაერის ხარჯი, მ³/წმ.

სავენტილაციო ქსელის აეროდინამიკური წინაღობა განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$R = \frac{\alpha PL}{S^3}, \quad (4.8)$$

სადაც α არის აეროდინამიკური წინაღობის კოეფიციენტი, ნ.წმ²/მ⁴; P – ჰაერსადენის პერიმეტრი, მ; L – ჰაერსადენის სიგრძე, მ; S – ჰაერსადენის განივი კვეთის ფართობი, მ².

ვენტილატორის შესარჩევად (4.7) ფორმულით მიღებულ სიდიდეს უნდა დაემატოს ადგილობრივი და შუბლური წინაღობების გადასალახავად საჭირო დეპრესიები, რომელთა საანგარიშო ფორმულები ქვემოთ იქნება მოცემული და მიღებული სიდიდე უნდა გაიზარდოს 10%-ით. ასეთნაირად შერჩეული ვენტილატორი ქსელში იმუშავებს შეფერხებების გარეშე. მოცემული პარაგრაფის მასალას შეესაბამება საერთაშორისო სტანდარტები ISO 31000 და ISO 45001.

4.4. ვენტილაციის ნორმირება

ადამიანი სიცოცხლის უმეტეს ნაწილს სათავსში ატარებს, ამიტომ მისი ჯანმრთელობის, ენერგიის აღდგენისა და კარგი შრომისუნარიანობისათვის საჭიროა სათავსის ჰაერი აკმაყოფილებდეს განსაზღვრულ სანიტარიულ-ჰიგიენურ მოთხოვნებს. აღნიშნული მოთხოვნების უზრუნველყოფა ძირითადად ხდება ვენტილაციის გზით, რომელთანაც, როგორც აღინიშნა წინა თავში, შესაძლებელია შეთავსებულ იქნეს საკონდიციონერო (ჰაერის გასათბობი ან გასაგრილებელი, საფილტრი, დასატენიანებელი, საშრობი, საიონიზაციო) მოწყობილობები ან დანადგარები.

საკონდიციონერო მოწყობილობების დანიშნულებაა წლის პერიოდის მიხედვით სათავსოში უზრუნველყოს ჰაერის ისეთი ტემპერატურა, რომელიც მიზანშეწონილი იქნება შრომისა და დასვენებისათვის. საფილტრი მოწყობილობის დანიშნულებაა სათავსოში მიაწოდოს მტვრისაგან გასუფთავებული ჰაერი. შესაძლებელია საქმე გვექნეს საპირისპირო შემთხვევასთანაც, როცა სათავსოდან გაწოვილ ჰაერს ასუფთავებენ მტვრისაგან ატმოსფეროს დაბინძურების აცილების მიზნით. ჰაერის დატენიანება-გაშრობა შესაძლებელია განპირობებული იქნეს კომფორტის პირობებიდან გამომდინარე ან სათავსოში შესასრულებელი ტენოლოგიური პროცესის ხასიათით და ა.შ. ყველა შემთხვევაში სათავსოში სუფთა ჰაერის მიწოდება და სასუნთქად უვარგისი ჰაერის ატმოსფეროში განდევნა ხდება ვენტილაციის მეშვეობით.

თვით ჰაერს სუნი არა აქვს, მაგრამ სხვადასხვა მინარევები მას აძლევენ სასიამოვნო ან არასასიამოვნო არომატს. როდესაც ჰაერს აქვს არასასიამოვნო სუნი, თუნდაც უვნებელი (არატოქსიკური) აირისაგან გამოწვეული, ნორმალური სუნთქვა ირღვევა, ადამიანი იწყებს ზერელე, ხშირ სუნთქვას, რის შედეგადაც ორგანიზმი დებულობს ჟანგბადის ნაკლებ რაოდენობას, რაც იწვევს ორგანიზმის ფიზიოლოგიური პროცესების დარღვევას. ამ არასასურველი ფაქტორის ხანგრძლივი ზემოქმედებით ადამიანის ჯანმრთელობა უარესდება, ხოლო შრომის უნარიანობა მცირდება.

შენობებში ვენტილაციისა და კონდიციონირების (კერძოდ, გათბობის) სისტემების მოწყობა საჭიროა არა მხოლოდ ადამიანის ჯანმრთელობის დაცვის თვალსაზრისით,

არამედ სამშენებლო კონსტრუქციების ხანმედგობის შენარჩუნების მიზნითაც. ცნობილია, რომ ის შენობები და ნაგებობები, რომლებსაც ცუდი გათბობა და ვენტილაცია აქვთ, სამშენებლო კონსტრუქციების დატენიანების, გაყინვისა და ამ უკანასკნელით გამოწვეული დაბრეცის გამო ადრე გამოდის მწყობრიდან.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, ვენტილაციის სისტემებს სპეციალური მოთხოვნებს უყენებენ, რომლებიც მოცემულია დარგობრივ ნორმებში და მათზე ყურადღებას აქ არ გავამახვილებთ ადვილად მისახვედრი მიზეზის — მათი მრავალფეროვნების გამო. აღვნიშნავთ მხოლოდ, რომ ხის, ქაღალდის დასამუშავებელი, საფეიქრო, ლითონდასამუშავებელი, პოლიგრაფიული, კვების მრეწველობის, ელექტროგენერაციისა და სხვა საწარმოთა სათავსებში სავენტილაციო ჰაერს სულ სხვადასხვაგვარი მოთხოვნები აქვთ წაყენებული ტექნოლოგიებისა და დარგის სპეციფიკის გათვალისწინებით. ამასთან ერთად მხედველობაშია მისაღები, რომ საზოგადოებრივი დანიშნულების ისეთ ნაგებობებში, როგორიცაა მუზეუმი, სამხატვრო გალერეა, არქივი, წიგნსაცავი და ა.შ., მხატვრული, კულტურული და ისტორიული განძეულობების დაცვა და შენახვა შესაძლებელია მხოლოდ ჰაერის განსაზღვრული ტემპერატურისა და ტენიანობის პირობებში, რომელიც ანალოგიურადაა ნორმირებული და მოცემული ტექნიკური რეგლამენტაციის სათანადო ნორმაში. მოცემული პარაგრაფის მასალას შეესაბამება საერთაშორისო სტანდარტები ISO 31000 და ISO 45001.

4.5. ჰაერის სტატიკური, დინამიკური და მთლიანი წნევა ქსელებში

ჰაერსადენთა ქსელებში განასხვავებენ სტატიკურ, დინამიკურ და მთლიან წნევას.

1. სტატიკური წნევა მოქმედებს ჰაერსადენის კედლებზე. იგი გვიჩვენებს, თუ შიდა წნევა რა სიდიდითაა მეტი ან ნაკლები ატმოსფერულ წნევაზე. როდესაც შიდა წნევა მეტია ატმოსფერულზე, მას დადებითი მნიშვნელობა აქვს, ხოლო როცა ნაკლებია — უარყოფითი.

ჰაერსადენის კედლის იმ ნაწილში, სადაც წნევას დადებითი მნიშვნელობა აქვს თუ გავაკეთებთ ნახვრეტს, მაშინ ჰაერი ატმოსფეროში გამოდინებას დაიწყებს. თუ იმ ნაწილში გაკეთდება ნახვრეტი, სადაც წნევას უარყოფითი მნიშვნელობა აქვს, მაშინ ჰაერსადენში ატმოსფეროდან ჰაერის შეწოვა მოხდება.

როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი სტატიკური წნევა შესაძლებელია აგრეთვე შეიქმნას სათავსოში. დადებითი სტატიკური წნევის მისაღებად საჭიროა სათავსოში ჰაერის დაჭირხვნა, ხოლო უარყოფითის მისაღებად აუცილებელია მისგან ჰაერის ამოწოვა.

2. სტატიკურისაგან განსხვავებით, დინამიკური წნევა მხოლოდ მოძრავ ჰაერს ახასიათებს და ამ დროს განვითარებული წნევა სიჩქარის კვადრატის პროპორციულია. დინამიკური წნევა ყოველთვის დადებითია. იგი მოქმედებს ნებისმიერ სიბრტყეზე, რომელიც მოძრავი ნაკადის მიმართ რაიმე კუთხითაა განლაგებული. ნაკადის

ტრაექტორიის პარალელურ სიბრტყეზე დინამიკური წნევა 0-ის ტოლია, ხოლო მაქსიმალური მნიშვნელობა აქვს მართობულ სიბრტყეში.

3. სტატიკური და დინამიკური წნევების ჯამს საერთო ან მთლიანი წნევა ეწოდება. მთლიანი წნევა გამოხატავს 1 მ^3 მოძრავი ჰაერის ენერგიის მთლიან მარაგს, რომელიც შესაძლებელია მან მიიღოს ბუნებრივი წვევის ან ვენტილატორის გავლენით.

ნახ. 4.2-ზე მოცემულია ჰაერსადენის მონაკვეთი, რომელშიც მოძრაობს ვენტილატორის მიერ მიწოდებული ჰაერი (ისრის მიმართულებით). ჰაერის მოძრაობა განპირობებულია ატმოსფერულთან შედარებით ჭარბი წნევით, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით:

$$\Delta p = p_1 - P_A, \quad (4.9)$$

სადაც Δp არის ჭარბი წნევა, პა; p_1 — ჰაერის წნევა ჰაერსადენში; P_A — ატმოსფერული წნევა.

ჭარბი წნევა იმდენად უმნიშვნელო სიდიდეა ჰაერსადენში, რომ ჩვეულებრივი მანომეტრით მისი გაზომვა შეუძლებელია. ამიტომ ასეთი წნევის გასაზომად გამოიყენება მსუბუქი სითხეებით (წყლით ან სპირტით) ავსებული მანომეტრი, რომელსაც დეპრესიომეტრი ან მიკრომანომეტრი ეწოდება.

ასეთი დეპრესიომეტრის უმარტივესი სახე, რომელიც არის წყლით ავსებული U - სებრი მინის მილაკი, წარმოდგენილია აღნიშნულ ნახაზზე.

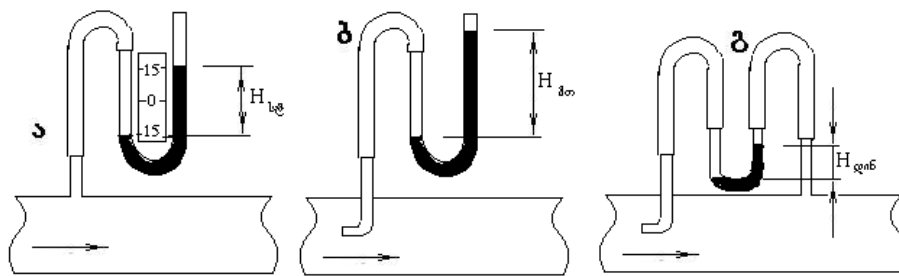
ნახ. 4.2ა-ზე ნაჩვენებია სტატიკური წნევის გაზომვის წესი. დეპრესიომეტრის ერთი ბოლო მიერთებულია ჰაერსადენთან ისე, რომ მასზე დინამიკური წნევა არ მოქმედებს. მილის ღია ბოლოს ჰაერის ნაკადი კი არ უჯახება ამ შემთხვევაში, არამედ გვერდს აუვლის, რადგან მოძრაობს მის პარალელურ სიბრტყეზე. შესაბამისად, U -სებრი მანომეტრის მუხლებში დანაყოფთა სხვაობა აჩვენებს სტატიკურ წნევას მოცემულ ჰაერსადენში. ნახაზზე ნაჩვენები დანაყოფთა სხვაობა უჩვენებს ატმოსფერულთან შედარებით ჭარბ წნევას (რადგან მანომეტრის მარჯვენა მუხლი ატმოსფეროს უკავშირდება). ატმოსფერულზე ნაკლები წნევის შემთხვევაში მარჯვენა მუხლში სითხის დონე იქნებოდა უფრო ქვემოთ მარცხენა მუხლთან შედარებით. ნახ. 4.2ა-ზე ნაჩვენებია აგრეთვე სკალა, რომლის დანაყოფის ფასი არის 1 მმ. თუ მანომეტრში ჩასხმულია წყალი, ამ ნახაზზე ნაჩვენები სტატიკური წნევაა $15+15 = 30$ მმ, ანუ წყლის სვეტის 30 მმ. წნევის ანათვალი ყოველთვის ანალოგიურად უნდა იქნეს აღებული, ანუ უნდა შეიკრიბოს მარცხენა და მარჯვენა მუხლების მაჩვენებლები.

ვენტილაციაში, კერძოდ კი დეპრესიათა გაზომვაში, ისეთ წნევებთან გვაქვს საქმე, რომ ვერცხლისწყლის მილიმეტრი, რომლითაც მიღებულია ატმოსფერული და უფრო მაღალი წნევების გაზომვა ტექნიკურ სისტემაში, ძალიან მსხვილი ზომსადარია და ამიტომ შემოღებულია წნევის სიდიდის შეფასება უფრო მცირე ზომის ერთეულით — წყლის სვეტის მილიმეტრებით. საერთაშორისო სისტემის ერთეული პასკალი კიდევ უფრო მცირე სიდიდეა და ამის გამო მოსახერხებელია აღნიშნული მიზნებისათვის.

წნევის ერთეულთა შორის შემდეგი თანაფარდობაა: $1 \text{ მმ წყ სვ} = 1 \text{ კგ/მ}^2 = 9,8 \text{ პა}$. აქ გათვალისწინებულია, რომ $1 \text{ კგ} = 9,8 \text{ ნ.მ/წმ}^2$.

მთლიანი წნევა, რომელიც არის სტატიკურ და დინამიკურ წნევათა ჯამი, იზომება იმ შემთხვევაში, თუ მილის ღია ბოლო მოთავსებულია ჰაერის ნაკადის შემხვედრად (ნახ.

4.2.ბ). ამ შემთხვევაში სითხის მარცხენა სვეტს გადაეცემა ჰაერსადენის მთლიანი წნევა და მუხლებში სითხის დონეთა სხვაობა მის სიდიდეს გვიჩვენებს.



ნახ. 4.2. სტატიკური, დინამიკური და მთლიანი წნევის განსაზღვრისათვის ჰაერსატარში.

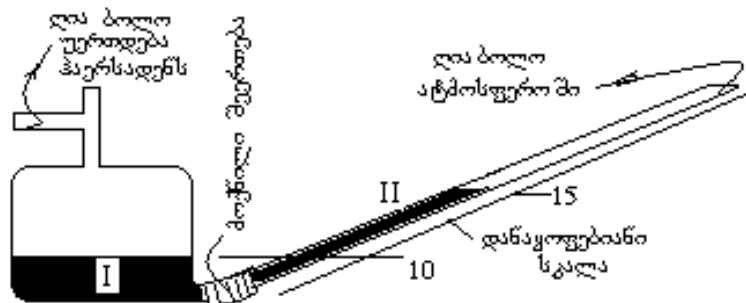
როგორც ვიცით, დინამიკური წნევა მთლიანი და სტატიკური წნევების სხვაობის ტოლია. ამ სხვაობის გასაზომად საჭიროა ორი მილაკის გამოყენება U -სებრ მანომეტრთან ერთად, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ. 4.2-ზე. მარცხენა მილაკი ღებულობს მთლიან წნევას, რომლის სტატიკური მდგენელი ბათილდება მარჯვენა მილაკის მეშვეობით ისე, რომ მანომეტრის მუხლებში დონეთა სხვაობა გვიჩვენებს დინამიკური წნევის სიდიდეს. ნახ. 4.2-ზე ნაჩვენებ ყველა დეპრესიომეტრს, რაღა აღნიშვნა უნდა, პრაქტიკული გამოყენების მიზნით უნდა ექნეს მილიმეტრებიანი დანაყოფები და ასეთ შემთხვევაში აღებული ანათვალის იქნება წყლის სვეტის 1 მმ-ის, ანუ 9,8 პასკალის სიზუსტით.

10-ჯერ უფრო მეტი სიზუსტის მიღწევა შესაძლებელია იმ შემთხვევაში, თუ ერთი მუხლი მეორის მიმართ დახრილი იქნება თანაფარდობით 1:10. ამ შემთხვევაში ვერტიკალური მუხლის ზედაპირის ფართობი უნდა იყოს გაცილებით დიდი დახრილ მილთან შედარებით და წნევათა სხვაობის ათვლა მოხდება მხოლოდ დახრილი მილის მაჩვენებლის მიხედვით. დიამეტრთა მისაღები თანაფარდობაა 35:1, ანუ თუ ვერტიკალური მუხლის დიამეტრია 70 მმ, დახრილი მუხლის დიამეტრი უნდა იყოს 2 მმ. ეს უკანასკნელი სიდიდე პრაქტიკულად გამოცდილი და მისაღებია. აღნიშნული მიკრომანომეტრი წარმოდგენილია ნახ. 4.3-ზე, რომლის დამზადება სირთულეს არ წარმოადგენს, სკალისათვის შესაძლებელია ხის სახაზავის გამოყენება, რომელზედაც დამაგრებული მინის მილი ადვილად აღარ გამოვა მწყობრიდან. აქვე ისიც აღვნიშნოთ, რომ ნახ. 4.2-ზე გამოსახული დეპრესიომეტრიც ადვილი დასამზადებელია და ამისათვის საკმარისია 2 ცალი მინის სწორი მილი, რომლებიც დამაგრდება ხის სახაზავზე, ხოლო მოხრილი შეერთება შესაძლებელია განხორციელდეს რეზინის ან სხვა მოქნილი მილით.

ნახაზზე გამოსახულ მიკრომანომეტრის ჩვენებაა წყლის სვეტის 5 მმ (სკალაზე 0 ნაჩვენებია არაა, რადგან ყველა შემთხვევაში უნდა მოხდეს დონეთა სხვაობის მიხედვით ანათვლის აღება). დიდ ჭურჭელში დონის მაჩვენებელია დანაყოფი 10, ხოლო მილში სითხის დონის მაჩვენებელია დანაყოფი 15. ნახაზზე ვერტიკალურ 1 მმ-ს შეესაბამება დახრილ მუხლში 10 მმ, ანუ გაზომვის სიზუსტე ამ შემთხვევაში იქნება 0,1 მმ.

თუ წყლის მაგივრად მუშა სითხე იქნება სპირტი, მაშინ ანათვალის უნდა გამრავლდეს სპირტის სიმკვრივეზე (0,8 კგ/ლ) და შესაბამისად, უფრო მაღალი იქნება გაზომვის სიზუსტე.

კიდევ უფრო მაღალი (0,665 პა) სიზუსტე აქვს M111 ტიპის მიკრომანომეტრს, რომელიც წნევის ცვალებადობას აფიქსირებს ანეროიდული კოლოფების მეშვეობით, ხოლო ანათვლის აღება ხორციელდება ხელსაწყოს კომპლექტში შემავალი ლუპის მეშვეობით. ანათვლების აღების წესი და ხელსაწყოთი სარგებლობა მოცემულია ხელსაწყოს პასპორტში.



ნახ. 4.3. მიკრომანომეტრის პრინციპული სქემა: I - 70 მმ დიამეტრის ვერტიკალური მუხლი; II - 2 მმ დიამეტრის დახრილი მილი.

თუ სტატიკურ წნევას აღვნიშნავთ $H_{სტ}$ სიმბოლოთი, დინამიკურს $H_{დ}$ სიმბოლოთი, ხოლო ჭარბს, ანუ მთლიან წნევას აღვნიშნავთ $H_{მთ}$ სიმბოლოთი, მაშინ განმარტების თანახმად შეგვიძლია დავწეროთ:

$$H_{მთ} = H_{სტ} + H_{დ}, \quad (4.10)$$

როცა ცნობილია ჰაერის მოძრაობის სიჩქარე, მაშინ შესაძლებელია გამოთვლილი იქნეს დინამიკური წნევის რიცხვითი სიდიდე შემდეგი ფორმულით:

$$H_{დ} = \gamma \frac{V^2}{2}, \quad (4.11)$$

სადაც $H_{დ}$ არის დინამიკური წნევა, პა; V — ჰაერის ნაკადის სიჩქარე, მ/წმ; γ — ჰაერის სიმკვრივე, კგ/მ³.

(4.11) ფორმულიდან ჩანს, რომ დინამიკური წნევა ჰაერის სიჩქარისა და სიმკვრივის მიმართ პირდაპირპროპორციული დამოკიდებულებით ხასიათდება.

ჰაერის სიჩქარე კი ჰაერის ხარჯის (Q) პირდაპირპროპორციული და ჰაერსადენის კვეთის (S) უკუპროპორციული დამოკიდებულებით ხასიათდება, რაც გამოიხატება ფორმულით:

$$V = \frac{Q}{S}, \quad (4.12)$$

შესაბამისად, თუ ცნობილია ჰაერის სიჩქარე, მოცემული ფორმულით გავიანგარიშებთ ჰაერის ხარჯს და პირიქით.

აღვნიშნოთ, რომ:

1. საჭიროხნ ჰაერსადენში მთლიანი წნევა ($H_{მთ}$) ყოველთვის დადებითია, სტატიკური წნევაც ($H_{სტ}$) ასევე დადებითია იმ იშვიათი შემთხვევის გარდა, როცა ჰაერის დიდი

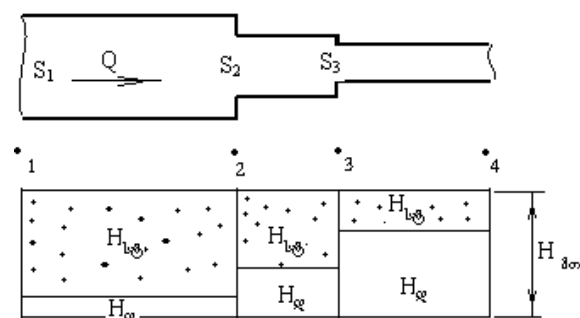
სიჩქარის დროს ლოკალურ უბანზე მისი სიდიდე უარყოფითი ხდება. მთლიანი წნევის აბსოლუტური სიდიდე სტატიკურ წნევას აღემატება დინამიკური წნევის (H_d) სიდიდით.

2. შემწოვ ჰაერსადენში მთლიანი ($H_{\text{მთ}}$) და სტატიკური წნევები ($H_{\text{სტ}}$) ყოველთვის უარყოფითია. ამ შემთხვევაში მთლიანი წნევის აბსოლუტური სიდიდე სტატიკურ წნევაზე ნაკლებია დინამიკური წნევის (H_d) სიდიდით.

3. ჰაერსადენიდან ჰაერის დანაკარგები ნიშნავს მისი ცუდად ან ნაკლებად შემჭიდროებული გადაბმის ადგილებიდან ჰაერის გაპარვას. სასარგებლო დანაკარგებია მაშინ, თუ საჭიროხნი ჰაერსადენით ხდება სუფთა ჰაერის მიწოდება, რადგან დანაკარგები სათავსის საერთო სავენტილაციო ნაკადს ემატებიან. ტოქსიკური და მავნე მინარევებით გაჯერებული ჰაერის არინება აუცილებლად გამწოვი ჰაერსადენით უნდა მოხდეს. ასეთ შემთხვევაში დანაკარგები იქნება შეწოვაზე, ანუ გაჭუჭყიანებული ჰაერი კი არ გავრცელდება სათავსში, არამედ პირიქით — გაჭუჭყიანებულ ჰაერს, რომელიც იმოძრაავებს ჰაერსადენში, დაემატება სათავსის სუფთა ჰაერი.

სტატიკური წნევა ადვილად შეიძლება გარდავემნად დინამიკურად და პირიქით, რისთვისაც საკმარისია ჰაერსადენის კვეთის ფართობის შეცვლა, რაც გავლენას ახდენს სიჩქარის სიდიდეზე. აღნიშნული წარმოდგენილია ნახ. 4.4-ზე.

ნახ. 4.4-ზე ჰაერსადენი ოთხკუთხა კვეთისაა, რაც დამახასიათებელია სამრეწველო სისტემებისთვის. წრიული კვეთი უპირატესად გამოიყენება ნაკლები წინაღობისა და კომფორტულობით გამორჩეულ სავენტილაციო სისტემებში. ეს განსხვავება აჩვენებს, როგორ მოქმედებს გეომეტრია წნევისა და სიჩქარის განაწილებაზე. ნახ. 4.5-ზე წრიული ჰაერსადენი იმავე პრინციპს აჩვენებს გამარტივებულად. სიჩქარის ისრები და ფერადი ზონები ხაზს უსვამს დინამიკური წნევის მატებას და სტატიკური წნევის კლებას. დიზაინი ISO ტერმინოლოგიასთან არის შეთანხმებული.



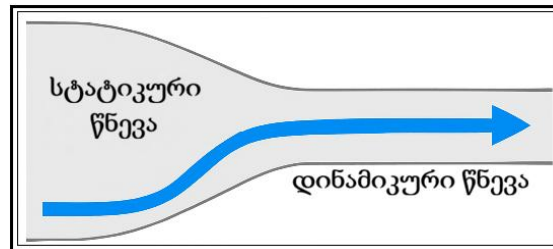
ნახ. 4.4. სტატიკური და დინამიკური წნევის ცვალებადობა ჰაერსადენში სხვადასხვა ფართობის ოთხკუთხა ფორმის განივი კვეთისას.

ნახ. 4.4-ის განმარტებითი შენიშვნები:

- **სექცია 1–2 (დიდი კვეთი)** → დაბალი სიჩქარე, დაბალი დინამიკური წნევა, მაღალი სტატიკური წნევა.
- **სექცია 2–3 (საშუალო კვეთი)** → სიჩქარე იზრდება, დინამიკური წნევა მატულობს, სტატიკური წნევა მცირდება.

- **სექცია 3-4 (ყველაზე მცირე კვეთი)** → ყველაზე მაღალი სიჩქარე, დინამიკური წნევა მკვეთრად იზრდება, სტატიკური წნევა კიდევ უფრო ეცემა.
- **მთავარი პრინციპი** → დინამიკური წნევა სიჩქარის კვადრატის პროპორციულია; სტატიკური წნევა იმავე სიდიდით მცირდება.

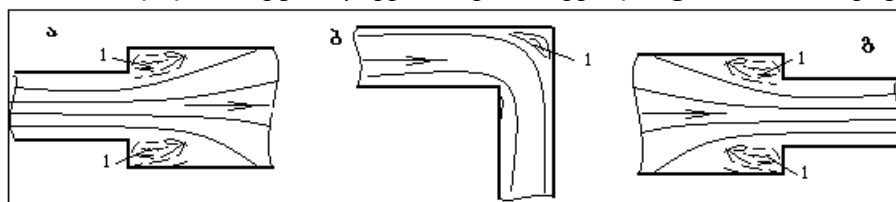
ორივე ნახაზი (4.4 და 4.5) ერთად ქმნიან ორმაგ ხედვას: პირველი – ინტუიციური აღქმისთვის, მეორე – თანამედროვე ვიზუალური ინტერპრეტაციისთვის.



ნახ. 4.4. სტატიკური და დინამიკური წნევის ცვალებადობა ჰაერსადენში სხვადასხვა ფართობის წრიული ფორმის განივი კვეთისას.

თუ მხედველობაში არ მივიღებთ წნევის დანაკარგებს (ხახუნისა და ადგილობრივი წინაღობის გადასალახავად), მაშინ ცვალებადი კვეთის ჰაერსადენში მთლიან წნევას ($H_{\text{მთ}}$) ნახ. 4.4-ზე აღნიშნულ სამივე უბანზე (1-2, 2-3, 3-4) ერთი და იგივე რიცხვითი სიდიდე ექნება. იმ პირობით, თუ ჰაერის ხარჯი $Q = \text{const}$, ხოლო $S_1 > S_2 > S_3$, მაშინ შესაბამის სიჩქარეებს შორის იქნება დამოკიდებულება $V_1 < V_2 < V_3$ და დინამიკური წნევა ($H_{\text{დ}}$) მოიმატებს სიჩქარის მომატების კვალობაზე, ხოლო სტატიკური წნევა ($H_{\text{სტ}}$) კი მოიკლებს დინამიკური წნევის ნამატის სიდიდით. აღნიშნულის ილუსტრაცია მოცემულია ნახაზზე.

მაგალითად, (4.11) ფორმულით გამოთვლილი დინამიკური წნევა 1-2 მონაკვეთზე იქნება 3,75 პა; 2-3 მონაკვეთზე - 15 პა; 3-4 მონაკვეთზე - 60 პა შემდეგი პირობებისათვის: $Q = 10 \text{ მ}^3/\text{წმ}$; $\gamma = 1,2 \text{ კგ/მ}^3$, მ^2 ; $S_1 = 4 \text{ მ}^2$; $S_2 = 2 \text{ მ}^2$; $S_3 = 1 \text{ მ}^2$. ადვილი მისახვედრია, რომ გამოთვლისათვის ვისარგებლეთ აგრეთვე (4.12) ფორმულით. ნიშანდობლივია, რომ კვეთის 2-ჯერ შემცირებით მოხდა დინამიკური წნევის 4-ჯერ გაზრდა, რადგან (4.11) ფორმულის თანახმად დინამიკური წნევა სიჩქარის კვადრატის პროპორციულია.

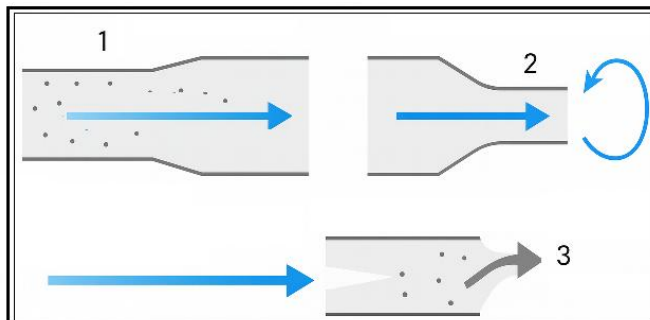


ნახ. 4.6. ადგილობრივი წინაღობების სახეები:

- ა - უეცარი გაფართოება; ბ - ნაკადის 90-გრადუსიანი მოხვევა; გ - უეცარი შევიწროება;
1 - ძირითადი ღინებისაგან დამოუკიდებელი ნაკადები; ისრით ნაჩვენებია ნაკადის მოძრაობის მიმართულება.

ნახ. 4.6-ის განმარტებითი შენიშვნები:

- **უეცარი გაფართოება (A)** → ნაკადი იყოფა, წარმოიქმნება გრიგალური ნაკადები და ენერგიის დანაკარგი ტურბულენტურობის გამო.
- **მოხვევა 90 გრადუსით (B)** → მიმართულების მკვეთრი ცვლილება, ტურბულენტურობა იზრდება, წინაღობა მატულობს.



ფიგ. 4.7. ადგილობრივი წინაღობები:

1 - უეცარი გაფართოება; 2 - უეცარი შევიწროება; 3 - ძირითადი ღინებისაგან დამოუკიდებელი ნაკადი; ისრით ნაჩვენებია ნაკადის მოძრაობის მიმართულება.

- **უეცარი შევიწროება (C)** → სიჩქარე იზრდება, სტატიკური წნევა ეცემა, ადგილობრივი ენერგიის დანაკარგი.

- **მეორეული ნაკადები (1)** → წარმოიქმნება დამოუკიდებელი გრიგალური ნაკადები, რომლებიც დამატებით წინააღმდეგობას ქმნიან ძირითად ნაკადთან.

მოცემულ პარაგრაფში წარმოდგენილია ორი ურთიერთმემავესებელი ნახაზი (4.6 და 4.7), რომლებიც ჰაერსატარებში ლოკალური წინაღობის ტიპებს აჩვენებს. ფიგ. 4.6 აჩვენებს უეცარ გაფართოებას, 90°-იან მოხვევას, უეცარ შევიწროებას და მეორეულ გრიგალურ ნაკადებს. აქცენტი კეთდება ფიზიკურ მექანიზმზე — ტურბულენტურობასა და ენერგიის დაკარგვაზე. ფიგ. 4.7 იმავე პროცესებს აჩვენებს შედარებით კომფორტული თანამედროვე სავენტილაციო სისტემებისათვის.

ნახაზზე ილუსტრირებულიდან განსხვავებით, მთლიან წნევას ყოველთვის აქვს დანაკარგები, რომლის ანაზღაურება ხდება ვენტილატორის მიერ განვითარებული წნევით. აღნიშნული დანაკარგების არქონის შემთხვევაში საქმე გვექნებოდა პერპეტუუმობილესთან, ანუ ჰაერის ნაკადზე ერთხელ მინიჭებული ენერგიით შესაძლებელი იქნებოდა მისი უსასრულო მოძრაობა. ენერგიის დანაკარგები ახლავს აგრეთვე დინამიკური წნევის სტატიკურში და პირუკუ გადასვლას. კერძოდ, ჰაერსადენის უეცრად გაფართოებისას კვეთი ჰაერის ნაკადით მთლიანად არ შეივსება და კვეთების შეუღლების მიმდებარე სივრცეში წარმოიშობა გრიგალური ზონა, რაც იწვევს ენერგიის დანაკარგებს გაფართოებაზე და ნაკადის აგრიგვლაზე და ა.შ. (ნახ. 4.5). მოცემული პარაგრაფის მასალას შეესაბამება საერთაშორისო სტანდარტები ISO 31000 და ISO 45001.

4.6. აეროდინამიკური წინააღმდეგობის სახეები

ჰაერის სიბლანტე არის დეფორმაციაზე (ფორმის ცვალებადობაზე) წინააღმდეგობის გაწევის უნარი. სიბლანტე იწვევს ჰაერსადენის კედლებზე მის მიკვრას, რაც თავის მხრივ განაპირობებს კედელთან ახლოს მოძრავი ჰაერის შრის დამუხრუჭებას. დამუხრუჭების გავლენა მცირდება ჰაერსადენის კედლებიდან დამორების კვალობაზე და მის ცენტრალურ ნაწილში აღარ შეინიშნება ამის შედეგად წარმოიშობა მხები დაძაბულობა და მისი შესაბამისი აეროდინამიკური ძალა — ხახუნის ძალა. ხახუნის ძალა ანალოგიურად მოქმედებს აგრეთვე ნაკადის შიგნითაც, ჰაერის ცალკეულ შრეებსა და მოცულობებს შორის, რომლებიც ერთმანეთის მიმართ ფარდობითად მოძრაობენ და შესაბამისად, ჰაერი აქაც ეწინააღმდეგება ფორმის ცვალებადობას. ჰაერზე მინიჭებული ენერგიის ნაწილი შინაგანი ხახუნის გამო, ისე როგორც კედლებთან დამუხრუჭებაზე დახარჯული ენერგია, სითბოდ გარდაიქმნება და ჰაერის ნაკადისათვის უკვალოდ იფანტება გარემოში.

ენერგიის აღნიშნული კარგვა იწვევს წნევათა იმ ძალების წონასწორობის დარღვევას, რაც ახასიათებს უძრავ ჰაერს და წარმოიშობა წნევათა დამატებითი სხვაობა, რომელსაც ვუწოდოთ წნევის გრადიენტი და არ უნდა აგვერიოს წნევათა აეროსტატიკურ სხვაობაში. წნევის გრადიენტი მცირე რიცხვითი სიდიდეებით ხასიათდება, რომელიც მხოლოდ იმ სხეულების ზედაპირზეა შესაძლებელი გაიზომოს (ამისაგან განსხვავებით, აეროსტატიკური წნევის სხვაობა ნაკადში იზომება), რომლებსაც ჰაერი ეხება და წარმოადგენს აეროდინამიკური წინააღმდეგობის ძალის მეორე მდგენელს — წნევის ძალას.

ამგვარად აეროდინამიკური წინააღმდეგობის საერთო ძალა ორი მდგენელის — ხახუნისა და წნევის ძალებისაგან შედგება. მათი თანაფარდობა კონკრეტულ პირობებში სხვადასხვაგვარად გამოვლინდება და დამოკიდებულია ჰაერსადენის კედლების სიმქისზე, გეომეტრიულ პარამეტრებზე (განივკვეთის ფართობზე, პერიმეტრზე, სიგრძეზე), მასში მოსახვევების, კვეთის შევიწროებების ან გაფართოებების არსებობაზე, ჰაერსატარის ფასონურ ნაწილებზე (ჰაერგამომშვებ, ჩამკეტ-სარეგულირებელ და სხვა მოწყობილობებზე).

აღნიშნულ გამოვლინებას სამი ტიპური სახე აქვს, რის მიხედვითაც განასხვავებენ ხახუნის, ადგილობრივ და შუბლურ წინააღმდეგობებს. სამივე მათგანი აეროდინამიკური წინააღმდეგობის სახეებია და ყველა მათგანის გადალახვაზე იხარჯება ვენტილატორის მიერ ქსელიდან წადებული ან ბუნებრივი წნევის ენერგია.

აღსანიშნავია, რომ ზემოთ მოცემული (4.8) ფორმულით ხდება ხახუნის წინააღმდეგობის, ხოლო (4.7) ფორმულით, მის გადასალახვად საჭირო დეპრესიის გაანგარიშება. როგორც ამ ფორმულებიდან ჩანს, ხახუნის წინააღმდეგობის განსაზღვრისას ვსარგებლობთ გეომეტრიული პარამეტრებით (P , L , S), ჰაერის ხარჯით (Q), ხოლო კედლების სიმქისე გათვალისწინებულია აეროდინამიკური წინააღმდეგობის α კოეფიციენტით. რეინოლდსის კრიტერიუმის რიცხვითი მნიშვნელობის ცვალებადობის მიხედვით α კოეფიციენტი ზოგადად სხვადასხვა ტემპით იცვლება და აღნიშნულ ცვალებადობას აქვს ავტომატური უბნები, რომელთა ფარგლებშიც კოეფიციენტი შესაძლებელია მუდმივ

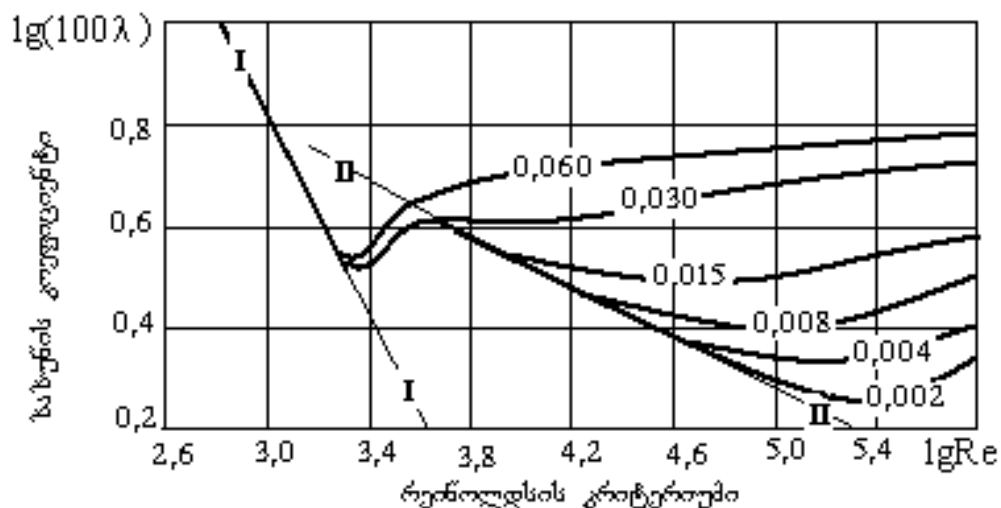
სიდიდედ მივიჩნიოთ. განვითარებული ტურბულენტური მოძრაობის პირობებში, როცა $Re > 0,5 - 1,0 \times 10^5$ კოეფიციენტი α დამოკიდებული აღარაა რეინოლდსის რიცხვზე, ხოლო ლამინარული მოძრაობის შემთხვევაში დამოკიდებულება $\alpha = f(Re)$ უნდა გავითვალისწინოთ.

რეინოლდსის კრიტერიუმს აქვს შემდეგი სახე:

$$Re = \frac{VD}{\nu}, \quad (4.13)$$

სადაც V არის ჰაერის სიჩქარე, მ/წმ; D — ჰაერსადენის ჰიდრავლიკური დიამეტრი, მ; ν — კინემატიკური სიბლანტის კოეფიციენტი, მ²/წმ.

იმის გამო, რომ α კოეფიციენტი თავის თავში შეიცავს კინემატიკური სიბლანტის კოეფიციენტს, თავისუფლად ვარდნილი სხეულის აჩქარებას და ხახუნის უგანზომილებო λ კოეფიციენტს, ფუნქციური დამოკიდებულება $\alpha = f(Re)$, უმჯობესია წარმოვადგინოთ $\lambda = f'(Re)$ დამოკიდებულებით, რომელსაც ჰიდრავლიკაში დიდი ისტორია აქვს. აღნიშნული დამოკიდებულება წარმოდგენილია ნახ. 4.8-ზე, რომელსაც შეიძლება ეწოდოს გაგენ-პუაზიელ-რეინოლდს-ნიკურადის დადგენილ კანონზომიერებათა გრაფიკული ასახვა.



ნახ. 4.8. ხახუნის უგანზომილებო კოეფიციენტის ცვალებადობა ნაკადის მოძრაობის რეჟიმის მიხედვით: 0,002; 0,004 და ა.შ. არის სიმქისის კალიბრი — სიმქისის შვერილის ფარდობა მილსადენის ჰიდრავლიკურ დიამეტრთან.

ნახ. 4.8-ის განმარტებითი შენიშვნები:

- **ლამინარული რეჟიმი (პუაზიელის კანონი)** — ხახუნის კოეფიციენტი ჰიპერბოლურად მცირდება ($\lambda = 64/Re$), დამოკიდებულია მხოლოდ სიჩქარეზე და არ არის დამოკიდებული კედლის სიმქისზე.

- **გარდამავალი რეჟიმი (რეინოლდსი)** — კოეფიციენტი იწყებს ზრდას კრიტიკულ რეინოლდსის რიცხვებზე, დამოკიდებულია როგორც სიჩქარეზე, ისე კედლის სიმქისზე.

- **ტურბულენტური რეჟიმი (ნიკურაძე)** — ხახუნის კოეფიციენტი დამოკიდებულია მხოლოდ კედლის სიმქისზე, ადარ არის დამოკიდებული სიჩქარეზე ან რეინოლდსის რიცხვზე.

I-I წრფე ნახ. 4.8-ზე შეესაბამება ფრანგი მეცნიერების გაგენისა და პუაზიელის კანონს, რომლის მიხედვითაც ხახუნის უგანზომილებო კოეფიციენტი მცირდება ჰიპერბოლურად ($\lambda = 64/Re$), დამოკიდებულია მხოლოდ ნაკადის სიჩქარეზე (V, Re) და მის სიდიდეზე გავლენას არ ახდენს კედლების სიმქისე.

აღნიშნული კანონის შეზღუდულობა ექსპერიმენტებით დაადასტურა ინგლისელმა მეცნიერმა რეინოლდსმა, რომელმაც აჩვენა, რომ კოეფიციენტის შემცირების ტემპი კლებულობს (4.13) ფორმულით განსაზღვრული რიცხვის კრიტიკული მნიშვნელობისათვის, რომელიც 2000 ათასიდან იწყება (თანამედროვე წარმოდგენებით, რეინოლდსის კრიტერიუმის პირველი კრიტიკული რიცხვითი სიდიდე >2300), ხოლო შემდეგ იწყებს მატებას. კოეფიციენტის სიდიდეზე ამ დროს გავლენას ახდენს როგორც ნაკადის მოძრაობის სიჩქარე (Re), ისე კედლების სიმქისე.

საბოლოო სიცხადე ამ საკითხში შეიტანა გერმანიაში მცხოვრებმა ქართველმა ემიგრანტმა იაკობ ნიკურაძემ. II-II წრფე ნახ. 4.8-ზე შეესაბამება ნიკურაძის მიერ დადგენილი კანონზომიერების ზონის დასაწყისს. ნიკურაძის მიხედვით, რეინოლდსის კრიტერიუმის მეორე კრიტიკული რიცხვითი მნიშვნელობებისათვის, რომელიც ფართო დიაპაზონში იცვლება, ხახუნის კოეფიციენტის სიდიდე დამოკიდებულია მხოლოდ სიმქისზე და დამოკიდებული ადარაა ნაკადის სიჩქარეზე, ანუ რეინოლდსის კრიტერიუმზე. აღნიშნული მოვლენა იმით აიხსნება, რომ ტურბულენტურობის ინტენსიფიკაციით მცირდება ლამინარული სასაზღვრო შრის სისქე, რის შედეგადაც სიმქისის შვერილებს მეტ-ნაკლებად ეხება ძირითადი ნაკადი და მუხრუჭდება მათი წინაღობის გადალახვისას.

ამგვარად, სარკაზმის გარეშე აღვნიშნოთ, რომ გაგენ-პუაზიელის თანახმად, აღნიშნული კოეფიციენტი დამოკიდებულია ჰაერის სიჩქარეზე და მასზე გავლენას არ ახდენს ჰაერსადენის სიმქისე; რეინოლდსის თანახმად განმსაზღვრელია როგორც სიჩქარე, ისე სიმქისე; ნიკურაძე კი აღნიშნავს, რომ დიდი სიჩქარეებისათვის კოეფიციენტის სიდიდის განმსაზღვრელია მხოლოდ ჰაერსადენის სიმქისე.

განვიხილოთ აეროდინამიკური წინაღობის გამოვლენის მეორე სახე — ადგილობრივი წინაღობა.

ადგილობრივი წინაღობებია ჰაერსადენის კვეთის შევიწროება, გაფართოება, მოხვევა, ჰაერსადენის ან ვენტილატორის ფასონური ნაწილები, ფილტრები, გარსაცმები და ა.შ., რომლებიც ლოკალურადაა განლაგებული ჰაერსადენის ფარგლებში ან სათავსოში. ადგილობრივი წინაღობის უმრავლესობისათვის დამახასიათებელია ნაკადის მოწყვეტა მის ფარგლებში ინერციის ძალების გავლენით და ძირითადი ნაკადისაგან თავისუფალი დინებების წარმოქმნა. ამ დინებებს ახასიათებთ ძირითადი ნაკადისაგან განსხვავებული ტურბულენტურობა, რაც 4.6 ნახაზიდანაც ჩანს. განსხვავებული ტურბულენტურობის წარმოშობისა და განვითარების ადგილებს მკვდარი ზონები ეწოდება. ადგილობრივი წინაღობის გაანგარიშების მიზნით შემოღებულია უგანზომილებო სიდიდე — ადგილობრივი წინაღობის კოეფიციენტი,

რომელიც ξ ასოთი აღინიშნება და წარმოადგენს მოცემული სახეობის ადგილობრივ წინაღობაში ჰაერის წნევის Z დანაკარგების ფარდობას (4.11) ფორმულით განსაზღვრულ H_{ϕ} დინამიკურ წნევასთან. მაშასადამე:

$$\xi = \frac{Z}{H_{\phi}}. \quad (4.14)$$

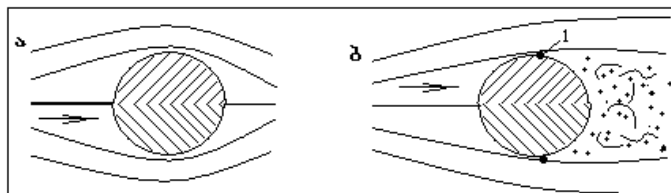
უეცარი გაფართოების ან შევიწროების ადგილობრივი წინაღობის დეპრესია შესაძლებელია ადგილობრივი წინაღობის კოეფიციენტის გვერდის ავლითაც გაანგარიშდეს ბორდი-კარნოს ფორმულით, რომელიც არის (4.11) ფორმულის ნაირსახეობა:

$$h = \frac{\gamma}{2}(V_1 - V_2)^2, \quad (4.15)$$

სადაც განმარტებული სიდიდეების გარდა V_1 და V_2 არის სიჩქარეები სათანადო კვეთებში.

განვიხილოთ აეროდინამიკური წინაღობის გამოვლენის მესამე სახე — შუბლური წინაღობა.

შუბლურ წინაღობას წარმოადგენს ჰაერის ნაკადში მოთავსებული სხეული, რომელიც მას ხელს უშლის მოძრაობაში და რომლის წინაღობის გადასალახავად საჭიროა ენერგიის დახარჯვა. შუბლური წინაღობა განვიხილოთ გარს შემომდენი ფორმის — ცილინდრის სახით, რომელიც მოთავსებულია ნაკადში. თუ ნაკადი ლამინარულია, მაშინ სხეულის საზღვრებზე არ ხდება ნაკადის მოწყვეტა, რადგან ჰაერის სიბლანტის ძალები სჭარბობენ ჰაერის ნაწილაკების ინერციის ძალებს (ამ შემთხვევაში ხახუნის ძალები სიჩქარის პირველი ხარისხის პროპორციულია). სიჩქარის ზრდის კვალობაზე იზრდება რეინოლდსის კრიტერიუმის რიცხვითი სიდიდე, იწყება ტურბულენტური მოძრაობა საზღვრებზე, გამყოფ ზედაპირზე მატულობს ჰაერის დამუხრუჭება (ხახუნის ძალები ხდება სიჩქარის კვადრატის პროპორციული), ხდება ძირითადი ნაკადისაგან უფრო მცირე ნაკადების მოწყვეტა, რომლებიც ცდილობენ ნაკადის მოძრაობის საპირისპირო მოძრაობას (ნახ. 4.9). ტურბულენტური ზონა, რომელიც ნაჩვენებია ნახ. 4.9.ბ-ზე ისევე იწვევს ენერგიის დისიპაციას სითბოს სახით, როგორც ადგილობრივი წინაღობების შემთხვევაში.



ნახ. 4.9. შუბლური წინაღობის ილუსტრაცია:

ა - ლამინარული მოძრაობა; ბ - ტურბულენტური მოძრაობა; 1 - ნაკადის მოწყვეტის წერტილი; ისრით ნაჩვენებია ნაკადის მოძრაობის მიმართულება.

ტურბულენტურ ზონაში მყარი სხეულის საზღვრებზე წარმოიშობა ტურბულენტური სასაზღვრო შრე. ამ უკანასკნელსა და ძირითად ტურბულენტურ ნაკადს შორის შერევა უფრო ნაკლებად ინტენსიურია ტურბულენტური ნაკადის საერთო გადაადგილებასთან შედარებით, რაც ნაკადის მოწყვეტის 1-ლი წერტილის უფრო მარჯვნივ წანაცვლებას იწვევს, ვიდრე ეს ნაჩვენებია 4.9.ბ ნახ-ზე. ამის შედეგად მცირდება ტურბულენტური ზონა

და შესაბამისად, შუბლური წინაღობის სიდიდე. აღნიშნული მოვლენა აღმოაჩინა პარიზის ცნობილი კოშკის ამშენებელმა ეიფელმა.

შუბლური წინაღობა ნაკადის სიჩქარის გარდა დამოკიდებულია ჰაერის ნაკადში მოთავსებული სხეულის ფორმაზე. გარსშემომდენი ფორმები უფრო ნაკლები წინააღობით ხასიათდებიან სხვა თანაბარ პირობებში.

შუბლური წინაღობა და მის გადასალახავად საჭირო ღებრესია შესაბამისად იანგარიშება ფორმულებით:

$$R = \frac{c\gamma}{2} \frac{S_M}{S(S-S_M)^2} \quad (4.16)$$

$$h = \frac{c\gamma}{2} \frac{S_M}{S(S-S_M)^2} Q^2, \quad (4.17)$$

სადაც c არის შუბლური წინააღობის უგანზომილებო კოეფიციენტი; γ — ჰაერის სიმკვრივე, კგ/მ³; S — ჰაერსადენის კვეთის ფართობი, მ²; S_M — სხეულის მიდელური კვეთის ფართობი, რაც არის ჰაერის მოძრაობის მართობულ სიბრტყეზე სხეულის პროექციის ფართობი, მ²; Q — ჰაერის ხარჯი, მ³/წმ.

ხახუნის წინააღობის კოეფიციენტის შემცირება შესაძლებელია ჰაერსატარის კვეთის ფართობის გაზრდით და მისი კედლების სიგლუვის გაზრდით. სიგლუვე განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია გრძელი სატრანსპორტო გვირაბების შემთხვევაში, სადაც თვითონ გვირაბები დიდი კვეთის ჰაერსატარს წარმოადგენენ, ხოლო მათი გამაგრება უნდა მოპირკეთდეს ისეთი მასალებით, რომ ზედაპირის ხორკლიანობა იყოს მინიმალური. ლითონისა და პლასტმასის ჰაერსატარები უფრო უკეთესი სიგლუვით ხასიათდებიან რეზინოვანი მასალებისა და ბრეზენტისაგან დამზადებულ ჰაერსადენებთან შედარებით.

ადგილობრივი წინააღობის ξ კოეფიციენტის შემცირება შესაძლებელია წინააღობისათვის ისეთი ფორმის მიცემით, რომელშიც ნახ. 4.6-ზე ნაჩვენები მკვდარი ზონების ზომები მინიმალური იქნება. აღნიშნულის მიღწევა შესაძლებელია მდოვრე გადასვლების გამოყენებით ჰაერის ნაკადის მოხვევის, გაფართოების ან შევიწროების ადგილებში, ხოლო ჰაერთან შეხების ზედაპირი განსაკუთრებით გლუვი უნდა იყოს. ასეთ შემთხვევაში გამოყენებულ ძაბრისებრ მოწყობილობებს, იმის მიხედვით, ჰაერს დებულობენ, თუ ატმოსფეროში განდევნიან, კონფუზორები ან დიფუზორები ეწოდება. დიფუზორის ძაბრულას გაშლის ოპტიმალურ კუთხეთა დიაპაზონია 5-80, ხოლო კონფუზორისა — 50. დიფუზორისებრი ან კონფუზორისებრი ფორმის მიცემა, მოპირკეთების ხარჯზე, სასურველია საავტომობილო გვირაბებისათვის, რადგან მათ საექსპლუატაციო ხარჯების 30-60% მოდის ვენტილაციაზე. ჰაერის მოძრაობის გზაზე მოსახვევებში მიმმართველი ფირფიტების დაყენება 2-ჯერ ამცირებს ξ კოეფიციენტის რიცხვით მნიშვნელობას. ჰაერსადენის 90 გრადუსიანი მოსახვევის 0,1D რადიუსით (D - ჰაერსადენის ჰიდრავლიკური დიამეტრი) მომრგვალებისას ξ კოეფიციენტის სიდიდე 10-ჯერ მცირდება.

სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო ვენტილაციაში გამოყენებული ფასონური ნაწილების, ფილტრებისა და სხვა აქსესუარების პასპორტებში პირდაპირაა მითითებული მასში ჰაერის გატარებისას წნევის კარგვა (ისე როგორც ხმაურისა და

ვიბრაციის ღონეები), რაც დგინდება ქარხანა-დამამზადებელში სასტენდო გამოცდების გზით.

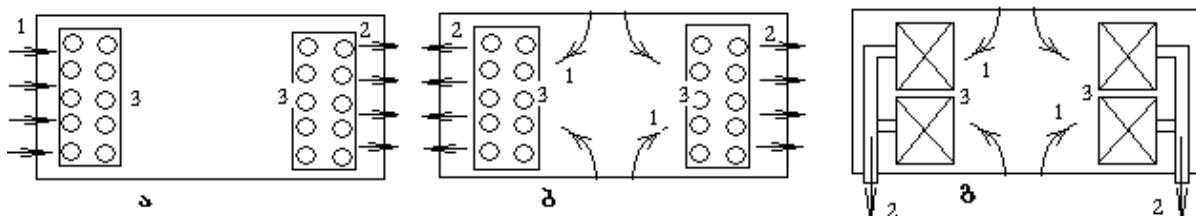
შუბლური წინაღობის შემცირება შესაძლებელია საგნებისათვის გარსშემომდენი ფორმის მიცემით. მაგალითად, ნახ. 4.9-ზე გამოსახულ ცილინდრის კვეთი წრის მაგივრად თუ იქნება წვეთის ფორმის, რაც შესაძლებელია ცილინდრზე ლითონის ფურცლისაგან დამზადებული გარსაცმის წამოცმით, *c* კოეფიციენტი დაახლოებით 8-10-ჯერ შემცირდება. შუბლური წინაღობის შემცირება განსაკუთრებით მნიშვნელოვან ეფექტს იძლევა ჰაერის დიდი სიჩქარის შემთხვევაში. *c* კოეფიციენტს აგრეთვე ამცირებს ზედაპირის ნაკლები სიმქისე. მოცემული პარაგრაფის მასალას შეესაბამება საერთაშორისო სტანდარტები ISO 31000 და ISO 45001.

4.7. სათავსების ვენტილაციის სქემები

ვენტილაციის განხორციელება შესაძლებელია ატმოსფერულზე უფრო ჭარბი წნევით, რასაც მომდენი ვენტილაცია ეწოდება, და ატმოსფერულზე უფრო ნაკლები წნევით, რასაც გამწოვი ან შემწოვი ვენტილაცია ეწოდება. მოდენისა და გამწოვის ერთმანეთთან შეხამებით მიიღება ვენტილაციის სხვადასხვა სქემები.

დავუშვათ, რომ სათავსში განლაგებული ტექნოლოგიური დანადგარები, რომლებიც დამონტაჟებულია 3 პუნქტებში (ნახ. 4.10) გამოყოფენ ადამიანის ჯანმრთელობისათვის მავნე ნივთიერებებს. აღნიშნულ სათავსოში ატმოსფეროდან სუფთა ჰაერი მიეწოდება ისრებით ნაჩვენები 1 მიმართულებით, ხოლო იმავე რაოდენობის გაჟუჟყიანებული ჰაერი ატმოსფეროში გადის 2 მიმართულებით.

ნახ. 4.10.ა შეესაბამება საერთო ვენტილაციის სქემას, რომელიც ყველაზე უფრო მარტივი მოსაწყობია, რადგან როგორც სუფთა, ისე გაჟუჟყიანებულ ჰაერის ნაკადს აქვს ერთი და იგივე მიმართულება და შესაძლებელია ბუნებრივი წევის გამოყენება. ნახაზზე გამოსახული სათავსოს მარცხენა ნაწილში ჰაერი უფრო სუფთა იქნება მარჯვენა ნაწილთან შედარებით. ეს ნიშანი მეტ-ნაკლებად დამახასიათებელია საერთო განიავეების ყველა სქემისათვის — სუფთა ჰაერის შემოშვების ადგილებთან ახლო ზონაში უფრო სუფთა ჰაერი ვრცელდება სხვა ზონებთან შედარებით. ამ უკანასკნელებშიც ჰაერში ტოქსიკური და მავნე ნივთიერებების შემცველობა არ უნდა აღემატებოდეს დასაშვებ ნორმებს.



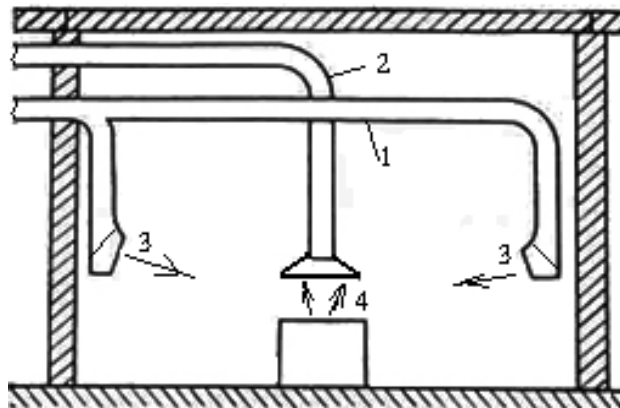
ნახ. 4.10. სათავსების ვენტილაციის სქემები:

ა, ბ - საერთო; გ - ლოკალური; 1 - სუფთა ჰაერი; 2 - გაჭუჭყიანებული ჰაერი; 3 - ტოქსიკური და მავნე ნივთიერებების გამოყოფის ადგილები.

ნახ. 4.10.ბ-ზე ნაჩვენებია შედარებით უფრო უკეთესი საერთო ვენტილაციის სქემა, რომელშიც სუფთა და გაჭუჭყიანებულ ჰაერის ნაკადებს სხვადასხვა მიმართულება აქვს და შესაბამისად, ამ სქემის განხორციელება შესაძლებელია მხოლოდ ვენტილატორების გამოყენებით.

მავნე ნივთიერებების ატმოსფეროში განდევნის ყველაზე უფრო უკეთესი მეთოდია ლოკალური ვენტილაცია, რომლის დროსაც საფარი უკეთდება ტოქსიკური ნივთიერებების გამოყოფის ადგილს და ეს უკანასკნელები პირდაპირ გაიწოვება ვენტილატორის მიერ, ასევე არ ხდება მათი გავრცელება სამუშაო ზონაში (ნახ. 4.10.გ). ნახ. 4.11-ზე წარმოდგენილია ლოკალური მომდენ-გამწოვი ვენტილაციის სქემა.

იმ შემთხვევაში, როცა სათავსის მოცულობა დიდია, ხოლო მასში მომუშავე ადამიანების რიცხვი მცირე და ამასთან ერთად, მათი სამუშაო ადგილები თუ დაფიქსირებულია, მაშინ, ტექნიკურ-ეკონომიკური პირობებიდან გამომდინარე, შესაძლებელია სუფთა ჰაერის ზონები შეიქმნას მხოლოდ სამუშაო ადგილებში. ამ სახის ვენტილაციას ეწოდება ადგილობრივი, ანუ ნაწილობრივი ვენტილაცია, ხოლო სამუშაო ზონებში შექმნილ ჰაერის ჭავლს — ჰაერის შხაპი.



ნახ. 4.11. ლოკალური ვენტილაციის სქემა:

1 - მომდენი ჰაერსატარი; 2 - გამწოვი ჰაერსატარი; 3 - სუფთა ნაკადი; 4 - გაჭუჭყიანებული ჰაერის ნაკადი.

ტექნოლოგიური პირობებიდან გამომდინარე, ზოგჯერ საჭიროა ავარიული ვენტილაციის გათვალისწინება იმ შემთხვევისათვის, როცა რაიმე მიზეზით, ტექნოლოგიური ხაზებიდან შესაძლებელია მოხდეს ტოქსიკური ან მავნე ნივთიერებების გავრცელება სამუშაო სივრცეში. ასეთი ვენტილაცია, როგორც წესი, შეთავსებულია ტექნოლოგიურ ხაზთან და ხშირად ავტომატურად ამოქმედდება ხაზის გარსაცმის იზოლაციის გარღვევის შემთხვევაში.

შესაძლებელია აგრეთვე განხილული სქემების კომბინაციის გამოყენება ერთ რომელიმე კონკრეტულ საწარმოში. მაგალითად, შესაძლებელია საერთო და

ლოკალური სისტემების ერთობლივი გამოყენება, რაც ძალიან კარგ შედეგს იძლევა. საერთო და ლოკალური სქემების კომბინაციათა მაგალითები მომდენი, გამწოვი და მომდენ-გამწოვი ვენტილაციის შემთხვევაში წარმოდგენილია ნახ. 4.12-ზე.

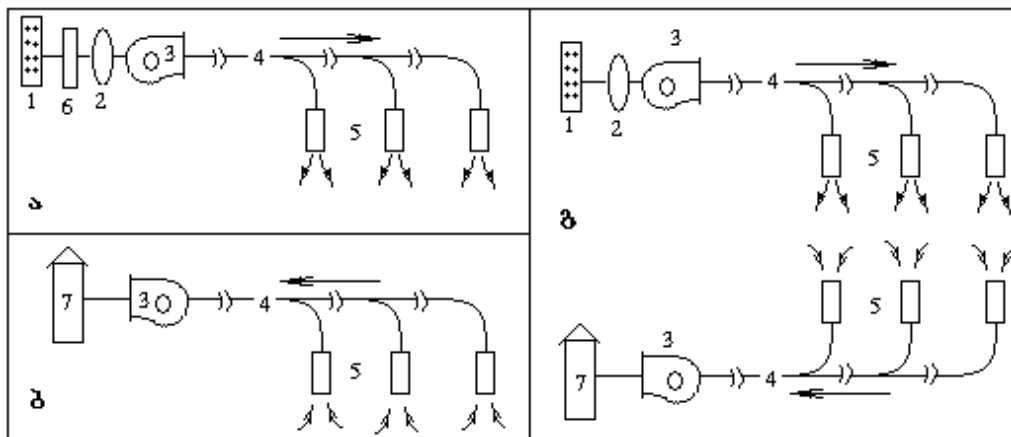
ამგვარად, გვხვდება სათავსოთა ვენტილაციის შემდეგი ძირითადი სქემები: 1. საერთო; 2. ლოკალური; 3. ადგილობრივი, ანუ ნაწილობრივი; 4. ავარიული; 5. კომბინირებული. ვენტილაციის სქემებს ვენტილატორებთან ერთად, ხოლო ზოგჯერ ამ უკანასკნელთა გარეშეც, სავენტილაციო სისტემები ეწოდება. მამასადამე, ჩვენ გავეცანით 5 სხვადასხვა სახეობის სავენტილაციო სისტემას.

ლოკალური ვენტილაციის სქემის გამოყენების შემთხვევაში სათავსებიდან ჰაერის გაწოვა გათვალისწინებული უნდა იქნეს:

1. სათავსის ზედა ზონიდან: ისეთი აირების გამოყოფისას, რომელიც ჰაერისა და წყლის ორთქლზე ნაკლები სიმკვრივით ხასიათდებიან; მაღალი ტემპერატურის მქონე აირების გამოყოფის შემთხვევაში მათი სიმკვრივის მიუხედავად; მაღალი ტემპერატურის პირობებში მაშინაც, როცა ხდება მტვრის გენერაცია; საცხოვრებელ, საზოგადოებრივ და დამხმარე სათავსებში.

2. სათავსის ქვედა ზონიდან: ყველა სათავსში, რომელშიც გამოიყოფა მტვერი.

3. სათავსის ზედა და ქვედა ზონიდან ერთდროულად: ისეთი აირების გამოყოფისას, რომლებიც ჰაერთან შედარებით უფრო მაღალი სიმკვრივით ხასიათდებიან.



ნახ. 4.12. საერთო და ლოკალური განიავების სისტემების ილუსტრაცია:

ა - მომდენი; ბ - გამწოვი; გ - მომდენ-გამწოვი; 1 - ჰაერის ასაღები კიოსკი; 2 - ჰაერგამათბობელი და დამატენიანებელი მოწყობილობა; 3 - ვენტილატორი; 4 - მაგისტრალური ჰაერსადენები; 5 - ჰაერის სარეგულირებელი ფასონური ნაწილები; 6 - ჰაერის ფილტრი; 7 - შახტი.

აღნიშნული ჩამონათვლით სარგებლობა შესაძლებელია აგრეთვე ბუნებრივი წვეის გამოყენებით მოწყობილ საერთო ვენტილაციის სქემებშიც. თერმული საამქროს საერთო ვენტილაციის სქემა, შესაძლებელია მოქმედებდეს ბუნებრივი წვეის ხარჯზე. ჰაერი ამ შემთხვევაში მიემართება შენობის ჭერში მოწყობილი დეფლექტორისაკენ. ეს უკანასკნელი არის მარტივი მექანიკური მოწყობილობა, რომელიც აკომპენსირებს ქარის ზემოქმედებას. შესაძლებელია მას ექნეს აგრეთვე ფრთებიანი კომპენსატორი, რომელიც

მოქმედებს ბუნებრივი წევის ხარჯზე და ათანაბრებს მას. დეფლექტორი ყველა შემთხვევაში არის ადგილობრივი წინაღობა ჰაერის მოძრაობის გზაზე და ხასიათდება ადგილობრივი წინაღობის შემდეგი კოეფიციენტებით: $\xi = 0,61$ - წრიული განივი კვეთის შემთხვევაში; $\xi = 0,70$ - კვადრატული განივი კვეთის შემთხვევაში.

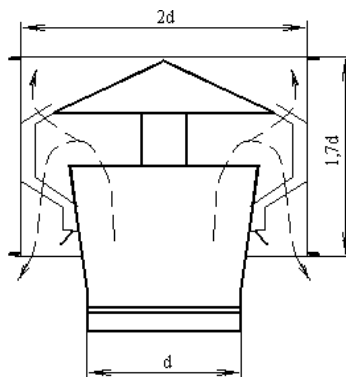
ბუნებრივი და დეფლექტორის მიერ განვითარებული ერთობლივი წევის გაანგარიშება შესაძლებელია ფორმულით:

$$h = \Delta p + (\gamma_1 - \gamma_2)gH + p_2, \quad (4.18)$$

სადაც h არის ბუნებრივი დეფლექტორის მიერ განვითარებული ერთობლივი წევის დეპრესია, პა; Δp — ჭარბი წნევა დეფლექტორის შესასვლელში, პა; γ_1, γ_2 — შესაბამისად, ჰაერის საშუალო სიმკვრივე ატმოსფეროში და დეფლექტორში, კგ/მ³; g — თავისუფლად ვარდნილი სხეულის სიმძიმის ძალის აჩქარება, მ/წმ²; H — დეფლექტორის სიმაღლე, მ; p_2 — ქარის მიერ განვითარებული წევა, პა.

როგორც ვხედავთ, (4.18) ფორმულა შეიცავს (4.1) და (4.9) ფორმულებს.

აღნიშნული დეპრესია იხარჯება: ადგილობრივი წინაღობების გადალახვაზე დეფლექტორის შესასვლელში, დეფლექტორის შახტის აეროდინამიკური წინაღობის გადალახვაზე და თვით დეფლექტორის ადგილობრივი წინაღობის გადალახვაზე. დეფლექტორი წარმოდგენილია ნახ. 4.13-ზე.



ნახ. 4.13. დეფლექტორი;

d - დეფლექტორის შესასვლელი ჰაერსატარის დიამეტრი.

როგორც ნახაზიდან ჩანს, დეფლექტორის ყველა ზომა მისი შესასვლელი ჰაერსატარის დიამეტრის ჯერადაა. ამის გამო დეფლექტორის გაანგარიშებისათვის საჭიროა მისი დიამეტრის პოვნა და უნდა ვისარგებლოთ დეფლექტორის დეპრესიათა ბალანსით. ამისათვის გადალახული წინაღობების ჯამი უნდა გავუტოლოთ (4.18) ფორმულით გაანგარიშებულ წევას. დეპრესიათა ბალანსს შემდეგი სახე აქვს:

$$h = \left(\sum \xi_1 + \frac{\lambda}{d} H + \xi \right) H_{\text{დ}}, \quad (4.19)$$

სადაც $\sum \xi_1$ არის უგანზომილებო ადგილობრივი წინაღობების ჯამი დეფლექტორის შესასვლელში; λ — ხახუნის უგანზომილებო კოეფიციენტი, რომლის ცვალებადობის ხასიათი ნაკადის მოძრაობის ხასიათისა და სიჩქარის მიხედვით წარმოდგენილია ნახ. 4.8-ზე; d — დეფლექტორის შესასვლელი ჰაერსატარის დიამეტრი, მ; H — დეფლექტორის სიმაღლე, მ; ξ — დეფლექტორის ადგილობრივი წინაღობის

უგანზომილებო კოეფიციენტი; H_{φ} — დინამიკური წნევა დეფლექტორის შესასვლელ ჰაერსატარში, რომლის განსასაზღვრავი (4.11) ფორმულა ამ შემთხვევაში ღებულობს სახეს:

$$H_{\varphi} = \gamma \frac{V_1^2}{2}, \quad (4.20)$$

სადაც განმარტებული სიდიდეების გარდა V_1 არის ჰაერის სიჩქარე შესასვლელ ჰაერსატარში, რომელიც განისაზღვრება ქვემოთ მოცემული (4.21) ფორმულიდან

$$V_1 = \sqrt{\frac{2h}{\left(\varepsilon\xi_1 + \frac{\lambda}{d}H + \xi\right)\gamma}}, \quad (4.21)$$

(4.21) ფორმულით გამოთვლილი სიჩქარისა და ჰაერის საჭირო ხარჯის მიხედვით, რომელიც ან წინასწარაა ცნობილი, ან გაანგარიშდება (4.3)-(4.6) ფორმულებით, გავიგებთ შესასვლელი ჰაერსატარის კვეთის ფართობს, ამ უკანასკნელის მიხედვით — D - ს და ნახ. 4.13-ის შესაბამისად განისაზღვრება დეფლექტორის ზომები.

4.8. ადგილობრივი გამწოვები

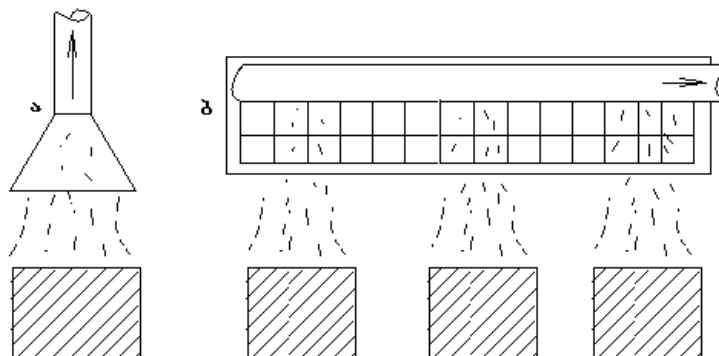
ლოკალური ვენტილაციის განხორციელება ხდება ადგილობრივი გამწოვების გამოყენებით, რომელიც შედგება ორი ძირითადი ნაწილის — ჰაერსადენისა და ჰაერმიმღებისაგან. ამ უკანასკნელის ტოქსიკური ნივთიერებების გენერაციის ადგილთან განლაგების მიხედვით ადგილობრივი გამწოვები სხვადასხვანაირი სახელწოდებითაა ცნობილი: 1. გასაწოვი გარსაცმი (გასაწოვი კარადა ან გასაწოვი ხოკერი) გამოსაყენებელია იმ შემთხვევაში, როცა შესაძლებელია ტექნოლოგიური პროცესის მოქცევა გარკვეულ შეზღუდულ სივრცეში; 2. ქოლგა გამოიყენება მაშინ, როცა შეუძლებელია ან ეკონომიკურად მიზანშეწონილი არაა ტექნოლოგიური პროცესის ლოკალიზება; 3. გარსაცმისა და ქოლგის კომბინაცია, ე.წ. საფარიანი ქოლგები. ასეთ შემთხვევაში ქოლგის ყველა ან ზოგიერთ ბორტზე შესაძლებელია მოსახსნელი საფარის მიმაგრება.

ყველა აღნიშნულ მოწყობილობას შესაძლებელია ექნეს ადგილთან მისადაგებული მრავალნაირი ფორმა, ხოლო მათი დანიშნულებაა ტოქსიკური და მავნე აირების სამუშაო ზონაში გავრცელების რაც შეიძლება შეფერხება, რაც პირველ რიგში განპირობებულია საიმედო შეკრებით ჰაერმიმღებში და შემდეგ მისი გაწოვით ჰაერსადენის ქსელის მეშვეობით.

ადგილობრივი გასაწოვი კამერის ყველაზე უფრო სრულყოფილი სახეა გამწოვი კარადა. მომსახურე პერსონალს ამ შემთხვევაში კონტაქტი არა აქვს კარადაში მოძრავ ჰაერთან და ამის გამო დასაშვებია ამ უკანასკნელს ჰქონდეს ტოქსიკური ნივთიერებების უფრო მაღალი კონცენტრაცია, ვიდრე ეს გათვალისწინებულია სამუშაო ზონაში დასაშვები ნორმებით. ამ შემთხვევაში ჰაერის წნევა კარადაში ყოველთვის დაბალი უნდა იყოს ატმოსფერულზე, აირების არასანქცირებული გაჟონვისა და სამუშაო სივრცეში გავრცელების ასაცილებლად. გასაწოვი კარადების ჯგუფს შესაძლებელია მივაკუთვნოთ

აგრეთვე სხვადასხვა ტიპის ტექნოლოგიური კამერები. მაგალითად, საშრობი და სამღებრო კამერები, ბუნკერები და ა.შ.

ქიმიურ გამწოვ კარადებში ჰაერის გაწოვა შესაძლებელია მოხდეს მისი ქვედა ან ზედა ზონიდან. თუ რეაქციის დროს გამოიყოფა ჰაერზე უფრო მკვრივი აირები და, ამასთან ერთად, რეაქცია თუ ენდოთერმულია, ანუ კარადაში ტემპერატურა დაბალია, მაშინ გაწოვა უნდა მოხდეს კარადის ქვედა ნაწილიდან. თუ კარადაში გვაქვს ცხელი ზედაპირები, მაშინ როგორც მძიმე, ისე მსუბუქი აირების გაწოვა უნდა მოხდეს კარადის ზედა ნაწილიდან.



ნახ. 4.14. გამწოვი ქოლგები: ა - ინდივიდუალური; ბ - ჯგუფური (შემიწული ჩარჩოებით).

პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება ამოსაწოვი ქოლგა მისი სიმარტივის გამო (ნახ. 4.14). ქოლგის გამოყენების შემთხვევაში ტოქსიკური ან მავნე ნივთიერების გენერაციის ადგილი არაა სამუშაო ზონისაგან იზოლირებული; ჰაერის ძლიერი ნაკადის მეშვეობით შესაძლებელია ქოლგისაკენ მიმართული ჭავლის გადახრა და მინარევების გავრცელება სამუშაო სივრცეში. თანაბარი შეწოვის განსახორციელებლად ქოლგის გაშლის კუთხეები უნდა იყოს 60 გრადუსის ფარგლებში.

4.9. ვენტილატორები და დამხმარე მოწყობილობები

ვენტილატორის ძირითად ნაწილს წარმოადგენს მუშა თვალი, რომელზედაც გარკვეული დახრის კუთხით დაყენებულია ნიჩბები. ნიჩბებიანი თვლის საშუალებით ხდება ჰაერის ამოძრავება და მისი ნაწილობრივი შეკუმშვა. გადაადგილებული ჰაერის მოცულობა და ვენტილატორის მიერ განვითარებული წნევა დამოკიდებულია მუშა თვლის წრიულ სიჩქარეზე და თვით მუშა თვლის ზომებზე.

კონსტრუქციის მიხედვით ძირითადად გამოდის ღერძული და ცენტრიდანული ვენტილატორები. პირველი მათგანი გამოიყენება, როცა საჭიროა მაღალი მწარმოებლურობა და შედარებით ნაკლები წნევა, ხოლო ცენტრიდანული ვენტილატორი ავითარებს უფრო მაღალ წნევას და აქვს ნაკლები მწარმოებლურობა. აღსანიშნავია, რომ ღერძული უფრო მაღალი ხმაურითაც ხასიათდება ცენტრიდანულთან შედარებით.

ცენტრიდანული ვენტილატორები დაყოფილია დაბალი (1000 პა-მდე), საშუალო (3000 პა-მდე) და მაღალი (3000 პა-ზე მეტი) წნევების ვენტილატორებად. წნევების ცვალებადობის ასეთი ფართო დიაპაზონი მიღწევადია ნიჩბების გამოსვლის სხვადასხვა კუთხით. კერძოდ, ნიჩბის პირი შეიძლება იყოს წინ მიხრილი (კუთხე <90 გრადუსზე), რადიალური (კუთხე — 90 გრადუსი) და უკან მიხრილი (კუთხე >90 გრადუსზე). წინ მიხრილი ნიჩბებით შესაძლებელია წნევის კოეფიციენტის უფრო მაღალი სიდიდის მიღება.

დაბალი წნევის ვენტილატორები ძირითადად გამოიყენება ჰაერის მაღალი ხარჯის გასავითარებლად. მაგალითად, სამოქალაქო და სამრეწველო მომდენ და გამწვავ სავენტილაციო სისტემებში. მათი გეომეტრიული ზომები შედარებით დიდია, რომელთა შესამცირებლად ნიჩბები წინ აქვთ მიხრილი და მათი რაოდენობა მაქსიმუმამდეა აყვანილი (48 - 64 ცალი). სიმტკიცის უზრუნველსაყოფად და ხმაურის დაბალი დონის მისაღწევად ნიჩბიანი თვლის წრიული სიჩქარე არ უნდა აღემატებოდეს 30 მ/წმ.

საშუალო წნევის ვენტილატორის გეომეტრიული ზომები ნაკლებია დაბალი წნევის ვენტილატორის გეომეტრიულ ზომებზე. ნიჩბების რაოდენობა არ აღემატება 24-ს და აქვს ტრაპეციისებრი ფორმა. ასეთი ფორმა უზრუნველყოფს კონსტრუქციის სიხისტეს. საშუალო წნევის ვენტილატორებმა განსაკუთრებული გამოყენება ჰპოვა მტვრიანი ჰაერის გაწოვის საქმეში. მტვრის ვენტილატორს აქვს 6-8 ნიჩბი და ისეთი კონსტრუქცია, რომ აცილებულია ღიობის ავსება და გამოგნესა მექანიკური მინარევებით (ბურბუშელა, ნახერხი, ბოჭკო და ა.შ.).

მტვრის ვენტილატორების გამოყენება შესაძლებელია აგრეთვე კვამლის გასაწოვადაც.

სიმტკიცის თვალსაზრისით საშუალო წნევის ვენტილატორის ნიჩბიანი თვლის წრიული სიჩქარე არ უნდა აღემატებოდეს 50 მ/წმ.

მაღალი წნევის ვენტილატორები სხვა ტიპის ვენტილატორებისაგან განსაკუთრებით გამოირჩევა გარსაცმის გეომეტრიული ზომებით. გარსაცმის სიგანე, ჰაერის შესასვლელი და გამოსასვლელი კვეთების დიამეტრები ბევრად უფრო ნაკლებია დაბალი და საშუალო წნევის ვენტილატორების სათანადო ზომებზე. ნიჩბიანი თვლის წრიული სიჩქარე მიღებულია 100 მ/წმ.

სავენტილაციო ტექნიკაში გამოყენებულმა მაღალი წნევის ცენტრიდანულმა ვენტილატორებმა აგრეთვე გამოყენება ჰპოვა პნევმოტრანსპორტში.

ვენტილატორის მუშა თვალი და ძრავი შესაძლებელია ერთ ლილვზე იყოს დამონტაჟებული. ასეთი ვენტილატორი უფრო კომპაქტური, ეკონომიური და უხმაუროა სხვა თანაბარ პირობებში. თვლის ასეთი შეერთება შესაძლებელია დაბალი მწარმოებლურობის ვენტილატორებში. მაღალი მწარმოებლურობის ვენტილატორებში მუშა თვალი ძრავას ლილვთან შეერთებულია შუალედური ქუროთი.

ღერძული ვენტილატორი ცილინდრულ გარსაცმში მოთავსებული ნიჩბიანი თვალია, რომლის ბრუნვის დროს ჰაერი ნიჩბების მეშვეობით ღერძული მიმართულებით გადაადგილდება. მუშა თვალი, რომელიც ლითონის მილისაა მასზე დადუღებული ნიჩბებით, უმეტეს შემთხვევაში უშუალოდაა დამაგრებული ძრავას ლილვზე. ზოგ

შემთხვევაში ძრავა გატანილია ჰაერის ნაკადიდან და თვალთან შეერთებულია ღვედური გადაცემით.

ღერძული ვენტილატორი, ცენტრიდანულისაგან განსხვავებით, რევერსიულია, რადგანაც თვლის ბრუნვის მიმართულების შეცვლა იწვევს ჰაერის ნაკადის მოძრაობის მიმართულების შეცვლასაც. თუ ნიჩბის პროფილი არასიმეტრიულია, მაშინ მკვეთრად ეცემა მისი მწარმოებლურობა რევერსის დროს. თანამედროვე ვენტილატორებში მიღწევადია მწარმოებლურობის 80%-ის შენარჩუნება რევერსის დროს. ღერძული ვენტილატორების გამოყენება რეკომენდებულია ჰაერის დიდი ხარჯისათვის 100-300 პა წნევის დიაპაზონში. ღერძული ვენტილატორის მქუ უფრო მაღალია ცენტრიდანულთან შედარებით.

შესრულების მიხედვით ვენტილატორი შესაძლებელია იყოს ჩვეულებრივი და ფეთქებაუსაფრთხო შესრულების. ფეთქებაუსაფრთხო ვენტილატორი მზადდება პლასტმასის ან ალუმინის მასალისაგან, მისი მოწყობიდან გამოსვლის შემთხვევაში, დეტალების ერთმანეთზე ხახუნის შედეგად არ წარმოიშობა ნაპერწკალი და გამორიცხულია აფეთქება ამ მიზეზით. ფეთქებაუსაფრთხო ვენტილატორები გამოიყენება იქ, სადაც საჭიროა ფეთქებადი აირების გაწოვა (სამღებრო საქმეში, საღებავების წარმოებაში, სხვადასხვა ორგანული გამხსნელების წარმოებაში და ა.შ.). სამთამადნო საქმეში აგრეთვე ფეთქებაუსაფრთხო შესრულების ვენტილატორები გამოიყენება. აქ ფეთქებაუსაფრთხოება ძირითადად ძრავას შეეხება.

მომდენი ვენტილაციის მექანიკურ სისტემებში შედის შემდეგი დამხმარე მოწყობილობები და კონსტრუქციული ელემენტები:

1. ჰაერმიმღები მოწყობილობა, რომლითაც ატმოსფერული, ანუ გარე ჰაერი მიეწოდება სავენტილაციო სისტემას;
2. ჰაერის მოღინებითი კამერა, რომელშიც განლაგებულია ვენტილატორი ელექტროძრავით და ჰაერის დასამუშავებლად საჭირო მოწყობილობები — ფილტრები, კალორიფერები, ჰაერის იონიზატორები, წყლის ფრქვევანები და ა.შ.
3. ჰაერსადენების ქსელი;
4. მომდენი ნახვრეტები და საცმები;
5. მომდენ ნახვრეტებზე დასაყენებელი ჟალუზებიანი გისოსები და ბადეები;
6. ჰაერსადენების განშტოებებსა და ჰაერმიმღებ ნახვრეტებზე დასაყენებელი სარეგულირებელი მოწყობილობები — დროსელ-სარქვლები და საკვალთები.

გამწოვი ვენტილაციის მექანიკური სისტემების შედგენილობაშია შემდეგი კონსტრუქციული ელემენტები:

1. გამწოვი ნახვრეტები მათზე დასაყენებელი ჟალუზებიანი გისოსებითა და ბადეებით;
2. ჰაერსადენების ქსელი, რომლის საშუალებითაც გასაწოვი ჰაერი მიედინება გამწოვ კამერაში;
3. გამწოვი კამერა, რომელშიც დაყენებულია ვენტილატორი და ელექტროძრავა;
4. ჰაერსაწმენდი მოწყობილობები მაშინ, როცა ხდება ჰაერის რეცირკულაცია ან გარემოს დაცვის მიზნით შეზღუდულია მავნე მინარევების გატყორცნა ატმოსფეროში;
5. ამომწოვი შახტი, რომლითაც ჰაერი ატმოსფეროში გაიღვენება;

6. სარეგულირებელი მოწყობილობები — დროსელ-სარქვლები და საკვალთები.

ცალკეულ სავენტილაციო სისტემაში შესაძლებელია არ გვექონდეს ყველა ზემოაღნიშნული ელემენტი. კერძოდ, მომდენი ვენტილაციის სისტემებში ყოველთვის არა გვაქვს ფილტრები და ჰაერის დასატენიანებლად და დასაიონებლად საჭირო მოწყობილობები და ა.შ.

4.10. ჰაერის გაწმენდა მინარევებისაგან

ჰაერის გასაწმენდად გამოიყენება სხვადასხვა სახის მოწყობილობები: ციკლონები, ფილტრები და სხვ. გაწმენდა ესაჭიროება როგორც სათავსოში მისაწოდებელ, ისე ატმოსფეროში გასაშვებ ჰაერს. ნორმებით განსაზღვრულია მტვრის ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაცია (ზღვ), რომელიც სამუშაო ადგილზე არსებულ ჰაერში, მომდენ ჭავლში და ატმოსფეროში დაბრუნებულ ჰაერში შესაბამისად აღვნიშნოთ n_j , n_f და n_a სიმბოლოებით.

მომდენი ჭავლი არ უნდა შეიცავდეს ზღვ-ს მესამედზე, ანუ $0,33n_j$ -ზე მეტ მტვერს. ატმოსფეროში გაშვებულ ჭავლში, თუ მისი ხარჯია $15\ 000\ \text{მ}^3/\text{სთ}$ და მეტი, მტვრის შემცველობა არ უნდა აღემატებოდეს სიდიდეს $n_a = 100k$, ხოლო ჰაერის უფრო ნაკლები ხარჯის შემთხვევაში დასაშვები სიდიდე განისაზღვრება ფორმულით $n_a = 160k$.

კოეფიციენტი k -ს რიცხვითი სიდიდე დამოკიდებულია სამუშაო ადგილების სავენტილაციო ჰაერში ნორმებით განსაზღვრულ მტვრის ზღვ-ზე, რომელიც სხვადასხვა ნორმისათვის წარმოდგენილია 4.3 ცხრილში.

ცხრილი 4.3

ჭავლის მტვრიანობის კოეფიციენტის ცვალებადობა ზღვ-ის მიხედვით

სამუშაო ადგილზე მტვრის ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაცია ჰაერში c_2 , მგ/მ ³	მტვრიანობის k კოეფიციენტის რიცხვითი სიდიდე
<2	0,3
2 - 4	0,6
4 - 6	0,8
>6	1,0

გაწმენდის მოთხოვნილი ხარისხის შესაბამისად ირჩევენ მტვრის სათანადო დამჭერებს, დამჯენებს ან ფილტრებს.

გაწმენდის ხარისხი განისაზღვრება ფორმულით:

$$\eta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}, \quad (4.22)$$

სადაც n_1 და n_2 შესაბამისად არის მტვრის კონცენტრაცია ჰაერის გაწმენდამდე და გაწმენდის შემდეგ, მგ/მ³.

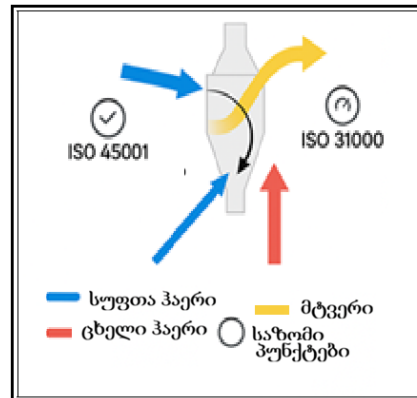
ორსაფეხუროვანი გაწმენდის შემთხვევაში აღნიშნული ხარისხი განისაზღვრება ფორმულით:

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 - \eta_1\eta_2, \quad (4.23)$$

სადაც η_1 და η_2 შესაბამისად არის გაწმენდის ხარისხი პირველი და მეორე საფეხურის შემდეგ.

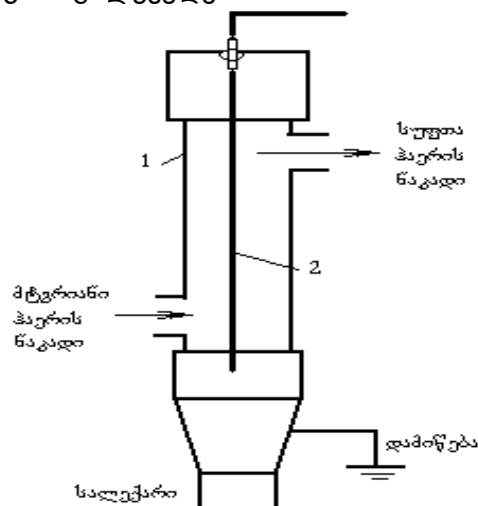
საშუალო ხარისხამდე ჰაერის გასაწმენდად გამოიყენება ციკლონები, რომელთა მოქმედება დაფუძნებულია ცენტრიდანული სეპარაციის პრინციპზე.

ციკლონი ისეთნაირადაა მოწყობილი, რომ ჰაერი მასში ასრულებს დაღმავალ წრიულ მოძრაობას დიდი დიამეტრის გარეთა ჰაერსატარში, ცენტრიდანული და გრავიტაციული ძალებით ხდება მტვრის განცალკევება და საღებარში შეგროვება, ხოლო სუფთა ჰაერი ციკლონის კორპუსში განთავსებული მეორე ჰაერსატარით ადმავალი მოძრაობით ატმოსფეროში გაიღვწება.



ფიგ. 4.15. ციკლონში მიმდინარე პროცესების სქემა.

ფიგ. 4.15-ზე ფერადი ისრები გამოყოფს სუფთა ჰაერს, ცხელ ჰაერს და მტვრის ნაკადს, ISO შესაბამისობის ნიშნებით. მტვრის გამოცალკევების უფრო მეტი შესაძლებლობა აქვს დამატენიანებლოთ აღჭურვილ ციკლონებს, რომლებშიც ცენტრიდანულ ძალებთან ერთად კოაგულაციის ძალები გამოიყენება. ასეთი ციკლონების შემთხვევაში ჰაერში არსებული მტვრის 85-95% გამოცალკევდება.



ფიგ. 4.16. ელექტროფილტრის მოქმედების პრინციპული სქემა:

1 - კორპუსი; 2 - ელექტროდი.

საშუალო და წვრილი დისპერსიის მტვრის ჰაერისაგან განსაცალკევებლად გამოიყენება სხვადასხვა კონსტრუქციისა და დანიშნულების ფილტრები. ფილტრის ზედაპირის ფართობი განისაზღვრება ფორმულით:

$$S_f = \frac{Q}{q_f}, \quad (4.24)$$

სადაც S_f არის ფილტრის ზედაპირის ფართობი, მ²; Q — ფილტრში გასატარებელი ჰაერის ხარჯი, მ³/წმ; q_f — მფილტრავი ზედაპირის კუთრი დატვირთვა, მ³/(მ².წმ).

კასეტური ტიპის ზეთოვანი ფილტრი გამოიყენება ჰაერის გასაწმენდად, როცა მისი საწყისი მტვერშემცველობა არ აღემატება 20 მგ/მ³. მისი გაწმენდის ხარისხია 0,95-0,98. ფილტრი შედგება კასეტებისაგან, რომლებშიც არის ფოლადის ბადის, ფოლადის ბურბუშელას ან ფაიფურის რგოლების რამდენიმე შრე, ხოლო ფილტრი დასველებულია თითისტარის ზეთით. ჰაერის გატარებისას ფილტრში რჩება მტვერი, რომლისგანაც პერიოდულად უნდა გაიწმინდოს კაუსტიკური სოდის 10%-იანი ხსნარით 60-70 °C ტემპერატურაზე.

კასეტური ტიპის ქსოვილის ფილტრებით შესაძლებელია ჰაერის პრაქტიკულად სრული გაწმენდა $\eta = 99,9\%$. ქსოვილი მზადდება ლავსანის ან აქაფებული პოლიურეთანისაგან.

ძალიან მაღალი ეფექტურობით გამოირჩევა ელექტრული ფილტრი, რომელიც შედგება უარყოფითად დამუხტული ლითონის ბადისაგან დამზადებული კორპუსისა და დადებითად დამუხტული ფირფიტებისაგან (ნახ. 4.17). კორპუსი და ფირფიტა-ელექტროდები იზოლირებულია ერთმანეთისაგან. მტვერი ფილტრში გავლისას იძენს ელექტრულ მუხტს და ილექება კორპუსზე, ხოლო გასუფთავებული ჰაერი ატმოსფეროში გადის.

4.11. გამოსაყენებელი დაცვის საშუალებები

- **ობიექტური:** ბუნებრივი და მექანიკური ვენტილაციის სისტემები, ადგილობრივი გამწოვები, ჰაერის ფილტრაციის მოწყობილობები, ავტომატური სენსორები და სიგნალიზაცია (თუ მართავენ პროცესებს, ხოლო თუ მარტო სიგნალს იძლევიან, რომელსაც უნდა მოჰყვეს პერსონალის გააზრებული მოქმედება, მაშინ ასეთი სენსორები და სიგნალიზაცია მიეკუთვნებიან დაცვის სუბიექტურ საშუალებებს).
- **ინდივიდუალური:** რესპირატორები, დამცავი ნიღბები, სპეციალური ტანსაცმელი მტვრისა და ტოქსიკური ნივთიერებებისგან დასაცავად.
- **სუბიექტური:** თანამშრომელთა სწორი ინსტრუქტაჟი, ვენტილაციის რეჟიმების დაცვა, სამუშაოს შეწყვეტა არასაკმარისი ჰაერცვლის შემთხვევაში.

4.12. კითხვები გამეორებისათვის მოკლე პასუხებით

ISO სტანდარტებზე დაფუძნებული 10 დამატებითი შემაჯამებელი კითხვა მოკლე პასუხებით. ეს ბლოკი აძლიერებს ინტერპრეტაციას და აჩვენებს, თუ როგორ უკავშირდება ISO 31000 და ISO 45001 პრაქტიკულ კვლევას.

1. **ISO 31000-ის მიხედვით ვენტილაცია რა პროცესია?**
- რისკის მართვის პროცესი: საფრთხის იდენტიფიკაცია, შეფასება, კონტროლი.
2. **ISO 31000-ში რა არის საფრთხის იდენტიფიკაცია ვენტილაციის კონტექსტში?**
- ჰაერის დაბინძურება, CO₂-ის დაგროვება, ტენიანობის გადაჭარბება.
3. **ISO 31000-ში რისკის შეფასება როგორ ხდება ვენტილაციაში?**
- ჰაერის ხარჯის გაანგარიშებით და ჯერადობის განსაზღვრით.
4. **ISO 31000-ში კონტროლის ზომები ვენტილაციისთვის?**
- ვენტილატორის შერჩევა, რეცირკულაციის გამოყენება, დამატებითი ფილტრაცია.
5. **ISO 45001-ის მიხედვით ვენტილაცია რა ტიპის ღონისძიებაა?**
- პრევენციული ღონისძიება, რომელიც ამცირებს დაავადებებისა და ტრავმატიზმის რისკს.
6. **ISO 45001-ში ვენტილაციის ნორმირება რას ნიშნავს?**
- ჰაერის პარამეტრების შესაბამისობა სანიტარიულ-ჰიგიენურ სტანდარტებთან.
7. **ISO 45001-ის მოთხოვნა მონიტორინგზე როგორ აისახება ვენტილაციაში?**
- პერიოდული გაზომვები CO₂-ის, ტენიანობისა და ტემპერატურის.
8. **ISO 45001-ში აუდიტი როგორ უკავშირდება ვენტილაციას?**
- ვენტილაციის სისტემების რეგულარული შემოწმება და შესაბამისობის დადასტურება.
9. **ISO სტანდარტების სინთეზი ვენტილაციაში რას გვიჩვენებს?**
- რაოდენობრივი მეთოდები (ISO 31000) + ხარისხობრივი მოთხოვნები (ISO 45001).
10. **ISO ინტერპრეტაციის ძირითადი მესიჯი მე-4 თავში?**
- ვენტილაცია არის კვლევის მეთოდების პრაქტიკული მაგალითი, რომელიც უზრუნველყოფს ISO სტანდარტებთან შესაბამისობას.

კითხვები გამეორებისათვის:

ბლოკი I – თეორიული (10 კითხვა)

1. **რა არის ჰაერცვლა?** – სათავსის ჰაერის შეცვლა ატმოსფერული ჰაერით.
2. **ბუნებრივი წევა როგორ აღიძვრება?** – სიმკვრივის სხვაობით, გრავიტაციული ძალებით.
3. **მექანიკური წევა როგორ მიიღება?** – ვენტილატორის ან სხვა მოწყობილობის მიერ.
4. **რა არის მომდენი ვენტილაცია?** – ჭარბი წნევით ჰაერის მიწოდება.
5. **რა არის გამწოვი ვენტილაცია?** – ნაკლები წნევით ჰაერის ამოწოვა.
6. **რა არის ინფილტრაცია?** – ჰაერის ცვლა ღრეჩოებით და ღიობებით.

7. **რა არის აერაცია?** – ფანჯრების გაღებით ჰაერის ცვლა.
8. **რა არის რეცირკულაცია?** – ამოწოვილი ჰაერის ხელმეორედ შებრუნება სათავსში სათბობის დაზოგვის მიზნით.
9. **როდის გამოიყენება რეცირკულაცია?** – ძირითადად ცივ სეზონში, როცა ჰაერი არ არის დაბინძურებული.
10. **რა არის ვენტილაციის ნორმირების მიზანი?** – ჰაერის სანიტარიულ-ჰიგიენური მოთხოვნების დაკმაყოფილება.

ბლოკი II – პრაქტიკული (10 კითხვა)

1. **ჰაერსადენის დეპრესია რას გამოხატავს?** – აეროდინამიკური წინაღობის გადასალახად საჭირო წნევას.
2. **ჰაერცვლის ჯერადობა რას გვიჩვენებს?** – რამდენჯერ იცვლება სათავსის ჰაერი 1 საათში.
3. **ჰაერის ხარჯის გაანგარიშება რაზეა დამოკიდებული?** – სითბოს გამოყოფაზე, ტენიანობაზე, მტვერზე, ტოქსიკურ მინარევებზე.
4. **ნახშირორჟანგის ნორმა საცხოვრებელ ბინაში?** – 1.0 ლ/სთ ან 1.5 გ/სთ.
5. **რა არის ვენტილატორის დეპრესია?** – ვენტილატორის მიერ ჰაერის ნაკადზე მინიჭებული წნევა.
6. **ბუნებრივი წევის დეპრესია რას გამოხატავს?** – ჰაერის ნაკადზე ბუნებრივად მინიჭებულ წნევას.
7. **რა არის ჰაერის რეცირკულაციის მიზანი?** – სათბობის დაზოგვა.
8. **მავზე აირების შემთხვევაში ჰაერის ხარჯი როგორ ითვლება?** – კონცენტრაციის სხვაობის მიხედვით.
9. **ჭარბი ტენის შემთხვევაში ჰაერის ხარჯი როგორ ითვლება?** – წყლის ორთქლის მასისა და ტენშემცველობის სხვაობით.
10. **მტვრის შემთხვევაში ჰაერის ხარჯი როგორ ითვლება?** – მტვრის მასისა და კონცენტრაციის სხვაობით.

ბლოკი III – ინტერპრეტაციული (10 კითხვა)

1. **რატომ არის ვენტილაცია კვლევის ობიექტი?** – რადგან მისი ეფექტიანობა განსაზღვრავს სამუშაო გარემოს უსაფრთხოებას.
2. **როგორ უკავშირდება ვენტილაცია რისკის ინდექსებს?** – ჰაერის ხარჯის გაანგარიშება აჩვენებს რისკის შემცირების შესაძლებელ დონეს.
3. **ბუნებრივი წევის კვლევა როგორ ხდება?** – სიმკვრივის ცვლილებების გაზომვით და სეზონური დაკვირვებებით.
4. **მექანიკური წევის კვლევა როგორ ხდება?** – ვენტილატორის მიერ განვითარებული წნევის ექსპერიმენტული მონაცემებით.
5. **ვენტილაციის ნორმირება რა ტიპის კვლევაა?** – ხარისხობრივი, რადგან უნდა შედარდეს სტანდარტებთან.
6. **როგორ უკავშირდება ვენტილაცია ISO 45001-ს?** – უზრუნველყოფს სამუშაო გარემოს ჰიგიენურ მოთხოვნებს.

7. **რატომ არის ჰაერის ჯერადობა კვლევითი პარამეტრი?** – იგი განსაზღვრავს რისკის შემცირების ეფექტიანობას.
8. **როგორ შეიძლება ვენტილაციის მონაცემების ინტერპრეტაცია?** – ნორმებთან შედარებით და უსაფრთხოების ინდექსების გამოყენებით.
9. **რატომ არის ვენტილაციის კვლევა ჰარმონიაში ამ სახელმძღვანელოს 1–3 თავებთან?** – რადგან ის აგრძელებს რისკის კვლევის მეთოდოლოგიას.
10. **რა არის მე-4 თავის ძირითადი კვლევითი სიგნალი?** – ვენტილაცია არის კვლევის მეთოდების პრაქტიკული დემონსტრაცია პროფესიულ უსაფრთხოებაში.

სწრაფი სავარჯიშო

11. **ჰაერცვლა რას ნიშნავს?**
- სათავსის ჰაერის შეცვლა ატმოსფერული ჰაერით.
12. **ბუნებრივი წევა როგორ წარმოიქმნება?**
- სიმკვრივის სხვაობით, გრავიტაციული ძალებით (მაგ., ბუნარი), დგუმის ეფექტით (მაგ., მოძრავი ტრანსპორტი).
13. **მექანიკური წევა როგორ მიიღება?**
- ვენტილატორის ან სხვა მოწყობილობის მიერ.
14. **ინფილტრაცია რას ნიშნავს?**
- ჰაერის ცვლა ღრეჩობებით და ღიობებით.
15. **ჰაერცვლის ჯერადობა რას გვიჩვენებს?**
- რამდენჯერ იცვლება სათავსის ჰაერი 1 საათში.
16. **რეცირკულაცია როდის გამოიყენება?**
- ძირითადად ცივ სეზონში, როცა ჰაერი მავნე მინარევებით არ ბინძურდება.
17. **ვენტილაციის ნორმირების მიზანი?**
- ჰაერის სანიტარიულ-ჰიგიენური მოთხოვნების დაკმაყოფილება.

პირველი ოთხი თავის 30-კითხვიანი შემთხვევითი სერია

თავი 1 – კვლევის მეთოდები (7 კითხვა)

1. **რისკის ინდექსის ფორმულა როგორია?** - $R = P \times S$.
2. **ISO 31000-ის მთავარი მიზანი?** - რისკების მართვის ჩარჩო.
3. **საფრთხე რას ნიშნავს?** - ზიანის პოტენციური წყარო.
4. **რა არის რისკის მართვის ეტაპები?** - იდენტიფიკაცია → შეფასება → კონტროლი → მონიტორინგი.
5. **უსაფრთხოება რას ნიშნავს?** - საფრთხეების შემცირება მისაღებ დონემდე.
6. **რა არის ISO 45001-ის პრინციპი?** - პრევენციული ზომები და მონიტორინგი.
7. **ინდექსების გამოყენება რას გვიჩვენებს?** - რისკის რაოდენობრივ შეფასებას.

თავი 2 – ტრავმატიზმი და დაავადებები (8 კითხვა)

8. **საწარმოო ტრავმა რას ნიშნავს?** - უცარი ზემოქმედებით მიღებულ დაზიანებას.
9. **პროფესიული დაავადება რას ნიშნავს?** - ხანგრძლივი მავნე ზემოქმედების შედეგს.
10. **რა განსხვავებაა სახიფათო და მავნე ფაქტორებს შორის?** - სახიფათო იწვევს ტრავმას, მავნე – დაავადებას.
11. **ტრავმატიზმის სტატისტიკური მეთოდი რას აკეთებს?** - ამუშავებს უბედური შემთხვევების მონაცემებს.

12. **მონოგრაფიული მეთოდი რას იკვლევს?** - კონკრეტული პროცესის ან ინსტრუმენტის უსაფრთხოებას.
13. **ტოპოგრაფიული მეთოდი რას გვიჩვენებს?** - საწარმოს ყველაზე საშიშ ადგილებს.
14. **ტექნიკური მეთოდი რას გულისხმობს?** - ტექნიკური საშუალებების გამოცდასა და შეფასებას.
15. **ეკონომიკური მეთოდი რას გვიჩვენებს?** - უსაფრთხო მუშაობის ეკონომიკურ სარგებელს.

თავი 3 – ჰაერის შედგენილობა და ნორმირება (7 კითხვა)

16. **ატმოსფერული ჰაერის ძირითადი კომპონენტები?** - აზოტი, ჟანგბადი, არგონი, CO₂.
17. **დალტონის კანონი რას ამბობს?** - საერთო წნევა = პარციალური წნევების ჯამი.
18. **კონცენტრაციის ფორმულა?** - $c_i = V_i / V \times 100\%$.
19. **ფარდობითი ტენიანობის ფორმულა?** - $\varphi = \frac{p}{p_h} \times 100 \%$.
20. **მაღალი ტენიანობის რისკი?** - სოკოსა და ბაქტერიების გავრცელება.
21. **ჰაერის სიმკვრივის ფორმულა?** - $\gamma = m / V$.
22. **ჟანგბადის შემცირების შედეგი?** - ასფიქსიის რისკი და დაღლილობა.

თავი 4 – ვენტილაცია (8 კითხვა)

23. **ჰაერცვლა რას ნიშნავს?** - სათავსის ჰაერის შეცვლა ატმოსფერული ჰაერით.
24. **ბუნებრივი წევა როგორ წარმოიქმნება?** - სიმკვრივის სხვაობით, გრავიტაციული ძალებით.
25. **მექანიკური წევა როგორ მიიღება?** - ვენტილატორის მოქმედებით.
26. **ჰაერსადენის დეპრესია რას გამოხატავს?** - წინაღობის გადასალახად საჭირო წნევას.
27. **ჰაერცვლის ჯერადობა რას გვიჩვენებს?** - რამდენჯერ იცვლება ჰაერი 1 საათში.
28. **რეცირკულაცია როდის გამოიყენება?** - ცივ სეზონში, როცა ჰაერი არ არის დაბინძურებული.
29. **ვენტილაციის ნორმირების მიზანი?** ჰაერის სანიტარიულ-ჰიგიენური მოთხოვნების დაკმაყოფილება.
30. **ISO ინტერპრეტაცია: ვენტილაცია ISO 45001-ში?** - მონიტორინგი და ნორმებთან შესაბამისობა უსაფრთხო სამუშაო გარემოსთვის.

გამოსაყენებელი სტანდარტები: ISO 31000 — რისკის ინდექსები; ISO 45001 — ვენტილაციის ნორმირება.

5. აფეთქება და ხანძრები

5.1. განმარტებითი შენიშვნები (ინტეგრაცია, ჰარმონიზაცია)

თეორიული ინტეგრაცია:

- თავი 5 აგრძელებს წინა თავების ლოგიკას.
- თავი 1: კვლევის მეთოდები → მოცემული თავიდან აქ გამოყენებულია ინდექსების განსაზღვრის პრინციპი (რაც ქვემოთ გამოხატულია ფეთქებადობის ზღვრებით).
- თავი 2: ტრავმატიზმი → ცხადია, რომ აფეთქებები და ხანძრები წარმოადგენენ ტრავმატიზმის ერთ-ერთ მთავარ წყაროს.
- თავი 3: ჰაერის შედგენილობა → ფეთქებადი ნარევების კონცენტრაცია პირდაპირ არის განპირობებული ჰაერის კომპონენტებით.
- თავი 4: ვენტილაცია → საგანგებო ვენტილაცია აუცილებელია ფეთქებადი აეროზოლების თავიდან ასაცილებლად და უსაფრთხო სამუშაო გარემოს შესაქმნელად.

ინტეგრაცია სტანდარტებთან:

- თავი 5 უშუალოდ უკავშირდება ISO 31000 და ISO 45001 სტანდარტების მოთხოვნებს, რადგან აფეთქებები და ხანძრები წარმოადგენენ ერთ-ერთ ყველაზე კრიტიკულ რისკს სამუშაო გარემოში.
- ISO 31000-ის ჩარჩო აქ გამოიყენება რისკის იდენტიფიკაციისა და ინდექსების განსაზღვრისათვის (მაგ., ფეთქებადობის ქვედა და ზედა ზღვარი, საშიშ კონცენტრაციათა დიაპაზონი).
- ISO 45001 ხაზს უსვამს პრევენციულ ზომებს: ვენტილაციის მართვა, საწვავი ნარევების კონტროლი, ინსტრუქტაჟი და უსაფრთხოების წესების დაცვა.
- ამგვარად, აფეთქებებისა და ხანძრების შესწავლა არის არა მხოლოდ ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების ახსნა, არამედ — სტანდარტიზებული რისკ-მენეჯმენტის პრაქტიკული მაგალითი.

პედაგოგიური ინტეგრაცია:

- კითხვები და მოკლე პასუხები ქმნის სწრაფი შემოწმების საშუალებას.
- პრაქტიკული მაგალითები (შაქრის ქარხანა, ფქვილის საწყობი) აძლიერებენ რეალურ კონტექსტს.
- სახელმძღვანელო მთლიანობაში ერთიან, საერთაშორისო სტანდარტებზე მორგებულ ინსტრუქციულ გზამკვლევადაც არის ჩაფიქრებული.
- მოკლე შენიშვნები უზრუნველყოფენ, რომ მკითხველი არ დაკარგავს საერთო სურათს და დაინახავს თითოეული თემის ადგილს საერთაშორისო სტანდარტების კონტექსტში.

დასკვნითი შენიშვნა:

წვის პროცესის დაწყება დამოკიდებულია საწვავის, ჟანგბადის და აალების იმპულსის ერთდროულ არსებობაზე (ISO 31000). ჟანგბადის რაოდენობის მიხედვით წვის კლასიფიკაცია უკავშირდება ISO 45001-ის პრინციპს — უსაფრთხო სამუშაო გარემოს უზრუნველყოფას. ფეთქებადობის საზღვრების განსაზღვრა ემპირიულ მეთოდებზეა დაფუძნებული და წარმოადგენს რისკის ინდექსის პრაქტიკულ გამოყენებას.

5.2. ქვანახშირის მტვრის ფეთქებადობა

ქვანახშირის მტვერი, როგორც ორგანული წარმოშობის მტვერი, ფეთქებადია განსაზღვრულ კონცენტრაციებში. აფეთქების რისკი იზრდება მცირე ნაწილაკების არსებობისას, შეზღუდულ სივრცეში და ანთების წყაროს არსებობისას. ეს მაგალითი პრაქტიკულად აჩვენებს, როგორ იქცევა ორგანული წარმოშობის მტვერი ფეთქებად აეროზოლად და როგორ უნდა შეფასდეს რისკი ISO სტანდარტების მიხედვით.

ქვანახშირის მტვერს შეიცავს სავენტილაციო ჰაერი შახტებში, ქვანახშირის მამლიძრებელ ფაბრიკებში, ქვანახშირზე მომუშავე თბოელექტროსადგურებში და სხვაგან.

ქვანახშირის 1 მმ-მდე ან უფრო მცირე ზომის მტვრის კონცენტრაციისას 16-96 გ/მ³-დან 2000 გ/მ³-მდე აეროზოლი იწვის და ფეთქდება. ამის გარდა ქვანახშირის მტვერი, აგრეთვე ნახშირბადის შემცველი სხვა აეროზოლებიც გაცხელებისას გამოყოფენ 15% და მეტი რაოდენობის აქროლადებს, რომლებიც ფეთქებადი აირებია. ქვანახშირის მტვრის აალების ტემპერატურა შეადგენს 750-850 °C, ხოლო აფეთქების ტალღის სიჩქარე დეტონაციისას შეადგენს დაახლოებით 1000 მ/წმ, რაც აღემატება ბერის სიჩქარეს მოცემულ ტემპერატურაზე და დიდი დამანგრეველი ძალა აქვს.

ყველაზე დიდი დამანგრეველი ძალა აქვს აფეთქებას, როცა მტვრის კონცენტრაცია იცვლება 300-400 გ/მ³ დიაპაზონში.

რაც უფრო ტენიანია აეროზოლი ან რაც უფრო მეტი ინერტული ნივთიერების შემცველობით ხასიათდება, მით ნაკლებად საშიშია აეროზოლი აფეთქებისა და აალების მხრივ.

დადგენილია, რომ:

1. ქვანახშირის მტვერს აქვს აფეთქების უნარი მეთანის გარეშე;
2. ქვანახშირის მტვერს შეუძლია მცირე რაოდენობის მეთანის აფეთქება გადააქციოს დიდი სიძლიერის აფეთქებად;
3. ქვანახშირის მტვრის თანხლება ამცირებს მეთანის ჰაერთან ფეთქებადი ნარევის ქვედა ზღვარს, რომელიც 5%-ზე ნაკლები ხდება;
4. ქვანახშირის მტვრის აფეთქების პროდუქტები დიდი რაოდენობით შეიცავს ნახშირბადის მონოოქსიდს, რომელიც დამატებით საფრთხეს წარმოადგენს როგორც აფეთქების, ისე ადამიანების მოწამვლის თვალსაზრისით.

აეროზოლების წვის პროცესი რამდენადმე განსხვავებულია აირების წვის პროცესისაგან, მაგრამ საერთოც ბევრია. კერძოდ, ერთმანეთის ანალოგიურია მათი თბური ეფექტი: 10% მეთანის კონცენტრაციის 1 მ³ ჰაერის ნარევი თეორიულად თითქმის იმავე თბურ ეფექტს იძლევა აფეთქებისას, რასაც ქვანახშირის იმ მტვრის რაოდენობა, რომელიც პოტენციურადაა შესაძლებელი დაიწვას 1 მ³ ჰაერში (111,5 გ ნახშირბადი). ქვანახშირის მტვრის თბური ეფექტია 34 078 კჯ/კგ (8 140 კკალ/კგ). როგორც აღინიშნა, მეთანისათვის იგივე მაჩვენებლები შესაბამისად შეადგენს 54 425 კჯ/კგ (13 000 კკალ/კგ).

ქვანახშირის მტვრის აფეთქება ხასიათდება შემდეგი თავისებურებებით:

1. აფეთქების ძალას განაპირობებს მტვრის დისპერსიულობა (დაქუცმაცებულობა), აგრეგაციის უნარი (აქროლალების გამოყოფა), ტენის ან ინერტული მინარევების (ნაცრის) შემცველობა, ასაფეთქებელი სივრცის მოცულობა, აალების წყაროს სიმძლავრე;

2. მტვრის ქიმიური შედგენილობით განპირობებულია გამოყოფილი აქროლადი აირების სახეობა, რომლებიც მონაწილეობენ აფეთქებაში;

3. აფეთქებას წინ უსწრებს სითბოს აკუმულაცია ჟანგვითი რეაქციებისა და აქროლალების გამოყოფის შედეგად;

4. ქვანახშირის მტვრის ღრუბელში ნაწილაკების ერთმანეთთან ხახუნით წარმოიშობა სტატიკური ელექტრული მუხტები, რომელთა განმუხტვის შედეგად შესაძლებელია ნაპერწკლის გაჩენა და აფეთქების ინიციაცია გარედან ჩარევის გარეშე;

5. ქვანახშირის მტვრის აფეთქებისას უპირატესად წარმოიშობა ნახშირბადის მონოოქსიდი.

აქროლალების მთავარი კომპონენტებია: მეთანი, წყალბადი, ნახშირბადის მონოოქსიდი, ეთანი, აგრეთვე ფისები და სხვა მძიმე ნახშირწყალბადები. ქვანახშირის დაშლის პროდუქტების აფეთქებადობის ქვედა ზღვარი პრაქტიკულად მუდმივი სიდიდეა და შეადგენს 4,2%. გოგირდწყალბადისა და ნახშირბადის მონოოქსიდის კონცენტრაცია ნახშირის დაშლის პროდუქტებში შემთხვევით ხასიათს ატარებს, განსაკუთრებით მაშინ, როცა ქვანახშირი მეტამორფიზმის მაღალ სტადიაზეა და აქროლალების გამოსავალი 15%-ზე ნაკლებია. მხოლოდ მეთანის გამოსავლიანობა ემორჩილება გარკვეულ კანონზომიერებას აქროლალების საერთო კონცენტრაციისას 20-30% -ის დიაპაზონში. ამ უკანასკნელის შემდგომი გაზრდისას მეთანის შემცველობა აღარ იზრდება, ხოლო ნარევის ფეთქებადუნარიანობა მაინც აგრძელებს მომატებას დანარჩენი წვადი კომპონენტების ხარჯზე.

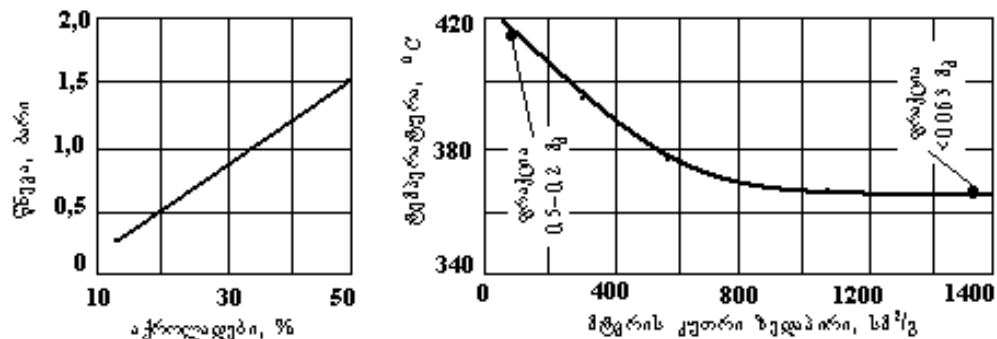
აქროლალების გამოსავლის მიხედვით ქვანახშირის მტვერი დაყოფილია მცირედ ფეთქებადად, როცა მათი გამოსავალი 15%-ზე ნაკლებია, და ძლიერად ფეთქებადად, როცა მათი გამოსავალი 15%-ზე მეტია.

რაც უფრო დისპერსულია ქვანახშირის მტვერი, მით უფრო მეტია მისი კუთრი ზედაპირი და შესაბამისად იზრდება მისი ფეთქებადუნარიანობა, რაც გამოხატულია აფეთქების ადგილზე წნევის ზრდით დისპერსულობის შემცირების კვალობაზე და აალების ტემპერატურის შემცირებით იმავე მიზეზით. ეს უკანასკნელი დამოკიდებულია წარმოდგენილია ნახ. 5.1-ზე (მარჯვნივ). აღნიშნულის გამო მტვერი აფეთქების მხრივ

უფრო საშიშია არა მისი გენერაციის ადგილზე, არამედ მისგან დაშორებით, სადაც მხოლოდ მცირე ფრაქციები გადაიტანება ჰაერის მიერ (მსხვილი ფრაქციები ილექებიან).

მაშასადამე, მტვრის ფეთქებადობის ხარისხი შესაძლებელია დახასიათდეს აგრეთვე აფეთქების ადგილზე წნევის სიდიდით. ეს უკანასკნელი მატულობს წვადი ნივთიერებების გამოყოფის გაზრდის კვალობაზე.

ქვანახშირის მტვრის აფეთქების შემთხვევაში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ატმოსფერული ჰაერის შედგენილობას აფეთქების ადგილზე. როგორც აღინიშნა, თუ ჰაერში არის მეთანი, მაშინ აფეთქება შესაძლებელია მტვრის დაბალი კონცენტრაციისას. დადგენილია, რომ ძლიერად ფეთქებადი მტვრის აფეთქების ქვედა ზღვარია $17-18 \text{ გ/მ}^3$, მაგრამ თუ მას ახლავს მეთანი, ფეთქებასაშიში ხდება უკვე $5-6 \text{ გ/მ}^3$ მტვრის შემცველობის ჰაერი. სუსტად ფეთქებადი მტვრის შემთხვევაში, რომელსაც მიეკუთვნება ისეთი, რომელშიც აქროლალების გამოსავალია $10-15\%$ -ის დიაპაზონში, აფეთქების ქვედა ზღვარი არის 50 გ/მ^3 .



ნახ. 5.1. მარცხნივ - ქვანახშირის მტვრის აფეთქების წნევის მსვლელობა აქროლალების მიხედვით; მარჯვნივ - მტვრის აალების ტემპერატურის ცვალებადობა კუთრი ზედაპირის მიხედვით.

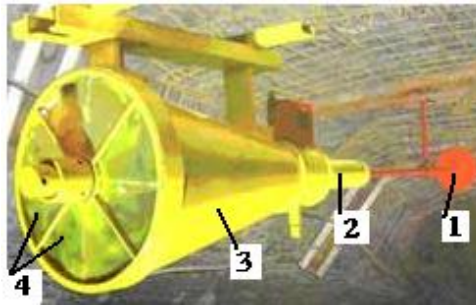
ქვანახშირის მტვრის ფეთქებაუნარიანობაზე ჰაერში წყლის წვეთების არსებობა დიდ გავლენას ახდენს. ტენი ამ შემთხვევაში შესაძლებელია განვიხილოთ, როგორც ინერტული დანამატი, რომლითაც კლებულობს მტვრის საერთო კონცენტრაცია. ამის გარდა, ტენი კიდევ ორი პოზიციით ამცირებს მტვრის ფეთქებაუნარიანობას: ჯერ ერთი, წყლის თბოტევადობა ინერტული მტვრის იმავე სიდიდეზე მეტია, ხოლო წყლის წვეთის აორთქლებაზე დასახარჯი სითბოს გათვალისწინებით, ტენიანობა დაახლოებით 5-ჯერ მეტ სითბოს შთანთქავს ნარევიდან ინერტულ მტვერთან შედარებით. მეორე პოზიცია ისაა, რომ ტენი ხელს უწყობს მტვრის ნაწილაკების კოაგულიაციას და ამის შედეგად ამცირებს მის კუთრ ზედაპირს ჟანგვითი პროცესების შემცირების თანხლებით.

წყლის წვეთების დამცავი თვისებებიდან ყველაზე მნიშვნელოვანი კოაგულიაციის უნარია.

მტვრის ნაცრიანობა ამცირებს ქვანახშირის მტვრის ფეთქებაუნარიანობას, მაგრამ იშვიათი გამონაკლისის გარდა ნახშირის ბუნებრივი ნაცრიანობა საკმარისი არაა მისი მტვრის აფეთქების ასაცილებლად.

ქვანახშირის მტვრის აფეთქებას აქვს თავისებურებები. ალის ფრონტი გავრცელების სიჩქარის მიხედვით განსხვავებულია:

1. ანთება - მტვრის წყნარი წვა ხდება ჟანგბადის უკმარისობისას;
2. აალება 4-10 მ/წმ წვის სიჩქარით 15 კპა წნევის პირობებში;
3. აფეთქება 100 მ/წმ-ზე მეტი წვის სიჩქარით;
4. დეტონაცია, რომლის დროსაც ალის ფრონტი ვრცელდება 1000 მ/წმ და მეტი სიჩქარით.



ფიგ. 5.2. ინერტული მტვრის გასაფრქვევი ავტომატური სისტემის საერთო ხედი:

1 - სენსორები და მართვის ფარი; 2 - კუმშული ჰაერის რეზერვუარი; 3 - ინერტული მტვრის ჭურჭელი; 4 - საქმენები, რომლებიც ჩვეულებრივ დახმულია ჰერმეტიკულად.

შახტებში ქვანახშირის მტვრის აფეთქების ასაცილებლად იყენებენ ჰაერის მორწყვის ან მისი ინერტული მტვრით გაჯერების მეთოდებს. ინერტული მტვრით ავსებული ჭურჭლები ისეა განლაგებული, რომ აფეთქების ტალღას შეუძლია მათი ამოყირავება, ჰაერის გაჯერება ინერტული მტვრით და დეტონაციის აცილება. ჭურჭლების ამოყირავება შესაძლებელია ხელითაც.

ქვანახშირის მტვრის აფეთქების ლოკალიზაციისათვის გამოიყენება აგრეთვე ავტომატური სისტემა (ნახ. 5.2), რომლის სენსორები ღებულობს პირველადი აფეთქების ტალღას. სენსორებიდან მექანიკური იმპულსი გადაეცემა ასამუშავებელ მექანიზმს, რომელიც გაარღვევს სისტემის სამუშაო სივრცის მთლიანობას 15-20 მილიწამის განმავლობაში, გაათავისუფლებს შეკუმშულ ჰაერსა და დაახლოებით 25 კგ ინერტულ ცეცხლსაქრობ ფხვნილს. ეს უკანასკნელი აავსებს სივრცეს, სადაც მოხდება პირველადი აფეთქება და გამორიცხავს დეტონაციის განვითარების შესაძლებლობას დაახლოებით 180-200 მ³ მოცულობის სივრცეში. ასეთი ავტომატური სისტემა ძირითადად გამოიყენება შახტებსა და ქვანახშირის თბოელექტროსადგურებში.

5.3. გოგირდისა და მისი ნაერთების მტვრის აფეთქებადობა

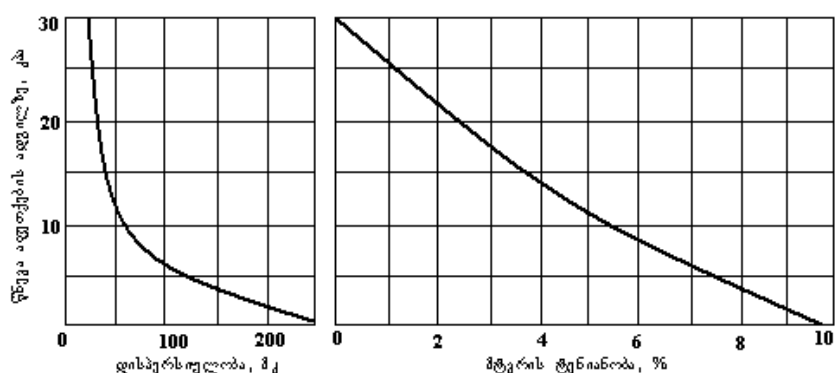
სპილენძისა და გოგირდ-კოლჩედანური საბადოების დამუშავებისას, განსაკუთრებით მაშინ, როცა ამ უკანასკნელებში მაღალია პირიტის შემცველობა (50-90%),

საშიშია სულფიდური მტვრის აფეთქება, რომელთათვისაც დამახასიათებელია დიდი რაოდენობით გოგირდოვანი აირის გამოყოფა.

სულფიდური მტვრის ანთების ძირითადი წყაროა აირისებრი პროდუქტები, რომლებიც გამოიყოფა აფეთქებითი სამუშაოებისას. სხვა წყაროები — ღია ცეცხლი ან ნაპერწკალი ამ მხრივ ნაკლებად საშიშია.

პრაქტიკით დადასტურებულია, რომ სულფიდური მტვერი მისი მაღალი სიმკვრივის გამო შორს არ ვრცელდება მისი წარმოშობის ადგილიდან. სულფიდური მტვრის აფეთქება დამოკიდებულია მასში გოგირდის შემცველობაზე, ნაწილაკების ზომებზე, ნაწილიანობაზე და ტენიანობაზე.

გოგირდის შემცველობის მატებით ალის სიგრძე იზრდება გამოსაცდელ მილში, ხოლო აფეთქების ქვედა ზღვარია გოგირდის 30%-იანი კონცენტრაცია. მტვრის დისპერსიული შედგენილობის გავლენა მის ფეთქებაუნარიანობაზე ნაჩვენებია ნახ. 5.3-ზე. ყველაზე სახიფათოა სულფიდური მტვერი, რომლის ფრაქციების ზომები იცვლება 10-100 მკ-ის დიაპაზონში. 250 მკ-ზე მეტი ზომის მტვერი პრაქტიკულად უსაფრთხოა აფეთქების მხრივ.



ნახ. 5.3. მარცხნივ — გოგირდის მტვრის აფეთქების წვევის დამოკიდებულება მის დისპერსიულობაზე; მარჯვნივ — იმავე სიდიდის დამოკიდებულება მტვრის ტენიანობაზე.

სულფიდური მტვრის ფეთქებადობის უნარი მცირდება ტენიანობის გაზრდით. 9,0-9,5% ტენიანობისას სულფიდური მტვერი აღარ ფეთქდება. სულფიდური მტვრის აფეთქების ინტენსიურობის დამოკიდებულება ჰაერის ნარევის ტენიანობაზე წარმოდგენილია ნახ. 5.3-ის მარჯვენა გრაფიკზე.

ცხრილი 5.1

გოგირდის მტვრის აალებისა და აფეთქების მინიმალური ტემპერატურები

გოგირდის ნაირსახეობა	აალების მინიმალური ტემპერატურა, °C	აფეთქების მინიმალური ტემპერატურა, °C
კომპტისებრი	290	340
კრისტალური	275	320
ფლოტოკონცენტრანტი	275	320

გოგირდის მტვერი უფრო საშიშია, ვიდრე ქვანახშირისა და სულფიდური მტვერი, რადგან აფეთქების ტემპერატურა და აფეთქებასაშიში კონცენტრაციის ქვედა ზღვარი მისთვის უფრო ნაკლებია. გოგირდის მტვრის აალებისა და აფეთქების მინიმალური ტემპერატურები მოცემულია 5.1 ცხრილში.

სულფიდური და გოგირდის შახტების მტვრის რეჟიმი ითვალისწინებს შემდეგ ღონისძიებებს:

1. მტვრის წარმოშობის მიზეზების აღმოფხვრა ან მნიშვნელოვანი შემცირება (მპურების ბურღვა სველი წესით, სამუშაო სივრცის მორწყვა, მტვრის ჩამორეცხვა გვირაბის კედლებიდან და ჭერიდან);

2. აალების წყაროთა მინიმიზაცია (დაცული ფეთქებადი ნივთიერების გამოყენება, ელექტროაფეთქების ხერხის გამოყენება, ღია ცეცხლის აკრძალვა).

განმარტებითი შენიშვნები:

- გროვის (კოშტისებრი) გოგირდი — მაღალი აალებისა და აფეთქების ტემპერატურა; ახასიათებს შედარებით ნაკლები რისკი ჩვეულებრივ პირობებში.

- კრისტალური გოგირდი — უფრო ადვილად აალებადი; საჭიროებს მკაცრ კონტროლს შენახვისა და გამოყენებისას.

- ფლოტაციის კონცენტრატი — აალების ქცევით კრისტალურ გოგირდს ჰგავს, მაგრამ წარმოების პირობებში უფრო ხშირია, ამიტომ განსაკუთრებული პრევენციული ზომები სჭირდება.

5.4. აეროზოლების აფეთქების

ასაცილებელი ღონისძიებები

ყველაზე ხშირად გადასაზიდი და საწყობებში შესანახი ნივთიერებებისა და მასალების ნუსხა, აგრეთვე მათი ერთმანეთისაგან განცალკევების წესი შენახვისა და ტრანსპორტირებისას მოცემულია სპეციალურ ლიტერატურაში.

ყველა სახის აეროზოლის აფეთქება საშიშია, მაგრამ განსაკუთრებული საფრთხე ახასიათებს სამთო-მომპოვებელ საწარმოებს, რადგან შედარებით გართულებულია მათი ვენტილაცია, აგრეთვე ელევატორებსა და ყველა ისეთ ნაგებობას, რომლებშიც პროდუქტი ან მასალა ინახება ტარის გარეშე, განუცალკევებელი დიდი მოცულობების სახით. აღნიშნულის გამო, მომხდარი აფეთქების შეჩერება შეუძლებელია და იგი გაგრძელდება აფეთქებების სერიის სახით. შახტებში აფეთქებათა სერიის ასაცილებელი ღონისძიებაა სხვადასხვა ფლეგმატიზატორების (ინერტული მტვრის ან აირის, წყლის და ა.შ.) გამოყენება.

მოკლე შენიშვნა: თეორიების ინტერპრეტაცია (სითბური, ჯაჭვური) არის რისკის თვითგავრცელების მექანიზმის ახსნა, რაც ISO 31000-ის კონტექსტში წარმოადგენს რისკის რეალიზაციის ალბათობის ანალიზს.

სერიოზული დასკვნების გასაკეთებელ აფეთქებათა სერია მოხდა რუსეთის ფედერაციაში ტომილოვის ელევატორზე 1988 წელს. სამი აფეთქება ერთმანეთის

მიყოლებით მოხდა მზესუმზირის ნაყოფის სილოსში. აფეთქებათა ლოკალიზების მცდელობისას მოხდა კიდევ ერთი აფეთქება, რომელმაც იმსხვერპლა მთელი პერსონალი, რომელიც იქ იმყოფებოდა — 30 ადამიანი. წელიწადნახევრის განმავლობაში მოცემულ ობიექტზე ხდებოდა ხანძრისა და აფეთქებების ლოკალური კერების წარმოქმნა, რაც არ შეწყვეტილა ელევატორის სრულ განადგურებამდე.

აქედან გამომდინარე, ასეთი ვითარების აცილების ერთ-ერთი ხერხი ისაა, რომ პროდუქცია ან მასალები უნდა ინახებოდეს განცალკევებულ ნაკვეთურებში ისე, რომ შეუძლებელი იყოს ერთი ნაკვეთურიდან მეორეზე ხანძრის ან აფეთქების გავრცელება.

2004 წელს იმავე ქვეყანაში მოსკოვის ოლქში ექსპლუატაციაში შევიდა ვორონოვის ალაოს გადამამუშავებელი ქარხანა, რომელიც აფეთქების საწინააღმდეგო მოწყობილობათა არქონის გამო (დაპროექტებისას მთელი რიგი უბნები ხანძარუსაფრთხოდ შეცდომით მიიჩნიეს), სამ თვეში დაინგრა მომსახურე პერსონალის დაღუპვასთან ერთად. აეროზოლის აფეთქება მოხდა ასპირაციული ნარჩენების ბუნკერში.

კარგ შედეგებს იძლევა რაბვის პრინციპზე დაფუძნებული საკეტები, რამაც გაამართლა ალაოს საწარმოში, სადაც მტვრის ლოკალური აფეთქება მოხდა ასპირაციული ნარჩენების ბუნკერში, მაგრამ იგი აღარ გავრცელდა სხვაგან.

აეროზოლების აფეთქება საშიშია აგრეთვე მოცულობითი აფეთქების მხრივ, რომელიც განსაკუთრებით დიდ საფრთხეს უქმნის როგორც ტერიტორიას, ისე პერსონალს. მოცულობითი აფეთქება ერთ კონკრეტულ ადგილზე არაა ლოკალიზებული და ხდება გარკვეულ სივრცეში, სადაც გავრცელებულია აეროზოლი ან აირი. მაგალითად, ერთბაშად 2 კვ. კმ-ზე მოხდა აეროზოლისა და ბუნებრივი აირის მოცულობითი აფეთქება ბაშკირეთში 1989 წელს. ადგილზე დაიღუპა 872, ხოლო მძიმედ დაზიანდა 339 ადამიანი, რომელთაგან უმრავლესობა მოგვიანებით დაიღუპა სათანადო დახმარების აღმოუჩენლობის გამო, რადგან აღნიშნულმა მოვლენამ გაანადგურა აგრეთვე პირველადი დახმარების სამედიცინო საშუალებები იმავე ტერიტორიაზე.

რუსეთის ფედერაციაში ბოლო წლების სტატისტიკით დადასტურებულია, რომ აფეთქებების ყველაზე მეტი შემთხვევა მოხდა კომბინირებული საკვების წარმოებაში, ნედლეულისა და მზა პროდუქციის შესანახი საწყობების ჩათვლით, რომლებზედაც მოდის შემთხვევათა საერთო რიცხვის 45%. ელევატორებზე მოდის აფეთქებების 33%, ხოლო ფქვილის წარმოებაზე — 22%.

სტატისტიკური მონაცემების ანალიზის შედეგად, აფეთქების გამომწვევი მიზეზები შემდეგნაირად ხასიათდებიან:

- ექსპლუატაციის წესების დარღვევა ან მოწყობილობათა გაუმართავობა – 34%;
- ნედლეულისა და პროდუქციის თვითაალება – 22%;
- მარცვლეულის გასაძრობი მოწყობილობების გაუმართავობა ან მათი უსაფრთხო მუშაობის წესების იგნორირება – 12%;
- სახანძრო უსაფრთხოების წესების დარღვევა – 6%;
- ღია ცეცხლით სამუშაოების შესრულება სათანადო წესების დაცვის გარეშე და სხვა მიზეზები, რომლებიც არაა დიფერენცირებული – 26%.

აღინიშნა, რომ ასეთ ობიექტებზე იშვიათია ერთეული აფეთქება და იგი გრძელდება სერიების სახით. ხშირად აფეთქება გადადის ტექნოლოგიური ხაზის, მაგალითად

ლენტური ან სვეტია კონვეიერის მეშვეობით (კარგ შედეგებს იძლევა ხრახნული კონვეიერებით სარგებლობა), რომელიც ერთი სათავსოდან მეორეს მიაწოდებს სათანადო პროდუქტს. ამასთან ერთად მიზეზი ყოველთვის ან თითქმის ყოველთვის პირველადი მცირე სიძლიერის აფეთქებაა.

პირველადი აფეთქების ყველაზე მეტი შემთხვევა, დაახლოებით 50%, მოდის მოწყობილობებზე, ხოლო 40%-ზე მეტი — სათავსოებზე, სილოსებსა და ბუნკერებზე.

ყველაზე დამანგრეველი მერმექმედება, 45% — ჰქონდა ელევატორებში აფეთქებებს, შემდეგ მოდის წისქვილკომბინატები — 35% და შემდეგ კი კომბინირებული საკვების დამამზადებელი ქარხნები — 20%.

დამანგრეველი მერმექმედების ძირითადი მიზეზებია:

- მოწყობილობებში აფეთქებადაცვის საშუალებების არაეფექტურობა ან მათი არარსებობა;

- სილოსებში, ბუნკერებსა და ნაგებობებში ადვილად მომორებადი კონსტრუქციების არქონა. მაგალითად, ადვილადახდადი ჭერი ან ადვილადმომორებადი კედელი არსებითად ასუსტებს აფეთქების სიძლიერეს;

- აფეთქებათა ლოკალიზაციის სისტემების არქონა.

ტექნოლოგიური პროცესებისა და მოწყობილობების ხანძარ- და აფეთქება-უსაფრთხოება მიიღწევა მათი სათანადო დაპროექტებით; ნორმატიული მოთხოვნების შესაფერისი ექსპლუატაციით; ხანძრებისა და აფეთქებების ასაცილებელი წესებისა და მოწყობილობების გამოყენებით; ისეთი სისტემების გამოყენებით, რომლებიც მინიმუმამდე დაიყვანს პერსონალის დაზიანებას ავარიის შემთხვევაში და ყოველთვის გადამწყვეტი მნიშვნელობისაა პერსონალის კვალიფიკაცია სამუშაოთა შესრულების ყველა ეტაპსა და დონეზე.

ხანძრისა და აფეთქების ასაცილებელი წესები და საშუალებები შემდეგია: 1. აპარატებისა და მოწყობილობათა ფარგლებში მტვრის მოცილება — გაწმენდით ან ვენტილაციით; 2. მტვრის ნეიტრალიზაცია — ინერტული მტვრის, ფლეგმატიზატორების (ნახშირორჟანგის, აზოტის, სხვა ინერტული აირების შერევით) ან წყლის გაშხეფებით, სადაც ეს შესაძლებელია; 3. ანთების წყაროების — ნაპერწკლის, ღია ცეცხლის და ა.შ. აკრძალვა.

ამის გარდა, საჭიროა დამცავი სისტემების მოწყობა, რომელთა ძირითადი დანიშნულებაა:

1. აპარატებისა და მოწყობილობათა დაცვა მათში წვის პროცესის დაწყების შემთხვევაში;

2. ჭარბი წნევის უსაფრთხო არინება (მაგალითად, მილსადენთა სისტემით ჭარბი წნევის გადაგდება ისეთ ადგილზე, რომელიც საშიში არაა აფეთქების ან ხანძრის მხრივ);

3. ხანძრის ან აფეთქების ლიკვიდაცია აპარატებისა და მოწყობილობათა ფარგლებში იმ შემთხვევაში, თუ წინა ორმა ღონისძიებამ სასურველი შედეგი ვერ გამოიღო.

დამცავი სისტემების მოწყობას წინ უნდა უძღოდეს სავარაუდო ხანძრის ან აფეთქების კერების წარმოქმნის პროგნოზი გაანგარიშების გზით.

საორგანიზაციო-ტექნიკური ღონისძიებებიდან აღსანიშნავია:

1. აპარატებისა და მოწყობილობათა პერიოდული წმენდა მათი ტექნიკური დოკუმენტაციით გათვალისწინებულ ვადებში და ამ ვადების მითითება თვით აპარატურაზე დატანილი თვალსაჩინო საშუალებით (წარწერა, პლაკატი და ა.შ.);

2. ხანძრისა და აფეთქების ასაცილებელი და მათგან დამცავი მოწყობილობების დროული გეგმური დათვალიერება და რემონტი;

3. ხანძრისა და აფეთქების ასაცილებელი მოწყობილობების მუშაუნარიანობის პერიოდული შემოწმება;

4. პერსონალის კვალიფიკაციის ამაღლება სათანადო გამოცდების ჩაბარებისა და აგრეთვე, სასწავლო განგამის გამოცხადების გზით.

უნდა გავითვალისწინოთ, რომ ჟანგბადის გარდა მჟანგავებია მისი შემცველი ნივთიერებები — პერქლორატი, სელიტრა, დენთი, თერმიტი, აგრეთვე ცალკეული ქიმიური ელემენტი, მაგალითად, ფოსფორი, ბრომი. აფეთქების ადგილიდან უსაფრთხო მანძილის შესაფასებლად ძალზე მნიშვნელოვანია უ. ბეიკერის მონაცემები, რომელიც მან 1995 წელს მიიღო 5 ტ ტევადობის საწვავის ავზის აფეთქების პირობებისათვის.

ცეცხლისაგან დაზიანებას შემდეგი მანძილები ახასიათებს:

- 45 მ-მდე. სიცოცხლესთან შეუთავსებელი,
- 95 მ-მდე. მე-3 ხარისხის დამწვრობა,
- 145 მ-მდე. მე-2 ხარისხის დამწვრობა,
- 150 მ-მდე. 1-ელი ხარისხის დამწვრობა,
- 240 მ-მდე. თვალის ბადურის დამწვრობა.

დარტყმითი ტალღისათვის სათანადო მაჩვენებლები შემდეგია:

- 45 მ-მდე. სიცოცხლესთან შეუთავსებელი,
- 95 მ-მდე. ფილტვებისა და მუცლის ღრუს ბაროტრამვა,
- 140 მ-მდე. ყურის სასმენი აპკის გარღვევა.

5.5. წვადი მტვრის საშიშროების შეფასება

მოკლე შენიშვნა: უსაფრთხო პირობების ჩამონათვალი (საწვავის, ჟანგბადის ან იმპულსის გამორიცხვა) პირდაპირ შეესაბამება ISO 45001-ის პრინციპს — პრევენციული პოლიტიკის შემუშავება.

• ჰაერში შეტივანარებული მტვერი

1. ჰაერში შეტივანარებული წვადი მტვრის (ჰაერისა და მტვრის ნარევის) დასახასიათებლად გამოიყენება აფეთქება- და ხანძარსაშიშროების შემდეგი მაჩვენებლები:

N - მტვრის აალების ქვედა ზღვრული კონცენტრაცია ნარევში, გ/მ³;

W_{min} - ანთების მინიმალური ენერგია, მილი-ჯოული;

P_{max} - აფეთქების მაქსიმალური წნევა, კპა;

$V \frac{dP}{d\tau}$ - წნევის ზრდის სიჩქარე აფეთქების შემთხვევაში, კპა/წმ;

N_0 - ჟანგბადის მინიმალური ფეთქებასაშიში შემცველობა ნარევში, % მოცულობის მიხედვით.

• **დაჯენილი წვადი მტვერი**

2. დაჯენილი წვადი მტვრის დასახასიათებლად გამოიყენება აფეთება- და ხანძარსაშიშროების შემდეგი მაჩვენებლები:

t - თვითანთების ტემპერატურა, °C;

W_{min} - ანთების მინიმალური ენერგია, მილი-ჯოული;

აგრეთვე შესაძლებელია გამოყენებული იქნეს ანთების ტემპერატურა, თვითგახურების ტემპერატურა, დაშლის ტემპერატურა, თბური თვითანთების ტემპერატურული პირობები, წყალთან მოქმედებისას გახურების მაჩვენებელი.

ცხრილი 5.2

ჰაერში შეტივნარებული წვადი მტვრის (ჰაერისა და მტვრის ნარევის) აფეთება- და ხანძარსაშიშროების მაჩვენებლები

	N , გ/მ ³	W_{min} , მჯ	t , °C	P_{max} , კპა	$dp/d\tau$, კპა/წმ	N_o , %
არაორგანული ნივთიერებები						
ბორი	100	60	400	630	17000	—
გოგირდი	17	—	190	460	13300	5,0
კრემნიუმი (კაჟი)	100	2,1	790	530	84000	11,0
ხუთგოგირდოვანი ფოსფორი	20	—	265	510	40000	5,0
წითელი ფოსფორი	14	0,05	305	700	33000	4,0
ლითონები						
ალუმინი	10	0,025	470	660	63000	2,0
ალუმინ-მაგნიუმის შენადნობი	25	0,047	280	600	70000	+CO ₂ + A
ბრინჯაოს პუდრი	1000	—	190	300	9000	—
ვანადიუმი	220	60	490	340	4200	10,0
თუთია	480	0,15	460	350	13000	10,0
თორიუმი	75	5	270	350	23000	2,0
კადმიუმი	—	4000	250	49	700	—
კალა	190	80	430	260	9000	16,0
მაგნიუმი	25	10	490	500	70000	+CO ₂
მანგანუმი	90	180	240	340	20000	15,0
რკინა ალდგენილი	66	80	475	250	50000	11,0
რკინა კარბოლინური	105	20	310	300	17000	10,0
სილიკოკალციუმი	42	150	490	660	30000	8,0
სტიბიუმი	420	1920	330	56	700	16,0
ტანტალი	190	140	290	400	28000	14,0
ტიტანი	60	25	510	371	23800	+CO ₂
ფერომანგანუმი	130	0,25	240	330	30000	—
ფეროსილიციუმი	150	280	860	620	26000	15,0
ფეროტიტანი	140	80	400	370	67000	13,0
ცირკონი	40	5	190	450	44500	+CO ₂ + A

მცენარეთა დაცვის ქიმიური საშუალებები						
დიაზინონი 40%-იანი ფხვნილი	99	96,4	395	—	—	16,1
დინოსები (ტექნიკური)	52	8	325	436	7600	10,5
კარბოფოსი 30%-იანი ფხვნილი	300	100	295	—	—	—
ლენაცილი (ტექნიკური)	15	3,2	432	—	—	9,0
მეტაფოსი 30%-იანი ფხვნილი	300	100	385	—	—	—
ნიქლოზინი 30%-იანი ფხვნილი	460	100	495	—	—	—
პოლიკარბაცინი 80%-იანი ფხვნილი	92	21,3	195	912	41000	14,5
პოლიხომი 80%-იანი ფხვნილი	250	7,5	185	—	—	14,1
სიმაზინი (ტექნიკური)	26	9,0	530	550	7600	13,5
ტოპსინი 70%-იანი ფხვნილი	61	8,6	457	—	—	16,1
ჰექსატიურამი 80%-იანი ფხვნილი	87	6,2	297	—	—	12,1
ორგანული ნივთიერებები						
ადიპინის მჟავა	35	70	410	630	19300	—
აზობენზოდიკარბონის მჟავა	113	—	365	470	6766	13,0
ამინოატრიქინონი	38	—	612	650	15600	13,0
1-ამინოატრაქინონი (სულფატი)	254	—	600	170	4800	16,0
1-ამინო-4-აცეტილამინოანიზოლი	29	—	438	175	—	14,0
1-ამინო-5-ბენზოლამინოანტრაქინონი	34	—	545	350	6000	12,0
1-ამინო-4-მეზიდინანტრაქინონი	55	—	545	540	6600	16,0
ამინოსალიცილის მჟავა (ტექნიკური)	98	—	450	250	—	11,0
2-ამინოფენოლი	55	—	390	830	—	11,0
4-ამინოფენოლი	40	—	500	568	5884	16,0
1-ამინო-4-ქლორანტრაქინონი	60	—	684	550	35000	16,5
N-ბენზოილი-2-ამინობენზონის მჟავა	74	—	520	650	60000	13,5
ბენზონის მჟავა	20	—	532	640	—	9,0
ბერილიუმის აცეტატი	80	100	620	600	15000	15,0
დიაზომინობენზოლი	15	20	—	790	70000	—
დიამინოანტრორუფინი	79	—	260	330	10000	14,5
დექსტრინი	40	—	400	680	19300	10,0
დიმეთილიზოფტალატი	25	15	—	580	5520	13,0
დიმეთილტერაფტალატი	30	20	—	725	82680	12,0
დიჰიდროსტრეპტომიცინი (სულფატი)	52	—	230	—	10000	7,0
1,2-დიამინოანტრაქინონი	61	—	628	800	77000	—
1,4-დიამინო-2-ბენზოლანტრაქინონი	50	—	650	680	23700	13,0
2,4-დიოქსიბენზონის მჟავა	31	—	530	583	13000	12,5

1,5-დიფენოქსიანტრახინონი	18	—	590	380	17700	11,0
2,4-დიქლორბენზოქსიეთილბენზოატი	45	60	—	680	15200	—
ვანილინი	40	3,3	280	460	68000	—
კაზეინი	45	60	—	760	35000	17,0
ლილადოსი	35	—	230	300	—	13,0
ლუმინოფორი მწვანე	103	—	385	800	4500	19,0
რეზინის ფქვილი	74	2	377	550	20000	14,0
რეზორცინი	25	—	515	147	14710	12,0
რკინადიმეთილკარბონატი	15	25	150	600	41500	—
სალიცილის მჟავა	50	—	543	500	30000	10,0
სიმაზინი (ტექნიკური)	26	—	530	550	7600	13,5
სორბინის მჟავა	30	—	425	551	34475	12,0
ტერეფტალის მჟავა	50	20	496	579	55160	15,0
ტრანს-ბუტენის მჟავა	85	35	375	710	17250	15,0
უროტროპინი	15	10	683	700	—	14,0
ფთალის ანჰიდრიდი	12	15	595	490	—	14,0
ფთალის მჟავა	26	—	535	640	20400	13,0
ქლორბენზოილბენზოინის მჟავა	24	—	579	392	—	13,0
4-ქლორ-2-ამინოფენოლი	89	—	588	637	—	18,6
ცელულოზა აცეტობუტირალი	35	30	410	586	18630	7,0
ცელულოზა ეთილი	45	—	310	588	14710	15,3
ცელულოზა მეთილი	30	20	360	917	37950	13,0
ცელულოზა კარბოქსიმეთილი	110	440	320	338	20200	—
ცელულოზა ჰიდროქსილეთილი	25	40	410	703	17940	—
ცელულოზა ჰიდროქსიპროპილი	20	30	400	662	15870	—
ცელულოზა ჰიდროქსიპროპილმეთილი	80	—	430	276	13800	—
ჰექსამეთილენტეტრამინი	15	10	340	680	76000	14,0
4-ჰიდროქსიბენზოინის მჟავა	26	—	550	600	—	12,0
პლასტმასები						
აკრილამიდის პოლიმერი	40	30	240	600	17580	—
აკრილამიდისა და ამონიუმის ქლორიდის ვინილბენზილტრიმეტილის თანაპოლიმერი	1000	8000	500	90	700	—
აკრილნიტრილის პოლიმერი	25	20	—	630	77330	13,0
აკრილონიტრილისა და ვინილპირიდინის თანაპოლიმერი	20	25	240	600	42180	—
ეპოქსიდის ფისი კატალიზატორის გარეშე	20	15	540	647	41340	12,0
ვინილქლორიდაკრილონიტრილი (ემულსია)	35	15	470	660	51800	15,0

მეთილმეტაკრილატის პოლიმერი	30	20	—	590	14000	8,0
მეთილმეტაკრილატისა და ეთილმეტაკრილატის თანაპოლიმერი	30	10	—	600	42180	11,0
მეთილმეტაკრილატის, სტიროლის, ბუტადიენისა და ეთილმეტაკრილატის თანაპოლიმერი	25	25	480	590	30230	13,0
მეთილმეტაკრილატის, ეთილმეტაკრილატისა და სტიროლის თანაპოლიმერი	25	20	—	630	31930	—
მეთილმეტაკრილატის, სტიროლის, ბუტადიენისა და აკრილნიტის თანაპოლიმერი	25	20	480	600	33000	11,0
პოლიაცეტალი	60	—	470	642	56650	—
პოლიეთერი	45	50	485	640	—	—
პოლიეთილენი	12	30	440	560	—	13,0
პოლივინილპიროლიდონი (მაღალმოლეკულური)	56	—	370	450	31600	11,0
პოლიიზობუთილმეტაკრილატი	160	—	319	200	—	15,0
პოლიმარცინი (ტექნიკური)	137	8,2	265	580	7500	18,0
პოლიპროპილენი	32,7	3,4	395	—	—	—
პოლისტიროლი	25	15	488	720	29000	10,0
ფენოლის ფისი	25	10	460	550	12000	—
ფენოლფორმალდეჰიდის ფისი	55	10	420	650	33300	14,0
ფენოლფორმალდეჰიდის ფხვნილი	47	—	355	700	9500	14,0
ფისი	71	—	—	700	28000	13,0
მარდოვანა-ფორმალდეჰიდის ფისი	135	1280	—	370	3520	15,0
სამკურნალო პრეპარატები						
ეთილციმატი	21	27	—	120	53600	—
ვიტამინი A	45	80	250	570	35000	—
ვიტამინი B1	35	60	360	680	41500	—
ვიტამინი B2	106	80	510	840	32500	—
ვიტამინი C	60	20	280	610	33200	—
სასოფლო-სამეურნეო პროდუქტები						
არაქისი	45	50	210	810	56000	—
ბარდა	79,0	—	525	562	20700	12,5
კორპის ფქვილი	35	45	260	700	—	10,0
მარცვლეულის კრახმალი	40	30	625	770	—	10,0
სიმინდის ღერძილი	50	23,4	355	570	9800	10,5
სოია	35	40	215	700	17200	15,0
სორგოს ღერძილი	36	17,2	—	575	8000	19,5
ტორფის მტვერი	50	41	205	250	9200	11,0

ქერის ფქვილი	47,26	11,6	470	635	17600	12,5
ქერის ღერდილი	47	14,2	470	435	7100	12,5
ხორბლის ფქვილი	28,8	50	380	650	13000	11,0
ხორბლის ღერდილი	33	23,5	415	470	5300	13,5
ხორბლის ქატო	45	50	210	810	56000	—
ჭვავის ღერდილი	79,0	—	525	562	20700	12,5
ხის ფქვილი	35	45	260	700	—	10,0

შენიშვნა: +CO₂ - ანთებადია ნახშირორჟანგში; +A - ანთებადია აზოტში

5.6. მტვრის აფეთქების აცილება ტექნოლოგიურ მოწყობილობებში

მოკლე შენიშვნა: ტექნოლოგიური ხარვეზები, ინსტრუქტაჟის ნაკლებობა და დისციპლინის დარღვევა ISO 45001-ის მიხედვით კლასიფიცირდება როგორც ორგანიზაციული რისკები, რომლებიც საჭიროებენ სისტემურ მართვას.

- **საფეხავი აპარატები**

მოსალოდნელი სამიშროება:

ჰაერისა და მტვრის ნარევის ფეთქებასაშიში კონცენტრაციის წარმოქმნა;

ჰაერისა და მტვრის ნარევის ფეთქებასაშიში კონცენტრაციის გავრცელება აპარატს მიღმა მაღალი წნევის გამო, რომელიც შესაძლებელია აღიძრეს: ექვეცით ნედლეულის ჩატვირთვისას, მანქანის მოხახუნე დეტალებისაგან ჰაერის გახურებით, სწრაფად მოძრავი დეტალების ან ვენილატორების მიერ ჰაერის ნაკადის ამოძრავებით, ჰაერისა და მტვრის ნარევის აფეთქებით;

დაფხვნილი მასალის თვითანთება მათი დაგროვების ადგილებში (იქ სადაც ხდება დატვირთვა) ან მთელ აპარატში, როცა ეს უკანასკნელი გაჩერებულია;

დარტყმით წარმოქმნილი ნაპერწკლები (ლითონის საგნებისა და ქვების ჩატვირთვის ან მანქანის ნაწილების დაზიანების შემთხვევაში);

მომუშავე ელექტრომოწყობილობისაგან წარმოქმნილი ნაპერწკლები;

დაქუცმაცებული მასალის ხახუნისა და ელექტრიზაციის შედეგად წარმოქმნილი სტატიკური ელექტრობის განმუხტვის ნაპერწკლები;

ხახუნის შედეგად გაცხელებული ზედაპირი (ძირითადად საკისრები მათი არასწორი მონტაჟის, შეზეთვის ნაკლებობით ან მტვრის მოხვედრით);

დაფხვნილი მასალის გაცხელებისა და თერმული დამლის შედეგად გამოყოფილი წვადი აირები და ორთქლი.

- **საცრები**

ჰაერისა და მტვრის ნარევის ფეთქებასაშიში კონცენტრაციის წარმოქმნა;

ჰაერისა და მტვრის ნარევის ფეთქებასაშიში კონცენტრაციის გავრცელება საცრის მიღმა მაღალი წნევის გამო, რომელიც შესაძლებელია აღიძრეს ექვეცით ნედლეულის ჩატვირთვისას ან ჰაერისა და მტვრის ნარევის აფეთქებით;

გაცრილი მასალის თვითანთება მათი დაგროვების ადგილებში ან მთელ აპარატში, როცა ეს უკანასკნელი გაჩერებულია;

მომუშავე ელექტრომოწყობილობისაგან წარმოქმნილი ნაპერწკლები;

სტატიკური ელექტრობის განმუხტვის ნაპერწკლები;

მტვერის თვითანთება დაგროვების ადგილებში.

- **კონვექციური საშრობები (ლენტური, დარისებრი, დრუ)**

ჰაერისა და მტვრის ნარევის ფეთქებასაშიში კონცენტრაციის წარმოქმნა თბომტარის სიჩქარის გაზრდის ან გასაშრობი მასალის დატვირთვა-გადმოტვირთვისა და ამობრუნებისას;

ჰაერისა და მტვრის ნარევის ფეთქებასაშიში კონცენტრაციის გავრცელება საშრობის მიღმა მისი კვანძების არასაკმარისი ჰერმეტიზაციისა ან ჰაერისა და მტვრის ნარევის აფეთქებით;

გასაშრობი მასალის თვითანთება თბომტარის ტემპერატურის მატებით, მოწყობილობის გაცხელებით მოხაზუნე ზედაპირებთან, მასალის დიდხანს დატოვებით გაჩერებულ საშრობში;

დარტყმით და ხახუნით წარმოქმნილი ნაპერწკლები;

მომუშავე ელექტრომოწყობილობისაგან წარმოქმნილი ნაპერწკლები;

სტატიკური ელექტრობის განმუხტვის ნაპერწკლები;

დაშლის ნაპერწკლები თბომტარით გახურების შედეგად;

მტვერის თვითანთება დაგროვების ადგილებში.

- **კონვექციური საშრობები (ფრქვევანა, დუდილის შრიანი ფრქვევანა, გრიგალური, დოღური)**

ჰაერისა და მტვრის ნარევის ფეთქებასაშიში კონცენტრაციის წარმოქმნა;

ფაზათა შორის ჰიდროდინამიკური ურთიერთქმედების დარღვევა აპარატის ზედმეტად ან ნაკლებად დატვირთვით გამოწვეული ჰაერის მიწოდების სიჩქარის ცვალებადობის შედეგად;

ჰაერისა და მტვრის ნარევის ფეთქებასაშიში კონცენტრაციის გავრცელება საშრობის მიღმა მისი კვანძების არასაკმარისი ჰერმეტიზაციისა ან ჰაერისა და მტვრის ნარევის აფეთქებით;

გასაშრობი მასალის თვითანთება დაგროვების ადგილებში ან მისი დიდხანს დატოვებით გაჩერებულ საშრობში;

დარტყმით და ხახუნით წარმოქმნილი ნაპერწკლები;

სტატიკური ელექტრობის განმუხტვის ნაპერწკლები;

დაშლის ნაპერწკლები თბომტარით გახურების შედეგად.

- **კონდუქციური საშრობები (ვალცური, მნეკიანი, მიღური)**

ჰაერისა და მტვრის ნარევის ფეთქებასაშიში კონცენტრაციის წარმოქმნა;

ჰაერისა და მტვრის ნარევის ფეთქებასაშიში კონცენტრაციის გავრცელება საშრობის მიღმა მისი კვანძების არასაკმარისი ჰერმეტიზაციის შემთხვევაში, ჩატვირთვისა და გადმოტვირთვის ადგილებში, ჰაერისა და მტვრის ნარევის აფეთქებით;

გასაშრობი მასალის თვითნებება გამთბობი ზედაპირის ტემპერატურის მატებით, კვანძების ხახუნის, მასალის ეგზოთერმული ქიმიური მოქმედებით აპარატის ზედაპირებთან;

დარტყმით და ხახუნით წარმოქმნილი ნაპერწკლები;

მომუშავე ელექტრომომწყოებისაგან წარმოქმნილი ნაპერწკლები.

- კონდუქციური საშრობები (თაროებიანი, მოცულობითი, გამათბობლიანი)

ჰაერისა და მტვრის ნარევის ფეთქებასაშიში კონცენტრაციის წარმოქმნა ჩატვირთვისა და გადმოტვირთვისას;

ჰაერისა და მტვრის ნარევის ფეთქებასაშიში კონცენტრაციის გავრცელება საწარმოო სათავსში აპარატის კვანძების არასაკმარისი ჰერმეტიზაციის შემთხვევაში, ჩატვირთვისა და გადმოტვირთვის ადგილებში, ჰაერისა და მტვრის ნარევის აფეთქებით;

გასაშრობი მასალის თვითნებება მისი დაგროვების ადგილებში, მასალის ეგზოთერმული ქიმიური მოქმედებით გამაცხელებელ ზედაპირებთან;

გამაცხელებელი ზედაპირების ტემპერატურის მომატება დასაშვებზე ზემოთ, დარტყმით და ხახუნით წარმოქმნილი ნაპერწკლები.

- **მტვრის დასაჯენი კამერები**

ჰაერისა და მტვრის ნარევის ფეთქებასაშიში კონცენტრაციის წარმოქმნა კამერის გაწმენდის პერიოდში;

ჰაერისა და მტვრის ნარევის ფეთქებასაშიში კონცენტრაციის გავრცელება საშრობის მიღმა ვენტილატორების ჭარბი წნევისას ან კამერის გაწმენდის დროს;

ფურცლოვანებზე დაღექილი მტვრის თვითნებება;

წინა საფეხურის აპარატებიდან ჰაერის ნაკადის მიერ შემოტანილი თერმული დამლის ნაპერწკლები.

- **ციკლონები**

ჰაერისა და მტვრის ნარევის ფეთქებასაშიში კონცენტრაციის წარმოქმნა ციკლონში;

ჰაერისა და მტვრის ნარევის ფეთქებასაშიში კონცენტრაციის გავრცელება ციკლონის მიღმა მისი ცენტრალური ნაწილიდან ან ვენტილატორების ჭარბი წნევისას;

ციკლონის კონუსურ ნაწილში დაგროვებული მტვრის თვითნებება;

წინა საფეხურის აპარატებიდან ჰაერის ნაკადის მიერ შემოტანილი თერმული დამლის ნაპერწკლები;

ციკლონის გაწმენდისას დარტყმით წარმოშობილი ნაპერწკლები.

- **გარსამოსიანი ფილტრები (საფილტრი სახელოები)**

ჰაერისა და მტვრის ნარევის ფეთქებასაშიში კონცენტრაციის წარმოქმნა ფილტრის შენჯღრევისას;

მტვრის მოცილების ადგილზე, შენჯღრეული ფილტრის ქვედა ნაწილში, ძლიერი დამტვრიანების წარმოქმნა;

სახელოში დაგროვებული მტვრის თვითნებება ან მისი თვითნებება დაღმავალ ხაზში ამ უკანასკნელის გაჭედვისას;

სტატიკური ელექტრობის განმუხტვის ნაპერწკლები;
წინა საფეხურის აპარატებიდან ჰაერის ნაკადის მიერ შემოტანილი თერმული დაშლის ნაპერწკლები.

- **ელექტროფილტრები**

ჰაერისა და მტვრის ნარევის ფეთქებასაშიში კონცენტრაციის წარმოქმნა;
ელექტროდების განმუხტვის ნაპერწკლები, რომლებიც გაიფრქვევიან გამტარების გაწყვეტის, მაღალი ტენიანობის ჰაერის მიწოდების, ჰაერიდან წყლის წვეთების კონდენსაციის, მტვრის სველი გუნდებით გამტარების მოკლედ ჩართვის და ელექტროდების ცუდი ცენტრირების შემთხვევაში;
თერმული დაშლის ნაპერწკლები, რომლებიც წარმოიშობიან ნაწილაკების ზედა ნაკადში;
თვითანთება ბუნკერის მტვრისაგან სრულად დაუცვლელობით.

- **ელევატორები**

ჰაერისა და მტვრის ნარევის ფეთქებასაშიში კონცენტრაციის წარმოქმნა მტვრის კოვშით აღებისას ან ამ უკანასკნელის დაცლისას, მტვრის წატაცება ჰაერის ნაკადით;
ჰაერისა და მტვრის ნარევის ფეთქებასაშიში კონცენტრაციის გავრცელება აპარატის მიღმა მისი კვანძებისა და გარსაცმის არასაკმარისი ჰერმეტიზაციის შემთხვევაში;
მტვრის თვითანთება ვერტიკალური ელევატორის ბუნიკში ან კვანძების ხახუნის ადგილებში;
დარტყმით წარმოქმნილი ნაპერწკლები კოვშის მოწყვეტის ან ლენტის გაწყვეტისას;
ამძრავ სისტემაში სტატიკური ელექტრობის განმუხტვის ნაპერწკლები;
მომუშავე ელექტრომონოწილობისაგან წარმოქმნილი ნაპერწკლები.

- **ჰორიზონტალური და დახრილი სატრანსპორტო ლენტები**

ჰაერისა და მტვრის ნარევის ფეთქებასაშიში კონცენტრაციის წარმოქმნა მტვრის წატაცებით ჰაერის მიერ ან ლენტის მიმმართველ გორგოლაჭებზე გადასვლისას და მასალის შენჯღრევისას, ერთი ლენტიდან მეორეზე მასალის გადატვირთვისას და ბუნკერში ჩატვირთვისას;
მტვრის თვითანთება სტატიკური ელექტრობის განმუხტვის შედეგად, ხოლო ელექტრიზაცია ხდება ლენტის ხახუნის შედეგად;
მომუშავე ელექტრომონოწილობისაგან წარმოქმნილი ნაპერწკლები.

- **ჰნევმოტრანსპორტი**

ჰაერისა და მტვრის ნარევის ფეთქებასაშიში კონცენტრაციის წარმოქმნა;
ჰაერისა და მტვრის ნარევის ფეთქებასაშიში კონცენტრაციის გავრცელება მილსადენის მიღმა მისი კვანძებისა არასაკმარისი ჰერმეტიზაციის შემთხვევაში ან ჰაერისა და მტვრის ნარევის აფეთქებით;
სტატიკური ელექტრობის განმუხტვის ნაპერწკლები;
დარტყმისა და ხახუნის ნაპერწკლები.

- **შესარევი აპარატები**

ჰაერისა და მტვრის ნარევის ფეთქებასაშიში კონცენტრაციის წარმოქმნა;

ჰაერისა და მტვრის ნარევის ფეთქებასაშიში კონცენტრაციის გავრცელება აპარატის მიღმა ვენტილატორების ჭარბი წნევის, ნედლეულის ჩატ-ვირთვისას ექვეცდით აღძრული ჰაერის ნაკადის, მტვრის აფეთქებით;

შესარევი მასალების თერმოქიმიური რეაქციის შედეგად თვითანთება, კმადუტვირთაობა და თვითანთება შეგროვების ადგილებში;

დარტყმის ნაპერწკლები;

ხახუნის შედეგად გაცხელებული ზედაპირები.

- **ბუნკერები**

ჰაერისა და მტვრის ნარევის ფეთქებასაშიში კონცენტრაციის წარმოქმნა ბუნკერში ჩატვირთვისას ან ამ უკანასკნელის თვითდაცლით;

ჰაერისა და მტვრის ნარევის ფეთქებასაშიში კონცენტრაციის გავრცელება ბუნკერის მიღმა მტვრის მკვებავების გავლით გადატვირთვისას;

თვითანთება ხანგრძლივი შენახვით;

წინა საფეხურის აპარატებიდან ჰაერის ნაკადის მიერ შემოტანილი თერმული დამლის ნაპერწკლები;

სტატიკური ელექტრობის განმუხტვის ნაპერწკლები.

ცხრილი 5.3

აფეთქებისა და ხანძრის ასაცილებელი ღონისძიებები წვადი მტვრის გამოყოფის შემთხვევაში ტექნოლოგიურ პროცესებსა და აპარატებში

ღონისძიებები	ტექნოლოგიური პროცესები და აპარატები
ჰერმეტიზაცია	დაფქვა; გაცრა; კონვექციური საშრობი (ლენტური, დარისებრი, ღრუ); კონვექციური საშრობი (ფრქვევანა, აეროჭავლური, დუდილის შრიანი, გრიგალური, დოლური); კონდუქციური საშრობი (ვალცური, შნეკიანი, მილური); კონდუქციური საშრობი (თაროებიანი, მოცულობითი, გამათბობლიანი); ციკლონი; ელექტროფილტრი; ელევატორი; ბუნკერი; პნევმოტრანსპორტი; შემრევი აპარატი.
კამერების დამზადება ცეცხლგამძლე მასალისაგან	კონვექციური საშრობი (ლენტური, დარისებრი, ღრუ); კონვექციური საშრობი (ფრქვევანა, აეროჭავლური, დუდილის შრიანი, გრიგალური, დოლური); კონდუქციური საშრობი (ვალცური, შნეკიანი, მილური); ციკლონი; პნევმოტრანსპორტი.
იზოლირებულ სათავსში მოთავსება	ელექტროფილტრი; გარსამოსიანი ფილტრი (საფილტრი სახელო).
მტვრის ადგილობრივი მოცილება	დაფქვა; გაცრა; კონდუქციური საშრობი (ვალცური, შნეკიანი, მილური); კონდუქციური საშრობი (თაროებიანი, მოცულობითი, გამათბობლიანი);

	ელევატორი; ბუნკერი; ჰორიზონტალური და დახრილი სატრანსპორტო ლენტი; შემრევი აპარატი.
სტატიკური ელექტრომუხტების განმუხტვის აცილება	დაფქვა; გაცრა; კონვექციური საშრობი (ფრქვევანა, აეროჭავლური, დუდილის შრიანი, გრიგალური, დოლური); მტვრის დასაჯენი კამერა; გარსამოსიანი ფილტრი; ელევატორი; ჰორიზონტალური და დახრილი სატრანსპორტო ლენტი; ბუნკერი; შემრევი აპარატი; პნევმოტრანსპორტი.
დარტყმისა და ხახუნის ნაპერწკლების აცილება	დაფქვა; გაცრა; კონდუქციური საშრობი (ვალცური, შნეკიანი, მილური); შემრევი აპარატი.
წინა საფეხურის აპარატებში თერმული დამლის შედეგად წარმოქმნილი ნაპერწკლების ჰაერით შემოტანის აცილება	კონვექციური საშრობი (ლენტური, ღარისებრი, ღრუ); კონვექციური საშრობი (ფრქვევანა, დუდილის შრიანი ფრქვევანა, გრიგალური, დოლური); გარსამოსიანი ფილტრი.
მტვრის დაჯდომის აცილება გაუნიავებელი ადგილების შემცირების გზით	დაფქვა; კონვექციური საშრობი (ლენტური, ღარისებრი, ღრუ); კონვექციური საშრობი (ფრქვევანა, აეროჭავლური, დუდილის შრიანი, გრიგალური, დოლური); კონდუქციური საშრობი (ვალცური, შნეკიანი, მილური); კონდუქციური საშრობი (თაროებიანი, მოცულობითი, გამათბობლიანი); ელექტროფილტრი; პნევმოტრანსპორტი; შემრევი აპარატი.
ზედმეტი ან ნაკლები დატვირთვის აცილება	დაფქვა; ელევატორი; ჰორიზონტალური და დახრილი სატრანსპორტო ლენტი; ბუნკერი.
მოხახუნე დეტალების გადახურების აცილება	დაფქვა; მტვრის დასაჯენი კამერა.
ჰაერისა და მტვრის ნარევის ფეთქება საშიში კონცენტრაციის აღკვეთა	კონვექციური საშრობი (ლენტური, ღარისებრი, ღრუ); კონვექციური საშრობი (ფრქვევანა, აეროჭავლური, დუდილის შრიანი, გრიგალური, დოლური); მტვრის დასაჯენი კამერა; გარსამოსიანი ფილტრი; ელევატორი; ჰორიზონტალური და დახრილი სატრანსპორტო ლენტი; ბუნკერი.
ფლეგმატური დანამატების გამოყენება	კონდუქციური საშრობი (ვალცური, შნეკიანი, მილური); პნევმოტრანსპორტი; შემრევი აპარატი.
აპარატის თბოიზოლაცია ორთქლის კონდენსაციისა და კედლებზე ფეთქებადი მტვრის მიკვრის ასაცილებლად	ციკლონი; გარსამოსიანი ფილტრი; ელექტროფილტრი; ბუნკერი; პნევმოტრანსპორტი.
	კონვექციური საშრობი (ლენტური, ღარისებრი, ღრუ); კონდუქციური საშრობი (ვალცური, შნეკიანი, მილური);

ქიმიურად პასიური ზედაპირების გამოყენება	კონდუქციური საშრობი (თაროებიანი, მოცულობითი, გამათბობლიანი).
--	--

ცხრილი 5.4

აფეთქებისა და ხანძრის ასაცილებელი ღონისძიებები წვადი მტვრის გამოყოფის შემთხვევაში ტექნოლოგიურ პროცესებსა და აპარატებში

ღონისძიებები	ტექნოლოგიური პროცესები და აპარატები
მოწყობილობათა გამოყენება, რომლებიც გაანგარიშებულია აფეთქების წნევაზე	დაფქვა; კონვექციური საშრობი (ფრქვევანა, აეროჭავლური, დუდილის შრიანი, გრიგალური, დოლური); კონდუქციური საშრობი (თაროებიანი, მოცულობითი, გამათბობლიანი); გარსამოსიანი ფილტრი; შემრევი აპარატი; ბუნკერი.
წნევის ავარიული დაგდების მოწყობილობათა გამოყენება	დაფქვა; გაცრა; კონვექციური საშრობი (ლენტური, დარისებრი, ღრუ); კონდუქციური საშრობი (ვალცური, მნეკიანი, მილური); კონდუქციური საშრობი (თაროებიანი, მოცულობითი, გამათბობლიანი); ციკლონი; გარსამოსიანი ფილტრი (საფილტრი სახელო); ელექტროფილტრი; ელევატორი; ბუნკერი; პნევმოტრანსპორტი; შემრევი აპარატი.
ცეცხლის შემზღუდავი მოწყობილობების გამოყენება	კონვექციური საშრობი (ლენტური, დარისებრი, ღრუ); კონვექციური საშრობი (ფრქვევანა, აეროჭავლური, დუდილის შრიანი, გრიგალური, დოლური); კონდუქციური საშრობი (თაროებიანი, მოცულობითი, გამათბობლიანი); მტვრის დასაჯენი კამერა; პნევმოტრანსპორტი; შემრევი აპარატი.
ხანძრისა და აფეთქების ლოკალიზება ინერტული აირებით	დაფქვა; გაცრა; კონვექციური საშრობი (ფრქვევანა, აეროჭავ-ლური, დუდილის შრიანი, გრიგალური, დოლური); კონდუქციური საშრობი (ვალცური, მნეკიანი, მილური); ციკლონი; გარსამოსიანი ფილტრი; ელექტროფილტრი; ბუნკერი.
ხანძრის საქრობი მოწყობილობების გამოყენება	დაფქვა; გაცრა; კონვექციური საშრობები (ლენტური, დარისებრი, ღრუ); კონდუქციური საშრობები (ვალცური, მნეკიანი, მილური); კონდუქციური საშრობები (თაროებიანი, მოცულობითი, გამათბობ-ლიანი); მტვრის დასაჯენი კამერები; პნევმოტრანსპორტი; ელევა-ტორები; ბუნკერები.
აფეთქების აქტიური შეზღუდვის სისტემის გამოყენება	დაფქვა; გაცრა; კონდუქციური საშრობი (ვალცური, მნეკიანი, მილური); კონდუქციური საშრობი (თაროებიანი, მოცულობითი, გამათბობლიანი); შემრევი აპარატი.

5.7. სამშენებლო კონსტრუქციებისა და საწარმოო შენობების ცეცხლმედეგობა

სამშენებლო მასალები აალებადობის მიხედვით იყოფა სამ ჯგუფად: **ცეცხლგამძლე, ძნელად წვადი და წვადი**. ცეცხლგამძლე მასალებს ეკუთვნის ისეთი მასალები, რომლებიც არ იწვიან ანთების წყაროს მოქმედებით.

ესენია ხელოვნური და ბუნებრივი არაორგანული მასალები - აგური, ბეტონი, რკინაბეტონი, ლითონები და სხვ. მასალებს, რომლებიც ძნელად იწვიან მიეკუთვნება ისეთი მასალები, რომელთაც შეუძლიათ წვა ანთების წყაროს მეშვეობით, მაგრამ წყაროს გამოტანის შემდეგ დამოუკიდებლად არ იწვიან. ასეთებია ასფალტბეტონი, ცეცხლისაგან დამცავი შემადგენლობით გაჟღენთილი ხის მასალა, ცემენტის ფიბროლიტი და სხვ. წვად მასალებს განეკუთვნება ისეთები, რომლებიც იწვიან ანთების წყაროს გამოტანის შემდეგაც: ხის მასალა, ტოლი, რუბეროიდი, ბიტუმი და სხვ.

სამშენებლო კონსტრუქციების უნარს, შეასრულოს ხანძრის დროს მიკუთვნებული ფუნქციები ცეცხლგამძლეობა ეწოდება. კონსტრუქციების ცეცხლგამძლეობა ხასიათდება ცეცხლგამძლეობის ზღვრით. ცეცხლგამძლეობის ზღვარი სამშენებლო კონსტრუქციისათვის არის დრო, რომლის განმავლობაშიც ხანძრის პირობებში კონსტრუქცია ასრულებს თავის ფუნქციას.

გადამღობი კონსტრუქციების ცეცხლგამძლეობის ზღვრის დადგომის ნიშნებია:

- გამჭოლი ხვრელებისა და ბზარების წარმოქმნა, საიდანაც მეზობელ სათავსში გაედინება და აღწევს წვის პროდუქტები ან ალი;

- კონსტრუქციის მეორე მხარეზე ტემპერატურის ნაზარდი საშუალოდ აღწევს 140°C ან რომელიმე წერტილში ხდება 180°C ან 220°C ხდება სათავსოს საერთო ტემპერატურა. მზიდი კონსტრუქციის ცეცხლგამძლეობის ზღვრის დადგომის ნიშნებია მისი ჩამონგრევა.

ცეცხლგამძლეობის მიხედვით უსაფრთხოების პირობა არის შემდეგი უტოლობის დაცვა — $\Pi_{\text{ფ}} \geq \Pi_{\text{სფ}}$, სადაც $\Pi_{\text{ფ}}$ არის დაპროექტებული ან ფუნქციონირებადი კონსტრუქციების ცეცხლგამძლეობის ფაქტიური ზღვარი, სთ; $\Pi_{\text{სფ}}$ — ნორმებით ან უსაფრთხოების პირობებით განსაზღვრული ცეცხლგამძლეობის საჭირო ზღვარი, სთ.

სამშენებლო კონსტრუქციების ცეცხლმედეგობის დადგენა შეიძლება ანგარიშით ან ექსპერიმენტულად.

ცეცხლმედეგობის ზღვრის განსაზღვრის ექსპერიმენტული მეთოდი ისაა, რომ ნატურალური სიდიდით შესრულებულ კონსტრუქციის ნიმუშს ათბობენ სპეციალურ ღუმელში ნორმატიული დატვირთვით. ექსპერიმენტის მსვლელობაში იზომება დრო გამოცდის დაწყებიდან ცეცხლმედეგობის ზღვრის დადგომის რომელიმე ნიშნამდე.

ცეცხლმედეგობაზე სამშენებლო კონსტრუქციის გათვლის მიზანია იმ დროის განსაზღვრა, რომლის გასვლის შემდეგ კონსტრუქცია კარგავს თავის ფუნქციას - შეზღუდვის, შემკავებლის ან მზიდის. შესაბამისად სხვადასხვა კონსტრუქციის გათვლა ცეცხლმედეგობაზე ხდება სხვადასხვანაირად. გადამღობი კონსტრუქციები გაითვლება შეკავების უნარზე.

ზოგჯერ კონსტრუქცია ასრულებს როგორც შემკავებელ, ისე მზიდ ფუნქციას. ასეთი კონსტრუქციების გათვლა ცეცხლმდეგობაზე ხდება ორივე მეთოდით და ცეცხლგამძლეობის ფაქტიურ ზღვრად მიიღება უმცირესი.

შემკავებლის უნარიანობის დაკარგვის გამოთვლა დაიყვანება იმ დროის განსაზღვრაზე, რომლის განმავლობაშიც კონსტრუქციის მეორე მხარე თბება კრიტიკულ ტემპერატურამდე.

მზიდუნარიანობის დაკარგვის გამოთვლა დაიყვანება ხანძრის მოქმედების დროის განსაზღვრაზე, რომლის შემდეგაც მასალის სიმტკიცის დაკარგვის გამო კონსტრუქცია კარგავს მზიდ უნარს.

5.8. ხანძარსაწინალო დაბრკოლებანი

ცეცხლის გავრცელებისაგან შენობის დასაცავად იყენებენ ხანძარსაწინალო დაბრკოლებებს, რომლებსაც მიეკუთვნება უწვავი კედლები და გადახურვები. ხანძრის გავრცელების შეზღუდვის მიზნით სართულებს შორის აწყობენ უწვავ ტიხრებს.

ოპტიმალური დაშორების დასადგენად უნდა ვიხელმძღვანელოთ ხანძარსაწინალო და აფეთქებასაწინალო მოთხოვნილებების ნორმების დაცვით. ხშირ შემთხვევაში უშვებენ მინიმალურ დაშორებებს, მაგრამ დიდ ყურადღებას აქცევენ ხანძრის ჩაქრობის ტექნიკური საშუალებების მზადყოფნას საწყის მდგომარეობაში.

შენობიდან შენობაზე ხანძრის გავრცელების თავიდან ასაცილებლად შენობებს შორის აწყობენ ხანძარსაწინალო თხრილებს. შენობებს შორის უმცირეს დაშორებას იღებენ მათი ცეცხლმდეგობის ხარისხის მიხედვით, რომელიც მოცემულია 5.5 ცხრილში.

ცხრილი 5.5

შენობებს შორის უმცირეს დაშორების ცვალებადობა ცეცხლმდეგობის ხარისხის მიხედვით

შენობებისა და ნაგებობების ცეცხლმდეგობის ხარისხი	შენობებს შორის დაშორება ცეცხლმდეგობის მიხედვით, მ		
	I – II	III	IV - V
I – II	10	12	16
III	12	16	18
IV - V	16	18	20

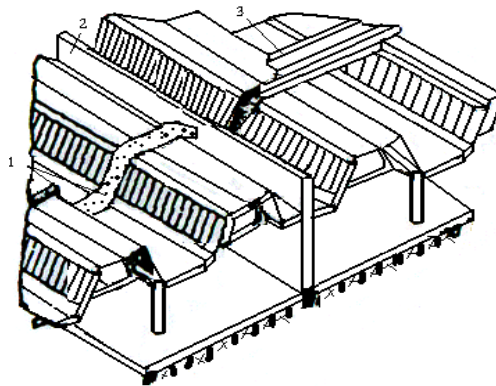
ხანძარსაწინალო დაშორება შენობებს (ნაგებობებს) შორის განისაზღვრება ფორმულით:

$$r = K\sqrt{F}, \quad (5.1)$$

სადაც K არის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ხანძრის ტემპერატურაზე, ობიექტების ურთიერთგანლაგებაზე, $K = 0,85-0,90$; F — ობიექტის ფართობი, მ².

ზღუდეები შენდება მთლიანი ხანძარსაწინააღმდეგო კედლების, ტიხრების, კარების, ჭიშკრების, სარქველების, შლუზების, ფანჯრების სახით. მათი დანიშნულებაა ხანძრის გავრცელების შეზღუდვა. ზღუდეები შეიძლება იყოს შვეული და თარაზული, გრძივი და განივი.

სპეციალური ზღუდეების გარდა, სამშენებლო კონსტრუქციებში იყენებენ აგრეთვე ადგილობრივ ზღუდეებს, როგორც სამშენებლო კონსტრუქციების შემადგენელ ნაწილებს. ესენია რკინაბეტონის სარტყლები, სხვადასხვა შიბერები, სარქველები, გადამკეტები, დიაფრაგმები, ჩაწეული ნაწილები და ა.შ. ისინი ხელს უშლიან ალის სწორხაზობრივად გავრცელებას.



ფიგ. 5.4. ხანძარსაწინააღმდეგო კედლები - გრანდმაურები:
1 - განივი გრანდმაური; 2 - გრძივი გრანდმაური; 3-სახანძრო ხიდი.

ხანძარსაწინააღმდეგო კედლები (გრანდმაურები) გამოიყენება საამქროების დასაყოფად ხანძარსაწინააღმდეგო ნაკვეთურებად. ხანძარსაწინააღმდეგო კედლები ეყრდნობა მთლიან ან კოჭოვან საძირკვლებს და ამოიყვანება შენობის მთელ სიმაღლეზე (ნახ.5.4).

5.9. ცეცხლსაქრობი ნივთიერებები და საშუალებები

ხანძრის ჩასაქრობად გამოიყენება თხევადი, აირისებრი, ქაფისებრი ნივთიერებები და მყარი ნივთიერებების ფხვნილები. ხანძრის ჩაქრობა აღნიშნული ნივთიერებების გამოყენებით ხდება: 1. ხანძრის კერის ტემპერატურის დაწევით, 2. ჰაერის მიწოდების შეზღუდვით ხანძრის კერაზე, 3. ხანძრის კერაზე მიმართულ ჰაერის ნაკადში ჟანგბადის პარციალური წნევის შემცირებით ან 4. მათი კომბინაციით. გამოყენებული ნივთიერებების მიხედვით ცეცხლსაქრობები ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან მოქმედების პრინციპით(ფიგ. 5.5) .

აღნიშნულის გარდა, ცეცხლსაქრობები, ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან:

1. ამუშავების პრინციპით: ა) ავტომატური, ბ) ხელის. პირველი ტიპის ცეცხლსაქრობი სტაციონარულად მონტაჟდება ისეთ ადგილებში, სადაც სავარაუდოა ხანძრის გაჩენა და ამუშავდება სენსორების მიერ ხანძრის შეცნობისას. ყველზე გავრცელებული სენსორია ტემპერატურის მკვეთრ — ნახტომისებურ ნამატზე მორეაგირე სენსორი. შესაძლებელია

სენსორი რეაქციას ახდენდეს ტემპერატურის აბსოლუტურ სიდიდეზე, ჰაერში კვამლის (ჭვარტლის) ან ნახშირორჟანგის შემცველობაზე და ა.შ. მეორე ტიპის ცეცხლსაქრობი კი მაგრდება სპეციალურად ამ მიზნით მოწყობილ ხანძარსაწინააღმდეგ სტენდზე და მისი ამუშავება ხდება ხელით.



ფიგ. 5.5. ხელის ცეცხლსაქრობის საერთო ხელი.

2. კორპუსის მოცულობით: ა) ჩვეულებრივი ხელის ცეცხლსაქრობი 5 ლ-მდე მოცულობის; ბ) საწარმოში გამოსაყენებელი ხელის ცეცხლსაქრობი 5-10 ლ მოცულობის; გ) სტაციონარული და გადასატანი, რომელთა მოცულობა 10 ლ-ზე მეტია.

3. ცეცხლსაქრობი აგენტის მიწოდების წესის მიხედვით: ა) ცეცხლსაქრობში ქიმიური რეაქციის შედეგად გენერირებული აირის წნევის მეშვეობით; ბ) ცეცხლსაქრობის კორპუსში მოთავსებული სპეციალური პატარა ბალონის კუმშული აირის წნევის მეშვეობით; გ) ცეცხლსაქრობის კორპუსში დაჭირხნილი აირის წნევის მეშვეობით; დ) ცეცხლსაქრობი ნივთიერების საკუთარი წნევის მეშვეობით. ცეცხლსაქრობი ფხვნილების შემთხვევაში მიწოდების მიზნით შესაძლებელია აგრეთვე მათი სიმძიმის ძალის გამოყენება.

ცეცხლსაქრობის მარკირება ხდება ასოებითა და ციფრებით. ასოები აჩვენებენ ცეცხლსაქრობის სახეობას, ხოლო რიცხვები - ტევადობას. ცეცხლსაქრობზე აგრეთვე დატანილი უნდა იყოს საქრობი აგენტით აღჭურვის თარიღი და მითითებული უნდა იყოს მომდევნო შემოწმებისა და ხელახლა აღჭურვის თარიღი. აგრეთვე გაფრთხილება იმის შესახებ, თუ როგორი ხანძრის შემთხვევაში არ შეიძლება მისი გამოყენება.

ძალზე ეფექტური და გავრცელებული ცეცხლსაქრობი ნივთიერებაა წყალი, რადგან მას აქვს დიდი სითბოტევადობა და ამის გამო ხანძრის კერაზე ტემპერატურას მკვეთრად ამცირებს სხვა ცეცხლსაქრობ საშუალებებთან შედარებით. მაღალი წნევის წყლის ნაკადი ახდენს აგრეთვე მექანიკურ მოქმედებას - არღვევს და აქუცმაცებს ცეცხლმოღებულ მასალას.

ხანძრის კერაზე ზემოქმედება შესაძლებელია მოხდეს როგორც წყლის კომპაქტური ჭავლით, ისე მისი გაფრქვეული ნაკადით. გაფრქვევა უფრო ეფექტურია, რადგან ჰაერში 30% და უფრო მეტი წყლის ორთქლის შემთხვევაში, მკვეთრად ეცემა მასში ჟანგბადის შემცველობა და წვა წყდება. მამასადამე, გაფრქვევის შემთხვევაში ხანძრის ჩაქრობა უფრო სწრაფად მიმდინარეობს და წყლის ხარჯიც ნაკლებია.

ხანძრის ჩასაქრობად გამოყენებული ინერტული აირები, ხანძრის კერაზე არსებულ ჰაერში ჟანგბადის პარციალურ წნევას მკვეთრად ამცირებენ და ქმნიან ჰაერის ისეთ გარემოს, სადაც წვა შეუძლებელია. ინერტული აირები აგრეთვე არ აფუჭებენ პროდუქტებს და მოწყობილობებს, რადგან რეაქციაში შესვლის უნარით არ ხასიათდებიან.

ქაფისებრმა ნივთიერებებმა გავრცელება პოვა არა მარტო მყარი მასალების, არამედ საწვავის და ადვილალეხადი სითხეების ჩაქრობის დროსაც. ქაფი ფარავს რა წვადი ნივთიერების ზედაპირს, აცალკევებს მას ჟანგბადისაგან, აცივებს კერას და საბოლოოდ წყვეტს წვის პროცესს.

ქაფმასალა მიიღება ქიმიური რეაქციის ან მექანიკური შერევის შედეგად და არის აზოტის, ნახშირორჟანგის ან ჰაერის ბუშტულები, რომლებიც მოქცეულია წყლის თხელ აფსკში. სპეციალური ქაფწარმოქმნელი, ანიჭებს წყლის აფსკს ელასტიკურობას, სიბლანტეს და ბუშტების შენარჩუნების უნარს. ქიმიური ქაფის შედგენილობა 80% ნახშირორჟანგი, 19,7% წყალი და 0,3% ამქაფებელი აგენტი, ხოლო მექანიკურის - 90% ჰაერი, 9,8% წყალი და 0,2% ამქაფებელი აგენტი. ქაფმასალა არის ელექტროგამტარი და დაუშვებელია მისი გამოყენება ქსელში ჩართულ მოწყობილობებზე, აგრეთვე დაუშვებელია მისი გამოყენება ისეთი ნივთიერებების ჩასაქრობად, რომლებიც იწვიან ნახშირორჟანგის ან აზოტის გარემოში.

მყარი ნივთიერებების ფხვნილები და ნახშირორჟანგი, ახდენენ გამაცივებელ მოქმედებას, აგრეთვე აცალკევებენ წვად ზედაპირს ჟანგბადისაგან და ხელს უწყობენ წვის შეწყვეტას. ნახშირმჟავას ნაერთები გამოიყენება თითქმის ყველა ქიმიური ნივთიერების ჩასაქრობად. წვად ნივთიერებებთან შერევისას ნახშირმჟავას თოვლი არ წარმოქმნის მავნე შენაერთებს. ცეცხლსაქრობში არსებული ნახშირმჟავასაგან შესაძლებელია მინუს 70 °C ტემპერატურის მქონე მშრალი თოვლის მიღება თუ ქაფს პორციებად ჩაუშვებთ თბოიზოლირებულ ტოპრაკში.

ცეცხლსაქრობი საშუალებანი. მცირე სიძლიერის ხანძრის ლიკვიდაციისათვის ფართოდ გამოიყენება ხანძრის ქრობის პირველადი საშუალებები - ხელის ან გადასატანი ცეცხლსაქრობი, სილით სავსე ყუთი, აზბესტის საფარი, წყლის რეზერვუარი და სხვ. სახანძრო ინვენტარისა და პირველადი ცეცხლსაქრობი საშუალებების ვარგისიანობაზე პასუხისმგებელია ორგანიზაციის ხელმძღვანელი. სახანძრო ინვენტარის გამოყენება სხვა მიზნით კატეგორიულად აკრძალულია.

დღესდღეობით ფართოდ გამოიყენება: ხელის OXII-10; საჰაერო - ქაფიანი OBI-5, OBI-10; ნახშირმჟავიანი OY-2, OY-5, OY-8; ნახშირორჟანგის გადასადგილებელი ცეცხლსაქრობი YII-2 და ფხვნილიანი ცეცხლსაქრობები OII-5, OII-10.

ქიმიური ქაფიანი ხელის OBI-5, OBI-10 ტიპის და სტაციონარული OBIIC-250A ტიპის ცეცხლსაქრობები გამოიყენება სხვადასხვა ნივთიერებებისა და მასალების წვის ჩასაქრობად. მათი გამოყენება არ შეიძლება ტუტე ლითონების წვის, აგრეთვე, როგორც ზემოთაც აღნიშნა, ელექტროქსელში ჩართული დანადგარებში მომხდარი ხანძრისა და ისეთი ნივთიერებების ხანძრის ჩასაქრობად, რომლებიც იწვიან ჰაერის ჟანგბადის გარეშე.

ნახშირორჟანგიანი ცეცხლსაქრობები (ნახ. 5.6.ა). ქაფიანი ცეცხლსაქრობის გარდა სარგებლობენ აგრეთვე ნახშირორჟანგიანი OY-2 ტიპისა და სხვა ანალოგიური ცეცხლსაქრობებით, რომელთა დანიშნულებაა სხვადასხვა ნივთიერების წვის ჩაქრობა. OY-5 და OY-8 ტიპის ხელსაწყოებიც იმავე დანიშნულებისაა, კონსტრუქციულად და ზომებით ერთ-მანეთისაგან განსხვავებულია, რიცხვი მიუთითებს ცეცხლსაქრობის მოცულობას ლიტრებში.

ნახშირორჟანგიანი ცეცხლსაქრობიდან გამოსული თხევადი ნახშირორჟანგი სწრაფად ორთქლდება და იკავებს საწყის მოცულობაზე 400-500-ჯერ მეტს. აორთქლებისათვის საჭირო სითბოს ართმევს ხანძრის კერას. ამგვარად, აღნიშნული ტიპის ცეცხლსაქრობი ორმაგი მოქმედებისაა - დაბლა სწევს ტემპერატურას და ამცირებს ჟანგბადის პარციალურ წნევას.

გადასატანი ნახშირორჟანგიანი ცეცხლსაქრობების დანიშნულებაა: საწვავი და ადვილად აალებადი სითხეების ჩაქრობა 5 მ²-მდე ფართობზე; ელექტროქსელში ჩართული მცირე სიმძლავრის დანადგარების წვის ჩაქრობა და ხანძრის ლიკვიდაცია შიგაწვის ძრავებში.

გამოდის YП-1M, YП-2M ტიპის ერთ და ორბალონიანი გადასატანი ცეცხლსაქრობები. აღნიშნულ ბალონებს OY-2-ის მსგავსად აქვთ ონკანი. ონკანები უზრუნველყოფილია დამცავი სარქველებით და შეერთებულია კოლექტორთან და გამანაწილებელ მილთან. ცეცხლსაქრობის ასამოქმედებლად ერთი კაცი კრონშტეინიდან ხსნის მილს და მიმართავს მას ცეცხლისკენ. მეორე კი ონკანს ადებს ბოლომდე.

ხანძარსაწინაღო მოთხოვნებით გათვალისწინებულია 1 ცალი ქაფიანი ან ნახშირორჟანგიანი ცეცხლსაქრობი — 50 მ² ფართობზე, მაგრამ იმავდროულად ყოველ სათავსში უნდა იყოს მინიმუმ 2 ცალი ცეცხლსაქრობი. გარდა ამისა, საჭიროა სათავსში განლაგდეს 0,5 მ³ მოცულობის სილით სავსე ყუთი 100 მ² ფართობზე, მაგრამ არანაკლებ 1 ყუთისა ცალკეულ სათავსში.

ფხვნილის ცეცხლსაქრობები. აირების, საწვავი და ადვილად აალებადი სითხეების, სხვადასხვა გამხსნელების და აგრეთვე სხვა მასალების ხანძრის ჩასაქრობად გამოიყენება ფხვნილის ცეცხლსაქრობები. სპეციალური ტევადობიდან ფხვნილის გამოტყორცნის ხერხის მიხედვით ცეცხლსაქრობი ორი სახეობისაა: დატუმბული და აირგენერატორიანი.

ორივე სახეობის შემთხვევაში ფხვნილი მოთავსებულია სპეციალურ ტევადობებში, საიდანაც მათი გამოდევნა ხდება შეკუმშული აირის მეშვეობით. განსხვავება მხოლოდ ისაა, რომ შეკუმშული აირი აზოტის, ჰაერის ან ნახშირორჟანგის სახით შესაძლებელია მტვერთან ერთად იქნეს ჩატუმბული ტევადობაში 1,6 მგპა წნევით და სახელიც სათანადო - დატუმბული ცეცხლსაქრობი ეწოდება ან ხდებოდა აირის გენერაცია თვით ტევადობაში.

დატუმბული ცეცხლსაქრობის კონსტრუქცია შეიცავს მანომეტრს, რომლის ნომინალური წნევა 1,6 მგპა უჩვენებს მოწყობილობის საექსპლუატაციო ვარგისიანობას. აღნიშნული ცეცხლსაქრობებით შესაძლებელია A, B, C კლასების ხანძრების ჩაქრობა ფხვნილის მახასიათებლების (მარკის) შესაბამისად. A კლასი — მყარი ნივთიერებების ხანძრის ჩაქრობა; B კლასი — წვადი სითხეების ან დნობადი მყარი ნივთიერებების

ხანძრის ჩაქრობა; C კლასი — წვადი აირების ხანძრის ჩაქრობა. ცეცხლსაქრობი გამოსაყენებლად მარტივია, უსაფრთხოა და ონკანიც ადვილად იხსნება.



ფიგ. 5.6. ცეცხლსაქრობები:

ა - ОУ-2 ტიპის ნახშირორჟანგიანი, მასა 7 კგ, სამსახურის ვადა 10 წელი, ხელახალი დამუხტვა 5 წლის შემდეგ; ბ - ОП-5 ტიპის ფხვნილიანი, მუხტის მასა 5 კგ; მოცულობა 6 ლ, მოქმედების ხანგრძლივობა 10 წმ, მოყვება ხელთათმანები; გ - ОП-5 ტიპის ფხვნილიანი, მუხტის მასა 10 კგ; მოცულობა 11.9 ლ, მოქმედ. ხანგრძლივობა 15 წმ.

აირგენერატორიანი ცეცხლსაქრობები შედარებით მცირე გაბარიტებისაა და ძირითადად გამოიყენება ავტომობილების აღჭურვის მიზნით. შესაძლებელია მათი გამოყენება აგრეთვე საყოფაცხოვრებო დანიშნულებისათვის. აღნიშნული ცეცხლსაქრობებით შესაძლებელია A, B, C კლასების ხანძრების ჩაქრობა. ფხვნილის მახასიათებლების (მარკის) მიხედვით შესაძლებელია აგრეთვე აღნიშნული ცეცხლსაქრობების გამოყენება ისეთი ელექტრომოწყობილობებში გაჩენილი ხანძრის სალიკვიდაციოდ, რომელთა ძაბვა შეადგენს მაქსიმუმ 1000 ვ.

ცეცხლსაქრობი ფხვნილის შესადგენად გამოიყენება წვრილდისპერსული მინერალური მარილები და სხვადასხვა დანამატები, რომლებიც ხელს უშლიან ფხვნილის შეცხოვადობას. ფხვნილის ძირითადი კომპონენტებია: ნატრიუმის ან კალიუმის კარბონატები ან ბიკარბონატები, ნატრიუმის ან კალიუმის ქლორიდები, ფოსფორამონიუმის მარილები და ა.შ., ხოლო დანამატებია: სილიციუმის ნაერთები, ლითონთა სტეარატები, თეთრი ქვარტლი, თალკი და ა.შ.

5.10. ხანძრის ავტომატური ჩაქრობა და სახანძრო სიგნალიზაცია

ხანძრის წარმატებითი ლიკვიდაცია დამოკიდებულია მისი დაწყების შეტყობინების სისწრაფეზე და ხანძრის ქრობის ეფექტური საშუალებების დაუყოვნებლივ გამოყენებაზე. ავტომატური მოწყობილობების გამოყენებით ხდება ხანძრის დროული ჩაქრობა და მატერიალური ზარალის შემცირება. აგრეთვე დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ხანძრის შეტყობინების სისტემის გამართულ და შეუფერხებელ მუშაობას მატერიალური ზარალის შემცირებისა და სიცოცხლის გადარჩენის თვალსაზრისით, ხოლო

ავტომატური ქრობის სისტემის ერთ-ერთი ძირითადი ნაწილია ხანძრის შეტყობინების სისტემა.

განსაკუთრებულ ხანძარსაშიშ საწარმოებში, სადაც აუცილებელია ხანძრის ჩაქრობა დაწყებისთანავე და ჩასაქრობად დასაშვებია წყლის გამოყენება, იყენებენ სპრინკლერულ და ღრენჩერულ მოწყობილობებს, ხოლო ენერგეტიკულ მილსადენებზე და სხვაგან, სადაც ადამიანები არ იმყოფებიან - ფხვნილურ ცეცხლსაქრობებს. პრინციპულად შესაძლებელია აგრეთვე ავტომატურ მოწყობილობაში გამოყენებული იქნეს ხანძრის ქრობის სხვა განხილული ხერხებიც, მაგრამ ავტომატურ მოწყობილობებში ფართო გამოყენება ჰპოვა ხანძრის წყლით ჩაქრობის წესმა.

სპრინკლერული მოწყობილობები გამოიყენება ყველა სახისა და დანიშნულების სათავსებში. გათბობის მქონე სათავსებში სპრინკლერის ხელსაწყო მუდმივად ავსებულია წყლით. თუ შენობაში ტემპერატურა ეცემა 0°C -ზე ქვემოთ, მაშინ მილებში ტუმბავენ ჰაერს, სპრინკლერის გაღების შემდეგ ჯერ ჰაერი გამოვა, ხოლო შემდეგ გამოედინება წყალი.

სპრინკლერის მგრძნობიარე ელემენტი - სენსორი რეაგირებას შესაძლებელია ახდენდეს ხანძრის ძირითად მაჩვენებლებზე - ტემპერატურაზე ან მის ნაზარდზე, კვამლის ან ნახშირორჟანგის შემცველობაზე და ა.შ. ამგვარად, მზადდება სპრინკლერები, რომლებიც ამოქმედდებიან ხანძრის სხვადასხვა მაჩვენებლის შესაბამისად.

ღრენჩერული მოწყობილობები გამოიყენება განსაკუთრებით ხანძარსაშიშ საწარმოებში. ხანძრის დაწყებისთანავე ხდება წყლის მიწოდება ერთ სექციაში გაერთიანებული ყველა ღრენჩერიდან. შესაბამისად, წყლის ხარჯი სპრინკლერებთან შედარებით მნიშვნელოვნად გაზრდილია. სპრინკლერული და ღრენჩერული მოწყობილობები ხანძრის გაჩენის დროს წყლის მიწოდებასთან ერთად გამოსცემენ სახანძრო განგაშის სიგნალს და არიან სახანძრო შეტყობინების სისტემის ნაწილი.

საწარმოებში, დიდ საწყობებში და ადმინისტრაციულ შენობებში ხანძრის მაუწყებლად გამოიყენება ციფრული და ანალოგური ავტომატური სახანძრო სიგნალიზაცია.

სიგნალიზაციით ხანძრის შეტყობინება ხდება გადამწოდის მიერ მისი შეცნობისთანავე. ჩვეულებრივ ეს დრო არის ხანძრის გაჩენიდან რამდენიმე წამი. ციფრული სისტემით შესაძლებელია განხორციელდეს როგორც ცენტრალიზებული, ისე დეცენტრალიზებული მართვა და ძალზე მოსახერხებელია.

ამუშავების იმპულსის მიხედვით ავტომატური გადამწოდი ელემენტი - სენსორი ტემპერატურის ნაზარდის ან აბსოლუტური მნიშვნელობის გარდა შესაძლებელია ამუშავდეს კვამლის ან ნახშირორჟანგის კონცენტრაციაზე სათავსოს ჰაერში, სინათლეზე ან კომბინირებულად.

5.11. ხანძრის ჩაქრობის წესები

წყლით ჩაქრობა. ხანძრის ჩაქრობის დაწყებისას პირველ რიგში საჭიროა ბრძოლა მისი გავრცელების შესაფერხებლად. ამიტომ ჩაქრობა ყველა შემთხვევაში იწყება პერიფერიიდან ცენტრისაკენ. ამგვარად, წყლის ჭავლი მიმართული უნდა იყოს კერის პერიფერიიდან ცენტრისაკენ, რაც თანდათანობით შეამცირებს ხანძარმოდებულ ფართობს. საჭიროა დაკვირვება, რომ წყლის ჭავლით გადაგდებულმა ცეცხლმოდებულმა საგანმა ხანძრის ახალი კერა არ წარმოშოს.

ქაფიანი და სითხიანი ცეცხლსაქრობებით ჩაქრობა. ამ შემთხვევაშიც ანალოგიურადაა მოქცევა საჭირო, რადგან ისეთივე ეფექტით ხასიათდებიან მოცემული საქრობი საშუალებები, როგორითაც წყალი. პერიფერიიდან ცენტრისაკენ ჭავლის მიმართული უნდა იქნეს ცეცხლის ენების ფუძეზე და არა წვეროებზე. წყლით ჩაქრობის შემთხვევაში აღნიშნულს განსაკუთრებული მნიშვნელობა არა აქვს.

ნახშირორჟანგიანი ცეცხლსაქრობებით ჩაქრობა. ამ შემთხვევაშიც პერიფერიიდან მოქმედებაა საჭირო, ხოლო ალის ფუძეზე ნახშირორჟანგის ჭავლი უნდა მიემართოს ზემოდან ქვემოთ. პირიქით ნაკლები ეფექტი აქვს, რადგან მაღალი ტემპერატურა აირს ზემოთ აიტაცებს.

ფხვნილური ცეცხლსაქრობებით ჩაქრობა. ამ შემთხვევაშიც პერიფერიიდან მოქმედებაა საჭირო. ფხვნილს ჯერ მიაყრიან კერის გარშემო, ხოლო შემდეგ აყრიან ალზე. ანალოგიურადაა საჭირო მოქცევა სილით, გრუნტით ცეცხლის ჩაქრობისას.

5.12. შენობების დემონტაჟი

აფეთქებით

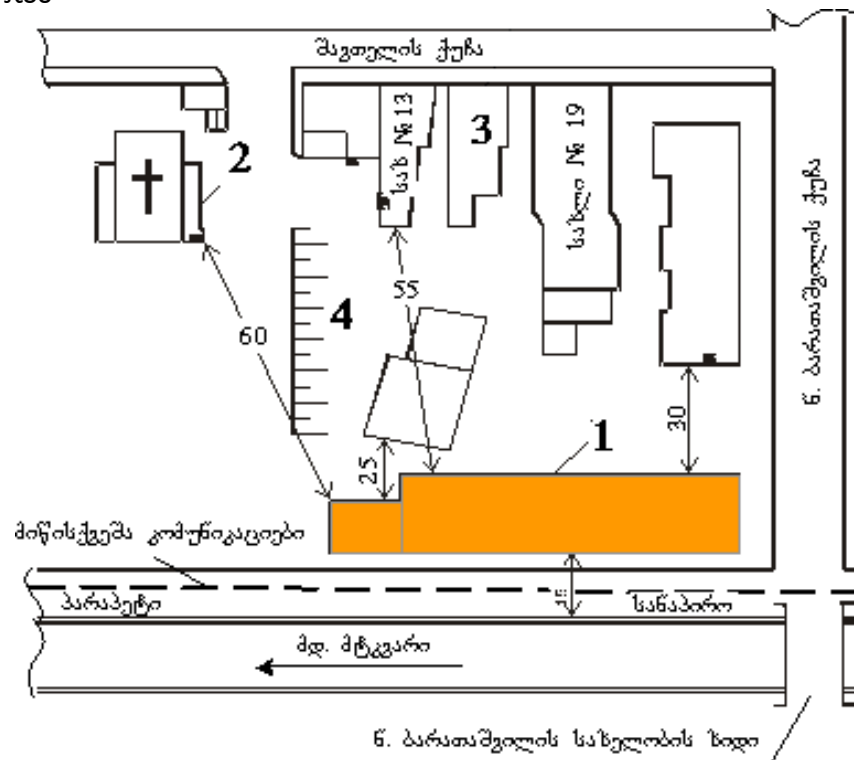
მჭიდროდ დასახლებული პუნქტების ხელახალი განაშენიანებისათვის სამშენებლო მოედნების მომზადებასთან და საკურორტო ობიექტების რეკონსტრუქციასთან დაკავშირებით, ამორტიზებული ობიექტების დემონტაჟის ვადების შემცირების მიზნით, მნიშვნელოვნად გაიზარდა მოთხოვნილება სპეციალური საამფეთქებლო სამუშაოების ჩატარებაზე. მოძველებული შენობა-ნაგებობების აფეთქებითი დემონტაჟი, მათი დაშლის ტრადიციული მეთოდებთან შედარებით, ბევრად ეკონომიურია და ხელსაყრელია ქალაქის ცხოვრების რიტმის სწრაფი აღდგენის თვალსაზრით. ამავდროულად ის გამოირჩევა სამუშაოების შესრულების უსაფრთხოების მაღალი დონით.

ამორტიზებული ნაგებობების დემონტაჟისას გასათვალისწინებელია შემდეგი:

- აფეთქებამ უნდა უზრუნველყოს მხოლოდ მზიდი კონსტრუქციების ნგრევა, თვით ნაგებობა კი უნდა დაიშალოს საკუთარი წონის გავლენით;
- ფეთქებადი ნივთიერების მუხტების განლაგებამ და მათი აფეთქების თანამიმდევრობამ უნდა უზრუნველყოს ნაგებობის მთლიანი დაშლა წინასწარ განსაზღვრული მიმართულებით.

ამასთანავე უნდა შემუშავდეს როგორც ნამსხვრევების გაფანტვის ლოკალიზაციის, ასევე სეისმური და ჰაერის დარტყმითი ტალღების დასაცავ ობიექტებზე ზემოქმედების შემცირების უზრუნველმყოფი ღონისძიებები. სწორედ ამიტომ თითოეული ნაგებობის აფეთქება მოითხოვს ინდივიდუალურ მიდგომას.

1985 წელს, ქ. თბილისის ძველი უბნების რეკონსტრუქციასთან დაკავშირებით, მოხდა ტრიკოტაჟის ფაბრიკის სამსართულიანი აგურის შენობის დემონტაჟი აფეთქებით. აღნიშნული შენობა მდებარეობდა ნ. ბარათაშვილის, შავთელის ქუჩებისა და მდ. მტკვრის მარჯვენა სანაპიროს შორის.



ნახ. 5.7. ტრიკოტაჟის ფაბრიკისა და დასაცავი ობიექტების განლაგების სიტუაციური გეგმა: 1 - ტრიკოტაჟის ფაბრიკის შენობა; 2 - VI საუკუნის ანჩისხატის ეკლესია; 3 - XIX და XX საუკუნის დასაწყისში აგებული საცხოვრებელი აგურის სახლები; 4 - სეისმომიმდების დაყენების პუნქტები.

დასაცავი ობიექტებიდან ყველაზე ძველი და ნაკლებად სეისმომედეგი იყო ორი სამსართულიანი აგურის შენობა (შავთელის ქ. #13 და #19), ეკლესია ანჩისხვატი, აგრეთვე მდინარე მტკვრის სანაპიროს დეკორატიული პარაპეტი და მიწისქვეშა კომუნიკაციები, მათ შორის 200 და 300 მმ დიამეტრის წყალსადენი და 300 მმ დიამეტრის გაზსადენი მილები და საერთაშორისო კავშირგაბმულობის კაბელი (ნახ. 5.7).

აღნიშნულ დასაცავ შენობა-ნაგებობებზე აფეთქების სეისმური მოქმედების პროგნოზის მიზნით, ამავე ტერიტორიაზე ჩატარდა 1 მ-ის სიღრმეზე გრუნტში განთავსებული ამონიტი N6 ЖВ-ს სამშურე მუხტების საცდელი აფეთქებები. ექსპერიმენტული მუხტებისა და ტრიკოტაჟის ფაბრიკის შენობის კედლებში

განლაგებული მუხტების დაყვანილი მასა იდენტური იყო. გრუნტისა და დასაცავი ობიექტების რხევის სიჩქარეები ექსპერიმენტული აფეთქებებისას მოცემულია 5.6 ცხრილში.

ცხრილი 5.6

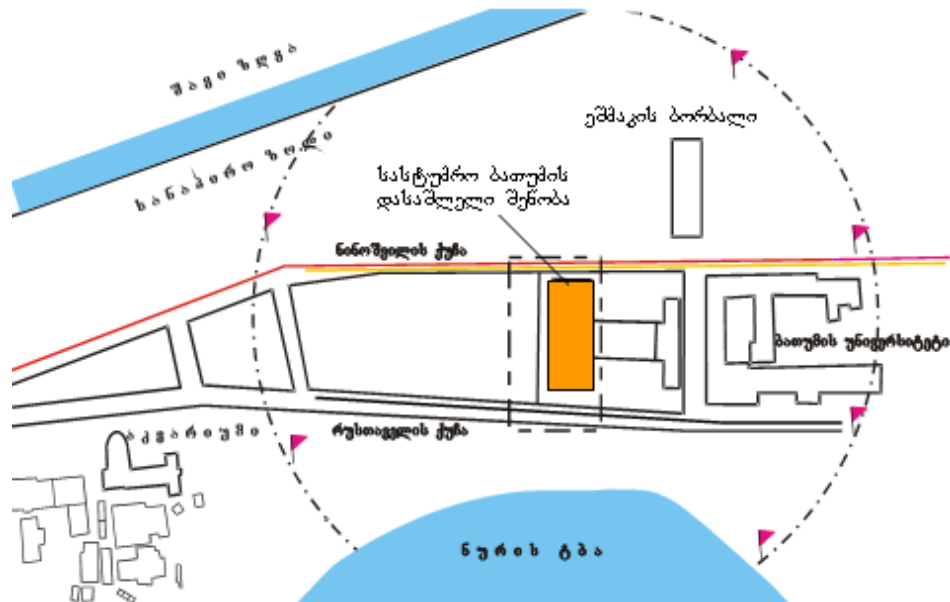
**სეისმოური ტალღების პარამეტრები ამონიტ N6 ЖБ-ს გრუნტში ჩაღრმავებული
საცდელი მუხტების აფეთქებისას**

სეისმომომდების დაყენების ადგილი	დაკვირვების წერტილის დამორება აფეთქების კერიდან r , მ	ფ.ნ. მუხტის მასა, ტროტილის ეკვივალენტი, Q_{TNT} , კგ	მუხტის დაყვანილი მასა ρ , კგ ^{0,333მ⁻¹}	ენერგომზიდი რხევების სიხშირე, ჰც	რხევის სიჩქარე V , სმ/წმ
N13 სახლის III სართული	11,5	1,0	0,087	1-2	1,04-0,52
	16,5	2,0	0,076	1-1,3	1,03-1,43
N13 სახლის I სართული	11	1,0	0,091	2-2,5	0,5-0,63
	11	2,0	0,114	2	0,6
ანჩისათის ეკლესია (საძირკველი)	20,0	1,0	0,049	2-2,5	1,2
	15,5	2,0	0,081	10	2,51
გრუნტი	7,7	2,0	0,162	4,5	7,0
	2,7	1,0	0,370	5	24,0

ცხრილში აღნიშნული მონაცემებიდან ჩანს, რომ დაყვანილი მუხტის მასის ცვალებადობისას $\rho = 0,049 - 0,114$ კგ^{0,333მ⁻¹} ინტერვალში დასაცავი შენობების რხევის სიჩქარე შესაბამისად შეადგენს 0,50-2,51 სმ/წმ. გრუნტის რხევის სიჩქარე დაყვანილი მუხტის მასის $\rho = 0,370 - 0,162$ კგ^{0,333მ⁻¹} ცვალებადობის ინტერვალში ღებულობს მნიშვნელობებს 7-24 სმ/წმ, რაც საშიშია დასაცავი ობიექტებისათვის, განსაკუთრებით ძველი შენობებისათვის. რხევის სიჩქარე ძველი შენობებისათვის, ისე როგორც აფეთქების კერიდან 3-5 მ მანძილზე განლაგებული მილსადენებისათვის, არ უნდა აღემატებოდეს 1,5 სმ/წმ.

აღნიშნულის გათვალისწინებით ტრიკოტაჟის ფაბრიკის აფეთქებით დემონტაჟისას, პროექტში შეტანილ იქნა შემდეგი დამატებითი დამცავი ღონისძიებები: სარდაფში განლაგებული მუხტების აფეთქებით გენერირებული სეისმოური ტალღების ეკრანების მიზნით, ჩამოსაქცევ კედლებსა და მიწისქვეშა კომუნიკაციებს შორის 2 მ-ის სიღრმისა და 1,5 მ სიგანის ტრანშეის გაყვანა, სადემონტაჟო შენობის მთელ პერიმეტრზე მუხტების განთავსების სიბრტყის დაცილება 0,5 მ-ით მიწის ზედაპირიდან. აგრეთვე შენობის კედლებში განლაგებული მუხტების ორ ჯგუფად გაყოფა და მათი აფეთქება 500 მლწმ (წამის მეათასედი ნაწილის) დაყოვნებით.

აფეთქების შედეგად ტრიკოტაჟის ფაბრიკის შენობა ჩამოიშალა თავის ფუძეზე ისე, რომ მისმა ცალკეულმა სამშენებლო ელემენტმა მთლიანად შეავსო სარდაფის მოცულობა. დასაცავი ნაგებობების ფუნდამენტში გრუნტის რხევის სიჩქარე შეადგენდა 0,2-0,5 სმ/წმ.



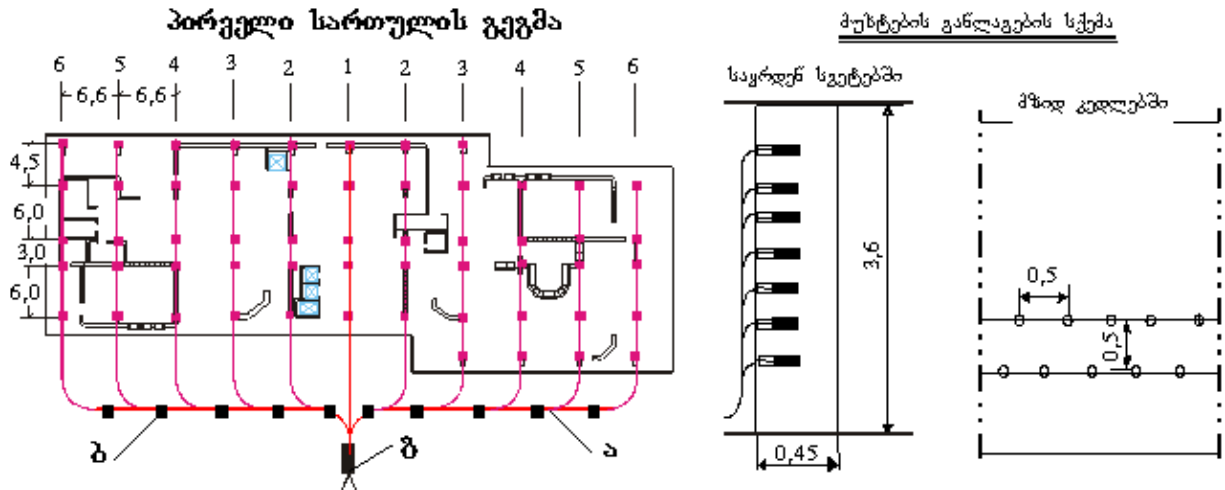
ნახ. 5.8. სასტუმრო 'ბათუმის' შენობის აფეთქებით დემონტაჟის სიტუაციური გეგმა.

ჩატარებული კვლევების ანალიზით დადგინდა, რომ განხილულ პირობებში ჩარღმავებული მუხტების აფეთქებისას გრუნტის სეისმურობის კოეფიციენტი $K = 106$. დასაშლელი შენობის კედლებში განთავსებული იმავე სიდიდის დაყვანილი მასის მუხტების აფეთქებისას აღნიშნული კოეფიციენტის რიცხვითი მნიშვნელობა მცირდება 10-20 ჯერ, რაც მიაღწევს სეისმური ტალღების დაბალ ინტენსიურობაზე.

ბოლო წლებში აჭარის საკურორტო ზონის რეკონსტრუქციის მიზნით ქ. ქობულეთში ჩატარდა ოთხი მაღლივი კარკასული რკინაბეტონის შენობის, სასტუმრო კომპლექსი 'ჰორიზონტის' ორი თექვსმეტსართულიანი კორპუსის, მეცნიერებათა აკადემიის დასასვენებელი სახლის თექვსმეტსართულიანი საცხოვრებელი კორპუსისა და სოფ. ბობოყვათში ათსართულიანი საცხოვრებელი კორპუსის დემონტაჟი აფეთქებით. ქ. ბათუმში აფეთქებით დაშლილი იქნა სასტუმრო 'ბათუმის' ცხრასართულიანი კარკასული კორპუსი. ამ ნაგებობების აფეთქებით დემონტაჟის, პროექტები შეიმუშავეს გ. წულუკიძის სამთო ინსტიტუტის სპეციალისტებმა.

ნახ. 5.8-ზე მოცემულია სასტუმრო 'ბათუმის' შენობისა და დასაცავი ობიექტების განლაგების სიტუაციური გეგმა, ხოლო ნახ. 5.9-ზე — ფეთქებადი ნივთიერების მუხტების განლაგებისა და მათი მცირედ დაყოვნებული აფეთქების სქემა პირველი სართულის მიხედვით. ნახ. 5.9-ის განტვირთვის მიზნით სართულების გეგმებზე ნაჩვენებია მხოლოდ საყრდენ სვეტებში განთავსებული მუხტები.

ფეთქებადი ნივთიერების კუთრი ხარჯი იყო $2,0 \text{ კგ/მ}^3$, შპურის დიამეტრი — $d = 38 \text{ მმ}$, ფეთქებადი ნივთიერების მუხტის მასა თითოეულ შპურში — $Q_{\text{შ}} = 0,245 \text{ კგ}$, მუხტების რაოდენობა თითოეულ სვეტში — $n_{\text{შ}} = 7$. ყოველი სვეტის დანგრევაზე დაიხარჯა $1,75 \text{ კგ}$ ფეთქებადი ნივთიერება.



ნახ. 5.9. სასტუმრო ბათუმის შენობის მზიდ კონსტრუქციებში ფეთქებადი ნივთიერების მუხტების განლაგებისა და მათი მცირედ დაყოვნებული აფეთქების სქემა: 1-6 - სვეტების აფეთქების თანამიმდევრობა; ა - $\Delta\Pi-A$ ტიპის სადეტონაციო ზონარი; ბ - 100 მლწმ დაყოვნების მქონე დეტონატორი; გ - ელექტროდეტონატორი; ნახაზზე ზომები მოცემულია მეტრებით.

სულ აფეთქებული იქნა 133 საყრდენი სვეტი, მათ შორის I სართულზე 56, II სართულზე — 44 და III სართულზე — 39. გარდა ამისა, ფეთქებადი ნივთიერების მუხტები განთავსებული იქნა შენობის პირველი სამი სართულის მზიდ კედლებში. აფეთქების ყოველ რიგში სამივე სართულზე კედლებში განთავსებული სამპურე მუხტის მასა საშუალოდ 49 კგ შეადგენდა. ერთდროულად აფეთქებული მუხტების ჯამური მასა არ აღემატებოდა 140 კგ.

ფიგ. 5.10-ზე მოცემულია სასტუმრო „ბათუმის“ შენობის აფეთქებით დემონტაჟის ფრაგმენტები, ხოლო 5.7 ცხრილში — დასაცავი ობიექტების რხევის სიჩქარეები. აფეთქების შედეგად სასტუმრო „ბათუმის“ შენობა მთლიანად ჩამოიშალა თავის ფუძეზე დასაცავი ობიექტების უსაფრთხოების სრული უზრუნველყოფით, ცალკეული ნამსხვრევების გატყორცნის მანძილი არ აღემატებოდა 20 მეტრს.

5.7 ცხრილიდან ჩანს, რომ ფეთქებადი ნივთიერების მუხტების მზიდ კონსტრუქციებში აფეთქებისას გრუნტის თვისებებისა და აფეთქების პირობების მაჩვენებელი K კოეფიციენტის რიცხვითი მნიშვნელობის ცვალებადობის ფარგლები 26-56 შეადგენს. იმავე სიდიდის დაყვანილი მასის ჩაღრმავებული მუხტებისათვის $K = 200$.

აღნიშნული კოეფიციენტის რიცხვითი მნიშვნელობა ცალკეული რეგიონ-ნის ფარგლებში საკმაოდ დიდ დიაპაზონში იცვლება. მაგალითად, თბილისის ქანების პირობებში ჩაღრმავებული ფეთქებადი ნივთიერების მუხტების აფეთქებისას $K = 106$. ეს გარემოება განპირობებულია რხევის სიჩქარის დამოკიდებულებით ქანის სტრუქტურასა და გაწყლოვანების ხარისხზე. ამიტომ ყველა კონკრეტულ პირობისათვის საჭიროა წინასწარ ექსპერიმენტულად დადგინდეს K კოეფიციენტის მნიშვნელობა, რაც შესაძლებლობას მოგვცემს შევიშუაოთ მჭიდროდ დასახლებულ პუნქტებში სამაფეთქებლო სამუშაოების წარმოებისას გენერირებული სეისმური ტალღების დასაცავ ობიექტებზე მავნე ზემოქმედებისაგან დაცვის ეფექტური ღონისძიებები.

**ცხრილი 5.7. დასაცავი ობიექტების საძირკველში გრუნტის რხევის სიჩქარეების
ცვალებადობა**

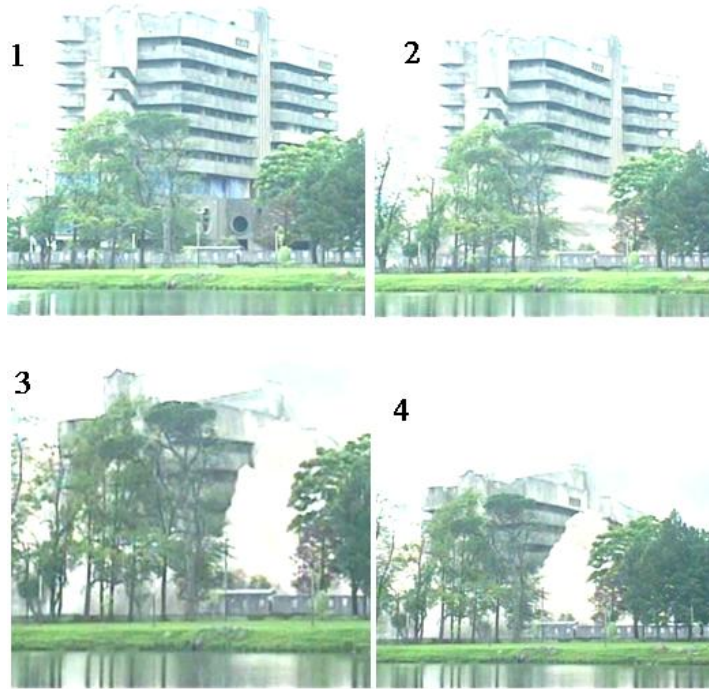
სეისმო- მიმღების დაყენების ადგილი	აფეთქების რიგი	მუხტის მასა (ტროტილის ეკვივალენტი), კგ			r	ρ	K	V
		სვეტები	კედელი	ჯამი				
ატრაქციონი	1			70	85	0,048	27	0,3
	2	21	21	140	85	0,061	47	0,7
	3	42	42	140	85	0,065	29	0,5
	4	42	42	140	80	0,065	35	0,6
	5	42	42	140	75	0,069	26	0,5
	6	42	42	140	75	0,069	42	0,8
ბათუმის უნივერსიტეტის სასწავლო კორპუსი	1	21	21	70	120	0,030	30	0,15
	2	42	42	140	120	0,040	56	0,5
	3	42	42	140	120	0,040	39	0,35
	4	42	42	140	120	0,040	45	0,4
	5	42	42	140	120	0,040	45	0,4
	6	42	42	140	120	0,040	50	0,4

აღნიშვნები: r — დაკვირვების წერტილის დამორება აფეთქების კერიდან, მ; ρ — ერთდროულად აფეთქებული მუხტის დაყვანილი მასა, კგ^{0,33}.მ⁻¹; K — სეისმურობის კოეფიციენტი; V — გრუნტის რხევის სიჩქარე, სმ/წმ.

როგორც წარმოდგენილი მასალიდან ჩანს, შენობა-ნაგებობის აფეთქებით დემონტაჟის დროს საჭიროა უსაფრთხოების შემდეგი ღონისძიებების გატარება: 1. სეისმური ტალღების გავრცელების შეზღუდვა; 2. აფეთქების შედეგად წარმოქმნილი ნამსხვრევების გატყორცნა-გაფანტვის თავიდან აცილება; 3. ჰაერის დარტყმითი ტალღის გავლენის შემცირება.

1. აფეთქების შედეგად აღძრული სეისმური ტალღების გრუნტში გავრცელების შეზღუდვა შესაძლებელია აფეთქების კერის დაცილებით დასაცავი დედამიწის ზედაპირიდან (მინიმუმ 0,5 მ-ით) ან ხელოვნური წინაღობების შექმნით ტალღების გავრცელების გზაზე (აღწერილი მაგალითია ტრანშეის გაყვანა ტრიკოტაჟის ფაბრიკის დემონტაჟისას ქ. თბილისში). აფეთქებით გამოწვეული სეისმური ტალღების გავრცელებას აგრეთვე მნიშვნელოვნად ამცირებს შენობის მზიდ კედლებში განლაგებული მუხტების ორ ჯგუფად გაყოფა და მათი აფეთქება 500 მლწმ დაყოვნებით.

2. აფეთქების შედეგად წარმოქმნილი ფრაგმენტების გატყორცნა-გაფანტვის ასაცილებელი ღონისძიებებია: დასანგრევი შენობის ბადით შეფუთვა, მისი შემოფარგვლა ქვიშით ავსებული ტომრებით ან ამოფიცვრა (უბან-უბან ან მთლიანად).



ფიგ.. 5.10. სასტუმრო „ბათუმის“ შენობის აფეთქებით დემონტაჟის ფრაგმენტები.

3. ჰაერის დარტყმითი ტალღის მავნე გავლენის შემცირება შესაძლებელია ბრეზენტის საფარის (ფარდის) მოწყობით ასაფეთქებელ ობიექტზე.

ცხრილი 5.7-ის განმარტებითი შენიშვნები

- r (აფეთქების კერიდან დაშორება, მ):

აღნიშნავს დაკვირვების წერტილის მანძილს აფეთქების წყაროდან. რაც უფრო დიდია დაშორება, მით უფრო მცირდება რხევის ინტენსივობა.

- ρ (ერთდროულად აფეთქებული მუხტის დაყვანილი მასა, კგ^{0.33}·მ⁻¹):

გამოთვლილი პარამეტრი, რომელიც ნორმალიზებას უკეთებს აფეთქებული მასის ეფექტს ერთდროული აფეთქების პირობებში. გამოიყენება სხვადასხვა აფეთქების პირობების შედარებისთვის.

- K (სეისმურობის კოეფიციენტი):

ასახავს ნიადაგის რხევის სიჩქარისა და აფეთქებული მუხტის მახასიათებლების ურთიერთკავშირს. მაღალი მნიშვნელობა მიუთითებს სეისმური ტალღების უფრო ძლიერ გავრცელებაზე.

- V (გრუნტის რხევის სიჩქარე, სმ/წმ):

აჩვენებს რეალურად გაზომილ ნიადაგის რხევის სიჩქარეს დასაცავი ობიექტების საძირკველში. ეს არის ძირითადი მაჩვენებელი, რომელიც განსაზღვრავს შესაძლო დაზიანების რისკს.

- ობიექტების შედარება:

• ატრაქციონთან რხევის სიჩქარე (V) მერყეობდა 0,3–0,8 სმ/წმ ფარგლებში, ხოლო K -ის მნიშვნელობები 26–47-ის დიაპაზონში.

- ბათუმის უნივერსიტეტის სასწავლო კორპუსთან რხევის სიჩქარე შედარებით დაბალი იყო (0,15–0,5 სმ/წმ), თუმცა სეისმურობის კოეფიციენტი 56-მდე აღწევდა, რაც ნიადაგის უფრო ძლიერ რეაქციაზე მიუთითებს, მიუხედავად იდენტური მუხტის მასისა.

- პრაქტიკული მნიშვნელობა:

ეს მონაცემები აჩვენებს, რომ ნიადაგის ტიპი, დამორება და მუხტის განლაგება მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს რხევის ინტენსიურობაზე. ამიტომ აუცილებელია თითოეულ კონკრეტულ შემთხვევაში K კოეფიციენტის ექსპერიმენტული განსაზღვრა, რათა მჭიდროდ დასახლებულ პუნქტებში აფეთქებით დემონტაჟისას ეფექტურად დავიცვათ ობიექტები სეისმური ტალღების მავნე ზემოქმედებისგან.

5.13. გამოსაყენებელი დაცვის საშუალებები

აფეთქებისა და ხანძრის რისკების შესამცირებლად გამოიყენება:

- ობიექტური: ხანძარსაწინააღმდეგო სისტემები (ავტომატური ჩაქრობა), ცეცხლსაქრობი მოწყობილობები, კონსტრუქციების ცეცხლმედეგობა, ვენტილაცია და ინერტული გაზებით შევსება.

- ინდივიდუალური: დამცავი ტანსაცმელი, სითბოსგან დამცავი კოსტუმები, ჩაფხუტები, ხელთათმანები, სუნთქვის აპარატები.

- სუბიექტური: სიგნალიზაცია, შეტყობინების სისტემა, უსაფრთხოების წესების ცოდნა, სწორი ინსტრუქტაჟი, სწრაფი რეაგირების უნარი, თანამშრომელთა კოორდინაცია.

5.14. კითხვები გამეორებისათვის მოკლე პასუხებით

1. **რა არის წვა?**

→ ჟანგბადისა და საწვავის ურთიერთქმედება სითბოსა და სინათლის გამოყოფით.

2. **რა პირობებია აუცილებელი წვის პროცესისათვის?**

→ საწვავი, ჟანგბადი და აალების იმპულსი.

3. **რა სახისაა აალების იმპულსები?**

→ თბური, ქიმიური, მიკრობიოლოგიური.

4. **რა განსხვავებაა სრულ და არასრულ წვას შორის?**

→ სრული – ჟანგბადი საკმარისია; არასრული – ჟანგბადი ნაკლებია.

5. **რა არის დიფუზიური წვა?**

→ ჟანგბადი რეაქციის ზონაში ხვდება დიფუზიით.

6. **რა არის კინეტიკური წვა?**

→ ჟანგბადი მიეწოდება საწვავის ნარევეთან ერთად.

7. **რა არის ნორმალური წვა?**
→ ალის გავრცელება ნელა, ბგერამდელი სიჩქარით.
8. **რა არის აფეთქება?**
→ სწრაფი ქიმიური გარდაქმნა ენერგიის ჩქარი გამოყოფით.
9. **რა არის დეტონაცია?**
→ ზეგვერითი წვა, როცა რეაქცია ვრცელდება ბგერაზე მეტი სიჩქარით.
10. **რა პირობებია საჭირო აფეთქებისათვის?**
→ ეგზოთერმული რეაქცია, დიდი სიჩქარე, თვითგავრცელება, აიროვანი პროდუქტები.
11. **რა არის აეროზოლი?**
→ აირების, ორთქლის ან მტვრის ნარევი ჰაერთან.
12. **რა არის ფეთქებადობის ქვედა და ზედა კონცენტრაციული ზღვარი?**
→ მინიმალური და მაქსიმალური კონცენტრაცია, როცა შესაძლებელია აალება.
13. **რა არის საშიშ კონცენტრაციათა დიაპაზონი?**
→ ინტერვალის ქვედა და ზედა ზღვარს შორის.
14. **რა ფაქტორები მოქმედებენ ფეთქებადობის საზღვრებზე?**
→ ტემპერატურა, წნევა, ნარევის შედგენილობა.
15. **რომელი მტვერი შეიძლება იყოს ფეთქებადი?**
→ ორგანული (მაგ., ფევილი, შაქარი) და მეტალების ფხვნილები (Mg, Al).
16. **რა პირობებია საჭირო მტვრის აფეთქებისათვის?**
→ მტვერი, ჟანგბადი, ანთების წყარო, შეზღუდული სივრცე.
17. **რა არის თვითაფეთქება?**
→ მტვრის ანთება ჟანგვის ან სტატიკური მუხტის ნაპერწკლის შედეგად.
18. **რას ნიშნავს სითბური თვითაალების თეორია?**
→ სითბოს გამოყოფის სიჩქარე აღემატება გარემოზე გაცემას.
19. **რა არის ჯაჭვური თეორია?**
→ რეაქციის თვითდაჩქარება აქტიური ცენტრების წარმოქმნით.
20. **რა განსხვავებაა სითბურ და ჯაჭვურ თეორიებს შორის?**
→ სითბური – სითბო მიზეზია; ჯაჭვური – შედეგია.
21. **რა არის ჰომოგენური წვა?**
→ ჰაერის ჟანგბადი + აიროვანი საწვავი.
22. **რა არის ჰეტეროგენური წვა?**
→ ჰაერის ჟანგბადი + თხევადი ან მყარი საწვავი.
23. **რა არის ალის ფრონტი?**
→ ზონა, სადაც ნარევის წვა მიმდინარეობს.
24. **რა ფორმა აქვს ალის ფრონტს ერთგვაროვან ნარევში?**
→ სფეროს მსგავსი.
25. **რა არის ტურბულენტური წვა?**
→ ალის სიჩქარის ზრდა ტურბულენტური ნაკადების გამო.
26. **რა არის უსაფრთხო პირობები ხანძრის თავიდან ასაცილებლად?**
→ საწვავის, ჟანგბადის ან იმპულსის გამორიცხვა.
27. **რა არის სამრეწველო აფეთქების ძირითადი მიზეზები?**
→ ტექნოლოგიური ხარვეზები, დისციპლინის დარღვევა, ინსტრუქტაჟის ნაკლებობა.
28. **რა არის რეცირკულაცია ვენტილაციაში?**
→ სათავსიდან ამოწოვილი ჰაერის ხელმეორედ დაბრუნება.

29. რა არის ფეთქებადობის საზღვრების განსაზღვრის მეთოდები?

→ ლაბორატორიული და ანალიზური (ემპირიული).

30. მტვრის აფეთქების რა მაგალითია განხილული?

→ 2008 წელს შაქრის ქარხნის აფეთქება აშშ-ში.

5.15. მე-5 თავის შეჯამება

თავის ძირითადი თემები:

წვისა და აფეთქების პროცესები:

- წვის აუცილებელი პირობები: საწვავი, ჟანგბადი, აალების იმპულსი.
- წვის სახეები: დიფუზიური, კინეტიკური, სრული/არასრული, ტურბულენტური.
- აფეთქება და დეტონაცია — ენერგიის სწრაფი გამოყოფით მიმდინარე ქიმიური გარდაქმნები.

- აეროზოლები და მათი ფეთქებადობის კონცენტრაციული ზღვარი.
- მტვრის აფეთქებები და პრაქტიკული მაგალითები (შაქრის ქარხანა, ფქვილის საწყობი).

სამრეწველო უსაფრთხოების კლასიფიკაცია:

- საწარმოთა კატეგორიები (A–E) ხანძრისა და აფეთქების საშიშროების მიხედვით.
- სამშენებლო კონსტრუქციების ცეცხლმედეგობა და ხანძარსაწინააღმდეგობა.
- ცეცხლსაქრობი ნივთიერებები (წყალი, ქაფი, ინერტული აირები, ფხვნილები).
- ავტომატური ჩაქრობისა და სიგნალიზაციის სისტემები (სპრინკლერები, დრენჩერები, დეტექტორები).
- ხანძრის ჩაქრობის წესები (პერიფერიიდან ცენტრისაკენ მოქმედება).
- დაცვის საშუალებები: ობიექტური, ინდივიდუალური და ორგანიზაციული.

ორგანიზაციული ზომები:

- უსაფრთხოების კულტურა, ინსტრუქტაჟი, სწავლება, განგაშის სისტემები და თანამშრომელთა კოორდინაცია.
- გამოცდების კითხვები (5.17) — ცოდნის შემოწმებისა და ISO/NFPA სტანდარტებთან დაკავშირების მიზნით.

სტანდარტებთან კავშირი

ISO 45001 — შრომის უსაფრთხოება და ჯანმრთელობა:

- ხანძრისა და აფეთქების რისკების პრევენცია ორგანიზაციული დისციპლინის, სწორი ინსტრუქტაჟისა და დაცვის საშუალებების გამოყენებით.
- პირდაპირ უკავშირდება მტვრის აფეთქების პრევენციას, ინდივიდუალურ დაცვის საშუალებებს და უსაფრთხოების კულტურას.

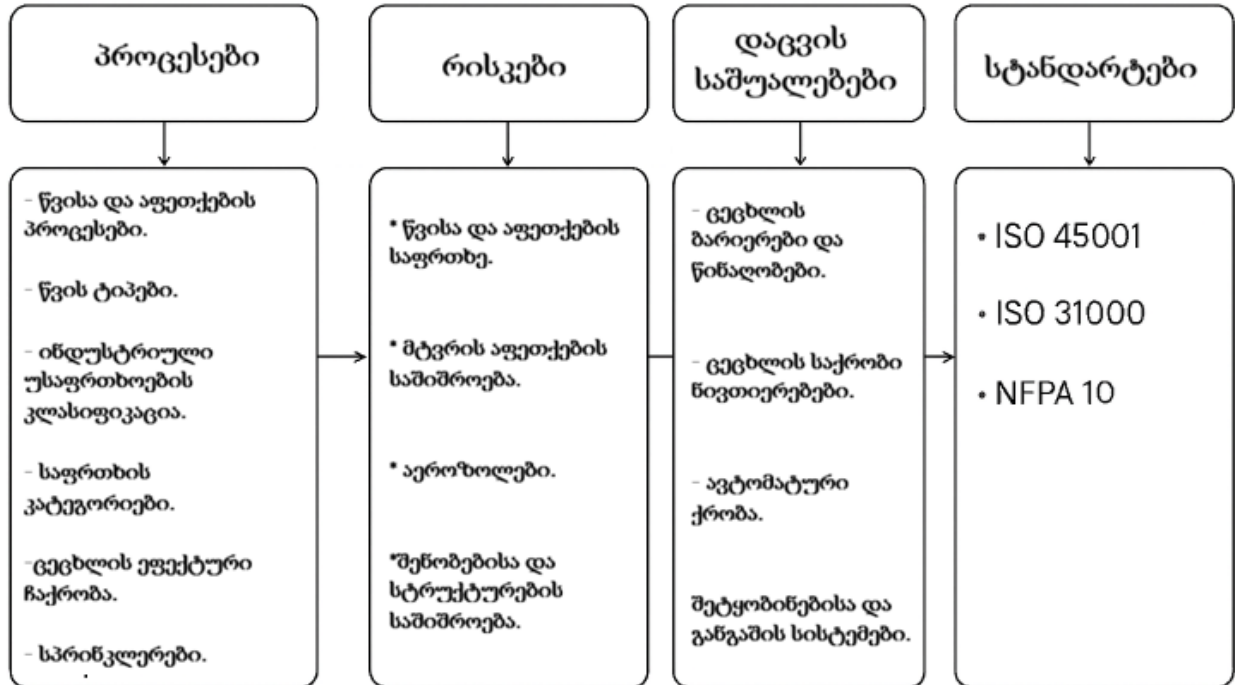
ISO 31000 — რისკების მართვის ჩარჩო:

- რისკების იდენტიფიკაციის, შეფასებისა და შემცირების მეთოდოლოგია.
- აისახება საწარმოთა კატეგორიების (A–E) კლასიფიკაციაში და ცეცხლმედეგობის სისტემურ შეფასებაში.

NFPA 10 — ხელის ცეცხლსაქრობები:

- ცეცხლსაქრობების კონსტრუქცია, გამოყენება და ტექნიკური მომსახურება.
- უკავშირდება ცეცხლსაქრობი ნივთიერებების განხილვას, მარკირებას, შემოწმებას და გამოყენების წესებს (წყალი, ქაფი, CO_2 , ფხვნილები).

აფეთქებებისა და ხანძრების შემაჯამებელი ცხრილი



ინტეგრაციული შენიშვნა

თავი 5 გვიჩვენებს, რომ ტექნიკური ცოდნა (წვის ფიზიკა, აფეთქების დინამიკა) ყოველთვის უნდა იყოს დაკავშირებული ორგანიზაციულ სტანდარტებთან და პრევენციულ ჩარჩოებთან. ISO 45001 უზრუნველყოფს უსაფრთხო სამუშაო გარემოს, ISO 31000 ქმნის რისკების მართვის სტრუქტურას, ხოლო NFPA 10 გარანტიას იძლევა ეფექტური ცეცხლსაქრობი საშუალებების არსებობაზე. ერთად ისინი ქმნიან სრული უსაფრთხოების სისტემას სამრეწველო და საზოგადოებრივი გარემოსათვის.

6. გამოსხივება და მისგან დაცვა

6.1. გზამკვლევი მეექვსე თავისათვის

მიზანი: მკითხველს გააცნოს გამოსხივების სახეები, მათი მავნე ზემოქმედება და დაცვის ღონისძიებანი.

სტრუქტურა: სახიფათო და მავნე გამოსხივებათა სახეები; ელექტრომაგნიტური გამოსხივების მავნე მოქმედება; ელექტრომაგნიტური გამოსხივების წყაროები; დაცვის ღონისძიებები (ეკრანები, კოსტუმები, ნორმები); რადიაციული უსაფრთხოება და საერთაშორისო სტანდარტები.

მთავარი საზები: ფიზიკური საფუძვლები (ტალღური/კორპუსკულური ბუნება); ბიოლოგიური ზემოქმედება; ტექნოლოგიური წყაროები; დაცვის პრინციპები - რაოდენობა, დრო, მანძილი; ინტეგრაცია საერთაშორისო სტანდარტებთან ISO 31000 (Risk Management) - გამოსხივების რისკების იდენტიფიკაცია, შეფასება და კონტროლი. ISO 45001 (Occupational Health & Safety) - სამუშაო გარემოში გამოსხივების ზემოქმედების რეგულირება, პერსონალის დაცვა. ISO სტანდარტებთან ჰარმონიზაცია და პრაქტიკული კავშირი.

საერთაშორისო კომისია არაიონიზირებადი გამოსხივებისაგან დაცვის შესახებ (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection – ICNIRP) ადგენს ზღვრულ მნიშვნელობებს ცნობარში ICNIRP Guidelines, რომლებიც განსაზღვრავს ადამიანის ჯანმრთელობისთვის უსაფრთხო დონეებს. მათი რეკომენდაციები ხაზს უსვამს, რომ ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედება უნდა განისაზღვროს სიხშირის დიაპაზონის, ინტენსიურობისა და დროის მიხედვით. ეს სრულად ეთანხმება სახელმძღვანელოში აღწერილ პრინციპს — დროის, მანძილისა და რაოდენობის მიხედვით პერსონალის დაცვა.

ბირთვული ენერგიის საერთაშორისო სააგენტო (International Atomic Energy Agency – IAEA) ადგენს უსაფრთხოების სტანდარტებს (IAEA Safety Standards) მაიონებელი გამოსხივების კონტროლისა და რადიაქტიური ნარჩენების მართვისათვის. მოთხოვნები მოიცავს დოზიმეტრიულ მონიტორინგს, პერსონალის ინდივიდუალური დაცვის საშუალებებს და ნარჩენების უსაფრთხო როგორც შენახვას, ისე ლიკვიდაციას. ეს პირდაპირ ეხმიანება მოცემულ სახელმძღვანელოში აღწერილ პრინციპს — რაოდენობის მიხედვით დაცვა, რადგან აქტიურობის შემცირება და ნარჩენების მკაცრი კონტროლი არის რადიაციული უსაფრთხოების საფუძველი.

ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაცია (World Health Organization – WHO) თავისი WHO Radiation Guidelines-ში ხაზს უსვამს, რომ ადამიანის ჯანმრთელობის დაცვა მოითხოვს

არა მხოლოდ ტექნიკურ ნორმების დაცვას, არამედ ორგანიზაციული და ჰიგიენური ღონისძიებების შესრულებას. WHO რეკომენდაციას იძლევა, რომ ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედებისას განსაკუთრებული ყურადღება მიექცეს თვალებსა და ტვინს, როგორც ყველაზე მგრძნობიარე ორგანოებს. ასევე, აუცილებელია პერსონალის ჯანმრთელობის რეგულარული მონიტორინგი, რათა დროულად გამოვლინდეს დადლილობა, გულ-სისხლძარღვთა დარღვევები და სხვა სიმპტომები. ეს რეკომენდაციები სრულად ეთანხმება ჩვენს ნაშრომში აღწერილ შრომის ნაყოფიერების შემცირების რისკს.

ამგვარად, როგორც გზამკვლევი, ისე ცალკეულ პარაგრაფში მოცემული მოკლე შენიშვნები პირდაპირ ეხმიანება განხილული საკითხების კავშირს საერთაშორისო სტანდარტებთან და ჩვენი შეხედულებით, უნდა დაეხმაროს მკითხველს მასალის სრულად და გააზრებულად ათვისებაში.

6.2. სახიფათო და მავნე გამოსხივებათა სახეები

საწარმოო პირობებში გამოსხივება შესაძლებელია იყოს როგორც სახიფათო, ისე მავნე. როგორც უკვე აღინიშნა, სახიფათო ფაქტორი იწვევს ფიზიკურ ტრავმას ან ჯანმრთელობის სწრაფ და მკვეთრ გაუარესებას, ხოლო მავნე ფაქტორის ზემოქმედება თავს იჩენს ხანგრძლივი პერიოდის გასვლის შემდეგ პროფესიული დაავადების სახით. მავნე საწარმოო ფაქტორმა შესაძლებელია მიიღოს სახიფათო ელფერი ინტენსიურობისა და მოქმედების დროის მიხედვით.

წარმოებაში შესაძლებელია შეგვხვდეს შემდეგი სახის სახიფათო და მავნე გამოსხივებები:

- ელექტრომაგნიტური გამოსხივება;
- ულტრაიისფერი გამოსხივება;
- ინფრაწითელი გამოსხივება;
- მაიონებელი გამოსხივება.

აღსანიშნავია, რომ ყველა სახის გამოსხივებას (სინათლის ჩათვლით) აქვს როგორც ტალღური, ისე კორპუსკულური (კვანტური) ბუნება. ტალღური ბუნების გამოვლენაა ის, რომ ელექტრომაგნიტურ ტალღებს ახასიათებთ ინტერფერენცია, დიფრაქცია, დისპერსია, პოლარიზაცია და მექანიკური დაწნევა იმ ზედაპირზე, რომელზედაც ეცემიან. კვანტური ბუნების გამოვლენა ისაა, რომ გამოსხივების ენერგია გამოიყოფა პორციების (ფოტონების), ანუ კვანტების სახით. კვანტს აქვს მატერიალური წერტილის თვისებები, ხოლო მისი ენერგია ε დამოკიდებულია გამოსხივების სიხშირეზე ν -ზე:

$$\varepsilon = h\nu, \quad (6.1)$$

სადაც $h = 6,625 \cdot 10^{-27}$ ერგი.წმ არის პლანკის მუდმივა.

საწარმოო რადიოსიხშირეების დიაპაზონები მოცემულია 6.1 ცხრილში.

ცნობილია, რომ გამტარში გამავალი დენი მის ირგვლივ ერთდროულად ქმნის ელექტრულ და მაგნიტურ ველებს. მუდმივი დენის პირობებში აღნიშნული ველები

ერთმანეთზე დამოკიდებული არ არიან, ხოლო ცვლადი დენის შემთხვევაში ისინი ერთმანეთზე დამოკიდებული არიან და საქმე გვაქვს ერთიან ელექტრომაგნიტურ ველთან, რომელსაც აქვს გარკვეული ენერგია და ხასიათდება ორი ურთიერთ მართობული: ელექტრული E და მაგნიტური H მდგენელით.

ცხრილი 6.1

რადიოსიხშირეების დიაპაზონები

ძირითადი ტერმინი	პარალელური ტერმინი	დიაპაზონის ფარგლები
1-ლი დიაპაზონი	უკიდურესად დაბალი სიხშირე	3 - 30 კჰც
მე-2 დიაპაზონი	ზედაბალი სიხშირე	30 - 300 კჰც
მე-3 დიაპაზონი	ინფრადიბალი სიხშირე	0,3 - 3 კჰც
მე-4 დიაპაზონი	ძალიან დაბალი სიხშირე	3 - 30 კჰც
მე-5 დიაპაზონი	დაბალი სიხშირე	30 - 300 კჰც
მე-6 დიაპაზონი	საშუალო სიხშირე	0,3 - 3 მეგა-ჰც
მე-7 დიაპაზონი	მაღალი სიხშირე	3 - 30 მეგა-ჰც
მე-8 დიაპაზონი	ძალიან მაღალი სიხშირე	30 - 300 მეგა-ჰც
მე-9 დიაპაზონი	ულტრამაღალი სიხშირე	0,3 - 3 გიგა-ჰც
მე-10 დიაპაზონი	ზემაღალი სიხშირე	3 - 30 გიგა-ჰც
მე-11 დიაპაზონი	უკიდურესად მაღალი სიხშირე	30 - 300 გიგა-ჰც
მე-12 დიაპაზონი	ჰიპერმაღალი სიხშირე	0,3 - 3 ტერა-ჰც

შენიშვნა: ტალღის სიხშირის ყოველი დიაპაზონი უდიდეს მაჩვენებელს მოიცავს და არასდროს არ უტოლდება უმცირეს მაჩვენებელს.

ელექტრული ველის დაძაბულობის საზომი ერთეულია ვოლტი ან კილოვოლტი მეტრზე (ვ/მ, კვ/მ), ხოლო მეორე მდგენლის — მაგნიტური ველის დაძაბულობისათვის გამოიყენება სიდიდე ამპერი მეტრზე (ა/მ).

ზოგადად განვიხილოთ სინათლის ტალღური ბუნების მახასიათებლები. ინტერფერენცია არის ერთნაირი სიხშირის მქონე ორი ან მეტი ტალღის ელექტრული E და მაგნიტური H მდგენელების ვექტორული შეკრება სივრცეში ისე, რომ ზოგიერთ წერტილში ჯამური ტალღის ამპლიტუდა იზრდება, ხოლო სხვა წერტილებში მცირდება.

დიფრაქცია არის სინათლის ტალღების გადახრა სწორხაზოვანი ტრაექტორიიდან ნახვრეტებში (ე.წ. დიფრაქციულ გისოსში) გავლის შემდეგ. სინათლის დისპერსია ეწოდება მოვლენას, რომლის მიხედვითაც მოცემულ გარემოში სინათლის გავრცელების სიჩქარე დამოკიდებულია ტალღის სიგრძეზე.

სახიფათო და მავნე გამოსხივებების დახასიათება ტალღის სიგრძის მიხედვით მოცემულია 6.2 ცხრილში. ალფა-, ბეტა-, ნეიტრონულ-, პროტონულ- და სხვ. მაიონებელ გამოსხივებას პირობითად კორპუსკულური ეწოდება, ხოლო დანარჩენს ტალღური.

სინათლის პოლარიზაცია არის E და H ვექტორების მიერ სივრცეში ნებისმიერი მიმართულების მიღების უნარი იმ პირობით, რომ ისინი ყველა შემთხვევაში უნდა იყვნენ

ურთიერთმართობული. ამასთან ის სიბრტყე, რომელშიდაც მოთავსებული არიან აღნიშნული ვექტორები უნდა იყოს სინათლის გავრცელების მიმართულების მართობული. ასეთ სინათლეს ბუნებრივი ეწოდება.

ცხრილი 6.2

სახიფათო და მავნე გამოსხივებების კლასიფიკაცია ტალღის სიგრძის მიხედვით

ტალღის სიგრძეთა დიაპაზონის დასახელება	ტალღის სიგრძისა და სიხშირის დიაპაზონი	
საერთო ნიშანი - ელექტრომაგნიტური გამოსხივება		
რადიოტალღები:	ტალღის სიგრძე	სიხშირე, ჰც
მირიამეტრული (ზეგრძელი)	>10 კმ	3-3x10 ⁴
კილომეტრული (გრძელი)	10 - 1 კმ	3X10 ⁴ - 3X10 ⁵
ჰექტომეტრული (საშუალო)	1000 - 100 მ	3X10 ⁵ - 3X10 ⁶
დეკამეტრული (მოკლე)	100 - 10 მ	3X10 ⁶ - 3X10 ⁷
მეტრული	10 - 1 მ	3X10 ⁷ - 3X10 ⁸
დეციმეტრული	100 - 10 სმ	3X10 ⁸ - 3X10 ⁹
სანტიმეტრული	10 - 1 სმ	3X10 ⁹ - 3X10 ¹⁰
მილიმეტრული	10 - 1 მმ	3X10 ¹⁰ - 3X10 ¹¹
სუბმილიმეტრული	1 – 0.1 მმ	3X10 ¹¹ - 3X10 ¹²
ოპტიკური დიაპაზონის გამოსხივება:	ტალღის სიგრძე	სიხშირე, ჰც
ინფრაწითელი სხივები	100 - 0,76 მკმ	3X10 ¹² - 3,9X10 ¹⁴
ხილული სინათლე	0,76 - 0,39 მკმ	3,9X10 ¹⁴ - 7,7X10 ¹⁴
ულტრაიისფერი სხივები	0,39 - 0,001 მკმ	7,7X10 ¹⁴ - 3X10 ¹⁷
მაიონებელი გამოსხივება:	ტალღის სიგრძე	სიხშირე, ჰც
რენტგენის გამოსხივება	0,001- 1X10-6 მკმ	3X10 ¹⁷ - 3X10 ²⁰
გამა-გამოსხივება	1X10-6 და ნაკლები	3X10 ²⁰ და მეტი
საერთო ნიშანი - კორპუსკულური გამოსხივება		
ალფა-, ბეტა-, ნეიტრონული-, პროტონული- და სხვ.		

რადიაციული წნევის სიდიდის გამოთვლა შესაძლებელია ფორმულით:

$$p = \frac{W}{c} (1 + \rho), \quad (6.2)$$

სადაც p არის რადიაციული წნევის სიდიდე, დნ/მ²; W — სხივური ენერგიის რაოდენობა, რომელიც 1 წმ-ში ნორმალის მიმართულებით ეცემა 1 სმ² ზედაპირზე, დნ; c — სინათლის სიჩქარე ვაკუუმში; ρ — არეკვლის კოეფიციენტი. ნათელ ამინდში მზის სხივების მიერ დედამიწის ზედაპირზე გამოწვეული წნევა შეადგენს 0,4 დნ/მ².

გამოსხივების ზემოაღნიშნული თვისებები პრაქტიკაში გამოიყენება მათი მავნე გავლენის შესამცირებლად.

აღსანიშნავია, რომ ყველა სახეობის დასხივებისაგან ორგანიზმის დაცვა ან დასხივების მინიმუმამდე დაყვანა შესაძლებელია ე.წ. რაოდენობის მიხედვით დაცვით, რაც ნიშნავს დასხივების წყაროს აქტიურობის შემცირებას; მანძილის მიხედვით დაცვით, რაც დასხივების წყაროდან დაშორების გაზრდას ნიშნავს; დროის მიხედვით დაცვით, რაც ნიშნავს დასხივების მიღების ადგილზე მუშაობის დროის შემცირებას. დასკვნის

სახით აღვნიშნოთ, რომ დაცვის აღწერილი ღონისძიებები სრულად შეესაბამება ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის (World Health Organization – WHO) რეკომენდაციებს. რომლებშიც კერძოდ აღნიშნავს, რომ ჯანმრთელობის დაცვა მოითხოვს არა მხოლოდ ტექნიკურ ნორმების დაცვას, არამედ ორგანიზაციული და ჰიგიენური ღონისძიებების განხორციელებას.

6.3. ელექტრომაგნიტური გამოსხივების მავნე მოქმედება

ადამიანი ელექტრომაგნიტურ ველს ვერ აღიქვამს გრძნობის ორგანოებით (მხედველობის, სმენის და ა.შ.) და ამის გამო ყოველთვის არ შეუძლია მოერიდოს მის მავნე გავლენას. ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ზემოქმედებით სისხლში, რომელიც თავისი ბუნებით არის ელექტროლიტი, აღიძვრება იონების ნაკადი, რომელიც იწვევს ორგანიზმის ქსოვილების გახურებას. გამოსხივების გარკვეული ინტენსიურობის ზემოთ, რომელსაც თბური ზღუდე ეწოდება, ორგანიზმი ვეღარ ახდენს გამოყოფილი სითბოს ასიმილაციას. აღნიშნული განსაკუთრებით საშიშვანია თვალისათვის, ტვინისათვის, კუჭისათვის და სასიცოცხლოდ სხვა მნიშვნელოვანი ორგანოებისათვის.

თბური ზემოქმედების გარდა ელექტრომაგნიტური გამოსხივება მავნე გავლენას ახდენს ნერვულ სისტემაზე, იწვევს გულ-სისხლძარღვთა სისტემის ფუნქციის მოშლას და ნივთიერებათა ცვლის დარღვევას. ხანგრძლივი ზემოქმედების შემდეგ ადამიანი გრძნობს ტკივილს გულმკერდის მიდამოში, ეცვლება პულსი და სისხლის წნევა, მძაფრად შეიგრძნობს დაღლილობას, რაც ამცირებს შრომის ნაყოფიერებას და შესრულებული სამუშაოს ხარისხს.

ელექტრომაგნიტური ველის მავნე ბიოლოგიური ზემოქმედების ეფექტი დამოკიდებულია ელექტრომაგნიტური ტალღების სიხშირის დიაპაზონზე, ინტენსიურობაზე, დასხივების ხანგრძლივობაზე, გამოსხივების ხასიათზე და დასხივების რეჟიმზე. ყველა დიაპაზონის რადიოტალღების ზემოქმედებისათვის დამახასიათებელია გადახრები ცენტრალური ნერვული და გულსისხლძარღვთა სისტემის ნორმალური მოქმედებიდან.

დადგენილია, რომ პერსონალის ორგანიზმზე უარყოფითი ზეგავლენა შესაძლებელია მოახდინოს აგრეთვე საწარმოო სიხშირის დენმა, რომელიც ხასიათდება რხევების სიხშირით 3-300 ჰც-ის დიაპაზონში.

სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის მავნე ბიოლოგიური ზემოქმედების დამახასიათებელი ძირითადი პარამეტრია ელექტრული ველის დაძაბულობა. მაგნიტური მდგენელი ორგანიზმზე შესამჩნევ გავლენას ვერ ახდენს, რამდენადაც სამრეწველო სიხშირის მოქმედ მოწყობილობებში მაგნიტური ველის დაძაბულობა არ აღემატება 25 ა/მ, ხოლო მავნე ბიოლოგიური ზემოქმედება მჟღავნდება 150-200 ა/მ ან უფრო მეტი დაძაბულობის დროს. დადგენილია, რომ საწარმოო სიხშირის ელექტროდანადგარებში აღძრული ელექტრომაგნიტური ველის ნებისმიერ წერტილში

ადამიანის მიერ შთანთქმული მაგნიტური ველის ენერგია თითქმის 50-ჯერ ნაკლებია ელექტრული ველის ენერგიაზე.

ელექტრომაგნიტური ველის მავნე ზემოქმედების საბოლოო შეფასება ხდება ადამიანის სხეულის მიერ შთანთქმული ელექტრომაგნიტური ენერგიის სიდიდით, რომლის შესამცირებლად გამოიყენება სხვადასხვა ტიპის ეკრანები, რაც რაოდენობის მიხედვით დაცვის წესს მიეკუთვნება, რადგან ეკრანება ამცირებს გამოსხივების ინტენსიურობას იმ მხარეზე, საითაც იმყოფებიან ადამიანები.

მოკლე მნიშვნა:

აღსანიშნავია, რომ ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) — არაიონიზირებული გამოსხივებისგან დაცვის საერთაშორისო კომისია ადგენს ზღვრულ მნიშვნელობებს, რომლებიც განსაზღვრავს ადამიანის ჯანმრთელობისთვის უსაფრთხო დონეებს.

ICNIRP-ის რეკომენდაციები ხაზს უსვამს, რომ ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედების ზღვრული მნიშვნელობები უნდა განისაზღვროს სიხშირის დიაპაზონის, ინტენსიურობისა და დროის მიხედვით. მაგალითად, სამრეწველო სიხშირის (50–60 Hz) ველებისთვის დასაშვები ელექტრული დაძაბულობა მკაცრად შეზღუდულია, რათა თავიდან ავიცილოთ ნერვული და გულ-სისხლძარღვთა სისტემის ფუნქციური დარღვევები. ეს რეკომენდაციები სრულად ეთანხმება სახელმძღვანელოში აღწერილ პრინციპს — დროის, მანძილისა და რაოდენობის მიხედვით დაცვა — და უზრუნველყოფს, რომ საწარმოო ნორმები საერთაშორისო სტანდარტებთან ჰარმონიზებული იყოს.

6.4. ელექტრომაგნიტური გამოსხივების წყაროები

ელექტრომაგნიტური გამოსხივების წყაროებია რადიოტექნიკური და ელექტრონული მოწყობილობები, ტრანსფორმატორები, ანტენები, თერმული დანადგარების კონდენსატორები, ზემაღალი სიხშირის გენერატორები და ა.შ. გადამცემი მაღალსიხშირული ელემენტები აგრეთვე ქმნიან ელექტრომაგნიტურ ველს, რომლის სიდიდეს სხვადასხვა ფაქტორი განაპირობებს: ეკრანების ხარისხი, გადამცემებისა და ანტენების ტიპი, მათი მართებული მონტაჟი, ექსპლუატაცია და ა.შ.

ზემაღალი სიხშირის ენერგია გამოიყენება რადიოლოკაციაში, რადიონავიგაციაში, რადიოსპექტროსკოპიაში, მეტეოროლოგიაში, ბირთვულ ტექნიკაში, ასტრონომიასა და გეოდეზიაში. მაგალითად, ხომალდის რადიოსალოკაციო სადგურში ფართოდ გამოიყენება მოკლელტალღოვანი და საშუალოელტალღოვანი გადამცემები, რომლებიც ქმნიან მძლავრ ელექტრომაგნიტურ ველს.

რადიოსალოკაციო სადგურის დასხივების ძირითად წყაროს წარმოადგენს ანტენათა სისტემა. ანტენის ბრუნვისა და სკანირების დროს მომსახურე პერსონალი განიცდის მიკროტალღების ზემოქმედებას. რამდენიმე სალოკაციო სისტემის ერთდროულად მუშაობისას შეიძლება ენერგიის ნაკადის სიმკვრივის გაზრდა. ხომალდის ეკიპაჟის

დასხივების ინტენსიურობა ფართო დიაპაზონში იცვლება და დამოკიდებულია ანტენის დაკიდების სიმაღლეზე, მის ტიპზე, გამოსხივების სიმძლავრეზე, ანტენის გაძლიერების კოეფიციენტზე, ხომალდის დიზაინზე, ხომალდის ლითონური კონსტრუქციებიდან ელექტრომაგნიტური ტალღების არეკვლაზე.

სამოქალაქო ავიაციის რადიოსალოკაციო სისტემის მიწისპირა მოწყობილობის შემადგენლობაში შედის სხვადასხვა დანიშნულების რადიოსალოკაციო სადგურები (დათვალიერების, დასაჯდომი, სადისპეჩერო და მეტეოროლოგიური), მიწისპირა რადიოდანადგარების საანტენო მოწყობილობა მიკროტალღოვანი გამოსხივების მძლავრ წყაროს წარმოადგენს.

ელექტრომაგნიტური გამოსხივების წყაროა აგრეთვე თვითმფრინავის ანტენა, რომლის გამოსხივება ხასიათდება ცვალებადობით. ენერგიის ნაკადის სიმკვრივის დონე დამოკიდებულია სალოკაციო მოწყობილობის სიმძლავრეზე, ანტენის აწევის სიმაღლეზე, განფენაზე, გამოსხივების მიმართულებაზე, წყაროდან დაშორებაზე.

სანტიმეტრული და მილიმეტრული ტალღების დიაპაზონის რადიოსალოკაციო საშუალებები ფართოდ გამოიყენება ჰიდრომეტეოროლოგიურ სამსახურში დრუბელთა სისტემის, ჭექა-ქუხილის კერების აღმოსაჩენად, მათზე დასაკვირვებლად და ადგილმდებარეობის განსასაზღვრავად. ამ შემთხვევაშიც დასხივების ძირითად წყარო ანტენებია.

6.5. ელექტრული ველის გავლენისაგან დაცვის ღონისძიებები

სანიტარულ-ჰიგიენური ნორმების თანახმად ელექტრომაგნიტური ველით დასხივება რეგლამენტირდება დაძაბულობის სიდიდისა და მოქმედების ხანგრძლივობის მიხედვით. საწარმოო სიხშირის დენის ელექტრული ველის დაძაბულობათა დასაშვები ნორმის სიდიდე დამოკიდებულია იმ დროის შუალედზე, რომლის განმავლობაშიც ადამიანი იმყოფება საშიშ ზონაში. 8 სთ-ის განმავლობაში პერსონალის ყოფნა დასაშვებია მაშინ, თუ ელექტრული ველის დაძაბულობა $E \leq 5$ კვ/მ. თუ ელექტრული ველის დაძაბულობა იცვლება 5-20 კვ/მ-ის ფარგლებში, მაშინ ასეთ სამუშაო ზონაში, საათებში გამოსახული, პერსონალის მაქსიმალურად დასაშვები დრო იანგარიშება ემპირიული ფორმულით:

$$\tau = \frac{50}{E-2}, \quad (6.3)$$

ელექტრულ ველში განლაგებულ სამუშაო ადგილზე დაცვის საშუალებების გარეშე მომუშავეთა ყოფნის დასაშვები ხანგრძლივობა და ველის დაძაბულობის ღონის მიხედვით მოცემულია 6.3 ცხრილში.

თუ სამუშაო ადგილზე ელექტრული ველის დაძაბულობა 25 კვ/მ აღემატება, აუცილებელია დაცვის საშუალებების გამოყენება. აღნიშნული ნორმები სამართლიანია იმ შემთხვევაში, თუ დანარჩენ დროს ადამიანი ატარებს ისეთ ადგილზე, სადაც ელექტრული ველის დაძაბულობის ფონი შეადგენს 5 კვ/მ ან მასზე ნაკლებია.

სამრეწველო სიხშირის დენის ელექტრული ველებისაგან დაცვის ძირითადი კოლექტიური საშუალებაა ეკრანების მოწყობა. შესაძლებელია მოეწყოს განცალკევებული და საერთო ეკრანი. პირველ შემთხვევაში მაღალი სიხშირის მქონე დანადგარს ათავსებენ ცალკე სათავსოში, ხოლო მის მართვას დისტანციურად ახორციელებენ. საერთო ეკრანის მოწყობა ნიშნავს დანადგარის მოთავსებას ლითონის გარსაცმში, მართვის განხორციელება კი ხდება გარსაცმში სპეციალურად გაკეთებული სარკმლების მეშვეობით. უსაფრთხოების მოთხოვნებიდან გამომდინარე ლითონის გარსაცმს უნდა გაუკეთდეს დამიწება.

ცხრილი 6.3

მომუშავეთა დაშვების ხანგრძლივობა ელექტრული ველის დაძაბულობის მიხედვით

N	ელექტრული ველის დაძაბულობა, კვ/მ	ადამიანის ყოფნის დასაშვები ხანგრძლივობა დღე-ღამეში, სთ
1.	5	შეუზღუდავად
2.	10	7,1
3.	15	3,8
4.	20	2,7
5.	25	2,1

სამუშაო ადგილზე გამოსხივების წყაროს ეკრანი ბლოკირებული უნდა იყოს გამომრთველ მოწყობილობასთან, რაც ეკრანის გახსნის შემთხვევაში გამორიცხავს გამომსხივებელი მოწყობილობის მუშაობას.

საერთო ეკრანი კონსტრუქციის მიხედვით შესაძლებელია იყოს მთლიანი გადაღობვის, სახურავის, ბადის, გაჭიმული ბაგირების ერთობლიობისა და სხვათა სახით. ლითონის ფერცლის სისქე მთლიანი ბარიერის მოწყობის შემთხვევაში არ უნდა იყოს 0,5 მმ-ზე ნაკლები. შესაძლებელია დამზადდეს აგრეთვე დაფის მსგავსი გადასატანი ეკრანი, რომელიც განთავსდება დროებით სამუშაო ადგილზე.

სტაციონარულ და გადასატან ეკრანებთან ერთად გამოიყენება აგრეთვე ინდივიდუალური მაეკრანებელი კომპლექტები: სპეცტანსაცმელი, სპეცფეხსაცმელი, სპეციალური ჩაფხუტი ან ყაბალახი, აგრეთვე სპეციალური ხელთათმანები და ნიღბები. მათი დანიშნულებაა ისეთი ელექტრული ველებისაგან დაცვა, რომელთა დაძაბულობა არ აღემატება 60 კვ/მ. აღნიშნული სპეცკომპლექტი დამზადებულია დალითონებული ქსოვილისაგან. მისი ყველა ელემენტი ერთმანეთთან ელექტრულად შეერთებულია დამიწების მიზნით, ხოლო დამიწება ხორციელდება იატაკზე მოთავსებულ ლითონის ბადესთან ფეხსაცმელების კონტაქტის გზით.

თვალის დასაცავად გამოიყენება სპეციალური დამცავი სათვალე, რომლის შუშები დაფარულია კალის ქანგის ნახევარგამტარი ფენით.

ყველა სახეობის მაეკრანებელი მოწყობილობა საჭიროებს ტექნიკური მდგომარეობის პერიოდულ შემოწმებას, რომლის შედეგები რეგისტრირდება სპეციალურ ჟურნალში.

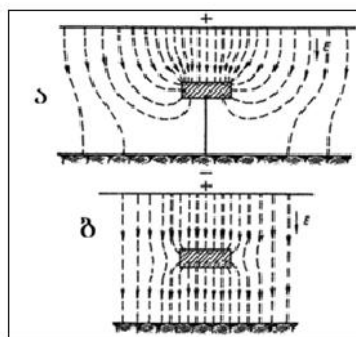
საველე გეოდეზიური სამუშაოების ჩატარებისას შესაძლებელია პერსონალი მოხვდეს მაღალი და ზემაღალი ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზების გავლენის ზონაში. ასეთი ხაზები ხასიათდებიან მაგნიტური და ელექტრული ველები დაძაბულობათა შემდეგი სიდიდეებით 25 ა/მ და 15 კვ/მ (ხშირ შემთხვევაში დედამიწის ზედაპირიდან 2 მ სიმაღლემდე). აღნიშნულიდან გამომდინარე, 400 კვ და უფრო მეტი ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზების ახლოს მუშაობისას საჭიროა დაცვის ინდივიდუალური საშუალებებით სარგებლობა.

6.6. მაეკრანირებული მოწყობილობა

მაეკრანირებული მოწყობილობა (ეკრანი) მისი კონსტრუქციისა და ზომების, ასევე განლაგების ადგილის და პირობების მიხედვით წარმოადგენს საწარმოო სიხშირის ზემაღალი ელექტრული ველის ზემოქმედებისაგან კოლექტიური დაცვის საშუალებას. ზოგიერთ შემთხვევაში შესაძლებელია ეკრანი გამოყენებული იქნეს დაცვის ინდივიდუალურ მოწყობილობად.

დაცვის პრინციპი. მაეკრანირებული მოწყობილობების დამცავი თვისებები ეფუძნება ჩამიწებული ლითონური საგნის ირგვლივ ელექტრული ველის დაძაბულობის შესუსტებას, რაც გამოწვეულია აღნიშნული ველის ძალხაზების გამრუდების ეფექტით.

თუ ელექტრულ ველში შევიტანთ ჩამიწებულ ლითონურ საგანს, მასზე მოხდება ინდუქცირებული მუხტების გამოყოფა და მიწაში ერთი ნიშნის მუხტების ჩადინება. საგანზე დარჩენილი მუხტები არათანაბრად განაწილდება მის ზედაპირზე, ამის შედეგად ჩამიწებულ საგნის ირგვლივ წარმოიქმნება გამრუდებული ელექტრული ველი (6.1, ა). საგნის ერთ-ერთ მხარეზე ველის დაძაბულობა მკვეთრად იზრდება, ხოლო მეორე მხარეზე ასევე მკვეთრად მცირდება.



ნახ. 6.1. ელექტრული ველის გამრუდება მასში ჩამიწებული (ა) და ჩაუმიწებელი (ბ) ლითონური საგნის შეტანით.

შესაბამისი ზომების, ფორმებისა და განლაგებისას მაეკრანირებული მოწყობილობით დაცულ სივრცეს შესაძლებელია ჰქონდეს საკმაო ზომები და

ხასიათდებოდა მცირე დაძაბულობით. შესაბამისად, მუშაობა ამ ზონაში უსაფრთხო იქნება.

დიდი მნიშვნელობა აქვს მაეკრანირებული მოწყობილობის ჩამიწებას, ვინაიდან გარემოში, რომელიც შემოსაზღვრულია ჩაუმიწებელი ლითონური საგნით, ველი შესუსტებას არ განიცდის პრაქტიკულად (6.1, ბ). ამდენად, ჩაუმიწებელ საგანს არ ექნება ეკრანირების ეფექტი.

აღსანიშნავია ისიც, რომ ჩამიწებული ეკრანისაგან განსხვავებით, რომლის პოტენციალი ნულის ტოლია, ჩაუმიწებელ ეკრანს შეიძლება ჰქონდეს მაღალი პოტენციალი და ამდენად, იგი თვითონ წარმოადგენდეს საშიშროებას ადამიანისათვის.

მაეკრანირებული მოწყობილობა დანიშნულების მიხედვით შეიძლება იყოს **სტაციონარული და გადასატანი**. ეკრანის დანიშნულებაა ელექტრულ ველში დაძაბულობის შემცირება 5 კვ/მ-მდე.

კონსტრუქცია და განლაგება. როგორც დროებითი, ისე მუდმივი ეკრანების დამონტაჟება ხდება შემდეგი საიზოლაციო მანძილის დაშვებით ღენმიმყვან ნაწილებამდე: 4,5 მ — 400-500 კვ ძაბვის დანადგარებში, ხოლო 6 მ-მდე — 750 კვ-ის შემთხვევაში.

ამავე დროს, სტაციონარული ეკრანი ხელს არ უნდა უშლიდეს მანქანა-დანადგარების მოძრაობას, ხოლო დროებითი ფარები და ტიხრები უნდა განლაგდეს დასაცავ ზონასთან ახლოს, რაც გაზრდის ეკრანების ეფექტს და საიზოლაციო მანძილს ღენგამტარ ნაწილებამდე.

დაცვის ზონის შესაქმნელად გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს ეკრანის ჩამიწებას. ის უნდა იყოს განსაკუთრებულად საიმედო. სტაციონარულ ეკრანებში ჩამიწებისათვის გამოიყენება ფოლადი, ჩამამიწებელი მოწყობილობის ნაწილების შეერთება ხდება შედუღებით ან ჭანჭიკებით, ხოლო დროებითი ეკრანის შემთხვევაში იყენებენ სპეციალურ გამტარებს, რომლებზეც გათვალისწინებულია ჩამამიწებელი მომჭერები. ჩამამიწებლის წინალობა არ უნდა აღემატებოდეს 10 ომს.

6.7. მაეკრანირებული კოსტუმი

სამრეწველო სიხშირის ზემაღალი ძაბვის ელექტრული ველის გამოსხივებისაგან დასაცავად და საჭიერო გადამცემ ხაზებთან მუშაობისას გამოიყენება დაცვის ინდივიდუალური საშუალება - მაეკრანირებული კოსტუმი. **დაცვის პრინციპი.** კოსტუმის დამცავი თვისებები დაფუძნებულია ელექტროსტატიკური ეკრანირების პრინციპზე. როგორც ცნობილია, ელექტრულ ველში შეტანილ გამტარ სხეულში ხდება ელექტრონების მოკლევადიანი გადაადგილება — გადაჯგუფება, რომლის შედეგად სხეულის ზედაპირზე წარმოიქმნება მუხტები. ამასთან, სხეულის იმ მხარეზე, რომელიც მიმართულია ველის წარმომქმნელი გარე მუხტებისაკენ, გროვდება გარე მუხტების საწინააღმდეგო ნიშნის მუხტები, ხოლო მეორე მხარეზე — გარე მუხტების ნიშნის მქონე.

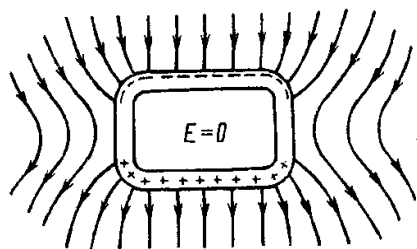
ველი, რომელიც იქმნება გამტარი სხეულის შიგნით, გარე ველის თანატოლი და საწინააღმდეგო ნიშნის მტარია. ამის შედეგად სხეულის შიგნით დაძაბულობა ხდება ნულის ტოლი მიუხედავად იმისა, ის მთლიანია თუ დრუ.

მაშასადამე, სხეულის ელექტრული ველის ზემოქმედებისაგან დასაცავად, იგი უნდა მოვათავსოთ თხელი ლითონური გარსაცმის (ეკრანის) ფარგლებში.

ცდებით დადგენილია, რომ ეკრანი შეიძლება იყოს არა მარტო მთლიანი, არამედ ბადისებრიც. თუ ბადის წნულები საკმაოდ მჭიდროა, მაშინ ელექტრული ველის ძალოვანი ხაზები (დაძაბულობის ხაზები) ჩაერთვება მის მავთულებზე და შიგნით ვეღარ შეაღწევს. ეკრანიების საიმედოობისათვის და მასზე აღძრული პოტენციალის გასანეიტრალებლად ეკრანს ამიწებენ.

კოსტუმის კონსტრუქცია. მაეკრანილებელი კოსტუმი მზადდება სპეციალური დენგამტარი ქსოვილისაგან, რომელშიც ჩვეულებრივ ძაფებთან ერთად არის ბადისებრად განლაგებული მაიზოლირებელი მიკრომავთულები. გამოიყენება აგრეთვე მოლითონებული ქსოვილი — ჩვეულებრივი ბამბის ქსოვილი, რომლის ზედაპირზე დატანილია ლითონის თხელი ფენა.

მაეკრანელებელი კოსტუმის ყველა დეტალი — ქუდი, ქურთუკი, ხელთათმანები, მარვალი და ფეხსაცმელი, უფრო ზუსტად, მათი დენგამტარი ელემენტები უნდა იყოს ერთმანეთთან საიმედოდ დაკავშირებული სპეციალური გამტარებით.



ნახ. 6.2. ელექტროსტატიკური ეკრანი.

კოსტუმი იცმევა თეთრეულზე, რათა ადამიანის სხეული იზოლირებული იყოს მისგან. საჭიროების შემთხვევაში კოსტუმზე შეიძლება სხვა ტანსაცმლის — თბილი ქურთუკის, ხალათის, პალტოს ჩაცმა.

გამოყენების პირობები. მაეკრანილებელი კოსტუმი გამოიყენება ისეთ სამუშაოებზე, როგორებიცაა: ღია გამანაწილებელი მოწყობილობების დათვალიერება, კეთილმოწყობა და გაწმენდა; საჰაერო ხაზების სარემონტო, სამონტაჟო და სხვა სამშენებლო სამუშაოები; იზოლატორების შემოწმება საჰაერო ხაზების ბჯენებზე და ა.შ. მაეკრანილებელი კოსტუმის გამოყენება ასევე სავალდებულოა ხანმოკლე სამუშაოების დროს, თუ საჭირო ხდება დანადგარებზე ან მათ კონსტრუქციებზე ასვლა. ეს განპირობებულია იმით, რომ დანადგარზე ან კონსტრუქციაზე მაეკრანილებელი კოსტუმის გარეშე ასვლისას განმუხტვის დენი იწვევს მტკივნეულ შეგრძნებას და შიშს, რაც შეიძლება გახდეს პერსონალის ჩამოვარდნის მიზეზი.

ელექტრულ ველში მომუშავეთა დამცავი საშუალებების გარეშე ყოფნის დრო შეიძლება დაზუსტდეს გამოთვლებით და გაზომვებით.

კოსტუმების დენამრთმევი ელემენტები მუშაობისას უნდა იყოს ჩამიწებული.

თუ ადამიანი მუშაობისას ეხება ჩამიწებულ საგნებს, მაეკრანირებელ კოსტუმს აქვს სპეციალური ჩამიწება იმის მიხედვით, ადამიანი მიწისაგან იზოლირებულია თუ არა. კოსტუმით მუშაობა შეიძლება დიდხანს, მაგრამ არ უნდა დაირღვეს მომუშავის თერმორეგულაცია.

მაეკრანირებელი კოსტუმის წესრიგში ყოფნა მოწმდება პერიოდულად. ყოველ 2 თვეში. საჭიროა შემოწმდეს მისი ყველა ელემენტის ელექტრული კავშირის საიმედოობა. კომბინიზონი, რომელიც მომზადებულია იზოლირებული მიკროსადენით, უნდა შემოწმდეს ომმეტრით, რათა გაირკვეს გალვანური კავშირი ლითონური ქსოვილის ზედა და ქვედა ნაწილებს შორის; ფეხსაცმლებში ომმეტრით უნდა შემოწმდეს კავშირი ლითონის ძირებსა და გამომყვანს შორის. თუ ფეხსაცმლის ძირი გამტარი რეზინისაა, მაშინ გამოიყენება 2500 ვ ძაბვის მეგაომმეტრი, ამასთანავე, წინაღობა არ უნდა აღემატებოდეს 50 კილომს.

6.8. რადიოსიხშირის

ელექტრომაგნიტური ველები

და პერსონალის დაცვა

როგორც აღინიშნა, რადიოსიხშირის ელექტრომაგნიტური ველების წარმოქმნის წყაროებია რადიო- და ტელემაუწყებლობა, რადიოლოკაცია, რადიომართვა, გეოლოგიური ელექტროდაზვერვა და სხვ. გარდა ამისა, ლითონების გახურების, წრთობისა და ღებობისას, აგრეთვე ტვიფრვისა და შეერთებისას გამოიყენება დაბალი სიხშირის (1-12 კჰც) იმპულსური ელექტრომაგნიტური ენერგია, რომელიც აგრეთვე არის მაჰნე ელექტრომაგნიტური ველების წარმოქმნის წყარო. სხვადასხვა მასალების დიელექტრიკული გახურების (ტენიანი მასალების შრობის, ხის მასალის შეწებების, პლასტმასების გახურების, თერმოფიქსაციისა და დნობის) დროს გამოიყენება დანადგარები, რომლებიც მუშაობენ 3-150 მეგაჰც სიხშირეთა დიაპაზონში.

პოტენციური არასასურველი ზემოქმედების შესაფასებლად შემოღებულია ასეთი ელექტრომაგნიტური ველების დასაშვები მახასიათებლები. სიხშირეთა სხვადასხვა დიაპაზონისათვის აღნიშნული მახასიათებლებია: ელექტრული ან მაგნიტური დაძაბულობა, ენერგიის ნაკადის სიმკვრივე.

რადიოსიხშირის ელექტრომაგნიტური გამოსხივების წყაროებთან მუშაობის უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად საჭიროა სამუშაო ადგილებზე გამოსხივების ფაქტობრივი სიდიდეების სისტემატური გაზომვა და კონტროლი. სამუშაო ადგილების დაპროექტებისას შერჩეული უნდა იქნეს ისეთი ზონები, რომლებშიც ჩვეულებრივ დასხივება მინიმალურია. იმ შემთხვევაში, თუ ნორმატა მოთხოვნები დარღვეულია, საჭიროა დაცვის შემდეგი ღონისძიებების გატარება:

- სამუშაო ადგილებზე ან გამოსხივების წყაროზე ეკრანის მოწყობა;

- გამოსხივების წყაროსა და სამუშაო ადგილს შორის მანძილის გაზრდა;
- ენერგიის სიმძლავრის სპეციალური მთანბრებლის გამოყენება, რომელიც ამცირებს გამოსხივების წყაროს ენერგიას;
- დისტანციური და ავტომატური მართვის გამოყენება.

დაცვის საინჟინრო საშუალებების ბოლო კვანძი ამ შემთხვევაშიდაც დაცვის ინდივიდუალური საშუალებებით სარგებლობაა. თვალის დასაცავად გამოიყენება სპეციალური სათვალეები, რომლის ლინზები დაფარულია ოქროს ან კალის დიოქსიდის თხელი შრით და ამცირებს გამოსხივებას 20-25 დეციბელით.

დამცავი ტანსაცმელი (კომბინეზონი; ხალათი; კაპიშონიანი ქურთუკები, რომლებშიდაც ჩამონტაჟებულია დამცავი სათვალე) მზადდება მოლითონებული ქსოვილისაგან, რომელიც 20-30 დეციბელით) ამცირებს გამოსხივებას.

პროფესიული დაავადების პროფილაქტიკის მიზნით პერსონალს უნდა ჩაუტარდეს წინასწარი და პერიოდული სამედიცინო გამოკვლევა. ქალები ორსულობისას და ბავშვის ძუძუთი კვების პერიოდში გადაყვანილი უნდა იქნენ სხვა სამუშაოზე, რადგან საქართველოს შრომის კოდექსის თანახმად აკრძალულია არასრულწლოვანთან, ასევე ორსულ და მეძუძურ ქალთან შრომითი ხელშეკრულების დადება მძიმე, მავნე და საშიშპირობებიანი სამუშაოების შესასრულებლად. იმავე მიზეზით 18 წლამდე ასაკის ახალგაზრდები რადიოსიხშირის გენერატორებთან სამუშაოდ არ დაიშვება.

ზემაღალი და ულტრამაღალი სიხშირის გამოსხივებაზე მომუშავე პერსონალს ეკუთვნის შემცირებული სამუშაო დღე და დამატებითი შვებულება.

6.9. ოპტიკური დიაგნოზის გამოსხივება და მისგან დაცვა

• ინფრაწითელი გამოსხივება, მისი მავნე ზემოქმედება და დაცვითი ღონისძიებები.

ინფრაწითელი გამოსხივება ხდება ნებისმიერი გახურებული სხეულისაგან, რომლის ტემპერატურა განაპირობებს გამოსხივებული ელექტრომაგნიტური ენერგიის სპექტრსა და ინტენსიურობას.

გამოსხივებული ტალღების სიგრძის მიხედვით წარმოებაში არსებული ენერგიის წყაროები 4-ჯგუფად იყოფიან:

- ≤ 500 °C (ღუმელების გარე ზედაპირი და სხვ.), სპექტრი შეიცავს 1,9-3,7 მკმ სიგრძის ინფრაწითელ სხივებს;
- 500-1300 °C (ცეცხლის ალი, თხევადი თუჯი და სხვ.) სპექტრი უპირატესად შეიცავს 1,9-3,7 მკმ სიგრძის ინფრაწითელ სხივებს;
- 1300-1800 °C (თხევადი ფოლადი და ა.შ.) სპექტრი შეიცავს 1,2-1,9 მკმ სიგრძის ინფრაწითელ სხივებს და აგრეთვე დიდი სიკაშკაშის ხილულ სხივებს;

- >1800 °C (ელექტრორკალური ღუმლების ალი, შესადულებელი აპარატების ალი და სხვ.) ინფრაწითელ და ხილულ სხივებთან ერთად სპექტრი შეიცავს ულტრაიისფერ სხივებსაც.

გამოსხივების ერთ-ერთი რაოდენობრივი მაჩასიათებელია თბური დასხივების ინტენსიურობა, რომელიც განისაზღვრება, როგორც ფართობის ერთეულიდან დროის ერთეულში გამოსხივებული ენერგია. საერთაშორისო სისტემაში მისი განზომილებაა ვტ/მ².

თბური გამოსხივების ინტენსიურობის გაზომვას აქტინომეტრია ეწოდება, რომელიც ბერძნული სიტყვებისაგან (აქტინოს — სხივი და მეტრიო — ვზომავ) წარმოდგება. სათანადო ხელსაწყოს კი აქტინომეტრი ეწოდება.

ტალღის სიგრძის მიხედვით განსხვავებულია ინფრაწითელი გამოსხივების გამჭოლუნარიანობა. ყველაზე ძლიერი გაჭოლვის უნარი აქვს მოკლე-ტალღოვან (0,76-1,4 მკმ) ინფრაწითელ გამოსხივებას, რომელიც ადამიანის სხეულის ქსოვილში აღწევს რამდენიმე სმ-ის სიღრმეზე. 9-420 მკმ სიგრძის გრძელტალღოვანი დიაპაზონის სხივები კანის გაჭოლვასაც ვერ ახერხებენ.

გამოსხივების ზემოქმედება შესაძლებელია იყოს საერთო და ლოკალური. გრძელტალღოვანი დასხივების დროს სხეულის ზედაპირის ტემპერატურა მატულობს, ხოლო მოკლეტალღოვანი დასხივებისას — ფილტვების, თავის ტვინის, თირკმლებისა და სხვა ორგანოების ტემპერატურა იცვლება.

სხეულის ტემპერატურის არსებითი ცვალებადობა ხდება დიდი ინტენსიურობის სხივებით ზემოქმედების შემდეგ. ამ დროს ტემპერატურის ნაზარდი აღწევს 1-2 °C. ტვინის ქსოვილზე ზემოქმედებისას მოკლეტალღოვანი დასხივება იწვევს მზის დარტყმას. ამ დროს ადამიანი შეიგრძნობს თავის ტკივილს, თავბრუსხვევას, პულსისა და სუნთქვის გახშირებას, თვალების დაბნელებას, მოძრაობის კოორდინაციის დარღვევას და შესაძლებელია გრძნობის დაკარგვაც. თავის შემდგომი ინტენსიური დასხივებისას მენინგიტისა და ენცეფალიტის სიმპტომები ჩნდებიან.

თვალებისათვის ყველაზე საშიშია მოკლეტალღოვანი გამოსხივება, რაც იწვევს ინფრაწითელ კატარაქტას.

თბური რადიაცია საზოგადოდ ზრდის გარემოს ტემპერატურას, აუარესებს მის მიკროკლიმატს და შესაძლებელია გამოიწვიოს ორგანიზმის გადამეტხურება.

თბური ენერგიის დაახლოებით 60% გარემოში ვრცელდება ინფრაწითელი გამოსხივების გზით. სხივური ენერგია, თითქმის დანაკარგების გარეშე გადალახავს სივრცეს და კვლავ თბურ ენერგიად იქცევა ზედაპირზე მოხვედრის შემდეგ. უდანაკარგო გავრცელების გამო იგი უშუალო ზემოქმედებას არ ახდენს საჰაერო სივრცეზე და თავისუფლად გაჭოლავს მას.

ძირითადი ღონისძიებები, რომლებიც გამოსაყენებელია ინფრაწითელი გამოსხივების მავნე ზეგავლენის შესამცირებლად, შემდეგია:

- გამოსხივების წყაროს ინტენსიურობის შემცირება (მოძველებული ტექნოლოგიების შეცვლა თანამედროვეთი და ა.შ.);
- წყაროს ან სამუშაო ადგილის დამცავი ეკრანება (ეკრანების მოწყობა ლითონის ბადეების სახით, ღუმლების სათანადო ადგილების აზბესტით მოპირკეთება და ა.შ.);

- ინდივიდუალური დაცვის საშუალებების გამოყენება (სახისა და თვალების სინათლის ფილტრიანი ფარებით დაცვა, სელის ტანსაცმლით სარგებლობა);
- სამკურნალო-პროფილაქტიკური ღონისძიებები (შრომისა და დასვენების რაციონალური რეჟიმის ორგანიზება, პერიოდული სამედიცინო გამოკვლევების ჩატარება და ა.შ.).

• ულტრაიისფერი გამოსხივება, მისი მავნე ზემოქმედება და დაცვითი ღონისძიებები.

ულტრაიისფერი გამოსხივების ბუნებრივი წყაროა მზე. უხილავი ულტრაიისფერი სხივები გამოიყოფა 1500 °C-ის ზემოთ გახურებული წყაროდან, ხოლო მათი გამოყოფა მნიშვნელოვან ინტენსიურობას აღწევს 2000 °C-ზე უფრო მაღალი ტემპერატურისას. აღნიშნული გამოსხივების ხელოვნური წყაროებია ელექტრული რკალები, ლაზერები და ა.შ.

ულტრაიისფერ გამოსხივებას ახასიათებს სხვადასხვაგვარი ბიოლოგიური ზემოქმედება მისი სპექტრის მიხედვით. ძირითადად განასხვავებენ 3-სახეს ტალღის სიგრძის მიხედვით:

- სუსტი ბიოლოგიური ზემოქმედება აქვს 0,390-0,315 მკმ სიგრძის ტალღებს;
- რაქიტის საწინააღმდეგო მოქმედება ახასიათებს ტალღებს 0,315-0,280 მკმ-ის ფარგლებში;
- მიკროორგანიზმების განადგურების უნარი აქვს ტალღებს 0,28-0,20 მკმ-ის ფარგლებში.

0,344 მკმ სიგრძის ტალღას აქვს 1000-ჯერ უფრო მაღალი ბაქტერიციდური ეფექტი 0,39 მკმ სიგრძის ულტრაიისფერ გამოსხივებასთან შედარებით, ხოლო მაქსიმალური ეფექტი ამ მხრივ აქვს 0,254-0,257 მკმ სიგრძის ტალღებს. ბაქტერიციდური ეფექტის უზრუნველსაყოფად საკმარისია 50 მკმ.წთ/სმ² სიდიდის დასხივება.

ადამიანის ორგანიზმისათვის მავნებელია როგორც ულტრაიისფერი სხივების ნაკლებობა, ისე მისი სიჭარბე. ულტრაიისფერი გამოსხივების დიდი დოზა იწვევს კანის დაავადებებს (სხვადასხვა სახის დერმატიტს). გაზრდილი დოზები მოქმედებს ცენტრალურ ნერვულ სისტემაზე, ნორმიდან გადახრები გამოვლინდება ღებინების, დაღლილობის, ტემპერატურის მომატების და სხვა სიმპტომების სახით.

0,32 მკმ ნაკლები ტალღის სიგრძის მქონე ულტრაიისფერი გამოსხივება უარყოფითად მოქმედებს თვალის ბადურაზე და იწვევს მტკივნეულ ანთებით პროცესებს. აღნიშნული დაავადების ადრეულ სტადიაზე ადამიანი გრძნობს ტკივილს და ქვიშას შეიგრძნობს თვალებში. დაავადებას ახლავს ცრემლის უხვი გამოყოფა და შესაძლებელია განვითარდეს თოვლის ავადმყოფობა, ანუ სინათლის შიში. აღნიშნული დაავადება ქრება სხივების ზემოქმედების შეწყვეტიდან 2-3 დღეში.

ულტრაიისფერი გამოსხივების უკმარობის გამოვლენაა ავიტამინოზი, კალციუმ-ფოსფორული ნივთიერებათა ცვლისა და ძვლის წარმოქმნის პროცესის დარღვევა, რომლის დროსაც ხდება მუშაობისუნარიანობის კლება და დაავადებების წინააღმდეგ ორგანიზმის მედეგობის შემცირება. აღნიშნული გამოვლინება დამახასიათებელია შემოდგომა-ზამთრის პერიოდისათვის, რომლის დროსაც შესაძლებელია დასხივება ლუმინესცენციური ნათურებით. ვერცხლისწყალ-კვარცის ნათურებით დასხივება

სასურველი არაა, რადგან გართულებულია მათი გამოსხივების კონტროლი და ნორმირება.

ულტრაიისფერი გამოსხივების ზემოქმედება რაოდენობრივად შესაძლებელია შეფასდეს ულტრაიისფერი ინდექსით და მხედველობით, ეს უკანასკნელი ეფუძნება დაკვირვებებით დაგროვებულ გამოცდილებას იმის შესახებ, რომ ჯერ ხდება კანის გაწითლება, ხოლო შემდეგ მისი პიგმენტაცია (გარუჯვა).

ულტრაიისფერი ინდექსი მზის ულტრაიისფერი (UV) გამოსხივების მოსალოდნელი ინტენსიურობის ყოველდღიური პროგნოზია, რომელიც ფასდება 1-დან 11+-მდე სკალით. უფრო მაღალი რიცხვი ნიშნავს კანისა და თვალებისათვის უფრო დიდ რისკს, 1 მნიშვნელობა წარმოადგენს მინიმალურ რისკს, ხოლო 11+ - უკიდურესად მაღალ რისკს. ინდექსი ეხმარება ადამიანებს იმის გაგებაში, თუ როდის და როგორ დაიცვან თავი მზისგან.

ჭარბი ულტრაიისფერი გამოსხივებისაგან დასაცავად გამოიყენება მზესაწინალო ეკრანი, რომელიც შესაძლებელია იყოს ქიმიური (ნივთიერებები სხვადასხვა საცხის სახით) და ფიზიკური (სხვადასხვა წინაღობა, რომლებსაც ძალუძთ გაფანტოს, აირეკლოს ან შთანთქას სხივები). დაცვის კარგი საშუალებაა სპეცტანსაცმელი ისეთი ქსოვილისაგან (მაგალითად პოპლინისაგან), რომელიც ცუდად ატარებს ულტრაიისფერ სხივებს. საწარმოო პირობებში თვალების დასაცავად გამოიყენება სინათლის ფილტრი სათვალის ან შლემის სახით, რომელიც მუქი მწვანე ფერის მინისაგან მზადდება.

6.10. რადიაციული გამოსხივების სახეები და თვისებები

მძიმე ბირთვების მქონე ნივთიერებები (ურანი, თორიუმი, რადიუმი) ბუნებრივად იშლებიან, რომლის დროსაც მიიღება ახალი ნივთიერება გამოსხივების თანხლებით. ეს უკანასკნელი შესაძლებელია იყოს ალფა- ბეტა- ნაწილაკები და მცირე სიგრძის ელექტრომაგნიტური ტალღები (გამა-გამოსხივება). ბეტა- გამოსხივებას თან ახლავს ნეიტრინოსა და ანტინეიტრინოს გამოსხივება. ბუნებრივი რადიაქტიური დაშლა დამოკიდებული არაა გარე პირობებზე - ტემპერატურაზე, წნევაზე, ქიმიურ ურთიერთქმედებაზე და მთლიანად განპირობებულია მხოლოდ მძიმე ბირთვების მქონე რადიაქტიური ნივთიერებებისათვის დამახასიათებელი თვისებებით.

ალფა-გამოსხივების შემთხვევაში, დაშლის შედეგად მიღებული ახალი ბირთვების შემცველი ნივთიერებები პერიოდულ სისტემაში იკავებენ 2-ით ნაკლებ რიგით ნომერს, ელექტრონული გამოსხივების (ბეტა-გამოსხივების) შემთხვევაში — 1-ით მეტ რიგით ნომერს, ხოლო პოზიტრონული გამოსხივების შემთხვევაში — 1-ით ნაკლებ რიგით ნომერს.

ბუნებრივი რადიაქტიურობის გარდა შესაძლებელია ნივთიერებათა ხელოვნური რადიაქტიურობის გამოწვევა, რაც განპირობებული არაა მათი თვისებებით და მთლიანად დამოკიდებულია გარე პირობებზე. კერძოდ, ხელოვნური რადიაქტიურობის გამოწვევა შესაძლებელია ნივთიერებაზე გამა-სხივებით ზემოქმედების გზით, აგრეთვე

დეიტერიუმის, ჰელიუმის ან უფრო მძიმე ელემენტების პროტონებით, ნეიტრონებითა და ბირთვებით მათი დასხივების გზით. ასეთ შემთხვევაში შესაძლებელია ისეთი რადიაქტიური იზოტოპების მიღება, რომლებიც დედამიწაზე არ გვხვდება. ხელოვნური რადიაქტიურობისას ნივთიერებები ძირითადად ბეტა- და გამა-გამოსხივებით ხასიათდებიან.

ყველა ზემოაღნიშნულ შემთხვევაში ხდება ბირთვების დაშლა, ბირთვული ენერგიის გამოთავისუფლება და მათ ბირთვული რეაქციები ეწოდებათ.

შესაძლებელია აგრეთვე საპირისპირო პროცესიც. მსუბუქი ბირთვების (მაგალითად, წყალბადის) სინთეზი და უფრო მძიმე ბირთვების მიღება, რაც შესაძლებელია რამდენიმე ათეული ან ასეული მილიონი გრადუსი ტემპერატურის პირობებში. ასეთ რეაქციას თერმობირთვული ეწოდება. ეს უკანასკნელიც, ხელოვნური რადიაქტიურობის მსგავსად, დამოკიდებულია გარე პირობებზე. კერძოდ, დამოკიდებულია ძალიან მაღალ ტემპერატურაზე.

ალფა-გამოსხივება — წარმოადგენს ჰელიუმის ბირთვების ნაკადს, რომელიც შედგება ორი პროტონისა და ორი ნეიტრონისგან და ატარებს დადებით მუხტს (+2). მისი სიჩქარე ვაკუუმში დაახლოებით 20 000 კმ/წმ-ია, რაც სინათლის სიჩქარეზე ერთი რიგით ნაკლებია. ენერგეტიკული დიაპაზონი მერყეობს 3–9 MeV-ის ფარგლებში. წყალში მოძრაობისას იწვევს ყოველი მესამე მოლეკულის იონიზაციას, რაც სისხლში იწვევს „გაწყალების“ ეფექტს. მიუხედავად მაღალი ენერგიისა, ალფა-ნაწილაკები ჰაერში მხოლოდ 8–9 სმ მანძილზე ვრცელდება, ამიტომ გარედან ნაკლებად საშიშია, მაგრამ ორგანიზმში მოხვედრისას — უკიდურესად მავნე.

ბეტა-გამოსხივება — ელექტრონების ნაკადია, რომელიც მოძრაობს სინათლის სიჩქარესთან მიახლოებული სიჩქარით (დაახლოებით 250 000 კმ/წმ). ჰაერში მისი გარბენის მაქსიმალური მანძილი 18 მეტრს აღწევს. ბეტა-ნაწილაკები ატარებენ უარყოფით მუხტს, აქვთ მცირე მასა (ალფასთან შედარებით დაახლოებით 7 300-ჯერ ნაკლები) და ნაკლები ენერგია, რის გამოც მათი იონიზაციის უნარიც დაბალია — იონიზდება ყოველი 1 000-ე წყლის მოლეკულა.

გამა-გამოსხივება — ელექტრომაგნიტური ტალღების ნაკადია, რომელიც ხშირად თან ახლავს ალფა- და ბეტა-გამოსხივებას. ვრცელდება სინათლის სიჩქარით (300 000 კმ/წმ) და არ ატარებს ელექტრულ მუხტს. გამას აქვს ყველაზე მაღალი შეღწევადობა, თუმცა იონიზაციის უნარი საშუალოა — იონიზდება ყოველი 300-ე წყლის მოლეკულა.

ნეიტრონული გამოსხივება — ნეიტრალური ნაწილაკების ნაკადია, რომლის საწყისი სიჩქარე დაახლოებით 15 000 კმ/წმ-ია. ატომბირთვებთან შეხებისას ხშირად იწვევს გამა-გამოსხივებას. მაგალითად, აზოტის ბირთვზე ზემოქმედებისას შესაძლებელია პროტონის ამოტყორცნა.

რადიაქტიური ნივთიერების იზოტოპის აღსანიშნავად გამოიყენება მის ქიმიურ ფორმულაზე დართული რიცხვითი მაჩვენებელი. მაგალითად: რადიუმ-22, რადიუმ-106 და ა.შ. დროის მიხედვით ყველა რადიაქტიური ნივთიერების ან მისი იზოტოპის აქტიურობა მცირდება, რადგან დაშლის შედეგად მცირდება მასში ატომების რაოდენობა. აქტიურობის შემცირებას ექსპონენციალური ხასიათი აქვს, ანუ გამოსხივება არასდროს არ გახდება ნულის ტოლი.

ყველა ბუნებრივ და ხელოვნურ რადიაქტიურ ნივთიერებას ახასიათებს ნახევრად დაშლის პერიოდი. ნახევრად დაშლის პერიოდი არის დროის ის შუალედი, რომლის შემდეგაც გამოსხივების თავდაპირველი ინტენსიურობა 2-ჯერ მცირდება. აღნიშნული პერიოდის ხანგრძლივობა ნივთიერების სახეობაზეა დამოკიდებული და ფართო დიაპაზონში იცვლება. მაგალითად, რადიუმ-106-ის ნახევრად დაშლის პერიოდია 29,9 წმ, ხოლო ურან-238-ის — 4,5 მლრდ წელი. პირველ ჯგუფს ხანმოკლე, ხოლო მეორე ჯგუფს ხანგრძლივი მოქმედების რადიოიზოტოპები ეწოდება. თანაბარი დოზების შემთხვევაში ბიოლოგიურად ყველაზე უფრო საშიშია ისეთი ხანმოკლე იზოტოპები, რომელთა ნახევრად დაშლის პერიოდი რამდენიმე დღე-დამიდან 1 ათეული წლის ფარგლებში ცვალებადობს. მაშასადამე, ორივე მითითებული იზოტოპი რადიუმ-106 და ურან-238 შედარებით ნაკლებად სახიფათოა.

აღსანიშნავია, რომ 1986 წლის 26 აპრილის ჩერნობილის ატომური სადგურის აფეთქების პირველ დღეებში ყველაზე უფრო საშიში იყო ხანმოკლე მოქმედების რადიაქტიური იოდ-131 (ნახევრად დაშლის პერიოდი 8,06 დღე-ღამე), რომელიც გამოთავისუფლებული რადიოიზოტოპების 52-55% შეადგენდა.

როგორც აღინიშნა, რადიაქტიურ დაშლას თან ახლავს ალფა-, ბეტა- და გამა-გამოსხივება. ეს უკანასკნელი აგრეთვე შესაძლებელია აღიძრას ნივთიერებათა ანჰილაციისას (ნივთიერებისა და ანტინივთიერების მოქმედებით) მძიმე ბირთვების დაშლას რეაქტორებში ახლავს აგრეთვე ნეიტრონული გამოსხივება. რენტგენის მილაკებში, ელექტრონების ამჩქარებლობაში და სხვაგან აღიძვრება დამუხრუჭების გამოსხივება, რომელიც არის უწყვეტი სპექტრის ფოტონური გამოსხივება და გამოწვეულია დამუხრუჭებული ნაწილაკების კინეტიკური ენერგიის ცვალებადობით. დისკრეტული სპექტრის ფოტონური გამოსხივება კი გვხვდება ატომის ენერგეტიკული მდგომარეობის ცვალებადობის დროს, რომელსაც დამახასიათებელი გამოსხივება ეწოდება. ყველა აღნიშნული გამოსხივება ერთმანეთისაგან განსხვავდება ბუნებით, ენერგიით, გარემოში გავრცელების სიჩქარით, ბიოლოგიური ზემოქმედების ეფექტით და სხვა ფაქტორებით.

6.11. რადიაციული გამოსხივების ერთეულები

რადიაქტიური დაშლის მნიშვნელოვანი მაჩვენებელია დროის ერთეულში დაშლილი ბირთვების რაოდენობა, რომლის რაოდენობრივად დახასიათებისათვის გამოიყენება ტერმინი აქტიურობა. რომელიმე ნივთიერების აქტიურობა განისაზღვრება დროის ერთეულში დაშლილი ატომების მიხედვით. აქტიურობის ერთეულია კიური (კი). რადიაქტიური ნივთიერების აქტიურობა უდრის 1 კიურს, თუ მასში 1 წმ-ის განმავლობაში ხდება ბირთვების დაშლა $3,7 \times 10^{10}$ -ჯერ (37 მილიარდჯერ). ასეთი დაშლა ხდება 1 გ რადიუმში დაშლის პროდუქტების ჩამოცილების პირობით. მაშასადამე, 1 გ სუფთა რადიუმის აქტიურობა 1 კიურის ტოლია, რომელიც თავის მხრივ უტოლდება $3,7 \times 10^{10}$ ბეკერელს. ე.ი.

$$1 \text{ კი} = 3,7 \times 10^{10} \text{ ბკ (ბეკერელი).}$$

პრაქტიკაში სარგებლობენ კიურიდან წარმოებული სიდიდეებით:

$$1 \text{ მილიკიური} = 1 \text{ მკი} = 10^{-3} \text{ კი} = 3,7 \times 10^7 \text{ დაშლა/წმ,}$$

$$1 \text{ მიკროკიური} = 1 \text{ მკკი} = 10^{-6} \text{ კი} = 3,7 \times 10^4 \text{ დაშლა/წმ,}$$

$$1 \text{ ნანოკიური} = 1 \text{ ნკი} = 10^{-9} \text{ კი} = 3,7 \text{ დაშლა/წმ,}$$

$$1 \text{ პიკოკიური} = 1 \text{ პკი} = 10^{-12} \text{ კი} = 3,7 \text{ დაშლა/წმ.}$$

ენერგიის ერთეულად ატომურ ფიზიკაში გამოყენებულია ელექტრონ-ვოლტი (ევ). 1 ელექტრონ-ვოლტი იმ კინეტიკური ენერგიის ტოლია, რომელსაც მიიღებს ელექტრონი 1 ვოლტის ტოლი პოტენციალთა სხვაობის გადალახვისას. ბირთვული გარდაქმნების დასახასიათებლად სარგებლობენ ელექტრონ-ვოლტის ჯერადი სიდიდეებით — კილოელექტრონ-ვოლტით (კევ) და მეგაელექტრონ-ვოლტით (მევ):

$$1 \text{ კევ} = 10^3 \text{ ევ,}$$

$$1 \text{ მევ} = 10^6 \text{ ევ.}$$

ყველა სახეობის მაიონებელი გამოსხივების მოქმედება ხასიათდება დასხივების დოზებით, ხოლო მისი სიდიდის შეფასება ხდება ჰაერის იონიზაციის მიხედვით, რასაც დასხივების, ანუ ექსპოზიციური დოზა ეწოდება. მისი განზომილებაა რენტგენი.

რენტგენი არის გამოსხივების ისეთი დოზა, რომელიც ნორმალურ პირობებში (760 მმ ვწყ სვ წნევა და 0 °C ტემპერატურაზე) 1 სმ³ (0,0012932 გ) მშრალ ჰაერში წარმოქმნის 2,08 მლრდ წყვილ იონს, რომლებიც ატარებენ ელექტრობის ორივე ნიშნის (დადებითისა და უარყოფითის) ერთ ელექტროსტატიკურ ერთეულს.

რენტგენიდან წარმოებული სიდიდეებია მილირენტგენი (მრ) და მიკრო-რენტგენი (მკრ):

$$1 \text{ რ} = 10^3 \text{ მრ} = 10^6 \text{ მკრ.}$$

გამოსხივების დოზის სიმძლავრე ეწოდება დროის ერთეულზე დაყვანილ სიდიდეს, ხოლო მისი განზომილებაა რ/სთ, რ/წთ, რ/წმ და ა.შ.

შთანთქმული დოზა — მაიონებელი გამოსხივების ენერგიის რაოდენობაა, რომელსაც შთანთქავს დასხივებული ნივთიერების მასის ერთეული. ერთეულია რადი (რდ), რომლისთვისაც ნებისმიერი ნივთიერების 1 გ-ის მიერ შთანთქმული ენერგია უდრის 100 ერგს. მაშასადამე, 1 რდ = 100 ერგ/გ. რადიდან წარმოებული სიდიდეებია მილირადი (მრდ) და მიკრორადი (მკრდ):

$$1 \text{ მრდ} = 10^{-3} \text{ რდ} = 0,1 \text{ ერგ/გ,}$$

$$1 \text{ მკრდ} = 10^{-6} \text{ რდ} = 0,0001 \text{ ერგ/გ.}$$

დროის ერთეულში შთანთქმულ დოზას მისი სიმძლავრე ეწოდება. შესაბამისად იზომება შემდეგი სისტემგარეშე სიდიდეებით: რდ/წმ, რდ/წთ, რდ/სთ.

როგორც აღინიშნა, გამოსხივების დოზის ერთეულია რენტგენი, რომელიც ჰაერის იონიზაციის მაჩვენებელია, ხოლო სხვადასხვა ბიოლოგიურ (ცოცხალ) სხეულზე იგი სხვადასხვაგვარ ზემოქმედებას გამოიწვევს. მათთვის იონირებული, ანუ მოსპობილი ნაწილაკების რაოდენობა განსხვავებული იქნება. ამის გამო შემოტანილია სპეციალური ერთეული — რენტგენის ბიოლოგიური ეკვივალენტი (ზოგჯერ მას მოიხსენიებენ სახელით — ეკვივალენტური დოზა), რომელსაც ბერი ეწოდება, შემოკლებული აღნიშვნაა ბრ. სახელწოდება ბერი რენტგენის ბიოლოგიური ეკვივალენტის რუსული

დასახელების აბრევიატურაა, ინგლისურენოვანი აბრევიატურაა **Rem** (Roentgen Equivalent Man).

ამგვარად, რენტგენი ექსპოზიციური დოზაა, რომელიც არაცოცხალ ბუნებაზე დასხივების ზემოქმედების მაჩვენებელია, ხოლო ბერი მისი ეკვივალენტური დოზაა, რომელიც ცოცხალ ორგანიზმზე დასხივების ზემოქმედებას ასახავს.

1 ბერი არის ნებისმიერი გამოსხივების შემთხვევაში ისეთი შთანთქმული დოზა, რომელიც ქრონიკული დასხივებისას იწვევს იმავე ბიოლოგიურ ეფექტს, რასაც რენტგენის ან გამა-გამოსხივების 1 რადი.

ბერიდან წარმოებული სიდიდეებია მილიბერი (მბრ) და მიკრობერი (მკბრ):

$$1 \text{ ბრ} = 10^3 \text{ მბრ} = 10^6 \text{ მკბრ}.$$

ეკვივალენტური დოზის სიმძლავრე გამოსხივების ექსპოზიციური დოზის სიმძლავრის ანალოგიურად განისაზღვრება და მისი განზომილებაა ბრ/სთ, ბრ/წთ და ა.შ.

ყველა სახის გამოსხივების ბიოლოგიური ეფექტი დამოკიდებულია ენერგიის ხაზურ გადაცემაზე, ანუ იონიზაციის წრფივ სიმკვრივეზე, რაც არის სხივის გავლის გზაზე ნივთიერებაში წარმოშობილი იონთა წყვილის რაოდენობა დროის ერთეულში. სხვადასხვა გამოსხივების ბიოლოგიური მოქმედების შესაფასებლად შემოტანილია ცნება **ფარდობითი ბიოლოგიური გამოსხივება**. ეს უკანასკნელი არის რიცხვითი სიდიდე, რომელიც უჩვენებს გამოსხივების მოცემული სახის მოსალოდნელი ბიოლოგიური მოქმედება რამდენად მეტია ან ნაკლებია რენტგენის სხივების ან გამა-გამოსხივების ბიოლოგიურ მოქმედებაზე შესადარ პირობებში. ეს უკანასკნელი ნიშნავს დასხივების ერთნაირ პირობას და დასხივებული ობიექტის მიერ ტოლი გამოსხივების ენერგიების მიღებას. 6.4 ცხრილში მოცემულია სხვადასხვა დასხივების ფარდობითი ბიოლოგიური გამოსხივების კოეფიციენტი, ანუ სხვადასხვა მაიონებელი გამოსხივების ხარისხის მაჩვენებელი რენტგენის ან გამა-გამოსხივებასთან მიმართებაში. ზოგიერთ ლიტერატურაში ხარისხის კოეფიციენტი Q ასოთი აღინიშნება.

მაიონებელი გამოსხივების დოზების რეგლამენტია რადიაციული უსაფრთხოების დოზა, რომლის დაცვა სავალდებულოა.

ცხრილი 6.4

ფარდობითი ბიოლოგიური გამოსხივების კოეფიციენტის რიცხვითი სიდიდეები

გამოსხივების სახე	კოეფიც.	გამოსხივების სახე	კოეფიც.
გამა-გამოსხივება	1,0	თბური ნეიტრონები	3,0
რენტგენის გამოსხივება	1,0	იგივე $E = 5$ კევ	2,5
ელექტრონები	1,0	იგივე $E = 20$ კევ	2,7
პოზიტრონები	1,0	იგივე $E = 100$ კევ	9,0
ბეტა-ნაწილაკები	1,0	იგივე $E = 500$ კევ	12,0
ალფა-ნაწილაკები $E < 10$ მევ	20,0	იგივე $E = 1$ მევ	12,0
პროტონები $E < 10$ მევ	10,0	იგივე $E = 5$ მევ	7,4
მძიმე ბირთვები	20,0	იგივე $E = 10$ მევ	6,7

ადამიანზე შესაძლებელია მოხდეს როგორც გარეგანი, ისე შინაგანი დასხივება. გარეგანი დასხივება ხდება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა ადამიანი იმყოფება გამოსხივების წყაროდან კრიტიკულ მანძილზე, ხოლო შინაგანი დასხივება ხდება მთელი იმ დროის განმავლობაში, სანამ რადიაქტიური ნივთიერება სხეულს არ დატოვებს.

- **შენიშვნა ერთეულებთან დაკავშირებით.**

ყველა ერთეული, რომლებითაც ზემოთ ვისარგებლეთ — კიური (კი), ელექტრონ-ვოლტი (ევ), რენტგენი (რ), რადი (რდ), ბერი (ბრ) მიმოქცევაში შემოტანილია ერთეულთა საერთაშორისო სისტემის შემოღებამდე. მაშასადამე, ყველა მათგანი არასისტემურია და ყველა მათგანს შეესაბამება საერთაშორისო სისტემის ერთეულები. სისტემურ ერთეულებთან აღნიშნული ერთეულების თანაფარდობა მოცემულია 6.5 ცხრილში.

ცხრილი 6.5

მაიონებელი გამოსხივების შესაფასებელი ერთეულები

ნაწილაკის უძრაობის მასა:

სისტემური — კილოგრამი [კგ];

არასისტემური — მასის ატომური ერთეული [მ.ა.ე.];

1 მ.ა.ე. = $1,66057 \cdot 10^{-27}$ კგ.

მაიონებელი გამოსხივების ენერგია:

სისტემური — ჯოული [ჯ];

არასისტემური — 1. ელექტრონ-ვოლტი [ევ]; 2. ერგი [ერ];

1 ევ = $1,60219 \cdot 10^{-19}$ ჯ;

1 ერ = $1,0 \cdot 10^{-7}$ ჯ.

შთანთქმული დოზა:

სისტემური — გრეი [გრ];

არასისტემური — რადი [რდ];

1 გრ = 1 ჯ/კგ = 100 რდ.

შთანთქმული დოზის სიმძლავრე:

სისტემური — გრეი/წმ [გრ/წმ];

არასისტემური — 1. რადი/წმ [რდ/წმ], 2. გრეი/წთ [გრ/წთ];

1 რდ/წმ = $1,0 \cdot 10^{-2}$ გრ/წმ;

1 გრ/წთ = $1,666 \cdot 10^{-2}$ გრ/წმ.

ექსპოზიციური დოზა:

სისტემური — კლ/კგ [კლ - კულონი];

არასისტემური — რენტგენი [რ];

1 რ = $2,57976 \cdot 10^{-4}$ კლ/კგ.

ექსპოზიციური დოზის სიმძლავრე:

სისტემური — ა/კგ [ა - ამპერი];

არასისტემური — რენტგენი/წმ [რ/წმ];

1 რ/წმ = $2,57976 \cdot 10^{-4}$ ა/კგ.

ეკვივალენტური დოზა:

სისტემური — ზივერტი [ზვ];

არასისტემური — ბერი [ბრ] - (ბერ - ბიოლოგიური ეკვივალენტი რენტგენის);

1 ბრ = $1,0 \cdot 10^{-2}$ ზვ.

ეკვივალენტური დოზის სიმძლავრე:

სისტემური — ზივერტი/წმ [ზვ/წმ];

არასისტემური — ბერი/წმ [ბრ/წმ];

1 ბრ/წმ = $1,0 \cdot 10^{-2}$ ზვ/წმ.

რადიონუკლიდის აქტიურობა:

სისტემური — ბეკერელი [ბეკ];

არასისტემური — კიური [კი];

1 კი = $3,70 \cdot 10^{10}$ ბეკ.

რადიონუკლიდის კუთრი აქტიურობა:

სისტემური — ბეკერელი/კგ [ბეკ/კგ];

არასისტემური — კიური/კგ [კი/კგ];

1 კი/კგ = $3,70 \cdot 10^{10}$ ბეკ/კგ.

მაიონებელი გამოსხივების ენერგიის ნაკადი:

სისტემური — ვატი (ვტ);

არასისტემური — ერგი/წმ [ერ/წმ];

1 ერ/წმ = $1,0 \cdot 10^{-7}$ ვტ.

მაიონებელი გამოსხივების ენერგიის ნაკადის სიმკვრივე:

სისტემური — ვატი/მეტრ² [ვტ/მ²];

არასისტემური — ერგი/(წმ.სმ²) [ერ/წმ.სმ²];

1 ერ/(წმ.სმ²) = $1,0 \cdot 10^{-3}$ ვტ/მ².

ამგვარად, საერთაშორისო სისტემის შემოღებამ 1961 წელს აუცილებელი გახდა მაიონებელი გამოსხივების ისეთი ერთეულებით სარგებლობის შეზღუდვა, როგორებიცაა: რენტგენი — ექსპოზიციური დოზის ერთეული; რადი — შთანთქმული დოზის ერთეული; ბერი — ეკვივალენტური დოზის ერთეული; კიური — რადიონუკლიდის აქტიურობა.

აღსანიშნავია, რომ საერთაშორისო სისტემით ენერგიის ერთეული ჯოულია, რომელიც გამოიყენება აგრეთვე მაიონებელი გამოსხივებისა და მისი ველის შესაფასებლად. პარალელურად, ჯოულის თანაბრად დასაშვებია არასისტემური ერთეულებით ელექტრონვოლტითა და მასის ატომური ერთეულით სარგებლობა.

რადიაციული ზემოქმედების ხარისხის მაჩვენებლის — შთანთქმული დოზის საერთაშორისო ერთეულია გრეი, რომელიც შეესაბამება უკვე განხილულ რადს. ამასთან ერთად, თერაპიაში მიღებულია პირდაპირ გრეითი, ხოლო რადიობიოლოგიურ კვლევებში — მისი ჯერადი სიდიდეებით სარგებლობა.

რენტგენი პრაქტიკულად დარჩენილია მიმოქცევაში დოზიმეტრულ სამუშაოთა შესასრულებლად და სათანადო ხელსაწყოებში დღემდე, რამაც განაპირობა კიდევაც არასისტემურ ერთეულებზე შეჩერება მოცემულ სახელმძღვანელოში.

6.12. რადიაციული უსაფრთხოების ნორმები

რადიაციული უსაფრთხოების მიზნებისათვის შემოღებულია ადამიანების დაყოფა კატეგორიებად. სულ გვხვდება სამი კატეგორია: A , B და C .

A კატეგორიას მიეკუთვნება პერსონალი, რომელიც მუდმივად ან დროებით მუშაობს მაიონებელი გამოსხივების წყაროებთან.

B კატეგორიას მიეკუთვნება ის ადამიანები, რომლებიც საცხოვრებელი ან სამუშაო ადგილის მიხედვით შესაძლებელია იმყოფებოდნენ მაიონებელი გამოსხივების წყაროებთან ან რადიაქტიურ ნარჩენებთან.

C კატეგორიას მიეკუთვნება ქვეყნის დანარჩენი მოსახლეობა.

ყველა კატეგორიისათვის დადგენილია დასხივების ნორმების 3 კლასი. ეს კლასებია:

1. დოზების ძირითადი ზღვრები; 2. დასაშვები დონეები; 3. საკონტროლო დონეები.

აღნიშნულს გარდა, ადამიანის სხეული დაყოფილია კრიტიკული ორგანოების ჯგუფებად, რომლის მიხედვითაც ხდება დასხივების ნორმების დამუშავება. კრიტიკული ორგანო არის ადამიანის სხეულის ის ნაწილი, რომლის დასხივებაც მოცემულ მომენტში გამოიწვევს ადამიანის მაქსიმალურ დაზიანებას ან იმოქმედებს შთამომავლობის ჯანმრთელობაზე.

1 წლის განმავლობაში გარეგანი და შინაგანი დასხივების დოზების ძირითადი ზღვრები A და B კატეგორიებისათვის მოცემულია 6.6 ცხრილში.

ცხრილი 6.6

გარეგანი და შინაგანი დასხივების დოზების ძირითადი ზღვრები A და B

კატეგორიისათვის

N	პირთა კატეგორია და დოზის სახეობა	წლიური დასხივების დოზის ზღვრები კრიტიკული ორგანოების ჯგუფების მიხედვით, ჯ/კგ (ბერი)		
		I	II	III
1	ზღვრულად დასაშვები დოზა A კატეგორიისათვის	0,05 (5)	0,15 (15)	0,3 (30)
2	დოზის ზღვარი B კატეგორიისათვის	0,005 (0,5)	0,015 (1,5)	0,03 (3)

6.6 ცხრილის შენიშვნები:

1. 40 წლამდე ასაკის ქალების გარდა A კატეგორიისათვის გარეგანი დასხივების დოზის სიდიდე რეგლამენტით დადგენილი არაა;

2. დოზის ნორმად A კატეგორიისათვის მიღებულია წელიწადში დოზების ძირითადი ზღვრები, ხოლო B კატეგორიისათვის — წელიწადში დოზის ზღვრად მიღებულია დასაშვები დონეები, რომლებიც შეესაბამებიან დასხივების ნორმების ზემოაღნიშნული კლასების 1-ლ და მე-2 კლასს.

დასხივების ნორმების ზემოაღნიშნული კლასების მე-3 ნაწილი — საკონტროლო დონეები შემდეგ კომპონენტებს მოიცავს:

- ორგანიზმში წლიურად მოხვედრილი რადიონუკლიდების რაოდენობა;
- ორგანიზმში რადიონუკლიდების შემცველობა;
- დოზის სიმძლავრე ან ნაკადის სიმკვრივე;
- რადიონუკლიდების კონცენტრაცია ჰაერში (B კატეგორიისათვის კონცენტრაციის სიდიდე უნდა მიეცეს წყლისთვისაც);
- დედამიწის ზედაპირის გაჭუჭყიანების დონე.

საკონტროლო დონეები ცალცალკეა დაწესებული A და B კატეგორიებისათვის, ხოლო აღნიშნული კომპონენტების გაკონტროლება ხდება რადიაციული მდგომარეობის შეფასების ან ისეთი დონისძიებების დაგეგმვის მიზნით, რომლებიც შეამცირებენ ადამიანების დასხივების შესაძლებლობას. A კატეგორიისათვის საკონტროლო დონეების სიდიდეებს ადგენს საწარმოს ადმინისტრაცია, რომელიც უნდა შეთანხმდეს სანიტარულ-ეპიდემიოლოგიურ სამსახურთან, ხოლო B კატეგორიისათვის აღნიშნულ სიდიდეებს უშუალოდ სანიტარულ-ეპიდემიოლოგიური სამსახური ადგენს.

ადამიანების კატეგორიებად დაყოფის პარალელურად, მიღებულია რადიაქტიური ნივთიერებების კლასებად დაყოფა საშიშროების ჯგუფებად. სულ 4 ასეთი ჯგუფია, რომლებიც ასოითი აღნიშვნებით შემდეგნაირადაა ჩამოყალიბებული A , B , C და D . აღნიშნულ ჯგუფებში შემავალი რადიაციული ნივთიერებები ხასიათდებიან სხვადასხვა აქტიურობის დონით. კერძოდ,

A ჯგუფის ნივთიერებები იწოდებიან ძალიან მაღალი საშიშროების შემცველად, ხოლო მათი აქტიურობა არის 0,1 მკკი;

B ჯგუფი — მაღალი საშიშროების — 1 მკკი;

C ჯგუფი — საშუალო საშიშროების — 10 მკკი;

D ჯგუფი — მცირე საშიშროების — 100 მკკი.

აღსანიშნავია, რომ სათანადო სპეციალურ ცნობარებში, სანიტარულ წესებსა და ნორმებში, სამშენებლო ნორმებსა და წესებში გვხვდება რადიონუკლიდების ვრცელი ცხრილები, რომლებშიდაც მოცემულია მათი გრადაცია ყველა ჩამოთვლილი ნიშნისა თუ მახასიათებლის მიხედვით, კერძოდ, მითითებულია: რადიაციული ნივთიერების საშიშროების ჯგუფი; მისი ზემოქმედების კრიტიკული ორგანო; შინაგანი და გარეგანი დასხივების დასაშვები დონეები კატეგორიების მიხედვით; ატმოსფერულ ჰაერში, ჩამდინარე წყლებში დასაშვები დონეები და სხვა მნიშვნელოვანი მაჩვენებლები.

აღნიშნული ხასიათის ცხრილი წინამდებარე სახელმძღვანელოს ფარგლებში მოცემული არაა.

6.13. რადიაციული გამოსხივებისაგან დაცვა

რადიაქტიური იზოტოპების უსაფრთხო გამოყენებისათვის აუცილებელია ისეთი დაცვითი დონისძიებანი, რომლებიც დაიფარავს როგორც რადიაქტიურ ნივთიერებებ-

თან უშუალოდ მომუშავეებს, ასევე მოსაზღვრე შენობებში მყოფთ და საწარმოს ახლომდებარე ტერიტორიაზე მცხოვრებთ. გამოსხივების მავნე ზემოქმედებისაგან დასაცავად ტარდება ტექნიკური, სანიტარულ-ჰიგიენური და სამკურნალო-პროფილაქტიკური ღონისძიებები.

დაცვის ტექნიკურ საშუალებათა რიცხვს მიეკუთვნება სტაციონარული და მოძრავი ეკრანების მოწყობა ისეთი მასალებისაგან, რომლებიც აირეკლავს და შთანთქავს რადიაქტიურ გამოსხივებას.

ვინაიდან გამოსხივების სხვადასხვა სახეს სხვადასხვა თვისებები გააჩნია, მათთვის შესაბამისად დაცვის ღონისძიებებიც სხვადასხვაა. ალფა- გამოსხივება ჰელიუმის ორმაგი დადებითი მუხტის მქონე ბირთვების ნაკადია. შედარებით დიდი მასის გამო ნივთიერებებთან ურთიერთქმედებისას ალფა ნაწილაკები სწრაფად კარგავენ ენერგიას, რაც განაპირობებს დაბალ შეღწევუნარიანობას და მაღალ კუთრ იონიზაციას. **ალფა- გამოსხივებისაგან დაცვა** შედარებით ადვილია - საკმარისია რამდენიმე სანტიმეტრი სისქის ჰაერის ფენა ან ქაღალდის ფურცელი.

ბეტა-ნაწილაკებისგან დაცვა:

მაღალი ენერგიის ბეტა-ნაწილაკების შესაკავებლად გამოიყენება ტყვიის ეკრანები. მათი შიდა მხარე ხშირად მოპირკეთებულია მცირე ატომური მასის მქონე მასალით, რათა ელექტრონების საწყისი ენერგია შემცირდეს და შესაბამისად შემცირდეს ტყვიაში წარმოქმნილი მეორადი გამოსხივების ინტენსიურობა.

გამა- და რენტგენის გამოსხივებისგან დაცვა:

ამ ტიპის გამოსხივებას ყველაზე დიდი შეღწევადობა აქვს, ამიტომ საჭიროა მაღალი სიმკვრივისა და დიდი ატომური მასის მქონე მასალები — მაგალითად, ტყვია ან ვოლფრამი. პრაქტიკაში ხშირად გამოიყენება შედარებით მსუბუქი და ხელმისაწვდომი მასალებიც, როგორიცაა ფოლადი, თუჯი ან სპილენძის შენადნობები.

სტაციონარული ეკრანები:

სამშენებლო კონსტრუქციებში დამონტაჟებული დამცავი ბარიერები ხშირად მზადდება ბეტონის ან ბარიტბეტონისგან, რაც უზრუნველყოფს გამა- და რენტგენის გამოსხივების ეფექტურ შეჩერებას.

ნეიტრონული გამოსხივებისაგან დასაცავად გამოიყენება წყალბად-შემცველი მასალები (წყალი, პარაფინი), ბერილიუმი, გრაფიტი და სხვ. ნეიტრონებისა და გამა- გამოსხივებისაგან კომბინირებული დაცვისათვის გამოიყენება მძიმე მასალის წყალთან ან წყალბადშემცველ მასალასთან ნარევი, მძიმე და მსუბუქი მასალის ფენოვანი ეკრანები (ტყვია-პოლიეთილენი, რკინა-წყალი და აშ.).

რადიაქტიური გამოსხივებისას დასხივების დოზა წყაროს აქტიურობისა და დასხივების ხანგრძლივობის პირდაპირ პროპორციული, ხოლო წყაროდან სამუშაო ადგილამდე მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულია. ე.ი. გარეგანი დასხივებისაგან ორგანიზმის დაცვა ან დასხივების მინიმუმამდე დაყვანა შესაძლებელია ე.წ. **რაოდენობის მიხედვით დაცვით**, რაც ნიშნავს რადიაქტიურობის წყაროს აქტიურობის შემცირებას; **მანძილის მიხედვით დაცვით**, რაც ნიშნავს რადიაქტიურობის წყაროდან მანძილის გაზრდას, ანუ მისგან დამორებას; **დროის მიხედვით დაცვით**, რაც ნიშნავს

დასხივების დროის შეზღუდვას და დაცვა სპეციალური მოწყობილობებით (ეკრანები, ფარები, კონტეინერები და სხვ.).

პერიოდულად აუცილებელია დამცავი მოწყობილობების კონტროლი დოზიმეტრული ხელსაწყოების საშუალებით, ვინაიდან დროთა განმავლობაში მთლიანობის შეუმჩნეველმა დარღვევამ მათი დაცვითი უნარი შესაძლებელია ნაწილობრივ შეცვალოს ან მთლიანად მოსპოს.

შენობებში, რომლებიც განკუთვნილია რადიაქტიურ ნივთიერებებთან სამუშაოდ, კედლები, ჭერი და კარები მზადდება გლუვი, რათა არ გააჩნდეთ ფორები და ბზარები, სათავსში ყველა კუთხეს მომრგვალებულს აკეთებენ რადიაქტიური მტვერისაგან სათავსის გაწმენდის გასაადვილებლად. იატაკიც გლუვი უნდა იყოს.

სათავსში აუცილებელია საჰაერო გათბობისა და მომდენ-გამწოვი ვენტილაციის (არანაკლებ ხუთჯერადი ჰაერცვლით) მოწყობა. მუშა სათავსებში ეწყობა ყოველდღიური სველი, ხოლო თვეში ერთხელ გენერალური წმენდა.

6.14. რადიაქტიურ ნივთიერებათა ნარჩენების ლიკვიდაცია

1. სამუშაო ადგილზე განთავსებული რადიაქტიური ნივთიერების რაოდენობა არ უნდა აჭარბებდეს დღე-ღამური მუშაობისათვის აუცილებელ ნორმას.

2. გამა-აქტიური ნივთიერება უნდა იმყოფებოდეს ტყვიის კონტეინერში.

3. რადიაქტიური ნივთიერების აღრიცხვა უნდა უჩვენებდეს ნებისმიერი რიცხვისათვის მის ფაქტობრივ რაოდენობას.

4. რადიაქტიური ნივთიერების ტრანსპორტირება წარმოებს განსაკუთრებულ ტარაში შეფუთული სპეციალური კონტეინერით. მისი გადატანა ქალაქის ფარგლებში დაშვებულია მხოლოდ სპეციალურად აღჭურვილი მანქანით. რადიაქტიური ნივთიერების ტრანსპორტირებისას უზრუნველყოფილი უნდა იყოს გამყოლისა და გარემომცველი ხალხის გამოსხივებისგან დაცვა.

5. რადიაქტიური ნარჩენების ლიკვიდაციის სირთულე განპირობებულია იმით, რომ მათი განეიტრალება ფიზიკური და ქიმიური მეთოდებით შეუძლებელია. თხევადი კონცენტრირებული და განზავებული ნარჩენები უნდა შეგროვდეს ცალ-ცალკე, ვინაიდან ეს უკანასკნელი შეიძლება პირდაპირ გაშვებულ იქნას კანალიზაციის სისტემაში.

6. აუცილებელია მყარი ნარჩენების განცალკევება აქტიურობის, ნახევარ-დაშლის პერიოდის და ა.შ. მიხედვით.

7. რადიაქტიური ჩამდინარე წყლების ჩაშვება დაუშვებელია ისეთ ადგილებში, სადაც ისინი შეიძლება მოხვდეს ბუნებრივ გარემოში და საფრთხე შეუქმნას ცოცხალ ორგანიზმებს. აკრძალულია მათი გადინება შთანთქმელ ორმოებში, ჭაბურღილებში, სარწყავ მიწდვრებში და წყლის გუბურებში, რომლებიც გამოიყენება თევზის ან წყლის ფრინველთა გამრავლებისთვის.

8. რადიაქტიური ნარჩენების უსაფრთხო განთავსებისთვის არსებობს სპეციალურად გამოყოფილი ადგილები. იქ მოწყობილია ბეტონის კონსტრუქციები, რომლებიც განკუთვნილია როგორც მყარი, ისე თხევადი ნარჩენების დასამარხად. ასეთი

სასაფლაოები უზრუნველყოფს, რომ ნარჩენები საიმედოდ იზოლირდეს გარემოსგან და არ მოხდეს მათი გავრცელება.

9. მყარი რადიაქტიური ნარჩენების შეგროვება ხდება პლასტიკატებისაგან დამზადებულ ტომრებში, თხევადისა კი — ჰერმეტიკულ დახურულ სპეციალურ ჭურჭლებში. რაც შეეხება ისეთ რადიაქტიურ ნივთიერებებს, რომელთა ნახევარდაშლის პერიოდი 15 დღე-ღამემდეა, აყოვნებენ მანამ, სანამ მათი აქტიურობა არ გაუტოლდება ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას. ამის შემდეგ მყარი ნარჩენები შეიძლება გადაიყაროს ნაგავთან ერთად, ხოლო თხევადი კი გამჟებულ იქნას კანალიზაციაში.

10. რადიაქტიური ნარჩენების დასამარხი პუნქტები უნდა განლაგდეს ქალაქიდან არანაკლებ 20 კმ-ის დაშორებით, (ისეთ რაიონში, სადაც პერსპექტივაში მშენებლობა არ არის გათვალისწინებული) 1000 მეტრიანი სანიტარულ დამცავი ზონით.

მოკლე შენიშვნა:

ბოლო პარაგრაფებში განხილულია რადიაციული გამოსხივების სახეები, ერთეულები, ნორმები და ნარჩენების ლიკვიდაცია. აქვე შეგვიძლია განვიხილოთ და დავამატოთ IAEA (**International Atomic Energy Agency**)-ის სტანდარტები, რომლებიც განსაზღვრავს მაიონებელი გამოსხივების უსაფრთხოების გლობალურ ჩარჩოს.

ხაზგასმით აღვნიშნავთ, რომ IAEA-ის უსაფრთხოების სტანდარტები განსაზღვრავს მაიონებელი გამოსხივების კონტროლისა და ნარჩენების მართვის საერთაშორისო წესებს. ისინი მოითხოვენ, რომ ყველა საწარმოო და სამეცნიერო დაწესებულებამ, სადაც გამოიყენება რადიაქტიური წყაროები, შეიმუშაოს მკაფიო პროგრამა: დოზიმეტრული მონიტორინგი, პერსონალის ინდივიდუალური დაცვის საშუალებები და ნარჩენების უსაფრთხო შენახვა/ლიკვიდაცია. სახელმძღვანელოში აღწერილი პრინციპი — რაოდენობის მიხედვით დაცვა — პირდაპირ ეხმიანება IAEA-ის მოთხოვნას, რომ აქტიურობის შემცირება და ნარჩენების მკაცრი კონტროლი არის რადიაციული უსაფრთხოების საფუძველი.

6.15. ჩერნობილის ავარიის ზოგიერთი შედეგი

მოცემული ცნობები აღებულია ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის 2003-2005 წლების ჩერნობილთან დაკავშირებულ ექსპერტთა შეკრების მასალებიდან. შეფასებისათვის გამოყენებული იყო ხარისხიანი სამეცნიერო კვლევები მოცემული მიმართულებით და აგრეთვე **ატომური რადიაციის მოქმედების შესახებ** გაეროს სამეცნიერო კომიტეტის 2000 წლის მოხსენება. ამ უკანასკნელში კი გამოყენებული იყო უკრაინის, ბელორუსიისა და რუსეთის ფედერაციის მთავრობათა მოხსენებები.

ჩერნობილის ავარიის შემდეგ დარეგისტრირებული ლიკვიდატორების რიცხვი იყო 600 000 კაცი, რომელთაგან 240 000 მუშაობდა 1986-87 წლებში. 116 ათასი ადამიანი 2006 წელსვე გაასახლეს 30 კმ-იანი ზონიდან, ხოლო კიდევ 230 ათასი — მომდევნო წლებში. უკრაინის, ბელორუსიისა და რუსეთის ფედერაციის ტერიტორიაზე ამჟამად ცხოვრობს დაახლოებით 5 მლნ ადამიანი, სადაც რადიაქტიური ცეზიუმის ნალექების დონე

აჭარბებს 37 ათას დაშლას ყოველ კვადრატულ მეტრზე 37 კბკ/მ² (კილო-ბეკერელი). აქედან 270 ათასი კაცი ცხოვრობს რაიონებში, სადაც დაბინძურება აჭარბებს 555 კბკ/მ².

აღსანიშნავია, რომ საშუალოდ რადიაციის ბუნებრივი ფონი ისეთია, რომ ადამიანი წელიწადში ღებულობს 2,4 მზვ (მილი-ზივერტი) ეკვივალენტურ დოზას. აღნიშნულ საშუალო მაჩვენებელს აქვს ძალიან დიდი გადახრა, არის ისეთი რეგიონები მსოფლიოში, სადაც ბუნებრივად ადამიანი წელიწადში ღებულობს 20 მზვ ეკვივალენტურ დოზას. რადიაციის ასეთი მაღალი ბუნებრივი ფონის შესახებ არის ურთიერთგამომრიცხავი შეფასებები იმ მკვლევართა შორის, რომლებმაც კარგად გამოიკვლიეს აღნიშნული საკითხი და იმავე დროს აქვთ მაღალი კვალიფიკაცია. უფრო ზუსტად, კვლევები შეეხება მაღალ ბუნებრივ ფონთან მიახლოებულ ტექნოგენურ რადიაციას და ატომური ელექტროსადგურების ეკოლოგიური სისუფთავის შეფასებას.

აღნიშნული მონაცემების მიხედვით **მსოფლიო საშუალო ადამიანი** 20 წელიწადში ღებულობს 48 მზვ ეკვივალენტურ დოზას. 1986-87 წლებში მომუშავე 240 000 ლიკვიდატორმა ბუნებრივ ფონზე დამატებით მიიღო 100 მზვ-ზე მეტი ეკვივალენტური დოზა; 1986 წელს ევაკუირებულმა — 33 მზვ-ზე მეტი; 270 000 ადამიანმა, რომლებიც ცხოვრობენ რაიონებში, სადაც დაბინძურება აჭარბებს 555 კბკ/მ², 1986-2006 წლებში — 50 მზვ-ზე მეტი; დაახლოებით 5 მლნ ადამიანმა, რომლებიც ცხოვრობენ რაიონებში, სადაც დაბინძურებაა 37 კბკ/მ², იმავე პერიოდში — 20 მზვ. ეს ადამიანები ამჟამადც ღებულობენ რადიაციულ ფონის შესაბამის დოზას და მასთან მიახლოებულ დამატებით დოზას. შედარებისათვის აღვნიშნოთ, რომ მთელი სხეულის ტომოგრაფიული გამოკვლევისას ადამიანი ღებულობს 12 მზვ ეკვივალენტურ დოზას.

მაიონებელი გამოსხივების შთანთქმული დოზის საერთაშორისო ერთეულია გრეი, ხოლო ეფექტური დოზის ერთეული ზივერტი ითვალისწინებს შთანთქმული ენერგიის რაოდენობას, რადიაციის სახეს და ორგანიზმის მგრძნობელობას გამოსხივებაზე. არსებითად, ეს ორი ერთეული ერთმანეთისაგან განსხვავებულია. ჩერნობილის ავარიის უმეტესი შემთხვევისათვის შესაძლებელია მივიჩნიოთ, რომ ეს სიდიდეები დაახლოებით ერთმანეთის ტოლია.

გაეროს სამეცნიერო კომიტეტის მოხსენებაში აღნიშნულია, რომ ლიკვიდატორებიდან 134 ადამიანმა მიიღო განსაკუთრებით მაღალი დოზა, რომლებსაც დაუსვეს ღიაგნოზი — მწვავე სხივური დაავადება. მათგან 28 გარდაიცვალა იმავე წელს, ხოლო დანარჩენები მოგვიანებით.

ზემოაღნიშნულ 5 მლნ ადამიანთა პოპულაციაში კიბოთი დაავადება მომატებულია 0,6%-ით, ხოლო დანარჩენ ჯგუფებში 4-5-ით.

6.16. გამოსაყენებელი დაცვის საშუალებები

გამოსხივებისაგან დაცვისას გამოიყენება:

- **ობიექტური:** სტაციონარული და გადასატანი ეკრანები (მეტალური, ბეტონის, სპეციალური მასალებისაგან დამზადებული), მაეკრანირებელი მოწყობილობები,

რადიაციული ნარჩენების უსაფრთხო მართვა, სამუშაო დროის შეზღუდვა, უსაფრთხო მანძილის დაცვა.

- **ინდივიდუალური:** მაეკრანირებელი კოსტუმები, დამცავი სათვალეები, ხელთათმანები, პერსონალური დოზიმეტრები.

- **სუბიექტური:** თანამშრომელთა ინსტრუქტაჟი, კვალიფიკაციის ამაღლება, სწავლება, დოზიმეტრული მონიტორინგი, გამაფრთხილებელი პლაკატები, შუქსიგნალი, ჯანმრთელობის რეგულარული მონიტორინგი.

6.17. კითხვები

გამეორებისათვის მოკლე პასუხებით

1. **რა განსხვავებაა სახიფათო და მავნე გამოსხივებას შორის?**
სახიფათო იწვევს სწრაფ ტრავმას, მავნე — ხანგრძლივი ზემოქმედებით დაავადებას.
2. **რა არის ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ტალღური ბუნების მაჩვენებელი?**
ინტერფერენცია, დიფრაქცია, დისპერსია, პოლარიზაცია.
3. **რა არის კვანტური ბუნების მაჩვენებელი?**
გამოსხივების ენერგია გამოიხატება ფოტონებით.
4. **რა ფორმულით გამოიხატება ფოტონის ენერგია?**
$$\varepsilon = h\nu$$
5. **რა დიაპაზონშია უკიდურესად დაბალი სიხშირე?**
3–30 ჰც.
6. **რა არის ინტერფერენცია?**
ტალღების ვექტორული შეკრება, ამპლიტუდის ზრდა/შემცირება.
7. **რა არის დიფრაქცია?**
ტალღის გადახრა ნახვრეტში გავლისას.
8. **რა არის დისპერსია?**
სიჩქარის დამოკიდებულება ტალღის სიგრძეზე.
9. **რა არის სინათლის პოლარიზაცია?**
E და H ვექტორების ურთიერთმართობული განლაგება.
10. **რა არის რადიაციული წნევა?**
სხივური ენერგიის ზემოქმედება ზედაპირზე.
11. **რა პრინციპებით ხდება დასხივებისაგან დაცვა?**
რაოდენობა, დრო, მანძილი.
12. **რატომ ვერ აღიქვამს ადამიანი ელექტრომაგნიტურ ველს?**
გრძნობითი ორგანოებით არ აღიქმება.
13. **რა არის თბური ზღვარი?**
ინტენსიურობა, რომლის ზემოთ ორგანიზმი სითბოს ასიმილირებას ვეღარ ახდენს.
14. **რომელი ორგანოებია განსაკუთრებით მგრძნობიარე?**
თვალები, ტვინი, კუჭი.

15. რა გავლენას ახდენს გამოსხივება ნერვულ სისტემაზე?
ფუნქციის მოშლა, დაღლილობის შეგრძნება.
16. რა გავლენას ახდენს გამოსხივება გულ-სისხლძარღვთა სისტემაზე?
პულსის და წნევის ცვლილება.
17. რა არის სამრეწველო სიხშირის დიაპაზონი?
3–300 კჰც.
18. რა პარამეტრი განსაზღვრავს მავნე ზემოქმედებას?
ელექტრული ველის დაძაბულობა.
19. რა მნიშვნელობა აქვს ეკრანებს?
ამცირებენ გამოსხივების ინტენსიურობას.
20. რა არის ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ძირითადი წყაროები?
ანტენები, ტრანსფორმატორები, გენერატორები.
21. რა როლი აქვს ანტენებს?
ძირითადი დასხივების წყარო.
22. რა ფაქტორებზეა დამოკიდებული ანტენის სიმძლავრე?
სიმაღლე, ტიპი, გაძლიერება.
23. სად გამოიყენება სანტიმეტრული/მილიმეტრული ტალღები?
მეტეოროლოგიაში ღრუბლებისა და ჭექა-ქუხილის შესასწავლად.
24. რა ნორმებია დასხივების რეგლამენტირებისთვის?
დაძაბულობისა და დროის მიხედვით.
25. რა არის დასაშვები დაძაბულობა 8 სთ-ში?
 $E \leq 5$ კვ/მ.
26. რა არის მაეკრანირებელი მოწყობილობა?
დაცვის საშუალება გამოსხივების შესამცირებლად.
27. რა არის მაეკრანირებელი კოსტუმი?
სპეციალური ტანსაცმელი პერსონალის დასაცავად.
28. რა პრინციპით ხდება პერსონალის დაცვა რადიოსიხშირის ველებისაგან?
ეკრანირებით და ნორმების დაცვით.
29. რა არის რადიაციული გამოსხივების ძირითადი სახეები?
ალფა, ბეტა, გამა, რენტგენი.
30. ჩამოთვალეთ გამოსხივებასთან დაკავშირებული საერთაშორისო სტანდარტები.
ISO 31000, ISO 45001, ICNIRP, IAEA.

გამოსაყენებელი სტანდარტები:

ICNIRP — არაიონიზირებული გამოსხივება;
IAEA — რადიაციული უსაფრთხოება;
WHO — ჯანმრთელობის რეკომენდაციები.

7. სამუშაო ადგილების განათება

7.1. გზამკვლევი მეშვიდე თავისათვის

თეორიული ინტეგრაცია: სინათლე არის ელექტრომაგნიტური ტალღა, რომლის ტალღის სიგრძე ადამიანისთვის ხილულ დიაპაზონშია. თვალის ადაპტაცია, აკომოდაცია და კონვერგენცია ქმნიან ხედვის ფიზიოლოგიურ საფუძველს, რომელზეც განათების ნორმირება არის დაფუძნებული.

სტანდარტებთან ინტეგრაცია: ISO 8995-1 სამუშაო ადგილების განათება (Lighting of Work Places) ადგენს მინიმალური განათების დონეებს სამუშაოს ტიპისა და ვიზუალური ამოცანის სირთულის მიხედვით; აქცენტი კეთდება განათებულობის თანაბარ განაწილებაზე, დისკომფორტული სიკაშკაშის თავიდან აცილებაზე და მოიცავს საერთო და კომბინირებულ განათებას. ILO (International Labour Organization - შრომის საერთაშორისო ორგანიზაცია) და WHO (World Health Organization - მსოფლიო ჯანდაცვის ორგანიზაცია) ხაზგასმით აღნიშნავენ განათების ჰიგიენური მნიშვნელობის შესახებ თვალის გადაღლის, შეცდომების დაშვებისა და ტრავმატიზმის პრევენციისთვის.

პედაგოგიური ინტეგრაცია: მკითხველმა უნდა შეძლოს სინათლის ერთეულების (ლუქსი, ლუმენი, კანდელა) დაკავშირება ISO 8995-1 მოთხოვნებთან და საკუთარი ღარგის (ოფისი, საამქრო, საწყობი, სამშენებლო მოედანი) მაგალითებზე პრაქტიკული ამოცანების გადაწყვეტა.

მოკლე შენიშვნა: ISO 8995-1-ის შედარებით ფართო განმარტება და გამოყენება.

- მიზანი: უზრუნველყოს ვიზუალური ამოცანის შესაფერისი მინიმალური განათება და კომფორტი, უსაფრთხოების შენარჩუნებით.

- ძირითადი მოთხოვნები:

- მინიმალური განათება: ვიზუალური ამოცანის ზომისა და კონტრასტის მიხედვით, ტიპიურად 300–500 ლუქსი ოფისებში; 500–1000 ლუქსი ზუსტ სამუშაოებში.

- თანაბრობა: განათების თანაბრობის კოეფიციენტი ხშირად ≥ 0.7 სამუშაო ზედაპირზე.

- სიკაშკაშე: უნდა შემცირდეს პირდაპირი/არაპირდაპირი სიკაშკაშე; მაშუქების შერჩევა და მათი განლაგების დაზუსტება კრიტიკულად მნიშვნელოვანია ამ საქმეში.

- შერეული განათება: ბუნებრივი + ხელოვნური კომპოზიციით **ბნელი ზონების** გამორიცხვა.

- დაპროექტების ნაბიჯები:

- ამოცანის კატეგორიზება: უნდა განსაზღვროს ობიექტის ზომა (მმ) და ვიზუალური სირთულე.

- ნორმის არჩევა: შესაბამისი განათებულობის დონე ISO 8995-1 სტანდარტიდან.

- მეთოდი: სინათლის ნაკადის მეთოდი ან წერტილოვანი მეთოდი; შეამოწმე პულსაციის კოეფიციენტი ($<20\%$).
- განლაგება: საერთო განათება $\geq 10\%$ კომბინირებულ სისტემაში; ადგილობრივი სანათები ზუსტი ხედვისთვის.
- ხშირი შეცდომები: მხოლოდ განათებულობის მიღება მხედველობაში მისი თანაბრობისა და სიკაშკაშის კონტროლის გარეშე; პულსაციის უგულებელყოფა; ბუნებრივ განათებაზე ზედმეტი მინდობა.

7.2. სინათლე და მისი მნიშვნელობა

ნივთიერების მოლეკულები და ატომები, მათი გარეთა შრის ელექტრონების ენერგეტიკული მდგომარეობის შეცვლის მომენტში ხასიათდებიან ელექტრომაგნიტური გამოსხივებით. სინათლე აღნიშნული გამოსხივების ის ნაწილია, რომლის ტალღის სიგრძე იცვლება 0,4-0,8 მკმ-ის (მიკრომეტრის — მილიმეტრის მეთასხედი ნაწილის) დიაპაზონში.

დღის სინათლის პირობებში ადამიანის თვალი ყველაზე ადვილად შეიგრძნობს 0,555 მკმ, ანუ 5550 ანგსტრემი სიგრძის სინათლის ტალღას, ხოლო ხელოვნური განათებისას მაქსიმალური შეგრძნების ტალღის სიგრძეა 5070 ანგსტრემი. სინათლის ტალღები ზედაპირზე მოქმედებენ წნევით.

ელექტრომაგნიტური ტალღებისათვის დამახასიათებელი ელექტრული E და მაგნიტური H მდგენელები დღის სინათლისათვის განლაგებული არიან სხივების მიმართულების მართობულ სიბრტყეში და ერთმანეთის მიმართაც მართობული ორიენტაცია აქვთ.

საწარმოო შენობებისა და სამუშაო ადგილების რაციონალური განათება აუმჯობესებს შრომის სანიტარულ-ჰიგიენურ პირობებს, ამცირებს საწარმოო ტრავმატიზმის შემთხვევებს, ხელს უწყობს შრომის ნაყოფიერების ამაღლებასა და ზრდის წარმოების კულტურას.

არასაკმარისი განათება იწვევს თვალის მუდმივ დაძაბვას, რის შედეგადაც ადამიანი სწრაფად იღლება. ადამიანის გადაღლა მუშაობის დროს ყურადღების დაქვეითებისა და საწარმოო ტრავმის მიზეზია. იმავე შედეგამდე მიყვავართ გადაჭარბებულ განათებასაც. ნორმალურზე ძლიერი — კაშკაშა განათება, განსაზღვრულ პირობებში, განაპირობებს ადამიანის ორიენტაციის უნარის დასუსტებას და იწვევს ტრავმატიზმის პოტენციური საშიშროების გაზრდას.

თვალის ადაპტაცია და განათების მნიშვნელობა - ადამიანის თვალს აქვს უნარი შეეგუოს სხვადასხვა განათების პირობებს. ეს ორი მექანიზმით ხორციელდება:

- **ადაპტაცია** — გუგის გაფართოებისა და შევიწროების საშუალებით თვალის შეგუება სინათლის განსხვავებულ ინტენსივობასთან.
- **აკომოდაცია** — თვალის უნარი მკაფიოდ გაარჩიოს სხვადასხვა მანძილზე მდებარე საგნები.

თუ განათების სიმკვეთრე ხშირად იცვლება ან არ არის სათანადო, ეს არღვევს თვალის ადაპტაციის პროცესს. ხანგრძლივი მუშაობა არასათანადო განათებაში იწვევს სერიოზულ პრობლემებს: შეიძლება განვითარდეს კატარაქტა, ახლომხედველობა, ხშირი თავის ტკივილები და სხვა დაავადებები.

7.3. სინათლის დამახასიათებელი ერთეულები

სინათლის ძალა ეწოდება სინათლის ნაკადს, რომელსაც ასხივებს წერტილოვანი სინათლის წყარო ერთეულოვან (1 სტერადიანის ტოლ) სივრცულ კუთხეში:

$$I = \frac{F}{\omega}, \quad (7.1)$$

სადაც I არის სინათლის ძალა, კანდელა (კნ); F — სინათლის ნაკადი, ლუმენი (ლმ); ω — სივრცული კუთხე, სტერადიანი.

კანდელა — სინათლის ძალის ერთეულია. იგი განსაზღვრულია როგორც მონოქრომატული წყაროს მიერ გამოსხივებული სინათლე 540×10^{12} ჰერცის სიხშირეზე, როდესაც მოცემულ მიმართულებაში ენერგეტიკული ინტენსივობა შეადგენს ვატს სტერადიანზე.

ლუმენი — სინათლის ნაკადის ერთეულია. იგი შეესაბამება იმ ნაკადს, რომელიც წარმოიქმნება 1 კანდელას ტოლი სინათლის ძალის მოქმედებით 1 სტერადიანი სივრცული კუთხის ფარგლებში.

პრაქტიკული მაგალითები:

- 60 ვატიანი ვარვარის ნათურა წარმოქმნის დაახლოებით 710 ლუმენს.
- 100 ვატიანი ვარვარის ნათურა — დაახლოებით 1350 ლუმენს.

განათებულობა ეწოდება მოცემულ ზედაპირზე დაცემული სინათლის ნაკადის ზედაპირულ სიმკვრივეს:

$$E = \frac{F}{S}, \quad (7.2)$$

სადაც E არის განათებულობა, ლუქსი (ლქ); S — ზედაპირის ფართობი, მ².

ამგვარად განათებულობა იზომება ლუქსებში (1 ლქ = 1 ლმ/1 მ²). ერთი ლუქსი არის 1 მ² ფართობზე თანაბრად განაწილებული 1 ლუმენი სინათლის ნაკადი.

წერტილოვანი წყაროს მიერ ნებისმიერი დახრილობის ბრტყელ ზედაპირზე შექმნილი გამოსხივების გაანგარიშება შესაძლებელია ფორმულით:

$$E = \frac{F \cos \alpha}{r^2}, \quad (7.3)$$

სადაც, განმარტებული სიდიდეების გარდა α არის სინათლის ნაკადის მიმართულებასა და ზედაპირის ნორმალს შორის შექმნილი კუთხე; r — სინათლის წყაროდან გასანათებელი ზედაპირის დაშორება, მ.

სინათლის სიკაშკაშე არის მნათი სიბრტყის გამოსხივების ზომის მაჩვენებელი. სიკაშკაშე განისაზღვრება ფორმულით:

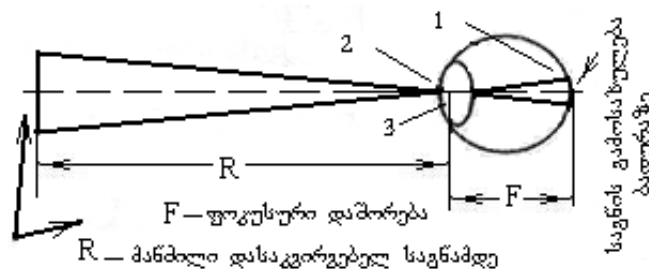
$$B = \frac{I}{S}, \quad (7.4)$$

სადაც, განმარტებული სიდიდეების გარდა B არის სინათლის სიკაშკაშე; S — თვალით ხილვადი მოკაშკაშე ზედაპირის ფართობი, m^2 . (7.4) ფორმულიდან ჩანს, რომ სიკაშკაშის განზომილებაა კანდელა/ m^2 .

სინათლის ინტენსიურობა ეწოდება ელექტრომაგნიტური ტალღების ნაკადს, რომელიც მისი გავრცელების მიმართულების პერპენდიკულარულ სიბრტყეში გადის დროის ერთეულში. ინტენსიურობა ტალღის ამპლიტუდის კვადრატის პროპორციულია.

7.4. ადამიანის თვალის აგებულება

თვალი რთული ოპტიკური სისტემაა (ნახ. 7.1). რომლის ოპტიკური ნაწილი შედგება ორმხრივამოხსნეილი ლინზის – ბროლისა და მის გარსზე არსებული დიფრაგმიანი ხვრელის – გუგისაგან. თვალის ფსკერის ძირითადი ნაწილია სინათლის მგრძნობიარე ბადურა, რომელზედაც ბროლი აფიქსირებს თვალით დანახული ნივთების შემცირებული ზომის, გადაბრუნებულ გამოსახულებას. ბადურა რთული აგებულებისაა და შედგება სინათლის მიმღები დეროების, კოლბებისა და ნერვული უჯრედებისაგან. თვალში შეღწეული სინათლე შლის ბადურის ფოტოქიმიურ ნივთიერებებს. დაშლის პროდუქტების გარკვეული კონცენტრაცია აღიზიანებს დეროებში და კოლბებში მყოფ ნერვულ დაბოლოებებს.



ნახ. 7.1. თვალი, როგორც ოპტიკური სისტემა:
1 – ბადურა; 2 – გუგა; 3 – ბროლი.

წარმოქმნილი იმპულსები მხედველობითი ნერვის მეშვეობით ხვდებიან თავის ტვინის მხედველობით ცენტრში, რის შედეგადაც ადამიანი ხედავს ნივთის ფერს, ფორმას და ზომას. ბადურა შედგება 130 მილიონი დეროსაგან და 7 მილიონი კოლბისაგან. ფერად აღქმას განაპირობებენ კოლბები, ხოლო დეროების მიერ ფერის აღქმა არ ხდება.

ობიექტის აღსაქმელად თვალის შეგუება ხორციელდება სამი გზით: 1. აკომოდაციით – ორივე თვალის ბროლის სიმრუდის ისე შეცვლით, რომ ნივთის გამოსახულება მოექცეს თვალის ბადურის სიბრტყეში; 2. კონვერგენციით – ორივე თვალის დერძების ისე შემობრუნებით, რომ მოხდეს მათი გადაკვეთა დასათვალიერებელ ობიექტზე; 3. ადაპტაციით – თვალის შეგუებით განათების მოცემულ დონესთან. ადაპტაციის პროცესი გუგის ფართობის შეცვლასთანაა დაკავშირებული.

აღნიშნულის ილუსტრირება შეიძლება მარტივი ცდების მიხედვით.

აკომოდაცია. შეხედეთ 1-2 წუთის განმავლობაში შორ ობიექტს (ხის ტოტი, ანძა და ა.შ.), შემდეგ სწრაფად გადაიტანეთ მზერა ტექსტზე.

ადაპტაცია. წიგნის კითხვისას გამორთეთ ხელოვნური განათება ან შეამცირეთ ისე, რომ მკვეთრად შემცირდეს ზედაპირის განათებულობა. ყურადღება მიაქციეთ, რომ დროის მონაკვეთის გავლის შემდეგ შესაძლებელი ხდება წაკითხვა. მხედველობის ადაპტაციისათვის საჭირო დრო დამოკიდებულია განათების შეცვლის ხარისხზე. 5-10-ჯერ სიკაშკაშის შეცვლისას ადაპტაცია მეყსეულად ხდება.

7.5. სათავსოთა განათების სახეობები

ყველა ნაგებობის, მათ შორის საწარმოო შენობების, განათება შეიძლება იყოს ბუნებრივი, ხელოვნური და შეთავსებული. **შენობათა ბუნებრივი განათება** ეწოდება შენობის შიდა სივრცის განათებას პირდაპირი ან არეკლილი მზის სხივებით, რომლებიც აღწევენ მათში ფანჯრებიდან ან სხვა ღიობებიდან. აღნიშნული ღიობები სპეციალურად უნდა მოეწყოს განათების ინტერესებიდან გამომდინარე. ნაგებობები შესაძლებელია ბუნებრივად განათდეს ჭერიდან, კედლებიდან ან ორივე ელემენტიდან. ღამის საათებში ან ისეთ შემთხვევაში, როცა დღის განათება საკმარისი არაა, აწყობენ ხელოვნურ განათებას.

ხელოვნური საწარმოო განათება გათვალისწინებულია ყველანაირი ნაგებობის ან ღია უბნისათვის, სადაც ხდება მუშაობა, ხალხის მიმოსვლა და სატრანსპორტო საშუალებების მოძრაობა. ხელოვნური განათების მოსაწყობად გამოიყენება ელექტრო-ლი - ვარვარის, აირიანი ან ვერცხლისწყლიანი ნათურები. საწარმოო დანიშნულების გარდა ხელოვნური განათება შესაძლებელია გამოყენებული იქნეს ავარიულ შემთხვევაში, აგრეთვე საევაკუაციო და დაცვითი მიზნებისათვის.

შეთავსებული განათება გამოიყენება მაშინ, როცა დღის განათება საკმარისი არაა და ამატებენ ხელოვნურ განათებას უშუალოდ სამუშაო ადგილებზე.

ავარიული განათება გამოიყენება საწარმოო განათების ავარიული გამორთვის შემთხვევაში შეფერხების ასაცილებლად და მუშაობის გასაგრძელებლად. ავარიულ განათებას აწყობენ იმ შემთხვევაში, თუ საწარმოო განათების გამორთვისას მანქანა-დანადგარებზე ან ტექნოლოგიურ ხაზებზე მოსალოდნელია ტოქსიკური, ფეთქებადი და სხვა მავნე ნივთიერებების გამოყოფა ან პირდაპირ სავარაუდოა აფეთქება ან ხანძარი. ავარიული განათების მოწყობა აგრეთვე აუცილებელია ისეთ ობიექტებზე, როგორებიცაა ელექტროსადგურები, რადიო- და ტელეგადაცემისა და კავშირგაბმულობის კვანძები, სადიდპეტრო პუნქტები, წყალსადენის, კანალიზაციის და ვენტილაციის ისეთი სისტემები, რომელთა გამორთვა დიდ ზიანს მოუტანს საზოგადოებას.

საევაკუაციო განათებას აწყობენ საწარმოო განათების ავარიული გამორთვის შემთხვევის დროს, შენობებიდან ხალხის ევაკუაციისათვის. ეწყობა კიბეებზე და ისეთ ადგილებში, სადაც ადამიანების გავლა შედარებით სახიფათოა. საევაკუაციო განათება

ეწყობა იმ შემთხვევაში, თუ ადამიანების რიცხვი 50 ან მეტია, ხოლო მინიმალური განათებულობა შეადგენს 20 ლუქსს.

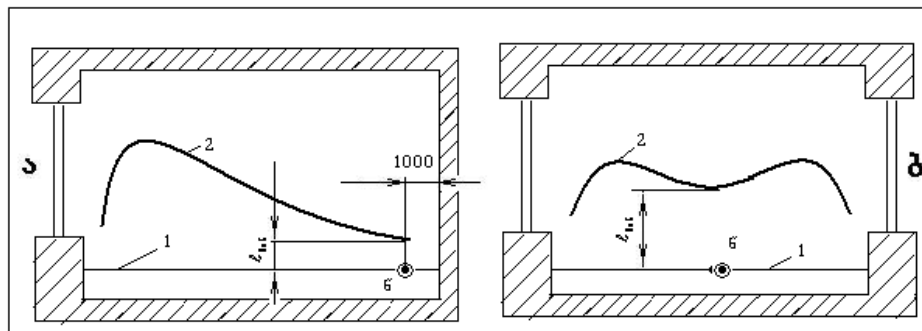
დაცვითი განათება ემსახურება ღამის პერიოდში საწარმოო შენობების ან ნაგებობების განათებას არასამუშაო დროს, მასზე მეთვალყურეობის განხორციელების მიზნით და უნდა მოეწყოს დასაცავი ობიექტის საზღვრებზე.

7.6. სათავსოთა ბუნებრივი განათება

სათავსოს რომელიმე წერტილის ბუნებრივი განათების ხარისხის მაჩვენებელია ბუნებრივი განათებულობის კოეფიციენტი (ბგკ), რომელიც გამოისახება პროცენტებში, უჩვენებს ღია ცის ქვეშ ბუნებრივი განათების რა ნაწილს შეადგენს სამუშაო ადგილის განათება და განისაზღვრება ფორმულით:

$$e = 100 \frac{E_{\text{გ}}}{E_{\text{გ}}}, \quad (7.5)$$

სადაც e არის ბუნებრივი განათებულობის კოეფიციენტი, %; $E_{\text{გ}}$ — მზის პირდაპირი ან არეკლილი სხივებით განპირობებული განათებულობა რაიმე სიბრტყეზე, ლქ; $E_{\text{გ}}$ — მზის სხივებით განპირობებული განათებულობა ღია გარემოში ანალოგიურ სიბრტყეზე, ლქ.



ნახ. 7.2. ბგკ-ის განაწილების სქემები ცალმხრივი და ორმხრივი განათებისას:
ა - ცალმხრივი გვერდითი განათებისას; ბ - ორმხრივი გვერდითი განათებისას; 1 - სამუშაო ზედაპირის ან იატაკის დონე; 2 - ბგკ-ის ცვალებადობის ხასიათი მოცემულ სიბრტყეში; h_n - ბგკ-ის მინიმალური რიცხვითი სიდიდე; 1000 - წერტილი, რომლისთვისაც ხდება ბგკ-ის მინიმალური რიცხვითი სიდიდის ნორმირება.

ბუნებრივი განათება მნიშვნელოვნად განსხვავდება ხელოვნური განათებისაგან. პირველ რიგში განსხვავება გამოხატულია სინათლის სხივების დიფუზიით, რაც სასარგებლოა ნორმალური სამუშაო პირობების უზრუნველსაყოფად. ადამიანის ორგანიზმისათვის აგრეთვე სასარგებლოა ულტრაიისფერი სხივები, რომლებსაც შეიცავს ბუნებრივი სინათლე. ბუნებრივი განათება სათავსოში შესაძლებელია მოეწყოს გვერდითი განათების, ზედა განათებისა და კომბინირებული განათების წესით.

სათავსოში ცალმხრივი გვერდითი ბუნებრივი განათებისას ნორმირდება ბგკ-ის საშუალო მნიშვნელობა წერტილში, რომელიც სასინათლო ღიობებიდან ყველაზე მეტად

დაცილებული კედლისაგან 1 მეტრის მანძილზე მდებარეობს. **ნ-წერტილს** მონიშნავენ შენობის დამახასიათებელი ჭრილის ვერტიკალურ სიბრტყეში კედლიდან 1 მ-ით მოშორებით, იატაკზე ან სამუშაო ადგილის ზედაპირზე (ნახ 7.2, ა).

ორმხრივი განათებისას ბგკ-ის მინიმალური მნიშვნელობა ნორმირდება შენობის შუა წერტილში. ამ შემთხვევაში **ნ-წერტილს** მონიშნავენ მახასიათებელი ჭრილის ვერტიკალურ სიბრტყეში იატაკზე ან სამუშაო ადგილის ზედაპირზე (ნახ 7.2, ბ).

ქალაქებში და დასახლებულ პუნქტებში ქუჩების, გზებისა და მოედნების განათების დაპროექტებისას უნდა ვიხელმძღვანელოთ ზედაპირების საშუალო სიკაშკაშის ნორმებით. საზოგადოდ აღნიშნული ნორმების დადგენა საკმაოდ დიდ სირთულეს წარმოადგენს, რადგან ბუნებრივი განათების დონე არსებითად არის დამოკიდებული გეოგრაფიულ განედზე, წელიწადის დროზე, ცის მდგომარეობაზე (მოწმენდილი, ღრუბლიანი), დღე-ღამის საათებზე. ამიტომ ნორმების არსებობის პირობებში ბუნებრივი განათების განსაზღვრა ეფუძნება სასინათლო დიობების ფართობის განსაზღვრას.

შესაძლებელია სათავსოთა ზედა და გვერდითი ბუნებრივი განათების კომბინაცია. აღნიშნულ შემთხვევებში დიობების ფართობების გაანგარიშება განსხვავებული სახისაა. ამ შემთხვევაში არ ხდება ბგკ-ის მინიმალური რიცხვითი სიდიდის ნორმირება. ამ მიზნისათვის გამოიყენება ბგკ-ის საშუალო მნიშვნელობა, ხოლო ამ უკანასკნელის შესაფასებელი წერტილების მონიშვნა ხდება შენობის ვერტიკალური ჭრილისა და იატაკის (პირობითი სამუშაო ზედაპირის) გადაკვეთაზე. ამასთან პირველი და ბოლო წერტილები აიღება კედლებიდან 1 მ-ის დაშორებით.

მოკლე შენიშვნა: ISO 8995-1 სტანდარტში სიკაშკაშე (luminance) არის ძირითადი პარამეტრი, რომელიც განსაზღვრავს ზედაპირის ნათებას განზომილებით კდ/მ² (კანდელა კვადრატულ მეტრზე).

- სტანდარტების მსგავსება: ISO და WHO ორივე სტანდარტი ხაზგასმით აღნიშნავენ, რომ ზედმეტი სიკაშკაშე (ისე როგორც არასაკმარისი) იწვევს თვალის დაღლას და ტრავმატიზმის რისკს.

- სტანდარტების განსხვავება: ISO განსაზღვრავს რაოდენობრივ ზღვარს (მაგ., ≤ 200 კდ/მ² სამუშაო ზედაპირზე), ხოლო WHO ყურადღებას ამახვილებს ჯანმრთელობის შედეგებზე (კატარაქტა, თავის ტკივილი).

- პრაქტიკული შედეგი: სპეციალისტმა უნდა შეძლოს ISO-ს ციფრული ნორმების (მათ შორის ზემოაღნიშნულის გარდა: მინიმალური განათება — 300–500 ლქ ოფისებში, 500–1000 ლქ — ზუსტ სამუშაოებში) დაკავშირება WHO-ს ჯანმრთელობის რეკომენდაციებთან, რათა შექმნას უსაფრთხო სამუშაო გარემო.

7.7. სინათლის ხელოვნური

წყაროები

როგორც აღინიშნა, ხელოვნური განათების მოსაწყობად გამოიყენება ელექტრული ნათურები რომლებიც შესაძლებელია იყოს ვარვარის, ლუმინესცენციური და

ვერცხლისწყლიანი. მათი თვისებების ანალიზი საშუალებას იძლევა გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნები: 1. ვოლფრამის ძაფიანი ვარვარის ნათურები იძლევიან უწყვეტ სპექტრს. სარკული ტიპის ნათურების გამოკლებით, მათ მუშაობაზე გარემო ტემპერატურა და ტენიანობა პრაქტიკულ გავლენას არ ახდენს. 2. ლუმინესცენციური ნათურებით სინათლის გადაცემა გაცილებით ინტენსიურია, რაც ერთნაირი სიმძლავრის შემთხვევაში უზრუნველყოფს განათების უფრო მაღალ დონეს. ამავე დროს ლუმინესცენციური ნათურების მუშაობის ვადა 2,5-ჯერ მეტია, ვიდრე ვარვარის ნათურებისა.

ამგვარად, ლუმინესცენციურ ნათურებს აქვთ რიგი უპირატესობანი ვარვარის ნათურებთან შედარებით.

ლუმინესცენციური ნათურა იძლევა სინათლის უფრო მძლავრ ნაკადს სხვა თანაბარ პირობებში. ლუმინესცენციური ნათურების მომსახურების ვადა შეადგენს 10000 სთ-ს, ხოლო ვარვარის ნათურებისა — 1000 სთ. ლუმინესცენციურ ნათურებს აქვთ მკვეთრად დაბალი სიკაშკაშე. მათი გამოყენება შეიძლება ჰაერის +5-150 °C ტემპერატურის დიაპაზონში. დადგენილია, რომ ყველაზე კაშკაშა სინათლე გამოსხივდება ჰაერის 20-30 °C ტემპერატურაზე, ანუ - სამუშაო ტემპერატურათა დიაპაზონში.

ლუმინესცენციური ნათურების ხარვეზები შემდეგია: სინათლის ნაკადის მნიშვნელოვანი შემცირება მომსახურების ვადის ბოლოს, დაახლოებით 60%-მდე; სინათლის ნაკადის პულსაცია და გარემო ტემპერატურის გავლენა მათ მუშაობაზე. აგრეთვე გასათვალისწინებელია ლუმინესცენციური ნათურების მწყობრიდან გამოსვლის შემდეგ მათი უტილიზაციის საკითხები. სინათლის ნაკადის პულსაციის შედეგად წარმოიქმნება ე.წ. სტრობოსკოპული ეფექტი, რომელიც ზრდის ტრავმატიზმის შემთხვევებს.

ნაკლია ისიც, რომ ლუმინესცენციური ნათურების ამოქმედებისათვის საჭირო ძაბვა უფრო მაღალია, ვიდრე ძაბვა ქსელში, ამიტომ მათ ჩასართავად გამოიყენება რთული გამშვები მოწყობილობა. აღნიშნული და სხვა გარემოებების გამო ლუმინესცენციური ნათურის ღირებულება მნიშვნელოვნად აღემატება ვარვარა ნათურის ღირებულებას.

მაშუქები გამოიყენება სინათლის ნაკადის გადანაწილებისათვის გასანათებელ ზედაპირებზე, თვალის დასაცავად დიდი სიკაშკაშის სინათლის ზემოქმედებისაგან, სინათლის წყაროს დასაცავად გაჭუჭყიანების ან მექანიკური დაზიანებისაგან, სახანძრო უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად, ნათურის ჩასამაგრებლად.

შუქგანაწილების ხასიათის მიხედვით ერთმანეთისაგან განსხვავებულია შემდეგი ტიპის მაშუქები: პირდაპირი, გამბნევი და ამრეკლავი. მაშუქის შერჩევა დამოკიდებულია სათავსში შესასრულებელი სამუშაოს ხასიათზე და არეკვლის კოეფიციენტზე.

კონსტრუქციული შესრულების მიხედვით არსებობს შემდეგი სახის მაშუქები: ღია, დაცული, მტვერმუდღწევი, მტვერდამცავი, აფეთქებაუსაფრთხო და სხვ. დანიშნულების მიხედვით მაშუქი შესაძლებელია იყოს საერთო და ადგილობრივი განათების.

ვარვარის ნათურებისათვის უფრო გავრცელებულია პირდაპირი მაშუქები. შესრულების ტიპის მიხედვით ღია, დაცული და უნივერსალური.

აფეთქებასაფრთხიანი სათავსებისათვის გამოიყენება აფეთქებაუსაფრთხო 4D-100 ტიპის მაშუქები, რომელთა კონსტრუქცია ითვალისწინებს მაშუქის შიგნით აფეთქების ლოკალიზაციას.

დაბალი მტვრიანობისა და ნორმალური ტენიანობისას ლუმინესცენციური ნათურებიდან საწარმოო სათავსების განათებისათვის გამოიყენება ღია ტიპის მაშუქი, თუ არის დიდი რაოდენობით მტვერი და მაღალი ტენიანობა - დახურული ტიპის მაშუქი.

იმის მიუხედავად, რომ ვარვარის ნათურების გამოყენების შესაძლებლობა მითითებულია ნორმებში, მაინც უპირატესობა ლუმინესცენციურ ნათურებს უნდა მიეცეს, რადგანაც მათ მარგი ქმედების მაღალი კოეფიციენტი გააჩნიათ და უზრუნველყოფენ განათების უფრო მაღალ ეკონომიურობას. ვარვარა ნათურების გამოყენება საწარმოო შენობებში შეიძლება სინათლის ლუმინესცენციური წყაროს არარსებობის ან ტექნიკური პირობების უქონლობის შემთხვევაში.

ეკონომიურად უფრო ხელსაყრელია ვარვარის ნათურების გამოყენება მაგალითად, მანქანებისა და მექანიზმების სადგომ მოედნებზე, მასალების საწყობებში ღია მოედნებზე, ავტომანქანების ღია სადგომებზე, ამწებზე და სხვა ადგილებში, სადაც განათება გამოიყენება შეზღუდული დროით.

როგორც ლუმინესცენციური, ისე ვარვარის ნათურები ხასიათდება სიმძლავრით (P), სინათლის ნაკადით (F), სინათლის ძალის განაწილებით სივრცეში, სინათლის გადაცემის კოეფიციენტით (η).

ფართოდ გავრცელებული ვარვარის ნათურების პარამეტრების რიცხვითი მნიშვნელობები 220 ვ ძაბვისათვის მოცემულია 7.1 ცხრილში.

ცხრილი 7.1

ვარვარის ნათურების პარამეტრები

პარამეტრები	ნათურების პარამეტრების მნიშვნელობები				
სიმძლავრე, ვტ	40	60	100	150	200
სინათლის ნაკადი, ლმ	380	650	1000	2000	2920
სინათლის გადაცემის კოეფიციენტი, ლმ/ვტ	9,5	10,8	11,6	13,3	14,6

სინათლის გადაცემის კოეფიციენტი (η):

$$\eta = \frac{F}{P}, \quad (7.6)$$

სინათლის გადაცემის კოეფიციენტი, როგორც 7.1 ცხრილიდან ჩანს, უფრო მაღალია დიდი სიმძლავრის ვარვარის ნათურებისათვის.

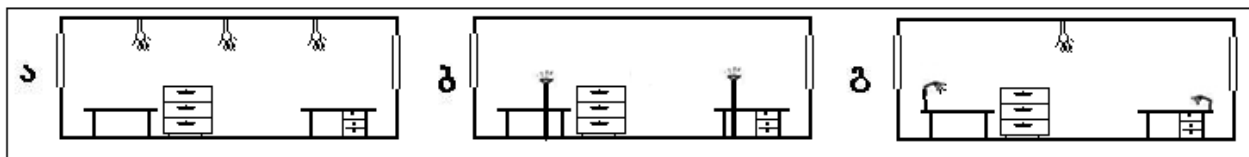
ლუმინესცენციური ნათურების სინათლის გადაცემის კოეფიციენტი გაცილებით აღემატება ვარვარის ნათურებისათვის იმავე სიდიდეს. იგი დამოკიდებულია ნათურის სიმძლავრეზე და ლუმინოფორის ფერზე.

7.8. ხელოვნური განათება

საწარმოო შენობების განათების დროს გამოიყენება როგორც საერთო, ისე ადგილობრივი (ლოკალური) და კომბინირებული განათება. საერთო განკუთვნილია მთელი შენობის განათებისათვის, ამიტომ მისი სანათები (მაშუქები), ჩვეულებისამებრ, მოთავსებულია შენობის ჭერში ან სამუშაო ადგილიდან საკმაოდ შორ მანძილზე (ნახ. 7.5). ადგილობრივი განათების შემთხვევაში სანათები განლაგებულია სამუშაო ადგილების სიახლოვეს.

საერთო განათების სისტემაში განათება პრაქტიკულად მთელ სამუშაო სივრცეში თანაბარია, ხოლო სანათების დამორება ერთნაირია. ასეთი სისტემა რეკომენდებულია ისეთ საწარმოო შენობებში, რომლებშიც მთელ ფართობზე სრულდება ერთნაირი ხასიათის სამუშაოები, მაგალითად, ელექტრო-სარემონტო, სადურგლო, სამონტაჟო და სხვ.

ზოგიერთი სამუშაო ადგილის დამატებითი განათების აუცილებლობის შემთხვევაში მიმართავენ ადგილობრივი განათების მოწყობას, რაც ხორციელდება სანათების დადგმით უშუალოდ სამუშაო ადგილის მახლობლად. თუ სამუშაო ადგილი დიდი ფართობით ხასიათდება ან დასამუშავებელი მასალაა დიდი ზომის, მაშინაც სანათების ლოკალური განლაგების სქემა გამოიყენება უშუალოდ სამუშაოს შესრულების ადგილზე ნახ, 7.3-ის შესაბამისად.



ნახ. 7.3. საწარმოო შენობების განათების ილუსტრაცია:

ა - საერთო; ბ - ადგილობრივი (ლოკალური); გ - კომბინირებული.

კომბინირებული განათების სისტემა შედგება სანათებისაგან, რომლებიც განკუთვნილია მთლიანი ფართობის საკმარისი განათების შესაქმნელად და ადგილობრივი განათების სანათებისაგან, რომლებიც მდებარეობენ უშუალოდ სამუშაო ადგილების ზემოთ. კომბინირებული განათების გამოყენება მიზანშეწონილია ზუსტი მხედველობითი სამუშაოების საწარმოო შენობებში და ასევე იმ შემთხვევებში, როცა ზედაპირები მდებარეობენ ვერტიკალურად ან დახრილად. მაგალითად, საზეინკლო-მექანიკურ განყოფილებაში ხდება დაზგების დამატებითი ადგილობრივი განათება. დიაგნოსტიკურ ხაზზე შეიძლება ცალკეული უბნების დამატებითი განათება.

კომბინირებული განათების დროს შენობაში სინათლის ხელსაყრელი განაწილებისათვის განათების სახეობებს შორის, საერთო განათების სანათებმა სამუშაო ადგილებზე უნდა შექმნან ნორმირებული განათების არანაკლებ 10%.

სამუშაო ზედაპირის მინიმალური განათება დამოკიდებულია განსასხვავებელი ობიექტის სიდიდეზე. განსხვავების ობიექტად აღებულია განსახილველი საგნის

ცალკეული ნაწილი, რომელიც ნათლად უნდა ჩანდეს დეტალებზე მუშაობის პროცესში (ცხრილი 7.3).

ზოგ შემთხვევაში განათება უნდა გაძლიერდეს ან შემცირდეს, კერძოდ, ერთი საფეხურით იმატებს განათება დაძაბული მხედველობითი სამუშაოს დროს ნახევარ დღეზე მეტი დროის განმავლობაში. აგრეთვე ტრავმატიზმის მომატებული საშიშროების შემთხვევაში, განსახილველი საგნიდან 0,5 მ-ზე მეტი დაცილების დროს, მაშინ, როცა არასაკმარისია ბუნებრივი განათება.

ცხრილი 7.3

ბგკ-ის სიდიდეები ბუნებრივი განათებისას და ხელოვნური განათების ნორმები

განსასხვავებელი ობიექტის ზომები, მმ	ბგკ-ის სიდიდეები, %		ხელოვნური განათებულობა, ლქ	
	ზედა (ზედა და გვერდითი) განათებისას	გვერდითი განათებისას	საერთო	კომბინირებული
< 0,15	10	3,5	400-1500	1500-5000
0,15-0,30	7	2,5	300-1250	1000-4000
0,30-0,50	5	2,0	200-500	400-2000
0,5-1,0	4	1,5	150-300	300-750
1,0-5,0	3	1,0	100-200	200-300
> 5,0	2	0,5	150	—
მუდმივი დაკვირ. საწ. პროცესზე	1	0,3	75	-
პერ. დაკვირ. საწ. პროცესზე*	0,5-0,7	0,1-0,2	30-50	-

***მნიშვნა** - უმცირესი სიდიდეები აიღება იმ შემთხვევაში, თუ სათავსოში ადამიანების მუდმივად ყოფნა საჭირო არაა.

სამუშაო ადგილების ლუმინესცენციური ნათურებით განათების დროს მხედველობაშია მისაღები ის ფაქტი, რომ მათთვის დამახასიათებელია სინათლის ნაკადის პულსაცია დროში, რომელიც ფასდება პულსაციის კოეფიციენტით (K_p , %). აღნიშნული კოეფიციენტის გაანგარიშება შესაძლებელია ფორმულით:

$$K_p = \frac{E_{max} - E_{min}}{2E_{საშ}} \cdot 100, \quad (7.7)$$

სადაც E_{max} და E_{min} შესაბამისად არის განათების მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობები; $E_{საშ}$ – განათების საშუალო მნიშვნელობა იმავე პერიოდისათვის.

დღის განათების თეთრი სინათლის პულსაცია იწვევს მხედველობის გადაღლას, ასევე მოძრავი და მბრუნავი საგნების აღქმის დამახინჯებას, რომელიც განსაკუთრებით არასასურველია საწარმოო პირობებში. ამიტომ პულსაციის კოეფიციენტის სიდიდე რეგლამენტირდება ნორმით. საწარმოოთა უმეტესობისათვის ის უნდა იყოს 20%-ზე ნაკლები.

განათების გაანგარიშების ყველა გამოსაყენებელი ხერხი შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად: პირველია სინათლის ნაკადის კოეფიციენტის გამოყენების მეთოდი ან კუთრი სიმძლავრის მეთოდი, რომელიც გულისხმობს სინათლის ნაკადის კოეფიციენტით

სარგებლობას. აღნიშნული მეთოდები გამოიყენება თანაბრად განათებული ჰორიზონტალური ზედაპირების ანგარიშისათვის. მეორე ჯგუფში შედის წერტილოვანი მეთოდი, რომლის გამოყენება მიზანშეწონილია მომატებული არათანაბარი განათების მქონე ზედაპირების გაანგარიშების შემთხვევისათვის, ასევე ვერტიკალური და დახრილი ზედაპირების განათების გამოსათვლელად. სიზუსტისა და სიმარტივის თვალსაზრისით ორივე მეთოდს ერთნაირი ღირსებები აქვთ, თუმცა წერტილოვანი მეთოდი ხშირად შესამოწმებლად უფრო გამოიყენება, რადგან იგი ნაგებობების ფართობზე განათების განაწილების ანალიზის საშუალებას იძლევა.

7.9. ხელოვნური განათების გაანგარიშება

ხელოვნური განათების განსაზღვრის დროს აუცილებელია შეირჩეს სინათლის წყაროს სახე, განათებულობის სისტემა, სანათის ტიპი, განათებულობის ნორმა, სანათების განლაგება. ამის შემდეგ საჭიროა განათების გაანგარიშება და სანათების რიცხვისა და მათი განლაგების საბოლოოდ დაზუსტება. სანათის ტიპი შეირჩევა წარმოების ტექნოლოგიური პირობების მიხედვით, ხოლო მისი კონსტრუქციული შესრულება უნდა ეთანადებოდეს აღებული სათავსის გარემო პირობებს.

საერთო განათების სისტემაში ლამპრების განათება სათავსში დამოკიდებულია ლამპრის ტიპზე და მისი ჩამოკიდების საანგარიშო h – სიმაღლეზე (h არის მანძილი ლამპრიდან სამუშაო ზედაპირამდე). ლამპრის ჩამოკიდების სიმაღლე კი დამოკიდებულია სხვადასხვა ფაქტორებზე, კერძოდ, სათავსის სიმაღლეზე, ლამპრის ტიპზე, დაცვის კუთხის სიდიდეზე, განათების სისტემაზე, ნათურის სიმძლავრეზე და სხვ. ასე, მაგალითად, საერთო განათების ლამპრის იატაკამდე ჩამოკიდების უმცირესი სიმაღლე H_1 (ნახ. 7.4), როდესაც ვარჯარის ნათურის სიმძლავრე 200 ვატამდეა, აიღება 2,5-4,0 მ, ხოლო, როდესაც ნათურის სიმძლავრე 200 ვატს აღემატება – $H_1 = 3-6$ მ.

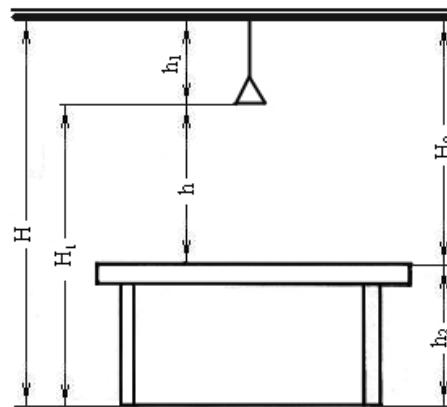
რაც შეეხება ლუმინესცენციური ლამპრებისათვის ნათურების რიცხვს, ოთხამდე ნათურისათვის $H_0 = 2,6-4,0$ მ, ხოლო ოთხი და მეტი ნათურის შემთხვევაში $H_1 = 3,2-4,5$ მ. ლამპრებს შორის მანძილი (L) დამოკიდებულია ლამპრის სახეობაზე და მათი განლაგების ხასიათზე. განათებისათვის საჭირო პარამეტრები გამოითვლება მარტივი ფორმულებით: $L/h = 1,4-1,8$, როდესაც ლამპრები პარალელურადაა განლაგებული; $L/h = 1,8-2,5$, როდესაც ლამპრები ჭადრაკულადაა; $\ell = (0,25-0,3)$, როდესაც სამუშაო პროცესი უშუალოდ კედელთან ხდება; ℓ არის მანძილი კედლიდან ლამპრის ცენტრამდე, მ; $H_0 = H - h_2$; $h_1 = H_0 - h$; $H_1 = (0,20 - 0,25)H_0$; $H_0 = h + h_1$; სადაც H არის სათავსის სიმაღლე, მ; H_0 – მანძილი ქერიდან სამუშაო ზედაპირამდე, მ; h_1 – მანძილი ქერიდან ლამპრამდე, მ; h_0 – მანძილი იატაკიდან სამუშაო ზედაპირამდე, მ; h – ლამპრის ჩამოკიდების საანგარიშო სიმაღლე, მ; H_1 – მანძილი ლამპრიდან იატაკამდე, მ.

ხელოვნური განათების გასაანგარიშებლად გამოიყენება სინათლის ნაკადის, კუთრი სიმძლავრისა და წერტილოვანი მეთოდები:

1. სინათლის ნაკადის მეთოდს იყენებენ სათავსის საერთო თანაბარი განათებულობის დროს, ხოლო ნათურის სინათლის ნაკადი (F) განისაზღვრება ფორმულით:

$$F = \frac{EKSZ}{Nn\eta}, \quad (7.8)$$

სადაც E არის ნორმირებული მინიმალური განათება, რომელიც შეირჩევა 7.3 ცხრილის მონაცემების მიხედვით, ლქ; K – მარაგის კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა დამოკიდებულია სათავსოს დამტვერიაწებაზე. ვარვარის ნათურებისათვის $K = 1,15-1,70$, ლუმინესცენციური ნათურებისათვის $K = 1,15-1,80$; S – გასანათებელი სათავსის ფართობი, მ²; Z – მინიმალური განათების კოეფიციენტი, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით $Z = \frac{E_{საშ}}{E_{მოფ}} = 1,10 - 1,95$; N – მაშუქების რიცხვი; n – ნათურების რიცხვი ერთ მაშუქში; η – გამნათებელი მოწყობილობის გამოყენების კოეფიციენტი $\eta = 0,19-0,74$.



ნახ. 7.4. ხელოვნური განათების გაანგარიშებისათვის.

ნათურების სიმძლავრის განსასაზღვრავად აღნიშნული ფორმულით შესაძლებელია ვისარგებლოთ მაშინ, როცა ცნობილია ნათურების რაოდენობა. ფორმულით სარგებლობა შესაძლებელია მაშინაც, როცა ცნობილია სიმძლავრე და საჭიროა ნათურების რაოდენობის განსაზღვრა. აღნიშნული ფორმულით სარგებლობა აგრეთვე შესაძლებელია განათების ანგარიშის შემოწმებისათვის.

სინათლის ნაკადის გამოყენების კოეფიციენტის სიდიდე დამოკიდებულია აგრეთვე სათავსის ჭერის, კედლების, გასანათებელი ზედაპირის მახასიათებლებზე და სათავსის ინდექსზე (მაჩვენებელზე). ეს უკანასკნელი განისაზღვრება ფორმულით:

$$i = \frac{S}{h(A+B)}, \quad (7.9)$$

სადაც, S არის გასანათებელი სათავსის ფართობი, მ²; h – ლამპრის ჩამოკიდების საანგარიშო სიმაღლე, მ; A , B – შესაბამისად, სათავსის სიგრძე და სიგანე, მ.

(7.8) ფორმულით გამოთვლილი სინათლის F ნაკადის მიხედვით შეირჩევა სათანადო სიმძლავრის ნათურა. ხოლო ფაქტიური განათებულება გამოითვლება ფორმულით:

$$E_g = E \frac{F_{ნათ}}{F}. \quad (7.10)$$

2. წერტილოვანი მეთოდი გამოიყენება სარემონტო, სამჭედლო, რკინაბეტონის კონსტრუქციებისა და სხვა მსგავს საამქროებში საერთო ლოკალური, ადგილობრივი და საერთო თანაბარი განათებულობის გაანგარიშებისათვის, გასანათებელი ზედაპირის ნებისმიერი განლაგების შემთხვევაში. ეს მეთოდი განსაზღვრავს დამოკიდებულებას განათებულობასა (E) და შუქტექნიკის მახასიათებლებს შორის:

$$E = \frac{J\alpha \cos \alpha}{r^2}, \quad (7.11)$$

სადაც J არის სინათლის წყაროდან დაცემული სინათლის ძალა ზედაპირის მოცემულ წერტილში, კდ (კანდელა); α – სინათლის სხივის დაცემის კუთხე (დაცემულ სხივსა და განათებული ზედაპირის პერპენდიკულარს შორის კუთხე); r – მანძილი სინათლის წყაროდან განათებულ ზედაპირამდე.

ვერტიკალურად დაკიდებული მამუქებით ჰორიზონტალური ზედაპირის განათების განსაზღვრისას მოხერხებულობის მიზნით მანძილს სინათლის წყაროდან განათების წერტილამდე იღებენ მამუქის დაკიდების სიმაღლის მიხედვით:

$$E = \frac{J\alpha \cos^3 \alpha}{H_{\partial\partial}^2 K}, \quad (7.12)$$

სადაც, განმარტებული სიდიდეების გარდა $H_{\partial\partial}$ არის მამუქის დაკიდების სიმაღლე, მ: K – ნათურის სიმძლავრის მარაგის კოეფიციენტი.

3. განათებულობის გაანგარიშებისას კუთრი სიმძლავრის მიხედვით უნდა ვიცოდეთ შემდეგი:

კუთრი სიმძლავრე ეწოდება გამნათებელი მოწყობილობების განათების ჯამური სიმძლავრის ფარდობას განათებულ ფართობთან:

$$W = \frac{Pn}{S}. \quad (7.13)$$

კუთრი სიმძლავრე დამოკიდებულია მამუქის ტიპზე, მის მოხერხებულ განლაგებასა და დაკიდების სიმაღლეზე.

გამანათებელი მოწყობილობების საერთო სიმძლავრე:

$$P = SWn, \quad (7.14)$$

სადაც P არის გამნათებელი მოწყობილობის საერთო სიმძლავრე, ვტ; S – გასანათებელი სათავსის ფართობი, მ²; W – კუთრი სიმძლავრე (აიღება ცხრილებიდან), ვტ/მ²; n – გამნათებელ მოწყობილობაში ნათურების რაოდენობა.

ამ მეთოდის გამოყენებით შესაძლოა განისაზღვროს თითოეული ნათურის სიმძლავრე ფორმულით:

$$P_{\partial\partial} = \frac{P}{n}, \quad (7.15)$$

კუთრი სიმძლავრის მეთოდი მარტივია, მაგრამ ნაკლებად ზუსტი, ამიტომ გამოიყენება მხოლოდ საორიენტაციო გაანგარიშებისათვის.

7.10. საწყობებისა და ტერიტორიების განათება

დაწესებულების, სხვადასხვა სადგურების ტერიტორიები, სამშენებლო მოედნები, საწყობების, კარიერების და სხვა საწარმოო ტერიტორიები განათებული უნდა იყოს პროექტორებით ან გარე განათების ნათურებით. ამ დროს რეკომენდებულია გამოყენებულ იქნეს ტიპური სტაციონარული და მოძრავი ინვენტარული მნათი მოწყობილობები. საგზაო მშენებლობის პირობებში უფრო მიზანშეწონილია მოძრავი მოწყობილობანი, რომლებსაც განალაგებენ საავტომობილო გზების ზონაში, სამუშაოების წარმოების ადგილებში და ა.შ. მნათი მოწყობილობებში შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს ვარვარის ნათურები, მაღალი წნევის ვერცხლისწყლიანი ნათურები, ქსენონიანი ნათურები ან მაღალი წნევის ნატრიუმიანი ნათურები.

მნათი მოწყობილობების მიმართ ძირითადი მოთხოვნაა აღნიშნულ ტერიტორიათა თანაბარი საერთო განათებით უზრუნველყოფა. მათ ათავსებენ სპეციალურ ანძებზე ან მაღალ შენობებზე. ლამპიონის ტიპის არჩევა დამოკიდებულია გასანათებელი მოედნის სიგანეზე: 20 მეტრამდე ტერიტორიის გასანათებლად გამოიყენება ვარვარის ნათურებიანი ლამპიონები; 150 მეტრამდე – ვერცხლისწყლიანი ნათურებით აღჭურვილი მნათი მოწყობილობები; 150-დან 300 მეტრამდე – ვარვარის ნათურებიანი პროექტორები; 300 მეტრის ზემოთ – ქსენონის ნათურებით აღჭურვილი მნათი მოწყობილობები. ამ უკანასკნელებს უნდა შეეძლოთ სინათლის ძალის 10-ჯერადი ცვალებადობა (სათანადო კოეფიციენტი უნდა იყოს 10 ან მეტი) და უნდა დამაგრდნენ 50 მეტრ ან უფრო მეტ სიმაღლეზე.

პროექტორული განათების მიახლოებითი გაანგარიშებისას საჭიროა განსაზღვრა პროექტორების საორიენტაციო რაოდენობისა, რომლებიც საჭიროა მოცემული განათებულობის შესაქმნელად. აგრეთვე პროექტორებისა და ანტენების დაყენების ადგილები, გასანათებელი ზედაპირის მიმართ პროექტორების დაყენების სიმაღლე, ჰორიზონტის მიმართ დახრის კუთხე.

პროექტორების საჭირო რაოდენობა უფრო ზუსტად შეიძლება განისაზღვროს იზოლუქსის მრუდების დახმარებით ან განათებულობის გრაფიკით. იზოლუქსი პროექტორის სამუშაო მახასიათებელია, იგი მოცემულ სიბრტყეზე ერთნაირი განათებულობის ზონების შემომსაზღვრავი მრუდია. ყოველ პროექტორს მხოლოდ მისთვის დამახასიათებელი იზოლუქსები აქვს. სპეციალურ ალბომებში პროექტორების სხვადასხვა დახრის კუთხისათვის მოყვანილია იზოლუქსების მრუდები. იზოლუქსები შეიძლება აიგოს ასევე ცხრილების საშუალებით, გამოთვლითი წესით. პროექტორების შერჩევა ხდება იზოლუქსების დახმარებით, რომლის მასშტაბს უნდა შეესაბამებოდეს გასანათებელი ობიექტის გეგმის მასშტაბი. ასეთ შემთხვევაში, შერჩევის მიზნით, ტერიტორიის გეგმაზე უნდა დაედოს იზოლუქსები.

იზოლუქსებს გეგმაზე განალაგებენ ისე, რომ მთლიანი გასანათებელი მოედანი იყოს შევსებული პროექტორების უმცირესი რიცხვით. გამანათებელ მოწყობილობებს სათანადო ტერიტორიაზე შესაძლებელია ჰქონდეთ სწორკუთხა ან ჭადრაკისებრი განლაგება. მათ ამონტაჟებენ ლითონურ საინვენტარო ანძებზე, დროებით ხის საყრდენებზე ან მეზობელ შენობებსა და ნაგებობებზე.

7.11. გამოსაყენებელი დაცვის საშუალებები

მოკლე შენიშვნა – დაცვის საშუალებები:

- **ინჟინრული:** სიკაშკაშის საწინააღმდეგო მაშუქები, შუქის დიფუზორები, მაშუქის სწორად შერჩეული დაცვითი კუთხე, ადგილობრივი განათების მართვა.
- **ადმინისტრაციული:** სამუშაოსა და შესვენების ინტერვალების გადახედვა და მათი მართვა, ვიზუალური ამოცანების როტაცია, განათების პერიოდული შემოწმება.
- **ინდივიდუალური:** სპეციალური სათვალეების/ფილტრების გამოყენება მაშინ, როცა გარემო ვერ აკმაყოფილებს ადეკვატურ სტანდარტს.
- **ჰელპოგოგური შენიშვნა:** შეარჩიეთ რეალური სამუშაო პოზიცია თქვენს დარგში და შეადარეთ ISO 8995-1 მოთხოვნებს: განსაზღვრეთ მინიმალური განათებულობა (ლუქსი), განათებულობის თანაბრობა, განსაზღვრეთ სიკაშკაშის რისკი და შეადგინეთ მოკლე კორექტირების გეგმა უსაფრთხო სამუშაო გარემოს შესაქმნელად.

დასკვნითი მოკლე შენიშვნა: ქვემოთ მოცემული ცხრილი აჩვენებს სხვადასხვა სტანდარტის მსგავსებას, განსხვავებას და მათი გამოყენების პრაქტიკულ სარგებლიანობას. სტანდარტი ISO 8995-1:2025 განსაზღვრს მინიმალურ განათების დონეებს და სიკაშკაშის კონტროლს (ლქ, კდ/მ²), ხოლო WHO/ILO მხედველობაში ღებულობენ ჯანმრთელობის შედეგებსა და შესაბამის ორგანიზაციულ ზომებს. მომზადებულმა სპეციალისტმა უნდა შეძლოს ISO-ს ციფრული ნორმების დაკავშირება WHO/ILO რეკომენდაციებთან.

ცხრილი 7.4

სტანდარტების შედარებითი ანალიზი

სამუშაო გარემო	ISO 8995-1 მინ. განათება, ლქ	ISO სიკაშკაშე, კდ/მ ²	WHO/ILO ფოკუსირება	მსგავსება	განსხვავება
ოფისი, დოკუმენტაცია	500 ლქ	≤200 სამუშაო ზედაპირზე	თვალის დაღლა, შეცდომების პრევენცია	ყველა სტანდარტი აღიარებს არასაკმარისი განათების რისკს	ISO → რაოდენობრივი ნორმა; WHO/ILO → ჯანმრთელობის შედეგები
ტექნიკური/ზუსტი სამუშაო	750–1000 ლქ	≤300 დეტალური სამუშაოზე	ტრავმატიზმის პრევენცია	ყველა სტანდარტი ხაზს უსვამს უსაფრთხოებას	ISO → მეტრიკა; WHO/ILO → ორგანიზაციული ზომები

საწყობი/გასასვლელები	200–300 ლქ	≤150	უსაფრთხო გადაადგილება	ყველა სტანდარტი ადიარებს მინ. განათების საჭიროებას	ISO → ციფრული ნორმა; WHO/ILO → პრაქტიკული რეკომენდაცია
----------------------	------------	------	-----------------------	--	--

პედაგოგიური ხერხი:

- **მსგავსება:** მკითხველი ხედავს, რომ ყველა სტანდარტი ერთსა და იმავე რისკს აღიარებს.
- **განსხვავება:** ISO → რაოდენობრივი ნორმები; WHO/ILO → ჯანმრთელობის შედეგები და ორგანიზაციული ზომები.
- **პრაქტიკული შედეგი:** სპეციალისტი სწავლობს, როგორ უნდა გამოიყენოს ISO-ს ციფრული ნორმები WHO/ILO რეკომენდაციებთან ერთად, რათა შექმნას უსაფრთხო სამუშაო გარემო.

7.12. კითხვები

გამეორებისათვის მოკლე პასუხებით

I. ფაქტობრივი ცოდნა

1. რა არის ლუქსი? — 1 ლუმენი ერთ კვ.მეტრზე.
2. რა არის ლუმენი? — სინათლის ნაკადის ერთეული.
3. რა არის სანთელი (კანდელა)? — სინათლის ძალის ერთეული.
4. რა არის სიკაშკაშე? — ზედაპირის ნათება კდ/მ², კანდელა კვ. მეტრზე.
5. რა არის ბგკ? — ბუნებრივი განათებულობის კოეფიციენტი (%).
6. რა განსხვავებაა ბუნებრივ და ხელოვნურ განათებას შორის? — ბუნებრივი მზის სხივებით, ხელოვნური ნათურებით.
7. რა არის სტრობოსკოპული ეფექტი? — მოძრავი ობიექტების დამახინჯებული აღქმა.
8. რა არის განათების თანაბრობის კოეფიციენტი? — განათების ერთგვაროვნების მაჩვენებელი.
9. რა არის პულსაციის კოეფიციენტი? — განათების დროითი ცვალებადობის მაჩვენებელი.
10. რა არის ავარიული განათება? — ავარიული გამორთვისას უსაფრთხო მუშაობის უზრუნველსაყოფი განათება.

II. ინტეგრაციული ცოდნა

11. რამდენია ISO 8995-1-ის მიხედვით ოფისის მინიმალური განათება? — 500 ლქ.
12. რამდენია ISO 8995-1-ის მიხედვით ზუსტი სამუშაოს შესრულებისათვის საჭირო განათება? — 750–1000 ლქ.
13. რა მიუთითებს WHO-ს მიხედვით მარასაკმარის განათებაზე? — თვალების დაღლა და ტრავმატიზმი.

14. რა არის ILO-ს რეკომენდაცია განათებაზე? — პერიოდული მონიტორინგი.
15. რამდენია რიცხოვნობრივად ISO-ს სიკაშკაშის ზღვარი სამუშაო ზედაპირზე? — ≤ 200 კდ/მ².
16. ბგკ რა მიმართებაშია ISO სტანდარტებთან? — გამოიყენება როგორც დამხმარე პარამეტრი.
17. რა არის სტანდარტების ISO+WHO ერთობლივი გამოყენების შედეგი? — უსაფრთხო და ჯანმრთელი სამუშაო გარემოს შექმნა.
18. რა არის ISO და WHO შორის განსხვავება? — ISO → რაოდენობრივი ნორმების დაწესება; WHO → ჯანმრთელობის შედეგებზე ყურადღების გამახვილება.
19. რამდენია რიცხოვნობრივად ISO განათების თანაბრობის მინიმალური მოთხოვნა? — ≥ 0.7 .
20. რა არის WHO-ს რეკომენდაცია თვალის გადაღლაზე? — დასვენების ინტერვალების გაზრდა და განათების კორექცია.

III. პრაქტიკული გამოყენება

21. როგორ უნდა შეამოწმოს სპეციალისტმა განათება? — ლუქსმეტრით.
22. როგორ უნდა შეამციროს სიკაშკაშე? — დიფუზორებით და მაშუქების სწორი განლაგებით.
23. რა დაცვის საშუალებები გამოიყენება თვალისთვის? — სათვალეები, ფილტრები.
24. რა სისტემაა ინტეგრირებული ბუნებრივი+ხელოვნური? — კომბინირებული სისტემა.
25. რა უნდა გაკეთდეს ISO ნორმის დარღვევისას? — განათების კორექცია.
26. როგორ გამოიყენოს სტუდენტმა ISO პრაქტიკაში? — უნდა შეძლოს სამუშაო ადგილის (სივრცის) უსაფრთხოების შეფასება.
27. რა არის განათების მონიტორინგის პრაქტიკა? — პერიოდული გაზომვები.
28. რა შემთხვევაში ვიყენებთ ადგილობრივ განათებას? — მაღალი სიზუსტის სამუშაოებისთვის.
29. რა არის განათების დამახასიათებელი განზომილებები? — ლუქსი, ლუმენი, კანდელა.
30. როგორ უნდა შეფასდეს განათების ეფექტიანობა? — ISO ნორმებთან შედარებით.

პედაგოგიური დავალებები:

1. შეადარეთ ISO 8995-1-ის მინიმალური განათების მოთხოვნები WHO რეკომენდაციებთან და ჩამოწერეთ მსგავსება/განსხვავება.
2. შეაფასეთ თქვენი სამუშაო ადგილის განათება ლუქსმეტრით და შეადარეთ ISO 8995-1 ნორმებს.
3. განსაზღვრეთ, რა შედეგი შეიძლება ჰქონდეს არასაკმარის სიკაშკაშეს WHO-ს მიხედვით.
4. შეადგინეთ **შესწორების გეგმა** თქვენი სამუშაო ადგილის განათებისთვის ISO და WHO რეკომენდაციების გათვალისწინებით.
5. მოამზადეთ მოკლე პრეზენტაცია, სადაც აღწერთ ISO 8995-1-ის რაოდენობრივ ნორმებს და WHO-ს ჯანმრთელობის შედეგებს.

გამოსაყენებელი სტანდარტები: ISO 8995-1 — განათების ნორმები; ILO/WHO — თვალის ჯანმრთელობის დაცვა.

8. საწარმოო ხმაური და ვიბრაცია

8.1. გზამკვლევი მერვე თავისათვის

თეორიული ინტეგრაცია: ბგერის ტალღური ბუნება და სმენითი დიაპაზონი ქმნის საფუძველს ხმაურის ნორმირებისთვის.

სტანდარტებთან ინტეგრაცია: ISO 1999:2013 აკუსტიკა — პროფესიული ხმაურის ზემოქმედების განსაზღვრა (Acoustics — Determination of Occupational Noise Exposure) განსაზღვრავს 85 დბ ხმაურის ზღვარს 8 საათის განმავლობაში. WHO პროფესიული ხმაურის სახელმძღვანელო პრინციპები (Occupational Noise Guidelines) ადასტურებს იმავე ზღვარს ჯანმრთელობის დაცვის უზრუნველყოფის მიზნით.

პედაგოგიური ინტეგრაცია: სტუდენტმა უნდა შეძლოს ხმაურის დონის (დბ) დაკავშირება ISO/WHO სტანდარტებთან და პრაქტიკულ მაგალითებთან.

მოკლე შენიშვნა: ISO 1999 Occupational noise exposure ადგენს 85 დბ ზღვარს 8 საათის განმავლობაში, ხოლო WHO ხაზს უსვამს სმენის დაქვეითების პრევენციას.

- მსგავსება: ISO და WHO ორივე ადასტურებენ, რომ ≥ 85 დბ ექსპოზიცია იწვევს სმენის დაქვეითებას.

- განსხვავება: ISO აქცენტს აკეთებს გაზომვის მეთოდოლოგიაზე და დოზის მოდელირებაზე, WHO — ჯანმრთელობაზე გავლენის შედეგებზე და პროფილაქტიკაზე.

- პრაქტიკული შედეგი: სპეციალისტმა უნდა შეძლოს ISO-ს რაოდენობრივი ნორმების გამოყენება WHO-ს რეკომენდაციებთან ერთად, რათა შეადგინოს კონტროლის გეგმა.

ცხრილი 8.1

საერთაშორისო სტანდარტების შედარებითი ანალიზი

სამუშაო გარემო	ISO 1999 ზღვარი, დბ, 8 სთ	WHO რეკომენდაცია	ILO მოთხოვნა	მსგავსება	განსხვავება
ოფისი/ადმინისტრაციული	$\leq 55-65$ დბ	კომფორტული გარემო, კონცენტრაციის შენარჩუნება	მონიტორინგი საჭირო არაა	ყველა სტანდარტი აღიარებს დაბალი ხმაურის უპირატესობას	ISO → მეტრიკა; WHO → ჯანმრთელობის შედეგები
				ყველა სტანდარტი	ISO → რაოდენობრივი

საწარმოო საამქრო	≤85 დბ	სმენის ტესტები ≥85 დბ	რეგულარუ ლი მონიტორი ნგი	ადასტურებ ს 85 დბ ზღვარს	ვი; WHO/ILO → ორგანიზაციუ ლი ზომები
მძიმე მრეწველობა	≤90–95 დბ (მხოლოდ მოკლე დროით)	პროფილაქტ იკა, სამუშაო დროის შემცირება	უსაფრთხო ზონების მონიშვნა	ყველა სტანდარტი აღიარებს მაღალი რისკის ზონებს	ISO → დოზის მოდელირება ; WHO/ILO → ჯანმრთელო ბის პრევენცია

შენიშვნა: ISO 1999 განსაზღვრავს რაოდენობრივ ზღვარს (85 დბ 8 სთ-ის განმავლობაში), WHO ხაზს უსვამს ჯანმრთელობის შედეგებს, ხოლო ILO — ორგანიზაციულ ზომებს. სპეციალისტმა უნდა შეძლოს ISO-ს ნორმების გამოყენება WHO/ILO რეკომენდაციებთან ერთად.

პედაგოგიური ხერხი:

- **მსგავსება:** სტუდენტი ხედავს, რომ ყველა სტანდარტი ერთსა და იმავე რისკს აღიარებს.
- **განსხვავება:** ISO → რაოდენობრივი ნორმები; WHO/ILO → ჯანმრთელობის შედეგები და ორგანიზაციული ზომები.
- **პრაქტიკული შედეგი:** სპეციალისტი სწავლობს, როგორ უნდა გამოიყენოს ISO-ს ციფრული ნორმები WHO/ILO რეკომენდაციებთან ერთად, რათა შექმნას უსაფრთხო სამუშაო გარემო.

8.2. ბგერის ტალღური ბუნება

ჰაერში ბგერა ტალღების სახით ვრცელდება, რომლებიც წარმოადგენენ ჰაერის შეკუმშვისა და გაფართოების პულსაციურ მონაცვლეობას ბგერის წნევის მოქმედების შედაგად მისი გადაადგილების გზაზე.

ადამიანის ყური ბგერას მისი სიხშირის მიხედვით ანსხვავებს. სიხშირის ერთეულია ჰერცი (ჰც), რაც არის 1 წმ-ში შესრულებული 1 რხევა. უფრო მსხვილი ერთეულია კილოჰერცი (კჰც). 1 კჰც = 1000 ჰც.

ადამიანის ყური სიხშირის ყველა მატებას ვერ ანსხვავებს ერთმანეთისაგან. მას ძალუძს მხოლოდ ისეთი მეზობელი სიხშირეების განსხვავება, რომელთა სიდიდეებს შორის თანაფარდობა არის 1:2. მაგალითად, ადამიანის ყური შეიგრძნობს 16 ჰც სიხშირის ტალღებს, ხოლო უფრო ნაკლებ სიხშირეს ვერ აღიქვამს. სიხშირის მატებას მის გაორმაგებამდე ადამიანი ვერ ანსხვავებს და მხოლოდ მას შემდეგ, რაც სიხშირე გახდება 31,5 ჰც, ანუ თითქმის ორმაგი, ადამიანი მიხვდება, რომ ბგერის მახასიათებელი შეიცვალა.

ადამიანის ყურის მგრძნობელობა არის 16 ჰც-დან 16 კჰც-მდე დიაპაზონში. 16 ჰერცზე უფრო ნაკლებ 2-ის ჯერადი სიხშირეების ტალღებს (8 ჰც, 4 ჰც და ა.შ.) ინფრაბგერები

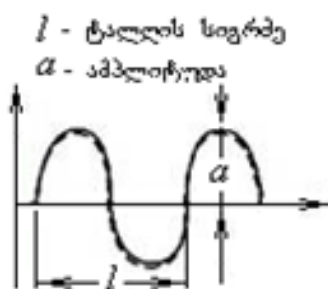
ეწოდება. 16 კილოჰერცზე უფრო მეტ 2-ის ჯერადი სიხშირეების ტალღებს (32 კჰც. 64 კჰც და ა.შ.) ულტრაბგერები ეწოდება. 2-ის ჯერად ყოველ დონეს ოქტავა ეწოდება.

ტალღის სიხშირე მისი სიგრძის უკუპროპორციულია, რაც უფრო მაღალი სიხშირისაა ბგერა, მით უფრო მოკლეა მისი ტალღა. სიხშირის მიხედვით შესაძლებელია დაახლოებით გამოთვლილი იქნეს ტალღის სიგრძე ფორმულით:

$$l = \frac{c}{f}, \quad (8.1)$$

სადაც l არის ტალღის სიგრძე, მ; c – ბგერის სიჩქარე ჰაერში, მ/წმ; f – ბგერითი რხევების სიხშირე, ჰც. აღსანიშნავია, რომ ბგერის სიჩქარე იცვლება ტემპერატურის მიხედვით. თუ ბგერის სიჩქარე იქნება 340 მ/წმ, მაშინ $f = 100$ ჰც სიხშირის ტალღის სიგრძე იქნება $l = 3,4$ მ.

ბგერითი ტალღის ამპლიტუდა a არის ბგერითი წნევის უდიდეს და უმცირეს მნიშვნელობებს შორის საშუალო სიდიდე (ნახ. 8.1) ტალღის წნევით განპირობებული ჰაერის შეკუმშვისა და გაფართოებისას.



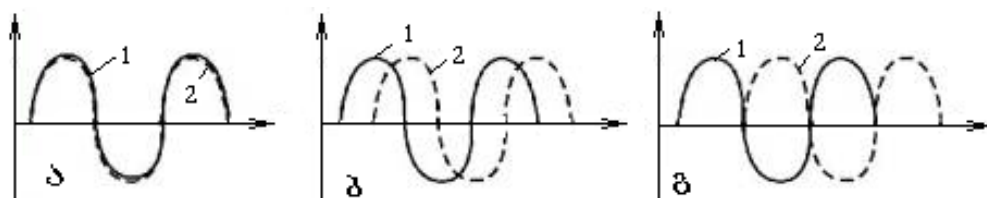
ნახ. 8.1. ბგერითი ტალღა.

ორი ტალღის ფარდობითი დროითი თვისებების აღსაწერად ან ერთი და იმავე ტალღის სხვადასხვა ნაწილების შესაფასებლად სარგებლობენ ბგერის ტალღის ფაზის ცნებით. ორი ტალღა შესაძლებელია ერთმანეთს ფაზებით ემთხვეოდნენ, შესაძლებელია ერთმანეთს ფაზებით აცდენილი იყვნენ და შესაძლებელია მათ ფაზებს ჰქონდეთ საპირისპირო კონფიგურაცია, რაც ილუსტრირებულია ნახ. 8.2-ზე. ადამიანი ერთსა და იმავე ბგერას სხვადასხვა ფაზებში აღიქვამს, რასაც განაპირობებს ყურების განლაგება ბგერის წყაროს მიმართ.

როგორც ნახაზიდან ჩანს, ტალღების ფაზათა საპირისპირო კონფიგურაციის შემთხვევაში ერთი ტალღის მიერ გამოწვეულ ჰაერის შეკუმშვას ემთხვევა მეორის მიერ გამოწვეული გაიშვიათება და შესაბამისად, ასეთი ტალღები ერთმანეთს გააქრობენ. უფრო ხშირად, კი ერთმანეთის საპირისპირო კონფიგურაციის ფაზები ბგერას დაამახინჯებენ.

ბგერითი წნევა იზომება პასკალებში (პა). ბგერითი ტალღების ინტენსიურობის შესაფასებლად ხშირად იყენებენ აგრეთვე ბგერის ძალას. ესაა ბგერითი ენერგიის ნაკადი, რომელიც გადის რაიმე ზედაპირის კვადრატულ სანტიმეტრზე, ხოლო თვით ზედაპირი განლაგებული არის ტალღების მოძრაობის მიმართულების მართობულ

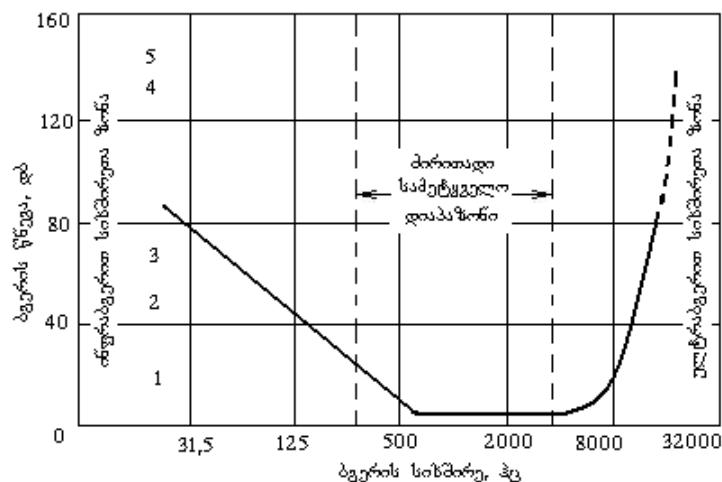
სიბრტყეში. ბგერის ძალის განზომილებაა ვტ/სმ². ბგერის ძალა აღწერს თვით ბგერის ენერგეტიკულ თვისებებს და ძალიან სასარგებლოა ზოგიერთი გაანგარიშებისათვის.



ნახ. 8.2. ბგერის ორი ტალღის ფაზათა სხვადასხვა კონფიგურაცია:

ა - ფაზების თანხვედრა; ბ - აცდენილი ფაზები; გ - საპირისპირო ფაზები; 1,2 - ტალღები.

ადამიანის ყურმა რომ მოახერხოს ბგერის გაგონება, მას უნდა ჰქონდეს გარკვეული ძალა. ძალის ამ ღონეს ეწოდება სმენადობის ზღვარი. მაშასადამე, თუ ბგერას აქვს ზღვრულზე უფრო დაბალი ინტენსიურობა, იგი ადამიანს არ ესმის და ფიქრობს, რომ ირგვლივ სიწყნარეა, სინამდვილეში კი ჰაერი რხევებს ამ შემთხვევაშიც ასრულებს ინფრაბგერებით აღძრული ტალღების გავლენით.



ნახ. 8.3. სმენითი დიაპაზონი (ბელის მიხედვით):

1. არააღქმადი; 2. აღქმადი ტონების დიაპაზონი; 3. კარგი აღქმის ზღურბლი; 4. შეგრძნების არასაკმარისობა (დისკომფორტი); 5. მტკივნეული შეგრძნების ზღურბლი.

ბგერის მოსმენის თვალსაზრისით ანალოგიურადაა საქმე ულტრაბგერების, ანუ დიდი სიხშირის ბგერების შემთხვევაშიდაც, ადამიანს ეს ბგერებიც არ ესმის, ოდონდ არის ერთი მნიშვნელოვანი განსხვავებაც, ადამიანი ულტრაბგერებს შეიგრძნობს ყურების აუტანელი ტკივილით, რის გამოც სხვანაირად ამ ზღვარს მტკივნეული შეგრძნების ზღვარი ეწოდება.

ამგვარად ადამიანის ყურს შეუძლია ბგერების მოსმენა ძალიან ფართო დიაპაზონში, რომელსაც სმენითი დიაპაზონი ეწოდება, რაც შეესაბამება ყურის მგრძნობელობის ზედა და ქვედა ზღვრებს შორის მოქცეულ სიხშირეთა სიმრავლეს (ნახ. 8.3). ყურის

მგრძნობელობის ქვედა ზღვარი ხასიათდება შემდეგი სიდიდეებით: 1. ბგერითი წნევა 2×10^{-6} პა; 2. ინტენსიურობა 10^{-16} ვტ/სმ². ყურის მგრძნობელობის ზედა ზღვარი კი ხასიათდება შემდეგი სიდიდეებით: 1. ბგერითი წნევა 5×10^8 პა ფარგლებში; 2. ინტენსიურობა 10^{-3} ვტ/სმ².

ქვედა ზღვრის ბგერითი წნევა დამრგალებული სახით ღებულობს რიცხვით სიდიდეს 0,00002 პა, ხოლო ანალოგიური სიდიდე ზედა ზღვრისათვის შეადგენს 100 პა. ასეთი დამრგალებული სიდიდეების შემთხვევაშიდაც მოუხერხებელია პასკალებით გამოხატული წნევების სიდიდით ოპერირება მათ შორის ვრცელი დიაპაზონის გამო. ამის გამო შემოღებულია სპეციალური ერთეული დეციბელი (დბ), რომლით სარგებლობა მეტად მოსახერხებელია. დეციბელების სკალაზე ქვედა ზღვარს შეესაბამება 0 დეციბელი, ხოლო მტკივნეულ ზღვარს 120 დეციბელი. დეციბელებით გამოხატული ზოგიერთი ბგერის წნევები მოცემულია 8.2. ცხრილში.

ცხრილი 8.2

ხმაურის დონეთა ლოგარითმული (დეციბელების) სკალის მონაცემები

ბგერის ან ხმაურის წყარო	წნევა, დბ
სმენადობის ქვედა ზღვარი	0
ჩურჩული 1 მ-ის მანძილზე	20
ჩურჩული 10 სმ-ის მანძილზე	50
ბინის ხმაური	40
წყნარი საუბარი 1 მ-ის მანძილზე	50
აპლოდისმენტები	60
აკუსტიკურ გიტარაზე თითებით დაკვრა 40 სმ მანძილზე	70
იგივე, მედიატორით 40 სმ მანძილზე	80
მეტროში მგზავრობის დროს ხმაური	90
რეატიული თვითმფრინავის ძრავას მუშაობა 5 მ მანძილზე	120
დოლისა და სარტყამი ინსტრუმენტების ხმა 3 მ მანძილზე	140

სიხშირის მიხედვით იცვლება ბგერის ჟღერადობის სიმაღლე და ტონალურობა. რხევის სიხშირე განსაზღვრავს ჟღერადობის სიმაღლეს და გავლენას ახდენს აგრეთვე სმენის ორგანოებზე. ერთი და იმავე ამპლიტუდის მქონე ბგერები 300-400 ჰერცზე აღიქმება როგორც ბანი, 400-800 ჰერცზე, როგორც ბარიტონი, ხოლო 1000 ჰერცზე და მეტზე აღიქმება, როგორც ტენორი.

როგორც აღინიშნა, ოქტავა არის რხევათა სიხშირის ისეთი დიაპაზონი, რომლის ზედა ზღვარი ორჯერ მეტია ქვედა ზღვარზე. ბგერების სპექტრული დახასიათება ნიშნავს მათ დაყოფას ოქტავურ ზოლებად სიხშირის მიხედვით, სიხშირეთა შემდეგი მნიშვნელობებისათვის: 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000; 16000 ჰც. ამგვარად, ადამიანის მთელი სმენითი დიაპაზონი შედგება 11 ოქტავური ზოლისაგან. უსაფრთხოების მიზნებისათვის მნიშვნელოვანია სიხშირეთა დიაპაზონი 31,5-8000 ჰც-ის ფარგლებში.

8.3. საწარმოო ხმაურის არსი

საწარმოო ხმაური ეწოდება ღროის მიხედვით უწესრიგოდ ცვლად ბგერებს. საწარმოო ხმაურის კლასიფიკაცია ხდება შემდეგი ნიშნების მიხედვით:

სიხშირის მიხედვით:

- დაბალი სიხშირის (რხევის სიხშირე < 400 ჰც);
- საშუალო სიხშირის (რხევის სიხშირე $400-1000$ ჰც);
- მაღალი სიხშირის (რხევის სიხშირე > 1000 ჰც).

სპექტრის სიგანის მიხედვით:

- ფართოხოლიანი, რომელსაც აქვს 1 ოქტავაზე მეტი სიგანის უწყვეტი სპექტრი;
- ტონალური, რომლის სპექტრში გამოიყოფა ცალკეული ტონი.

ღროითი მახასიათებლების მიხედვით:

- მუდმივი (როცა 8 საათიანი სამუშაო ცვლის განმავლობაში ხმაურის ფონი 5 დეციბელზე მეტად არ იცვლება);
- ცვლადი (როცა 8 საათის განმავლობაში ხმაურის ცვალებადობის დონე აღემატება 5 დბ).

ცვალებადი ხმაური, თავის მხრივ, შესაძლებელია იყოს:

- პულსირებადი (როცა ხმაურის დონე განუწყვეტლივ იცვლება);
- წყვეტადი (როცა ხმაურის დონე უცბად ეცემა ხმაურის ფონამდე და ასევე უცბად იზრდება პირვანდელ დონემდე);
- იმპულსური (შედგება ერთი ან რამდენიმე სიგნალისაგან, რომელთაგან თითოეულის ხანგრძლივობა არ აღემატება 1 წმ).

წარმოშობის მიხედვით ხმაური შესაძლებელია იყოს:

- მექანიკური;
- ელექტრომაგნიტური;
- აეროდინამიკური;
- ჰიდროდინამიკური.

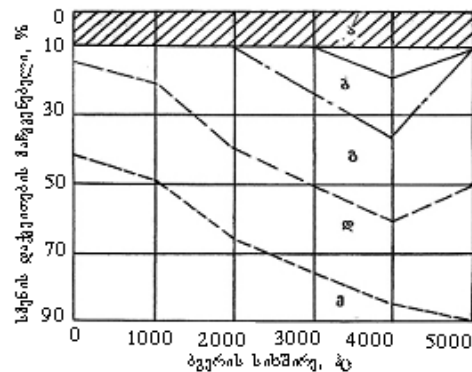
16-დან 16000 ჰც-მდე სიხშირის ბგერებს, როგორც აღინიშნა, ეწოდებათ სმენადი (აკუსტიკური) ბგერები. ისიც აღინიშნა, ადამიანის ყური ვერ შეიგრძნობს ინფრა- და ულტრაბგერებს. ამ უკანასკნელებთან დაკავშირებით აღსანიშნავია, რომ ადამიანი მათ გავლენას შეიგრძნობს ორგანიზმის ქსოვილებით.

ხმაურის მავნე მოქმედება ადამიანის ორგანიზმზე გამოიხატება სმენის ორგანოების დაზიანებით, თავბრუსხვევით, თავის ტკივილით. ხმაურიან საწარმოოში დიდი ხნის განმავლობაში მუშაობა იწვევს შრომის ნაყოფიერების შემცირებას და ტრავმატიზმის გაზრდას. ხშირად ხმაური ადამიანის ორგანიზმზე მოქმედებს სხვა ისეთ მავნე ფაქტორებთან ერთად, როგორიცაა ვიბრაცია, არასასურველი მეტეოროლოგიური პირობები, რომლებიც კიდევ უფრო გამოკვეთენ მის მავნე ზემოქმედებას.

ხმაური იწვევს სმენის ნაწილობრივ ან მთლიან დაქვეითებას. სმენის დაქვეითება ხმაურიან საწარმოოში 3-5 წლის განმავლობაში ხდება. სმენის დაქვეითება მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ორგანიზმის თავისებურებებზე, მის საერთო სიძლიერეზე. მაგალითად ქალები ხმაურს უფრო ცუდად იტანენ, ვიდრე კაცები.

სმენის საწარმოო დაქვეითება ხასიათდება მაღალი ტონების აღქმის გაუარესებით. განსაკუთრებით ცუდად აღიქმება 4000 ჰც სიხშირის ბგერები (ნახ. 8.4). სიყრუის დაწყების ნიშანია ცუდი სმენადობა ჩურჩულის დროს, რომელიც მაღალი ტონალობით ხასიათდება.

პროფესიულ სიყრუეს იწვევს არა მარტო მაღალი სიხშირის ხმაური, არამედ დიდი ინტენსიურობის დაბალი და საშუალო სიხშირის ხმაური. ინტენსიური ხმაურის პირობებში ხანგრძლივი მუშაობისას სმენის დაქვეითება (განსაკუთრებით ახალგაზრდებში) განიცდის პროგრესირებას, იგრძნობა სასმენი აპარატის დაღლა და გადაღლა.



ნახ. 8.4. ხმაურით გამოწვეული სმენის დაკარგვის სტადიები: ა - ნორმალური სმენა; ბ, გ - სმენის დაკარგვის ადრეული სტადიები; დ - სმენის დაკარგვის სტადია, რომელიც გამოიხატება სხვადასხვა სიხშირის მიმართ მგრძნობელობის დაქვეითებაში; ე - გვიანი სტადია, ხანგრძლივი ზემოქმედების შემდეგ.

პირველად ადამიანის სმენის აპარატი ეჩვევა ხმაურს. ხდება სმენითი ადაპტაცია, რაც გამოიხატება ადამიანის სმენის ხანმოკლე დაკარგვით და სწრაფი და სრული აღდგენით ხმაურის შეწყვეტის შემდეგ. ხმაურის ხანგრძლივი ზემოქმედებისას ადამიანის სმენის აპარატი იღლება და სმენის აღდგენას სულ უფრო და უფრო დიდი დრო ესაჭიროება, რაც წარმოადგენს პროფესიული სიყრუის გამოწვევის ძირითად მიზეზს.

8.4. ხმაურის წარმოშობის მიზეზები

როგორც აღინიშნა, წარმოქმნის წყაროს მიხედვით ხმაური შესაძლებელია იყოს მექანიკური, აეროდინამიკური, ჰიდროდინამიკური და ელექტრული. მექანიკური ხმაური წარმოიქმნება ტექნოლოგიურ მოწყობილობათა ექსპლუატაციის, მანქანა-დანადგარების მუშაობის დროს და სხვა მსგავს შემთხვევებში, მანქანებში ხმაურის უშუალო წყაროს წარმოადგენს კბილანური გადაცემები, საკისრები, მბრუნავი და რხევადი დეტალების სტატიკური გაუწონასწორებლობა. მბრუნავი და მოძრავი დეტალები არა მარტო თვითონ გამოსცემენ ხმაურს, არამედ კონსტრუქციულად მათთან დაკავშირებული ელემენტებითაც.

ხმაურის საორიენტაციო დონეები

ხმაურის წყარო	ხმაურის დონე, დბ.
პნევმატიკური მოწყობილობით სარგებლობა	135 და მეტი
ქვაბის ნაკერების თეგვა	170
ცენტრიდანული ვენტილატორის მუშაობა	105
მოტოციკლი მაყუჩის გარეშე	105
ტურბინა	105
საქვაბე საქშენი	100
ძრავების გამოსაცდელი სტენდი	107-117
ქვის სამსხვრევი	121
სახეხი დაზგა	105
საბურღი დაზგა	114
სარანდი დაზგა	97
საზეინკლო დაზგა	90-96
სამჭედლო საამქრო	98
ტურბოკომპრესორი	118
საკომპრესორო სადგური	110
ვუვუზელას ხმაური	130

აეროდინამიკური ხმაური წარმოიქმნება ჰაერსატარებში აირების დინების, სავენტილაციო და საკომპრესორო დანადგარების მუშაობის, რეაქტიული ძრავების მუშაობის დროს, აგრეთვე ატმოსფეროში შეკუმშული აირის, ორთქლის ან ჰაერის გაშვებისას. ჰიდროდინამიკური ხმაური წარმოიქმნება მილსადენებში სტაციონარული და არასტაციონარული პროცესების შედეგად (ჰიდრავლიკური დარტყმა, ნაკადის ტურბულენტურობა და სხვ).

ელექტრული მანქანების მუშაობისას ხმაური წარმოიქმნება როტორისა და სტატორის რხევის შედეგად, რაც თავის მხრივ გამოწვეულია ცვლადი ელექტრომაგნიტური ძალებით, რომლებიც მოქმედებენ როტორსა და სტატორს შორის არსებულ ღრეჩოში, სადაც წარმოქმნილი საჰაერო ნაკადები იწვევენ ხმაურს. როტორის არასაკმარისი ცენტრალური გაწონასწორება იწვევს მანქანის დეტალებისა და კვანძების რხევას, რაც თავის მხრივ ხმაურს წარმოქმნის.

ზოგიერთი საწარმოში და დანადგართან ხმაურის დონის საორიენტაციოდ შესაფასებლად შეიძლება გამოვიყენოთ 8.3 ცხრილში მოცემული მონაცემები. როგორც ჩანს, ყველაზე ხმაურიანია სამუშაოები, რომლებიც დაკავშირებული არიან ქვის სამსხვრეველების, ტურბოკომპრესორების ექსპლუატაციასთან და რკინის ნაწარმთა ქედვასა და მოქლონვასთან. აგრეთვე დიდად ხმაურიანია საყვირი ვუვუზელა, რომელიც ფართო საზოგადოებამ 2010 წლის ფეხბურთის მსოფლიო ჩემპიონატიდან გაიცნო.

8.5. საწარმოო ხმაურის ნორმირება

ხმაურსაზომის მაკომპლექტებული ნაწილებია მიკროფონი, გამაძლიერებელი, მაკორექტირებელი ფილტრები, დეტექტორი, ინტეგრატორი (მაინტეგრებული ხმაურსაზომის შემთხვევაში) და ინდიკატორი. ხმაურსაზომის საერთო სქემა შერჩეულია ისეთნაირად, რომ მისი თვისებები მიახლოებული იყოს ადამიანის ყურის თვისებებთან.

იმის გამო, რომ ყურის მგრძნობელობა დამოკიდებულია როგორც ხმაურის სიხშირეზე, ისე მის ინტენსიურობაზე, ხმაურსაზომში იყენებენ ფილტრების რამდენიმე კომპლექტს, რომლებიც აღიქვამენ ხმაურის განსხვავებულ ინტენსიურობას. აღნიშნული ფილტრები ხმაურის მოცემული სიმძლავრისათვის ყურის ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლების (ასმ) იმიტირების საშუალებას იძლევიან. აღნიშნული ფილტრები *A*, *B*, *C*, *D* ფილტრებად იწოდებიან. *A* ფილტრი აფიქსირებს 55 დბ-მდე ხმაურს, *B* ფილტრი გამოსაყენებელია 55-85 დბ-ის დიაპაზონში, *C* ფილტრი გამოსაყენებელია მაშინ, როცა ხმაურის დონე 85 დბ-ზე მეტია. *D* ფილტრი დამუშავებულია ავიაციის ხმაურის შეფასებისათვის. მაინტეგრებელ ხმაურსაზომებს აგრეთვე აქვთ ხაზური საშუალო მაჩვენებელი და ზომავენ ხმაურის ეკვივალენტურ დონეებს, ბგერათა ექსპოზიციის დონეებს, ხმაურის დოზების სხვადასხვა სახეობებს და ა.შ.

ხმაურის ჰიგიენური ნორმირების საფუძველია ორგანიზმის ფიზიოლოგიური რეაქცია მის ზემოქმედებაზე. ნორმირება დამყარებულია ბგერითი წნევის ინტენსიურობის შეზღუდვაზე ოქტავის ფარგლებში ხმაურის ხასიათის მიხედვით და შრომის თავისებურების გათვალისწინებით.

სამუშაო გარემოში მუდმივი ხმაურის შეფასება ხდება ბგერითი წნევის დონით, რომელიც გამოიხატება დეციბელებში. ეს მაჩვენებელი განისაზღვრება სხვადასხვა სიხშირის საშუალო გეომეტრიული მნიშვნელობებისთვის: 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 და 8000 ჰერცი.

ბგერითი წნევის დონე გამოითვლება ფორმულით:

$$L = 20 \lg \frac{P}{P_0}, \quad (8.2)$$

სადაც P არის ბგერითი წნევის საშუალო კვადრატული მნიშვნელობა, პა; P_0 — ბგერითი წნევის საშუალო კვადრატული (ზღვრული) მნიშვნელობა, პა.

ხმაურის ნორმირება ორი მეთოდით ხდება: 1. პირველი მეთოდი აწესებს ზღვრულად დასაშვებ მნიშვნელობებს 9 ოქტავური ზოლის მიხედვით, როცა ცნობილია ხმაურის დონეები ოქტავური ზოლების მიხედვით; 2. მეორე მეთოდი გამოიყენება შემთხვევით ხმაურის ნორმირებისათვის, როცა ხმაურის სპექტრი ცნობილი არ არის. ამ უკანასკნელ შემთხვევაში მანორმირებელი მაჩვენებელია ფართოზოლოვანი მუდმივი ხმაურის ეკვივალენტური დონე, რომელიც ადამიანზე იმავე გავლენას ახდენს, როგორსაც რეალური უწყვეტი ხმაური, რომელიც იზომება *A* ფილტრის მეშვეობით.

ხმაურის მახასიათებლების ნორმირებისას დასაშვებია რხევათა სიხშირის დიაპაზონის გაფართოება. საორიენტაციო შეფასებისათვის დასაშვებია მუდმივი

ხმაურის მახასიათებლად მივიღოთ ბგერის დონე დეციბელებში, რომელიც აითვლება ხმაურშომის სკალაზე და განისაზღვრება ფორმულით:

$$L_A = 20 \lg \frac{P_A}{P_0}, \quad (8.3)$$

სადაც P_A არის ბგერითი დაწნევის საშუალო კვადრატული მნიშვნელობა, A ფილტრის სკალაზე ხმაურშომის კორექციის გათვალისწინებით.

მოთხოვნების თანახმად სამუშაო ადგილებზე უნდა ჩატარდეს აკუსტიკური გაანგარიშებები ბგერითი წნევის ოქტავური დონის L -ის განსაზღვრავად შემდეგი ფორმულებით:

პირდაპირი ბგერისათვის:

$$L = L_b + \lg X \Phi S, \quad (8.4)$$

არეკლილი ბგერისათვის:

$$L = L_b - 10 \lg B + 10 \lg \Psi + G, \quad (8.5)$$

სადაც L_b არის ხმაურის წყაროს ბგერითი სიძლიერის ოქტავური დონე, დბ; X — კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ახალი აკუსტიკური ველის გავლენას და რომელიც დამოკიდებულია წყაროს აკუსტიკური ცენტრის r მანძილზე, საანგარიშო წერტილ K -ში, ხმაურის წყაროს მაქსიმალური გაბარიტული ზომების დროს, მ; Φ — უგანზომილებო სიდიდე, ხმაურის იმ წყაროებისათვის, რომლებიც თანაბრად გამოასხივებენ ბგერებს აიღება $\Phi = 1$; ΦS — სწორი გეომეტრიული ფორმის წარმოსახვითი ფართობი, რომელიც გარემოცულია ხმაურის წყაროთი, მ²; Ψ — კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ბგერის დიფუზურობის დარღვევას შენობაში, მ²; B — შენობის მუდმივა. განისაზღვრება ფორმულით $B = B_{1000} \cdot \mu$; B_{1000} — შენობის მუდმივა, რომელიც შეესაბამება 1000 ჰც სიხშირის ხმაურის საშუალო გეომეტრიულ მნიშვნელობას. დამოკიდებულია შენობის V მოცულობაზე და შენობის ტიპზე; μ — სიხშირული კოეფიციენტი.

8.6. ულტრაბგერის ნორმირება

ულტრაბგერის ნორმირება განკალკევებულია ხდება. ბგერის წნევით გამოწვეული ჰაერის რხევის ნორმირება სამუშაო ადგილებზე ხდება ბგერის წნევის მიხედვით. ამ უკანასკნელთა დასაშვები სიდიდეები ნორმებში მოცემულია ულტრაბგერის სიხშირის მიხედვით, ხოლო დაცვის დიდი უტყუარობისათვის ნორმირება იწყება არა 16 კჰც-დან, რომელიცაა ულტრაბგერითი დიაპაზონის ყველაზე ნაკლები სიხშირის მქონე ოქტავური ზოლი, არამედ 11-12 კჰც-დან. დასაშვები დონე მიღებულია იმ პირობიდან გამომდინარე, რომ დღე-ღამეში 8 სთ-ის მუშაობის შემთხვევაში უზრუნველყოფილი იყოს მაღალი დონის უსაფრთხოება და პრაქტიკულად გამოირიცხოს პროფესიული დაავადების გავრცელება მუშებსა და მოსამსახურეებში. 8.4 ცხრილში მოცემულია ბგერითი წნევის დასაშვები სიდიდეები ულტრაბგერის სიხშირეთა ზოლებში დღე-ღამეში 8 სთ-ის მუშაობის პირობით.

ულტრაბგერის დონის პერიოდული გაკონტროლება სამუშაო ადგილზე უნდა მოხდეს წელიწადში ერთხელ. გარდა ამისა, დონის დაუგეგმავი გაკონტროლება უნდა მოხდეს იმ შემთხვევაშიც, როცა მოწყობილობა გარემონტდება ან შეიცვლება ახლით. ხმაურის დონის გაზომვა უნდა მოხდეს მომუშავის ძირითადი პოზის მიხედვით ყურებიდან 5 სმ-ით დაშორებულ სივრცეში. აღნიშნული გაზომვების შემთხვევაში საზომი ხელსაწყო ს ლიმბი გადართული უნდა იყოს მაჩვენებელზე — ჩქარი, ხოლო განაზომი აღებული უნდა იქნეს C -სკალიდან.

ცხრილი 8.4

ბგერითი წნევის დასაშვები სიდიდეები ულტრაბგერის სიხშირეთა ზოლებში

ზოლების საშუალოგეომეტრიული სიხშირე, კჰც	ბგერითი დაწნევის დონე, დბ
12,5	75
16	85
20 და მეტი	110

სამუშაო ადგილებზე ულტრაბგერის გამოსხივების ინტენსიურობის ან მისი მავნე გავლენის შემცირება შესაძლებელია: 1. ულტრაბგერის წყაროების მოწყობილობათა მუშა სიხშირეების შემცირებისა და მოწყობილობებში პარაზიტული გამოსხივების აღმოფხვრით; 2. ბგერასაიზოლაციო გარსაფარების, ფარების, ეკრანების გამოყენებით; 3. მუშა-მოსამსახურეთა ინსტრუქტაჟით და მუშაობისა და დასვენების პირობების რაციონალური შერწყმით.

8.7. საწარმოო ხმაურის პროფილაქტიკა

ხმაურის პროფილაქტიკის ნაცადი ხერხებია მისი შემცირება გენერაციის ადგილზე და გადაცემის გზაზე. ამ მხრივ მისაღები ღონისძიებებია:

- ხმაურიანი პროცესების უხმაუროთი შეცვლა;
- მანქანის კვანძში ლითონური ნაწილის შეცვლა ნაკლები ხმაურის აღმძვრელი მასალით;
- მაყუჩების მოწყობა იმ აგრეგატებთან, რომლებიც ხმაურს იწვევენ;
- ცალკეული დანადგარების ან კვანძების მოთავსება ბგერამშთანთქავ გარსაფარში;
- ბგერასაიზოლაციო ან ბგერამშთანთქავი ტიხრების მოწყობა ხმაურის გავრცელების მიმართულებით;
- ყველა ხმაურიანი დანადგარის ერთ სათავსოში მოთავსება და მათი იზოლაცია დანარჩენი ადგილებიდან მწვანე ნარგავების ზოლით;
- ტექნოლოგიური პროცესების ავტომატიზაცია და დისტანციური მართვა და სხვ.

დიდი მნიშვნელობა ენიჭება აგრეთვე პერიოდულ შემოწმებას და ადამიანების ჯანმრთელობის დაზოგვას. თუ აღმოჩნდება მაგალითად, რომ ადამიანს გაუარესებული აქვს ჯანმრთელობა, მაშინ ის გადაყვანილი უნდა იქნეს ისეთ სამუშაოზე, რომელიც ხმაურის მაღალი დონით არ ხასიათდება.

ზემოაღნიშნული მეთოდების დიდი ნაწილი სამშენებლო მასალების მიერ ბგერითი რხევების ენერგიის შთანთქმავა დაფუძნებული. ბგერითი ტალღა ხვდება რა თავის გზაზე კედელს, კარგავს თავისი ენერგიის მნიშვნელოვან ნაწილს მასალის ფორებში არსებული ჰაერის რხევით მოძრაობაში მოსაყვანად. ბგერის ენერგიის ნაწილი გარდაიქმნება სითბურ ენერგიად, ნაწილი აირეკლება, ხოლო მცირე ნაწილი გააღწევს კედლის მეორე მხარეზე და იქ წარმოქმნის მნიშვნელოვნად შესუსტებულ ბგერით ტალღებს.

არეკვლის, შთანთქმის და კედლის მეორე მხარეს გაღწეული ენერგიის სიდიდეზე გავლენას ახდენს რხევის სიხშირე, ბგერითი ტალღის დაცემის კუთხე და კედლის მასალის ფიზიკური თვისებები. მასალის აღნიშნულ თვისებებს ახასიათებს სხვადასხვა კოეფიციენტები.

ბგერითი ენერგიის შთანთქმის კოეფიციენტი:

$$\alpha = \frac{E_{\text{შთ}}}{E}, \quad (8.6)$$

ბგერითი ენერგიის არეკვლის კოეფიციენტი:

$$\beta = \frac{E_{\text{არ}}}{E}, \quad (8.7)$$

ბგერითი ენერგიის გატარების კოეფიციენტი:

$$\tau = \frac{E_{\text{გაღ}}}{E}, \quad (8.8)$$

სადაც E არის კედელზე დაცემული ბგერითი ენერგიის რაოდენობა, χ ; $E_{\text{არ}}$ — კედლიდან არეკლილი ენერგიის რაოდენობა, χ ; $E_{\text{შთ}}$ — კედლის მიერ შთანთქმული ენერგიის რაოდენობა, χ ; $E_{\text{გაღ}}$ — კედლის მეორე მხარეს გაღწეული ენერგიის რაოდენობა, χ . ყველა კოეფიციენტის ჯამი ერთის ტოლია $\alpha + \beta + \tau = 1$.

ბგერაშთანმთქმელი ტიხრებისათვის მასალის შერჩევა დიდადაა დამოკიდებული ბგერის სიხშირეზე. მაგალითად, დაბალსიხშირიანი ბგერების შემთხვევაში სასურველია მოსაპირკეთებელი პანელების გამოყენება. პანელების გამოყენება უფრო ეფექტურია იმ შემთხვევაში, როდესაც ბგერის ტალღის სიხშირე და პანელების საკუთარი სიხშირეები ერთმანეთს ემთხვევა.

მაღალი სიხშირეების შემთხვევაში უფრო მიღებულია ფხვიერი და რბილი მასალების გამოყენება. ამ დროს წარმოიქმნება რეზონანსული მოვლენა, რომელსაც თან სდევს ბგერის ენერგიის ყველაზე მეტი შთანთქმა.

არეკლილი ბგერის ზონაში მოთავსებულ საანგარიშო წერტილში ბგერითი წნევის მაქსიმალური შემცირება გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

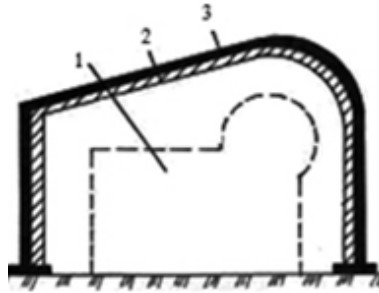
$$\Delta L = 10 \lg \frac{B_1 \Psi}{B \Psi_1}, \quad (8.9)$$

სადაც B_1 არის შენობის მუდმივა, ტიხრების მოწყობის შემდეგ, მ^2 ; B — შენობის მუდმივა, მ^2 ; Ψ , Ψ_1 — კოეფიციენტები, რომლებიც განისაზღვრებიან სტანდარტული ნორმების მიხედვით.

საწარმოო შენობის ფარგლებში ხმაურის შემცირების ერთ-ერთი ეფექტური საშუალებაა ბგერაიზოლაცია, რომელიც გულისხმობს ხმაურიანი აგრეგატების გარსაცმში მოთავსებას. ეს უკანასკნელი მზადდება ლითონის ან პლასტმასისაგან და იფარება ბგერაშთანმთქმელი ნივთიერებებით. მათი საშუალებით შეიძლება

ფართოზოლოვანი ხმაურის 20 დბ-მდე შემცირება, ხოლო ხმაურის სპექტრის ყოველ უბანში ზღვრული დონე ოქტავური ზოლების მიხედვით შესაძლებელია შემცირდეს 25-30 დბ-მდე.

იმ შემთხვევაში, როცა შეუძლებელია ხმაურის შემცირება დასაშვებ ნორმატიულ დონემდე, უნდა გამოვიყენოთ დაცვის ინდივიდუალური საშუალებები. ასეთ საშუალებებს მიეკუთვნება ყურსაცმები, მუზარალები, სხვადასხვა მასალისაგან დამზადებული სადებები.



ნახ. 8.5. ბერასაიზოლაციო ფარი:

1. ხმაურის წყარო; 2. ხმაურმმთანთქავი სამოსი; 3. ფოლადის ფირფიტის გარსაცმი.

დაცვის ინდივიდუალური საშუალებებისათვის წაყენებულია შემდეგი მოთხოვნები:

- ხმაურის შემცირება დასაშვებ ნორმატიულ მნიშვნელობამდე;
- მეტყველების აღქმის უზრუნველყოფა;
- საფრთხის მაუწყებელი ხმოვანი სიგნალის აღქმის უზრუნველყოფა;
- ჰიგიენური მოთხოვნების უზრუნველყოფა.

სტანდარტის მოთხოვნების შესაბამისად, ყველა სამუშაო ზონა, სადაც ხმაურის დონე აღემატება 85 დბ, აღნიშნული უნდა იყოს გამაფრთხილებელი ნიშნებით. ნორმების მოთხოვნების მიხედვით, საწარმოს დაპროექტებისას მხედველობაში აუცილებლად უნდა იქნეს მიღებული სანიტარულდამცავი მწვანე ზონების შექმნა.

მანძილი ხმაურის წყაროდან საცხოვრებელ განაშენიანებამდე, რომლის დაცვაც გვინდა დამცავი მწვანე ზონით, გამოითვლება ბგერითი სიძლიერის დასაშვები მნიშვნელობის მიხედვით, ხმაურის წყაროს გამოსხივება განისაზღვრება ფორმულით:

$$L_{bg} = L_{\varphi} + 15lg\tau - 10lg\phi + \frac{\beta_{at}\tau}{1000} + 10lg\beta_{at}, \quad (8.10)$$

სადაც L_{φ} არის საცხოვრებელი განაშენიანების ზონაში ხმაურის წყაროს დასაშვები დონე დბ; τ — ხმაურის წყაროდან საცხოვრებელ ადგილამდე დასაშვები მანძილი, მ; ϕ — ხმაურის წყაროს მიმართულების ფაქტორი; β_{at} — ხმაურის გამოსხივების სივრცითი კუთხე.

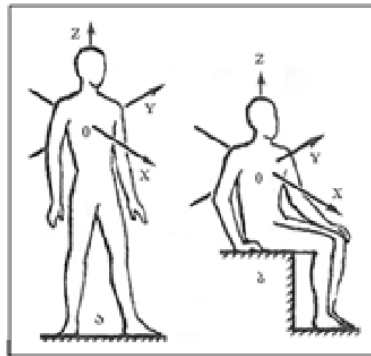
საწარმოო, რომლის ტექნოლოგიური პროცესში ხმაური ნორმით გათვალისწინებულზე მეტია, უნდა განლაგდეს ისე, რომ გაბატონებული ქარების მიმართულება იყოს საცხოვრებელი განაშენიანებიდან საწარმოს მხარეს და არა პირიქით.

8.8. საწარმოო ვიბრაცია

ვიბრაცია არის მანქანათა ნაწილების, ტექნოლოგიური დანადგარების, მოწყობილობების რხევითი მოძრაობა, რომელიც გამოწვეულია მბრუნავი დეტალების დინამიკური გაუნონასწორებლობით. რხევად დეტალებთან შეხებისას ადამიანის ორგანიზმის ნაწილები ან მთელი ორგანიზმი იწყებს რხევით მოძრაობას. მექანიკური რხევა შეხების წერტილიდან სწრაფად ვრცელდება მთელ ორგანიზმში.

ადამიანის სხეულზე მოქმედი ვიბრაცია გადაცემის გზის მიხედვით შესაძლებელია იყოს საერთო და ლოკალური.

ვიბრაცია საერთო მაშინაა, როდესაც: 1. გადაეცემა ფეხზე მდგომ ადამიანს ფეხების მეშვეობით და მოიცავს მთელ სხეულს; 2. გადაეცემა დამჯდარ ადამიანს მთელ სხეულზე. განსაკუთრებით სახიფათოა საერთო ვიბრაცია, როცა მასში პირდაპირაა ჩართული ადამიანის თავი.



ფიგ. 8.6. საერთო ვიბრაციის მოქმედების ილუსტრაცია.

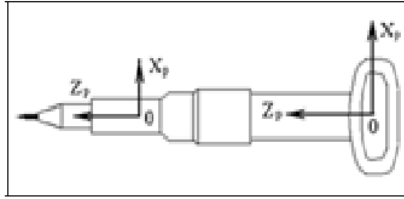
ლოკალური ვიბრაცია ადამიანს გადაეცემა ხელებიდან. დამჯდარ ადამიანზე მხოლოდ ფეხებიდან გადაცემული ვიბრაციაც, რომელიც პირდაპირ არ ვრცელდება ხერხემალზე, აგრეთვე ლოკალურია.

საერთო ვიბრაციის გავრცელების მიმართულებები, როგორც ფიგ. 8.6-დან ჩანს, არის X , Y და Z ღერძების გასწვრივ. OX ღერძის მიმართულება როგორც ფეხზე მდგომი, ისე დამჯდარი ადამიანის შემთხვევაში არის ზურგიდან გულმკედლისაკენ, OY ღერძის მიმართულება მარჯვენა მხრიდან მარცხენა მხრისაკენ, ხოლო OZ ღერძი მიმართულია ფეხებიდან თავისაკენ.

საერთო ვიბრაცია მოქმედებს ადამიანებზე, რომლებიც მუშაობენ ექსკავატორებზე, ბულდოზერებზე, სხვადასხვა სამთო-მომპოვებელ მანქანებზე და კომპლექსებზე, ქვის სამსხვრევ დანადგარებზე, წისქვილებში, ვიბროშემკვრივებელ დანადგარებზე, ხის დამმუშავებელ და გადამმუშავებელ მოწყობილობებზე, საბურღი მანქანებზე და ა.შ.

ლოკალური ვიბრაცია მოქმედებს ადამიანებზე, რომლებიც მუშაობენ პნევმატიკურ ან ელექტროფიცირებულ, დარტყმით ან მბრუნავი ტიპის და სხვა მსგავს ხელსაწყოებზე ან მოწყობილობებზე (ნახ. 8.7). ამ დროს და ღერძები მიმართულია ადამიანის ხელებში იარაღზე ჩავლების ადგილებიდან, რაც ნაჩვენებია სანგრევი ჩაქუჩის მიხედვით.

დროითი მახასიათებლის მიხედვით განასხვავებენ მუდმივ ვიბრაციას, როცა რომელიმე საკონტროლო პარამეტრი 2 - ჯერ მეტად არ იცვლება და ცვალებად ვიბრაციას, როცა პარამეტრი უფრო მეტი სიდიდით იმატებს.



ნახ. 8.7. ლოკალური ვიბრაციის დროს რხევათა გავრცელების დერძები იარაღზე ჩავლების ადგილებში.

8.9. ვიბრაციის ზემოქმედება ორგანიზმზე

ვიბრაციის მოქმედება ორგანიზმზე მისი სიხშირისა და ამპლიტუდის მიხედვით შეიძლება დადებითიც იყოს და უარყოფითიც. დაბალი ინტენსიურობის ვიბრაციის ორგანიზმზე ხანმოკლე ზემოქმედება მასზე დადებითად მოქმედებს: ანვითარებს კუნთებს, ამცირებს დაღლილობას. ზოგიერთი დაავადების დროს ვიბრაციას იყენებენ სამკურნალოდაც. მაგალითად, სისხლის მიმოქცევის გასაუმჯობესებლად.

ხანგრძლივი მოქმედების შემთხვევაში ვიბრაცია დიდ ზიანს აყენებს ორგანიზმს. ორგანიზმში ხდება ნეიროტროფული და გეომეტრიული დარღვევები, კანი ხდება მგრძნობიარე და მტკივნეული ვიბრაციისა და ტემპერატურის ცვალებადობის მიმართ.

პნევმატიკური და ელექტროფიცირებულ იარაღებზე ხანგრძლივი მუშაობის შედეგად ხელის თითებმა და მტევანმა შეიძლება დაკარგონ შეგრძნების უნარი. სამუშაოს დამთავრების შემდეგ მაჯაში იგრძნობა ტკივილი, ზოგჯერ მაჯის, იდაყვის და მხრის სახსრების დეფორმირება. ხდება საყრდენი და მამოძრავებელი ფუნქციის მოშლა.

ვიბრაციული დაავადების ხარისხი და სიმძიმე დამოკიდებულია ვიბრაციის ინტენსიურობაზე, მოქმედების ხანგრძლივობაზე, ორგანიზმზე გადაცემის ადგილზე და ორგანიზმში ვიბროტალღების გავრცელების მიმართულებაზე. საწყის სტადიაში ვიბროდაავადება კარგად ემორჩილება მკურნალობას, ორგანიზმზე ვიბრაციის მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ. დაავადების მძიმე ფორმების მოსაცილებლად საჭიროა ხანგრძლივი მკურნალობა და ორგანიზმის ვიბრაციისაგან სრული იზოლირება. უყურადღებობის შემთხვევაში ვიბროდაავადებამ შესაძლებელია გამოიწვიოს შრომისუნარიანობის ნაწილობრივი ან მთლიანი დაკარგვა.

დაავადების საერთო ნიშნებია: სწრაფი დაღლილობა, თავის ტკივილები, თავბრუსხვევა, ტკივილები მუცლისა და გულ-მკერდის არეში, უძილობა.

მომუშავე ადამიანის სხეულს პირობითად განიხილავენ, როგორც თავისებურ რხევად სისტემას, ვინაიდან ვიბრაციის ზემოქმედებით ადამიანის სხეულის ნაწილების გადაადგილება ხდება ერთმანეთის მიმართ ამპლიტუდით, რომლებიც დამოკიდებულია

რხევების წყაროსა და ორგანოთა მასაზე. სხეულის ნაწილების ფარდობითი გადაადგილება იწვევს სახსრების დაძაბულობასა და მათზე დიდ დატვირთვას.

ადამიანის ორგანიზმზე ხანგრძლივი რხევების მოქმედება ($f = 3-5$ ჰც სიხშირით) მავნელ აისახება ვესტიბულარულ აპარატზე, გულ-სისხლძარღვთა სისტემაზე და იწვევს რწევის სინდრომს. რხევები $f = 5-11$ ჰც სიხშირით მავნელ მოქმედებს თავის, კუჭის, ნაწლავების და სხვა ორგანოებზე. $f = 11-45$ ჰც სიხშირის რხევების შემთხვევაში ხდება გულისრევა, პირღებინება, უარესდება მხედველობა, ირღვევა სხვა ორგანოების ნორმალური მოქმედება. რხევების სიხშირე >45 ჰც, იწვევს თავის ტვინის სისხლძარღვების დაზიანებას; ხდება სისხლის ცირკულაციისა და უმაღლესი ნერვული მოქმედების მოშლა, რასაც მოყვება ვიბრაციული ავადმყოფობის განვითარება.

ადამიანის სხეულს, რომელიც განიხილება როგორც ბლანტი-დრეკადი მექანიკური სისტემა, გააჩნია საკუთარი სიხშირე და საკმარისად გამოხატული რეზონანსული თვისებები. ადამიანის სხეულის სხვადასხვა ნაწილების რეზონანსულ სიხშირეთა დიაპაზონები შემდეგია: თავის – $2-27$ ჰც; ყელის – $6-27$ ჰც; გულმკერდის – $2-12$ ჰც; ფეხებისა და ხელების – $2-8$ ჰც; ხერხემლის წელის ნაწილის – $4-14$ ჰც; მუცლის – $4-12$ ჰც.

8.10. საწარმოო ვიბრაციის ნორმირება

ვიბრაციის ნორმირება ხდება სპეციალური დოკუმენტით – სანიტარიული ნორმებითა და წესებით. ნორმირება ხდება ვიბრაციის სახეობისა (საერთო, ლოკალური) და მიმართულებათა (ვერტიკალური, ჰორიზონტალური) მიხედვით ოქტავური ზოლების შესაბამისად. ნორმირება ვრცელდება 16 ჰც-მდე სიხშირის ინფრარხევებზეც ($8, 4, 2, 1$ ჰც), ანუ ისეთ რხევებზე, რომლებსაც ადამიანის ყური ვერ აღიქვამს, ხოლო სხეული შეიგრძნობს. ოქტავურ ზოლებში ნორმირების პარამეტრებია: რხევის საშუალოკვადრატული ვიბროსიჩქარე (მ/წმ) და ვიბროსიჩქარის ლოგარითმული დონე (დბ).

ვიბრაციის ჰიგიენური ნორმების დადგენისას გათვალისწინებულია, რომ მუშის ორგანიზმზე ვიბრაცია მოქმედებს მხოლოდ 8 სთ-იანი სამუშაო ცვლის განმავლობაში და ნორმების დაცვის შემთხვევაში მუშაობის მთელი სტაჟის პერიოდში ვიბროდაზავდება არ განვითარდება.

ხელის მანქანების შემთხვევაში ლოკალური ვიბრაციის დასაშვებად ნორმირებადი პარამეტრებია: 1. რხევის საშუალოკვადრატული ვიბროსიჩქარე (მ/წმ) და ვიბროსიჩქარის ლოგარითმული დონე (დბ) ოქტავური ზოლების შესაბამისად ისე, როგორც საერთო ვიბრაციის შემთხვევაში, ოღონდ ერთი განსხვავებით, ოქტავური ზოლის ნორმირებადი მაჩვენებელი იწყება 8 ჰც-დან; 2. სამუშაო იარაღზე ჩავლების ძალა, რომელიც არ უნდა იყოს 200 ნ-ზე მეტი; 3. იარაღის ან მისი ნაწილის წონა, რომელიც ხელში უჭირავს მუშას უნდა იყოს 100 ნ ან უფრო ნაკლები. ეს უკანასკნელი მასაზე გადაყვანის შემთხვევაში შეადგენს $9,8$ კგ.

ამასთან ერთად ნორმირებულია იარაღის ზედაპირის თბოგამტარობის თვისება, მუშის ხელების ჩავლების ადგილებში. სათანადო მასალა უნდა ხასიათდებოდეს 0,5 ვტ/(მ.გრად) ან უფრო ნაკლები თბოგამტარობის კოეფიციენტით.

8.11. ვიბრაციის გაზომვა და პროფილაქტიკა

ვიბრაციის გაზომვის წესი, აგრეთვე საზომი ხელსაწყოების ნომენკლატურა და ვიბრაციისაგან დაცვის მეთოდები და საშუალებები რეგლამენტირებულია ნორმებით. ვიბრაციის საზომ ხელსაწყოს ვიბრომეტრი ეწოდება. ვიბრომეტრით შესაძლებელია როგორც საერთო, ისე ლოკალური ვიბრაციის გაზომვა. თანამედროვე ვიბრომეტრები ციფრულია, რომელთაგან შესაძლებელია შერწყმული იყოს ხმაურსაზომი, თერმომეტრი, ანემომეტრი და სხვა მოწყობილობები. ისეთი ხელსაწყოები, რომლებიც მართო ვიბრაციის გაზომვაზეა ორიენტირებული, შესაძლოა მონაცემებს იძლეოდნენ აჩქარების (მ/წმ^2), სიჩქარის (მ/წმ) ან ძვრის (მმ) მიხედვით ოქტავური ზოლების ფარგლებში. ნახ. 8.10.ა-ზე წარმოდგენილია საერთო და ლოკალური ვიბრაციის საზომი ციფრული ხელსაწყო **ოქტავა 1018**. ნახ. 8.10.ბ-ზე კი – რხევების უფრო თანამედროვე საზომი ხელსაწყო **TV-110**, რომელიც დამზადებულია ფირმა **TIMEGroup**-ის მიერ. ხელსაწყო განსაკუთრებით მაღალი სიზუსტისაა პერიოდული ვიბრაციული ბრუნვითი და გადატანითი რხევების გაზომვის საქმეში.

ვიბრაციისაგან დაცვის საშუალებები იყოფა დაცვის კოლექტიურ (ვიბროიზოლაციის, ვიბრაციის შთანთქმის) და ინდივიდუალურ საშუალებებად. ადამიანის ვიბრაციისაგან დაცვის ძირითადი მოთხოვნაა ვიბრაციისაგან უსაფრთხო ზონების ან ისეთი სამუშაო პირობების შექმნა, რომ ვიბრაცია ვერ ახდენდეს ორგანიზმზე ზეგავლენას.

შრომის ვიბროუსაფრთხო პირობების შექმნა ხდება:

- ვიბროუსაფრთხო მანქანების გამოყენებით;
- საწარმოოების შენობებისა და ტექნოლოგიური პროცესის ისეთი საპროექტო გადაწყვეტით, რომელიც უზრუნველყოფს ვიბრაციის ჰიგიენური ნორმების დაცვას სამუშაო ადგილებზე;
- ორგანიზაციულ-ტექნიკური ღონისძიებებით, რომლებიც მიმართულია მანქანა-დანადგარების ტექნიკური მდგომარეობის შენარჩუნებისა და გაუმჯობესებისაკენ;
- დამატებითი დემპფერების გამოყენებით, რომლებიც დამატებულია მანქანის კონსტრუქციაზე;
- პასიური ან აქტიური (ენერგიის დამატებითი წყაროს მეშვეობით) ვიბროიზოლაციის, დინამიკური ვიბროჩაქრობის გამოყენება;
- ლითონური, პოლიმერული, ბოჭკოვანი, პნევმატიკური, ელექტრომაგნიტური დემპფირების გამოყენება;
- ინდივიდუალური (ოპერატორის ხელის, ფეხის და სხეულის) დემპფირების ან ვიბროიზოლაციის გამოყენება.

აღნიშნული ჩამონათვალი არის ვიბრაციული დაავადებისაგან ადამიანის დასაცავად გამოყენებული ტექნიკური ღონისძიებების არასრული სია. მათთან ერთად შერწყმული

უნდა იყოს ორგანიზაციულ-ტექნიკური და სამკურნალო-პროფილაქტიკური ღონისძიებები.

ორგანიზაციულ-ტექნიკური ღონისძიებები გულისხმობს:

- ნორმატიულ-ტექნიკური დოკუმენტაციით გათვალისწინებულ ვადებში ტექნიკის პერიოდულ შემოწმებას ვიბრაციის მაჩვენებლებზე, რომელიც უნდა იყოს საერთო ვიბრაციის შემთხვევაში არანაკლებ 1-ჯერ წელიწადში და ლოკალური ვიბრაციის შემთხვევაში არანაკლებ ორჯერ წელიწადში;

- ახლად მიღებული მანქანებისა და ან მანქანების გეგმური რემონტის შემდეგ, ვიბრაციის მახასიათებლების შემოწმებას;

- მანქანების ექსპლუატაციის წესებისა და პირობების კონტროლსა და დაცვას.

სამკურნალო-პროფილაქტიკური ღონისძიებებიდან აღსანიშნავია ვიბრაციულ სამუშაოზე მიღებული მუშების სამედიცინო შემოწმება, რომელიც პერიოდულად უნდა მოხდეს, წელიწადში ერთხელ მაინც.



ნახ. 8.8. ვიბრაციის საზომი ციფრული ხელსაწყოები:

ა - ოქტავა 1018; ბ - TV-110.

ვიბროუსაფრთხო მანქანების დაპროექტებისას გამოიყენება მეთოდები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან შევამციროთ ვიბრაციის პარამეტრები წარმოქმნის ადგილზე, ხოლო ვიბროსაშიში მანქანებისათვის ტექნოლოგიური პროცესის დაპროექტებისას გამოიყენება მეთოდები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან შევამციროთ ვიბრაცია მისი გავრცელების გზაზე.



ნახ. 8.9. სპეციალური ვიბროჩამსმობი და ვიბროსაიზოლაციო ფეხსაცმელი.

ტექნოლოგიური პროცესების, საწარმოო შენობების და ნაგებობების დაპროექტების დროს აუცილებლად უნდა შესრულდეს ღონისძიებები, რომლებიც შესაძლებელია მივიჩნიოთ ვიბრაციისაგან დაცვის კოლექტიურ საშუალებებად ან მათი მოწყობის წინაპირობად. ეს ღონისძიებები შემდეგია: 1. სამუშაო ადგილებზე ვიბრაციის მოსალოდნელი დონის განსაზღვრის მიზნით უნდა ჩატარდეს სათანადო გაანგარიშებები; 2. უნდა დაფიქსირდეს მომეტებული ვიბრაციის შემცველი სამუშაო ადგილები; 3. შეირჩეს დაბალი ვიბრაციის მახასიათებლის მქონე მანქანები; 4. უნდა

დამუშავდეს მანქანა-მექანიზმების განლაგების სქემები იმის გათვალისწინებით, რომ სამუშაო ადგილებზე ვიბრაციის დონე მინიმალური იყოს; 5. შეირჩეს მექანიზმების დასაყენებლად ისეთი საფუძველი (გადახურვა) ან მოთავსდეს მანქანა-მექანიზმები ისეთ გარსაცმში, რომ უზრუნველყოფილი იქნეს ვიბრაციის ჰიგიენური ნორმების დაცვა სამუშაო ადგილებზე.

გამოსაყენებელი დაცვის საშუალებები:

- **ინჟინრული:** მაყუჩები, ბერასაიზოლაციო ტიხრები, ვიბრაციის საწინააღმდეგო საყრდენები.

- **ადმინისტრაციული:** სამუშაო დროის მართვა, სმენის ტესტები, უსაფრთხო ზონების მონიშვნა.

- **ინდივიდუალური:** ყურსაცობები, ყურსასმენები, ვიბრაციის საწინააღმდეგო ხელთათმანები, ფეხსაცმლები, სამკერდეები, სამუხლეები, ქამრები, კოსტუმები.

პედაგოგიური მენიშვნა: სტუდენტმა უნდა შეძლოს ISO 1999-ის რაოდენობრივი ნორმების დაკავშირება WHO/ILO რეკომენდაციებთან და შეადგინოს კონტროლის გეგმა საკუთარი სამუშაო გარემოსათვის.

8.12. კითხვები

გამეორებისათვის მოკლე

პასუხებით

I. ფაქტობრივი ცოდნა

1. რა არის დეციბელი? — ბგერითი წნევის ლოგარითმული ერთეული.
2. რა არის სმენითი დიაპაზონი? — 16 ჰც–16 კჰც.
3. რა არის ინფრაბგერები? — <16 ჰც.
4. რა არის ულტრაბგერები? — >16 კჰც.
5. რა არის LAeq? — ეკვივალენტური მუდმივი ხმაურის დონე.
6. რა არის ოქტავური ზოლი? — სიხშირის დიაპაზონი, რომლის ზედა ზღვარი ორჯერ მეტია ქვედაზე.
7. რას უდრის რიცხობრივად სმენადობის ქვედა ზღვარი? — 0 დბ.
8. რიცხობრივად რამდენი არის მტკივნეული ზღვარი? — ~120 დბ.
9. რა არის იმპულსური ხმაური? — მოკლე, მაღალი პიკის მქონე სიგნალი.
10. რა არის ვიბრაცია? — რხევითი მოძრაობა სხეულზე გადაცემით.

II. ინტეგრაციული ცოდნა

11. ხმაურის დასაშვები ზღვარი ISO 1999 მიხედვით? — 85 დბ 8 საათში.
12. რით გამოიხატება ISO 9612-ის როლი? — მოცემულია გაზომვის მეთოდოლოგია.
13. WHO ≥85 დბ რეკომენდაცია? — სმენის ტესტები და პროფილაქტიკა.
14. რა არის ILO-ს მოთხოვნა ხმაურიან ზონებში? — რეგულარული მონიტორინგი.
15. A ფილტრი რას ემსახურება? — ადამიანის ყურის მგრძნობელობის იმიტაცია.
16. რისთვისაა საჭირო ოქტავური ანალიზი? — კონტროლის ზომების დასაზუსტებლად.

17. უსაფრთხო ზონების მონიშვნის მიზანი? — ≥ 85 დბ ადგილების გამაფრთხილებელი ნიშნები.
18. ლოკალური vs საერთო ვიბრაცია? — ხელებიდან vs მთელ სხეულზე.
19. იმპულსური ხმაურის რისკი? — რეალური ზემოქმედების ნაკლები შეფასება.
20. WHO რეკომენდაცია სმენის ტესტებზე? — რეგულარული სკრინინგი.

III. პრაქტიკული გამოყენება

21. როგორ მცირდება ხმაური? — მაყუჩებით, ბალანსირებით.
22. როგორ გამოიყენება ბგერასაიზოლაციო ტიხრები? — ხმაურის ჩახშობისთვის მისი გავრცელების გზაზე.
23. რა ინდივიდუალური დაცვის საშუალებები გამოიყენება ≥ 85 დბ ზონებში? — ყურსაცობები, ყურსასმენები.
24. როგორ გამოიყენება ვიბრომეტრი? — აჩქარების/სიჩქარის გაზომვით.
25. როდის არის საჭირო დაუგეგმავი გაზომვა? — რემონტის/ მანქანის ან ტექნოლოგიის შეცვლის შემდეგ.
26. როგორ უნდა შემცირდეს სამუშაო დრო ხმაურიან გარემოში? — ცვლის დაყოფით.
27. რომელს უნდა მივცეთ უპირატესობა არჩევანის შემთხვევაში ინჟინრული vs ინდივიდუალური ზომები? — პრიორიტეტი ინჟინრულს.
28. როგორ შეადგინოს ISO 1999-ზე დაფუძნებული გეგმა? — ექსპოზიციის დონის შეფასებით.
29. რა არის კომპოზიტური რისკი? — ხმაური+ვიბრაცია+მიკროკლიმატი.
30. როგორ შეაფასოს პროფილაქტიკური ზომების ეფექტიანობა? — სმენის ტესტებით და ISO ნორმებთან შედარებით.

პედაგოგიური დავალებები:

1. შეადარეთ ISO 1999-ის 85 დბ ზღვარი WHO რეკომენდაციებთან და ჩამოწერეთ მსგავსება/განსხვავება.
2. შეაფასეთ თქვენი სამუშაო გარემოს ხმაურის დონე (LAeq) და შეადარეთ ISO 1999 ნორმებს.
3. განსაზღვრეთ, რა შედეგი შეიძლება ჰქონდეს ≥ 85 დბ ექსპოზიციას WHO-ს მიხედვით.
4. შეადგინეთ კონტროლის გეგმა ISO 1999-ის რაოდენობრივი ნორმებისა და WHO/ILO რეკომენდაციების გათვალისწინებით.
5. მოამზადეთ მოკლე ანგარიში, სადაც აღწერთ ISO 1999-ის ნორმებს და WHO/ILO-ს ორგანიზაციულ ზომებს.

გამოსაყენებელი სტანდარტები: ISO 1999 — ხმაურის ზღვარი; WHO — სმენის დაცვა; ILO — ორგანიზაციული ზომები.

9. ელექტროუსაფრთხოება

9.1. გზამკვლევი მეცხრე თავისათვის

- **თეორიული ინტეგრაცია**

ელექტრული დენის ზემოქმედება ადამიანის ქსოვილებზე მოიცავს თერმულ, ელექტროლიტურ, მექანიკურ და ბიოლოგიურ ეფექტებს. ეს საფუძვლად უდევს ელექტროტრავმების კლასიფიკაციას და პროფილაქტიკის მეთოდებს.

- **სტანდარტებთან ინტეგრაცია**

- ISO 45001 – პროფესიული უსაფრთხოებისა და ჯანმრთელობის მართვის სისტემა.
- IEC 60364 – ელექტრომონტაჟის უსაფრთხოების მოთხოვნები.
- IEC 60479 – დენის გავლენის ეფექტები ადამიანებსა და ცხოველებზე.
- WHO რეკომენდაციები – ჯანმრთელობის დაცვის საერთაშორისო პრაქტიკა.

- **პედაგოგიური ინტეგრაცია**

თემის სწავლებისას მნიშვნელოვანია ვიზუალური სქემები (დენის გავლა ქსოვილებში, დამწვრობის ხარისხები), პრაქტიკული მაგალითები და შემთხვევების ანალიზი.

9.2. ელექტრული დენის მოქმედება ადამიანის ორგანიზმზე

ადამიანის სხეულში განდინებული დენი მრავალმხრივ ზემოქმედებას ახდენს: **თერმულს, ელექტროლიტურს, მექანიკურს და ბიოლოგიურს**. შედეგად იცვლება როგორც ცოცხალი, ისე არაცოცხალი მატერიისთვის დამახასიათებელი ფიზიკურ-ქიმიური პროცესები.

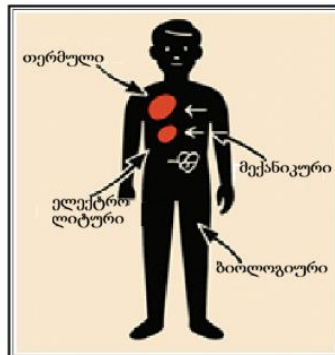
მოკლე შენიშვნა — შეესაბამება IEC 60479 სტანდარტს, რომელიც განსაზღვრავს დენის გავლენის ეფექტებს ადამიანის სხეულზე.

- **თერმული ზემოქმედება:** ქსოვილებში სისხლისა და ლიმფის გათბობა, რაც იწვევს ორგანოების ფუნქციურ დარღვევას ან დამწვრობას.

- **ელექტროლიტური ზემოქმედება:** სისხლისა და ორგანული სითხეების დაშლა იონებად, მათი ქიმიური შემადგენლობის ცვლილებით.

- **მექანიკური ზემოქმედება:** ქსოვილების, კუნთებისა და სისხლძარღვების დაზიანება ელექტროდინამიკური ძალების გამო.

- **ბიოლოგიური ზემოქმედება:** ბიოელექტრული პროცესების დარღვევა, ნერვული და კუნთოვანი სისტემის აგზნების შეფერხება. რადგან ბიოპოტენციალები მცირე სიდიდისაა, გარე დენი ადვილად არღვევს მათ ნორმალურ მოქმედებას, რაც ხშირად სასიცოცხლო ფუნქციების შეწყვეტამდე მიდის.



ფიგ. 9.1. ადამიანის სხეულზე დენის ოთხი ძირითადი გავლენის ილუსტრაცია.

დენის მრავალმხრივი ზემოქმედება იწვევს ელექტროტრავმებს, რომლებიც ორ ძირითად ჯგუფად იყოფა:

- **ადგილობრივი დაზიანებები** — ქსოვილებისა და ორგანოების პირდაპირი დაზიანება.

- **ელექტრული დარტყმა** — ორგანიზმის საერთო რეაქცია დენზე.

სტატისტიკის მიხედვით:

- ადგილობრივ ტრავმებზე მოდის დაახლოებით 20%,
- ელექტრულ დარტყმებზე — 25%,
- შერეულ შემთხვევებზე — 55%.

9.3. ადგილობრივი

ელექტროტრავმა

მოკლე შენიშვნა — ადგილობრივ ელექტროტრავმებთან დაკავშირებით ISO 45001 სტანდარტი მოითხოვს პროფილაქტიკური ღონისძიებების შესრულებას, მათ შორის – დამცავი ტანსაცმლის გამოყენებას.

ადგილობრივი ელექტროტრავმების სახეები:

ა) ელექტრული დამწვრობა

ყველაზე გავრცელებული დაზიანებაა — შემთხვევათა დაახლოებით 63%-ში. შეიძლება იყოს კონტაქტური (დენგამტარ ნაწილთან უშუალო შეხებით) ან რკალური (ელექტრული რკალის ზემოქმედებით).

- დაბალ ძაბვაზე (2 კვ-მდე) დამწვრობა ძირითადად I-II ხარისხისაა — კანის შეწითლება და ბუშტულები.

- მაღალი ძაბვისას (380 ვ-ზე მეტი) გვხვდება III–IV ხარისხის დაზიანებები — ქსოვილების დაწვა და დანახშირება.

- რკალური დამწვრობა განსაკუთრებით მძიმეა, ხშირად იწვევს სხეულის დიდი ნაწილის დაზიანებას და შესაძლოა დასრულდეს სიკვდილით.

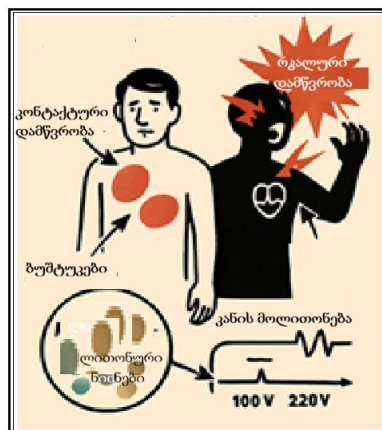
ბ) ელექტრული ნიშნები

კანზე ჩნდება ნაცრისფერი ან ღია ყვითელი ლაქები, ჩვეულებრივ წრიული ან ოვალური ფორმით. ისინი უმტკივნეულოა და დროთა განმავლობაში ქრება, კანის ახალი ფენით ჩანაცვლებით. ასეთი ნიშნები აღინიშნება დაშავებულთა დაახლოებით 10%-ში.

გ) კანის მოლითონება

დამახასიათებელია გამდნარი ლითონის მიკრონაწილაკების შეჭრა კანში მოკლე ჩართვის ან რკალის დროს. დაზიანება ძირითადად ხელებსა და სახეზე გვხვდება. კანი ხდება ხორკლიანი, ტკივილი და დაჭიმულობა თან ახლავს. დროთა განმავლობაში კანი აღდგება.

- მუდმივი ღენის შემთხვევაში შესაძლებელია ელექტროლიზის შედეგად ლითონის იონების შეღწევა კანში, რაც იწვევს სპეციფიკურ შეფერილობას (მაგ., მწვანე — სპილენძი, ცისფერმწვანე — თითბერი, მონაცრისფრო-ყვითელი — ტყვია).



ფიგ. 9.2. ადგილობრივი ელექტროტრავმების ილუსტრაცია.

დ) მექანიკური დაზიანება

გამოიწვევს კუნთების ძლიერი კრუნჩხვით შეკუმშვას, რის შედეგადაც შეიძლება მოხდეს კანის, მყესების, სისხლძარღვების დაზიანება, ამოვარდნილობა ან მოტეხილობა. ასეთი ტრავმები იშვიათია (დაახლოებით 1%) და ყოველთვის თან ახლავს ელექტრულ დარტყმას.

ე) ელექტროოფთალმია

ელექტრული რკალი ულტრაიისფერი და ინფრაწითელი გამოსხივების ძლიერი წყაროა. ულტრაიისფერი სხივები აზიანებს რქოვანასა და კონიუნქტივს, იწვევს ანთებას, ცრემლდენას, ტკივილს და მხედველობის დროებით დაკარგვას. სიმპტომები ჩნდება 4–8 საათში. მძიმე შემთხვევებში რქოვანის გამჭვირვალობა ირღვევა. პროფილაქტიკით სათვის აუცილებელია დამცავი სათვალებების გამოყენება.

9.4. ელექტრული დენის გავლენა ადამიანის ორგანიზმზე

მოკლე შენიშვნა — ელექტრულ დარტყმასთან დაკავშირებით WHO ხაზს უსვამს პირველადი დახმარების მნიშვნელობას, რაც უნდა იყოს ინტეგრირებული საწარმოო ინსტრუქციებში.

ელექტრული დენის გავლა ადამიანის სხეულში იწვევს ცოცხალი ქსოვილების აგზნებას და კუნთების უნებლიე კრუნჩხვით შეკუმშვებს. შედეგად შეიძლება დაირღვეს გულის, ფილტვების და ნერვული სისტემის ნორმალური ფუნქციონირება.

- მსუბუქი ზემოქმედება ვლინდება მცირე კრუნჩხვებით დენის შესვლისა და გამოსვლის წერტილებში.

- მძიმე შემთხვევებში შესაძლებელია გულისა და სუნთქვის ფუნქციის შეწყვეტა, რაც ხშირად სიკვდილით მთავრდება, მაშინაც კი, როცა გარეგანი დაზიანებები არ ჩანს.



ფიგ. 9.3. დენის დარტყმისა და ადგილობრივი დაზიანებების ილუსტრაცია.

სამრეწველო სიხშირის დენი (50–60 ჰც) განსაკუთრებით საშიშია, რადგან სხეულში ღრმად ვრცელდება. უფრო მაღალი სიხშირის დენი ძირითადად კანის ზედაპირზე მოქმედებს და იწვევს დამწვრობას, მაგრამ ნაკლებად — სისტემურ დაზიანებას.

სასიკვდილო ზღვარი: ადამიანის სხეულში 100 მილიამპერის დენის ძალის გავლა სიცოცხლესთან შეუთავსებელია. ომის კანონის მიხედვით, სხეულის საშუალო წინააღობის გათვალისწინებით, სასიკვდილო ძაბვა დაახლოებით 100 ვოლტია:

$$U = IR, \quad (9.1)$$

სადაც U არის სხეულში განდინებული დენის ძაბვა, ვ; I – დენის ძალა, ა; $I = 100$ მა = 0,1 ა; R – ადამიანის სხეულის საშუალო ელექტრული წინააღობა, ო; $R = 1000$ ო.

ელექტრული დენის ზემოქმედება, თუნდაც არ იყოს სასიკვდილო, ხშირად იწვევს გრძელვადიან დარღვევებს: გულის არითმიას, სტენოკარდიას, ჰიპერტონიას, ნევროზს, ენდოკრინოლოგიურ პრობლემებს. დაზარალებულებს შეიძლება ჰქონდეთ ყურადღების დაქვეითება და მეხსიერების პრობლემები.

სტატისტიკურად, დენით დამავებულითა 80%-ს აღენიშნება ელექტრული ზემოქმედება, მათგან 55%-ს თან ახლავს ადგილობრივი ტრავმები (დამწვრობა და სხვ.).

სასიკვდილო შემთხვევების 85–87% სწორედ ელექტრული ზემოქმედებით არის გამოწვეული.

სიკვდილის ეტაპები:

- კლინიკური სიკვდილი — გულისა და სუნთქვის შეწყვეტის შემდეგ 4–6 წუთის განმავლობაში ქსოვილები ჯერ კიდევ ცოცხალია, რაც გადარჩენის შესაძლებლობას ტოვებს.

- ბიოლოგიური სიკვდილი — შეუქცევადი მდგომარეობა, როდესაც უჯრედებში და ქსოვილებში ცილოვანი სტრუქტურები იშლება.

გულის ფიბრილაცია — გულის კუნთის უჯრედების ქაოსური შეკუმშვები, რის შედეგადაც გული ვეღარ ახდენს სისხლის გადატუმბვას. ეს მდგომარეობა სწრაფად იწვევს ჟანგბადის შიმშილს და კლინიკურ სიკვდილს.

ელექტრული შოკი — მძიმე ნერვულ-რეფლექტორული რეაქცია, რომელიც ვლინდება სისხლის მიმოქცევის, სუნთქვის და ნივთიერებათა ცვლის დარღვევებით. თავდაპირველად აღინიშნება აგზნების ფაზა (ტკივილი, წნევის მატება), რასაც მოჰყვება დამუხრუჭების ფაზა (დეპრესია, წნევის დაცემა, უგრძნობელობა). მდგომარეობა შეიძლება გაგრძელდეს წამების ფრაქციიდან ერთ დღე-დამემდე და დასრულდეს ან სიკვდილით, ან გამოჯანმრთელებით აქტიური მკურნალობის შედეგად.

9.5. ადამიანის სხეულის

ელექტრული წინაღობა

ადამიანის სხეული დენს ატარებს, თუმცა მისი გამტარებლობა განსხვავდება ჩვეულებრივი ლითონური გამტარისგან. ეს განსხვავება განპირობებულია ფიზიკური, ბიოქიმიური და ბიოფიზიკური პროცესებით, რომლებიც ცოცხალ ქსოვილებს ახასიათებს. შედეგად, სხეულის წინაღობა ცვალებადია და დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე – კანის მდგომარეობაზე, დენის პარამეტრებზე, ფიზიოლოგიურ თავისებურებებზე და გარემო პირობებზე.

ცოცხალ ქსოვილებში დენის გადატანა არ ხდება თავისუფალი ელექტრონებით, როგორც ლითონში, არამედ იონებით – ელექტროლიტის მსგავსად. ქსოვილებში არსებული სითხეები (სხეულის მასის დაახლოებით 65%) დენის გავლით ქიმიურად იშლება. ამასთან, უჯრედულ-ხვრელური სტრუქტურა ნახევარგამტარის მსგავსად მოქმედებს, სადაც მუხტის გადატანა ხდება ელექტრონებისა და „ხვრელების“ საშუალებით. ამიტომ ადამიანის სხეული შეიძლება ჩაითვალოს განსაკუთრებულ გამტარად, რომელსაც აქვს როგორც ელექტროლიტის, ისე ნახევარგამტარის თვისებები.

წინააღობის მნიშვნელობები:

- 50 ჰგ სიხშირის დენზე მშრალი კანის წინააღობა მერყეობს 40-100 ათას ომამდე.
- კანის დაზიანება, დატენიანება, ოფლიანობა ან ჭუჭყიანობა მნიშვნელოვნად ამცირებს წინააღობას – ზოგჯერ 500-700 ომამდე.
- მარილიანი წყლით დასველება ამცირებს წინააღობას 30-50%-ით, გამოხდილი წყლით – 15–35%-ით.

- ლითონის ან ნახშირის მტვრით დაბინძურება განსაკუთრებით ამცირებს წინაღობას.

ფაქტორები, რომლებიც გავლენას ახდენს წინააღობაზე:

- **ელექტროდების შეხების ადგილი** — სახე, ყელი, მაჯა და იდლიები ყველაზე მცირე წინააღობით ხასიათდება.

- **ელექტროდების ფართობი** — ფართობის ზრდა ამცირებს წინააღობას, თუმცა მაღალი სიხშირის (>10-20 კჰც) დენზე ეს მნიშვნელობა მცირდება.

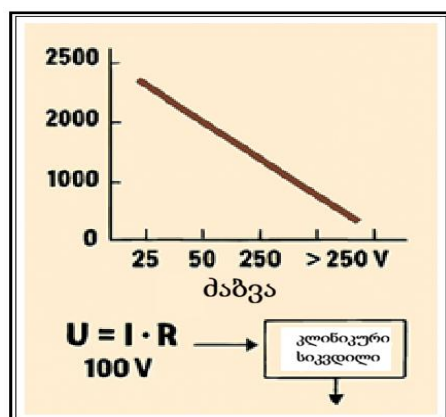
- **დენის სიდიდე და ძაბვა** — დენის ზრდა იწვევს კანის გახურებას და ოფლიანობას, რაც წინააღობას ამცირებს. მაღალი ძაბვისას წინააღობა მკვეთრად ეცემა (მაგ., 2000 ვ-ზე — დაახლოებით 200 ომამდე).

- **დენის სახეობა** — მუდმივი დენის დროს წინააღობა უფრო მაღალია, ვიდრე ცვლადი დენის შემთხვევაში.

- **ხანგრძლივობა** — მცირე ძაბვის ხანგრძლივი მოქმედება (1-2 წუთი) წინააღობას ამცირებს საშუალოდ 25%-ით.

- **ფიზიოლოგიური ფაქტორები** — სქესი, ასაკი, კანის სისქე. ქალებსა და ბავშვებს, როგორც წესი, წინააღობა ნაკლები აქვთ.

- **გარემოს პირობები** — ჟანგბადის დაბალი წნევა და მაღალი ტემპერატურა (30–40°C) ამცირებს წინააღობას.



ფიგ. 9.4. ადამიანის სხეულის წინააღობის ცვალებადობა ძაბვის მიხედვით.

პრაქტიკული მნიშვნელობა:

ჩვენს ქვეყანაში მიღებულია, რომ 50 ვ-ზე მეტი ძაბვისას ადამიანის საშუალო წინააღობა პრაქტიკული გათვლებისთვის 1000 ომია.

ცხრილი 9.1

ადამიანის წინააღობის დამოკიდებულება ძაბვაზე

ძაბვა, ვ	25	50	250	> 250
წინააღობა, ო	2500	2000	1000	650

ფიზიკური გაღიზიანება. ჩხვლეტით, დარტყმით, სინათლის სხივით, ბგერით და სხვა მსგავსი მოულოდნელი გაღიზიანებით ადამიანის სხეულის ელექტრული წინაღობა 20-30%-ით მცირდება.

9.6. დენის ინტენსიურობის გავლენა დაზიანების სიმძიმეზე

უსაფრთხო და შეგრძნებადი დენი:

ადამიანისთვის ძირითად საფრთხეს წარმოადგენს სხეულში განდინებული დენის სიდიდე — რაც უფრო დიდია დენი, მით უფრო მძაფრია მისი უარყოფითი ზემოქმედება.

უსაფრთხო დენი: მცირე სიდიდის დენი, რომელიც რამდენიმე საათის განმავლობაში ორგანიზმში გავლით არ იწვევს გართულებებს და გამოიყენება მედიცინაში. მისი მნიშვნელობაა:

- 50 ჰვ სიხშირის ცვლადი დენი — 50-75 μA
- მუდმივი დენი — 100-125 μA

შეგრძნებადი დენი:

- ცვლადი დენი (50 ჰვ) იგრძნობა დაახლოებით 0,6 მA-დან.
- მუდმივი დენი იგრძნობა 5 მA-დან.
- მცირე დენი იწვევს მსუბუქ ქავილს ან ჩხვლეტას, ხოლო მუდმივი დენი — კანის გახურებას.

ცხრილი 9.2

შეგრძნებადობის ალბათობა დენის სიდიდის მიხედვით

შეგრძნებადობის ალბათობა, %	99,9	50	10	5	1	0,1
ზღვრული შეგრძნებადობის დენი, მა	1,50	1,10	0,90	0,85	0,70	0,60

როგორც ჩანს, 0,60 მა-ს მხოლოდ 1 ადამიანი იგრძნობს 1000-დან, ხოლო 1,50 მა-ს — თითქმის ყველა.

შეგრძნებადი დენი უშუალო დაზიანებას არ იწვევს, თუმცა ხანგრძლივი მოქმედებისას შეიძლება გამოიწვიოს ფსიქოლოგიური და ფუნქციური პრობლემები — ყურადღების დაქვეითება, შეცდომები და უსაფრთხოების საფრთხე.

დამჭერი და ფიბრილაციური დენი:

- **დამჭერი დენი:** ცვლადი დენის შემთხვევაში ადამიანი ვერ ახერხებს სადენის ხელიდან გაშვებას, რადგან კუნთები უნებლიედ იკუმშება.
- **ფიბრილაციური დენი:** იწვევს გულის კუნთის უჯრედების ქაოსურ შეკუმშვებს, რაც სიცოცხლესთან შეუთავსებელია.

დენის ზემოქმედების ნიშნები ადამიანის ორგანიზმზე

დენის სიდიდე, მა	მოქმედების ხასიათი და ნიშნები	
	ცვლადი დენი, 50 ჰც სიხშირეზე	მუდმივი დენი
0,6-1,5	შეგრძნების დასაწყისი, მსუბუქი ქავილი ან ჩხვლეტა.	არ შეიგრძნობა.
2-4	ხელის უნებლიე მოძრაობა.	არ შეიგრძნობა.
5-7	ტკივილისა და კრუნჩხვის შეგრძნება ხელის მტევანზე, მცირე ტკივილი შეიგრძნობა მკლავზედაც.	შეგრძნების დასაწყისი, კანი თბება ელექტროდის შეხების ადგილზე.
8-10	ძლიერი ტკივილი ვრცელდება მთელ ხელზე, შესაძლებელია ხელების მოცილება ელექტროდისაგან.	ელექტროდის შეხების ადგილზე გახურების შეგრძნება მატულობს.
10-15	ძნელად ასატანი ტკივილი მთელ ხელზე. ელექტროდისაგან ხელების მოცილება შეუძლებელია (დამჭერი დენი).	გახურება შეიგრძნობა ელექტროდის შეხების ადგილიდან დაშორებით.
20-25	ხელების დამბლა ხდება მომენტალურად, ელექტროდისაგან ხელების მოცილება შეუძლებელია, ჭირს სუნთქვა, კიდევ უფრო ძლიერი ტკივილი.	ძლიერი შინაგანი გახურების შეგრძნება, ხელების კუნთების უნებლიე მოძრაობა.
25-50	ძლიერი ტკივილი გულმკერდში, სუნთქვა უკიდურესად გაძნელებულია, ხანგრძლივი მოქმედებისას შესაძლებელია გამოიწვიოს სუნთქვის დამბლა ან გულის მოქმედების შესუსტება და გრძნობის დაკარგვა.	გახურების შეგრძნება მატულობს, ტკივილისა და კრუნჩხვის შეგრძნება ხელზე, გამტარზე ხელის გაშვებისას მტკივნეული შეგრძნება კუნთების კრუნჩხვის გამო.
50-80	რამდენიმე წამში ხდება სუნთქვის დამბლა, გულის მოქმედების რითმი ირღვევა. ხანგრძლივი მოქმედებისას მოსალოდნელია გულის ფიბრილაცია.	ძლიერი ზედაპირული და შინაგანი გახურება, ტკივილი მკერდის არეში, ხელების მოცილება გამტარისაგან შეუძლებელია ძლიერი ტკივილის შეგრძნების გამო.
100	2-3 წმ-ში გულის ფიბრილაცია, კიდევ რამდენიმე წმ-ის შემდეგ - სუნთქვის დამბლა.	სუნთქვის დამბლა დენის ხანგრძლივი ზემოქმედების შემთხვევაში.
300	გულის ფიბრილაცია და სუნთქვის დამბლა უფრო მოკლე დროში.	2-3 წმ-ში გულის ფიბრილაცია, კიდევ რამდენიმე წმ-ის შემდეგ - სუნთქვის დამბლა.

5000 და მეტი	მყისურად ხდება სუნთქვის დამბლა (წმ-ის ნაწილებში). გული ფიბრილაციას ვეღარ ასწრებს. რამდენიმე წმ-ის ზემოქმედების შემდეგ ირღვევა ქსოვილები.
--------------	--

დამჭერი ღენის ზღვრული სიდიდე ადამიანისათვის სხვადასხვაა. პირობითად მიღებულია 9.4 ცხრილში მოცემული სიდიდეები. ცხრილის შესაბამისად, 50 ჰც სიხშირის ცვლადი ღენის შემთხვევაში 1000-დან 999 ადამიანისათვის დამჭერი ღენის სიდიდეა 24,6 მა და მხოლოდ ერთისთვის – 5,3 მა.

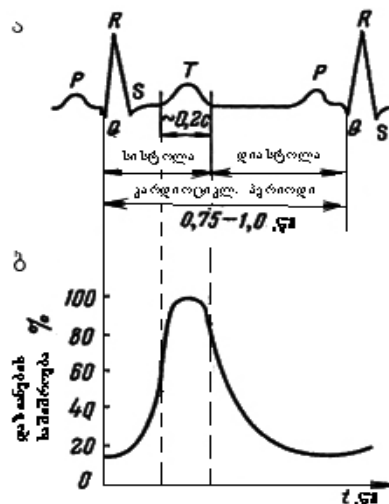
ცხრილი 9.4

50 ჰც სიხშირის ცვლადი ღენისათვის ზღვრული 'დამჭერი' ღენის მაჩვენებლები						
დაჭერის ეფექტის ალბათობა, %	99,9	50	10	5	1	0,1
ზღვრული დამჭერი ღენი, მა	24,6	14,9	10,9	9,8	7,7	5,3

კაცების, ქალებისა და ბავშვებისათვის დამჭერი ღენის სიდიდე კლებულობს ჩამონათვლის შესაბამისად.

9.7. ღენის მოქმედების ხანგრძლივობის გავლენა

უბედური შემთხვევების ანალიზმა და ცხოველებზე ჩატარებულმა ექსპერიმენტებმა აჩვენა, რომ ღენის მოქმედების ხანგრძლივობის გაზრდა მნიშვნელოვნად ამძიმებს შედეგებს.



ნახ. 9.5. გულში ღენის გავლის მომენტის დამთხვევა კარდიოციკლის T ფაზასთან:
 ა - ჯანმრთელი ადამიანის ელექტროკარდიოგრამა; ბ - ღენით დაზიანების საშიშროების ზოგადი ხასიათი.

• **წინაღობის შემცირება:** დროის მატებასთან ერთად ადამიანის სხეულის წინაღობა კლებულობს, რაც ზრდის ღენის გავლას.

- **გულის მგრძნობელობა:** დენის გავლა შეიძლება დაემთხვეს გულის ციკლის ყველაზე სუსტ ფაზას — T ფაზას, რომელიც გრძელდება დაახლოებით 0,2 წამი. ამ დროს გული განსაკუთრებით დაუცველია და ფიბრილაციის რისკი მკვეთრად იზრდება.

გულის ციკლის ფაზები (ელექტროკარდიოგრამა):

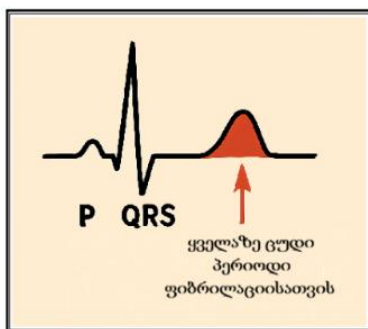
P ფაზა — წინაგულების შეკუმშვა, პარკუჭების სისხლით შევსება.

QRS ჰიკი — პარკუჭების შეკუმშვა და სისხლის გადატუმბვა აორტაში.

T ფაზა — პარკუჭების მოდუნება, ყველაზე მგრძნობიარე პერიოდი დენის მიმართ.

კვლევებმა ცხოველებზე აჩვენა:

- 10 ამპერამდე სამრეწველო სიხშირის დენი 0,2 წამით მოქმედებისას არ იწვევს ფიბრილაციას, თუ იგი ემთხვევა P ან QRS ფაზებს.
- იგივე დენი T ფაზაში მოქმედებისას შეიძლება ფატალური აღმოჩნდეს, თუნდაც მცირე სიდიდის (0,6-0,7 ა) შემთხვევაში.



ფიგ. 9.6. T პერიოდის ილუსტრაცია.

- თუ დენის მოქმედება მოიცავს მთელ კარდიოციკლს (0,75-1 წამი), საფრთხე კიდევ უფრო იზრდება, რადგან იგი აუცილებლად მოიცავს T ფაზასაც.

მავნე შედეგები: დენის ხანგრძლივი გავლა იწვევს ნერვული სისტემის ფუნქციის დარღვევას, სისხლის შემადგენლობის ცვლილებას, ქსოვილების დაზიანებას გახურების გამო, ასევე გულისა და ფილტვების მუშაობის შეფერხებას.

9.8. დენის გავლის მარშრუტის როლი დაზიანების შედეგებში

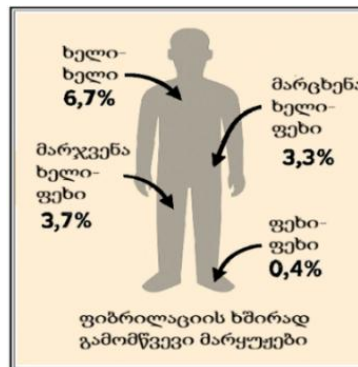
დენის გავლის გზის მნიშვნელობა:

პრაქტიკულმა გამოცდილებამ და ექსპერიმენტებმა ცხადყო, რომ ადამიანის ორგანიზმში დენის გავლით გამოწვეული შედეგები მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია იმაზე, თუ რა მარშრუტით გადის დენი.

- **პირდაპირი გავლა:** თუ დენის გზა მოიცავს სასიცოცხლო ორგანოებს — გულს, ფილტვებს ან თავის ტვინს — საფრთხე მაქსიმალურია, რადგან ზემოქმედება უშუალოა.

- **არაპირდაპირი გავლა:** სხვა მიმართულებით დენის გავლისას ზემოქმედება უფრო რეფლექტორულია და შედარებით ნაკლებად საშიშია.

ადამიანის სხეულში ღენის გავრცელების რამდენიმე ძირითადი გზა არსებობს. პრაქტიკაში გამოვლენილია რამდენიმე ტიპური მარშრუტი, რომლებიც ნაჩვენებია ნახ. 9.7-ზე.



ნახ. 9.7. ადამიანის ორგანიზმში ღენის გავლის გზები (ღენის მარყუქები).

ყველაზე გავრცელებული გზებია: 'მარჯვენა ხელი-ფეხები', 'მარცხენა ხელი-ფეხები', 'ხელი-ხელი' და 'ფეხი-ფეხი'. ღენის განდინების გზების საფრთხე გამოვლინდება დაზიანების სიმძიმით, რაც ძირითადად განპირობებულია ადამიანის გულში განდინებული ღენის ძალით. სტატისტიკის მონაცემების მიხედვით უბედური შემთხვევებისას, როცა ადამიანი მწყობრიდან გამოვიდა 3 და მეტი ღდის განმავლობაში, ინციდენტის დროს გრძნობის დაკარგვით დახასიათდა ადამიანების 87%, როცა ღენის განდინების გზა იყო 'მარჯვენა ხელი-ფეხები', განდინების გზა 'მარცხენა ხელი-ფეხები' – 80%, გზა 'ხელი-ხელი' – 83%, გზა 'ფეხი-ფეხი' – 15%. ამგვარად ჩანს, რომ ყველაზე საშიში მარყუქია ღენის განდინების გზა 'მარჯვენა ხელი-ფეხები'. ამ დროს ადამიანის გულში გადის სხეულში მთლიანად განდინებული ღენის 6,7%. გულში გამავალი ღენის აღნიშნული პროცენტული მაჩვენებლები მარყუქების მიხედვით შეადგენს 'მარცხენა ხელი-ფეხები' – 3,7%, 'ხელი-ხელი' – 3,3%, 'ფეხი-ფეხი' – 0,4%.

ფეხი-ფეხის მარყუქი, რომელიც ბიჯური ძაბვით არის გამოწვეული, ითვლება შედარებით უსაფრთხო გზად, რადგან ამ შემთხვევაში გულში მხოლოდ უმნიშვნელო ღენი გადის. ცხოველებზე ჩატარებულმა ცდებმა დაადასტურა, რომ ეს მარშრუტი ყველაზე ნაკლებ საფრთხეს წარმოადგენს.

თუმცა, გარკვეულ პირობებში შედეგი შეიძლება მნიშვნელოვნად დამძიმდეს. მაგალითად, 80 ვოლტის ბიჯური ძაბვა იწვევს ფეხის კუნთების უნებლიე კრუნჩხვით შეკუმშვებს, რასაც მოჰყვება ადამიანის მიწაზე დაცემა. ასეთ დროს ღენი სხეულში უკვე უფრო საშიში გზით — ძირითადად ხელებიდან ფეხებში — გაედინება და ძაბვა ბევრად აღემატება თავდაპირველ ბიჯურს.

9.9. ინდივიდუალური თვისებების მნიშვნელობა დენის მოქმედებისას

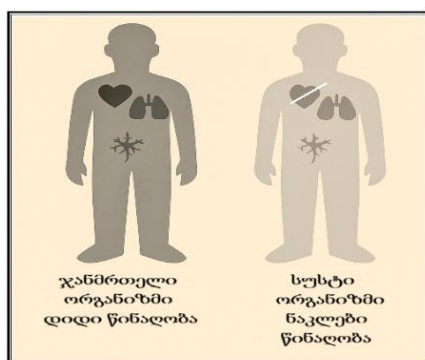
ელექტრული დენის გავლენის შედეგები მნიშვნელოვნად განსხვავდება ადამიანის ფიზიკური და ფსიქიკური მდგომარეობის მიხედვით.

- **ფიზიკური მდგომარეობა:** ჯანმრთელი და ძლიერი ადამიანები შედარებით უკეთ იტანენ დენის ზემოქმედებას, ვიდრე სუსტი ან ავადმყოფი პირები. განსაკუთრებით მაღალი მგრძნობელობა აქვთ მათ, ვისაც გულ-სისხლძარღვთა, ფილტვების, ნერვული სისტემის ან შინაგანი სეკრეციის დაავადებები აწუხებს.

- **ფსიქიკური მდგომარეობა:** ალკოჰოლიზმით, ნევრასთენიზმით, ეპილეფსიით დაავადებულები, ასევე ისტერიისა და მელანქოლიისადმი მიდრეკილნი შეიძლება დაზარალდნენ იმ დენითაც, რომელიც ჯანმრთელი ადამიანისთვის უსაფრთხოა. მოულოდნელი დენის ზემოქმედება უფრო საშიშია, ვიდრე მოსალოდნელი, რადგან ფსიქოლოგიური მზადყოფნა მნიშვნელოვან როლს თამაშობს.

- **მორალური და პროფესიული ფაქტორები:** ყურადღების უნარი, კონცენტრაცია, დაღლილობა და პროფესიული გამოცდილება პირდაპირ მოქმედებს შედეგებზე. გამოცდილი ელექტროტექნიკოსი, როგორც წესი, უკეთესად უმკლავდება კრიტიკულ სიტუაციას, ვიდრე გამოუცდელი ადამიანი.

ამ გარემოებების გათვალისწინებით, ტექნიკური უსაფრთხოების წესები მოითხოვს, რომ ელექტროდანადგარებთან მომუშავე პერსონალი გაიაროს სპეციალური სამედიცინო შემოწმება სამუშაოზე მიღების წინ და შემდგომ პერიოდულად — წელიწადში 1–2-ჯერ. ეს აუცილებელია არა მხოლოდ მათი, არამედ გარშემო მყოფი ადამიანების უსაფრთხოებისათვისაც.



ფიგ. 9.8. ჯანმრთელი და სუსტი ადამიანის შედარების სქემა.

ცხრილი 9.5

ადამიანის სხეულში გავლილი დენის დასაშვები სიდიდეები სხვადასხვა
პარამეტრების მიხედვით

τ, წმ	0,2	0,5	0,7	1,0	3,0-30,0	> 30,0
I, მა	250	100	75	65	6	1
R, ომი	700	1000	1065	1150	3000	6000

$U, \text{ვ}$	175	100	80	75	18	6
---------------	-----	-----	----	----	----	---

9.10. ელექტრული დენის უსაფრთხოების სტანდარტები

მოქმედი საერთაშორისო სტანდარტების (IEC 60479-1; IEEE Std. 80) მიხედვით, საყოფაცხოვრებო და საზოგადოებრივ შენობებში გამოყენებული ელექტროდანადგარების ნორმალური (უავარიო) რეჟიმისთვის განსაზღვრულია შეხების ძაბვისა და ორგანიზმში განდინებული დენის უდიდესი დასაშვები სიდიდეები. სტანდარტები ითვალისწინებენ, რომ დენის გავლა ადამიანის ორგანიზმში შეიძლება მოხდეს სავარაუდო გზებით – ხელი-ხელი ან ხელი-ფეხები. უსაფრთხოების ნორმები განსაზღვრავენ არა მხოლოდ დენის სიდიდეს, არამედ მისი მოქმედების ხანგრძლივობასაც: მცირე დენიც კი, თუ ხანგრძლივად იმოქმედებს, შეიძლება სახიფათო გახდეს. ამიტომ დამკვეთი მნიშვნელობები გათვლილია ისე, რომ შემთხვევითი მოკლე კონტაქტები არ გახდეს სიცოცხლისთვის საშიში.

მოკლე შენიშვნა – ელექტრული უსაფრთხოების საერთაშორისო სტანდარტები IEC 60364-4-41 განსაზღვრავს დამცავი ჩამიწების, დანულებისა და ავტომატური ამორთვის წესებს.

მაღალი ტემპერატურის ($>30^{\circ}\text{C}$) და ტენიანობის ($>75\%$) პირობებში დასაშვები ნორმები დაახლოებით სამჯერ მცირდება.

ავარიული რეჟიმისათვის (1000 ვ-მდე ძაბვის ჩამიწებულნეიტრალიანი და იზოლირებულნეიტრალიანი ქსელები, ასევე 1000 ვ-ზე მეტი ძაბვის იზოლირებულნეიტრალიანი ქსელები) განსაზღვრულია შეხების ძაბვისა და ორგანიზმში დენის მაქსიმალური დასაშვები მნიშვნელობები, რომლებიც მოცემულია ცხრილში 9.7.

ცხრილი 9.7

შეხების ძაბვისა და ორგანიზმში დენის განდინების დროის უდიდესი დასაშვები სიდიდეები 1000 ვ-ზე მეტი ძაბვის იზოლირებულნეიტრალიანი ქსელებისათვის

დენის მოქმედების ხანგრძლივობა, წმ	0,1	0,2	0,5	0,7	1,0	1-5
შეხების ძაბვის დასაშვები მნიშვნელობა, ვ	500	400	200	130	100	65

გარდა ამისა, დადგენილია სათავსოების კლასიფიკაცია ელექტრული დენით დაზიანების საფრთხის მიხედვით (ცხრილი 9.8):

- უსაფრთხო სათავსოები — მშრალი, ხის იატაკიანი გარემო, სადაც არ ხდება მტვრის გამოყოფა და ტემპერატურა ნორმალურია (მაგ., საცხოვრებელი ბინები, სასწავლო და კულტურის დაწესებულებები).

ცხრილი 9.8

სათავსოთა კლასიფიკაცია ელექტრული დენით დამავეების მიხედვით

N	სათავსოს კლასი	სათავსოს დახასიათება
1	უსაფრთხო	სათავსოები, სადაც არ არის ისეთი პირობები, რომლებიც ქვემოთ განისაზღვრება ცნებებით 'გაზრდილი საფრთხის სათავსო' და 'განსაკუთრებით საშიში სათავსო'.

2	გაზრდილი საფრთხის	სათავსოები, რომლებშიც არის ერთ-ერთი ჩამოთვლილი პირობა: 1. გაზრდილი ტენიანობა; 2. დენგამტარი მტვერი; 3. დენგამტარი იატაკი (ლითონის, ბეტონის, აგურის, გრუნტის); 4. მაღალი ტემპერატურა; 5. ერთდროული შეხების საფრთხე ჩამიწებულ კონსტრუქციებთან და ელექტროძრავის კორპუსთან.
3	განსაკუთრებით საფრთხიანი	სათავსოები, რომლებშიც არის ერთ-ერთი ჩამოთვლილი პირობა: 1. განსაკუთრებულად მაღალი ტენიანობა; 2. ქიმიურად აქტიური გარემო; 3. 'გაზრდილი საფრთხის' ორი ან მეტი პირობა ერთდროულად.

- გაზრდილი საფრთხის სათავსოები — კიბეების ნაკვეთურები და საამქროები, სადაც იატაკს აქვს ელექტროგამტარობა ან შეიცავს ჩამიწებულ მოწყობილობებს.
- განსაკუთრებით საშიში სათავსოები — საწარმოო საამქროები (მანქანათმშენებლობა, ქიმიური და მეტალურგიული წარმოება), შახტები, მაღაროები, ელექტროსადგურები. ღია ცის ქვეშ განლაგებული სამუშაო ადგილები ასევე მიეკუთვნება ამ კატეგორიას.

ცხრილი 9.9

სათავსოთა კლასიფიკაცია ეკოლოგიური მაჩვენებლების მიხედვით

N	სათავსოს კლასი	სათავსოს დახასიათება
1	ნორმალური	მშრალი სათავსო, რომელშიდაც არ არის მაღალი ტემპერატურა, არ ხდება მტვრის გენერაცია და ქიმიურად აქტიური ნივთიერებების გამოყოფა.
2	მშრალი	სათავსოს ფარდობითი ტენიანობა არ აღემატება 60%.
3	ტენიანი	სათავსოს ფარდობითი ტენიანობა იცვლება 60-75% ფარგლებში.
4	ნესტიანი	სათავსოს ფარდობითი ტენიანობა უმეტესი დროის განმავლობაში უფრო მეტია, ვიდრე 75%.
5	განსაკუთრებით ნესტიანი	სათავსოს ფარდობითი ტენიანობა შეადგენს 100% ან ახლოსაა მასთან. ამ დროს კედლებზე, იატაკზე, ჭერზე და სათავსოში განთავსებული საგნების ზედაპირზე ხდება სითხის კონდენსაცია.
6	ცხელი	სათავსოს ტემპერატურა უმეტესი დროის განმავლობაში აღემატება ცელსიუსის 30 გრადუსს.
7	მტვრიანი	წარმოების ხასიათის მიხედვით სათავსოში გამოიყოფა მტვერი, რომელიც ილექება ზედაპირებზე, აღწევს მანქანათა ნაწილებში, აპარატების შიდა სივრცეში. მტვერი

		შესაძლებელია იყოს როგორც ელექტროგამტარი, ისე ნეიტრალური.
8	ქიმიურად აქტიური	წარმოების პირობების მიხედვით სათავსოში ხდება ქიმიურად აქტიური ორთქლის ან ნადების გამოყოფა, რომლებიც იწვევენ დენგამტარი ნაწილების იზოლაციის დარღვევას.

ელექტროტექნიკური მოწყობილობები და ნაკეთობები კლასიფიცირდება ადამიანის ელექტრული დენით დაზიანების საფრთხის მიხედვით. ეს კლასიფიკაცია წარმოდგენილია ცხრილში 9.10, რომელიც განსაზღვრავს მოწყობილობების სხვადასხვა კლასს მათი კონსტრუქციული თავისებურებებისა და გამოყენების პირობების მიხედვით.

ცხრილი 9.10

ელექტროტექნიკური მოწყობილობების კლასიფიკაცია დენით დამავების მიხედვით

N	კლასი	მოწყობილობის დახასიათება
1	0	უნდა ჰქონდეს მუშა იზოლაცია და არ უნდა იყოს გათვალისწინებული ჩამიწება (არ უნდა ჰქონდეს ჩასამიწებელი ელემენტი).
2	0I	უნდა ჰქონდეს მუშა იზოლაცია და ჩასამიწებელი ელემენტი, კვებასთან მისაერთებელ კაბელში არ უნდა იყოს ძარღვი ჩამიწებისათვის.
3	I	მინიმუმ უნდა ჰქონდეს მუშა იზოლაცია და ჩასამიწებელი ელემენტი.
4	II	უნდა ჰქონდეს ორმაგი იზოლაცია და არ უნდა იყოს გათვალისწინებული ჩამიწება (არ უნდა ჰქონდეს ჩასამიწებელი ელემენტი).
5	III	მოწყობილობები, რომლებსაც 42 ვ-ზე მეტი ძაბვის მქონე არც შიგა და არც გარე ელექტრული ქსელები არა აქვთ.

ცხრილი 9.10 — შენიშვნები:

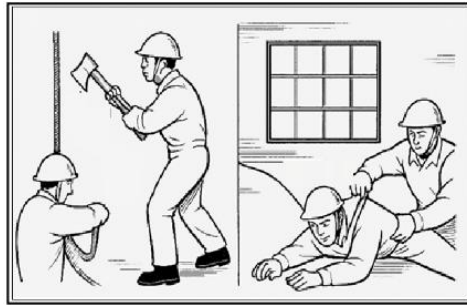
1. I კლასის მოწყობილობა: თუ მას ახლავს კვების წყაროსთან მისაერთებელი კაბელი, აუცილებელია ჩამიწების ძარღვის არსებობა და სათანადოდ მოწყობილი ჩართვის ჩანგალი.

2. III კლასის მოწყობილობა: იმ შემთხვევაში, როცა მოწყობილობა კვებას გარე წყაროდან ღებულობს, იგი შეიძლება მიეკუთვნოს III კლასს მხოლოდ მაშინ, თუ მიერთება ხდება ისეთ წყაროსთან, რომლის ძაბვა არ აღემატება 42 ვ-ს (უქმი სვლისას დასაშვებია 50 ვ). თუ კვების წყაროდ გამოიყენება ტრანსფორმატორი, მისი შესასვლელი და გამოსაყვანი ხვები ერთმანეთთან ელექტრულად არ უნდა იყვნენ დაკავშირებული. მათ შორის იზოლაცია უნდა იყოს ორმაგი ან გაძლიერებული, რათა უზრუნველყოფილი იყოს უსაფრთხოება.

9.11. დაშავებულის გათავისუფლება დენის გავლენისაგან

ელექტრული დენით დაშავებულის დახმარება ორ ძირითად ეტაპს მოიცავს:

1. დაშავებულის გათავისუფლება დენის ზემოქმედებისაგან;
2. პირველადი სამედიცინო დახმარება ექიმის მოსვლამდე.



ნახ. 9.9. დაზარალებულის გათავისუფლება სადენის გადაჭრით ან მშრალ ტანსაცმელზე ხელის ჩავლებით.

დაზარალებული ხშირად ვერ ახერხებს თვითონ გათავისუფლებას, რადგან კუნთების უნებლიე კრუნჩხვები, კიდურების დამბლა ან ნერვული სისტემის დაზიანება ხელს უშლის. ამიტომ აუცილებელია სწრაფი და უსაფრთხო მოქმედება დამხმარის მხრიდან.

გათავისუფლების ძირითადი გზები:

- **ელექტროდანადგარის გამორთვა** — უახლოესი ამომრთველის გათიშვით, მცველების ამოხსნით ან ჩამრთველის გამორთვით. უნდა გავითვალისწინოთ, რომ შესაძლოა შუქი ჩაქრეს ან დაზარალებული სიმაღლიდან ჩამოვარდეს, ამიტომ საჭიროა დამატებითი სინათლის წყარო.

- **სადენის გადაჭრა** — თუ სწრაფი გამორთვა შეუძლებელია, შესაძლებელია სადენის გადაჭრა სპეციალური ინსტრუმენტით, რომელსაც აქვს იზოლირებული სახელური. თითოეული სადენი უნდა გადაიჭრას ცალ-ცალკე, რათა თავიდან ავიცილოთ მოკლე ჩართვა და რკალის წარმოქმნა.



ნახ. 9.10. დაზარალებულის გათავისუფლება მაღალი ძაბვის ქსელში სპეციალური მტანგისა და მარწუხების გამოყენებით.

- **დაშავებულის მოცილება გამტარიდან** — შესაძლებელია მისი გამოთრევა მშრალ ტანსაცმელზე ხელის ჩავლებით, ისე რომ სხეულთან უშუალო შეხება არ მოხდეს. უსაფრთხოების მიზნით დამხმარემ უნდა გამოიყენოს დიელექტრიკული ხელთათმანები და რეზინის ფეხსაცმელი.

განსაკუთრებული პირობები:

- თუ დაზარალებული ხელს უჭერს გამტარს, თითები უნდა გაიხსნას ცალ-ცალკე, დამხმარის სრული იზოლაციის პირობებში.
- 1000 ვ-ზე მაღალი ძაბვის ქსელში აუცილებელია სპეციალური დიელექტრიკული აღჭურვილობის გამოყენება — ხელთათმანები, ჩექმები, შტანგა და მარწუხები.
- საჭაერო ხაზებზე შესაძლებელია მოკლე ჩართვის ან ჩამიწების მოწყობა სპეციალური გამტარის გადაგდებით, რომელიც წინასწარ ჩამიწებულია და საკმარისი კვეთისაა, რომ არ დაიწვას დენის გავლით.

9.12. დენის განდინება გრუნტში

გრუნტში დენის განდინება ხდება მხოლოდ მასთან კონტაქტში მყოფი გამტარის მეშვეობით. ასეთი კონტაქტი შეიძლება იყოს შემთხვევითი ან მიზანდასახული.

გამტარს ან გამტართა ჯგუფს, რომელიც მიწასთან ელექტრულად არის დაკავშირებული ეწოდება ჩამმიწებელი. ერთეულ გამტარს, რომელიც გრუნტთან კონტაქტშია, ეწოდება ერთეული ჩამმიწებელი ან ჩამმიწებელი ელექტროდი, ან უბრალოდ ელექტროდი. ჩამმიწებელს, რომელიც შედგება რამდენიმე პარალელურად შეერთებული ელექტროდისაგან, ეწოდება ჯგუფური ან რთული ჩამმიწებელი.

დენის გრუნტში განდინების მიზეზები შემდეგია: ელექტროდანადგარის ჩამმიწებელ კორპუსზე დენგამტარი ნაწილების მოკლე ჩართვა, სადენის მიწაზე დავარდნა, მიწის გამოყენება გამტარად და სხვ. ყველა ამ შემთხვევაში ხდება პოტენციალის (ანუ მიწის მიმართ ძაბვის) მკვეთრი შემცირება. ეს მოვლენა უსაფრთხოების თვალსაზრისით კარგია, თუმცა პოტენციალის შემცირებასთან ერთად გვაქვს უარყოფითი მოვლენებიც, როგორიცაა ჩამმიწებელზე პოტენციალის წარმოშობა, მას კი ლითონური ნაწილები უკავშირდება, ასევე მიწის ზედაპირზე განდინების ადგილის ირგვლივ პოტენციალის წარმოშობა, რამაც შეიძლება დიდ რიცხვით მნიშვნელობას მიაღწიოს.

პოტენციალთა სხვაობა, ცვლალებადობა და შექმნილი საშიშროება დამოკიდებულია ბევრ ფაქტორზე: გრუნტში განდინებული დენის რიცხვით სიდიდეზე, ელექტროდების კონფიგურაციაზე, ზომებზე, რაოდენობაზე, განლაგებაზე, გრუნტის კუთრ წინაღობაზე. ამ ფაქტორების ზემოქმედებით შესაძლებელია პოტენციალის შემცირება უსაფრთხო მნიშვნელობამდე.

ერთეული ჩამმიწებელი შესაძლებელია იყოს სხვადასხვა ტიპის: სფეროსებრი (განთავსებული მიწაში და მიწის ზედაპირზე), ღეროსებრი (მიწაში და ზედაპირზე), რგოლური, წრიული და სხვ. მათი ელექტრული წინაღობები სხვადასხვაა.

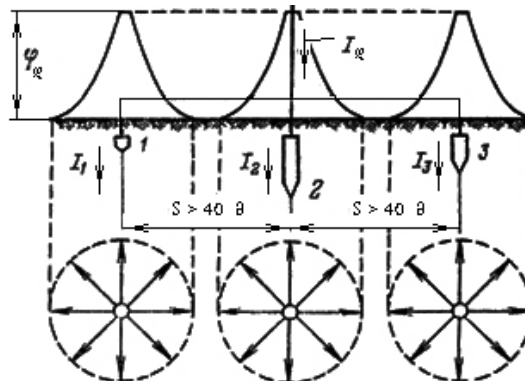
ერთეული ჩამმიწებელიდან ყველაზე გავრცელებულია სხვადასხვა კვეთის ღეროვანი ჩამმიწებელი.

უნდა აღინიშნოს, რომ დედამიწის პოტენციალი ნებისმიერი ფორმის ჩამმიწებულიდან 20 მ დაშორებით პრაქტიკულად ნულის ტოლია.

ჩამმიწებლის მეშვეობით მიწაში განდინებული დენი გადალახავს წინაღობას, რომელსაც ეწოდება დენის განდინებისადმი ჩამმიწებლის წინაღობა ან უბრალოდ, განდინების წინაღობა. იგი შედგება სამი მდგენლისაგან: თვით ჩამმიწებლის წინაღობა, გარდამავალი წინაღობა ჩამმიწებელსა და გრუნტის შორის და გრუნტის წინაღობა. პირველი ორი მდგენელი მესამესთან შედარებით უმნიშვნელოა, ამიტომ შესაძლებელია მათი იგნორირება. ამგვარად, ძირითადია გრუნტის წინაღობა.

ყველა ტიპის ჩამმიწებლის გაანგარიშებისათვის არსებობს ზოგადი ფორმულა, მაგრამ ამასთანავე გვაქვს სპეციალური ცხრილი, სადაც ყველა ტიპს აქვს შესაბამისი ფორმულა პოტენცილის გამოსათვლელად ელექტროსტატიკური ანალოგიის მეთოდით. ამ შემთხვევაში დაშვებაა, რომ გრუნტი ერთგვაროვანია.

ჯგუფური ჩამმიწებელი. ელექტროუსაფრთხოების მოთხოვნებით ჩამიწებას უნდა ჰქონდეს მცირე წინაღობა. ამისათვის ერთეული ჩამმიწებლის გეომეტრიულ ზომებს ზრდიან ან იყენებენ რამდენიმე პარალელურად შეერთებულ ელექტროდს, რომლებსაც ჯგუფური ჩამმიწებელი ეწოდება.



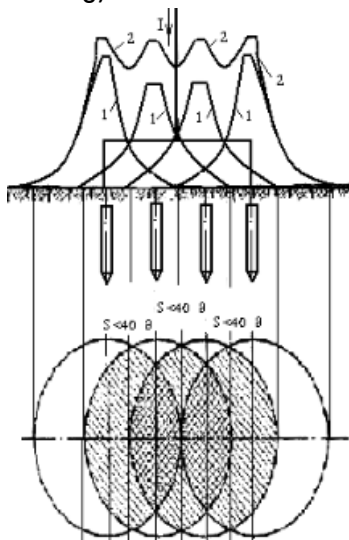
ნახ. 9.11. ჯგუფური ჩამმიწებლის პოტენციალის მრუდები და დენის განდინების ველები, როცა ელექტროდებს შორის მანძილი 40 მ-ზე მეტია:

მნიშვნელოვანი შენიშვნა – ელექტროდების ფორმისა და ზომის განსხვავების მიუხედავად, დენის განდინების ველები წრიულად თანაბრად ვრცელდება; პოტენციალები ერთმანეთის ტოლია და ერთმანეთზე არ ზემოქმედებენ.

ლითონის ხარჯისა და სხვა მაჩვენებლებით ჯგუფური ჩამმიწებლის გამოყენება უფრო ეკონომიურია. ამასთან ერთად, რამდენიმე ელექტროდის გამოყენებით შესაძლებელია დენის განდინების ტერიტორიაზე პოტენციალის მრუდის გასწორება, რაც უსაფრთხოების თვალსაზრისით ძალზე მნიშვნელოვანია. ამიტომ პრაქტიკაში, როგორც წესი, იყენებენ ჯგუფურ ჩამმიწებელს. ელექტროდებს შორის დიდი დაცილებებისას (>40 მ) თითოეული ელექტროდის ირგვლივ დამოუკიდებელი პოტენციალის მრუდია, ისინი ერთმანეთს არ კვეთენ, ამასთან ყველა მათგანის პოტენციალი ტოლია, მაშინაც კი, თუ ელექტროდებს სხვადასხვა ზომები აქვთ, ანუ თუ მათში სხვადასხვა სიდიდის დენი გაედინება (ნახ. 9.11).

ელექტროდებს შორის მცირე დაცილებისას (<40 მ), დენების განდინების ველები ერთმანეთს ედება, პოტენციალის მრუდები გადაიკვეთება და გვაძლევს ჯამური პოტენციალის მრუდს. იმის გამო, რომ ჯგუფური ჩამმიწებლის ელექტროდები დაკავშირებულია ერთმანეთთან, მათ აქვთ ერთნაირი პოტენციალი, რომელსაც ეწოდება ჯგუფური ჩამმიწებლის პოტენციალი (ნახ. 9.12).

ჯგუფური ჩამმიწებლის წინააღობისა და პოტენციალის საანგარიშო ფორმულები ერთმანეთისაგან განსხვავებულია იმისდა მიხედვით, თუ როგორია ჩამმიწებლები (ერთნაირი, სხვადასხვა ზომის) და როგორია მათი ერთმანეთისაგან დაშორების მანძილი (მეტია, თუ ნაკლებია 40 მ-ზე).



ნახ. 9.12. ჯგუფური ჩამმიწებლის პოტენციალის მრუდები და დენის განდინების ველები, როცა ელექტროდებს შორის მანძილი 40 მ-ზე ნაკლებია: 1 - ცალკეული ელექტროდის საკუთრივი პოტენციალის მრუდები; 2 - ჯამური პოტენციალის მრუდები. ზედღებისას პოტენციალი თანაბრდება, ამპლიტუდური რყევები მცირდება და უსაფრთხოება იზრდება

როგორც 9.12 ნახაზიდან ჩანს, ჯამური პოტენციალის მრუდები, დენის განდინების ფართობზე, დამიწების პოტენციალის ნაკლები ამპლიტუდით ხასიათდებიან ცალკეული ელექტროდის საკუთრივ პოტენციალის მრუდებთან შედარებით. როგორც ზემოთ აღინიშნა, პოტენციალის მრუდის გასწორება, ანუ პოტენციალის ცვალებადობის ამპლიტუდის შემცირება მნიშვნელოვანია უსაფრთხოების თვალსაზრისით.

რთული ჩამმიწებლის შემთხვევაში (კვადრატული ბადე, მართკუთხა ცხაურა და სხვ.) მისი წინააღობის საანგარიშო ფორმულები ითვალისწინებენ ბადის კონფიგურაციას, ელექტროდების ფორმას, რაოდენობას, ერთმანეთისაგან დაშორებას და სხვა ფაქტორებს გამოყენების კოეფიციენტის მეშვეობით, რომლის რიცხვითი სიდიდეები აიღება სპეციალური ცხრილებიდან.

9.13. შეხების ძაბვა

შეხების ძაბვა $U_{შეხ}$ ეწოდება დენის წრედის ორ წერტილს შორის ძაბვას, რომლებსაც ერთდროულად ეხება ადამიანი და განისაზღვრება ფორმულით:

$$U_{შეხ} = I_{ად} R_{ად}, \quad (9.2)$$

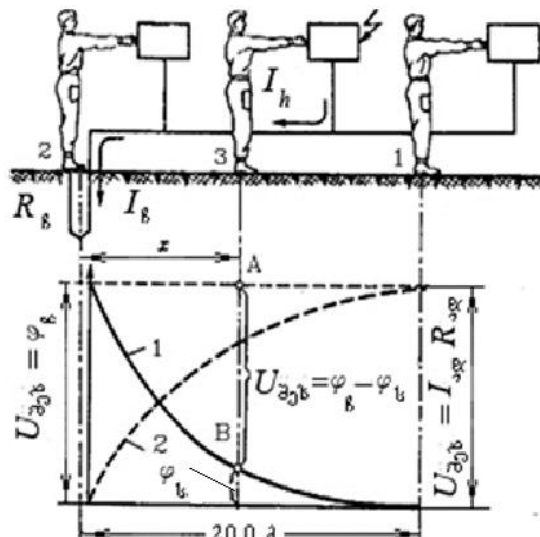
სადაც $I_{ად}$ არის ადამიანის სხეულში განდინებული დენი 'ხელი-ფეხები' გზით, ა; $R_{ად}$ – ადამიანის სხეულის ელექტრული წინაღობა, ომი.

დამცავი ჩამიწების ან დანულების ზონაში ერთ წერტილს, რომელსაც ადამიანი ეხება, აქვს ჩამიწების პოტენციალი $\varphi_{ჩ}$, მეორეს კი – საძირკვლის პოტენციალი, სადაც ადამიანი დგას $\varphi_{საძ}$. ადამიანის ხელსა და ფეხებს შორის აღიძვრება შეხების ძაბვა, რომელიც გამოითვლება ქვემოთ მოცემული ერთ-ერთი ფორმულით:

$$U_{შეხ} = \varphi_{ჩ} \varphi_{საძ}, \quad (9.3)$$

$$U_{შეხ} = \varphi_{ჩ} \alpha_1, \quad (9.4)$$

სადაც α_1 არის შეხების კოეფიციენტი, ითვალისწინებს პოტენციალის მრუდის ფორმას და სიდიდით ყოველთვის ერთზე ნაკლებია.



ნახ. 9.13. შეხების ძაბვა ერთეული ჩამმიწებლის შემთხვევაში: 1 - პოტენციალის მრუდი; 2 - შეხების ძაბვის ცვალებადობის მრუდი X მანძილის მიხედვით. X = 20 მ მანძილზე პოტენციალი პრაქტიკულად ნულია, ხოლო შეხების ძაბვა აღწევს მაქსიმუმს.

ერთეული ჩამმიწებლის შემთხვევაში ჩამმიწებლის სიახლოვეს მყოფი დანადგარის კორპუსს აქვს იგივე პოტენციალი, რაც ჩამმიწებლს $\varphi_{ჩ}$. რაც უფრო შორსაა ადამიანი ჩამმიწებლიდან, მით მეტია შეხების ძაბვა და პირიქით. პრაქტიკულად 20 მ მანძილზე შეხების ძაბვა აღწევს მაქსიმუმს და უტოლდება ჩამიწების პოტენციალს $U_{შეხ} = \varphi_{ჩ}$, ამასთან $\alpha_1 = 1$ – ეს არის შეხების ყველაზე საშიში შემთხვევა. როდესაც ადამიანი დგას უშუალოდ ჩამმიწებელზე, $U_{შეხ} = 0$ და $\alpha_1 = 0$ – არის ყველაზე უხიფათო შემთხვევა. მიუხედავად იმისა, რომ ადამიანი ჩამიწების პოტენციალის $\varphi_{ჩ}$ გავლენას განიცდის,

მასზე არ მოქმედებს შეხების დაბვა. სხვა შემთხვევებში, როდესაც ჩამამიწებლამდე მანძილი 0-20 მ-ია, შეხების დაბვა იზრდება 0-დან φ_β -მდე, ხოლო α_1 – 0-დან 1-მდე (ნახ. 9.13).

ჯგუფური ჩამამიწებლის შემთხვევაში ცალკეულ ჩამამიწებლებში დენის განდინების ველები ერთმანეთს ედება, ამიტომ მიწის პოტენციალი ნებისმიერ წერტილში $U_{\text{შეხ}} F_\beta$ ნულისაგან განსხვავდება, ანუ $U_{\text{შეხ}} < F_\beta U_{\text{შეხ}} = \varphi_\beta$ და $\alpha_1 < 1$.

როგორც ერთეული ჩამამიწებლის შემთხვევაში, ჯგუფური ჩამამიწებისას შეხების დაბვა ნულის ტოლია მაშინ, როცა ადამიანი ეხება ჩამამიწებულ კორპუსს და დგას უშუალოდ ჯგუფურ ჩამამიწებელში შემავალ ერთ-ერთ ელექტროდზე. შეხების დაბვა მაქსიმალური იქნება ელექტროდებიდან გარკვეულ მანძილზე მათი ფორმისა და ურთიერთგანლაგების გათვალისწინებით. შეხების დაბვის მაქსიმუმი აღინიშნება, როგორც წესი, ელექტროდებიდან ყველაზე დაშორებულ წერტილში. შეხების კოეფიციენტები აიღება ცხრილიდან.

ადამიანის სხეულში განდინებული დენი გადალახავს იმ წინააღობასაც, რაზეც ადამიანი დგას ანუ იმ უბანს, რასაც ფეხი ეხება (მიწა, იატაკი, საძირკველი). ამ წინააღობას ეწოდება გარდამავალი წინააღობა. რეალურად ეს წინააღობა ნულის ტოლი არ არის და ხანდახან მნიშვნელოვან სიდიდესაც აღწევს. შეხების დაბვა ადამიანის გარდამავალ წინააღობაში დაბვის ვარდნის გათვალისწინებით გამოითვლება ფორმულით:

$$U_{\text{შეხ}} = \varphi_\beta \alpha_1 \alpha_2 \quad (9.5)$$

სადაც α_1 არის შეხების კოეფიციენტი; α_2 – შეხების დაბვის კოეფიციენტი ადამიანის გარდამავალ წინააღობაში დაბვის ვარდნის გათვალისწინებით, რომელიც იანგარიშება ფორმულით:

$$\alpha_2 = \frac{R_{\text{ად}}}{R_{\text{ად}} + 1.5\rho}, \quad (9.6)$$

სადაც ρ არის გრუნტის კუთრი ელექტრული წინააღობა.

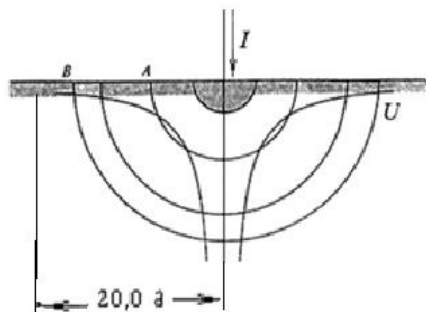
9.14. ბიჯური დაბვა

ელექტროდანადგარების ექსპლუატაციის პროცესში იზოლაციის დაზიანების ან შიშველი სადენის მიწასთან შეხების გამო დენი იწყებს განდინებას მიწაში და ნაწილდება მასში რადიალური მიმართულებით (ნახ. 9.14).

თუ ადამიანი აღმოჩნდება იმ ადგილას, სადაც დენი მიწაში ვრცელდება, მას შეიძლება დაემუქროს ბიჯური დაბვის ზემოქმედება. ამის მიზეზია ის, რომ ნიადაგის სხვადასხვა წერტილებს, რომელთაც ერთდროულად ეხება ადამიანის ფეხები, განსხვავებული ელექტრული პოტენციალი აქვთ. შედეგად, ფეხებს შორის წარმოიქმნება პოტენციალთა სხვაობა, რომელიც ორგანიზმში დენის გავლის მიზეზი ხდება.

მიწაში დენის განდინების დროს წარმოიქმნება ე.წ. განდინების ზონა - მიწის მონაკვეთი, რომლის საზღვრებში შეიმჩნევა განდინების დენის მიერ წარმოქმნილი მნიშვნელოვანი დაბვა.

მიწის ზედაპირზე დაბვა მცირდება საყრდენიდან დენის ხაზის დაშორების მიხედვით. ღერძთან ახლოს დენის განდინების ზონაში დაბვის განაწილების მრუდს აქვს ციცაბო კლება. დენის განდინებას ხშირად გამოსახავენ გრაფიკით, რომლის ვერტიკალზე გადაიზომება დაბვის მნიშვნელობა ვოლტებში ან დაბვის ფარდობითი (უგანზომილებო) სიდიდეები. უკანასკნელ შემთხვევაში განსახილველ წერტილში დაბვას ყოფენ საყრდენზე, მოკლედ ჩართვის ადგილზე ან ღერძებზე არსებულ მთლიან დაბვაზე.



ნახ. 9.14. მოკლედ ჩართვის დროს დენის მიწაში განდინების სქემა. 20 მ მანძილზე ბიჯური დაბვა ნულად შეიძლება ჩაითვალოს, ხოლო დენის განდინების ცენტრში ის მაქსიმალურია.

მიწაში (საფუძველში) დენის განდინების დროს მიწის ზედაპირზე წარმოიქმნება ელექტრული პოტენციალების ველი φ . რაც უფრო შორსაა მიწაზე არსებულ მოკლედ შერთვის წერტილი, მით უფრო მცირეა პოტენციალების სიდიდე. დენის განდინების ზონაში ელექტრული პოტენციალი ნაწილდება ჰიპერბოლური კანონით:

$$\varphi = \frac{k}{x}, \quad (9.7)$$

სადაც k არის მუდმივი სიდიდე, რომელიც დამოკიდებულია გრუნტის წინააღობაზე და მოკლედ შერთვის განდინების დენის სიდიდეზე; x – მანძილი მოკლედ შერთვის წერტილიდან საძიებო წერტილამდე (ნახ. 9.15).

ჩვეულებრივად განდინების დენის ზონა 20 მ-ია, რადგანაც ამ ზონის იქით ელექტრული პოტენციალების სიდიდე პრაქტიკულად უმნიშვნელოა და შეიძლება გავეტოლოთ ნულს.

პოტენციალთა სხვაობას ორ წერტილს შორის, რომლებზეც ერთდროულად დგას ადამიანი, ეწოდება ბიჯური დაბვა. ბიჯური დაბვა არის ადამიანის სხეულში დაბვის ვარდნა და განისაზღვრება ფორმულით:

$$U_{ბიჯ} = I_{ად} R_{ად}. \quad (9.8)$$

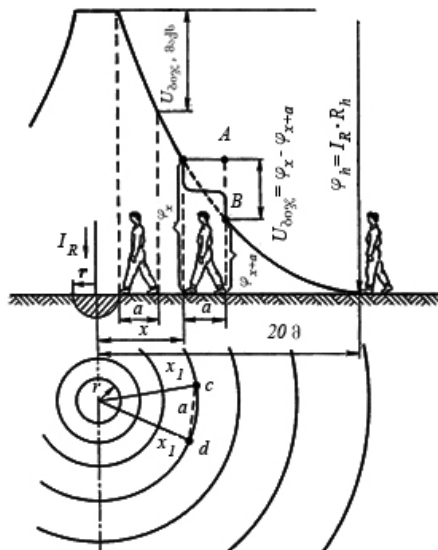
სადაც $U_{ბიჯ}$ არის ბიჯური დაბვა, ვ; $I_{ად}$ – ადამიანის სხეულში განდინებული დენი 'ფეხი-ფეხი'-ის გზით, ა; $R_{ად}$ – ადამიანის სხეულის ელექტრული წინააღობა, ომი.

ჩამიწებელთან ან მიწაზე დაგდებულ შიშველ სადენთან ახლოს მდებარე ფეხის პოტენციალი მეტია, მეორე ფეხთან შედარებით. მაშასადამე, ფეხებს შორის მანძილს, ანუ ნაბიჯს ამ შემთხვევაში ბიჯი ეწოდება, ფეხის ტერფებს შორის პოტენციალთა სხვაობას კი - ბიჯური დაბვა.

ყველაზე მაღალი რისკი არსებობს მაშინ, როცა ადამიანი დენის მიწაში განდინების წერტილთან ძალიან ახლოს დგას. ასეთ შემთხვევაში ბიჯური დაბვა მაქსიმალურია. რაც

უფრო შორდება ადამიანი ამ წერტილს, მით უფრო მცირდება საფრთხე, და დაახლოებით 20 მეტრის დაშორებაზე ბიჯური დაბვა პრაქტიკულად ნულს უტოლდება.

ბიჯური დაბვის გამოთვლისას მიღებულია, რომ საშუალო ბიჯის სიგრძე 0,8 მ-ია. ამ ზონაში მოხვედრისას დენის წრედი იკვრება შედარებით უსაფრთხო ფეხი-ფეხის სქემით. თუმცა, თუ ბიჯური დაბვა აღემატება 80 ვ-ს, იწყება ფეხის კუნთების უნებლიე კრუნჩხვები, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს ადამიანის დაცემა. ასეთ შემთხვევაში სხეულზე მოდებული დაბვა იზრდება და საფრთხეც მნიშვნელოვნად მძიმდება.



ნახ. 9.15. ბიჯური დაბვა ერთეული ჩამმიწებლის შემთხვევაში:

20 მ მანძილზე ბიჯური დაბვა პრაქტიკულად ნულია; მიწაზე დაგდებულ სადენტან მიახლოებისას ბიჯური დაბვა იზრდება და ხდება საშიში. ასეთ პირობებში უსაფრთხო პრაქტიკაა მოკლე ნაბიჯებით გადაადგილება.

აღნიშნული მიზეზით დაუშვებელია მიწაზე დაგდებულ სადენტან მიახლოება:

- დახურულ სათავსებში — 4-5 მ რადიუსზე უფრო ახლოს,
- ღია სივრცეში — 8-10 მ რადიუსზე უფრო ახლოს.

9.15. გრუნტის ელექტრული წინააღობა

გრუნტი ელექტრული დენის ცუდი გამტარია. თუ შევადარებთ ლითონებს, მაგ., სპილენძს, გრუნტის გამტარობა 5,7 მილიარდჯერ ნაკლებია სპილენძის გამტარობაზე. თუმცა იმის გამო, რომ განდინების ზედაპირი, ძალიან დიდია, გრუნტი დენის გავლას უმნიშვნელო წინააღმდეგობას უწევს.

გრუნტი წარმოადგენს დისპერსიულ ფოროვან სხეულს, რომელიც შედგება მყარი, თხევადი და აიროვანი ნაწილებისაგან.

გრუნტის ელექტრული წინაღობა ხასიათდება ჯამური კუთრი წინააღობით ρ , ანუ იმ კუბის წინააღობით, რომლის წიბო 1 მ-ია. მისი განზომილებაა ომი.მ.

გრუნტის კუთრი წინააღობა დიდ საზღვრებში იცვლება: ათიდან ათასეულებით ომი.მ-მდე, რადგანაც იგი ბევრ ფაქტორზეა დამოკიდებული. ეს ფაქტორებია: გრუნტის ტენიანობა, ტემპერატურა, სახეობა, შემკვრივების ხარისხი, წელიწადის დრო.

ნებისმიერი შედგენილობის მშრალ გრუნტს დიდი კუთრი წინააღობა აქვს (10^4 ომი.მ და მეტი). ე.ი. პრაქტიკულად იგი დენს არ ატარებს. გრუნტის დატენიანებით მისი წინააღობა მკვეთრად მცირდება, რადგან წყალი ხსნის გრუნტში არსებულ მარილებს, ხოლო ყველანაირი მარილის წყალხსნარი დენგამტარია.

ტენიანობის ზრდა 15-20% -მდე (მასის მიხედვით) მკვეთრად ამცირებს გრუნტის კუთრი წინააღობას. ტენიანობის შემდგომი ზრდა ნაკლებად მოქმედებს წინააღობის ცვლილებაზე. 70-80%-დან კი წინააღობა უმნიშვნელოდ იზრდება, რაც აიხსნება მომატებულ ტენში მარილების კონცენტრაციის შემცირებით.

ტენიანი გრუნტი წარმოადგენს ელექტროლიტს. მისი ტემპერატურის მატებით კუთრი წინააღობა მცირდება, რადგან ტემპერატურის ზრდა იწვევს წყალში გახსნილი მოლეკულების დისოციაციის გაზრდას, ანუ ხსნარში იონების რიცხვის მატებას, რაც ზრდის დენგამტარობას. ეს კანონზომიერება ძალაშია წყლის ინტენსიური აორთქლების დაწყებამდე. ინტენსიური აორთქლება ხდება ნიადაგის გახურების შედეგად ჩამიწებულში დიდი დენების გავლის შემთხვევაში. გამომშრალი გრუნტი კი ხასიათდება დიდი კუთრი წინააღობით. 0 °C-ზე კუთრი წინააღობა ნახტომისებრად იცვლება. ამ ტემპერატურის ყინულს ბევრად მეტი წინააღობა აქვს, ვიდრე იმავე ტემპერატურის წყალს. გრუნტში არსებული ყინული არაა დენის გამტარი. გრუნტის ტემპერატურის შემდგომი შემცირება 0 °C-ის ქვემოთ კუთრი წინააღობის მკვეთრ ზრდას არ იწვევს – იგი მდოვრედ იზრდება.

გრუნტი შეიძლება იყოს სხვადასხვა სახის: თიხა, თიხნარი, ქვიშა, ქვიშნარი, შავმიწა, ტორფნარი და ა.შ. გრუნტში არსებული ხსნადი ნივთიერებების შემცველობა პირდაპირ მოქმედებს მის წინააღობაზე. რაც მეტია ასეთი ნივთიერებები (მჟავები, მარილები, ფუძეები), მით ნაკლებია კუთრი წინააღობა ρ . მნიშვნელობა აქვს დისპერსულობას, ანუ გრუნტის დაქუცმაცების ხარისხს. წვრილდისპერსიულ გრუნტებში მეტია ფორების ჯამური ფართობი, სორბციული ძალები, შეკავშირებული წყალი მეტია და შესაბამისად წინააღობაც მეტია. თიხოვანი გრუნტი კარგად იჭერს წყალს, მკვრივია, აქვს შედარებით მცირე კუთრი წინააღობა, ჩამიწების მოსაწყობად კარგი გრუნტია. ქვიშიანი გრუნტი ცუდად აკავებს წყალს და ტენს, აქვს დიდი კუთრი წინააღობა და არ არის ხელსაყრელი ჩამიწების მოსაწყობად.

გრუნტის შემკვრივება პირდაპირ მოქმედებს მის წინააღობაზე: რაც მეტია სიმკვრივე ანუ რაც უფრო დატკეპნილია იგი, მით ნაკლებია კუთრი წინააღობა. ამის გათვალისწინებით, ჩამიწების მოწყობისას გრუნტს კარგად ტკეპნიან, რაც იძლევა ლითონის ეკონომიას. კარგად იტკეპნება შავმიწა, თიხა, ცუდად კი ქვიშა.

ტემპერატურისა და ატმოსფერული მოვლენების გავლენით, გრუნტის კუთრი წინააღობის ცვლილებას, იწვევს წელიწადის დროების ცვალებადობა. მიჩნეულია, რომ გრუნტის კუთრი წინააღობის მკვეთრი შემცირება ხდება გაზაფხულზე და შემოდგომაზე,

როცა დამდნარი თოვლი და წვიმები მასში ტენიანობას ზრდის. კუთრი წინაღობა იზრდება ზამთარში (როცა მიწა იყინება) და ზაფხულში (წყალი ორთქლდება). ჩამიწების გაანგარიშებისას აღნიშნულს სეზონურობის კოეფიციენტით ითვალისწინებენ.

ჩამიწებელ მოწყობილობათა დაპროექტებისას საჭიროა გრუნტის კუთრი წინაღობის ცოდნა კონკრეტულად იმ ადგილას, სადაც იგი ეწყობა. ამისათვის იგი უნდა გაიზომოს.

ერთგვაროვანი გრუნტის კუთრი წინაღობა იზომება ერთჯერადი ზონდირებით. საკონტროლო ზონდს – ღეროსებრ 4-5 სმ დიამეტრის ელექტროდს წვეტიანი ბოლოთი ვერტიკალურად ჩაუშვებენ რეკომენდებულ სიღრმეზე, ხოლო მეორე ბოლოზე გაზომავენ წინაღობას. ამის შემდეგ ფორმულით იანგარიშებენ კუთრ წინაღობას. დიდი სიზუსტისათვის ზონდს 3-4 ადგილზე ჩაუშვებენ და აიღებენ წინაღობის საშუალო მნიშვნელობას, რითაც შემდეგ იანგარიშებენ კუთრ წინაღობას. არსებობს გაზომვის სხვა მეთოდებიც.

მრავალფენიანი გრუნტის წინაღობა. როდესაც განვიხილავთ მიწაში დენის განდინებას, ვთვლით, რომ ნიადაგი ერთგვაროვანია, ანუ მას ნებისმიერ წერტილში ერთნაირი კუთრი წინაღობა აქვს. სინამდვილეში გრუნტი არ არის ერთგვაროვანი, იგი მრავალი შრისაგან შედგება. შრეებს აქვთ სხვადასხვა შედგენილობა, სტრუქტურა, ფორიანობა, სიმკვრივე, ტემპერატურა, ტენიანობა და სხვ., რომელთა კუთრი წინაღობა სხვადასხვაა. ჩვეულებრივ, მიწის ზედა ფენებს დიდი კუთრი წინაღობა აქვთ, ქვედასთან შედარებით, იშვიათად პირიქითაა. ანგარიშის გამარტივების მიზნით თვლიან, რომ გრუნტს ორი ფენა აქვს – ზედა და ქვედა შესაბამისი კუთრი წინაღობებით ρ_1 და ρ_2 .

მრავალფენიან გრუნტში ჩამიწებლის წინაღობა დამოკიდებულია მის გეომეტრიულ ზომებზე, კონსტრუქციაზე, ჩადრმავებაზე და გრუნტის ეკვივალენტურ კუთრ წინაღობაზე. გრუნტის კუთრი წინაღობა განისაზღვრება სპეციალური საცდელი ელექტროდით. ორფენა გრუნტის ეკვივალენტური კუთრი წინაღობა გამოითვლება ფორმულით:

$$\rho_{\text{კვ}} = \frac{\ell}{\Delta \ell_1 / \rho_1 + \ell_2 / \rho_2}, \quad (9.9)$$

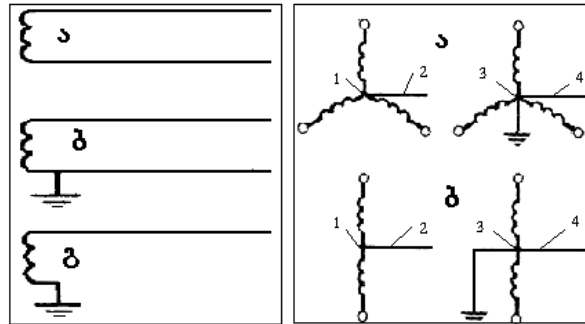
სადაც $\rho_{\text{კვ}}$ არის ორფენა გრუნტის ეკვივალენტური კუთრი წინაღობა, ომი.მ; ℓ – ელექტროდის სიგრძე, მ; ℓ_1 და ℓ_2 – ელექტროდის ნაწილების სიგრძე ზედა და ქვედა ფენებში, მ; ρ_1 და ρ_2 – გრუნტის ზედა და ქვედა ფენებისათვის გრუნტის კუთრი წინაღობა. სპეციალურ ცხრილებში მოცემული მაჩვენებლების დახმარებით შესაძლებელია განისაზღვროს სხვადასხვა ტიპის ჩამიწებლის საანგარიშო წინაღობა ორფენა ნიადაგში.

9.16. დენით დაშავების სამიშროება ქსელებში

დენით დაშავების ყველა შემთხვევას განაპირობებს ისეთი ფაქტორები, როგორებიცაა ადამიანის ქსელში ჩართვის სქემა, თვით ქსელის სქემა, მისი ძაბვა და

ნეიტრალის რეჟიმი, დენგამტარი ნაწილების მიწისაგან იზოლაციის ხარისხი, დენგამტარი ნაწილების მიწის მიმართ ტევადობა და ა.შ.

ცვლადი დენის ქსელები შეიძლება იყოს ერთფაზა ან სამფაზა. ერთფაზა ქსელები იშვიათად გვხვდება (ნახ. 9.16, მარცხენა მხარე).



ნახ. 9.16. მარცხნივ – ერთფაზა ქსელები: ა - ორსადენიანი მიწისაგან იზოლირებული; ბ - ორსადენიანი ჩამიწებული გამტარით; გ - ერთსადენიანი; მარჯვნივ: 1 - ნეიტრალური წერტილი; 2 - ნეიტრალური გამტარი; 3 - ნულოვანი წერტილი; 4 - ნულოვანი გამტარი.

შენიშვნა: ცნება ნეიტრალური მოიცავს როგორც წერტილს, ისე გამტარს. ნეიტრალური უფრო ფართო ცნებაა, ვიდრე ჩამიწებული: ყველა ჩამიწებული წერტილი და გამტარი ნეიტრალურია, მაგრამ ყველა ნეიტრალური წერტილი ან გამტარი არ არის ჩამიწებული.

ერთფაზა ქსელები ძირითადად დაბალ ძაბვაზე გამოიყენება. ასეთი ძაბვებია: 12, 24, 36 და 42 ვ. გამოყენების არეალი კი ასეთია: ხელის გადასატანი ლამპრები, ელექტროფიცირებული ინსტრუმენტები და მათი ანალოგიური მომხმარებლები. ასეთ შემთხვევაში იყენებენ ორსადენიან ქსელს.

უფრო მაღალ ძაბვაზე - 127, 220, 380 ვ და ზემოთ, ერთფაზა ქსელები გამოიყენება შედუღების ტრანსფორმატორის, გამოსაცდელი დანადგარების და სხვა მომხმარებლის კვებისათვის. ერთსადენიან ერთფაზა ქსელებს აგრეთვე იყენებენ ელექტროფიცირებულ ტრანსპორტში.

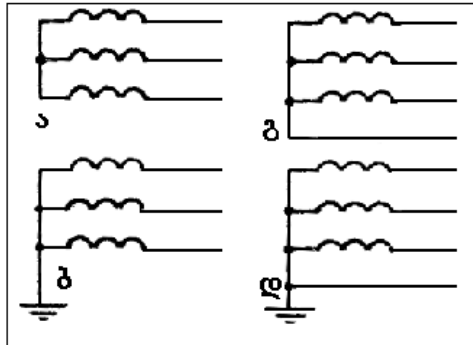
სამფაზა ქსელები ფართოდაა გამოყენებული. იზოლირებულნეიტრალიან და ჩამიწებულნეიტრალიან სამფაზა ქსელებს განასხვავებენ ერთმანეთისაგან (ნახ. 9.17).

ნეიტრალი არის წერტილი, რომლის ძაბვა გრაფილის ყველა მიმართულებით ერთი და იგივეა.

ჩამიწებულ ნეიტრალურ წერტილს ეწოდება ნულოვანი წერტილი. ნეიტრალი შეიძლება იყოს მიწისაგან იზოლირებული ან მიწასთან უშუალოდ მიერთებული, ანუ ჩამიწებული. ნეიტრალურ წერტილთან მიერთებულ გამტარს ეწოდება ნეიტრალური გამტარი.

ადამიანის სამფაზა ქსელში ჩართვის სქემა ძირითადად ორგვარია: ელექტრული ქსელის ორ ფაზას შორის (ორპოლუსა შეხება) ანდა ერთ ფაზასა და მიწას შორის.

ორპოლუსა შეხება შედარებით იშვიათია, თუმცა ყველაზე სახიფათო შემთხვევად ითვლება. ასეთ დროს ადამიანი ერთდროულად ეხება დენის წყაროს ორივე პოლუსს და აღმოჩნდება სრული ძაბვის ქვეშ, რომელიც ფაზურ ძაბვას $\sqrt{3}$ -ჯერ აღემატება.



ნახ. 9.17. სამფაზა ქსელების სქემები:

ა - სამსადენიანი იზოლირებული ნეიტრალით; ბ - სამსადენიანი ჩამიწებული ნეიტრალით; გ - ოთხსადენიანი იზოლირებული ნეიტრალით; დ - ოთხსადენიანი ჩამიწებული ნეიტრალით.

შენიშვნა: ნეიტრალის ჩამიწება უზრუნველყოფს ძაბვების სტაბილიზაციას ამპლიტუდური რყევების შემცირებით და უსაფრთხოების გაზრდით. ოთხსადენიანი სქემა დამატებით ერთფაზიანი მომხმარებლების უსაფრთხო მიერთების საშუალებას იძლევა.

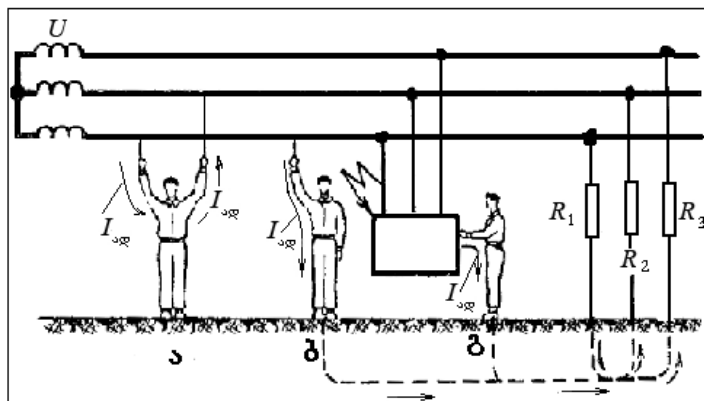
ამ ტიპის შეხებისას ადამიანის დაცვა მიწისგან იზოლაციის საშუალებებით — მაგალითად, რეზინის ჩექმებით, დიელექტრიკული ხალიჩით ან სხვა მსგავსი მოწყობილობებით — პრაქტიკულად შეუძლებელია, რადგან საფრთხე უშუალოდ წყაროს ძაბვიდან მოდის.

ერთფაზა მიწისაგან იზოლირებულ ქსელში ნორმალური მუშა რეჟიმის დროს, რაც უფრო საიმედოა გამტარის იზოლაცია მიწის მიმართ, მით უფრო ნაკლებია საშიშროება გამტართან შეხებისას და რაც მეტია იზოლაციის წინაღობა, ავარიული რეჟიმის დროს (გამტარის მიწასთან მოკლე შერთვისას), მით უფრო საშიშია ადამიანის შეხება გამტართან. ადამიანი ეხება რა სადენს, აღმოჩნდება თითქმის სრული ძაბვის ქვეშ, მიუხედავად იზოლაციის წინააღობისა, ამიტომ დაშავების საშიშროება ბევრად მეტია, ვიდრე იმავე ქსელში ნორმალური რეჟიმის დროს.

ჩამიწებულგამტარიან ერთფაზა ქსელში ჩაუმიწებელ გამტართან შეხებისას ადამიანი განიცდის სრული ძაბვის ზემოქმედებას, ხოლო მის ორგანიზმში განდინებული დენი უდიდესია. დიდი როლი ენიჭება მაიზოლირებელ იატაკს და ფეხსაცმელს.

ჩამიწებულ გამტართან შეხებას უსაფრთხოდ მიიჩნევენ, რადგან მისი ძაბვა მიწის მიმართ უმნიშვნელოა. სინამდვილეში ეს ყოველთვის ასე არ არის. ნორმალურ პირობებში შეხების ძაბვა უმნიშვნელოა და ქსელის ძაბვის 5% შეადგენს. გამტარებს შორის მოკლე შერთვის დროს დენი მკვეთრად იზრდება და ძაბვა გამტარებში თითქმის

ქსელური დაბვის 100%-ია. ცხადია, რომ შეხების დაბვა პროპორციულად იზრდება დენის ზრდით და მოკლე შერთვისას შეიძლება მიაღწიოს ადამიანისათვის საშიშ მნიშვნელობას.



ნახ. 9.18. შეხება სამფაზა ქსელის სადენებთან:

ა - ორპოლუსა შეხება; ბ, გ - ერთპოლუსა შეხება. R_1, R_2, R_3 - სადენების სრული ელექტრული წინაღობა მიწის მიმართ.

განმარტება: ორპოლუსა შეხებისას ადამიანის სხეულში დენის გავლა უფრო ინტენსიურია, რადგან ორი ფაზის შორის სრული დაბვა მოქმედებს. ერთპოლუსა შეხებისას დენის სიდიდე დამოკიდებულია კონკრეტული ფაზის წინააღმდეგობაზე მიწის მიმართ (R_1, R_2, R_3), ამიტომ საფრთხე მაინც რეალურია. ეს სქემა აჩვენებს, რომ ნებისმიერი ტიპის შეხება სამფაზა ქსელთან საშიშაა და საჭიროებს მკაცრ უსაფრთხოების ზომებს.

ჩამიწებულნეიტრალიან ქსელში ადამიანის ფაზურ სადენთან ერთპოლუსა შეხებისას შეიკვრება დაშავების შემდეგი წრედი: ადამიანის სხეული - ფეხსაცმელი - იატაკი - მიწა - ნეიტრალის ჩამამიწებელი - ნეიტრალი (ნახ. 9.18. ბ,გ).

ადამიანის სხეულში განდინებული დენის სიდიდე $I_{ად}$ გამოითვლება ფორმულით

$$I_{ად} = \frac{U_{ფ}}{R_{ად} + R_{იკ} + R_{ფეხ} + r_{წ}}, \quad (9.10)$$

სადაც $U_{ფ}$ არის ქსელის ფაზური დაბვა, ვ; $R_{ად}$, $R_{იკ}$, $R_{ფეხ}$ - შესაბამისად, ადამიანის, იატაკისა და ფეხსაცმლის წინააღმდეგობა, ო; $r_{წ}$ - ნეიტრალის ჩამამიწების წინააღმდეგობა, ო.

რაც მეტი იქნება წინააღმდეგობათა ჯამი (9.10) ფორმულაში, მით ნაკლები დენის განდინება მოხდება ადამიანის ორგანიზმში. ასეთ შემთხვევაში ადამიანის სხეულში განდინებული დენის სიდიდე არ არის დამოკიდებული ქსელის ტევადობაზე და იზოლაციის აქტიურ წინააღმდეგობაზე მიწის მიმართ, რადგან ისინი დაშვებულია ნეიტრალის მიწასთან შემართებული სადენით და მიწასთან მცირე განდინების წინააღმდეგობის მქონე დამამიწებელით.

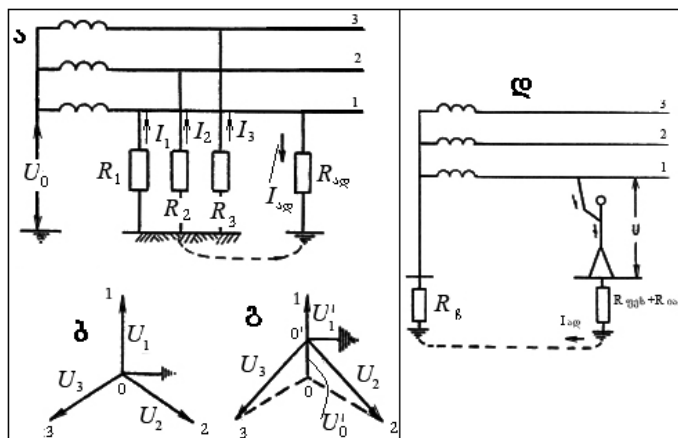
იზოლირებულნეიტრალიან გაუზრცობელ ქსელში ფაზების ტევადობები იმდენად მცირეა, რომ შეგვიძლია უგულებელვყოთ. ერთ-ერთი ფაზის გარღვევის შემთხვევაში წრედი შეიკვრება ადამიანის სხეულისა და დანარჩენი ორი ფაზის მიწის მიმართ იზოლაციის გავლით (ნახ. 9.19.დ).

ფაზების იზოლაციის წინააღმდეგობა და ადამიანის სხეულის წინააღმდეგობა ვარსკვლავურად ჩართული ასიმეტრიული დატვირთვაა, რომელშიც ნულოვან წერტილს წარმოადგენს მიწა. ვექტორული დიაგრამა (ნახ. 9.19, ბ) გვიჩვენებს, რომ თუ იზოლაციის წინააღმდეგობები R_1, R_2, R_3 მიწის მიმართ სიმეტრიულია, ნულოვანი წერტილის (მიწის) პოტენციალი ემთხვევა ნეიტრალის პოტენციალს. ადამიანის პირველ ფაზასთან შეხებისას წინააღმდეგობის სიმეტრიულობა დაირღვევა და ვექტორული დიაგრამა შეიცვლება (ნახ. 9.19, გ). ამ შემთხვევაში ადამიანის სხეულში განდინებული დენის სიდიდე გამოითვლება ფორმულით:

$$I_{ად} = \frac{3U_g}{2R_{ად} + r}, \quad (9.11)$$

სადაც $r = R_1 + R_2 + R_3$.

ამგვარად, ერთ ფაზასთან შეხებისას ადამიანის სხეულში განდინებული დენის სიდიდე დამოკიდებულია დანარჩენი ორი ფაზის იზოლაციის წინააღმდეგობაზე. ამ წინააღმდეგობის ზრდით დენი მცირდება.



ნახ. 9.19. ერთპოლუსა შეხების ილუსტრაცია სამფაზა ჩამიწებულნეიტრალიან (ა, ბ, გ) და იზოლირებულნეიტრალიან გაუვრცობელ (დ) ქსელებში.

განმარტება: ჩამიწებულნეიტრალურ ქსელში ერთპოლუსა შეხებისას დენის გავლა ადამიანის სხეულში ინტენსიურია, რადგან ნეიტრალი მიწასთან დაკავშირებულია და ძაბვა პირდაპირ მოქმედებს. იზოლირებულნეიტრალურ ქსელში დენის სიდიდე დამოკიდებულია ფაზის წინააღმდეგობაზე მიწის მიმართ, ამიტომ ზოგჯერ ნაკლებია, მაგრამ საფრთხე მაინც რეალურია. ეს ილუსტრაცია აჩვენებს, რომ ნებისმიერი ტიპის ერთპოლუსა შეხება სამფაზა ქსელთან სახიფათოა და საჭიროებს მკაცრ უსაფრთხოების ზომებს.

ერთპოლუსა შეხება სახიფათოა მაშინაც, როდესაც იზოლაციის წინააღმდეგობა დიდია, მაგრამ ფაზებს გააჩნიათ მიწის მიმართ მნიშვნელოვანი ტევადობა. ტევადობის სიდიდე დამოკიდებულია ქსელის კონსტრუქციაზე (საკაბელოა თუ საჰაერო) და მის სიგრძეზე.

საკაბელო ქსელებს, აგრეთვე 1000 ვ-ზე უფრო მაღალი ძაბვის საჰაერო ქსელებსაც დიდი ტევადობა აქვთ.

ტევადობის ზრდა დაშვების საფრთხეს მნიშვნელოვნად ზრდის.

ზემოგანხილული ქსელების ანალიზის შედეგად ვასკვნით, რომ ერთპოლუსა შეხების დროს ადამიანის სხეულში უფრო ნაკლები დენი გადის იზოლირებულნეიტრალიან ქსელში. მაგრამ, თუ ადამიანი ეხება ერთ ფაზას, ხოლო სხვა რომელიმე ფაზა მიწასთან მოკლედ შერთულია, მაშინ იზოლირებულნეიტრალიან ქსელებში ხიფათი მეტია, რადგან ადამიანი აღმოჩნდება არა ფაზური, არამედ ხაზური ძაბვის ქვეშ.

9.17. ქსელის სქემისა და ნეიტრალის რეჟიმის შერჩევა

ქსელის სქემისა და შესაბამისად, ნეიტრალის რეჟიმის შერჩევა ხდება ტექნოლოგიური მოთხოვნებითა და უსაფრთხოების პირობების შესაბამისად. ჩვენ ქვეყანაში 1000 ვ-მდე ძაბვის ქსელში ძირითადად ორი სახის სქემაა გავრცელებული: სამსადენიანი ქსელი იზოლირებული ნეიტრალით და ოთხსადენიანი ქსელი ჩამიწებული ნეიტრალით.

ტექნოლოგიური მოთხოვნებით უპირატესობა ენიჭება ოთხსადენიან ქსელს, რადგან იგი საშუალებას იძლევა ორი მუშა ძაბვა გამოვიყენოთ – ხაზური და ფაზური. ოთხსადენიანი ქსელებიდან შეიძლება იკვებებოდეს ძალური დატვირთვა, რომელიც ჩაირთვება ფაზურ სადენებს შორის 380 ვ ძაბვაზე და ასევე გამანათებელი მოწყობილობა ფაზურ და ნულოვან გამტარებს შორის, ანუ ფაზურ 220 ვ ძაბვაზე.

უსაფრთხოების მოთხოვნებით, ნორმალური რეჟიმის პირობებში უფრო უსაფრთხოა იზოლირებულნეიტრალიანი ქსელები. ამიტომ იმ ობიექტებზე, სადაც შესაძლებელია იზოლაციის მაღალი დონის შენარჩუნება და გამტართა ტევადობა მიწის მიმართ უმნიშვნელოა, გამოყენებული უნდა იქნეს იზოლირებულნეიტრალიანი ქსელები. ასეთია შედარებით მოკლე ქსელები, სადაც არ არის აგრესიული გარემო და მათ სპეცპერსონალი აკონტროლებს (გადასაადგილებელი დანადგარებისათვის, შახტებში მუშაობისას და ა.შ.).

ჩამიწებულნეიტრალიანი ქსელები გამოიყენება იქ, სადაც გამტარების იზოლაციის კონტროლი გაძნელებულია (ტევადობის, აგრესიული გარემოს, დიდი სიგრძის გამო), როცა ძნელია იზოლაციის დაზიანების გამოვლენა ან ტევადური დენები მიწასთან მოკლე შერთვისას აღწევენ მნიშვნელოვან, ადამიანისათვის საშიშ სიდიდეებს. ასეთი ქსელების მაგალითებია მსხვილი სამრეწველო ობიექტები, საქალაქო და სასოფლო ქსელები და სხვ.

1000 ვ ძაბვის ზემოთ ნეიტრალის რეჟიმის შერჩევა ხდება როგორც ტექნოლოგიური, ისე უსაფრთხოების მოსაზრებებით. ორივე მოსაზრებით, 1000 ვ-ზე მაღალი ძაბვის ქსელებში უმჯობესია ჩამიწებული ნეიტრალი, ანუ ჩამიწება მცირე წინააღობის მეშვეობით, მიუხედავად იმისა, რომ ასეთ ქსელებში გამტარების მიწის მიმართ დიდი ტევადობის გამო მათი იზოლაციის დაცვითი როლი მთლიანად იკარგება და ადამიანისათვის ერთნაირად საშიშია შეხება როგორც იზოლირებულნეიტრალიანი, ისე ჩამიწებულნეიტრალიანი ქსელის გამტართან.

9.18. დამცავი ჩამიწება.

დანულება. დამცავი ამორთვა

დამცავი ჩამიწება.

იზოლაციის დაზიანებისას შესაძლებელია ძაბვის გადასვლა ელექტროდანადგარის კორპუსზე ან სხვა ლითონის ნაწილებზე. უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად გამოიყენება დამცავი ჩამიწება — მოწყობილობის დენგამტარი ნაწილების წინასწარი შეერთება მიწასთან სპეციალური ელექტროდებისა და სადენების საშუალებით.

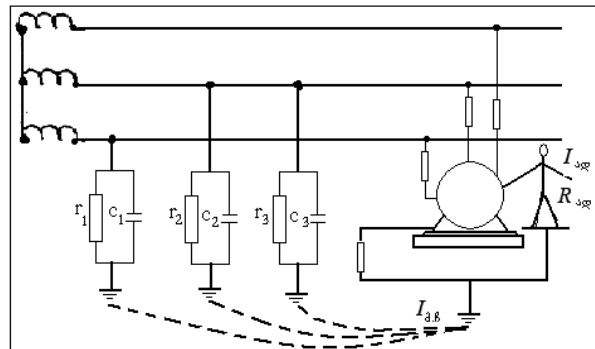
- მიზანია შეხების ძაბვისა და ბიჯური ძაბვის შემცირება უსაფრთხო მნიშვნელობამდე.

განმარტება: დენი ნაწილდება ადამიანის სხეულსა და დამცავი დამიწების წინააღობაში მათი წინააღობების პროპორციულად. მაგალითად, თუ ადამიანის წინააღობა არის 1000 ომი, ხოლო დამიწების — 4 ომი, დენის უდიდესი ნაწილი დამიწებაში გაივლის, ხოლო სხეულში მხოლოდ უმნიშვნელო, უსაფრთხო ნაწილი.

- ეფექტურობა მიიღწევა მცირე წინააღობის მქონე ჩამიწებლების გამოყენებით და ადამიანის სადგარის პოტენციალის გათანაბრებით.

- ნორმებით განსაზღვრულია, რომ 1000 ვ-მდე ძაბვის ქსელებში დამცავი ჩამიწების წინააღობა არ უნდა აღემატებოდეს 4 ომს, ხოლო მაღალი ძაბვის შემთხვევაში წინააღობის დასაშვები მნიშვნელობები დამოკიდებულია მოკლე შერთვის დენზე.

როდესაც მოწყობილობას არ აქვს დამცავი ჩამიწება, მისი კორპუსი მიწის მიმართ ფაზურ ძაბვაზე იმყოფება და მასთან შეხება ისეთივე სახიფათოა, როგორც უშუალო დენგამტარ ნაწილთან შეხება.



ნახ. 9.20. დამცავი დამიწება.

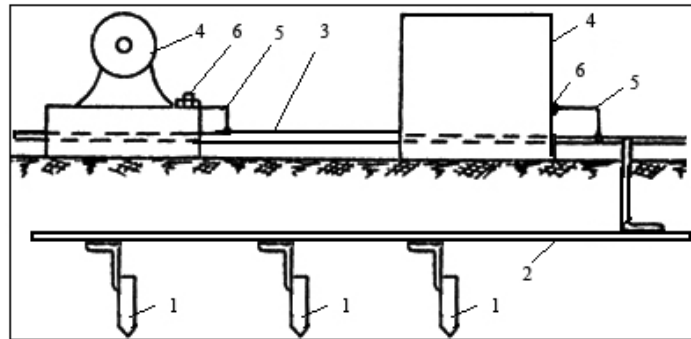
კორპუსის მიწასთან შეერთებისას ძაბვები ნაწილდება და კორპუსზე მოდებული ძაბვა განისაზღვრება ფორმულით:

$$I_{ად} = \frac{I_{აგ} r_{\beta}}{R_{ად}}, \quad (9.12)$$

სადაც $I_{აგ}$ არის მოკლე შერთვის დენი, ხოლო r_{β} — დამცავი ჩამიწების წინააღობა.

ამ ფორმულიდან ჩანს, რომ ადამიანის ორგანიზმში განდინებული დენის სიდიდის შემცირება შესაძლებელია მხოლოდ მაშინ, თუ შევამცირებთ დამცავი ჩამიწების წინაღობას r_{β} , რადგან დანარჩენი პარამეტრები პრაქტიკულად უცვლელია.

ჩამიწების ანგარიში და მოწყობა.



ნახ. 9.21. ჩამიწების მოწყობა:

1 - ჩამმიწებლები; 2 - ზოლოვანა; 3 - ჩამმიწებლის მაგისტრალი; 4 - მანქანა-დანადგარები; 5 - შემაერთებული სადენები; 6 - ჭანჭიკური შეერთება ან შედუღება.

დამცავი ჩამიწება შედგება მიწაში განლაგებული ელექტროდების ჯგუფისა და მათი დამაკავშირებელი ზოლოვანასაგან. ამ სისტემას უერთდება ჩამიწების მაგისტრალი, რომელთანაც პარალელურად ერთდება მანქანა-დანადგარების კორპუსები სპეციალური სადენებით (ნახ. 9.21).

ხელოვნური ჩამმიწებლები:

- გამოიყენება ფოლადის კუთხოვანები ზომებით 40×40–60×60 მმ,
- ფოლადის მილები დიამეტრით დაახლოებით 35 მმ,
- ფოლადის სალტეები კვეთით არანაკლებ 100 მმ².

ვერტიკალური ჩამმიწებლის სიგრძე, როგორც წესი, 2,5–3,0 მ ფარგლებშია.

ჰორიზონტალური ელემენტები:

• ვერტიკალური ჩამმიწებლების დასაკავშირებლად და დამოუკიდებელი ჰორიზონტალური ჩამმიწებლისათვის გამოიყენება ზოლოვანი ფოლადი, რომლის მინიმალური კვეთია 4×12 მმ.

- ფოლადის მავთულის (გლინულას) დიამეტრი უნდა იყოს არანაკლებ 6 მმ.

დამცავი ჩამიწებით აღჭურვილ მოწყობილობაზე ფაზის გარღვევისას გადავა ძაბვა, რომლის გაანგარიშება შესაძლებელია ფორმულით:

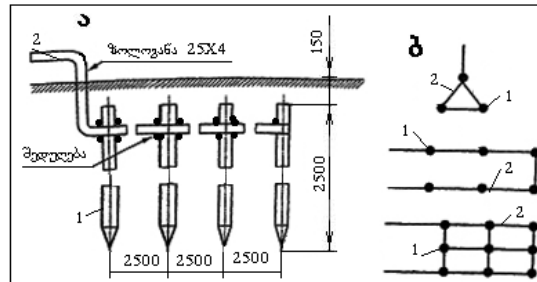
$$U_{\beta} = I_{\beta} r_{\beta}. \quad (9.13)$$

ასეთ შემთხვევაში ადამიანი იგრძნობს შეხების ძაბვას რომელიც იანგარიშება ფორმულით:

$$U_{\text{შეხ}} = \alpha U_{\beta}, \quad (9.14)$$

ამრიგად, შეხების დაზოგადება და ადამიანის სხეულში განდინებული დენი შეიძლება მნიშვნელოვნად შევამციროთ მცირე წინააღობის მეორე ჩამოყვების გამოყენებით, აგრეთვე შეხების კოეფიციენტის შემცირებით.

მიღებულია, რომ 1000 ვ-მდე დაზოგადების ქსელებში დამცავი ჩამოყვების წინააღობა $r_B \leq 4$ ომი. 1000 ვ-ზე მეტი დაზოგადების შემთხვევაში: თუ მოკლე შერთვის დენი $I_{\partial B} < 500$ ა, მაშინ $r_B \leq \frac{250}{I_{\partial B}}$, მაგრამ იმ პირობით, რომ არ უნდა გადაჭარბოს 10 ომს. იმ შემთხვევაში კი, როცა $I_{\partial B} > 500$ ა, მაშინ ჩამოყვების წინააღობა უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას $r_B \leq 0.5$ ომი.

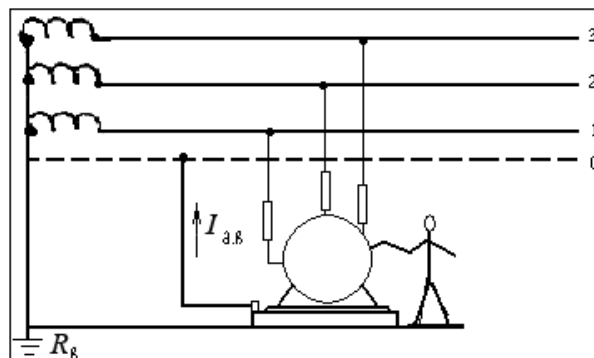


ნახ. 9.24. ჩამოყვებული მოწყობილობების განგარიშებისათვის:

ა - კონტურზე განლაგებული ჩამოყვებული მოწყობილობა; ბ - პირიზონტალური ფოლადის ზოლოვანის განლაგების ვარიანტები; 1 – ვერტიკალური ჩამოყვებული; 2 - ფოლადის ზოლოვანა.

დანულება.

დანულება გულისხმობს ელექტროდანადგარების ლითონის კორპუსების წინასწარ მიერთებას მრავალჯერ ჩამოყვებულ ნულოვან დამცავ სადენთან.



ნახ. 9.25. დანულება.

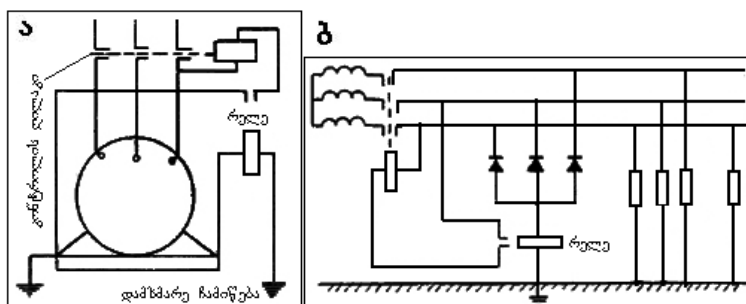
- გამოიყენება 1000 ვ-მდე დაზოგადების ჩამოყვებულნიტრალიან ქსელებში.
- უზრუნველყოფს დაზიანებული უბნის ავტომატურ გათიშვას, რადგან კორპუსზე დაზოგადების გადასვლისას წარმოიქმნება ხელოვნური მოკლე შერთვა და ამოქმედდება დენური დაცვა.
- ნულოვანი სადენის გამტარობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ მოკლე შერთვის დენი საკმარისი იყოს მცველებისა და ავტომატების ამოქმედებისთვის.

დანულებული სადენის კვეთი ისე უნდა შეირჩეს, რომ რომელ უბანზეც არ უნდა მოხდეს ნულოვანი სადენის შეხება გამტარ ნაწილებთან, მოკლე შერთვის დენი 2,5-ჯერ მაინც უნდა აღემატებოდეს ყველაზე ახლომდებარე დნობადი მცველის ნომინალურ დენს ან 1,5-ჯერ – ავტომატური ამომრთველის ამოქმედების დენს. ამ შემთხვევაში ნულოვანი სადენის სრული გამტარებლობა ფაზური სადენის გამტარებლობის არანაკლებ 50% უნდა იყოს.

დამცავი ამორთვა.

დამცავი ამორთვის დანიშნულებაა დაზიანებული ელექტროდანადგარის ავტომატური გათიშვა ქსელიდან.

- საფრთხე წარმოიშობა მიწასთან მოკლე შერთვის, იზოლაციის წინაღობის შემცირების ან არასრულყოფილი ჩამიწებისა და დანულების გამო.
- სქემის ძირითადი ელემენტია მგრძნობიარე გადამწოდი (ძაბვის რელე), რომელიც რეაგირებს კორპუსის ძაბვაზე მიწის მიმართ ან მოკლე შერთვის დენზე.
- ყველაზე მარტივი სქემა რეაგირებს ძაბვაზე კორპუსსა და მიწას შორის: სახიფათო მნიშვნელობის მიღწევისას რელე ავტომატურად გათიშავს ქსელს.
- იზოლირებულნეიტრალიან ქსელებში ხშირად გამოიყენება ვენტილური სქემა, სადაც ადამიანის სხეულში დენის გავლა იწვევს რელეს ამოქმედებას და ავტომატის გათიშვას.



ნახ. 9.26. დამცავი ამორთვის სქემები: ა - კორპუსსა და მიწას შორის ძაბვაზე მორეაგირე დამცავი ამორთვა; ბ - ვენტილური ამორთვა

დამცავი ამორთვის სქემებში გადამწოდია ძაბვის რელე, რომელიც ჩართულია კორპუსსა და დამხმარე ჩამამიწებელს შორის. როდესაც ძაბვა კორპუსსა და მიწას შორის მიაღწევს სახიფათო მნიშვნელობას, რელე ამოქმედდება და თავისი ნორმალურად დაკეტილი კონტაქტით კვებას შეუწყვეტს კონტაქტორის კოჭს. კონტაქტორი გამოირთვება და მოიხსნება სახიფათო ძაბვა კორპუსიდან. ასეთი სქემის უარყოფითი მხარეებია: დამხმარე ჩამამიწებლის საჭიროება, ადამიანის დაუცველობა შიშველ სადენთან შეხებისას.

9.19. ელექტროდანადგარების ექსპლუატაციის უსაფრთხოება

საწარმოო პირობებში უბედური შემთხვევების დიდი ნაწილი დაკავშირებულია ელექტროშედულებით მუშაობასთან, გაუმართავი ან ცუდად დარეგულირებული მოწყობილობების გამოყენებასთან, ასევე ღია და დახურულ გამტარებთან შეხებასთან. ამიტომ აუცილებელია უსაფრთხოების ღონისძიებების მკაცრი დაცვა.

ძირითადი დაცვის ღონისძიებები:

- **შემოდგომა და ბლოკირება** — იცავს ადამიანს ძაბვიან ნაწილებთან შეხებისგან. მაღალი ძაბვის მქონე მოწყობილობები, რომლებიც იატაკიდან 2,5 მ-ზე დაბლაა, აუცილებლად უნდა იყოს შემოდგომილი დამცავი ფარებით ან მოთავსებული ყუთებში/კარადებში. ყველა ასეთი კონსტრუქცია უნდა იყოს ჩაკეტილი ან აღჭურვილი ბლოკირებით, რომელიც ხელს უშლის მათი გახსნას მოწყობილობის ჩართულ მდგომარეობაში.

- **ბლოკირების ტიპები** — ელექტრული, მექანიკური და ელექტრომექანიკური. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ბლოკირება ნესტიან გარემოში, ცისტერნებში, ქვაბებში და რეზერვუარებში, სადაც მუშაობისას შეიძლება წარმოიშვას 75 ვ-მდე ძაბვის საფრთხე.

- **დამცავი საშუალებები:**

- **1000 ვ-მდე:** დიელექტრიკული ხელთათმანები, იზოლირებული სახელოურიანი ხელსაწყოები, დენის მარწუხები.

- **1000 ვ-ზე მეტი:** მაიზოლირებული შტანგები, საზომი მარწუხები, ძაბვის მაჩვენებლები.

- **დამატებითი დამცავი საშუალებები** — დიელექტრიკული ფეხსაცმელი, რეზინის ხალიჩები, იზოლირებული სადგარები, რეზინის ჩექმები. ღია მოედნებზე მათი გამოყენება დაშვებულია მხოლოდ მშრალ ამინდში.

იზოლაციის კონტროლი:

გამტარების იზოლაცია დროთა განმავლობაში სუსტდება ტენიანობის, მტვრის, მჟავური ორთქლისა და მაღალი ტემპერატურის გამო. წესების მიხედვით, გაჟონვის დენი არ უნდა აღემატებოდეს 0,001 ა-ს, ხოლო იზოლაციის წინაღობა — 1000 ომს. შემოწმება ტარდება წელიწადში ორჯერ. სამფაზიან მოწყობილობებში დაზიანებისას ვოლტმეტრები აჩვენებენ ძაბვის გადანაწილებას, რაც ადვილად დააფიქსირებს პრობლემას.

სიგნალიზაცია:

მუშაკის დასაცავად გამოიყენება სიგნალიზაცია — უსაფრთხოების ლამპრები, რომლებიც განთავსებულია მაღალი ძაბვის მოწყობილობებთან და აფრთხილებენ შესაძლო საფრთხეზე.

დამატებითი ინდივიდუალური დაცვის საშუალებები:

სიმაღლეზე მუშაობისას გამოიყენება დამცავი ქამრები, კიბეები და ამწევი მოწყობილობები. ქამრები რეგულარულად მოწმდება 2,4 კნ დატვირთვით. თვალის

დასაცავად გამოიყენება სპეციალური სათვალეები ელექტრორკალისა და გამდნარი ლითონისგან.

იზოლირებულსახელურიანი ხელსაწყოები:

ძაბვიან დანადგარებთან მუშაობისას ქანჩგასაღები უნდა იყოს პლასტმასის ან ხის სახელურით, ხოლო ბრტყელტუჩა — ებონიტით ან პლასტმასით დაფარული. ყველა დამცავი საშუალება პერიოდულად მოწმდება და დაზიანების შემთხვევაში ექსპლუატაციიდან ამოღებულია.

დასკვნა:

ელექტროდანადგარების უსაფრთხო ექსპლუატაცია უზრუნველყოფილია ტექნიკური და ორგანიზაციული ღონისძიებებით — იზოლაციის, შემოდობის, ეკრანირების, ინდივიდუალური დაცვის საშუალებების გამოყენებით, ასევე რეგულარული ინსტრუქტაჟით, შემოწმებით და კვალიფიკაციის ამაღლებით.

9.20. მაღალი ძაბვის საჰაერო

ხაზების უსაფრთხოება

ზოგჯერ რეალური პირობები მოითხოვს ელექტროენერგიის უწყვეტ მიწოდებას, რის გამოც სამუშაოები უნდა შესრულდეს ძაბვიან საჰაერო ხაზებზე.

მუშაობის თავისებურებები:

1. ხაზები მუშაობის პროცესშიც ფუნქციონირებს, ამიტომ მომხმარებლებს ენერგია უწყვეტად მიეწოდებათ.

2. პერსონალი საიმედოდ იზოლირებულია მიწისგან და შეუძლია არაიზოლირებული ინსტრუმენტებით ან შიშველი ხელით შეეხოს ძაბვიან სადენებს.

დღეს შესაძლებელია მუშაობა 1–750 კვ ძაბვის მქონე საჰაერო ხაზებზე, ზოგ შემთხვევაში კი ღია გამანაწილებელ მოწყობილობებშიც. ასეთ სამუშაოებს მიეკუთვნება:

- იზოლატორებისა და არმატურის შეცვლა,
- სადენების გაწმენდა და დათვალიერება,
- დაზიანებული მონაკვეთის შეცვლა ან რემონტი,
- საკონტროლო და საზომი აპარატების ჩართვა.

გაუთიშავი ხაზების მეთოდი ეკონომიურია, რადგან ენერგიის მიწოდება არ წყდება და არ ხდება დანაკარგი. ამასთან, საჭიროა ნაკლები შემკეთებელი სიითი შემადგენლობით, რადგან სამუშაოები სხვადასხვა უბნებზე შეიძლება ეტაპობრივად შესრულდეს.

ელექტრული სქემა და ადამიანის დაცვა:

ამ მეთოდის საფუძველია ადამიანის სრული იზოლაცია მიწისგან. ცდება აჩვენა, რომ ფაიფურის იზოლატორზე მდგომ ადამიანს შეუძლია შეეხოს 50 ჰვ სიხშირის ცვლადი დენის სადენს 500 ვ-მდე ძაბვით უსიამოვნო შეგრძნების გარეშე.

- 1000 ვ-ზე უკვე ჩნდება უსიამოვნო შეგრძნება,
- 1000-4000 ვ ფარგლებში — მტკივნეული შეგრძნება და ნაპერწკლის წარმოქმნა,
- 8-10 კვ-ზე კი შეხება შეუძლებელია.

ამ დროს ადამიანის სხეულში გადის როგორც მაიზოლირებული მოწყობილობის გამტარობითი და ტევადური დენი, ასევე ტევადური დენი **ადამიანი-მიწა**, რომლის სიდიდეც ძაბვის ზრდასთან ერთად მატულობს.

დაცვის მეთოდი:

ადამიანის დასაცავად მაიზოლირებულ მოწყობილობაზე თავსდება ლითონის ფურცელი, რომელიც გამტარით უერთდება ხაზურ სადენს. ამგვარად, სხეული შუნტირებულია და ძირითადი დენები გვერდის ავლით გადიან. თუმცა **ადამიანი-მიწა** ტევადური დენი მაინც რჩება.

ტევადური დენის შეზღუდვა:

- 110 კვ-მდე ადამიანი ვერ აღიქვამს ამ დენის მოქმედებას, თუ მისი მნიშვნელობა 0,5-0,6 ა არ აღემატება.

- უფრო მაღალი ძაბვისას დენი აღემატება შეგრძნების ზღვარს და იწვევს ტკივილს, ორიენტაციის დაკარგვას და უბედურ შემთხვევებს.

ამის თავიდან ასაცილებლად გამოიყენება 5-10 მგ-ო წინაღობის რეზისტორები, რომლებიც ზრდიან წრედის აქტიურ წინაღობას და ამცირებენ დენს. ჩვეულებრივ, რეზისტორი თავსდება შტანგაში, რომელიც მამუნიტირებელ გამტარს უერთებს ხაზურ სადენს. სამუშაო მოედანზე პოტენციალის გადატანის შემდეგ რეზისტორი სპეციალური მოწყობილობით იშუნტება, რათა დენმა მასში აღარ გაიაროს.

9.21. კითხვები

გამეორებისათვის მოკლე

პასუხებით

I. თეორიული საფუძვლები

1. რა ეფექტები აქვს დენს ქსოვილებზე? → თერმული, ელექტროლიტური, მექანიკური, ბიოლოგიური.

2. რა არის თერმული ეფექტი? → ქსოვილების გახურება და დამწვრობა.

3. რა არის ელექტროლიტური ეფექტი? → ორგანული სითხეების დაშლა და იონების წარმოქმნა.

4. რა არის მექანიკური ეფექტი? → ქსოვილების დაშლა და კრუნჩხვითი დაზიანებები.

5. რა არის ბიოლოგიური ეფექტი? → ბიოელექტრული პროცესების დარღვევა და სასიცოცხლო ფუნქციების შეფერხება.

6. რა სიდიდის დენი არის სიცოცხლესთან შეუთავსებელი? → 100 მა.

7. რა არის კლინიკური სიკვდილი? → გულისა და ფილტვების ფუნქციის შეწყვეტის შემდეგ გარდამავალი მდგომარეობა.

8. რა არის ბიოლოგიური სიკვდილი? → ნივთიერებათა ცვლის შეუქცევადი შეწყვეტა.

II. ადგილობრივი ელექტროტრავმები

9. რა არის კონტაქტური დამწვრობა? → დენგამტარ ნაწილთან უშუალო შეხებით გამოწვეული დაზიანება.

10. რა არის რკალური დამწვრობა? → ელექტრული რკალის ზემოქმედებით გამოწვეული დაზიანება.

11. რა ხარისხის დამწვრობაა I და II? → კანის შეწითლება და ბუშტულები.

12. რა ხარისხის დამწვრობაა III და IV? → ქსოვილების დაწვა და დანახშირება.

13. რა არის ელექტრული ნიშნები? → კანზე ნაცრისფერი ან ყვითელი ლაქები.

14. რა არის კანის მოლითონება? → გამდნარი ლითონის ნაწილაკების შეჭრა კანში.

15. რა არის მექანიკური დაზიანება? → კუნთების უნებლიე შეკუმშვით გამოწვეული დაზიანება.

16. რა არის ელექტროოფთალმია? → თვალის დაზიანება ულტრაიისფერი გამოსხივებით.

17. რა პროფილაქტიკა იცავს თვალს? → დამცავი სათვალეები.

III. ელექტრული დარტყმა

18. რა არის ელექტრული დარტყმა? → დენის გავლით გამოწვეული კუნთების უნებლიე შეკუმშვა და სასიცოცხლო ფუნქციების დარღვევა.

19. რომელი სიხშირის დენი არის ყველაზე საშიში? → 50–60 ჰც.

20. რა განსაზღვრავს დაზიანების სიმძიმეს? → დენის ძალა, მოქმედების ხანგრძლივობა და დენის გავლის გზა.

21. რა არის სასიკვდილო შემთხვევების ძირითადი მიზეზი? → ელექტრული დარტყმა.

22. რა პროცენტია სასიკვდილო შემთხვევების? → 85–87%.

23. რა სიმპტომები შეიძლება გამოავლინოს დარტყმამ მოგვიანებით? → გულის არითმია, ნევროზი, ჰიპერტონია.

24. რა გავლენას ახდენს დარტყმა ორგანიზმზე? → ამცირებს წინააღმდეგობის უნარს დაავადებებისადმი.

V. სტანდარტები და უსაფრთხოება

25. რომელი ISO სტანდარტი ეხება პროფესიულ უსაფრთხოებას? → ISO 45001.

26. რომელი IEC სტანდარტი არეგულირებს ელექტროინსტალაციების უსაფრთხოებას? → IEC 60364.

27. რას განსაზღვრავს IEC 60479? → დენის გავლენის ეფექტებს ადამიანებსა და ცხოველებზე.

28. WHO რეკომენდაციები რაზე ამახვილებს ყურადღებას? → პირველადი დახმარების მნიშვნელობაზე.

29. რა არის IEC 60364-4-41-ის მთავარი მოთხოვნა? → დამცავი ჩამიწება და ავტომატური ამორთვა.

V. დაცვის საშუალებები

30. რა არის დამცავი ჩამიწება? → დენის უსაფრთხო განდინება გრუნტში.

31. რა არის დანულება? → ნეიტრალის დამცავი გამოყენება.
32. რა არის ავტომატური ამორთვა? → დენის გათიშვა ავარიულ სიტუაციაში.
33. რა ინდივიდუალური დაცვის საშუალებები გამოიყენება? → ხელთათმანები, სათვალები, იზოლირებული ინსტრუმენტები.
34. რა კოლექტიური დაცვის საშუალებები არსებობს? → ჩამიწება, დანულება, ავტომატური ამორთვა.
35. რა ორგანიზაციული ღონისძიებებია საჭირო? → ინსტრუქტაჟი, შემოწმება, უსაფრთხოების ნიშნები.
36. რა არის ბიჯური დაბვა? → დაბვა ფეხებს შორის დენის გავლისას.
37. რა არის შეხების დაბვა? → დაბვა სხეულის შეხების წერტილებს შორის.
38. რა არის გრუნტის წინაღობა? → გრუნტის უნარი შეამციროს დენის გავლენა.
39. რა უსაფრთხოების წესები მოქმედებს მაღალი დაბვის ხაზებზე? → უსაფრთხო მანძილი, იზოლაცია, სპეციალური აღჭურვილობა.
40. უსაფრთხოების რა მოთხოვნებია პერსონალისათვის? → ინსტრუქტაჟი, რეგულარული სწავლება, დამცავი საშუალებების გამოყენება.

9.22. პრაქტიკული გაანგარიშების ნიმუშები

მკითხველმა უნდა შენიშნოს, რომ პრაქტიკული გაანგარიშების ნიმუშები აქ და სხვა ნაწილებშიც გაკეთებულია საერთაშორისო სტანდარტების შესაბამისად, ამიტომ ფორმულებში შემავალი სიდიდეები მოცემულია იმ ფორმით, როგორც ეს არის სათანადო ლიტერატურის ინგლისურ ვერსიაში.

1. დამცავი დამიწების ანგარიში

საანგარიშო ფორმულა:

$$R_A \leq \frac{U_L}{I_a},$$

სადაც R_A არის დამიწების წინაღობა, ო (ომი); U_L – შეხების დაბვის დასაშვები მნიშვნელობა, ვ (ვოლტი), IEC 60364-4-41 მიხედვით ჩვეულებრივ 50 ვ; I_a – ავტომატური ამორთვის მოწყობილობის მოქმედების დენი, ა (ამპერი).

დამცავი დამიწების გაანგარიშების მაგალითი:

პირობა: ავტომატური ამორთვის მოწყობილობა მოქმედებს 30 ა-ზე, მაშინ:

$$R_A \leq \frac{50}{30} = 1,67.$$

დასკვნა: დამიწების წინაღობა უნდა იყოს $\leq 1,67$ ო.

2. დანულების ანგარიში

საანგარიშო ფორმულა:

$$Z_s \leq \frac{U_0}{I_a},$$

სადაც Z_s არის წრედის სრული წინაღობა, ო; U_0 – ფაზური ძაბვა, ჩვეულებრივ 230 ვ; I_a – ავტომატური ამორთვის მოწყობილობის ასამოქმედებელი დენი, ა.

განგარიშების მაგალითი:

პირობა: ავტომატური ამორთვა ხდება 100 ა-ზე, მაშინ:

$$Z_s \leq \frac{230}{100} = 2,3.$$

დასკვნა: წრედის სრული წინაღობა უნდა იყოს $\leq 2,3$ ო.

3. ბიჯური ძაბვის შეფასება

საანგარიშო ფორმულა:

$$U_{step} = I_f \cdot \rho \cdot \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

სადაც I_f – ავარიული დენის ძალა, ა; ρ – გრუნტის სპეციფიკური წინაღობა, ო·მ (ომი·მეტრი); r_1, r_2 – ფეხების დამორება დენის განდინების წერტილიდან, მ.

განგარიშების მაგალითი:

თუ $I_f=1000$ ა, $\rho = 100$ ო.მ, $r_1 = 1$ მ, $r_2 = 2$ მ:

$$U_{step} = 1000 \cdot 100 \cdot \frac{1}{2\pi} (1 - 0.5) \approx 7960 \text{ ვ}$$

დასკვნა: ბიჯური ძაბვა შესაძლებელია იყოს ძალიან მაღალი, ამიტომ საჭიროა დამცავი ზონების მოწყობა.

4. შეხების ძაბვის შეფასება

საანგარიშო ფორმულა:

$$U_{touch} = I_f \cdot R_b,$$

სადაც I_f არის ავარიული დენის ძალა, ა; R_b – ადამიანის სხეულის წინაღობა, ო; IEC 60479 მიხედვით საშუალოდ $R_b = 1000$ ო.

განგარიშების მაგალითი:

თუ $I_f=0,1$ ა, $R_b = 1000$ ო:

$$U_{touch} = 0,1 \cdot 1000 = 100 \text{ ვ.}$$

დასკვნა: 100 ვ – სიცოცხლესთან შეუთავსებელია.

5. დამცავი ამორთვის დრო

IEC 60364 განსაზღვრავს, რომ **230 ვ ქსელში ავტომატური ამორთვა უნდა მოხდეს $\leq 0,4$ წამში.**

პრაქტიკული მაგალითი: თუ წრედის წინაღობა $Z_s = 2$, მაშინ დენი $I = U/Z_s = 230/2 = 115$ ა.

ასეთი სიდიდის დენის შემთხვევაში ავტომატური ამორთვა უნდა მოხდეს $\leq 0,4$ წამში.

6. დამიწების ელექტროდის პოტენციალის ზრდა

ფორმულა:

$$U_{EPR} = I_f \cdot R_A,$$

სადაც I_f არის ავარიული დენის ძალა, ა (ამპერი); R_A — დამიწების წინააღობა, ო (ომი).

მაგალითი:

თუ $I_f = 500$ ა, ხოლო $R_A = 2$ ო, მაშინ

$$U_{EPR} = 500 \cdot 2 = 1000 \text{ V}$$

დასკვნა: ავარიის დროს დამიწების ელექტროდის პოტენციალი შეიძლება გაიზარდოს 1000 ვოლტამდე, რაც საფრთხეს უქმნის პერსონალს, რომელიც ეხება დამიწებულ კონსტრუქციებს. ამიტომ აუცილებელია პოტენციალთა გათანაბრება და დამცავი ზონების მოწყობა.

გამოყენებული კოეფიციენტების ცვალებადობის დიაპაზონები:

- **სხეულის წინააღობა (R_b):** 500–2000 ო (IEC 60479);
- **გრუნტის სპეციფიკური წინააღობა (ρ):** 10–1000 ო.მ, (დამოკიდებულია გრუნტის ტიპზე);
- **შეხების ძაბვის დასაშვები მნიშვნელობა (U_L):** 50 ვ (მშრალ პირობებში), 25 ვ (სველ პირობებში).
- **ავტომატური ამორთვის დრო:** ≤ 0.4 წამი (230 ვ ძაბვის ქსელში), ≤ 5 წამი (400 ვ ძაბვის ქსელში).

გამოსაყენებელი სტანდარტები:

IEC 60364 — ელექტროინსტალაციები;

IEC 60479 — დენის ზემოქმედება;

ISO 45001 — პროფილაქტიკა.

სისტემური შეჯამება

ძირითადი თემები:

დენის ზემოქმედება ადამიანის ორგანიზმზე: თერმული, ელექტროლიტური, მექანიკური, ბიოლოგიური ეფექტები.

დამცავი საშუალებები:

- კოლექტიური — დამიწება, დანულება, ავტომატური ამორთვა, დამცავი სქემები.
- ინდივიდუალური — დიელექტრიკული ხელთათმანები, ფეხსაცმელი, სათვალეები, იზოლირებული ინსტრუმენტები.

ექსპლუატაციის უსაფრთხოება: ინსტრუქტაჟი, რეგულარული შემოწმება, ISO 45001 და IEC 60364 სტანდარტებთან შესაბამისობა.

მაღალი ძაბვის ხაზები: უშუალო მუშაობის მეთოდები, ადამიანი-მიწა ტევადური დენის შეზღუდვა.

პერსონალის კვალიფიკაცია: I–V ჯგუფები, პერიოდული სამედიცინო შემოწმება, ინსტრუქტაჟის ტიპები.

პრაქტიკული გაანგარიშებები:

დამიწების წინააღობა; დანულების წინააღობა; ბიჯური ძაბვა; შეხების ძაბვა; ავტომატური ამორთვის დრო.

10. დაცვა სტატიკური ელექტრობისაგან

10.1. გზამკვლევი მათე თავისათვის

- **თეორიული ინტეგრაცია:** სტატიკური ელექტრობა წარმოიშობა იზოლირებული ზედაპირების ხახუნისას და შეიძლება გამოიწვიოს ნაპერწკლოვანი განმუხტვა. მისი შედეგები მერყეობს უსიამოვნო შეგრძნებიდან ხანძარსა და აფეთქებამდე.
- **ინტეგრაცია სტანდარტებთან:** საერთაშორისო სტანდარტები (IEC 60079, ISO 2878, NFPA 77) ხაზს უსვამენ ჩამიწების სავალდებულო გამოყენებას, ჰაერის ტენიანობის კონტროლს და ანტისტატიკური მასალების დანერგვას.
- **პედაგოგიური ინტეგრაცია:** სტუდენტებმა უნდა გაიაზრონ, რომ სტატიკური ელექტრობა არ არის მხოლოდ უხილავი ფენომენი, არამედ რეალური რისკი, რომლის მართვა შესაძლებელია ტექნიკური და ორგანიზაციული ღონისძიებებით.

10.2. სტატიკური ელექტრობა და მისი გავლენა

დიელექტრიკული და ნახევარგამტარი ნივთიერებების ზედაპირების ხახუნის შედეგად შეიძლება წარმოიშვას (აგრეთვე აკუმულირდებოდეს და რელაქსაციას განიცდიდეს) თავისუფალი ელექტრული მუხტი, რომელსაც სტატიკური ელექტრობა ეწოდება. ასეთი დენი შეიძლება წარმოიშვას საწვავ-საპოხი სითხეების გადასხმისას ან ტრანსპორტირებისას ჩაუმიწებელი მოწყობილობებით, ელექტროგაუმტარი მყარი მასალების დამსხვრევის, დაფქვის, გაცრის დროს, აეროზოლების გადატანითი მოძრაობისას, საქმენებიდან შეკუმშული ან გაიშვიათებული აირების გამოფრქვევისას და ა.შ. ფაქტობრივად, ერთი ნივთიერების ატომები და მოლეკულები ხასიათდებიან დიდი მიზიდულობის ძალებით მეორესთან შედარებით, ამოაცლიან ელექტრონებს მეორე ნივთიერებას და წაიღებენ მათ, რის გამოც ხდება ელექტრონების მოჭარბება პირველ ნივთიერებაში, ხოლო მეორეში – ელექტრონების დანაკლისი. ამის გამო პირველზე მოხდება უარყოფითი, ხოლო მეორეზე – დადებითი ელექტრული მუხტების გენერაცია. სტატიკური ელექტრობა შეიძლება აგრეთვე წარმოიშვას მოხახუნე გამტარის ზედაპირზედაც იმავე მიზეზებით და იმ შემთხვევაში, თუ ის კარგადაა იზოლირებული მიწისაგან. მაშასადამე, სტატიკური ელექტრობის წარმოშობის აუცილებელი პირობაა მიწისაგან ელექტრულად იზოლირებული ზედაპირების ხახუნი.

შესაბამისად, ელექტრულად იზოლირებული ადამიანის სხეულმაც შეიძლება დააგროვოს სტატიკური ელექტრობის მუხტი დიელექტრიკებთან შეხების, სინთეზური ან აბრეშუმის ტანსაცმლით სარგებლობის, ბეჭდებით, სამაჯურებით მუშაობისას და სხვა მსგავსი მიზეზების შედეგად.

სხვადასხვა ნიშნის სტატიკურ მუხტებს აგროვებს აგრეთვე ღრუბლები, რომლებიც იზოლირებულია დედამიწისაგან და ერთმანეთისაგან. ჰაერის წინააღმდეგობის ელექტრული გარღვევის შემთხვევაში აღიძვრება ელვა სხვადასხვა ნიშნის მუხტების მქონე ღრუბლებს ან დედამიწასა ღრუბლებს შორის.

წარმოებაში შესაძლებელია შეგვხვდეს სტატიკური ელექტრობის შემდეგი სიდიდის პოტენციალები: ჩაუმიწებელ ჭურჭელში ბენზინის ჩაშვებისას თავისუფალი დინებით – 200 კვ; ღვედური გადაცემის და ტრანსპორტიორის ლენტის 15 მ/წმ მოძრაობის სიჩქარისას – 70-80 კვ; პლასტმასის ან ხის მასალის მექანიკური დამუშავებისას – 40 კვ; საღებავების გაფრქვევისას – 12 კვ; ჩაუმიწებელი მილსადენით ბენზინის გადატუმბვისას 0,5 მ/წმ სიჩქარით ტუმბოდან 25 მ მანძილზე – 1 კვ და ა.შ.

მხედველობაშია მისაღები, რომ ზედაპირებზე წარმოიშობა სხვადასხვა ნიშნით დამუხტული ორმაგი ელექტრული შრე, რომელიც შეიძლება წარმოვიდგინოთ როგორც რადაციური კონდენსატორი, რომელსაც აქვს გარკვეული სიდიდის მუხტი, ელექტრული ტევადობა და პოტენციალთა სხვაობა.

როგორც კი პოტენციალთა სხვაობა მიაღწევს იმ ზღვრულ სიდიდეს, რომელიც საკმარისია ზედაპირებს შორის არსებული გარემოს წინააღმდეგობის გასარღვევად, მაშინვე მოხდება ნაპერწკლოვანი განმუხტვა. ჰაერისათვის გამრღვევი ძაბვაა 3 კვ/მმ. განმუხტვის ენერგია განისაზღვრება ფორმულით

$$E = 0,5CU^2, \quad (10.1)$$

სადაც E არის განმუხტვის ენერგია, ჯ; C – კონდენსატორის ტევადობა, ფ; U – პოტენციალთა სხვაობა, ვ.

ნაპერწკლოვანი განმუხტვა არის სტატიკური ელექტრობის ყველაზე საშიში გამოვლენა, რადგან ამ დროს ჰაერში ადვილად აალებადი და ფეთქებადი ნივთიერებების არსებობისას მოხდება ხანძარი ან აფეთქება.

ადამიანის სხეულში დაგროვებული სტატიკური მუხტი მაღალი არ არის, მაგრამ დამიწებულ კონსტრუქციებთან შეხებისას განმუხტვა უსიამოვნო შეგრძნებას იწვევს. თავისთავად ეს სახიფათო არ არის, მაგრამ სიმაღლეზე ან სხვა ექსტრემალურ პირობებში მუშაობისას შეიძლება გამოიწვიოს ადამიანის უნებლიე მკვეთრი მოძრაობები, რაც შესაძლებელია დამთავრდეს ტრავმით.

10.3. სტატიკური ელექტრობისაგან დაცვა

ადვილი მისახვედრია, რომ სტატიკური ელექტრობის განმუხტვის მიზეზი არის გენერირებული პოტენციალის სიდიდე, უფრო ზუსტად, კი – პოტენციალთა სხვაობა. აღნიშნულიდან გამომდინარე, სტატიკური ელექტრობისაგან დაცვა ეფუძნება

პოტენციალთა შემცირების მეთოდებს, რომლებიც ძირითადად ორი მიმართულებისაა: 1. პოტენციალთა წარმოშობის მიზეზების აღმოფხვრა ან შესუსტება; 2. წარმოშობილი პოტენციალების განეიტრალება.

სტატიკური მუხტების გენერაციის შემცირება შესაძლებელია ერთმანეთთან მოხახუნე ზედაპირების წყვილების ისეთი შერჩევით, რომ ერთ მათგანში აღიძრეს დადებითი, ხოლო მეორეში უარყოფითი ნიშნის სტატიკური მუხტი, რომლებიც წარმოშობის კვალობაზე გაანეიტრალდნ ერთმანეთს. მაგალითად, ამ დროისათვის შექმნილია კომბინირებული მასალა ნეილონისა და დაკრონისაგან, რომელიც უზრუნველყოფს სტატიკური მუხტებისაგან დაცვას ამ პრინციპიდან გამომდინარე.

ყურადღება უნდა მიექცეს სტატიკური დენის ამრთმევი ლითონის რბილი ჯაგრისების საიმედოობას ღვედურ გადაცემებში, ტრანსპორტიორებში და სხვაგან, სადაც ამის საჭიროებაა და გამოყენებული უნდა იქნეს ელექტროგამტარი საცხებ-საპოხი მასალები, აღნიშნული ამცირებს სტატიკური მუხტების გენერაციის შესაძლებლობას და აგრეთვე ხელს უწყობს წარმოშობილი მუხტების ნეიტრალიზაციას.

მუხტების გენერაციის შემცირება აგრეთვე შესაძლებელია რეჟიმის ცვალებადობით შემცირების მიმართულებით. კერძოდ, მასალების დამუშავების ტემპის შემცირებით, კონვეიერის სიჩქარის მოკლებით, ხახუნის ძალების შემცირებით, დიელექტრიკული სითხეების ნაკლები ინტენსიურობით გადატვირთვით და ა.შ.

ამ მხრივ აღსანიშნავია საცავების სარელაქსაციო მოცულობების გამოყენება მათში ფხვიერი მასალების ჩატვირთვისა და სითხეების ჩასხმის შემთხვევაში. სარელაქსაციო მოცულობა არის საცავის დასაწყისში სპეციალურად მოწყობილი ჩამიწებული მონაკვეთი (მილსადენის გაფართოებული ნაწილი), რომელიც ღებულობს სტატიკური მუხტის გენერაციისა და მისი რელაქსაციის ძირითად დატვირთვას. აღნიშნული მოცულობიდან ხდება ძირითად საცავში ფხვიერი მასალის ან სითხის გადატვირთვა ისეთი დაბალი სიჩქარით, რომელიც არ გამოიწვევს გაზრდილი სტატიკური მუხტის გენერაციას. მაშასადამე, სარელაქსაციო მოცულობის გეომეტრიული ზომების განსაზღვრა ხდება ფხვიერი მასალის ან სითხის ხარჯისა და დასაშვები სიჩქარის მიხედვით. ეს უკანასკნელი განსხვავებულია მასალის სახეობის მიხედვით.

სტატიკური ელექტრობის ნეიტრალიზაციისათვის აგრეთვე გამოიყენება მისი გენერაციის ადგილებში ჰაერის იონიზაციის პრინციპი. წინასწარ ცნობილია გენერირებული მუხტის ნიშანი და იონიზაციის შედეგად ხდება საპირისპირო ნიშნის მქონე მუხტების წარმოქმნა, რომლის შედეგადაც მუხტების ურთიერთნეიტრალიზაცია მათი წარმოშობის კვალობაზე.

გენერირებული მუხტების ნეიტრალიზაციის ყველაზე უკეთესი საშუალება არის საწარმოო მოწყობილობების ლითონური ან სხვა ელექტროგამტარი ნაწილების ჩამიწება. ამ შემთხვევაში ჩამიწების წინალობა არ უნდა იყოს 100 ომზე მეტი.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, უსაფრთხოების წესების თანახმად, დაუშვებელია ჩაუმიწებელ ჭურჭლებზე, მილსადენებზე და მოწყობილობებზე მუშაობა. ჩამიწების საიმედოობა პერიოდულად უნდა შემოწმდეს ვიზუალურად. აღნიშნული უნდა გააკეთოს ცვლის უფროსმა ან ოსტატმა ცვლის დაწყებისას. შემოწმება საჭიროა აგრეთვე ყველა ტექნიკური ავარიის ან შეფერხების შემდეგ.

ისეთი სათავსის ჰაერი, სადაც გროვდება დიელექტრიკული მტვერი, პერიოდულად უნდა გაიწმინდოს სველი წესით. მაგალითად, ჰაერში წყლის გაფრქვევით. ამ შემთხვევაში ორმაგი ეფექტია: ა) ჯდება მტვერი და ნაკლებად წარმოიშობა სტატიკური მუხტი, ბ) ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა მატულობს, რის გამოც ჰაერი ელექტროგამტარი ხდება.

85%-ზე მეტი ფარდობითი ტენიანობისას, სათავსების პირობებში, სტატიკური მუხტების გენერირება პრაქტიკულად არ ხდება, რადგან ჰაერი ელექტროგამტარია ამ შემთხვევაში და ჩამიწებულ ზედაპირზე ხდება მუხტების ნეიტრალიზაცია მათი წამოშობის კვალობაზე.

წყლის გამოყენების გარდა ჰაერის ელექტროგამტარობის გაზრდა შესაძლებელია აგრეთვე ჰაერში ელექტროგამტარი დანამატების გაფრქვევით, თუ ამის საშუალებას ვითარება და გამოყენებული ტექნოლოგია იძლევა.

სამუშაო ადგილები მოწყობილი უნდა იქნეს დამიწებული მონაკვეთებით, რაც ავტომატურად მოხსნის სტატიკურ მუხტებს ადამიანების მიერ მათი წარმოშობისდა კვალად, განმუხტვის გარეშე.

სტატიკური ელექტრობისაგან დაცვის ინდივიდუალური საშუალებებია სპეციალური სამოსი და ელექტროგამტარი რეზინისაგან დამზადებული ფეხსაცმელი, გამოიყენება აგრეთვე ანტისტატიკური სამაჯურები.

10.4. ელვის დახასიათება

ელვის წარმოშობის მიზეზი არის სხვადასხვა ნიშნის მქონე ატმოსფერული სტატიკური ელექტრომუხტების არსებობა ღრუბლებში და მათი განმუხტვა ღრუბლებს შორის, მიწისპირა ობიექტსა და ღრუბლებს შორის ან დედამიწის ზედაპირსა და ღრუბლებს შორის. განვიხილოთ აღნიშნული განმუხტვა დედამიწის ზედაპირსა და ღრუბლებს შორის. ელვის წარმოშობა იწყება ე.წ. ლიდერის (მნათი არხის) გაჩენით, რომელშიდაც დენის ძალა აღწევს ასეულობით ამპერს. მნათი არხის მოძრაობის მიმართულების მიხედვით ელვა შესაძლებელია იყოს დაღმავალი და აღმავალი. აღმავალი ელვის წარმოშობისა და განვითარების პროცესების შესწავლა დაიწყო მაღლივი შენობების აშენების შემდეგ, რითაც გაირკვა, რომ შესაძლებელია ლიდერი აღიძრას დედამიწის ზედაპირზე და მიმართული იყოს ღრუბლებისაკენ.

დაღმავალი ელვა აღიძვრება ღრუბლებში მიმდინარე პროცესების შედეგად და დედამიწაზე მისი დაცემა არაა განპირობებული ნაგებობების არსებობით, ანუ განმუხტვა მოხდება ნაგებობების არარსებობის პირობებშიდაც. ღრუბლებში აღძრული ლიდერის დედამიწის ზედაპირთან მოახლოების კვალობაზე ზედაპირიდან აღიძვრება მის საპირისპიროდ მიმართული რამდენიმე ლიდერი და ერთერთი მათგანის შეხვედრა იწვევს ელექტრულ განმუხტვას, რითაც განისაზღვრება ელვის დაცემის ადგილი დედამიწის ზედაპირზე ან რომელიმე ნაგებობაზე.

გამჭოლი არხის ჩამოყალიბების შემდეგ ხდება დაღმავალი ლიდერის მუხტის სწრაფი ნეიტრალიზაცია მკვეთრი ნათებისა და დენის ძალის მკვეთრი ზრდის

თანხლებით. დენის ძალა შემთხვევათა 50%-ში აჭარბებს 30 კა (კილოამპერი), ხოლო 1-2%-ში შესაძლებელია გაიზარდოს 200 კა-მდე. დენის ძალის გამოვლინება ხდება ერთი ან რამდენიმე იმპულსის სახით. პირველი იმპულსის ხანგრძლივობაა 3-20 მკწმ (მიკროწამი). მომდევნო იმპულსები კლებადი პარამეტრებით ხასიათდებიან და მათი საშუალო მნიშვნელობებია დაახლოებით 12 კა და 0,6 მკწმ. კლებადობასთან ერთად მომდევნო იმპულსებს ახასიათებთ დენის მატების ტემპის ზრდა, ანუ პიკურ მნიშვნელობამდე უფრო სწრაფად მიღწევის უნარი. ამავე დროს მკვეთრად იზრდება არხის ტემპერატურა 30000 °C -მდე და ხდება მეყსეული გაფართოება, რაც სმენით აღიქმება მოახლოებადი ან დაშორებადი ქუხილის სახით. ელვის მიერ გადატანილი სრული მუხტი არის დაახლოებით 100 კლ (კულონი).

აღმავალი ლიდერები აღიძვრებიან მაღლივი შენობებიდან, რომელთა სახურავზე ჭექა-ქუხილის დროს ელექტრული ველი მკვეთრად ძლიერდება. ვაკე ადგილებში აღმავალი ელვა აზიანებს 150 მ-ზე უფრო მაღალ შენობებს, მთიან ადგილებში აღმავალი ელვა აღიძვრება უფრო ნაკლები სიმაღლის შენობებიდან, აგრეთვე ქარაფებიდან და დედამიწის უსწორმასწორო ადგილებიდან. აღნიშნულის გამო მთიან ადგილებში უფრო ხშირად გვხვდება აღმავალი ელვა.

მიაღწევს რა ღრუბლებამდე აღმავალი ლიდერი, ხდება განმუხტვა, რომელთა 80% ხასიათდება უარყოფითი პოლარულობის დენით. ეს უკანასკნელი გვხვდება ორი ტიპის: 1. უწყვეტი სახის, რომელიც არ ხასიათდება იმპულსურობით, მას აქვს განმუხტვის დენი რამდენიმე ასეული ამპერის სიდიდით და განმუხტვის დრო – წმ-ის მეათედი ნაწილის ხანგრძლივობით; 2. პირველის მიერ შექმნილ ძირითად ფონს მეორე ტიპის დენი ამატებს იმპულსებს, რომელთა ამპლიტუდა საშუალოდ შეადგენს 10-15 კა, ხოლო გადატანილი მუხტი – 40 კლ. აღნიშნული იმპულსები დაღმავალი ელვის იმპულსების ანალოგიურია გამოვლინებითა და მოქმედებით.

ამგვარად, სახეობის მიუხედავად, დენის ძალა ელვის არხში შესაძლებელია გახდეს 200 კა და მეტი, ძაბვა 150 მგვ, გადამეტაბვის სიდიდე 2 მგვ (მეგავოლტი) და მეტი, განმუხტვის დრო 0,1-1 წმ, ხოლო ტემპერატურა – 30000 °C და მეტი.

10.5. ელვის მავნე გავლენა

ელვის გავლენა შენობა-ნაგებობებზე შესაძლებელია დაიყოს ორ ძირითად ჯგუფად: პირველადი, რომელიც გამოწვეულია ელვის პირდაპირი დარტყმისაგან და მეორადი, რომელიც ინიცირებულია ახლოს დაცემული ელვით და მოცემულ შენობაში მისი გავლენა (დენის იმპულსების შემოტანა) განპირობებულია ჩაუმიწებელი ლითონის კომუნიკაციებით. მეორადი მავნე გავლენისას სავარაუდოა ნაგებობის ფარგლებში ნაპერწკლების წარმოშობა. საფრთხის მასშტაბი როგორც პირველად, ისე მეორეულ შემთხვევაში, ერთის მხრივ დამოკიდებულია ელვის განმუხტვის პარამეტრებზე, ხოლო მეორეს მხრივ – ობიექტის კონსტრუქციულ და ტექნოლოგიურ თავისებურებებზე (ფეთქებადი და ხანძარსაშიში ზონების არსებობა ობიექტზე; ისეთი ტექნოლოგიის გამოყენება, რომელიც გულისხმობს ფეთქებადი ნარევების შექმნას საშუალებდო ან

საბოლოო პროდუქტის სახით; ენერგეტიკული და სხვა სახის კომუნიკაციის განლაგება ობიექტის ფარგლებში; ობიექტის ცეცხლმედეგობა და ა.შ.).

ძალზე მნიშვნელოვანია პირდაპირი ელექტრული ზემოქმედება, რომელიც აზიანებს შენობაში მყოფ ადამიანებს (ცხოველებს). ელექტრული ზემოქმედება დამოკიდებულია ელვის დენის ამპლიტუდაზე, მისი მნიშვნელობის პიკურ სიდიდემდე მიღწევის ტემპზე, ნაგებობის კონსტრუქციის ინდუქციურობაზე, ჩამმიწებლის წინააღმდეგობაზე, რომლის საშუალებით უნდა მოხდეს იმპულსური დენის განდინება გრუნტში. კარგი მეხსარიდის შემთხვევაშიც, ელვის დენის დიდი ძალისა და რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, მისი სიდიდის მატების მკვეთრი ტემპის პირობებში, გადამეტაბვის სიდიდე შესაძლებელია გახდეს რამდენიმე მეგავოლტი.

მეხსარიდის არარსებობის პირობებში ელვის დენის განდინების გზების კონტროლი შეუძლებელია. ამ შემთხვევაში შენებისა და ბიჯური ძაბვების საშიში სიდიდეები შენობის ფარგლებში, მოსალოდნელია ყველგან, განსაკუთრებით კი, სახურავზე.

მცირე კვეთის გამტარებში (ლითონურ ნაწილებში) ელვის დენის განდინებისას მოსალოდნელია მათი დაღნობა და არასასურველი თერმული ზემოქმედება ნაგებობის ფარგლებში.

არანაკლებ მნიშვნელოვანია პირდაპირი თერმული ზემოქმედება, რომელიც იწვევს ხანძრებს. შემთხვევათა 95%-ში ელვის არხში გამოყოფილი ენერგია აჭარბებს 5,5 ჯ, რაც 2-3 რიგით აღემატება მრეწველობაში გამოყენებული აირების, ორთქლის და აეროზოლების აალებისათვის საჭირო მინიმალურ ენერგიას. შესაბამისად, ასეთ გარემოსთან ელვის არხის კონტაქტი გამოიწვევს ხანძრებსა და აფეთქებებს.

ელვა ობიექტებზე ახდენს აგრეთვე მექანიკურ ზემოქმედებას. ჰაერის გახურებისა და გაფართოების გამო წარმოიშობა დარტყმითი ტალღა, რომელიც აზიანებს ობიექტების კონსტრუქციებს, იწვევს ნგრევას. აღნიშნული მექანიკური ზემოქმედება პირველადი და მეორეული მოქმედებათა კლასიფიკაციის შესაყარზეა და შესაძლებელია მიეკუთვნოს როგორც პირველ, ისე მეორე ჯგუფს.

მეხის დაცემას აგრეთვე ახასიათებს მეორეული განმუხტვა, რაც გამოწვეულია ელექტროსტატიკური და ელექტრომაგნიტური ინდუქციით. ამის გამო კომუნიკაციებში, შენობებში და სხვაგან ხდება ნაპერწკლოვანი განმუხტვები, რომლებიც თავის მხრივ შეიძლება აღმოჩნდნენ მეორადი აალებებისა და აფეთქებების ინიციატორები ისეთ გარემოში, სადაც ამისათვის ხელსაყრელი პირობებია და არსებობს აფეთქების საშიშროება.

ელექტროსტატიკური ინდუქცია ვლინდება გადამეტაბვის სახით, რომელიც შესაძლებელია აღიძრას ლითონის კონსტრუქციებზე. გადამეტაბვის სიდიდე დამოკიდებულია ელვის დენის ძალის სიდიდეზე, ელვის დაცემის ადგილამდე მანძილზე და ჩამიწების წინააღმდეგობაზე.

ელექტრომაგნიტური ინდუქცია დაკავშირებულია ლითონის კონტურებში ელექტრომამოძრავებელი ძალის (ემძ-ის) აღძვრასთან. ემძ-ის სიდიდე დამოკიდებულია დენის მიღწევის ტემპზე პიკურ სიდიდემდე და იმ ფართობზე, რომელიც შემოფარგლულია ლითონური კონტურით. გრძელი კომუნიკაციების შემთხვევაში შესაძლებელია ემძ-ის სიდიდე გახდეს რამდენიმე ათეული კილოვოლტი. გრძელი

კომუნიკაციების შეერთების ადგილებში ასეთი ელექტრომამოძრავებელი ძალის მიერ შესაძლებელია წარმოიშვას ნაპერწკალი, რომლის ენერგია იქნება ჯოულის მეთაედი ნაწილები.

კიდევ ერთი სახეობის საშიში გავლენაა ობიექტზე მაღალი პოტენციალის შემოტანა კომუნიკაციების (ელექტროგადაცემის საჰაერო ხაზების, მილსადენების, კაბელების) მეშვეობით. მაღალი პოტენციალი გადამეტაბაა და ვრცელდება ტალღების სახით. საშიშროება ვლინდება ნაპერწკლის წარმოშობით ჩაუმიწებელი კომუნიკაციების კონტაქტისას სხვა და სხვა ჩამიწებულ მოწყობილობებთან. ამის გარდა, კომუნიკაციებმა შესაძლებელია ნაგებობის ფარგლებში შემოიტანონ განდინებული იმპულსური დენის ნაწილი, რომლის ძალაც ადამიანისათვის მომავკდინებელია ყველა შემთხვევაში.

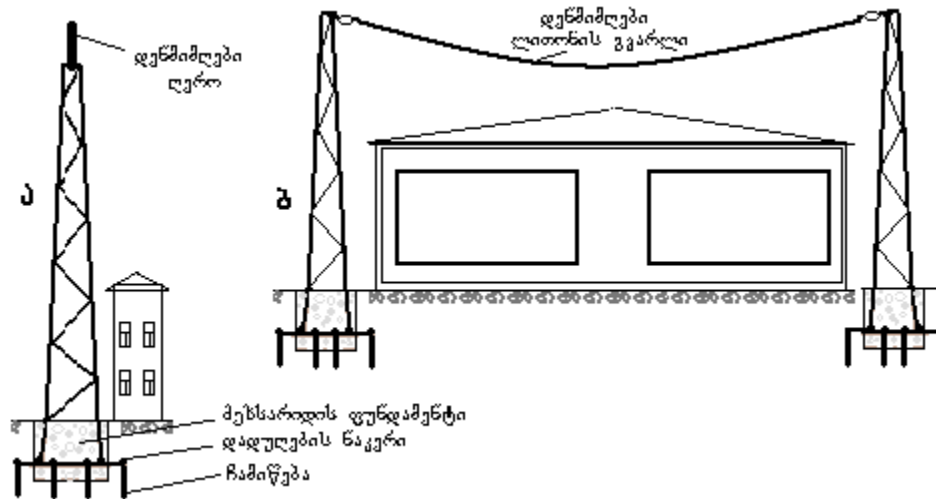
ელქექის დროს (უფრო დასასრულისაკენ) ზოგჯერ წარმოიშობა სფეროსებრი ელვა, რომლის თავიდან ასაცილებლად ფანჯრები, კარები უნდა დაიხუროს, ხოლო სავენტილაციო არხები გადაიკეტოს. ქექა-ქუხილის დროს დაუშვებელია ელექტროხელსაწყოებთან შეხება. იმის გამო, რომ ბოლი დენის კარგი გამტარია, ქექა-ქუხილის დროს დაუშვებელია აგრეთვე ბუხრებთან და ბოლის გამოყოფ სხვა გამათბობელ მოწყობილობებთან მიახლოება. ქექა-ქუხილის დროს უსაფრთხოების ინტერესებიდან გამომდინარე, არ შეიძლება სატვირთო მანქანის ძარაში ყოფნა. მსუბუქი ავტომანქანა ამ მხრივ საშიში არაა.

10.6. დაცვითი ღონისძიებები

ელვისაგან დაცვა არის დამცავ ღონისძიებათა კომპლექსი, რომელიც მიმართულია ადამიანების, შენობა-ნაგებობების, აღჭურვილობის და მასალების აფეთქების, ხანძრისა და რღვევისაგან დასაცავად. შენობა-ნაგებობებისათვის განსაკუთრებით საშიშია სტატიკური განმუხტვა მაშინ, როცა განმუხტვის დენი გადის შენობით გავლით, ანუ საქმე გვაქვს მეხის პირდაპირ დაცემასთან (განმუხტვის დენის პირდაპირ დარტყმასთან).

მეხის პირდაპირი დაცემის ალბათობა მიწისზედა ობიექტზე მით მეტია, რაც მაღალია იგი, და შესაბამისად, რაც ნაკლებია მანძილი დამუხტულ ღრუბლამდე. ამის გარდა, მნიშვნელობა აქვს ნიადაგის გეოლოგიურ თვისებებს, სხვა შენობების განლაგების კონფიგურაციას.

დაცვის ობიექტები იყოფა სამ კატეგორიად: I. შენობები და ნაგებობები, რომლებში მიმდინარე ტექნოლოგიური პროცესებიც საჭიროებენ ან გამოყოფენ ფეთქებად ნივთიერებებს, რომლებიც შეიძლება ნაპერწკლით აფეთქდნენ; II. შენობები და ნაგებობები, რომლებშიც ხდება ფეთქებადი ნივთიერებების გამოყოფა მხოლოდ ავარიის შემთხვევაში და ნორმალური ტექნოლოგიური პროცესი არ საჭიროებს ფეთქებად ნივთიერებებს; III. შენობები და ნაგებობები, რომლებშიც არ არის ფეთქებადი ნივთიერებები.



ნახ. 10.1. მეხსარიდის პრინციპული კონსტრუქცია:

ა – დეროსებრი, ბ – ანტენური, რომელიც წარმოადგენს დენგამტარ საყრდენებზე გადაჭიმულ ლითონის ერთ ან რამდენიმე გვარლს. ბადისებრი მეხსარიდი ეწყობა უშუალოდ შენობის სახურავზე ლითონის დენმიმლები ბადის სახით, რომელიც შენობისაგან იზოლირებული და იმავდროულად დამიწებული უნდა იყოს.

პირველი კატეგორიის შენობებისა და ნაგებობების დაცვა უნდა მოხდეს ცალკე მდგარი მეხსარიდის მეშვეობით, ხოლო მეორე და მესამე კატეგორიისათვის შეიძლება როგორც ცალკე მდგარი, აგრეთვე დასაცავ ობიექტთან შეთავსებული მეხსარიდის გამოყენება. ასეთ შემთხვევაში ელვამიმდებებად შეიძლება ლითონის გადახურვისა და შენობის სხვა ლითონური ნაწილებით სარგებლობა (იხ. 10.1 ცხრილის შენიშვნები).

ელვისაგან და მეხისაგან ობიექტების დაცვა შესაძლებელია მეხსარიდის მეშვეობით. მეხსარიდის მოწყობის პრინციპი ისაა, რომ განმუხტვა ავაცილოთ დასაცავ ობიექტს და ჩამიწების მეშვეობით განმუხტვის დენი გავუშვათ მიწაში. კონსტრუქციული შესრულებით მეხსარიდების ტიპებია: დეროსებრი, გვარლისებრი (ანტენური), ბადისებრი ან კომბინირებული. დეროსებრი და გვარლისებრი მეხსარიდების მოწყობის პრინციპული სქემები წარმოდგენილია ნახ. 10.1-ზე.

დეროსებრი ელვამიმდებების დამზადება შესაძლებელია ნებისმიერი პროფილის ფოლადისაგან ან სხვა ლითონისაგან, რომლის კვეთი 100 მმ² ან უფრო მეტია (ნახ. 10.2). დენგამტარი სალტეებისა და ჩამიწების სხვა ელემენტების კვეთების ფართობები მოცემულია 10.1 ცხრილში.

ცხრილი 10.1

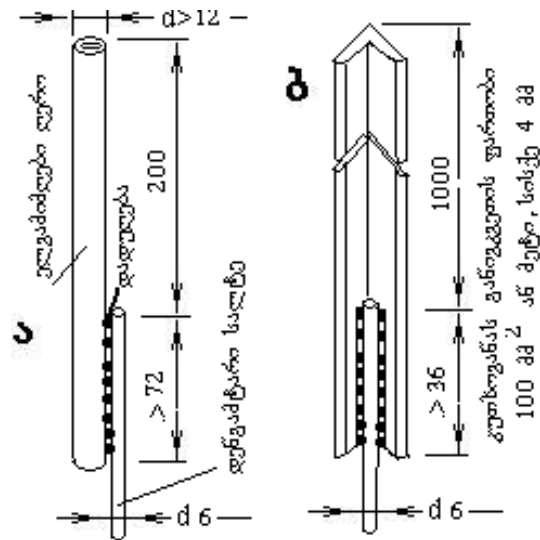
ელვამიმდებების, დენგამტარი სალტეებისა და ჩამიწების ელექტროდების ზომები

N	ელემენტების დასახელება, მათი ფორმები და ზომები	უმცირესი ზომა
ელვამიმდებები		
1	დეროსებრი მეხსარიდი – ნებისმიერი ლითონისაგან დამზადებული დერო:	200

	სიგრძე, მმ განივი კვეთის ფართობი, მმ ²	100
2	ანტენური – ფოლადის მოთუთიებული მრავალწვერიანი გვარლი: განივი კვეთის ფართობი, მმ ²	35
დენგამტარი სალტე		
1	მრგვალი კვეთის ფოლადის გლინულას დიამეტრი, მმ	6
2	ფოლადის ზოლოვანა: განივი კვეთის ფართობი, მმ ² სისქე, მმ	48 4
ჩამიწების ელექტროდები		
1	ფოლადის გლინულას დიამეტრი, მმ	10
2	ფოლადის ზოლოვანა: განივი კვეთის ფართობი, მმ ² სისქე, მმ	160 4
3	ფოლადის კუთხოვანა: განივი კვეთის ფართობი, მმ ² სისქე, მმ	160 4
4	ფოლადის მილი: დიამეტრი, მმ კედლის სისქე, მმ	12 3,5

ცხრილ 10.1-ის შენიშვნები:

1. ელვამიმღები დაცული უნდა იყოს კოროზიისაგან მოთუთიებით, მოკალვით ან შეღებვით.
2. ელვამიმღებად შესაძლებელია გამოყენებული იქნეს დასაცავი შენობების ლითონური კონსტრუქციები: საკვამური მილები, დეფლექტორები, სახურავი, ბადე და სხვა ნებისმიერი ლითონური ნაწილი, რომელიც სახურავზე ან მის ზემოთაა განლაგებული.
3. კოროზიისაგან დასაცავად დენგამტარი სალტეები უნდა დაიფაროს კალით, თუთიით ან საღებავით, ხოლო მათი სიგრძე დამიწების ელექტროდებამდე უნდა იყოს რაც შეიძლება მოკლე.
4. ელვამიმღებად ფურცლოვანი ლითონის სახურავის გამოყენების შემთხვევაში დენგამტარი სალტეების მასთან დაკავშირება უნდა მოხდეს ქანჩებითა და ჭანჭიკებით.
5. ყველა შეერთებისას, სადაც ეს შესაძლებელია, უპირატესად გამოყენებული უნდა იქნეს შედუღება. შედუღების ნაკერის სიგრძე არ უნდა იყოს სწორკუთხოვანი ელემენტის გაორმაგებულ სიგანეზე ნაკლები, ხოლო წრიული კვეთის ელემენტის შემთხვევაში - გაქვსმაგებულ დიამეტრზე ნაკლები.



ნახ. 10.2. ღეროსებრი ელვამიმდები:

ა - მილისაგან დამზადებული; ბ - კუთხოვანასაგან დამზადებული.

ობიექტის ზომების გათვალისწინებით შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს ერთეული, ორმაგი და მრავალჯერადი ღეროსებრი მეხსარიდი, რომელიც ობიექტის ირგვლივ ქმნის დაცვის ზონას. დიდი სიგრძის ობიექტების დასაცავად გამოიყენება ერთი ან რამდენიმე გვარლისებრი მეხსარიდი.

შენობები და ნაგებობები, რომლებიც მიეკუთვნებიან I და II კატეგორიას, დაცული უნდა იყვნენ: 1. ელვის პირდაპირი დარტყმისაგან, 2. ელექტროსტატიკური და ელექტრომაგნიტური ინდუქციისაგან, 3. საჰაერო (მიწისზედა) და მიწისქვეშა კომუნიკაციების მეშვეობით მაღალი პოტენციალების შემოტანისაგან. შენობები და ნაგებობები, რომლებიც მიეკუთვნებიან III კატეგორიას, დაცული უნდა იყვნენ: 1. ელვის პირდაპირი დარტყმისაგან, 2. ლითონებისაგან დამზადებული მიწისზედა კომუნიკაციების საშუალებით მაღალი პოტენციალების შემოტანისაგან. შენობებისა და ნაგებობების 100 მ-ზე მეტი სიგანისას, მათ შიგნით უნდა განხორციელდეს პოტენციალის გასათანაბრებელი ღონისძიებები.

10.7. მეხსარიდის დაცვის ზონა

წელიწადის განმავლობაში შენობა-ნაგებობებზე ელვის პირდაპირი დარტყმების სავარაუდო რაოდენობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$N = 10^{-6}(B + 6h_x)(L + 6h_x)n, \quad (10.2)$$

სადაც N არის ელვის პირდაპირი დარტყმების სავარაუდო რაოდენობა წელიწადში, ცალი; B – დასაცავი შენობის სიგანე, მ; L – შენობის სიგრძე, მ; h_x – შენობის სიმაღლე სახურავის ჩათვლით, მ; n – წელიწადში 1 კმ² მიწის ზედაპირის ელვით დაზიანების მაჩვენებელი კოეფიციენტი, ცალი/კმ².

ელვით დაზიანების საშუალო კოეფიციენტის რიცხვითი სიდიდე დამოკიდებულია მოცემულ ტერიტორიაზე ჭექა-ქუხილის საათების რაოდენობაზე წელიწადში და აიღება 10.2 ცხრილის მიხედვით, ხოლო ერთი კვადრატული კილომეტრი დედამიწის ზედაპირზე ჭექა-ქუხილის საათების რაოდენობა წელიწადში შეადგენს: აღმოსავლეთი საქართველო 80-100 სთ, დასავლეთი საქართველო 20-40 სთ (ბარში), 100 სთ (მთაში).

განვიხილოთ ერთეული ღეროსებრი მეხამრიდი, რომლის სიმაღლე $H < 60$ მ. მისი დაცვის ზონა კონუსის ფორმისაა. დედამიწის ზედაპირზე კონუსის ფუძის რადიუსია $r = 1,5H$, ხოლო დასაცავი ობიექტის სიმაღლეზე დაცვის ზონა იქნება r_x რადიუსის წრეწირი.

თუ დასაცავი ობიექტის სიმაღლე $h_x = 0,667H$, მაშინ კონუსის სიმაღლე $h = 0,8 H$, ხოლო ფუძის რადიუსი - $r = 1,5H$ (ნახ. 10.3).

სიმაღლეზე დაცვის ზონის რადიუსი განისაზღვრება ემპირიული ფორმულებით. როცა $0 \leq h_x \leq 0,667H$, მაშინ:

$$r_x = 1,5(H - 1,25h_x), \quad (10.3)$$

როცა $0,667H \leq h_x \leq H$, მაშინ:

$$r_x = 0,75(H - h_x). \quad (10.4)$$

ცხრილი 10.2

ელვით დაზიანების საშუალო კოეფიციენტის ცვალებადობის ხასიათი ჭექა-ქუხილის საათების რაოდენობის მიხედვით წელიწადში

წელიწადში ჭექა-ქუხილის საათების რაოდენობა, სთ/წელი	20-40	40-60	60-80	80 და მეტი
1 კმ ² მუხით დაზიანების კოეფიციენტი, ცალი/კმ ²	3	6	9	12

ემპირიული ფორმულები (10.3) და (10.4) საკმარისი სიზუსტისაა, რის გამოც რეკომენდებულია მეხსარიდის საპროექტო გაანგარიშებისათვის. საპროექტო გაანგარიშების მიზანია მეხსარიდის სიმაღლის გაანგარიშება, როცა ცნობილია შენობის სიმაღლე და მოცემულ სიმაღლეზე დასაცავი ზონის რადიუსი. ფორმულების სიზუსტის შემოწმების მიზნით ავიღოთ მეხსარიდის სიმაღლე $H = 50$ მ, ხოლო შენობის სიმაღლე სახურავის ჩათვლით $h_x = 33,3$ მ. ამგვარად, შენობის მოცემულ სიმაღლეს ისეთი ზღვრული თანაფარდობა აქვს მეხსარიდის H სიმაღლესთან, რომ შესაძლებელია როგორც (10.3), ისე (10.4) ფორმულით სარგებლობა r_x -ის გასაანგარიშებლად. აღნიშნული მონაცემების მიხედვით (10.3) ფორმულა გვაძლევს შედეგს $r_x = 12,562$ მ, ხოლო (10.4) ფორმულა - $r_x = 12,525$ მ. მიღებულ შედეგებს შორის სხვაობა ფორმულების საკმარისი სიზუსტეს გვიჩვენებს პრაქტიკული გაანგარიშებების მიზნებისათვის.

იმ შემთხვევაში, როდესაც მეხსარიდის სიმაღლე $H = 60 - 100$ მ, მაშინ $r = 90$ მ, ხოლო დაცვის ზონის რადიუსის საანგარიშო ემპირიულ ფორმულებს სიმაღლისათვის აქვთ სახე:

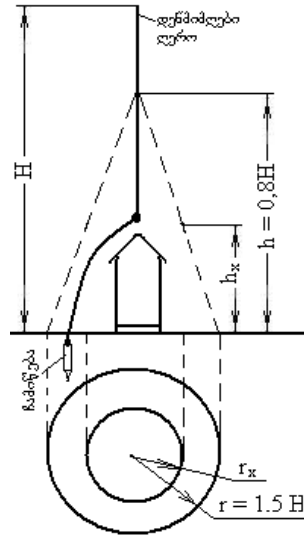
როცა $0 \leq h_x \leq 0,667H$, მაშინ:

$$r = 192 \left(1 - 1,25 \frac{h_x}{H} \right), \quad (10.5)$$

როცა $0,667H \leq h_x \leq 100$, მაშინ

$$r = 45 \left(1 - \frac{h_x}{H}\right). \quad (10.6)$$

დაცვის ზონის საანგარიშო პარამეტრების სქემა გვარლისებრი მეხამრიდისათვის მოცემულია 10.4.ა ნახ-ზე, ხოლო ორმაგი ღეროსებრი მეხამრიდის შემთხვევაში – 10.4.ბ ნახ-ზე.



ნახ. 10.3. ერთეული ღეროსებრი მეხსარიდის დაცვის ზონის საანგარიშო პარამეტრები.

გვარლისებრი მეხსარიდის გვარლის ჩამოშვების ისარი დაახლოებით 2 მ შეადგენს, რაც ჩანს სიმაღლის საანგარიშო ფორმულიდან:

$$H = H_{oh} - 2, \quad h = 0,85H, \quad (10.7)$$

სადაც სიმაღლე H_{oh} არის იმ საყრდენის სიმაღლე, რომელზედაც გვარლია დამაგრებული, მ.

დაცვის ზონის რადიუსი h_x სიმაღლისათვის განისაზღვრება ფორმულით:

$$r_x = (1,35 - 0,0025H) \left(H - \frac{h_x}{0,85}\right), \quad (10.8)$$

ხოლო იგივე სიდიდე დედამიწის ზედაპირის დონეზე:

$$r_x = (1,35 - 0,0025H)H, \quad (10.9)$$

ამ შემთხვევაში - $H < 120$ მ, ხოლო $H_{oh} < 150$ მ.

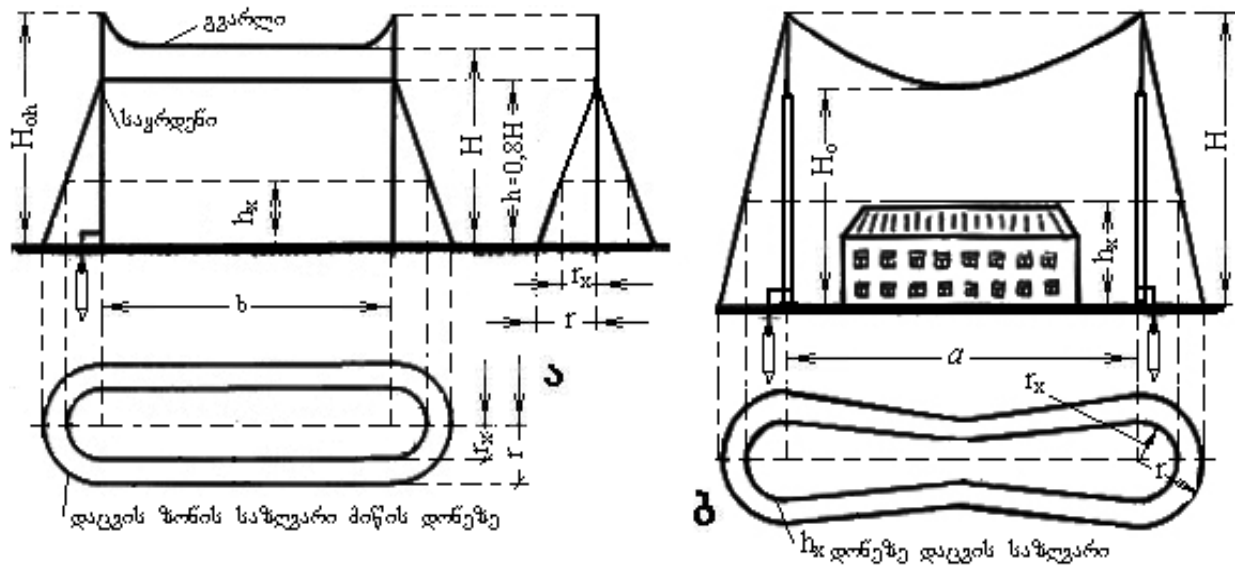
თანაბარი სიმაღლის ორმაგი ღეროსებრი მეხსარიდის შემთხვევაში დაცვის ზონის საანგარიშო ფორმულებს აქვთ შემდეგი სახე (ნახ. 10.4.ბ):

$$H_0 = 4H - \sqrt{9H^2 + 0,25a^2}, \quad (10.10)$$

$$H = 0,517H_0 + \sqrt{0,183H_0^2 + 0,0357a^2}, \quad (10.11)$$

სადაც a არის მეხამრიდებს შორის მანძილი, მ.

როგორც აღინიშნა, მეხსარიდის დაპროექტების დროს, დასაცავი ობიექტის გეომეტრიული ზომებიდან გამომდინარე, ცნობილია h_x და r_x სიდიდეები და საჭიროა განისაზღვროს H .



ნახ. 10.4. დაცვის ზონის საანგარიშო პარამეტრების სქემები მესამრიდებისათვის:
ა - გვარლისებრი მესხარიდისათვის; ბ - თანაბარი სიმაღლის ორმაგი ღეროსებრი
მესხარიდისათვის.

10.8. ჩამიწების ნორმირება

შენობებისა და ნაგებობების მესხარიდის ჩამიწების შერჩევისათვის უნდა გავითვალისწინოთ, რომ მესხარიდის ქსელში და ობიექტის ლითონურ კონსტრუქციებში გადამეტების შემცირების ყველაზე ხელსაყრელი გზაა ნაკლები ელექტრული წინაღობის მქონე ჩამიწებლების მოწყობა. აღნიშნულის გამო ხდება ჩამიწებლის წინაღობის ან ამ უკანასკნელთან დაკავშირებული რომელიმე კომპონენტის ნორმირება.

ბოლო პერიოდამდე ჩვენს ქვეყანაში მიღებული იყო მომდევნო პარაგრაფში განხილული იმპულსური წინაღობის მიხედვით ნორმირება. ჩამიწების იმპულსური წინაღობის დასაშვები ნორმები იყო: 10 ო I და II კატეგორიის შენობებისათვის, 20 ო III კატეგორიის შენობებისათვის. ამასთან ერთად, დასაშვები იყო იმპულსური წინაღობის 40 ომამდე გაზრდა იმ შემთხვევაში, როცა გრუნტის კუთრი წინაღობა იყო 500 ომიXმ და მეტი, იმ პირობით, რომ საკმარისად უნდა ყოფილიყო დამორებული მესხარიდი I კატეგორიის ობიექტისაგან, რათა გარანტირებული ყოფილიყო ჰაერის ან გრუნტის მეშვეობით წრედის შეკვრის (გარღვევის) აცილება.

გარე მოწყობილობებისათვის მაქსიმალური იმპულსური წინაღობა მიღებული იყო 50 ომის ტოლად.

საქმე ისაა, რომ ჩამიწების დაპროექტებისას შეუძლებელია მასში განდინებული ელვის დენის პარამეტრების დამაჯერებელი პროგნოზი და შესაბამისად, შეუძლებელია განისაზღვროს ჩამიწების იმპულსური წინაღობა. აქედან გამომდინარე, იმპულსური წინაღობის სიდიდეებით ოპერირება ნორმებში დაკავშირებულია გარკვეულ და ძნელად

დასაძლევ უხერხულობასთან. უფრო გონივრულია წინასწარ იქნეს შერჩეული ისეთი ჩამმიწებელი, რომელსაც ელვის დროს აღძრული დენების ყველა დიაპაზონში მოქმედების შესაძლებლობა ექნება თავისი საკუთრივი ელექტრული წინაღობის სიდიდიდან გამომდინარე.

აღნიშნულის მიხედვით 5-100 კა დენის ძალის ფარგლებში განისაზღვრა ისეთი ჩამმიწებლები, რომლებიც უსაფრთხოების პირობებს აკმაყოფილებენ.

შესაბამისად, ჩამმიწებლის ყველაზე უფრო მოსახერხებელი და მისაღები სახეობაა რკინაბეტონის ფუნდამენტები. მათ წაეყენებათ დამატებითი პირობა - გამორიცხული უნდა იქნეს ბეტონის მექანიკური დაზიანება დენის განდინებისას ფუნდამენტის მეშვეობით. აღსანიშნავია, რომ რკინაბეტონის კონსტრუქციები უძლებენ ელვის ძალიან დიდი დენების განდინებას ამ უკანასკნელთა იმპულსურობის, ანუ მცირე ხნით მოქმედების გამო. შესაბამისად, რკინაბეტონის 5 მ სიგრძის ხიმინჯებით ან 2 მ სიმაღლის რკინაბეტონის საფეხურებით მოწყობილი ფუნდამენტი საუკეთესოა იმისათვის, რომ მოხდეს 100 კა იმპულსური დენის განდინება. აღნიშნული მიდგომა თავიდან გვაცილებს ჩამმიწებლის წინაღობის გაანგარიშების საჭიროებას მეხსარიდის მოწყობისას.

მომდევნო პარაგრაფში განხილული ტიპური კონსტრუქციები გამოსაყენებელია მხოლოდ ისეთი ნაგებობებისათვის, რომლებსაც არა აქვთ რკინა-ბეტონის ფუნდამენტი.

შენობის რკინაბეტონის ფუნდამენტის ბუნებრივ ჩამმიწებლად გამოყენება გულისხმობს, რომ ვერტიკალურ არმატურებს შორის აუცილებლად უნდა იყოს საიმედო ელექტრული კავშირი დადუღების გზით.

10.9. მეხსარიდის ჩამმიწებლის ტიპური კონსტრუქციები

ატმოსფერული განმუხტვის დროს წარმოქმნილი დენი იმპულსურია, დენგამტარში და გრუნტში მისი განდინება ხდება მცირე დროის განმავლობაში. შესაბამისად, ჩამმიწებელმა უნდა შეძლოს იმპულსური დენის გატარება. ასეთ შემთხვევაში წინაღობას იმპულსური ეწოდება. ჩამიწების იმპულსური წინაღობა არის ელვის დროს აღძრული დენების გრუნტში განდინების რთული ფიზიკური პროცესის რაოდენობრივი მახასიათებელი. მისი სიდიდე განსხვავდება ჩამმიწებლის წინაღობისაგან, რომელიც უნდა მოეწყოს სამრეწველო სიხშირის დენის განდინებისათვის. განსხვავებას განაპირობებს ელვის დენის ამპლიტუდა; ფრონტის სიგრძე; პიკური რიცხვითი სიდიდის მიღწევის ტემპი, ანუ პიკის დახრილობა. ყველა აღნიშნული სიდიდე, როგორც აღინიშნა, ფართო ფარგლებში იცვლება. ელვის დენის სიდიდის გაზრდით ჩამმიწებლის იმპულსური წინაღობა კლებულობს და შესაძლებელია 2-5-ჯერ შემცირდეს.

ჩამიწების იმპულსური წინაღობის სიდიდის დადგენა შესაძლებელია სამრეწველო სიხშირის ცვლადი დენის განდინებისათვის ზღვრულად დასაშვები წინაღობის მიხედვით შემდეგი ფორმულით:

$$R_0 = \alpha R_{\infty}, \quad (10.12)$$

სადაც R_0 არის მეხსარიდის ჩამიწების იმპულსური წინაღობის საჭირო სიდიდე, α – იმპულსურობის კოეფიციენტი, რომელიც ელვის ტანში დენის სიდიდის გარდა დამოკიდებულია გრუნტის კუთრ წინააღობაზე და ჩამმიწებლის კონსტრუქციაზე; R_∞ – სამრეწველო სიხშირის დენის განდინების ზღვრულად დასაშვები წინააღობის სიდიდე, Ω .

გრუნტის კუთრი წინააღობის რიცხვითი მნიშვნელობებისა და ჩამმიწებლის კონსტრუქციის მიხედვით იმპულსურობის კოეფიციენტის ცვალებადობა მოცემულია 10.3 ცხრილში.

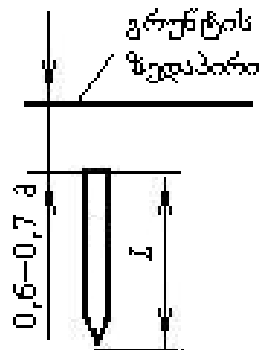
ცხრილი 10.3

მეხსარიდის ჩამიწების იმპულსურობის საანგარიშო კოეფიციენტის რიცხვითი სიდიდეები

N	გრუნტის კუთრი წინააღობა, Ω მი.მ	<100	100	500	1000	2000
1	იმპულსურობის კოეფიციენტი ვერტიკალური ჩამმიწებლისათვის	0,9	0,7	0,5	0,3	–
2	იმპულსურობის კოეფიციენტი კომბინირებული ჩამმიწებლისათვის	0,9	0,9	0,7	0,5	0,35

ცხრილი შედგენილია ვერტიკალური და კომბინირებული კონსტრუქციის ჩამმიწებლებისათვის, ხოლო ჰორიზონტალური ჩამმიწებლისათვის შესაძლებელია კომბინირებული ჩამმიწებლისათვის დამახასიათებელი რიცხვითი სიდიდეების აღება. ვერტიკალურში გამოიყენება მხოლოდ დეროსებრი ჩამმიწებლები, ჰორიზონტალურში ჩამმიწებლად გამოიყენება მხოლოდ ზოლოვანა, ხოლო კომბინირებულში ორივე მათგანი. ყველა სახეობის ჩამმიწებელი ერთმანეთისაგან განსხვავდება ზომებით, რომლებიც განაპირობებენ მათ სხვადასხვა წინააღობას დენის განდინებისადმი.

ნახ. 10.5-ზე წარმოდგენილია ვერტიკალური დეროსებრი ჩამმიწებლის კონსტრუქციული შესრულება, ხოლო 10.4 ცხრილში მოცემულია კონსტრუქციების მახასიათებელი გეომეტრიული პარამეტრების რიცხვითი სიდიდეები გამოყენებული ლითონის სახეობის მიხედვით და სამრეწველო სიხშირის დენის განდინებაზე, მოცემული პარამეტრების შესაბამისი ჩამმიწებლის წინააღობა, რომელიც აგრეთვე დამოკიდებულია გრუნტის კუთრი წინააღობის რიცხვით სიდიდეზე.



ნახ. 10.5. ვერტიკალური დეროსებრი ჩამმიწებელი.

ნახ. 10.5-ზე წარმოდგენილი ჩამმიწებლის წინააღობის ცვალებადობა სამრეწველო სიხშირის დენის განდინებაზე გრუნტის კუთრი წინააღობის მიხედვით

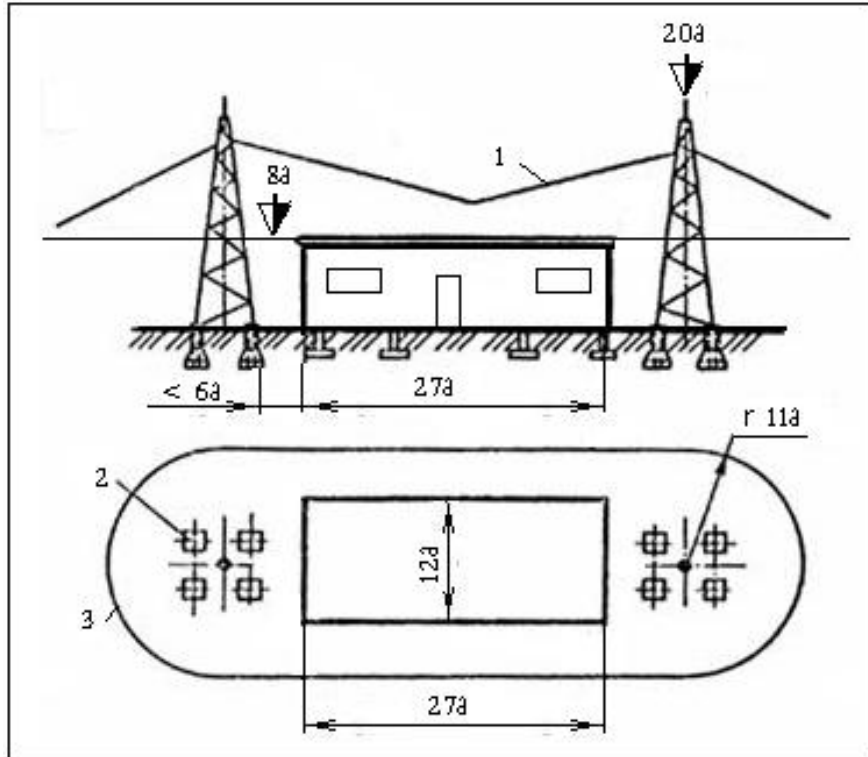
ჩამმიწებლისათვის გამოყენებული მასალის სახეობა	სამრეწველო სიხშირის დენის განდინებაზე წინააღობა, ომი (50-1000) გრუნტის კუთრი წინააღობა, ომიxმ			
	50	100	500	1000
კუთხოვანა 40X40X4 მმ, სიგრძე 2 მ	19	38	190	380
კუთხოვანა 40X40X4 მმ, სიგრძე 3 მ	14	28	140	280
10-20 მმ დიამეტრის მილი, სიგრძე 2 მ	24	48	240	480
10-20 მმ დიამეტრის მილი, სიგრძე 3 მ	17	34	170	340
10-20 მმ დიამეტრის მილი, სიგრძე 5 მ	14	28	140	280

არსებობს აგრეთვე სხვა ტიპის ჩამმიწებლებიც. მაგალითად, ჩამმიწებელი დენის განსაღენტა სხივური განლაგებით, რომლის დროსაც გამოიყენება ვერტიკალური ღეროვანი ჩამმიწებელი და ჰორიზონტალურად 120 გრადუსიანი კუთხით ერთმანეთის მიმართ განფენილი ზოლოვანისაგან დამზადებული სხივები. ეს უკანასკნელები დადუღებულია ვერტიკალურ ღეროზე.

ჩამმიწებლად იყენებენ აგრეთვე ხიმინჯებს და მათ შემაერთებელ გამბრჯენებს, რომლებიც ამ შემთხვევაში როსტვერკებად იწოდებიან. 0,3 მ დიამეტრისა და 6 მ სიგრძის ხიმინჯებს ამზადებენ რკინაბეტონისაგან, ხოლო როსტვერკი არის 4X40 მმ ზომის ფოლადის ზოლოვანა, რომლის დადუღება ხდება ხიმინჯზე სათანადო წესით. 36 ცალი ხიმინჯითა და 9 ცალი როსტვერკით დამზადებული ჯვრის ფორმის ჩამმიწებელში ჩახაზული ერთმანეთის ტოლი 4 კვადრატის თითოეული გვერდის სიგრძე შეადგენს 24 მ, ანუ ჩამმიწებლის ზომები საკმარისად დიდია და მისი გამოყენება გარკვეულ შეზღუდვებთანაა დაკავშირებული თავისთავად. აღნიშნული ჩამმიწებელი გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როცა გრუნტის კუთრი წინააღობა - $\rho = 50-500$ ომიxმ.

10.10. მესხარიდის ტიპური კონსტრუქციები

ქვემოთ მხოლოდ ნახაზების სახით წარმოდგენილია მესხარიდების ტიპური კონსტრუქციები, რომელთა განმარტება მოცემულია ნახაზის წარწერებში.

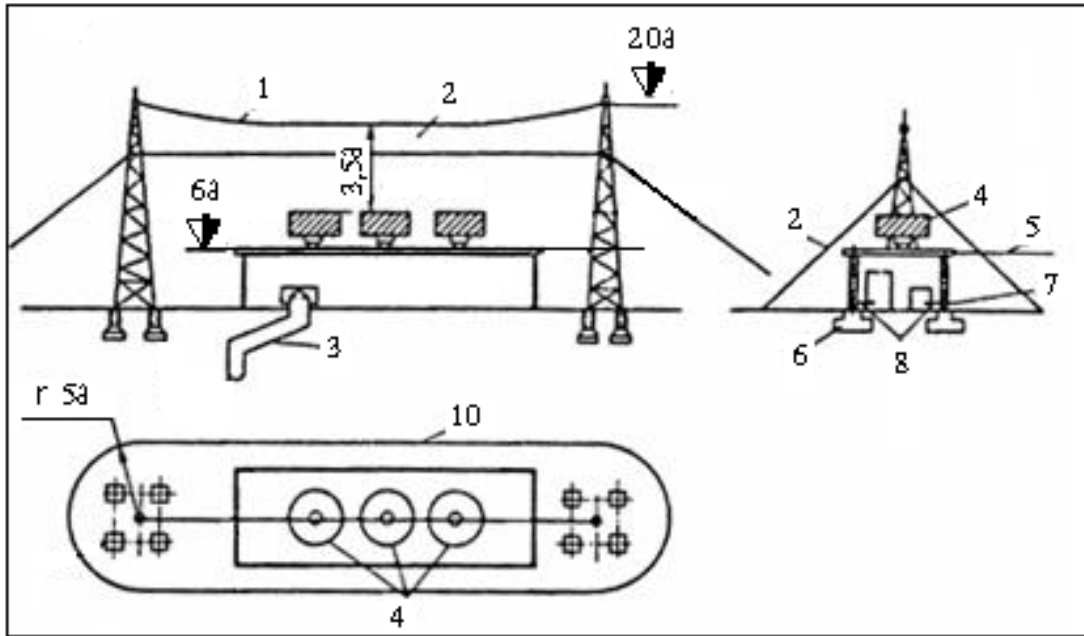


ნახ. 10.6. I კატეგორიის შენობის დაცვა ცალკე მდგარი ორმაგი ღეროსებრი
მეხსარიდით (გრუნტის წინაღობა 300 ომიXმ,):

1 - დაცვის ზონის საზღვარი; 2 - ჩამმიწებლები (ფუნდამენტის საფეხურები); 3 -
დაცვის ზონის საზღვრები 8 მ სიმაღლეზე.

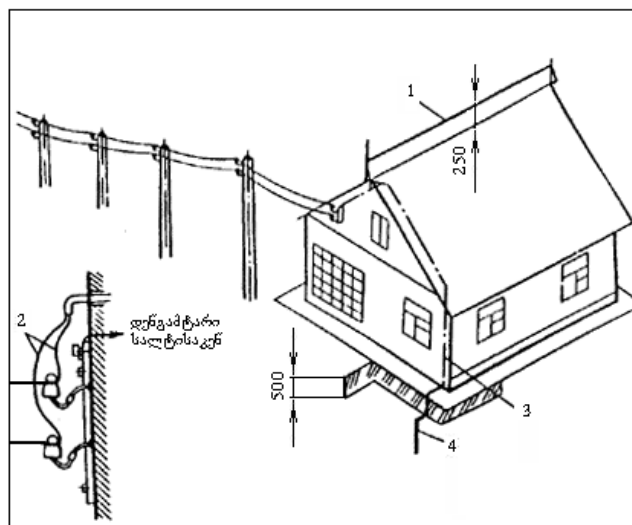
შენიშვნა:

10.6-10.10 ნახაზებზე, ზომები მოცემულია მეტრობით (განზომილების მითითებით) ან
მილიმეტრობით (განზომილების მითითებლად).



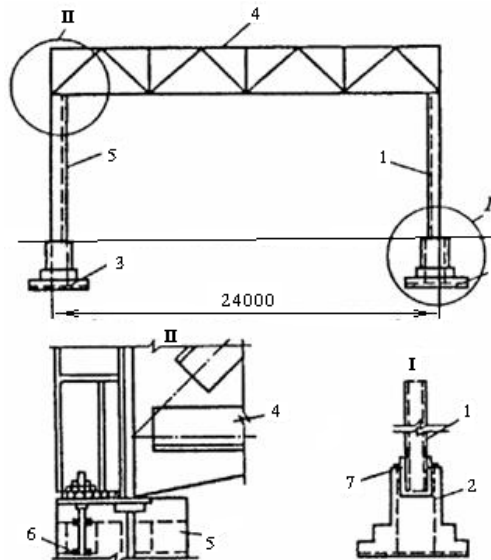
ნახ. 10.7. I კატეგორიის შენობის დაცვა ცალკე მდგარი გვარლური მეხსარილით (გრუნტის წინაღობა 300 ომიXმ,):

- 1 - გვარლი; 2 - დაცვის ზონის საზღვარი; 3 - მიწისქვეშა მილსადენის შემომყვანი; 4 - ფეთქებასაშიში კონცენტრაციის გავრცელების საზღვარი; 5 - შედუღებით შეერთებული არმატურა; 6 - რკინაბეტონის ფუნდამენტი; 7 - მოწყობილობათა მისაერთებელი ელემენტები; 8 - დამიწების დენგამტარი სალტე (ფოლადის ზოლოვანა 4X40 მმ); 9 - ჩამმიწებლები (ფუნდამენტის საფეხურები); 10 - დაცვის ზონის საზღვარი 10,5 მ ნიშნულზე.

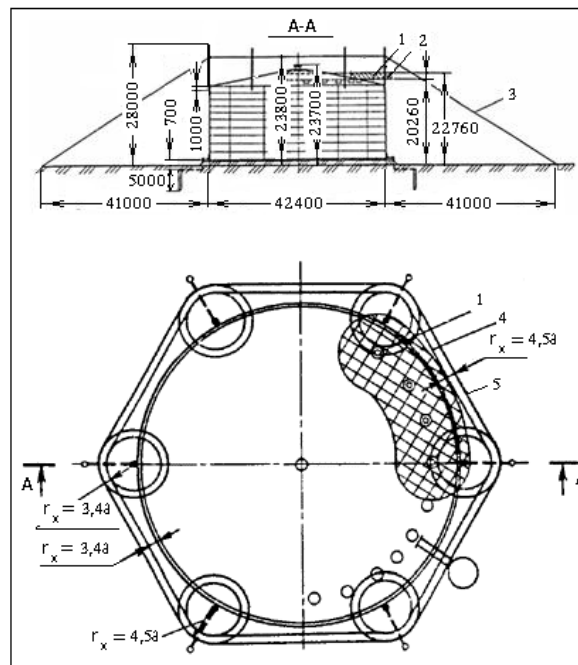


ნახ. 10.8. სოფლის სახლის მეხსარილი:

- 1 - გვარლის ელვამიმღები; 2 - საჭაერო ელექტროგაყვანილობისა და ლითონის კაკვების ჩამიწების შეყვანა კედელში; 3 - დენგამტარი სალტე; 4 - ჩამმიწებელი.



ნახ. 10.9. პირველი კატეგორიის შენობის დაცვა ლითონის ფერმების მეშვეობით (დენგამტარ სალტედ და ჩამმიწებლად გამოყენებულია არმატურა):
1 - სვეტის არმატურა; 2 - ფუნდამენტის არმატურა; 3 - ჩამმიწებელი; 4 - ფოლადის ფერმა; 5 - რკინაბეტონის კოლონა; 6 - ანკერის ჭანჭიკები, რომლებიც დადუღებულია არმატურაზე; 7 - მისაერთებელი ელემენტი.



ნახ. 10.10. 20 ათასი მ³ ტევადობის ლითონის რეზერვუარის მესხარიდი:
1 - სასუნთქი სარქველი; 2 - ფეთქებასაშიში კონცენტრაციის აირების საქშენი; 3 - დაცვის ზონის საზღვარი; 4 - დაცვის ზონის საზღვარი 23,7 მ სიმაღლეზე; 5 - იგივე 22,76 მ-ზე.

10.11. კითხვები

გამეორებისათვის მოკლე პასუხებით

1. რა არის სტატიკური ელექტრობა? – იზოლირებული ზედაპირების ხახუნით წარმოქმნილი მუხტი.
2. რა არის განმუხტვის ყველაზე საშიში ფორმა? – ნაპერწკლოვანი განმუხტვა.
3. რა სიდიდისაა ჰაერის გამრღვევი ძაბვა? – 3 კვ/მმ (კილოვოლტი/მმ).
4. რა ფორმულით განისაზღვრება განმუხტვის ენერგია? – $E=0,5CU^2$.
5. რა არის სარელაქსაციო მოცულობა? – ჩამიწებული მონაკვეთი მასალის ჩატვირთვისას, რაც გამორიცხავს სტატიკური მუხტის წარმოქმნას.
6. რამდენია რიცხოვნობრივად ჩამიწების ნორმა? – ≤ 100 ომი.
7. რა არის ელვა? – ატმოსფერული სტატიკური მუხტების განმუხტვა.
8. რა არის ელვის დენის ძალის დიაპაზონი? – 30–200 კა.
9. რა ტემპერატურას აღწევს ელვის არხი? – $\sim 30,000$ °C.
10. რა არის პირველადი მავნე გავლენა? – პირდაპირი დარტყმა.
11. რა არის მეორადი მავნე გავლენა? – ახლოს დაცემული ელვის გავლენა.
12. რა არის მეხსარიდის დაცვის ზონა? – სივრცე, სადაც ობიექტი დაცულია.
13. რა არის მეხსარიდის ძირითადი ელემენტი? – ჩამმიწებელი.
14. რა არის ანტისტატიკური სამოსის დანიშნულება? – მუხტების ნეიტრალიზაცია.
15. რა არის ჰაერის ტენიანობის კრიტიკული ზღვარი? – $\geq 85\%$.
16. რა არის ინდივიდუალური დაცვის საშუალება? – ანტისტატიკური ფეხსაცმელი.
17. რა არის ნეილონი+დაკრონის კომბინაციის ეფექტი? – მუხტების ნეიტრალიზაცია.
18. რა არის NFPA 77-ის რეკომენდაცია? – ჩამიწების რეგულარული შემოწმება.
19. რა არის IEC 62305-ის დანიშნულება? – ელვისგან დაცვის სისტემების სტანდარტი.
20. რა არის განმუხტვის დროის დიაპაზონი? – 0.1–1 წმ.
21. რა არის ელვის გადამეტაბვის სიდიდე? – ≥ 2 მგვ.
22. რა არის ელვის მიერ გადატანილი მუხტი? – ~ 100 კლ.
23. რა არის აღმავალი ელვა? – დედამიწიდან ღრუბლისკენ მიმართული ლიდერი.
24. რა არის დაღმავალი ელვა? – ღრუბლიდან დედამიწისკენ მიმართული ლიდერი.
25. რა არის მეხსარიდის ტიპური კონსტრუქცია? – ლითონის ღერო/ბადე.

10.12. პრაქტიკული

გაანგარიშების ნიმუშები

1. განმუხტვის ენერგიის გაანგარიშება
ფორმულა $E=0,5CU^2$,
სადაც E არის განმუხტვის ენერგია, ჯ; C – კონდენსატორის ტევადობა, ფ; U – პოტენციალთა სხვაობა, ვ;
თუ $C = 100$ პფ = 100×10^{-12} ფ;
 $U = 20$ კვ = 20×10^3 ვ.
მაშინ:
 $E = 0.5 \times 100 \times 10^{-12} \times (20 \times 10^3)^2 = 0.02$ ჯ.

პასუხი: ეს ენერგია საკმარისია აალებადი აირების ანთებისთვის.

2. ჩამიწების წინააღობის შემოწმება

მაგალითი 1:

გაზომილი წინააღობა $R = 80 \text{ } \Omega$;

- სტანდარტის მოთხოვნა: $\leq 100 \text{ } \Omega$;
- შედეგი: ნორმას აკმაყოფილებს.

მაგალითი 2:

გაზომილი წინააღობა $R = 150 \text{ } \Omega$;

- სტანდარტის მოთხოვნა: $\leq 100 \text{ } \Omega$;
- შედეგი: ნორმას არ აკმაყოფილებს, საჭიროა დამატებითი დამიწება.

მაგალითი 3:

სარელაქსაციო მოცულობისათვის სითხის გამომავალი კვეთის განსაზღვრა:

ფორმულა $A = \frac{Q}{v}$,

სადაც A არის განივი კვეთის ფართობი, მ^2 ; Q – სითხის ხარჯი, $\text{მ}^3/\text{წმ}$; v – დასაშვები სიჩქარე, $\text{მ}/\text{წმ}$;

თუ $Q = 0,5 \text{ მ}^3/\text{წმ}$;

$v = 0,2 \text{ მ}/\text{წმ}$;

მაშინ:

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{0,5}{0,2} = 2,5 \text{ მ}^2.$$

პასუხი: კვეთის მინიმალური ფართობი უნდა იყოს $\geq 2,5 \text{ მ}^2$.

მაგალითი 4:

ელვის იმპულსური დენის განსაზღვრა

ფორმულა $I = \frac{Q}{t}$,

სადაც I არის დენი, ა; Q – მუხტი, კლ; t – დრო, წმ;

მაგალითი:

$Q = 100 \text{ კლ}$; $t = 0,001 \text{ წმ}$;

$$I = \frac{100}{0,001} = 100\,000 \text{ ა} = 100 \text{ კა}.$$

პასუხი: ელვის იმპულსური დენის სიდიდე არის 100 კა (კილოამპერი).

მაგალითი 5:

ჰაერის გარღვევის ძაბვის განსაზღვრა

ფორმულა $U = E_{br}d$,

სადაც U არის ძაბვა, კვ (კილოვოლტი); E_{br} – სტანდარტის ნორმა 1 მმ სისქის ჰაერის შრის გარღვევაზე, $E_{br} = 3 \text{ კვ}/\text{მმ}$; d – ჰაერის შრის სისქე, მმ;

მაგალითი: $d = 2 \text{ მმ}$; $U = E_{br}d = 3 \times 2 = 6 \text{ კვ}$.

პასუხი: 2 მმ სისქის ჰაერის შრისათვის გარღვევის ძაბვა არის 6 კვ.

გამოსაყენებელი სტანდარტები: IEC 60079 — ფეთქებადი გარემო; ISO 2878 — ანტისტატიკური მასალები; NFPA 77 — სტატიკური ელექტრობის მართვა.

11. მაღალი წნევის მოწყობილობები

11.1. გზამკვლევი მეთერთმეტე თავისათვის

- მაღალი წნევის მოწყობილობები (ცისტერნები, ბალონები, ქვაბები, კომპრესორები) გამოიყენება საინჟინრო საქმეში აირის, სითხისა და ორთქლის შესანახად/გადასაზიდად.
- მთავარი საფრთხეები: აფეთქება და ხანძარი.
- უსაფრთხო ექსპლუატაცია მოითხოვს დაპროექტების, მონტაჟის, რეგისტრაციის, ინსპექტირებისა და მომსახურების წესების მკაცრ დაცვას.
- მასალები უნდა აკმაყოფილებდნენ მექანიკურ და ტექნოლოგიურ მოთხოვნებს (σ_ლ, σ_{ს.ზ.}).
- კონსტრუქცია უნდა გამორიცხავდეს ძაბვის კონცენტრაციას (წრიული/ოვალური ჭრილები).

ცხრილი 11.1

წნევის ერთეულების სწრაფი გარდაქმნა

წნევის ერთეულები			
მეგაპასკალი (მგპა)	პასკალი (პა)	ატმოსფერო (ატმ)	კგ/სმ ²
0,1	100 000	~0,99	~1,02
0,2	200 000	~1,97	~2,04
0,5	500 000	~4,93	~5,10
1,0	1 000 000	~9,87	~10,20
2,0	2 000 000	~19,74	~20,40
4,0	4 000 000	~39,47	~40,80
6,0	6 000 000	~59,21	~61,20
8,0	8 000 000	~78,95	~81,60
10,0	10 000 000	~98,68	~102,00

განმარტება:

- მგპა → პა: 1 მგპა = 10⁶ პა.
- პა → ატმ: 1 ატმ = 101 325 პა.
- პა → კგ/სმ²: 1 კგ/სმ² ≈ 9 800 პა.

ცხრილი აჩვენებს, რომ 0,1 მგპა ≈ 1 ატმ ≈ 1 კგ/სმ², რაც სტუდენტებისთვის კარგი საწყისი წერტილია.

გამოყენებული სტანდარტები და მათთან შესაბამისობა:

- **ISO 4126** → განსაზღვრავს უსაფრთხოების სარქველებისა და აფეთქების დისკების მოთხოვნებს. [ISO 4126-3:2020 - Safety devices for protection against excessive pressure — Part 3: Safety valves and bursting disc safety devices in combination](#)
- **EN 13445** → ევროპული სტანდარტი ჭურჭლებისა და ავზების კონსტრუქციისთვის. [Pressure equipment - CEN-CENELEC](#)
- **ASME BPVC Section VIII** → ამერიკული კოდექსი, რომელიც ფართოდ გამოიყენება საერთაშორისო პრაქტიკაში.
- **IEC 61508** → ფუნქციური უსაფრთხოების სტანდარტი ელექტრონულ სისტემებში. [IEC 61508-1:2010 | IEC](#)
- **ILO OSH Standards** → შრომის საერთაშორისო ორგანიზაციის უსაფრთხოების ნორმები. [ILO guide to International Labour Standards on Occupational Safety and Health | International Labour Organization](#)

11.2. მოწყობილობებზე წყენებული ძირითადი მოთხოვნები

გამოყენების სფერო. საინჟინრო საქმეში გათხევადებული, აირისებრი და გახსნილი ნივთიერებების შესანახად და გადასაზიდად ფართოდ გამოიყენება მაღალი წნევის აპარატები და მოწყობილობები – ცისტერნები, ბალონები, ორთქლისა და წყალსატბობი ქვაბები, კომპრესორები და ა.შ. მათი ექსპლუატაცია ტექნიკური პერსონალისაგან მოითხოვს მუშაობის დროს მკაცრად დაიცვან უსაფრთხოების წესები, ნორმები და ინსტრუქციები მოწყობილობათა უსაფრთხო ექსპლუატაციის შესახებ. თუ ელექტროდანადგარების მუშაობისას დაირღვევა დადგენილი ნორმები ან ექსპლუატაციის რეჟიმი, ასევე თუ საკონტროლო და საზომი ხელსაწყოები არ არის სათანადოდ მოწესრიგებული, წარმოიშობა სხვადასხვა სახის საშიშროება. ყველაზე მნიშვნელოვანი შედეგებია აფეთქება და ხანძარი.

აფეთქების ენერგია განისაზღვრება აირის ადიაბატური გაფართოებისას მიღებული მუშაობით. ამ შემთხვევაში გათვალისწინებულია თერმოდინამიკის ცნობილი დამოკიდებულება, რომელიც აღწერს, თუ როგორ გარდაიქმნება აირში დაგროვილი ენერგია მექანიკურ მუშაობად სწრაფი გაფართოებისას:

$$A = \frac{PV}{k-1} \left[(k-1) \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \right], \quad (11.1)$$

სადაც P_1 და P_2 არის აირის საწყისი და საბოლოო წნევა ჭურჭელში, მგბა; V – აირის საწყისი მოცულობა, მ³; k – ადიაბატის მაჩვენებელი, ჰაერისათვის დაახლოებით $k = 1,41$. იდეალური აირისათვის ადიაბატის მაჩვენებელი გამოითვლება ფორმულით:

$$k = \frac{c_p}{c_v}, \quad (11.2)$$

სადაც c_p არის აირის იზობარული კუთრი თბოტევადობა, ჯ/(კგ.К); c_v – აირის იზოქორული კუთრი თბოტევადობა, ჯ/(კგ.К).

მაღალი წნევის ჭურჭლის დაზიანებისას აფეთქების სიმძლავრე გამოითვლება ფორმულით:

$$N = \frac{A}{t}, \quad (11.3)$$

სადაც: A არის მუშაობა, რომელსაც ასრულებს შეკუმშული ჰაერი გაფართოებისას, სანამ შიგა წნევა ატმოსფერულ წნევას გაუტოლდება; t – დრო, რომლის განმავლობაში ეს მუშაობა სრულდება.

მაგალითად, თუ წნევა არის 1 მეგა-პასკალი და გაფართოება მიმდინარეობს 0,1 წმ-ის განმავლობაში, აფეთქების სიმძლავრე შეადგენს დაახლოებით 10 მეგავატს.

წნევის განზომილება გვიჩვენებს, თუ რა მუშაობა შეუძლია შეასრულოს მოცემულმა აირმა გაფართოების შემთხვევაში იდეალური პირობებისათვის. სასარგებლოდ შესრულებული მუშაობა ყოველთვის უფრო ნაკლებია იდეალურთან შედარებით, მაგრამ აფეთქების შემთხვევაში შეკუმშული აირი ფაქტობრივად იდეალურ მუშაობას ასრულებს, რადგან როგორც შესრულებული მუშაობა ამ შემთხვევაში, ისე ყველა დანაკარგი ცალსახად საზიანოა.

აფეთქების თავიდან აცილების ღონისძიებები:

აფეთქებისა და ხანძრის თავიდან ასაცილებლად აუცილებელია მაღალი წნევის მოწყობილობების სწორად დაპროექტება, მონტაჟი, რეგულარული რემონტი და ინსტრუქციის შესაბამისად ექსპლუატაცია. ადმინისტრაცია ვალდებულია ყველა მოწყობილობა ან ჭურჭელი რეგისტრაციაში გაატაროს ტექნიკური ზედამხედველობის სახელმწიფო ინსპექციაში.

ჭურჭლის დაყენება:

- რეგისტრირებული ჭურჭლები უნდა განთავსდეს სპეციალურად გამოყოფილ შენობებში;
- სამრეწველო შენობებთან გამყოფი კედელი უნდა იყოს კაპიტალური და უზრუნველყოფდეს შემოწმებისა და რემონტის შესაძლებლობას;
- ჭურჭლის დაყენებისას უნდა გამოირიცხოს მისი ამოყირავება; ამისათვის მოეწყობა მოედნები, კიბეები და სათვალთვალო მოწყობილობები;
- ყველა ჭურჭელს უნდა ჰქონდეს სარეგისტრაციო ნომერი, დასაშვები წნევა და მომავალი შემოწმების/ჰიდრავლიკური გამოცდის თარიღი.

რეგულაცია ვრცელდება:

1. ჭურჭლებზე, რომლებიც მუშაობენ 0,07 მგპა-ზე მეტ წნევაზე;
2. შეკუმშული აირის გადასატან კასრებსა და ცისტერნებზე, სადაც +50 °C ტემპერატურაზე წნევა $\geq 0,04$ მგპა;
3. ბალონებზე, რომლებიც განკუთვნილია შეკუმშული, გათხევადებული ან შერეული აირის შესანახად $\geq 0,07$ მგპა წნევაზე.

რეგულაცია არ ვრცელდება:

- გათბობის ხელსაწყოებზე (ორთქლით ან წყლით);
- 25 ლ-მდე ტევადობის ბალონებსა და ჭურჭლებზე;
- მანქანათა ნაწილებზე, რომლებიც არ წარმოადგენენ დამოუკიდებელ ჭურჭელს;
- სამუხრუჭე მოწყობილობების საჰაერო რეზერვუარებზე;
- მილებზე, რომელთა შიგა დიამეტრი ≤ 150 მმ;

- წყლის წნევის ქვეშ მომუშავე ჭურჭლებზე $\leq 115^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურაზე.

გამონაკლისი:

- 100 ლ-მდე ტევადობის კასრები და ბალონები შეკუმშული ან გათხევადებული აირისთვის;
- ჭურჭლები, რომლებიც შეიცავენ ფეთქებაუსაფრთხო აირს (კედლის ტემპერატურა $\leq 200^{\circ}\text{C}$);
- ჭურჭლები, რომლებიც შეიცავენ მჟავებს ან ალკილად ფეთქებად მარილებს მითითებულ ან უფრო დაბალ ტემპერატურაზე.

ინსპექტირება:

- ყველა ჭურჭელი რეგულარულად მოწმდება ინსპექტორის მიერ;
- შიგა და გარე ზედაპირების შემოწმება ტარდება არანაკლებ 4 წელიწადში ერთხელ;
- ჰიდრაულიკური გამოცდა — არანაკლებ ერთხელ 10 წელიწადში.

ვადაზე აღრე შემოწმება ხდება:

- რეკონსტრუქციის ან შედუღებით/რჩილვით შესრულებული რემონტის შემდეგ;
- ერთწლიანი უმოქმედობის შემთხვევაში;
- ახალ ადგილზე დაყენებისას;
- საწყობში შეფუთული ჭურჭლის შემთხვევაში.

ინსპექტირება შეიძლება ჩატარდეს როგორც სახელმწიფო ინსპექტორის მიერ, ასევე იმ პირის მიერ, ვინც პასუხისმგებელია ჭურჭლის უსაფრთხო და გამართულ მუშაობაზე.

მოკლე მენიშვნა 1: წნევის განზომილებიდან ჩანს, რომ ის არის ერთეული მოცულობის შეკუმშული აირის მუშაობის უნარიანობის მაჩვენებელი. თუ გავიხსენებთ, რომ წნევა არის ფართობის ერთეულზე მოქმედი ძალა, აგრეთვე იმასაც, რომ საერთაშორისო სისტემაში ძალის ერთეულია ნიუტონი (ნ), ხოლო ფართობის ერთეული მ^2 , მივიღებთ, რომ

$$1 \text{ პა} = 1 \text{ ნ/მ}^2.$$

ტოლობის მარჯვენა მხარის მრიცხველისა და მნიშვნელის მეტრზე გამრავლებით მიიღება, რომ $1 \text{ ნ/მ}^2 = 1 \text{ ნ.მ/მ}^3$. მრიცხველში მიღებული სიდიდე მუშაობის ერთეულის ჯოგის განზომილებაა, ხოლო მნიშვნელში გვაქვს აირის ერთეული მოცულობა, ანუ $1 \text{ პა} = 1 \text{ ჯ/მ}^3$.

მოკლე მენიშვნა 2: ჭარბი წნევა. ატმოსფერული წნევა არის დაახლოებით 0,1 მგპა (101325 პა ზუსტად); მთლიანი წნევა არის რაიმე მოცულობაში გაზომილი წნევა, რომელიც შესაძლებელია იყოს: 1. ატმოსფერული წნევის ტოლი; 2. ატმოსფერულ წნევაზე ნაკლები; 3. ატმოსფერულ წნევაზე მეტი. ატმოსფერულ წნევაზე მეტ წნევას ჭარბი წნევა ეწოდება. 0,07 მგპა ჭარბი წნევა ნიშნავს, რომ მოცემულ ჭურჭელში მთლიანი წნევა შეადგენს დაახლოებით 0,08 მგპა, ანუ 8 ატმოსფეროს (8 კგ/სმ^2) იმ შემთხვევაში, თუ ვისარგებლებთ წნევის არასისტემური ერთეულებით.

11.3. კონტროლი და მომსახურება

მაღალი წნევის ჭურჭლების უსაფრთხო ექსპლუატაციის უზრუნველსაყოფად საწარმოში სპეციალური ბრძანებით ინიშნება ინსპექტორი.

ინსპექტორზე წაყენებული მოთხოვნები:

- უნდა მიეკუთვნებოდეს ტექნიკურ პერსონალს;
- ასაკი – არანაკლებ 18 წლის;
- გავლილი უნდა ჰქონდეს საწარმოო სწავლება და უსაფრთხოების ინსტრუქტაჟი;
- ატესტირებული უნდა იყოს საკვალიფიკაციო კომისიის მიერ.

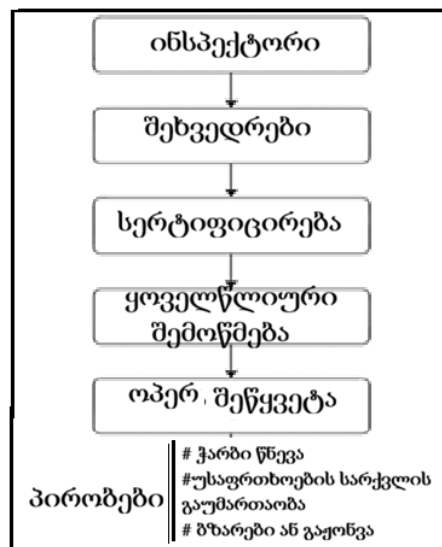
ატესტაცია ოფიციალურად დადასტურებულია მოწმობით, რომელსაც ხელს აწერს კომისიის თავმჯდომარე.

ცოდნის შემოწმება:

- ყოველ 12 თვეში ერთხელ ინსპექტორის ცოდნას ამოწმებს საწარმოს ფარგლებში შექმნილი კომისია;
- შემოწმების შედეგები ფორმდება ოქმით.

სამუშაო პირობები:

- სამუშაო ადგილზე უნდა იყოს გამოკრული ინსტრუქცია, რომელიც განსაზღვრავს სამუშაო რეჟიმს;
- ინსტრუქცია შემუშავებულია და დამტკიცებულია საწარმოს ადმინისტრაციის მიერ.



ფიგ. 11.1. ინსპექტორის მოვალეობები.

დამატებითი განმარტება: ინსპექტორის როლი არ შემოიფარგლება მხოლოდ ტექნიკური შემოწმებით. იგი ასევე პასუხისმგებელია პერსონალის ინფორმირებაზე,

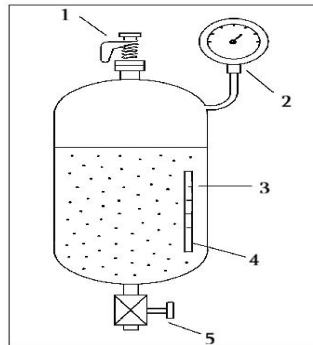
უსაფრთხოების წესების ახსნაზე და საწარმოში უსაფრთხოების კულტურის განმტკიცებაზე.

მაღალი წნევის ჭურჭლების უსაფრთხო მუშაობისათვის აუცილებელია მათი დაუყოვნებლივ გამორთვა და ექსპლუატაციის შეწყვეტა შემდეგ პირობებში:

- წნევის გადაჭარბება — როდესაც შიგა წნევა აღემატება დასაშვებ მნიშვნელობას;
- დამცავი სარქველის გაუმართაობა — თუ სარქველი ვერ უზრუნველყოფს ჭარბი წნევის ავტომატურ განტვირთვას;
- კონსტრუქციული დაზიანება — ჭურჭლის ძირითად ელემენტებში ბზარის აღმოჩენისას, კედლის მნიშვნელოვანი გათხელებისას ან შედუღების ნაკერში გაჟონვისას;
- ხანძრის საფრთხე — ისეთი ხანძრის გაჩენისას, რომელიც უშუალოდ ემუქრება ჭურჭელს;
- მანომეტრის გაუმართაობა — თუ წნევის გაზომვა შეუძლებელია სხვა საკონტროლო ხელსაწყოებით;
- სითხის კრიტიკული შემცირება — ჭურჭელში, სადაც გამოიყენება ღია ალი, სითხის დასაშვებზე მეტად შემცირებისას;
- სამაგრი დეტალებისა და საკონტროლო ხელსაწყოების დაზიანება — მათი გაუმართაობის შემთხვევაში.

აკრძალულია ისეთი ბალონის ექსპლუატაცია, რომელსაც:

- გაუვიდა პერიოდული გადამოწმების ვადა;
- აქვს გაუმართავი ონკანი;
- აქვს დაზიანებული კორპუსი;
- აქვს არასათანადო შეღებვა ან არასწორი წარწერა.



ფიგ. 11.2. უსაფრთხოების მოწყობილობების განლაგება მაღალი წნევის ჭურჭელზე:
1 - დამცავი სარქველი; 2 - წნევის საზომი; 3 - სითხის დონის საზომი; 4, 5 - გამორთვის მოწყობილობები.

უსაფრთხოების ძირითადი ელემენტები ნახ. 11.2-ზე:

- **დამცავი სარქველი** — ზედა ნაწილში, წნევის გადაჭარბებისას ავტომატურად ათავისუფლებს აირს და გაუშვებს ატმოსფეროში;
- **მანომეტრი** — აჩვენებს ჭურჭელში არსებულ წნევას, საშუალებას აძლევს ოპერატორს დროულად შეამჩნიოს გადახრები;

- **სითხის დონის საზომი** — უზრუნველყოფს კონტროლს, რომ ჭურჭელში სითხის დონე არ ჩამოვიდეს კრიტიკულ ნიშნულამდე;
- **გამორთვის მოწყობილობა** — ქვედა ნაწილში, საშუალებას აძლევს ოპერატორს სწრაფად შეწყვიტოს სითხის ან აირის მოძრაობა.

განმარტება სტუდენტებისთვის:

ეს სქემა აჩვენებს, რომ უსაფრთხოების მოწყობილობები ერთმანეთთან კოორდინირებულად მოქმედებენ. ამიტომ თუ რომელიმე მათგანი გაუმართავია, ჭურჭლის ექსპლუატაცია დაუყოვნებლივ უნდა შეწყდეს.

დამატებითი განმარტება — ექსპლუატაციის შეწყვეტის მნიშვნელობა:

ექსპლუატაციის შეწყვეტა კრიტიკულ მომენტში წარმოადგენს პრევენციულ ღონისძიებას, რომელიც აფერხებს ავარიებს. მაგალითად, თუ მანომეტრი გაუმართავია და წნევის კონტროლი შეუძლებელია, ჭურჭლის მუშაობის გაგრძელება ნიშნავს პირდაპირ საფრთხეს როგორც პერსონალის, ისე საწარმოს ინფრასტრუქტურისთვის.

11.4. ტრავმატიზმის გამომწვევი მიზეზები

საწარმოებში ფართოდ გამოიყენება სხვადასხვა დანადგარი, რომლებიც მუშაობენ მაღალი წნევის პირობებში: კომპრესორები, ორთქლისა და წყალსატობი ქვაბები, აირის ბალონები, ცისტერნები, ორთქლსადენები, აირსადენები და სხვა.

საფრთხის არსი:

მაღალი წნევის პირობებში მომუშავე მოწყობილობები განსაკუთრებით საშიშაა მათი მოსალოდნელი აფეთქების გამო. აფეთქება თითქმის ყოველთვის იწვევს მძიმე ტრავმებს, შენობების დაზიანებას და მნიშვნელოვან მატერიალურ ზარალს.

კომპრესორების აფეთქების მიზეზები:

- საპოხი მასალების ორთქლის ააღება,
- კედლების გადახურება,
- მტვრიანი ჰაერის შეწოვა,
- ბალონის სხვა აირით შევსება.

ფიგ. 11.3-დან მკაფიოდ ჩანს, რომ აფეთქების სიმძლავრეს დროის მიხედვით უკუპროპორციული დამოკიდებულება აქვს. აფეთქება მაღალი წნევის ჭურჭელში შემდეგი საფეხურებით ხასიათდება:

1. **შეკუმშული აირი** — ჭურჭელში გაზი მაღალი წნევითაა შეკუმშული;
2. **ბზარის გაჩენა** — კონსტრუქციის დაზიანებისას ჩნდება ბზარი, რაც იწვევს წნევის გათავისუფლებას და მის ვარდნას;
3. **აღიაბატური გაფართოება** — აირი სწრაფად ფართოვდება, ენერგია თითქმის სრულად გადადის მექანიკურ მუშაობაში;
4. **ენერგიის სწრაფი გამოყოფა** — ხდება აფეთქება, რასაც მოჰყვება ტრავმატიზმი და მატერიალური ზარალი.

განმარტება სტუდენტებისთვის:

სქემა აჩვენებს, რომ აფეთქება არ არის მყისიერი მოვლენა — იგი იწყება მცირე დაზიანებიდან, რომელიც სწრაფად გადადის ენერგიის უკონტროლო გამოყოფაში. ამიტომ, პრევენცია (ინსპექტირება, კონტროლი, რეგისტრაცია) არის არა ფორმალობა, არამედ სიცოცხლის დაცვის აუცილებელი პირობა.

დამატებითი განმარტება — აფეთქების შედეგები:

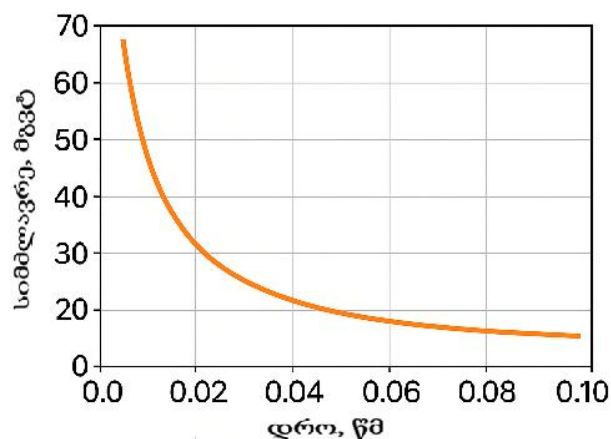
აფეთქება მაღალი წნევის პირობებში თითქმის ყოველთვის იწვევს მძიმე ტრავმებს. ეს შეიძლება იყოს დამწვრობა, მოტეხილობა ან შიდა ორგანოების დაზიანება. ამიტომ უსაფრთხოების წესების დარღვევა არა მხოლოდ ტექნიკური პრობლემაა, არამედ პირდაპირი საფრთხე ადამიანის სიცოცხლისთვის.

დამატებითი განმარტება — ჟანგბადის ბალონის მაგალითი:

ჟანგბადის ბალონის აფეთქება განსაკუთრებით საგულისხმოა, რადგან მისი ვენტილის შიგა არეში მოხვედრილი ნებისმიერი ზეთი საკმარისია კატასტროფული შედეგისათვის. ეს მაგალითი ნათლად აჩვენებს, რომ უსაფრთხოების წესების უმცირესი დარღვევაც კი შეიძლება გარდაუვალ ტრაგედიად იქცეს.

პრიმიტიული მოწყობილობების საფრთხე:

განსაკუთრებულ საშიშროებას წარმოადგენს თვითნებურად ან პრიმიტიულად დამზადებული მოწყობილობები. მათი დამზადებისას ხშირად გამოიყენება შემთხვევითი მასალები და უმეტეს შემთხვევაში არ აქვთ საკონტროლო და დამცავი აპარატურა. სწორედ ამიტომ, ასეთი მოწყობილობები კიდევ უფრო ზრდის აფეთქებისა და ხანძრის რისკს.



ფიგ. 11.3. აფეთქების სიმძლავრის ცვალებადობა დროის მიხედვით.

დამატებითი განმარტება: პრიმიტიულად დამზადებული მოწყობილობების გამოყენება საწარმოში ნიშნავს, რომ ნებისმიერი მცირე ხარვეზი შეიძლება გადაიზარდოს მასშტაბურ ავარიად.

11.5. დასამზადებელი მასალებზე წაყენებული მოთხოვნები

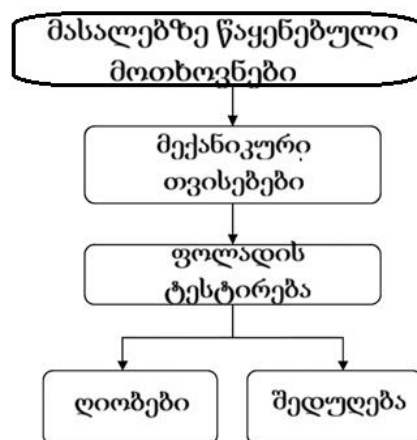
მექანიკური თვისებები:

- გაგლეჯის დროებითი წინაღობა ($\sigma_{გაგ}$);
- დენადობის ზღვარი ($\sigma'_{0,2}$);
- დარტყმის სიბლანტე ($\alpha_{დარ}$);
- ღუნვის წინაღობა ($\sigma_{ღ}$).

მაღალი წნევის მოწყობილობებისა და ჭურჭლების დასამზადებელი მასალები უნდა აკმაყოფილებდნენ მკაცრ მოთხოვნებს ფიზიკური, მექანიკური და ტექნოლოგიური თვისებების მიხედვით.

თუ დანადგარი მუშაობს მაღალ ტემპერატურაზე, მასალის მახასიათებლები მოწმდება სხვადასხვა ტემპერატურაზე (20–50 °C). მნიშვნელოვანი მაჩვენებელია დენადობის ზღვრის ფარდობა სიმტკიცის ზღვართან:

- ნახშირბადიანი ფოლადისათვის $\leq 0,6$;
- ლეგირებული ფოლადისათვის $\leq 0,7$.



ფიგ. 11.4. მასალებზე წაყენებული მოთხოვნების ვიზუალური შეჯამება.

ფოლადის შემოწმება შედულებამდე:

შედულების დაწყებამდე ფოლადი მოწმდება შემდეგი პარამეტრებით, რათა დადგინდეს ნაკერის სიმტკიცე, პლასტიკურობა და სხვა თვისებები:

- დრეკადობის მოდული;
- გაფართოების საშუალო კოეფიციენტი;
- თბოგამტარობის კოეფიციენტი.

ფოლადის წარმოების მეთოდი:

ფოლადი უნდა იყოს გამოდნობილი მარტენული წესით ან ელექტროლუმელებში, რათა უზრუნველყოფილი იყოს მისი მაღალი ხარისხი და უსაფრთხო გამოყენება მაღალი წნევის პირობებში.

სათვალთვებელი ლიუკები:

თუ ჭურჭელში ადამიანის შესვლა შეუძლებელია, კეთდება არანაკლებ 80 მმ დიამეტრის წრიული ან ოვალური ლიუკები. მათი განლაგება უნდა იძლეოდეს შიგა ზედაპირების სრული დათვალიერების საშუალებას.

სტაციონარული ჭურჭლების გარე ზედაპირის დათვალიერებისთვის კეთდება:

- 400×450 მმ სწორკუთხოვანი ლიუკები;
- ან ≥ 450 მმ დიამეტრის წრიული ლიუკები.

კონსტრუქციული მოთხოვნები:

• არასწორი კონსტრუქცია იწვევს ძაბვების კონცენტრაციას (მაგ., მართკუთხა ჭრილი → ბზარები).

- ამიტომ ჭრილები უნდა იყოს წრიული ან ოვალური.
- მაგალითად: 500 მმ დიამეტრის ქვაბისთვის შესასვლელის ზომებია 325×400 მმ.
- ქვაბის ფსკერი უნდა იყოს ამოზნექილი, სიმაღლის ფარდობა დიამეტრთან $\geq 0,25$, შეერთება მომრგვალებული.

შედულების ხარისხი:

შედულების ხარისხი მოწმდება:

- გარე დათვალიერებით;
- ულტრაბგერითი დეფექტოსკოპიით;
- მექანიკური გამოცდით;
- ლითონგრაფიული გამოკვლევით;
- სიმაგრის გაზომვით.

დამატებითი განმარტება: მასალისა და კონსტრუქციის სწორად შერჩევა უზრუნველყოფს არა მხოლოდ უსაფრთხოებას, არამედ ექსპლუატაციის საიმედოობასა და რემონტის შესაძლებლობას.

შედულების დეფექტების გამოვლენა:

გარე დათვალიერებით ვლინდება:

- ნაკერის ფორმისა და ზომის დარღვევა;
- ფორები და ნუჟრები;
- სხვა ტექნოლოგიური ხარვეზები.

ულტრაბგერითი დეფექტოსკოპიით ვლინდება:

- ფორები;
- ბზარები;
- შეუდუღებელი ადგილები.

მექანიკური გამოცდის მიზანი:

მექანიკური გამოცდის საშუალებით დგინდება, რამდენად შეესაბამება შედულების ნაკერის სიმტკიცე საჭირო დონეს. გამოცდა ტარდება შემდეგი მეთოდებით:

- გაჭიმვით;
- ღუნვით;
- დარტყმით.

მაქსიმალური წნევის განსაზღვრა

კორპუსის მიერ ატანილი მაქსიმალური წნევა გამოითვლება ფორმულით:

$$[P] = \frac{2(S-C)[\sigma]\varphi}{D+S-C}, \quad (11.4)$$

სადაც S არის კედლის სისქე, სმ; C — კოროზიის საწინააღმდეგო საფარველი, სმ; σ — დასაშვები ძაბვა, მგპა; φ — შედუღების ნაკერის სიმტკიცის კოეფიციენტი; D — შიგა დიამეტრი, მ.

საკონტროლო და უსაფრთხოების ხელსაწყოები:

მოწყობილობები უნდა აღიჭურვოს:

- მანომეტრით;
- სითხის დონის მაჩვენებლით;
- ტემპერატურის საზომი ხელსაწყოებით.

მანომეტრები:

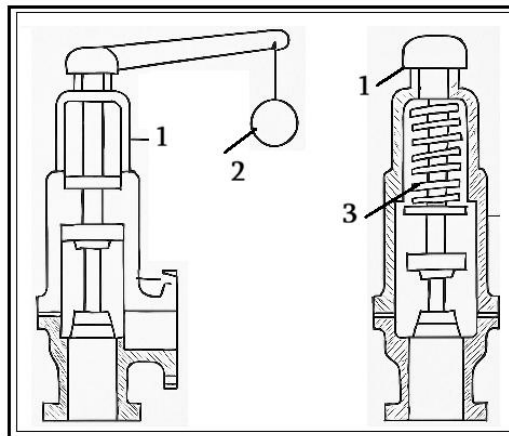
- აჩვენებენ წყლის, ორთქლის, აირის წნევას;
- შეიძლება იყოს საკონტროლო ან სამუშაო;
- სიზუსტის კლასი დამოკიდებულია წნევაზე:
- $\leq 2,3$ მგპა $\rightarrow \geq 2,5$;
- $2,3-14$ მგპა $\rightarrow \geq 1,5$.

მანომეტრები უნდა განთავსდეს თვალსაჩინო ადგილას.

დამცავი სარქველები:

- გამოიყენება ორთქლისა და წყალსატოვებ ქვაბებზე;
- ჭარბი წნევისას იხსნება და ორთქლი გამოდის ატმოსფეროში;
- წნევის დაცემის შემდეგ ავტომატურად იხურება;
- შეიძლება იყოს ბერკეტული ან ზამბარული.

მათი სქემები მოცემულია ფიგ. 11.5-ზე.



ფიგ. 11.5. ბერკეტული და ზამბარული დამცავი სარქველი:

- 1 - ხუფი (უზრუნველყოფს კონსტრუქციის მთლიანობას; 2 - ტვირთი ქმნის წნევას ბერკეტის მეშვეობით და განსაზღვრავს, როდის უნდა გაიხსნას სარქველი;
- 3 - ზამბარა ქმნის წინააღმდეგობას, რომელიც დასაშვები წნევის პროპორციულია.

დამცავი სარქველების გამტარუნარიანობის ფორმულები:

გაჯერებული ორთქლი (0,07–12,0 მგპა) –

$$(P_2 + 1) \leq 0,450(P_1 + 1); G_{გაჯ} = 0,5aF(P_1 + 1), \quad (11.5)$$

გადახურებული ორთქლი –

$$(P_2 + 1) \leq 0,470(P_1 + 1); G_{გად} = G_{გაჯ} \sqrt{\frac{V_{გაჯ}}{V_{გად}}}, \quad (11.6)$$

12 მგპა-ზე უფრო ჭარბი წნევის მქონე ორთქლი –

$$G = 0,72aF \sqrt{\frac{P+1}{V}}, \quad (11.7)$$

სადაც a არის ორთქლის ხარჯვის კოეფიციენტი; F – სარქვლის გამდინარე ნაწილის თავისუფალი კვეთის მინიმალური ფართობი, მმ²; P, P_1, P_2 – წნევები, მგპა; $V, V_{გად}, V_{გაჯ}$ – კუთრი მოცულობები, მ³/კგ.

დამატებითი განმარტება:

ფორმულები აჩვენებენ, რომ დამცავი სარქვლის გამტარუნარიანობა და მუშაობის პრინციპი დამოკიდებულია არა მხოლოდ წნევაზე, არამედ ორთქლის ტიპზე და მოცულობაზე. მათი სწორად შერჩევა კრიტიკულია აფეთქების თავიდან ასაცილებლად.

წყალსატობი ქვაბების დამცავი სარქვლები:

სარქვლების რაოდენობა და მათი პარამეტრები გამოითვლება ფორმულით

$$ndh = \frac{Q}{KP(i-t_{გაჯ})}, \quad (11.8)$$

სადაც n არის სარქვლების რაოდენობა; d – სარქვლის უნაგირის დიამეტრი, სმ; h – სარქვლის აწევის სიმაღლე, სმ; K – ემპირიული კოეფიციენტი: $K = 1,35$ დაბალი აწევის სარქვლებისათვის, როდესაც $\frac{h}{d} \leq \frac{1}{20}$; $K = 70$ მაღალი აწევის სარქვლებისათვის, როდესაც $\frac{h}{d} \leq \frac{1}{4}$; P – მაქსიმალური აბსოლუტური დასაძვები წნევა ქვაბში ღია სარქვლის დროს, მგპა; i – მაქსიმალური დასაძვები წნევის დროს ნაჯერი ორთქლის თბომცველობა, ჯ/კგ; $t_{გაჯ}$ – ქვაბში შემავალი წყლის ტემპერატურა, °C; Q – ქვაბის მაქსიმალური სითბოს მწარმოებლურობა, ვტ.

მემბრანული დამცავი მოწყობილობები:

კვამლსა და აირგამტარ სისტემებში ხშირად გამოიყენება მემბრანები, რომლებიც დამზადებულია მყიფე ან პლასტიკური მასალისგან. საფრთხის დროს მემბრანა იხევა, წნევა ეცემა და ძირითადი კონსტრუქციული ელემენტები დაცულია.

მემბრანის სისქე (δ) განისაზღვრება მასალის მიხედვით:

მყიფე მასალისათვის –

$$\delta = 0,11r \sqrt{\frac{P}{\sigma_{ლ}}}, \quad (11.9)$$

პლასტიკური მასალისათვის –

$$\delta = 2Pr/4\sigma_{ლ.გ.}, \quad (11.10)$$

სადაც r არის მემბრანის რადიუსი, მმ; P – წნევა, რომლის დროს ფირფიტის მთლიანობა უნდა დაირღვეს, მგპა; $\sigma_{ლ}$ – მემბრანის მასალის ლუნვის სიმტკიცე, მგპა; $\sigma_{ლ.გ.}$ – მემბრანის მასალის სიმტკიცის ზღვარი ჭრაზე, მგპა.

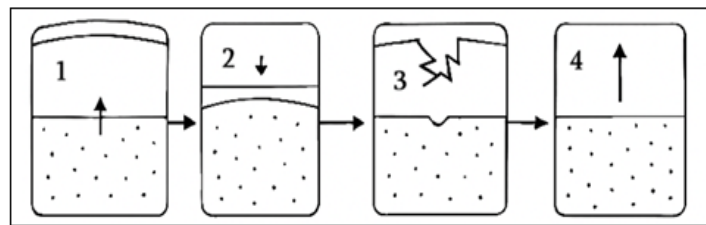
მემბრანის მუშაობის ვიზუალური დიაგრამა, აჩვენებს ოთხ თანმიმდევრულ ეტაპს:

1. **ნორმალური მდგომარეობა** — მემბრანა ინარჩუნებს მთლიანობას;
2. **წნევის ზრდა** — მემბრანა იწყებს დეფორმაციას;
3. **მემბრანის გახევა** — წნევის კრიტიკულ დონეზე მემბრანა იხევა;
4. **წნევის დაცემა** — ჭარბი წნევა გადის ატმოსფეროში და ძირითადი კონსტრუქცია დაცულია.

ავტომატური მართვის აპარატურა:

ორთქლისა და წყალსატბობი ქვაბები აღჭურვილია სისტემით, რომელიც ავტომატურად წყვეტს სატბობის მიწოდებას:

- ცეცხლის ჩაქრობისას;
- ჰაერის წნევის ავარიული დაცემისას.



ფიგ. 11.6. მემბრანის მუშაობის ვიზუალური დიაგრამა:

1 - ნორმალური მდგომარეობა; 2 - წნევის ზრდა; 3 - მემბრანის გახევა, 4 - წნევის დაცემა.

დამატებითი განმარტება:

ეს ნაწილი ხაზს უსვამს, რომ უსაფრთხოების მოწყობილობები მრავალფეროვანია: სარქველები, მემბრანები და ავტომატური მართვის სისტემები ერთობლივად უზრუნველყოფენ აფეთქების თავიდან აცილებას. ფორმულები ემპირიულია და განსხვავდება მასალის თვისებების მიხედვით. მათი მიზანია მემბრანის სისქის განსაზღვრა ისე, რომ საფრთხის დროს იგი პირველი დაირღვეს და ძირითადი კონსტრუქციული ელემენტები დაცული დარჩეს.

11.6. კომპრესორების

უსაფრთხო ექსპლუატაცია

საშიშროება და აფეთქების მიზეზები:

კომპრესორების მუშაობისას მთავარი საფრთხე არის ზეთის დაშლის პროდუქტების აფეთქება. განსაკუთრებით საშიშია დგუშიანი კომპრესორები, რადგან:

- 20 გრამი ზეთის დაშლით წარმოიქმნება დაახლოებით 2 მ³ აფეთქებადი ნარევი;
- ჰაერში ზეთის ორთქლი 6–11% ფარგლებში შეიძლება აფეთქდეს ~200 °C ტემპერატურაზე;

- ზეთის წვეთები და დაშლის პროდუქტები ეკვრის ჰაერსაღენისა და ჰაერშემკრების შიდა ზედაპირს, რაც ზრდის აფეთქების რისკს.

უსაფრთხოების ღონისძიებები:

- შეკუმშული ჰაერის ტემპერატურა არ უნდა აღემატებოდეს დასაშვებ ზღვარს;
- ცილინდრში წნევა არ უნდა იყოს ნორმაზე მაღალი;
- უნდა აიცილოს აფეთქებადი ნარევის წარმოქმნა.

თერმოდინამიკური კანონზომიერება

კუმშვის პროცესები ექვემდებარება პოლიტროპულ დამოკიდებულებას:

$$PV^n = const, \quad (11.11)$$

სადაც P არის აირის წნევა, მგპა; V – კუთრი მოცულობა, მ³/კგ; n – პოლიტროპულობის მაჩვენებელი.

საბოლოო ტემპერატურა:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}}, \quad (11.12)$$

გაგრილება:

- ჰაერით — დაბალი წნევის კომპრესორებისთვის (≤ 0.7 მგპა);
- წყლით — მაღალი წნევის კომპრესორებისთვის.
- მაქსიმალური ტემპერატურა:
- ერთცილინდრიანი — 160 °C;
- მრავალსაფეხურიანი — 140 °C თითო საფეხურზე.

წყლის ხარისხი:

- უნდა გამოიყენებოდეს რბილი წყალი;
- ხისტი წყალი წარმოქმნის ნალექს და აფერხებს მუშაობას;
- ყოველ ორ თვეში აუცილებელია გამაგრილებელი სისტემის გაწმენდა.

საკონტროლო აპარატურა:

კომპრესორებს უნდა ჰქონდეთ:

- მანომეტრები;
- დამცავი სარქველები;
- თერმომეტრები.

მბრუნავი ნაწილები და ამძრავი უნდა იყოს გარსაცმში.

საკომპრესორო სადგურზე წაყენებული მოთხოვნები:

- შენობა უნდა იყოს ცეცხლგამძლე მასალისგან, უსხვენო გადახურვით;
- სხვა ნაგებობებისგან განცალკევებით;
- აგრეგატებს შორის გასასვლელი $\geq 1,5$ მ, კედლიდან დაშორება ≥ 1 მ;
- ტემპერატურა: ზამთარში ≥ 10 °C, ზაფხულში ≤ 26 °C.

სტატიკური ელექტრობის საფრთხე:

ჰაერსაღენში 20 მ/წმ სიჩქარით მოძრავი გაბინძურებული ჰაერის ნაკადი წარმოქმნის სტატიკურ ელექტრობას, რომლის ძაბვამ შეიძლება მიაღწიოს 10 000 ვ და გამოიწვიოს აფეთქება. ამის თავიდან ასაცილებლად საჭიროა დამცავი ჩამიწება.

ცხრილი 11.2

ჰაერის სიჩქარის ცვალებადობა წნევის მიხედვით

ჰაერის წნევა, მგზა	0,6	0,6-1,0	1,0-2,0	2,0-3,0	3,0-10,0	10,0-20,0
ჰაერის სიჩქარე, მ/წმ	20,0	15	10	8	6	3,5

საკომპრესორო სადგურში მოწყობილობების განლაგებისას უნდა დავიცვათ სანიტარული ნორმები მექანიზმების მუშაობის საიმედოობისა და მომსახურების უსაფრთხოების მიზნით. ზამთარში ტემპერატურა საკომპრესოროში არ უნდა იყოს 10 °C-ზე ნაკლები, ხოლო ზაფხულში არა უმეტეს 26 °C.

11.7. კომპრესორული

დანადგარის მომსახურება და შეზეთვა

შეზეთვის მნიშვნელობა

• კომპრესორის ცილინდრების შეზეთვა აუცილებელია უსაფრთხო და გამართულად მუშაობისთვის.

• არასაკმარისი ზეთი → ზედაპირების გაძლიერებული ცვეთა, ნაწილების მწყობრიდან გამოსვლა ნაადრევად.

• ზედმეტი ზეთი → ნარჩენების დაგროვება მილებზე, აფეთქების საფრთხე.

დალექილი ზეთი მტკრით დაბინძურებისას გარდაიქმნება ნამწვად, რომელიც ადვილად აალებადია.

• ნამწვის დაგროვება → დგუშის გაჭედვა → კომპრესორის მწყობრიდან გამოსვლა.

• ამიტომ საპოხი ზეთის ხარისხს ენიჭება გადამწყვეტი მნიშვნელობა.

ზეთის თვისებები:

- აფეთქების ტემპერატურა $\geq 220-240$ °C;
- თვითაალების ტემპერატურა ≥ 400 °C;
- სიბლანტე, თერმული მდგრადობა, ქიმიური სტაბილურობა.
- გამოიყენება:
- საკომპრესორო ზეთი;
- გლიცერინის ზეთის ხსნარები.

ტექნიკური მომსახურება:

- ზეთის ტუმბოს გასუფთავება — ყოველ 1,5 თვეში;
- ზეთის ფილტრების გასუფთავება — ყოველ 2 თვეში.

პერსონალზე წაყენებული მოთხოვნები:

• მომსახურება ნებადართულია 18+ ასაკის პირებისთვის, ვინც გავლილი აქვთ უსაფრთხოების ინსტრუქტაჟი.

ცოდნის შემოწმება:

- მუშებისთვის — წელიწადში ერთხელ;
- ინჟინერ-ტექნიკური პერსონალისთვის — 3 წელიწადში ერთხელ.
- შენობაში უნდა იყოს ინსტრუქცია უსაფრთხო მომსახურებისათვის, თვალსაჩინო ადგილას.

კომპრესორის გაშვებამდე აუცილებელი შემოწმება, უნდა შემოწმდეს:

- შეზეთვის სისტემა;

- გაგრძელების სისტემა.

მუშაობის გაჩერების პირობები:

- კომპრესორი უნდა გაჩერდეს, თუ ტემპერატურა ან წნევა გადაცილებულია დასაშვებ ზღვარს;

- ხანგრძლივი გაჩერებისას → წყლისაგან დაცლა სპეციალური სარქველით.

ნამწვის მოცილება – ცილინდრის კედლებიდან ნამწვი იწმინდება:

- საპნის ხსნარით;
- 2-3%-იანი სულფანოიდის ხსნარით.

საკონტროლო ხელსაწყოები — კომპრესორი უნდა იყოს აღჭურვილი:

- მანომეტრებით;
- თერმომეტრებით;
- დამცავი სარქველებით.

დამატებითი განმარტება:

მუშეთვის რეჟიმის დარღვევა — ზეთის როგორც ნაკლებობა, ისე სიჭარბე — წარმოადგენს პირდაპირ საფრთხეს კომპრესორის უსაფრთხო ექსპლუატაციისთვის.

11.8. ქვაბები: დანიშნულება,

უსაფრთხოება და

ექსპლუატაცია

დანიშნულება:

საქვაბები გამოიყენება საწარმოების მომარაგებისთვის ორთქლითა და ცხელი წყლით — როგორც ტექნოლოგიური პროცესებისთვის, ისე გათბობისთვის.

ქვაბების კლასიფიკაცია:

- მაღალი წნევის ქვაბები — ორთქლის ($>0,07$ მგპა) და წყალსატბობი (>115 °C);
- დაბალი წნევის ქვაბები — ორთქლის ($<0,07$ მგპა) დამცავი მოწყობილობით და წყალსატბობი (<115 °C).

უსაფრთხოების მოთხოვნები:

- მაღალი წნევის ქვაბები დახშული სისტემებია და მოითხოვენ განსაკუთრებულ უსაფრთხოების წესებს.

- არასწორი ექსპლუატაციისას შესაძლებელია აფეთქება.

აფეთქების ძირითადი მიზეზები:

1. წყლის დონე არასაკმარისია (≥ 100 მმ საცეცხლის ზედა დონეზე);
2. მინაღუდის გაჩენა — სითბოს ცუდი გადაცემა იწვევს კედლის გადახურებას;
3. ქიმიური კოროზია — ლითონის სიმტკიცის შემცირება;
4. კონსტრუქციული ნაკლი და სხვა ფაქტორები.

აუცილებელი მოწყობილობები:

- წყლის დონესაზომი;
- მანომეტრი;
- ტუმბო;

- დამცავი სარქველი;
- სხვა დამხმარე მოწყობილობები.

საქვების შენობა:

- უნდა იყოს ცალკე შენობა, ორი გასასვლელით;
- კედლები — უწყვი მასალისაგან დამზადებული;
- სახურავი — მსუბუქი, ადვილად ახდადი;
- კარი — უნდა იღებოდეს გარეთ;
- ქვებებს შორის მანძილი ≥ 1 მ;
- საცეცხლურის მხრიდან მომსახურებისას ≥ 2 მ.

ჩაბერვა:

- ჩაბერვით მოწმდება სარქვლების გამართული მუშაობა;
- თუ $P_{მუშ} \leq 2$ მგპა $\rightarrow$ ერთი ჩაბერვა დღე-ღამეში;
- თუ $P_{მუშ} \geq 2$ მგპა $\rightarrow$ ერთი ჩაბერვა თითოეულ ცვლაში;
- ჩაბერვას ასრულებს ორი მემანქანე: ერთი აკვირდება წნევასა და წყალს, მეორე ადებს და კეტავს ონკანებს;
- თანმიმდევრობა: ჯერ იხსნება მეორე ონკანი, შემდეგ — პირველი; დაკეტვა ხდება შებრუნებული თანმიმდევრობით;
- შემოწმების შემდეგ წყლის დონე უნდა იყოს ≥ 3 სმ-ით მეტი დასაშვებზე;
- ტარდება 8–10 წუთის შემდეგ, როცა წყლის მიწოდება შეწყდება.



ნახ. 11.7. ორთქლის ქვების საერთო ხედი.

დამცავი სარქვლები:

გამოთვლა ხდება ფორმულით (11.13), რომელიც რეკომენდებულია საქართველოს ტექნიკური ზედამხედველობის სახელმწიფო ინსპექციის მიერ:

$$nd_{\text{სარქ}} h = \frac{Qg}{kP(t-c \cdot 10^2)}, \quad (11.13)$$

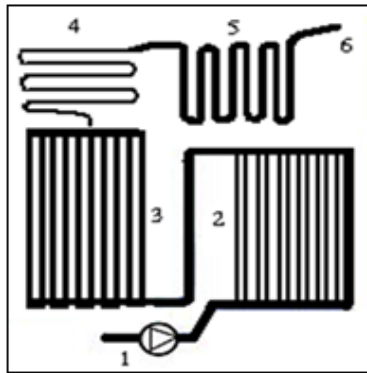
სადაც Q არის სითბოს მაქსიმალური რაოდენობა, კჯ; $g = 9,81 \text{ მ/წმ}^2$ — თავისუფალი ვარდნის აჩქარება; n — სარქველების რაოდენობა; h — სარქვლის აწევის სიმაღლე, მმ; $d_{\text{სარქ}}$ — სარქვლის დიამეტრი, მმ; k — კოეფიციენტი მცირე წნევის სარქვლებისათვის; P — მაქსიმალური დასაშვები წნევა, სარქვლის მთლიანად გაღების შემთხვევაში, მგპა; c — თბოტევადობა, კჯ/(კგ.°C).

სარქვლის მუშაობა მოწმდება სახელურის წამოწევით:

- მანომეტრის ისარი წითელ ზღვარზე გადასვლისთანავე სარქველი უნდა გაიღოს;
- სარქველი რეგულირდება წნევაზე, რომელიც ნორმალურზე ოდნავ მაღალია.

მანომეტრები და წყლის კონტროლი:

- ყველა ორთქლის ქვაბზე უნდა იყოს გამართული, შემოწმებული და დალუქული მანომეტრი;
- წყლის სიმაღლის კონტროლისთვის საჭიროა არანაკლებ ორი სიდრმესაზომი ხელსაწყო.



ნახ. 11.8. წყლისა და ორთქლის ცირკულაცია პირდაპირი გაცხელების ქვაბში:

1 - ტუმბო; 2 - ხარჯის მაკონტროლებელი; 3, 4 - აორთქლების მილსადენი; 5 - ორთქლის გადამეტხურება; 6 - მომხმარებელი.

მონტაჟის ადგილი:

- დაუშვებელია საქვაბეების მოწყობა საცხოვრებელი შენობების ახლოს ან შიგნით.
- თუ ახლოსაა → უნდა აშენდეს კაპიტალური კედელი და დაკმაყოფილდეს პირობა:

$$(t - 100)V \leq 5, \quad (11.14)$$

სადაც t არის სითბის ტემპერატურა შეკუმშვისას, °C; V — ქვაბის მოცულობა, მ³.

- საწარმოო შენობებში დასაშვებია ორთქლის ქვაბები, წარმადობა ≤ 4 ტ/სთ.
- წყალსატბობი ქვაბები უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას:

$$(t - 100)V \leq 100, \quad (11.15)$$

სადაც t არის ნაჯერი ორთქლის ტემპერატურა სამუშაო წნევაზე, °C; V — წყლის მოცულობა ქვაბში, მ³.

დამატებითი მოთხოვნები:

- ყველა არმატურა და საზომი ხელსაწყო უნდა იყოს ხელმისაწვდომი;

- საქვაბეებში დასაშვებია ელექტრული განათება ≤ 13 ვ;
- თხევად და აირის საწვავზე მომუშავე ქვაბების უსაფრთხოება უნდა იყოს დაცული სპეციალური ინსტრუქციის საფუძველზე;
- განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს ანთების პროცესს და აირის გაჟონვისას ქმედით ზომებს.

• **ბუნებრივი და ხელოვნური განათება:** ≥ 50 ლუქსი საზომ ხელსაწყოებზე, ≥ 20 ლუქსი დანარჩენ ადგილებში.

- **ვენტილაცია:**
- ზამთარში ≥ 12 °C
- ზაფხულში $\leq$ გარე ტემპერატურა $+5$ °C

რეგისტრაცია:

- მაღალი წნევის ყველა ქვაბი ($>0,07$ მგპა, ≤ 50 °C) უნდა იყოს **სახელმწიფო ზედამხედველობაში რეგისტრირებული.**

პერიოდული შემოწმება:

- **შინაგანი დათვალიერება** — ყოველ 4 წელიწადში;
- **ჰიდრავლიკური გამოცდა** — 2-8 წლის შუალედში მაღალი წნევის მოწყობილობის დანიშნულებიდან გამომდინარე;
- გაშვებამდე, შეკეთების შემდეგ და ექსპლუატაციისას — **ჰიდრავლიკური გამოცდა.**

ჰიდრავლიკური გამოცდა:

- ტარდება **1,5-ჯერ უფრო მაღალ სამუშაო წნევაზე** (სტანდარტი ASME BPVC VIII-1 მიუთითებს კოეფიციენტს 1,3, ევროპული სტანდარტი EN 13445 – კოეფიციენტს 1,25, ხოლო ISO 4126 საერთოდ არ მიუთითებს რიცხვით მონაცემს);
- ქვაბი უნდა დაყოვნდეს 5 წუთით;
- შედეგი დამაკმაყოფილებელია, თუ **ბზარები, რღვევები და დეფორმაციები არ იჩენს თავს.**

ცირკულაცია:

- ყველა ქვაბი უნდა მუშაობდეს **წყლის მუდმივი ცირკულაციის პირობებში;**
- დარღვევა $\rightarrow$ სისტემის დაზიანება.

დამატებითი განმარტებები:

- ქვაბების უსაფრთხო ექსპლუატაცია მოითხოვს კონსტრუქციულ სიზუსტეს, რეგისტრაციას, პერიოდულ შემოწმებას, განათებისა და ვენტილაციის ნორმების დაცვას და დამცავი სარქველების სწორ გამოყენებას.

- ხაზგასმულია ჩაბერვის აუცილებლობა, დამცავი სარქველების სწორი მუშაობა, მონტაჟის უსაფრთხო ადგილის შერჩევა და საწვავის გამოყენების სპეციფიკური წესები.

11.9. მაღალი წნევის მილსადენების უსაფრთხო ექსპლუატაცია

ზოგადი მოთხოვნები:

ტექნიკური ზედამხედველობის სახელმწიფო ინსპექციის მიერ დამტკიცებულია წესები, რომლებიც შეეხება:

- მაღალი წნევის მილსადენების მონტაჟსა და ექსპლუატაციას;
- მილსადენებს, რომლებიც გამოიყენება აირისა და სითხის ტრანსპორტირებისთვის 120 °C-ზე მეტი ტემპერატურისა და 0,1 მგპა-ზე მეტი წნევის პირობებში.

განგარიშება და კონსტრუქცია:

- მილსადენის ზომები შეირჩევა გადასატანი მასალის ხარისხისა და რაოდენობის მიხედვით;
- ყველაზე ფართოდ გამოიყენება ფოლადის მილსადენები, რომელთა შეერთება ხდება შედუღებით;
- ცხელი ორთქლისა და წყლის მილსადენები (>45 °C) უნდა იყოს საიზოლაციო მასალით შეფუთული.

ფერების კოდირება უსაფრთხოებისთვის:

- გადახურებული ორთქლი → წითელ ფონზე შავი ზოლები;
- ტექნიკური წყალი → მწვანე ფონზე შავი ზოლები;
- შეკუმშული ჰაერი → ლურჯ ფონზე შავი ზოლები.

თერმული ცვლილებები:

სიგრძის ცვლილება იანგარიშება ფორმულით:

$$\Delta L = \alpha L(t_2 - t_1), \quad (11.16)$$

სადაც ΔL არის მილსადენის სიგრძის ნაზარდი, მ; L – მილსადენის საწყისი სიგრძე, მ; α – ხაზური გაფართოების კოეფიციენტი; t_1, t_2 – საწყისი და საბოლოო ტემპერატურა, °C.

თერმული დაწევა იანგარიშება ფორმულით:

$$\sigma_1 = E \frac{\Delta L 10^{-3}}{L}, \quad (11.17)$$

სადაც σ_1 არის თერმული დაწევა, მგპა; E – დრეკადობის მოდული მოცემული მილსადენისათვის, პა.

მონტაჟის მოთხოვნები:

- გზების ქვეშ → დაშორება $\geq 4,5$ მ მიწის ზედაპირიდან;
- სარკინიგზო ხაზებზე → ჩაღრმავება ≥ 6 მ;
- ჰორიზონტალური უბნები → ქანობი $\geq 0,1\%$ (დრენაჟით);
- მილსადენები შესაძლებელია დამონტაჟდეს **შენობის კედლებსა და არხებში**;
- ცხელი წყლისა და ორთქლის კომუნიკაციები უნდა იყოს **ადვილად მისადგომი**;
- შეერთება მხოლოდ **შედულებით**;
- გაყინვის თავიდან ასაცილებლად ჰაერსადენს უნდა გაუკეთდეს თბოიზოლაცია;
- ელექტრო ხაზებიდან დაშორება $\geq 0,5$ მ;
- დამაგრება მხოლოდ **ცეცხლგამძლე კონსტრუქციებზე**;
- გათბობა მხოლოდ **ცხელი წყლით**;
- გასუფთავება ზეთიანი მინარევებისგან ≥ 6 თვეში ერთხელ.

მაღალი წნევის მილსადენების
უსაფრთხო ექსპლუატაცია

☐ იზოლირება მილსადენს ესაჭიროება
იზოლაცია

☐ ფერების კოდირება საჭიროა
უსაფრთხო იდენტიფიკაციისათვის

☐ თერმული ცვლილებები
უნდა გაანგარიშდეს

☐ მონტაჟის მოთხოვნები
განლაგების მინიმალური სიღრმე დადგენილია

☐ რეგისტრაცია ხდება
ქვანისპექციის მიერ

ფიგ. 11.9. მილსადენების უსაფრთხო ექსპლუატაციის
ვიზუალური სქემა.

ექსპლუატაციის პირობები:

- ყველა მაღალი წნევის ჰაერსადენს უნდა ჰქონდეს **პასპორტი**, სადაც აღინიშნება შემოწმებები და ცვლილებები.
- ექსპლუატაცია ხდება:
- **ქვანისპექციის ნებართვით**, თუ რეგისტრირებულია;
- **ადმინისტრაციის პასუხისმგებელი პირის ნებართვით**, თუ არ არის რეგისტრირებული.

11.10. აირის ბალონები: კონსტრუქცია, ექსპლუატაცია და უსაფრთხოება

კონსტრუქცია და ტევადობა:

ბალონები მზადდება ნახშირბადიანი ან ლეგირებული ფოლადისგან, ცილინდრული ფორმით, ამოზნექილი ძირით და ვიწრო ყელით. მათი გამოყენება შესაძლებელია -50-დან +50 °C ტემპერატურათა დიაპაზონში. ტევადობით განასხვავებენ მცირე (12 ლ-მდე), საშუალო (50 ლ-მდე) და დიდ ბალონებს. საშუალო წნევა მაქსიმუმ 19,6 მგპა-მდეა.

აფეთქების მიზეზები:

ბალონები ყოველთვის წარმოადგენენ აფეთქების საფრთხეს, განსაკუთრებით აცეტილენიანი. ჟანგბადის ბალონებში ზეთის ან ცხიმის მოხვედრა ვენტილში იწვევს აფეთქებას. ასევე საშიშია ბალონის გადახურება, ვენტილის მოწყვეტა, ჩამოვარდნა, არასწორი აირით შევსება და ნორმაზე სწრაფად შევსება.

უსაფრთხო ექსპლუატაცია:

თხევადი აირით შევსებული ბალონის წნევა და ტემპერატურა დაკავშირებულია თბური გაფართოების და შეკუმშვის კოეფიციენტებთან. დამცავი სარქველი უნდა შეირჩეს ისე, რომ ორთქლის წნევა არ აღემატებოდეს მუშა წნევას 15%-ზე მეტად. ბალონის თავისუფალი მოცულობა, რომელიც კომპენსირებას უკეთებს აირის გაფართოებას, შეადგენს საერთო მოცულობის დაახლოებით 10%-ს.

მარკირება და ვადა:

ბალონების მარკირება მოიცავს ქარხნის სასაქონლო ნიშანს, ბალონის ნომერს, დამზადებისა და გამოცდის თარიღს, მომდევნო გამოცდის თარიღს, თერმული დამუშავების სახეობას, მუშა და საცდელ წნევას, მოცულობას და მასას. გარანტიული ვადა არის 2 წელი.

ბალონებთან მუშაობის ნებართვა:

აირის ბალონებთან მუშაობის უფლება აქვთ მხოლოდ სპეციალურად მომზადებულ და სერტიფიცირებულ პირებს, რომლებიც ფლობენ ტექნიკური ზედამხედველობის სახელმწიფო ინსპექციის მიერ დადგენილ ნორმებს.

- ნებართვა გაიცემა მხოლოდ იმ თანამშრომლებზე, ვინც გაიარა შესაბამისი სწავლება და გამოცდა.
- ბალონების შევსება, გადატანა და ექსპლუატაცია უნდა განხორციელდეს მხოლოდ ამ ნებართვის მქონე პერსონალის მიერ. მთლიანად შევსებული ბალონის წნევასა და ტემპერატურას შორის არის შემდეგი დამოკიდებულება:

$$P = \frac{\alpha}{\beta} \cdot \Delta t, \quad (11.18)$$

სადაც α არის თბური გაფართოების კოეფიციენტი; β – მოცულობითი შეკუმშვის კოეფიციენტი.

ექსპლუატაციის შეზღუდვები – დაუშვებელია ბალონების გამოყენება შემდეგ შემთხვევებში:

- შემოწმების ვადა გასულია;
- აქვთ გარე დაზიანებები;

არ არიან შეღებილი შიგთავსის შესაბამისი ფერით.

აირი **არ უნდა დაიხარჯოს ბოლომდე** — ბალონში უნდა დარჩეს **ნარჩენი წნევა ≈ 0.05 მგპა**, რათა მომდევნო შევსებისას დადგინდეს აირის ტიპი.

შესაძლებელი შეცდომების თავიდან აცილების მიზნით, საჭირო აირით შევსებული ბალონების შერჩევის დროს, მათ ღებავენ სხვადასხვა ფერის საღებავებით. ფერების შესაბამისობა ბალონების შიგთავსთან მოცემულია 11.3 ცხრილში.

ცხრილი 11.3

ბალონების შეღებვა და სათანადო წარწერების გაკეთება

აირი	აირის მდგომარეობა	სამუშაო წნევა, კგ/სმ ²	ბალონის შეღებვის ფერი	ბალონის წარწერა	წარწერის ფერი
აცეტილენი	გახსნილი	19	თეთრი	აცეტილენი	წითელი
ბუთანი	გათხევადებული	16	წითელი	ბუთანი	თეთრი
წყალბადი	შეკუმშული	150	მუქი-მწვანე	წყალბადი	წითელი
ჟანგბადი	შეკუმშული	150	ცისფერი	ჟანგბადი	შავი
მეთანი	შეკუმშული	150	წითელი	მეთანი	ყვითელი
პროპანი	გათხევადებული	16	წითელი	პროპანი	ყვითელი



ნახ. 11.10. ბალონების შეღებვა და მარკირება:

- 1 - ჟანგბადი (ბალონი - ღია ცისფერი, წარწერა - შავი, შეკუმშული);
- 2 - წყალბადი (ბალონი - მუქი მწვანე, წარწერა - წითელი, შეკუმშული);
- 3 - პროპანი (ბალონი - წითელი, წარწერა - ყვითელი, გათხევადებული).

აირის თერმულ გაფართოებას აკომპენსირებს ბალონის თავისუფალი მოცულობა, რაც შეადგენს ბალონის საერთო მოცულობის დაახლოებით 10% და იანგარიშება ფორმულით:

$$V_H = a \cdot V(t_2 - t_1), \quad (11.19)$$

სადაც V_H არის ბალონის თავისუფალი მოცულობა, მ³; a – თბური გაფართოების კოეფიციენტი; V – ბალონის საერთო მოცულობა, მ³; t_1, t_2 – აირის საწყისი და საბოლოო ტემპერატურა, °C.

ბალონის თავისუფალი მოცულობა უზრუნველყოფს ბალონის უსაფრთხოებას ექსპლუატაციის მთელ პერიოდში.

მოკლე შენიშვნა: ერთეულთა საერთაშორისო სისტემით მეგაპასკალებში მოცემული სამუშაო წნევა 'მრგვალი რიცხვებით' არის განსაზღვრული ერთეულთა ტექნიკური სისტემით:

9,8 მგპა = 100 კგ/სმ², ანუ 100 ატმოსფერო;

14,7 მგპა = 150 კგ/სმ², ანუ 150 ატმოსფერო;

19,6 მგპა = 200 კგ/სმ², ანუ 200 ატმოსფერო.

11.11. კითხვები

გამეორებისათვის მოკლე

პასუხებით

1. რა არის მაღალი წნევის მოწყობილობა? → ჭურჭელი/დანადგარი, რომელიც მუშაობს >0.07 მგპა.
2. რა არის ძირითადი საფრთხე? → აფეთქება და ხანძარი.
3. რა არის აფეთქების მუშაობის ფორმულა? → $A = PV/(k - 1)[1 - (P^2/P^1)^{(k-1)}/k]$.
4. რა არის k? → ადიაბატის მაჩვენებელი.
5. ჰაერისთვის k რიცხობრივად რამდენია? → ~1,41.
6. როგორ განისაზღვრება k? → $k = c_p/c_v$.
7. რა არის აფეთქების სიმძლავრის ფორმულა? → $N = A/t$.
8. რა არის 1 პა? → 1 ჯ/მ³.
9. რა არის ჭარბი წნევა? → ატმოსფერულზე მეტი წნევა.
10. რა არის ინსპექტორის მოვალეობა? → ტექნიკური გამართულობის შემოწმება.
11. რა სიხშირით ხდება გარე/შიგა შემოწმება? → ყოველ 4 წელიწადში.
12. რა სიხშირით ხდება ჰიდრავლიკური გამოცდა? → 2-8 წლის შუალედში მაღალი წნევის მოწყობილობის დანიშნულებიდან გამომდინარე.
13. რა შემთხვევაში ხდება ვადაზე ადრე შემოწმება? → რემონტის, უმოქმედობის ან ახალ ადგილზე გადატანის შემდეგ.
14. რა არის $\sigma_{გაგ}$? → დროებითი წინაღობა.
15. რა არის $\sigma_{დზ}$? → დენადობის ზღვარი.
16. რა არის $\alpha_{დარ}$? → დარტყმის სიბლანტე.
17. რა არის $\sigma_{ღ}$? → ღუნვის წინაღობა.
18. ნახშირბადიანი ფოლადის $\sigma_{დზ}/\sigma_{გაგ} \leq ?$ → 0,6.
19. ლეგირებული ფოლადის $\sigma_{დზ}/\sigma_{გაგ} \leq ?$ → 0,7.
20. რა არის ჰიდრავლიკური გამოცდის მიზანი? → სიმტკიცის შემოწმება.
21. რა არის ლიუკის მინ. დიამეტრი? → ≥80 მმ.

22. რას უდრის შემოკირვის სასვლელის ზომა? → 400×450 მმ ან ≥ 450 მმ დიამეტრი.
23. რამდენია ინსპექტორის მინიმალური ასაკი? → 18 წელი
24. რა სიხშირით ხდება ატესტაციის გადამოწმება? → ყოველ 12 თვეში.
25. რა შემთხვევაში უნდა შეწყდეს ექსპლუატაცია? → წნევის გადაჭარბებისას, ბზარის აღმოჩენისას, სარქვლის გაუმართაობისას.
26. რა არის აკრძალული ბალონზე? → შემოწმების ვადის გასვლა, დაზიანებული კორპუსი, არასწორი წარწერა ან შეღებვა.
27. რა იწვევს კომპრესორის აფეთქებას? → ზეთის აალება, გადახურება, მტვერი.
28. რა იწვევს ჟანგბადის ბალონის აფეთქებას? → ზეთის მოხვედრა ვენტილში.
29. რა არის ძირითადი პრევენცია? → მართებული კონსტრუქცია და რეგისტრაცია.
30. რა არის ძირითადი მოთხოვნა მასალებზე? → სიმტკიცე, დრეკადობა, თბოგამტარობა.

11.12. პრაქტიკული გაანგარიშების ნიმუშები

• მაგალითი 1:

თუ ბალონში $P_1 = 8$ მგპა; $P_2 = 0,1$ მგპა; $V = 0,05$ მ³; $k = 1,41$ → გამოვთვლით აფეთქების მუშაობას

საანგარიშო ფორმულა:

$$A = \frac{P_1 \cdot V}{k-1} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right].$$

ნაბიჯები:

1. წნევების შეფარდება (იხ. საანგარიშო ფორმულა):

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{1 \times 10^5}{8 \times 10^6} = 0,0125.$$

2. ექსპონენტის გამოთვლა:

$$\frac{k-1}{k} = \frac{0,41}{1,41} \approx 0,291.$$

$$\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{0,291} = (0,0125)^{0,291} \approx 0,33.$$

3. ფრჩხილის გახსნა:

$$1 - 0,33 = 0,67.$$

4. გამრავლება:

$$\frac{P_1 \cdot V}{k-1} = \frac{8 \times 10^6 \times 0,05}{0,41} = \frac{400000}{0,41} \approx 975\,610.$$

5. საბოლოო შედეგი:

$$\text{აფეთქების მუშაობა } A = 975610 \cdot 0,67 \approx 653\,000 \text{ ჯ.}$$

იმავე მაგალითისათვის სიმძლავრის გამოთვლა დროის სხვადასხვა შუალედისათვის:

ჩვენ უკვე მივიღეთ აფეთქების მუშაობა 653 000 ჯ;

სიმძლავრის საანგარიშო ფორმულა: $N = \frac{A}{t}$.

გამოთვლები:

1. $t = 0,1$ წმ: $N = \frac{6,53 \times 10^5}{0,1} = 6,53 \times 10^6$ ვტ = 6,53 მგვტ;

2. $t = 0,05$ წმ: $N = \frac{6,53 \times 10^5}{0,05} = 1,306 \times 10^7$ ვტ = 13,06 მგვტ;

3. $t = 0,01$ წმ: $N = \frac{6,53 \times 10^5}{0,01} = 6,53 \times 10^7$ ვტ = 65,3 მგვტ.

შედეგი:

- აფეთქების სიმძლავრე დამოკიდებულია დროის ინტერვალზე.
- რაც უფრო სწრაფად ხდება გაფართოება, მით უფრო მაღალია სიმძლავრე, ანუ დროის მიხედვით უკუპროპორციულობა ჩანს.
- მაგალითად, 0,01 წმ-ში აფეთქების დასრულებისას მისი სიმძლავრე აღწევს **65 მეგავატს**, რაც უდრის დიდი ელექტროსადგურის სიმძლავრეს.

• მაგალითი 2:

ჰაერში აფეთქების სიმძლავრის ანგარიში:

მოცემულია აფეთქების მუშაობა $A = 5000$ ჯ;

დროის შუალედი, როცა მოხდა აფეთქება $t = 0,1$ წმ.

სიმძლავრის გაანგარიშება $\rightarrow N = \frac{5000}{0,1} = 50000$ ვტ = 50 კვტ.

სავარჯიშოები სტუდენტებისთვის:

1. გარდაქმნით 0,07 მგპა პასკალებში, ატმოსფეროში და კგ/სმ²-ში.

პასუხი: 70 000 პა $\approx$ 0,69 ატმ $\approx$ 7,14 კგ/სმ².

2. რამდენი ატმოსფეროა 2.5 მგპა?

პასუხი: $\frac{2,5 \times 10^6}{101\,325} \approx 24,7$ ატმ

3. 1 მგვტ-ის გარდაქმნა კგ/სმ²-ში.

პასუხი: $\frac{1 \times 10^6}{9\,800} \approx 102$ კგ/სმ².

გამოსაყენებელი სტანდარტები:

ISO 4126 — უსაფრთხოების სარქველები;

EN 13445 — ჭურჭლების კონსტრუქცია;

ASME BPVC — საერთაშორისო კოდექსი;

IEC 61508 — ფუნქციური უსაფრთხოება;

ILO — შრომის უსაფრთხოების ნორმები.

12. ცემენტის წარმოება

12.1. გზამკვლევი მეთოდები თავისათვის

მონაცემები ცემენტის წარმოებისთვის (2020–2025): გლობალური თვალსაზრისით ცემენტის წარმოება კვლავ რჩება ერთ-ერთ ყველაზე ენერგოინტენსიურ და გარემოზე მკვეთრად უარყოფითად მოქმედ – დამაბინძურებელ სექტორად. 2023 წელს ინდუსტრიამ გამოყო დაახლოებით 2,4 მილიარდი ტონა CO_2 (მსოფლიოს საერთო ემისიების ~6%). 2025 წლისთვის წარმოება აღემატება 4 მილიარდ ტონას და კვლავ მოსალოდნელია ~8%-ზე მეტი CO_2 -ის ემისია საერთო გლობალური რაოდენობიდან.

მითითებული პერიოდის ძირითადი გარემოსდაცვითი მაჩვენებლები კრებსითი სახით წარმოდგენილია ცხრილში 12.1.

ცხრილი 12.1

ძირითადი გარემოსდაცვითი მაჩვენებლები (2020-2025)

მაჩვენებელი	2020	2023	2025 (პროგნოზი)	შენიშვნა
CO_2 ემისიები	~2,3 გტ (გიგა-ტონა, იხ. აგრეთვე დანართი, ცხრ. დ.8)	2,4 გტ [8]	>4 გტ [11]	ინდუსტრია მსოფლიოში მე-4 უმსხვილესი დამაბინძურებელია
NO_x	მაღალი დონე	სტაბილური	შემცირების მცდელობები (წყლის ინექცია, დაბალი- NO_x საწვავები) [14]	ძირითადი წყარო ღუმელები
SO_2	რეგიონულად განსხვავებული	გოგირდის მაღალი შემცველობისა ს იზრდება	სკრუბერები და $CaO/Ca(OH)_2$ ადსორბენტები გამოიყენება [5]	-
მტვერი (PM10/PM2.5)	მაღალი	კონტროლი ფილტრებით	დახურული სისტემები, ციკლონები, ქსოვილის ფილტრები [5]	-
ენერგიის მოხმარება	~3,3 გიგა-ჯ/ტ	სტაბილური	მცირდება ალტერნატიული საწვავის გამოყენებით [14]	-

ცხრილში 12.1 წარმოდგენილი ემისიების შემცირების პრაქტიკული მაგალითები გვხვდება გერმანიაში, თურქეთსა და დანიაში.

- **Heidelberg Cement (გერმანია)** – NO_x-ის შემცირება ხორციელდება ღუმელში წყლის ინექციის გზით.

- **თურქეთი** – კლინკერის მაცივრის სითბოს რეკუპერაცია გამოიყენება ელექტროენერგიის წარმოებისთვის, რაც ზრდის რენტაბელურობას.

- **დანია** – RDF (Refuse Derived Fuel — ნარჩენებზე დაფუძნებული საწვავი) გამოიყენება ქვანახშირის ნაცვლად. ამ მაგალითზე უფრო დეტალურად შეჯერდებით.

დანიაში წარმატებით ხორციელდება ევროპის ცემენტის ინდუსტრიის სტრატეგია, რომლის მიზანია 2050 წლისთვის საწვავის 60%-ზე მეტი ნარჩენებზე დაფუძნებული იყოს. დანია ამ მიმართულებით ერთ-ერთ ლიდერად ითვლება.

- **ალტერნატიული საწვავი:** მრავალი დანიური ქარხანა უკვე ცვლის ქვანახშირს მუნიციპალური ნარჩენებით, ბიომასით და უსაფრთხო სამრეწველო ნარჩენებით.

- **Co-processing — ერთობლივი გადამუშავება:** ეს პროცესი გულისხმობს ენერგიის მიღებას და მასალის გადამუშავებას ერთდროულად, რაც შეესაბამება **ცირკულარული ეკონომიკის** პრინციპებს.

დანის მაგალითი წარმოდგენილია შედარებით ცხრილში 12.2.

ცხრილი 12.2

საწვავის წყაროები ცემენტის წარმოებაში [54, 55]

საწვავის წყარო	გამოყენება დანიაში	გარემოსდაცვითი ეფექტი
ქვანახშირი	მინიმუმამდე დაყვანილი	მაღალი CO ₂ , NO _x
ბუნებრივი აირი	შეზღუდულად	შედარებით ნაკლები CO ₂
ნარჩენები (RDF, მუნიციპალური, სამრეწველო)	ფართოდ გამოყენებული	ამცირებს ნარჩენების რაოდენობას და ორგანულ საწვავს
ბიომასა	მზარდი წილი	განახლებადი, დაბალი ემისიები

რატომ არის მნიშვნელოვანი ცხრილი 12.2:

- **ეკოლოგიური სარგებელი:** ნარჩენების გამოყენება ამცირებს CO₂ ემისიებს და ამცირებს ნაგავსაყრელების დატვირთვას.

- **ეკონომიკური სარგებელი:** საწვავის ხარჯი მცირდება, რადგან ნარჩენები ხშირად უფრო იაფია, ვიდრე ქვანახშირი ან გაზი.

- **სტრატეგიული სარგებელი:** დანია აძლიერებს ენერგეტიკულ უსაფრთხოებას, რადგან ნაკლებად არის დამოკიდებული იმპორტირებულ ქვანახშირზე.

12.2. ცემენტის წარმოების სახიფათო და მავნე ფაქტორები

შრომის, ჯანმრთელობისა და გარემოს დაცვის საერთაშორისო ტექნიკური ნორმები და ცნობარები — შჯგდ ნორმები (Environmental, Health, and Safety Guidelines for Cement and Lime Manufacturing — EHSGLM) — მოიცავს მაგალითებს დარგის საერთაშორისო პრაქტიკიდან. აღნიშნული ტექნიკური დოკუმენტაციის გამოყენება უნდა იყოს ჰარმონიზებული საშიშროებისა და რისკების ფაქტორებთან, რომლებიც განსაზღვრული და შეფასებული უნდა იქნეს თითოეული კონკრეტული პროექტისათვის ეკოლოგიური მოთხოვნების გათვალისწინებით.

ეკოლოგიური შეფასებისას აუცილებელია გათვალისწინდეს ქვეყნის სპეციფიკა, გარემოს ასიმილაციის შესაძლებლობები და სხვა ფაქტორები. კონკრეტული ტექნიკური რეკომენდაცია უნდა გამოიყენოს მხოლოდ კვალიფიციურმა და გამოცდილი სპეციალისტების დასკვნის საფუძველზე.

თუ საერთაშორისო მოთხოვნები და ქვეყნის მოთხოვნები ტექნიკური რეგლამენტაციის სფეროში ერთმანეთს არ ემთხვევა, მაშინ საერთაშორისო საფინანსო კორპორაციის (International Finance Corporation — IFC) მიერ დაფინანსებულ პროექტებში უნდა გამოყენებულ იქნეს უფრო მკაცრი მოთხოვნები.

ცემენტის წარმოებაში გამოიყენებოდა და კვლავ გამოიყენება ღუმელების სხვადასხვა ტიპი, რომლებიც მუშაობენ სხვადასხვა პრინციპით:

- **PHP (Preheater-Precalciner Kiln)** — წინასწარი გახურებისა და გამოწვის პრინციპით;
- **PH (Preheater Kiln)** — მხოლოდ წინასწარი გახურების პრინციპით;
- **LD (Long Dry Kiln)** — ხანგრძლივი შრობის პრინციპით.

ყველა მათგანი შეიძლება მუშაობდეს ნახევრად მშრალი, ნახევრად სველი და სველი წესებით. ეკოლოგიური მაჩვენებლების მიხედვით უპირატესობა ენიჭება PHP ღუმელებს. ასევე გამოიყენება მახტური ტიპის ღუმელები, რომლებიც ეკონომიკურად ხელსაყრელია მხოლოდ მცირე წარმოებისთვის და, როგორც წესი, მათზე უარს ამბობენ მოწყობილობების შეცვლისას ან წარმოების მოდერნიზაციისას.

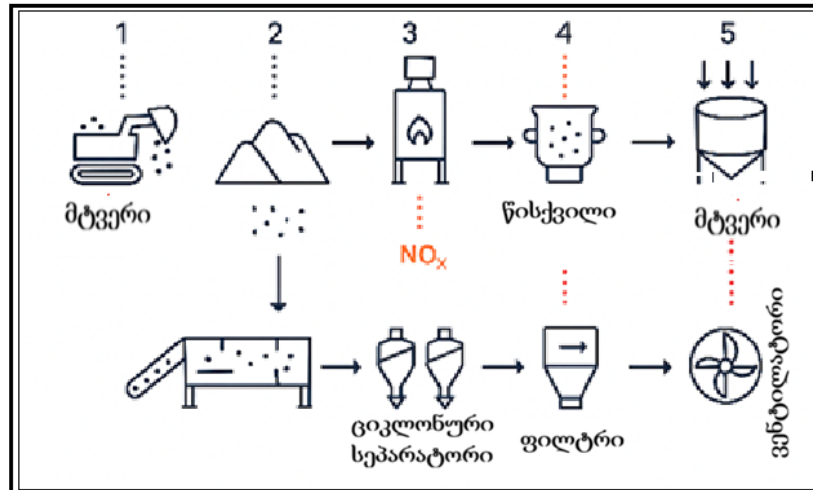
ნედლეულის გადასამუშავებლად ცემენტის წარმოებას სჭირდება დიდი რაოდენობის ენერგია. კლინკერის მისაღები ნედლეული ძირითადად შედგება:

- კირქვისაგან (CaCO_3);
- თიხისაგან (ალუმინის სილიკატებისაგან);
- ქვიშისაგან (SiO_2);
- რკინის მადნისაგან.

კლინკერს ფქვავენ თაბაშირთან ან კირქვასთან ერთად და იღებენ ცემენტს. წარმოების პროცესი სქემატურად წარმოდგენილია ნახ. 12.1-ზე.

წინასწარი შერევის შემდეგ ნედლეულს ფქვავენ ერთგვაროვანი ნარევის მისაღებად. დაფქვის ხარისხსა და ნაწილაკების ზომას დიდი მნიშვნელობა აქვს კლინკერის გამოწვის ხარისხისთვის.

შემდეგი ეტაპია როტაციულ ღუმელში კალცინირება — CaCO_3 -ის დაშლა დაახლოებით $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურაზე. ამ დროს გამოიყოფა CO_2 (ნახშირბადის დიოქსიდი), ანუ სათბურის აირი, და მიიღება ჩაუმქრალი კირი (CaO).



ფიგ. 12.1. ცემენტის წარმოების პროცესის მიმდინარეობა (ნედლეული → კლინკერი → გაგრილება → დაფქვა → შენახვა).

შემდეგი ეტაპია **კლინკერის მიღება**: ჩაუმქრალი კირი (CaO) უფრო მაღალ ტემპერატურაზე ($1400\text{--}1500\text{ }^{\circ}\text{C}$) რეაქციაში შედის სილიციუმის ოქსიდებთან, ალუმინისა და რკინის ოქსიდებთან. საჭირო შემადგენლობის მისაღებად ნედლეულის ნარევიში შესაძლებელია დამატებითი კომპონენტების ჩართვა (მაგ., კვარცის ქვიშა, საყალიბო ქვიშა, რკინის ოქსიდის ნარჩენები, ალუმინის ოქსიდის ნარჩენები, ბრძმედის წიდა, თაბაშირის ნარჩენები). ამ დროს ღუმელში ცეცხლის ალისა და წარმოქმნილი აირების ტემპერატურა აღწევს $\sim 2000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

კლინკერის გაცივება: ღუმელიდან გამოსული ცხელი კლინკერი სწრაფად უნდა გაცივდეს სპეციალურ მაცივარში, რათა გაიზარდოს მისი ხარისხი. ენერგიის რეკუპერაციის მიზნით მაცივარში ხდება მეორადი ჰაერის გახურებაც. თანამედროვე წარმოებაში ძირითადად გამოიყენება ცეცხლრიკიანი მაცივრები, რომლებიც შეცვლიან ძველ სატელიტურ მაცივრებს.

დაფქვა და საბოლოო პროდუქტი: გაცივებული კლინკერი იფქვება თაბაშირთან და კირქვასთან ერთად, რის შედეგად მიიღება პორტლანდცემენტი. სხვა კომპონენტების დამატებით მიიღება კომპოზიციური ან მრავალკომპონენტიანი ცემენტი.

შენახვა: მიღებული ცემენტი ინახება ან ტომრებში, ან სილოსებში. სილოსებში — ნაყარი სახით; ტომრებში — ხის პალეტებზე დაწყობილი. პალეტები უნდა იყოს სტანდარტული ზომისა და სიმტკიცის, შესაძლებელია ბორბლებით ან მათ გარეშე.

ეკოლოგიური კონტროლი: წარმოების პროცესში აუცილებელია კონტროლი შემდეგზე:

1. ატმოსფერული გაფრქვევები;
2. გამოყენებული ენერგიისა და საწვავის სახეები;
3. ჩამდინარე წყლები;
4. მყარი ნარჩენები;
5. ხმაური.

დამატებითი შენიშვნა: ცემენტის წარმოება მსოფლიო CO₂ ემისიების ~6–8% შეადგენს.

12.3. გაფრქვევები ატმოსფეროში

ატმოსფერული გაფრქვევების ძირითადი წყაროებია:

1. ნედლეულის და მზა პროდუქციის დატვირთვა-განტვირთვა;
2. ნედლეულის, საშუალო პროდუქტებისა და მზა პროდუქციის დასაწყობება;
3. გამოსაწავი ღუმელების მუშაობა;
4. წისქვილების მუშაობა;
5. კლინკერის მაცივრების მუშაობა.

მტვრის შემცირების ღონისძიებები:

- მრავალგზისი დატვირთვა-განტვირთვის თავიდან აცილება;
- დახურული ლენტური კონვეიერების გამოყენება;
- ცარიელი ლენტების გაწმენდის ორგანიზება;
- დაფქული ნედლეულის შენახვა დახურულ ბუნკერებში;
- ქვანახშირისა და კოქსის შენახვა დახურულ სილოსებში;
- ნარჩენების შენახვა ქარისგან მოფარებულ ადგილებში;
- კლინკერის შენახვა დახურულ ბუნკერებში ავტომატური მტვრის არინებით;
- ცემენტის შენახვა სილოსებში ავტომატური დატვირთვის სისტემით;
- ტექნიკური მომსახურების რეგლამენტის დაცვა ჰაერისა და წყლის გაჟონვის თავიდან ასაცილებლად;

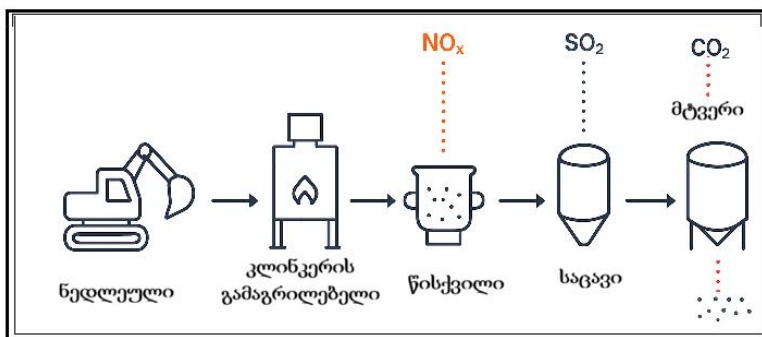
• მასალების დამუშავება დახურულ სისტემაში, სადაც წნევა ატმოსფერულზე ნაკლებია და ჰაერი ციკლონებისა და ქსოვილის ფილტრების გავლით ბრუნდება ატმოსფეროში;

• ტომრებში ცემენტის ჩატვირთვის მაქსიმალური ავტომატიზაცია (როტაციული მანქანები, წონის ავტომატური კონტროლი, ლენტური კონვეიერები, დახურული ნაკვეთური პალეტებისთვის).

ღუმელებისა და მაცივრების კონტროლი:

- მტვრის შეკრება ფილტრებით და მისი უკან დაბრუნება ღუმელში ან მაცივარში;
- წვრილი ნაწილაკების კონტროლი ელექტროსტატიკური ან ქსოვილის ფილტრებით;

- მაცივრის აირის გაწმენდა ციკლონებით და ქსოვილის ფილტრებით (CO კონცენტრაცია $\leq 0.5\%$ — ფეთქებადობის თავიდან ასაცილებლად, გადაჭარბების შემთხვევაში სენსორი ავტომატურად თიშავს კვებას);
- წისქვილებიდან მტვრის შეკრება ქსოვილის ფილტრებით და მისი უკან დაბრუნება (ელექტროფილტრის გამოყენება მიზანშეუწონელია).



ფიგ. 12.2. ატმოსფერული გაფრქვევების წყაროები და კონტროლის მექანიზმები.

ცემენტის წარმოებაში ენერგიის წყაროდ ჩვეულებრივ გამოიყენება საწვავის წვა, რის შედეგადაც წარმოიქმნება გამონაბოლქვი აირები. ნორმები 50 მგვტ-მდე თბურ სიმძლავრეზე მოცემულია მჯგდ სახელმძღვანელოში, ხოლო უფრო დიდი სიმძლავრეებისთვის გამოიყენება თბური ელექტროსადგურების რეგულაციები.

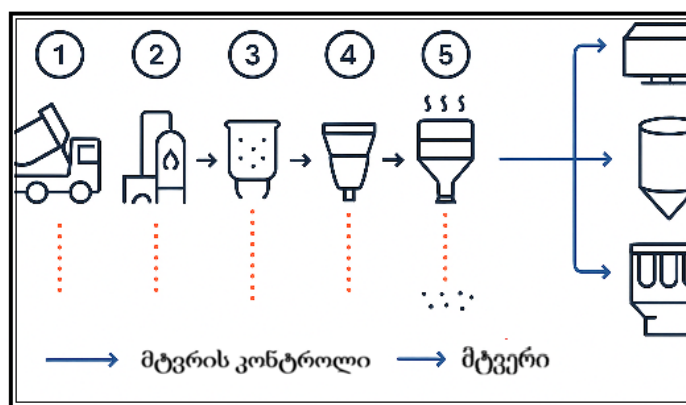
აზოტის ოქსიდები (NO_x):

- NO_x წარმოიქმნება მაღალი ტემპერატურის პირობებში ღუმელში, სადაც NO (აზოტის მონოოქსიდი) შეადგენს მთლიანი NO_x -ის $\sim 90\%$.
- უსაფრთხოების ზომები:
- ჰაერის მეორადი ნაკადის ჟანგბადის შემცველობის შემცირება;
- ალის გასაცივებლად წყლის დამატება საწვავს ან უშუალოდ ალში (ეს ზრდის OH რადიკალების რაოდენობას და ამცირებს NO_x -ს, თუმცა საწვავის ხარჯი და CO_2 2–3%-ით იზრდება);
- დაბალი- NO_x სანათურების გამოყენება PHP და PH ტიპის ღუმელებში.
- კირის წარმოებაში NO_x -ის გამოყოფა გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე ცემენტის წარმოებაში.

გოგირდის დიოქსიდი (SO_2):

- SO_2 -ის გამოყოფა ძირითადად განპირობებულია გოგირდის შემცველი ნედლეულის გამოყენებით (მაგ., პირიტი FeS).
- საწვავის წვისას SO_2 -ის წილი შედარებით მცირეა.
- კონტროლის რეკომენდაციები:
- ვერტიკალური წისქვილების გამოყენება, სადაც ხდება SO_2 -ის კონცენტრაციის შემცირება CaSO_4 -ის (თაბაშირის) წარმოქმნით;

- ადსორბენტების ($\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaO , ნაცარი) დამატება აირში ფილტრამდე;
- ნაკლები გოგირდის შემცველობის საწვავის გამოყენება;
- აირის მწმენდავების (scrubbers) გამოყენება — მშრალი ან სველი რეჟიმით. მშრალი წმენდა უფრო ძვირია და გამოიყენება მაშინ, როცა SO_2 -ის კონცენტრაცია ≥ 1500 მგ/მ³.
- კირის წარმოებაში SO_2 -ის გამოყოფა ასევე ნაკლებია.



ფიგ. 12.3. ატმოსფერული გამონაბოლქვის წყაროები და მტვრის კონტროლი (დანომრილი წყაროები + ფილტრები).

სათბურის აირები (CO_2):

ცემენტის წარმოებისას ატმოსფეროში გამოყოფილი ძირითადი სათბურის აირი არის ნახშირბადის დიოქსიდი (CO_2). დამატებით სათბურის აირებად ითვლება N_2O და CO .

• **N_2O :** მაღალი ტემპერატურის პირობებში სრულყოფილი წვის გამო N_2O პრაქტიკულად არ გამოიყოფა.

• **CO :** უნდა შეადგენდეს მთლიან გამონაბოლქვ აირების მხოლოდ 0.5-1.0%. მისი მაღალი კონცენტრაცია მიუთითებს არასრულ წვას და ტექნოლოგიური პროცესის ხარვეზს. თუ $\text{CO} > 1\%$, აირისა და ჰაერის ნარევი ფეთქებადია, განსაკუთრებით ელექტროფილტრის გამოყენებისას.

CO_2 -ის წარმოქმნა:

- საწვავის წვის შედეგად;
- კირქვის დეკარბონიზაციისას ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$), სადაც მასის $\sim 44\%$ CO_2 -ია.

CO_2 -ის შემცირების რეკომენდაციები:

- მრავალკომპონენტიანი ცემენტის წარმოება (საწვავის ხარჯის შემცირება);
- ენერგოეფექტური პროცესების გამოყენება (წინასწარი შრობა, გახურება, გამოწვა);

- მაღალი კალორიულობის და დაბალი ნახშირბადის შემცველობის საწვავის გამოყენება (ბუნებრივი აირი, დიზელი, ზოგიერთი ნარჩენი);

- ნედლეულის შერჩევა ორგანული ნივთიერებების დაბალი შემცველობით.

მძიმე მეტალები და სხვა დამაბინძურებლები:

- წარმოებისას ჰაერში შეიძლება მოხვდეს ტყვია, კადმიუმი და ვერცხლისწყალი.
- მათი წყაროებია ნედლეული, ორგანული საწვავი და ნარჩენები.
- ვერცხლისწყლის ~90% ნედლეულიდან გამოიყოფა და ფილტრებით მისი დაჭერა რთულია.

კონტროლის ღონისძიებები:

- მტვრის გაფრქვევის შემცირების ყველა რეკომენდაციის დაცვა;
- მაღალი კონცენტრაციისას (განსაკუთრებით ვერცხლისწყლის შემთხვევაში) — გააქტიურებული ნახშირის გამოყენება ადსორბენტად;
- ღუმელების უწყვეტი ექსპლუატაცია, რათა თავიდან ავიცილოთ ელექტროფილტრის ავარიული გათიშვა;
- ღუმელის გაშვებისა და გაჩერებისას საწვავად არ უნდა გამოიყენებოდეს ნარჩენები.

12.4. ენერგიისა და სათბობის გამოყენება

სათბობი. ყველაზე ხშირად გამოიყენება ნახშირის მტვერი და ლიგნიტი. სულ უფრო ფართოდ გამოიყენება უფრო იაფფასიანი ნავთობის კოქსი. ეს უკანასკნელი და ქვანახშირი განაპირობებენ სათბურის აირების უფრო ინტენსიურ გამოყოფას დიზელის საწვავთან და ბუნებრივ აირთან შედარებით (2007 წლის მონაცემებით ევროპაში დიზელის საწვავზე და ბუნებრივ აირზე ცემენტის მხოლოდ 6% იყო წარმოებული ჯამურად).

ბუნებრივ აირთან შედარებით ქვანახშირი 65%-ით უფრო მეტ სათბურის აირს გამოყოფს. ნავთობის კოქსში გოგირდის მაღალი შემცველობა განაპირობებს გამოსაწვავი ღუმელის რგოლებზე არასასურველი ნადების წარმოქმნას.

ცემენტის წარმოებაში სულ უფრო ფართოდ გამოიყენება ნარჩენები ალტერნატიული სათბობის სახით. ევროკავშირის ქვეყნებში ყველა სახის ალტერნატიულ სათბობზე საშუალოდ იწარმოება ცემენტის 12%. გასათვალისწინებელია ამ შემთხვევაში ატმოსფეროში გამონაბოლქვი, რომელზედაც ზემოთ აღინიშნა და უფრო დაწვრილებით იქნება განხილული ქვემოთ.

საწვავი ნარჩენები. აღსანიშნავია, რომ საკუთრივ კირის წარმოებაში სათბობი ნარჩენები არ გამოიყენება კირის ხარისხზე წაყენებული განსაკუთრებული მოთხოვნების გამო. ყველაზე უფრო უკეთესია აქ ბუნებრივი აირისა და ნავთობის გამოყენება, აგრეთვე ისეთი ქვანახშირის გამოყენება, რომელიც გოგირდის დაბალი

შემცველობით ხასიათდება. შესაბამისად, ერთმანეთისაგან უნდა გავმიჯნოთ საკუთრივ კირის წარმოება და კირის მიღება საშუალოდ პროდუქტის სახით ცემენტის წარმოებაში.

ძლიერი ტუტე ატმოსფეროსა და ალის მაღალი ტემპერატურის პირობებში (2000 °C), ცემენტის გამოსაწვავ ღუმელებში სათბობად შესაძლებელია გამოყენებული იქნეს მაღალი თბოუნარიანობით გამორჩეული ნარჩენები: ნამუშევარი გამხსნელები, ნამუშევარი ზეთები, გაცვეთილი საბურავები, პლასტმასის ნარჩენები, ორგანული ქიმიკატები, დაძველებული ქლორორგანული პესტიციდები, სხვა ქლორირებული ნივთიერებები და საკანალიზაციო შლამი. ეს უკანასკნელი სულ უფრო ფართოდ გამოიყენება ევროკავშირის ქვეყნებში.

ნარჩენების გამოყენებას ესაჭიროება ადგილობრივი ადმინისტრაციის ნებართვა, რომელშიდაც მითითებული უნდა იყოს ნედლეულის სახეობა და ხარჯი. ნებართვაში აგრეთვე მითითებული უნდა იყოს ნარჩენის სტანდარტი: თბოუნარიანობა და გამოყოფილი ტოქსიკური ან მავნე ნივთიერების ნომენკლატურა. მავნე ზეგავლენის შესამცირებელი რეკომენდებული და გამოსაყენებელი მეთოდები შემდეგია:

- აქროლადი მძიმე ლითონების სახეობის მიხედვით აირების სველი გაწმენდა ან გააქტიურებული ნახშირის გამოყენება;

- აქროლადი მძიმე ლითონების შემცველი სათბობის პირდაპირი შესხურება ძირითადი სანთურით და შესხურების აკრძალვა დამხმარე სანთურებით;

- ჰალოგენების მაღალი შემცველობით გამორჩეული სათბობის გამოყენების გამორიცხვა მეორადი წვის, აგრეთვე გაშვებისა და გამორთვის სტადიებზე;

- გამოსაწვავი ღუმელიდან გამოსული აირების 500-დან 200 °C-მდე გაცივების დროის მკვეთრი შემცირება შესაძლო მინიმუმამდე (აღსანიშნავია, რომ მაღალ ტემპერატურაზე მავნე ნივთიერებები იშლება და უვნებელი ხდება, მაგრამ დაბალ ტემპერატურათა დიაპაზონში 500-200 °C შესაძლებელია მათი ხელმეორედ წარმოქმნა. სწორედ ამის აცილებას ისახავს მიზნად დროის შემცირება, რაც შესაძლებელია *PHP* და *PH* ტიპის ღუმელების გამოყენებისას); (კონტროლის დამატებითი ცნობები შესაძლებელია ინახოს 2006 წლის *SINTEF*-ში);

- სათბობად გამოყენებული ნარჩენების სათანადო შენახვა, დატვირთვა და ჩამოტვირთვა, რაც აღწერილია შრომის, ჯანმრთელობისა და გარემოს დაცვის (შჯგდ) ტექნიკურ ნორმებში. ენერგიისა და სათბობის ღირებულება საწარმოო ხარჯთაღრიცხვის 40-50%-ს შეადგენს. ენერგიის ეკონომიის რეკომენდაციებთან ერთად, რაც მოცემულია შრომის, ჯანმრთელობისა და გარემოს დაცვის (შჯგდ) საერთო სახელმძღვანელოში, საჭიროა შემდეგი რეკომენდაციების მხედველობაში მიღება პოზიციების მიხედვით:

გამოსაწვავი ღუმელები. ცემენტის კლინკერის წარმოების აპრობირებული საერთაშორისო პრაქტიკა მოითხოვს მშრალი ტექნოლოგიური პროცესის გამოყენებას ისეთი ღუმელებით, რომლებიც უზრუნველყოფენ მრავალსაფეხურიან წინასწარ გახურებასა და გამოწვას, რაც შეუძლია *PHP* ტიპის ღუმელს.

აღნიშნული ტიპის ღუმელი მოითხოვს სათბობის ყველაზე უფრო ნაკლებ რაოდენობას. სათბობის მოხმარება შემცირებულია გამონაბოლქვი აირების სითბოს რეკუპერაციის გზით ციკლონებში, თვით ღუმელში სითბოს ნაკლები დანაკარგებით და სითბოს აორთქლებაზე დასახარჯი სითბოს ანულირებით. როგორც აღინიშნა, მოცემული ტექნოლოგია მშრალია, ხოლო სველი ტექნოლოგიები იყენებენ შლამს და ა.შ., რომლებიც შეიცავენ სითხეს და შესაბამისად, მათ აორთქლებაზე იხარჯება სითბო.

PH ტიპის ღუმელიც სათბობის მოხმარების მხრივ ეკონომიურია (ოღანავ აღებატება PHP ტიპის ღუმელს), მაგრამ მისი არსებითი ნაკლია მკვეთრად შემცირებული მწარმოებლურობა განხილულთან შედარებით.

სხვა ტიპის გამოსაწვავი ღუმელები (ხანგრძლივი შრობის LD, ნახევარმშრალი, ნახევარსველი და სველი წესებით მომუშავე) ითვლებიან მოძველებულად. 2007 წლის მონაცემებით, ევროპაში გამოშვებული ცემენტის 80% მოდის მშრალი ტექნოლოგიების წილად. LD ტიპის ღუმელში არსებითად უფრო მაღალია სითბოს მოხმარება. აღნიშნული ტიპის ღუმელის ხარვეზებია აგრეთვე ტექნიკური მომსახურების სირთულე და სათანადოდ გაზრდილი ხარჯები.

ნახევარმშრალ და ნახევარსველ პრინციპებზე მომუშავე ღუმელებში (ე.წ. ლეპოლის Lepol ღუმელებში) სითბოს მოხმარება საშუალოდ, რაც გამოწვეულია ღუმელში მისაწოდებელი გრანულებული ნედლეულის მაღალი ტენშემცველობით. გამოსაწვავ ღუმელებს, რომლებიც მუშაობენ ნახევრად სველ პრინციპზე, დამატებით მაღალი აქვთ ელექტროენერგიის მოხმარება და ტექმომსახურების ხარჯები, რადგან იყენებენ წნეხ-ფილტრებს. სველი წესით მომუშავე ღუმელებზე ბოლო დროს ხელი აიღეს, რადგან ისინი სარგებლობენ ვერტიკალური ღუმელების ყველაზე ძველი ტექნოლოგიით. მათ აქვთ სითბოს ყველაზე დიდი მოხმარება და ყველაზე ნაკლები მწარმოებლურობა. დღეისათვის სველი ტექნოლოგია აღარ ითვლება ცემენტის წარმოებაში გამოსაყენებელ წესად. ენერგიის გამოყენების ეფექტურობის კიდე უფრო გასაზრდელად აუცილებელია აგრეთვე მაცივრის სითბოთი სარგებლობა.

მაცივრები. ამჟამად გამოიყენება კლინკერის ცეცხლრიკიანი მაცივარი. მასზე წაყენებული პირობაა რაც შეიძლება სწრაფად შეამციროს კლინკერის ტემპერატურა და მეორადი ჰაერი რაც შეიძლება მაღალ ტემპერატურამდე გაახუროს სათბობის ხარჯის შემცირების მიზნით.

12.5. ჩამდინარე წყლები, მყარი ნარჩენები, ხმაური

საწარმოო ჩამდინარე წყლების გაწმენდა. ჩამდინარე წყლები ძირითადად წარმოიშობა ტექნოლოგიური პროცესის სხვადასხვა სტადიაზე გაცივებისათვის გამოყენების შემდეგ. ზოგიერთი ოპერაციისას შესაძლებელია PH-სა და შეტივნარებული ნაწილაკების მაღალი შემცველობის მქონე ჩამდინარე წყლების წარმოქმნა. მათი

გაწმენდა ხდება PH-ის რეგულირებით, აგრეთვე აუზებში ნაწილაკების დალექვის ან გაფილტვრის გზით. აღნიშნული ნორმები მოცემულია შრომის, ჯანმრთელობისა და გარემოს დაცვის (შჯგდ) სახელმძღვანელოში.

ჩამდინარე წყლების სხვა წყაროები და წყლის მოხმარება. აღნიშნული წყლების არინების შესახებ მითითებები მოცემულია შრომის, ჯანმრთელობისა და გარემოს დაცვის (შჯგდ) საერთო სახელმძღვანელოში. დაბინძურებული წყლები მიმართული უნდა იქნეს საწარმოო ჩამდინარე წყლების საწმენდ სისტემაში.



ფიგ. 12.4. ცემენტის წარმოების სამი ძირითადი გარემოსდაცვითი გამოწვევის დიაგრამა:

1 - ჩამდინარე წყლები; 2 - მყარი ნარჩენები; 3 - ხმაური.

წვიმის შედეგად წარმოშობილი ნაკადები, რომლებიც გაივლიან ღია ადგილზე დაშტაბელებულ ნავთობის კოქსის, ქვანახშირისა და ნარჩენების მარაგში, როგორც წესი, ჭუჭყიანდებიან. აღნიშნულის გამო საწვავის განთავსება საჭიროა დახურულ სათავსებში, ან წვიმის შემთხვევაში შტაბელები უნდა დაიფაროს წყალშეუღწევადი მასალისაგან დამზადებული ფირით და ირგვლივ გაუკეთდეს წყალსარინი არხები.

თუ მაინც ვერ ავიცილეთ ნიაღვრების შეღწევა შტაბელებში, საჭიროა საგების (იატაკის) ისეთნაირი წინასწარი მოწყობა, რაც აგვაცილებს გრუნტის გაჭუჭყიანებას. მაგალითად, უნდა დაეგოს ასფალტი, ბეტონი და ა.შ. კარგი შედეგი უნდა მოგვცეს შედარებით ახალმა მასალამ, რომელსაც ეწოდება **სოილი** და რომელიც გასხურების შემდეგ ზედაპირზე ქმნის 2-3 წლის მედეგობის შეუღწევად აფკს. ამასთან ერთად, აუცილებელია ჩამდინარე წყლების შეკრება აუზში ნაწილაკების დალექვის უზრუნველსაყოფად.

ყველა შემთხვევაში სავალდებულოა ყველა რეკომენდაციის შესრულება წყლის ხარჯვის ეკონომიის მიმართულებით.

მყარი ნარჩენები. მყარი ნარჩენები ძირითადად წარმოდგენილია ფუჭი ქანის სახით კლინკერის წარმოების შედეგად. სხვა წყაროა გამოსაწვავი ღუმელის მტვერი. მცირე რაოდენობა წარმოიშობა აგრეთვე მოწყობილობის ტექნიკური მომსახურებისას.

მოძველებულ წარმოებაში მყარი ნარჩენები გვხვდება წნეხ-ფილტრების ტუტე ნარჩენები სახით.

მათი უტილიზაციის შესახებ მითითებულია შრომის, ჯანმრთელობისა და გარემოს დაცვის (შჯგდ) საერთო სახელმძღვანელოში.

ხმაური. ხმაურით დაბინძურება დაკავშირებულია წარმოების სხვადასხვა სტადიასთან, ნედლეულის მოპოვებიდან დაწყებული, მზა პროდუქციის დასაწყობებამდე. აგრეთვე გამწოვი ვენტილატორებისა და წისქვილების მუშაობითაც შესაძლებელია წარმოიშოს ხმაურის მაღალი დონე.

ხმაურის დონეები და მისი შემცირების რეკომენდაციები მოცემულია შჯგდ საერთო სახელმძღვანელოში.

12.6. პროფესიული უსაფრთხოება

ყველაზე მნიშვნელოვანი ზემოქმედება შრომის უსაფრთხო პირობების დაცვის კუთხით აქვს უშუალოდ ცემენტის წარმოების პროცესს. ძირითადი სახიფათო და მავნე ფაქტორებია:

1. მტვერი;
 2. გახურებული ჰაერი და ზედაპირები;
 3. ხმაური და ვიბრაცია;
 4. ფიზიკური საშიშროებები (მბრუნავი, მოძრავი, რხევადი ნაწილები, ენერგიის წყაროები და ა.შ.);
 5. გამოსხივება;
 6. ქიმიური საშიშროებები და საწარმოო ჰიგიენის სხვა პრობლემები.
- განვიხილოთ ცალ-ცალკე აღნიშნული მავნე და სახიფათო ფაქტორები.

მტვერი. ყველაზე დიდი რაოდენობით გამოიყოფა კარიერებზე, ნედლეულის დატვირთვა-გადმოტვირთვისას, კლინკერის დაფქვისას. მავნე გავლენის შემცირების რეკომენდაციები მოცემულია შრომის, ჯანმრთელობისა და გარემოს დაცვის (შჯგდ) საერთო სახელმძღვანელოში. საწარმოო ჰიგიენის სახელმწიფო სპეციალისტების ამერიკული კონფერენცია (ACGIH) პორტლანდცემენტს მიიჩნევს მავნე მტვრად. ხანგრძლივი ზემოქმედების შედეგად იწვევს პნევმოკონიოზს, ამფიზემას, ბრონქიტსა და ფიბროზს.

მტვერის მავნე ზემოქმედების შესამცირებლად დამატებით გამოიყენება შემდეგი მეთოდები:

- მტვერის გამოყოფის რეგულირება სისუფთავის დაცვის გზით;
- დახურული კამერების გამოყენება კონდიცირებულ ჰაერთან ერთად;
- მტვერის გაწოვის სისტემის გამოყენება და მისი ჰაერის რეცირკულაცია, განსაკუთრებით წისქვილებში და ცემენტის დაფასოებისას;

- ინდივიდუალური დაცვის შესაფერისი საშუალებების გამოყენება;
- მტვრის შეგროვების ვაკუუმური სისტემებით სარგებლობა.

დამატებითი ცნობები კაჟმიწის შესუნთქვასთან დაკავშირებით მოცემულია ელექტრონულ სახელმძღვანელოში <http://www.osha.gov/SLTC/etools/silica/index.html>, რომელიც მომზადებულია აშშ-ის შრომის სამინისტროს შრომის დაცვის სამმართველოს მიერ (OSHA).

კაჟმიწის (SiO_2) ხანგრძლივი სუნთქვა იწვევს პროფესიულ დაავადებს პნევმოკონიოზს, ხოლო ქვანახშირის მტვრის – ანტრაკოზს. ეს დაავადებები ძირითადად მემახტებისათვისაა დამახასიათებელი.

გახურებული ზედაპირები. ძირითადად გვხვდება გამოსაწვავ ღუმელებში. საჭიროა შემდეგი მეთოდებით სარგებლობა:

- სამუშაო ადგილებზე ზედაპირის ეკრანირება, აგრეთვე დაცვის ინდივიდუალური საშუალებების (ფეხსაცმელი, ტანსაცმელი, ხელთათმანი) გამოყენება;
- სამუშაო დროის შემცირება უფრო ხანმოკლე ცვლების შემოღების გზით;
- რესპირატორების გამოყენება ჰაერის ან სუფთა ჟანგბადის მიწოდებით;
- დაუშვებელია გამოსაწვავი ღუმელების კარის გაღება მუშაობის პროცესში;
- სპეციალური სამუშაო პროცედურების გამოყენება კირის ჩაქრობის დროს.

ხმაური და ვიბრაცია.

გამწოვი ვენტილატორებისა და წისქვილების მუშაობა არის ხმაურისა და ვიბრაციის ძირითადი გამომწვევი მიზეზი ცემენტისა და კირის წარმოებაში. ხმაურის შემცირება შესაძლებელია მაყუჩის გამოყენებით, სათავსოს ეკრანებით, ხმის მაიზოლირებელი ბარიერების მოწყობით, ხოლო ხმაურის ფონი თუ მაინც მაღალია, საჭიროა დაცვის ინდივიდუალური საშუალებების გამოყენება, რაც გავიარეთ მე-7 თავის ფარგლებში.

ფიზიკური საშიშროებები. ტრავმები ცემენტის წარმოებაში ძირითადად განპირობებულია დაცემით, ზემოდან ჩამოვარდნილი საგნების მოხვედრით, ზედმეტი ტვირთის აწევით. ტრავმები შესაძლებელია გამოიწვიოს აგრეთვე მოძრავ ნაწილებთან კონტაქტმა ან მათ მიერ შეტაცებამ. ფიზიკური საშიშროების მნიშვნელოვანი წყაროა აგრეთვე მოწყობილობათა ტექნიკური მომსახურება. კერძოდ, ტრავმებს იწვევს სამსხვრეველას, წისქვილის, წისქვილის სეპარატორის, ვენტილატორის, მაცივრის, ლენტური კონვეიერის გაშვების, გამართვის და რემონტის სამუშაოები.

გამოსხივება. ნედლეულის ნარევის უწყვეტი კონტროლისათვის კონვეიერის ლენტზე გამოიყენება რენტგენის მოწყობილობა. გამოსხივებისაგან დაცვა აღწერილია მოცემული სახელმძღვანელოს 6 თავში.

ქიმიური საშიშროება და საწარმოო ჰიგიენის სხვა პრობლემები. კვლევებმა უჩვენეს, რომ ამერიკული ცემენტი შეიცავს 0,05-1,24% (5-124 პრომილი), ხოლო ევროპული – 0,32-1,76 (32-176 პრომილი) ქრომს. ალერგიული დერმატიტის პროფილაქტიკის მიზნით ევროკავშირის ნორმა მოითხოვს, რომ ხსნადი ქრომის შემცველობა მშრალი მასის

0,0002% არ აღემატებოდა. დაცვის საშუალებაა ქრომის შემცველობის შემცირება ან ინდივიდუალური საშუალებებით სარგებლობა.

ადგილობრივი მოსახლეობის უსაფრთხოებისა და ჯანმრთელობის დაცვა ობიექტის მშენებლობის, ექსპლუატაციისა და ექსპლუატაციის შეწყვეტის დროს აღწერილია შრომის, ჯანმრთელობისა და გარემოს დაცვის (მჯგდ) საერთო სახელმძღვანელოში.

შრომის დაცვისა და უსაფრთხოების ტექნიკის შედეგები უნდა შეფასდეს გამოქვეყნებული საერთაშორისო რეკომენდაციების შესაბამისად, რომლებიცაა: აშშ-ის ჰიგიენისა და შრომის ეროვნული ინსტიტუტის (NIOSH) ცნობარი, შრომის ჰიგიენის სახელმწიფო სპეციალისტების ამერიკული კონფერენციის (ACGIH) ცნობარი, აშშ-ის შრომის სამინისტროს შრომის დაცვის სამმართველოს (OSHA) დასაშვები დონეების მაჩვენებელი (PELs), ევროკავშირის ქვეყნების ზღვრული მაჩვენებლები წარმოების პირობებისათვის და სხვა ანალოგიური წყაროები.



ფიგ. 12.5. პროფესიული უსაფრთხოების ძირითადი საფრთხეები
ცემენტის წარმოებაში: 1 - მტვერი; 2 - სითბო; 3 - ხმაური; 4 - ფიზიკური საფრთხეები;
5 - რადიაცია; 6 - ქიმიური საფრთხეები და მათი შემცირების საშუალებები.

ტრავმატიზმისა და სიკვდილიანობის მაჩვენებლები წარმოებაში. უბედური შემთხვევების სიხშირის მაჩვენებლები უნდა შედარდეს განვითარებული ქვეყნების საკონტროლო მაჩვენებლებს, გამოქვეყნებული მონაცემების მიხედვით (მაგალითად, აშშ-ის შრომის სტატისტიკის ბიუროს მონაცემებს ან გაერთიანებული სამეფოს ჰიგიენისა და შრომის დაცვის სამმართველოს მონაცემებს).

პროფესიული უსაფრთხოების ნორმების დაცვაზე დაკვირვება. შრომის დაცვისა და უსაფრთხოების ტექნიკის ნორმების დაცვაზე დაკვირვება უნდა განახორციელოს უფლებამოსილმა დიპლომირებულმა სპეციალისტმა, რომელსაც აქვს სათანადო განათლება ან ისეთმა, რომელიც იქნება სერტიფიცირებული საწარმოო ჰიგიენის ან შრომის დაცვის სფეროში.

საწარმოს უნდა ჰქონდეს უბედური შემთხვევების, ტრავმების, პროფდაავადებების, საშიში და საგანგებო სიტუაციების შემთხვევათა აღრიცხვის ჟურნალი.

12.7. გარემოს დაცვა

გარემოს დაცვის ნორმები მოცემულია ცხრილებში. აღნიშნული ნორმები შეესაბამება საერთაშორისო პრაქტიკას და ასახულია ყველა იმ ქვეყნის ნორმებში, რომლებიც აღიარებული ნორმატიული ბაზით გამოირჩევიან.

აღნიშნული ნორმები შესრულებულია ექსპლუატაციის ჩვეულებრივი პირობებისათვის ისეთ საწარმოებში, რომლებიც აქ აღწერილის მსგავსად არის დაპროექტებული და ექსპლუატაციის პირობებში გამოიყენება კონტროლისა და მავნე ნივთიერებათა გავლენის შემცირების მეთოდები, რომლებიც ასევე აქ აღიწერა.

ნორმებით განსაზღვრული დონეები შენარჩუნებული უნდა იქნეს ექსპლუატაციის მთელი პერიოდის არანაკლებ 95%-ის განმავლობაში. ამ დონიდან გადახრის შემთხვევაში ეკოლოგიური შეფასების შედეგად უნდა დადგინდეს კონკრეტული ადგილობრივი პირობების შესაძლებლობები მავნე და ტოქსიკურ ნივთიერებათა ასიმილაციის თვალსაზრისით.

ცხრილი 12.3

ატმოსფეროში გაფრქვევის ნორმები ცემენტის წარმოებისას

დასახელება	ერთეული	ნორმატიული მნიშვნელობა
მყარი ნაწილაკები (ახალი ღუმელისათვის)	მგ/მ ³	30
მყარი ნაწილაკები (მოქმედი ღუმელისათვის)	მგ/მ ³	100
მტვერი (კლინკერის გაცივებისა და ცემენტის დაფქვის ჩათვლით)	მგ/მ ³	50
SO_2	მგ/მ ³	400
NO_x	მგ/მ ³	600
HCl	მგ/მ ³	10
ფთოროვანი წყალბადი	მგ/მ ³	1,0
ნახშირბადი (ორგანული)	მგ/მ ³	10
დიოქსინები და ფურანები	მგ/მ ³	0,1
კადმიუმი და ტალიუმი	მგ/მ ³	0,05
ვერცხლისწყალი	მგ/მ ³	0,05
დარიშხანი, ტყვია, კობალტი, ქრომი, სპილენძი, მანგანუმი, ნიკელი, ვანადიუმი, სტიბიუმი (ჯამურად)	მგ/მ ³	0,5

შენიშვნა: ადგილობრივი პირობების ასიმილაციურ შესაძლებლობათა გათვალისწინებით წყლის გასუფთავების ნორმატივები ასევე შესაძლებელია შეიცვალოს სათანადო დასაბუთების შემთხვევაში.

ცხრილი 12.4

ჩამდინარე წყლებში გადაგებული ნაკადების გაჭუჭყიანების დასაშვები დონეები ცემენტისა და კირის წარმოებაში

გამჭუჭყიანებელი	ერთეული	ნორმატივი
pH	pH -ის ერთეული	6-9
მყარი შეტივზნარებული ნაწილაკები	მგ/ლ	50
ტემპერატურის მომატება	°C	არაუმეტეს 3

ცხრილი 12.5

ენერგიისა და რესურსების მოხმარება

პროდუქციის ერთეულზე მისაწოდებელი	ერთეული	დარგის საკონტროლო მაჩვენებელი
სათბობის ენერგია (ცემენტი)	გიგაჯ/ტ კლინკერი	3,0-4,2
ელექტროენერგია (ცემენტი)	კვტსთ/ტ ცემენტი	90-150
ელექტროენერგია კლინკერის დაფუქვისათვის	კვტსთ/ტ	40-45
მასალები (ნედლეულის შეცვლა კლინკერის წარმოებაში)	%	2-10
ცემენტის წარმოებაში გამოყენებული ნედლეულის შეცვლა	%	0-70/80 ღუმელის წიდა აქროლადი ნაცრით 0-30

ცხრილი 12.6

ნარჩენების წარმოქმნა

პროდუქციის ერთეულზე	ერთეული	დარგის საკონტროლო მაჩვენებელი
ნარჩენები	კგ/ტ ცემენტი	0,25-0,60
მტვერი	გ/ტ ცემენტი	20-50
NO_x	გ/ტ ცემენტი	600-800
CO_2 დეკარბონიზაციით	კგ/ტ ცემენტი	400-525
CO_2 სათბობისაგან	კგ/ტ ცემენტი	150-350

სითბოს მოხმარება და გამოსაწვავი ღუმელების საწარმოო სიმძლავრეები

გამოსაწვავი ღუმელის სახეობა	სითბოს მოხმარება, მგჯ/ტ კლინკერი	მაქსიმალური მწარმოებლურობა, ტ/დღე
წინასწარი გახურებით (3-6 საფეხურიანი წინასწარი გამოწვით)	3000-3800	12000
წინასწარი გახურებით	3100-4200	4000
ხანგრძლივი შრობის	≥ 5000	3800
ლეპოლის ღუმელი (ნახევრად მშრალი ან ნახევრად სველი წესი)	3300-4500	2500
სველი პროცესი	5000-6000	1500-2000



ფიგ. 12.6. ეკოლოგიური დაკვირვების ძირითადი კომპონენტები.

ეკოლოგიური დაკვირვება. დარგში შემოღებული უნდა იქნეს ეკოლოგიური დაკვირვების პროგრამები, რომლებიც იქნება ყველაფრის მომცველი გარემოზე ზემოქმედების თვალსაზრისით როგორც წარმოების, ისე საგანგებო შემთხვევებისას. ეკოლოგიური დაკვირვების ჩატარება გამოყენებული რესურსების, გადაგდებული ნაკადებისა და ნარჩენების პირდაპირი და ირიბი მაჩვენებლების ანალიზზე უნდა იყოს დაფუძნებული კონკრეტული პროექტის ან საწარმოს პირობებისათვის.

დაკვირვებათა სიხშირე და პერიოდულობა საკმარისი უნდა იყოს საკონტროლო პარამეტრის საიმედო მონაცემების მისაღებად. დაკვირვება უნდა შეასრულოს სათანადოდ მომზადებულმა პერსონალმა სპეციალური აპარატურის გამოყენებით. დაკვირვების შედეგები რეგულარულად უნდა გაანალიზდეს, შეედაროს სტანდარტს და ამ უკანასკნელთან შეუსაბამობები გამოსწორდეს.

ფიგ. 12.6-დან ჩანს, რომ ეკოლოგიური დაკვირვების ძირითადი კომპონენტები და მაჩვენებლებია:

მონიტორინგის პარამეტრები – მტვერი, SO₂, NO_x, pH, ტემპერატურა, სუსპენზიური მყარი ნაწილაკები, ნარჩენები, ხმაური.

სიხშირე და პერიოდულობა – უწყვეტი, ყოველკვირეული, ყოველთვიური, კვარტალური, წლიური.

პასუხისმგებელი პერსონალი – სერტიფიცირებული გარემოსდაცვითი სპეციალისტი, კვალიფიციური ტექნიკოსი, ოპერატორი, მენეჯერი.

გამოყენებული აღჭურვილობა – გაზის ანალიზატორები, წყლის სინჯის ამღებები, ტემპერატურის სენსორები, მონაცემთა ლოგერები.

მაკორექტირებელი ქმედებები – სტანდარტებთან შედარება, გადახრების ანალიზი, პროცესის კორექტირება, დოკუმენტირება და ანგარიშის მომზადება.

მე-12 თავში გამოყენებული ლათინური აბრევიატურებისა და ქიმიური ფორმულების განმარტებები:

- PHP – Preheater-Precalciner Kiln (წინასწარი გახურებისა და გამოწვის ღუმელი);
- PH – Preheater Kiln (წინასწარი გახურების ღუმელი);
- LD – Long Dry Kiln (ხანგრძლივი შრობის ღუმელი);
- EHSGLM – Environmental, Health and Safety Guidelines for Cement and Lime Manufacturing;

- IFC – International Finance Corporation;
- NO_x – აზოტის ოქსიდები;
- SO₂ – გოგირდის დიოქსიდი;
- CO₂ – ნახშირბადის დიოქსიდი;
- PM – Particulate Matter (მტვრის ნაწილაკები).

ცემენტის წარმოებაში პრაქტიკული გამოთვლებისა და რისკების შეფასების მხარდასაჭერად გამოიყენება შემდეგი საერთაშორისო სტანდარტები:

- EHSGLM – ცემენტისა და კირის წარმოების გარემოსდაცვითი, ჯანმრთელობისა და უსაფრთხოების სახელმძღვანელო პრინციპები;
- ISO 31000 / ISO 31010 – რისკების მართვა და შეფასება;
- IFC – საერთაშორისო საფინანსო კორპორაცია (მკაცრი გარემოსდაცვითი და ფინანსური მოთხოვნები);
- WHO / ILO – შრომის ჯანმრთელობისა და უსაფრთხოების რეკომენდაციები.

ეს სტანდარტები წარმოადგენს ჩარჩოს ემისიების, ენერგიის მოხმარების, პროფესიული რისკებისა და გარემოზე ზემოქმედების შესაფასებლად. ისინი გამოიყენება როგორც რუტინულ ოპერაციებში, ასევე საგანგებო სიტუაციებში, რაც უზრუნველყოფს შესაბამისობას და უწყვეტ გაუმჯობესებას.

12.8. კითხვები

გამეორებისათვის მოკლე

პასუხებით

1. რამდენ გრადუსს შეადგენს $CaCO_3$ -ის დაშლის ტემპერატურა? → $900\text{ }^{\circ}\text{C}$;
2. რომელი ღუმელი ითვლება ეკოლოგიურად უპირატესად გამართულად? → PHP (Preheater-Precalciner Kiln);
3. რამდენი არის პროცენტულად CO -ის მაქსიმალური დასაშვები კონცენტრაცია? → 1%;
4. რამდენი პროცენტი ცემენტის წარმოების წილი გლობალურ CO_2 ემისიებში? → 6–8%;
5. რა ტექნოლოგიები გამოიყენება NO_x -ის შესამცირებლად? → წყლის ინექცია, დაბალი NO_x მოხმარების სანათურები;
6. აღწერეთ SO_2 -ის გამოყოფის შემცირების ერთ-ერთი მეთოდი? → CaO ან $Ca(OH)_2$ ადსორბენტების გამოყენება;
7. რამდენ გრადუსს შეადგენს კლინკერის მიღების ტემპერატურა? → $1400\text{--}1500\text{ }^{\circ}\text{C}$;
8. რა არის კლინკერის მაცივრის ფუნქცია ტექნოლოგიურ პროცესში? → სწრაფი გაცივება და ენერგიის რეკუპერაცია;
9. რომელი ნედლეულია ძირითადი ცემენტის წარმოებაში? → კირქვა, თიხა, ქვიშა, რკინის მადანი;
10. რა სახისაა CaO -ის მიღების რეაქცია?(წარმოადგინეთ ქიმიური რეაქციის ფორმულა) → $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$;
11. რა არის PM10/PM2.5? → მტვრის ნაწილაკები (Particulate Matter);
12. რომელი საწვავი ამცირებს CO_2 ემისიებს? → ბუნებრივი აირი, ბიომასა, RDF (მუნიციპალური და სხვა სახის ნარჩენები);
13. რა არის IFC? → International Finance Corporation;
14. რა არის EHSGLM? → Environmental, Health and Safety Guidelines for Cement and Lime Manufacturing;
15. რომელი ტიპის ღუმელი გამოიყენება მცირე წარმოებაში? → შახტური ღუმელი;
16. რა არის კლინკერის ხარისხის გასაუმჯობესებელი ფაქტორი? → სწრაფი გაცივება;
17. რომელი ქიმიური ნაერთი განაპირობებს SO_2 -ის გამოყოფას? → გოგირდის ან პირიტის (FeS_2) შემცველობა;
18. რა არის CO -ის მაღალი კონცენტრაციის რისკი? → აფეთქება ელექტროფილტრის გამოყენებისას;
19. რა არის მრავალკომპონენტური ცემენტის უპირატესობა? → ნაკლები ენერგიის ხარჯი და CO_2 -ის ნაკლები ემისია;

20. რა არის NO_x – ის გამოყოფის ძირითადი წყარო ცემენტის წარმოებაში? → გამოსაწვავი ღუმელი;
21. რას ნიშნავს LD ღუმელი? → Long Dry Kiln (ხანგრძლივი შრობის ღუმელი);
22. რას ნიშნავს PH ღუმელი? → Preheater Kiln (წინასწარი გახურების ღუმელი);
23. რა არის PHP ღუმელი? → Preheater-Precalciner Kiln (წინასწარი გახურებისა და გამოწვის ღუმელი);
24. რა არის კლინკერის მაცივრის თანამედროვე ტიპი? → ცეცხლრიკიანი მაცივარი;
25. რა არის ცემენტის შენახვის თანამედროვე მეთოდი? → სილოსებში ავტომატური დატვირთვით.

12.9. პრაქტიკული განგარიშების მაგალითები

1. $CaCO_3$ -ის დაშლისას CO_2 -ის რაოდენობის გამოთვლა

- ამოცანა: გამოთვალე რამდენი კგ CO_2 გამოიყოფა 1 ტონა კირქვის ($CaCO_3$) დეკარბონიზაციისას.

მონაცემები:

$$M_{CaCO_3} = 100 \text{ გ/მოლი}, M_{CO_2} = 44 \text{ გ/მოლი};$$

საანგარიშო ფორმულა:

$$m_{CO_2} = \frac{44}{100} \cdot m_{CaCO_3}.$$

- პასუხი: 1 ტონა კირქვიდან მიიღება → **0,44 ტონა CO_2** .

2. ენერგიის მოხმარება ღუმელის ტიპების მიხედვით

- ამოცანა: შეადარე PHP და LD ღუმელების ენერგიის მოხმარება 1 ტონა კლინკერის წარმოებაზე.

მონაცემები:

$$PHP \approx 3,2 \text{ გიგა-ჯ/ტ}; LD \approx 5,5 \text{ გიგა-ჯ/ტ (გიგა-ჯოული ტონაზე)}.$$

საანგარიშო ფორმულა:

$$\Delta E = 5,5 - 3,2 = 2,3 \text{ გიგა-ჯ/ტ}.$$

პასუხი: PHP ღუმელი 1 ტ კლინკერის წარმოებაზე ზოგავს 2.3 გიგა-ჯოულ ენერგიას.

3. NO_x -ის შემცირების ეფექტი წყლის ინექციით

- ამოცანა: თუ NO_x -ის საწყისი კონცენტრაცია არის 1200 მგ/მ³, გამოთვალე რას უდრის 20%-ით შემცირებული კონცენტრაცია.

საანგარიშო ფორმულა:

$$C_{new} = C_{old} \times (1 - 0,20).$$

პასუხი: $1200 \times 0,8 = 960 \text{ მგ/მ}^3$.

4. SO_2 -ის კონტროლი CaO -ით:

- **ამოცანა:** გამოთვალე რამდენი კგ CaO არის საჭირო 1000 კგ SO_2 -ის აბსორბციისთვის.

რეაქცია: $SO_2 + CaO \rightarrow CaSO_3$.

მოლური მასები: $M_{SO_2} = 64$ გ/მოლი, $M_{CaO} = 56$ გ/მოლი.

საანგარიშო ფორმულა:

$$m_{CaO} = \frac{56}{64} \cdot m_{SO_2}$$

- **პასუხი:** 1000 კგ $SO_2 \rightarrow 875$ კგ CaO .

5. CO -ის აფეთქების რისკის შეფასება:

- **ამოცანა:** თუ აირში CO -ის კონცენტრაცია არის 1,2%, განსაზღვრე რისკი. ნორმატიული მონაცემი – კრიტიკული ზღვარი: $\leq 1\%$.
- **პასუხი:** აფეთქების რისკი მაღალია, საჭიროა პროცესის კორექცია.

6. მრავალკომპონენტიანი ცემენტის უპირატესობა:

- **ამოცანა:** თუ პორტლანდცემენტის წარმოება მოიხმარს 4,0 გიგა-ჯ/ტ ენერგიას, ხოლო მრავალკომპონენტიანი – 3,5 გიგა-ჯ/ტ, გამოთვალე ენერგიის ეკონომია 1 მილიონ ტონაზე.

საანგარიშო ფორმულა:

$$\Delta E = (4,0 - 3,5) \times 10^6 = 0,5 \times 10^6 \text{ გიგა-ჯ.}$$

- **პასუხი:** 500 000 გიგა-ჯოული ეკონომია.

7. მტვრის ნაწილაკების (PM_{10}) კონცენტრაციის კონტროლი

- **ამოცანა:** თუ ფილტრის გარეშე მტვრის კონცენტრაცია არის 200 მკგ/მ³, ხოლო ფილტრის მუშაობის ეფექტურობა შეადგენს 85%, გამოთვალე საბოლოო კონცენტრაცია.

საანგარიშო ფორმულა:

$$C_{final} = C_{old} \times (1 - 0,85)$$

- **პასუხი:** $200 \times 0,15 = 30$ მკგ/მ³.

13. მრავალფაქტორული ანალიზი

13.1. წინასწარი მოსაზრებები

მე-13 თავი წარმოადგენს პირველი თავის — ინდექსური მოდელის პირდაპირ გაგრძელებას. თუ პირველი თავი გვთავაზობს ერთფაქტორულ ინდექსს (ალბათობა $\times$ სიმძიმე), აქ ეს მიდგომა ფართოვდება მრავალფაქტორულ ანალიზად, სადაც თითოეულ კომპონენტს ენიჭება შესაბამისი წონა და ისინი ერთიანდებიან საერთო ინდექსში. ამგვარად, მკითხველი ხედავს, როგორ გარდაიქმნება საფუძვლიანი მეთოდოლოგია კომპლექსურ სისტემურ მოდელად. ამ თავში გავაღრმავებთ რისკის რაოდენობრივ შეფასებას ერთფაქტორული ინდექსიდან მრავალფაქტორულ მოდელებზე. მიზანია, რომ მკვლევარმა შეძლოს რამდენიმე პარამეტრის ერთდროულად გათვალისწინება, ნორმალიზაცია, წონების განსაზღვრა, მგრძნობელობის ტესტირება და შედეგების ინტერპრეტაცია, რათა შეძლოს მეცნიერულად გამყარებული, პრაქტიკულად გამოსაყენებელი გადაწყვეტილებების მიღება.

აღსანიშნავია, რომ რისკის სკალის გრადაცია უცვლელია ფაქტორების რაოდენობის მიუხედავად. შესაბამისად, მრავალი ფაქტორის შემთხვევაშიც გამოსაყენებელია გრადაცია, რომელიც ადრე განვიხილეთ 0-1 სკალის პირობებში. ამ შემთხვევაში რისკების გრადაცია შემდეგია: 0-0,33 $\rightarrow$ დაბალი რისკი; 0,34-0,66 $\rightarrow$ საშუალო რისკი; 0,67-1,00 $\rightarrow$ მაღალი რისკი. ადვილი მისახვედრია, რომ სხვა სკალის შემთხვევაში გრადაცია სხვა იქნება. მაგალითად, 0-10 სკალის შემთხვევაში **მექანიკურად გადატანილი** გრადაცია შემდეგი იქნება: 0-3,3 $\rightarrow$ დაბალი რისკი; 3,4-6,6 $\rightarrow$ საშუალო რისკი; 6,7-10,0 $\rightarrow$ მაღალი რისკი. სინამდვილეში სკალის შეცვლის მიზანი არის მისი მგრძნობელობისა და სიზუსტის გაზრდა. ანალოგიური მექანიკურად შეცვლილი სკალა, როგორც ჩვენ გავაკეთეთ, აზრს მოკლებულია და პრაქტიკაში არც გვხვდება.

მრავალი ფაქტორიდან ზოგიერთი შესაძლებელია იყოს ნეგატიური, ხოლო ნაწილი პოზიტიური, რაოდენობრივ შეფასებას ვაკეთებთ რისკის კუთხით. ეს უკანასკნელი კი ყოველთვის ნეგატიური გავლენის მიხედვით ფასდება. მაგალითად, შახტებში მეთანის აფეთქებების თვალსაზრისით მეთანის კონცენტრაცია ნეგატიური რისკ-ფაქტორია, ხოლო ძლიერი ვენტილაცია ამცირებს კონცენტრაციას და პოზიტიური ფაქტორია. ამოცანაა როგორ მოვახდინოთ ამ ორი ურთიერთსაპირისპირო ფაქტორის ასახვა ერთიან ინდექსში. ანუ უნდა მოვახდინოთ პოზიტიური ინდექსის ასახვა რაღაცნაირი ნეგატიური ეკვივალენტით, რომელიც ინდექსებისა და მათი გავლენის შედეგის ერთგვაროვნებას უზრუნველყოფს. ამ შემთხვევაში ყველა ფაქტორი ერთნაირად – **რისკის წილად**

იმუშავებს. პოზიტიური ინდექსის ასახვას ნეგატიური ეკვივალენტით ინვერსიული ნორმალიზაცია ეწოდება, რაც ავსსნათ მაგალითით. 0-1 სკალით მოცემული გვაქვს მეთანის კონცენტრაცია 0,6, ხოლო ვენტილაციის ეფექტურობა 0,7. ინვერსიული ნორმალიზაცია ნიშნავს სხვაობის $(1-0,7=0,3)$ დადგენას. როგორც ვხედავთ, სხვაობის საკლები არის 0-1 სკალის მაქსიმალური მაჩვენებელი, ანუ 1, მაკლები არის პოზიტიური მაჩვენებელი — ვენტილაციის ეფექტურობა 0,7. მიღებული სიდიდე 0,3 მუშაობს, როგორც რისკ-ფაქტორი მეთანის კონცენტრაციასთან ერთად.

ამგვარად, ნეგატიური ფაქტორები პირდაპირ ასახავენ რისკს და მათ ინვერსია არ ესაჭიროებათ, ინვერსია საჭიროა პოზიტიური ფაქტორების შემთხვევაში და მათი რიცხვის მიუხედავად, ყოველი მათგანისათვის საჭიროა ინვერსიული ნორმალიზაცია, რაც არის ზემოთ აღწერილი სხვაობის განსაზღვრა. სხვაობა კი არის პოზიტიური ინდექსის ნეგატიური ასახვა სხვა პირდაპირ ნეგატიურ ფაქტორებთან ერთად.

მიზანი და კონტექსტი:

- **მიზანი:** მრავალფაქტორული ანალიზის დახმარებით რისკის უფრო ზუსტი, სტაბილურად გაწონასწორებული და ყოველმხრივ გამოსაყენებელი სურათის მიღება სხვადასხვა დარგში.

- **კონტექსტი:** მოცემულ სახელმძღვანელოში ჩამოყალიბებული ინდექსური ხედვა გაგრძელდება მრავალი ფაქტორების გავლენის შემთხვევაში, რომელთა მოქმედებას შესაძლებელია სხვადასხვა მიმართულება ჰქონდეს. მრავალფაქტორულ კომპოზიტურ ინდექსებად და მოდელურ მეთოდებად მოხდება ინდექსური ხედვის განვრცობა.

- **რატომ მრავალფაქტორული:** ცალკეული ფაქტორი იშვიათად აღწერს სრულ რეალობას. ამის გამო უფრო უკეთესი შედეგების მიღება შესაძლებელია რამდენიმე ფაქტორის ერთმანეთთან შეჯერებით. მაგალითად, სამთო მრეწველობაში მეთანის რისკი დამოკიდებულია რამდენიმე ფაქტორზე: კონცენტრაციაზე, ვენტილაციაზე, სენსორების რეაგირების დროზე, გეომექანიკურ სტაბილურობაზე და ორგანიზაციულ წესებზე. აღნიშნული ფაქტორების მოქმედება ურთიერთსაპირისპიროა და მათი ინდექსების დადგენა ზემოაღნიშნულის ანალოგიურად უნდა მოხდეს.

თეორიული საფუძვლები

- **ბაზისური ფორმულის გავრცობა:** მრავალფაქტორიანი რისკის გავრცობილი ინდექსის გაანგარიშება შესაძლებელია ფორმულით

$$R_{comp} = \sum_{i=1}^n (P_i \cdot S_i \cdot W_i), \quad (13.1)$$

სადაც R_{comp} არის კომპოზიტური (მრავალფაქტორიანი) რისკის გავრცობილი ინდექსი; P_i — რისკის რეალიზაციის ალბათობა; S_i — დამდგარი შედეგის სიმძიმე; W_i — ერთის ნაწილებში გამოხატული წონა ცალკეული ფაქტორისათვის (წონა 0-1 სკალით).

- **სად გამოიყენება:** როდესაც რისკის რეალიზაციით დამდგარ შედეგზე ერთდროულად მოქმედებს რამდენიმე მიზეზობრივი ფაქტორი (ფიზიკური, ქიმიური, ტექნიკური, ორგანიზაციული და ა.შ.).

- **ინტერპრეტაცია:** ყოველი ფაქტორი ქმნის თავისი მოქმედების წილობრივად შესაბამის გავლენას; ჯამი გვაძლევს მთლიან, სექტორულად ინტერპრეტირებად სიდიდეს. წონები რიცხვითი მაჩვენებლების მიხედვით უზრუნველყოფენ კონტროლს და გამოყოფენ უფრო მნიშვნელოვან ფაქტორს ზემოქმედების კუთხით — რაღაცნაირად ახარისხებენ ფაქტორებს. ინვერსიული მიდგომა კი ყველა პოზიტიურ ფაქტორს აქცევს მისი ინდექსის ეკვივალენტურ რისკ-ფაქტორად.

13.2. მრავალფაქტორული ინდექსები და ფორმულები

კომპოზიტიური რისკის ინდექსი:

- **იდეა:** კომპოზიტიური რისკის ინდექსის (Composite Risk Index — CRI) გამოყენების არსი არის ერთ კატეგორიაში მოქცეული რამდენიმე მაჩვენებლის გაერთიანება ერთიან ინდექსში, რომლის გაანგარიშება შესაძლებელია ქვემოთ მოცემული ფორმულით

$$CRI = \sum_{i=1}^n (X_i^* \cdot W_i), \quad (13.2)$$

სადაც X_i^* არის ნორმალიზებული მახასიათებელი (0-1 სკალა); $\sum W_i = 1$.

- **გამოყენების სფეროები:** სამთო საქმე, ჯანდაცვა, ციფრული უსაფრთხოება, მშენებლობა და სხვა დარგები, სადაც აუცილებელია სხვადასხვა, მათ შორის ტექნიკური და ორგანიზაციული ფაქტორების ერთდროული გათვალისწინება.

წონის გავლენის ინდექსი:

- **იდეა:** წონის გავლენის ინდექსი (Weighted Impact Index — WII) ინდივიდუალური ფაქტორის გავლენას ითვალისწინებს მისი შეწონილი სახით, რაც (13.1) ფორმულით გამოსახული მრავალფაქტორიანი რისკის გავრცობილი ინდექსის **დამლაა** ინდივიდუალური ფაქტორების გავლენებად

$$WII_i = P_i \cdot S_i \cdot W_i. \quad (13.3)$$

- **ინტერპრეტაცია:** ეხმარება პრიორიტეტების დადგენას — რომელი ფაქტორია უფრო მძიმე ან რომლის მოქმედებაც უფრო ხშირი. ამ შემთხვევაში **სიმძიმე** და **სიხშირე** ერთი კატეგორიის მაჩვენებლებად არის წარმოდგენილი.

მრავალცვლადიანი უსაფრთხოების ინდექსი:

- **იდეა:** მრავალცვლადიანი უსაფრთხოების ინდექსი (Multivariate Safety Index — MSI) შესაძლებელია განისაზღვროს ფორმულით, რომელიც შეიცავს ნამრავლთა ჯამს, სადაც ცალკეული თანამამრავლია კომპოზიტიური რისკის, წონის გავლენისა და უსაფრთხოების ინტეგრირებული ინდექსები, ხოლო მეორე — სპეციფიკური კალიბრაციის კოეფიციენტები. აქ შესაძლებელია გამოყენებული იქნეს სტატისტიკური მონაცემები ან მოდელირებით მიღებული შედეგები.

$$MSI = \alpha \cdot CRI + \beta \cdot (\sum WII_i) + \gamma \cdot SII, \quad (13.4)$$

სადაც: α, β, γ — სექტორის სპეციფიკური კალიბრაციის კოეფიციენტები.

სექტორის სპეციფიკური კალიბრაციის კოეფიციენტები არ არიან უნივერსალური მუდმივები, არამედ განისაზღვრებიან კონკრეტული დარგის მონაცემებითა და ექსპერტული შეფასებით.

α განსაზღვრავს, რამდენად დიდია კომპოზიტური რისკის ინდექსის წილი მთლიან უსაფრთხოების ინდექსში.

β ასახავს წონის გავლენის ინდექსის მნიშვნელობას, ანუ რამდენად ძლიერია ცალკეული ფაქტორის სიხშირისა და სიმძიმის წონა.

γ გამოხატავს დამატებითი უსაფრთხოების ინდექსის (SII) წილს, რომელიც შეიძლება მოდიოდეს სტატისტიკური ან მოდელური მონაცემებიდან.

ეს კოეფიციენტები ორი წყაროდან გამომდინარეობენ:

1. სტატისტიკური ან ემპირიული მონაცემები — ისტორიული ინციდენტების ან დაკვირვებების ანალიზი.

2. ექსპერტული კალიბრაცია — სპეციალისტების მიერ განსაზღვრული პრიორიტეტები და სექტორის სპეციფიკური მოთხოვნები.

ამგვარად, α, β, γ უზრუნველყოფს ინდექსების მოქნილობას: სხვადასხვა დარგში შესაძლებელია მათი განსხვავებული მნიშვნელობა, რათა ინდექსი რეალურად ასახავდეს კონკრეტული სექტორის რისკის პროფილს. აღნიშნული კოეფიციენტები პრაქტიკულად განისაზღვრებიან შემდეგი ნაბიჯებით:

1. მონაცემთა ანალიზი:

ისტორიული ინციდენტების, ავარიების ან შემთხვევების სტატისტიკური მონაცემების შეგროვება. მაგალითად, რამდენად ხშირად ხდება კონკრეტული ტიპის ინციდენტი და რა სიმძიმე აქვს მას.

2. ექსპერტული შეფასება:

სპეციალისტების მიერ პრიორიტეტების განსაზღვრა — რომელ ფაქტორს აქვს უფრო დიდი გავლენა უსაფრთხოებაზე. აქედან გამომდინარე, α, β, γ შესაძლებელია განსხვავდებოდეს სხვადასხვა დარგში, დარგის სპეციფიკიდან გამომდინარე (სამთო მრეწველობა, ჯანდაცვა, კიბერუსაფრთხოება და ა.შ.).

3. კალიბრაციის პროცესი:

მიღებული მონაცემებისა და ექსპერტული შეფასებების შეჯერება. მაგალითად:

- თუ კომპოზიტური ინდექსი (CRI) უფრო ზუსტად ასახავს რეალობას, კოეფიციენტი α მიიღებს უფრო მაღალ მნიშვნელობას (მაგ., 0,5-0,7).

- თუ ინდივიდუალური ფაქტორების წონა (WII) კრიტიკულია, კოეფიციენტი β შეიძლება იყოს მაღალი (მაგ., 0,3-0,5).

- თუ დამატებითი უსაფრთხოების ინდექსი (SII) მნიშვნელოვანია, კოეფიციენტი γ მიიღებს შესაბამის წილს (მაგ., 0,1-0,3).

4. ცვალებადობის ფარგლების განსაზღვრა:

ყველა კოეფიციენტი უნდა იყოს დადებითი, ხოლო მათი ჯამი არ არის ფიქსირებული — ისინი განისაზღვრება სექტორის საჭიროების მიხედვით. პრაქტიკაში კოეფიციენტები α, β, γ ხშირად განაწილებულია 0,1-0,7 დიაპაზონში, რათა ინდექსი იყოს მოქნილი და ადაპტირებული.

5. ვალიდაცია:

მიღებული კოეფიციენტების ტესტირება უნდა მოხდეს მგრძნობელობის ანალიზით — მცირე ცვლილებამ არ უნდა შეცვალოს ვითარების მთლიანი სურათი.

ამგვარად, α, β, γ არ არის მექანიკურად შერჩეული რიცხვები, ისინი წარმოადგენენ მონაცემებისა და ექსპერტული ხედვის სინთეზს, რომელიც უზრუნველყოფს ინდექსის რეალურობას და სანდოობას. სპეციფიკური კალიბრაციის კოეფიციენტების რიცხვითი სიდიდეების ცვალებადობა მოცემულია 13.1 ცხრილში.

ცხრილი 13.1

სპეციფიკური კალიბრაციის კოეფიციენტების ცვალებადობა

კოეფი- ციენტი	როლი ინდექსში	ფარგლები	განსაზღვრის მეთოდი
α	კომპოზიტიური რისკის ინდექსის წილი მთლიან უსაფრთხოების ინდექსში.	0,3 – 0,7 (თუ <i>CRI</i> უფრო ზუსტად ასახავს რეალობას, α უფრო მაღალია).	სტატისტიკური მონაცემების ანალიზი + ექსპერტული შეფასება.
β	წონის გავლენის ინდექსის მნიშვნელობა — რამდენად ძლიერია სიხშირისა და სიმძიმის ფაქტორები.	0,2 – 0,5 (თუ ინდივიდუალური ფაქტორების წონა კრიტიკულია, β დებულობს მაღალ მნიშვნელობებს).	ინციდენტების სიხშირისა და სიმძიმის სტატისტიკა + ექსპერტული პრიორიტეტები.
γ	დამატებითი უსაფრთხოების ინდექსის (<i>SII</i>) წილი — დამატებითი მონაცემების ან მოდელური შედეგების ასახვა.	0,1 – 0,3 (თუ დამატებითი ინდექსი მნიშვნელოვანია, γ იზრდება).	მოდელური სიმულაციები, სტატისტიკური მონაცემები, ექსპერტული კალიბრაცია.

მონაცემების ნორმალიზაცია და წონების დადგენა:

- ნორმალიზაცია (0-1 ან 0-10 სკალით):

- **სკალა 0-1:** წონების განაწილების მარტივი ინტერპრეტაცია, შედარებით ადვილად გასანაწილებელი წონებისთვის.
 - **სკალა 0-10:** მგრძნობელობის გაზრდა წონების უფრო ადეკვატურად გასანაწილებლად, სასწავლო გარემოში ადვილად აღქმადი.
- **წონები W_i :**
 - **დადგენა ექსპერტულად:** სექტორული პრიორიტეტები.
 - **დადგენა მონაცემებით:**

$$W_i = \frac{X_i}{\sum_{j=1}^n X_j} \quad (13.5)$$
- **პრინციპი:** $\sum W_i = 1$ — უზრუნველყოფს დადგენილ წონათა გაწონასწორებულ ჯამს.
- **დოკუმენტირება:** ყოველთვის მიუთითე წყარო, მეთოდი და რატომ შეასრულე გაანგარიშება ამა თუ იმ სკალით — ეს ზრდის სანდოობას.
- **მგრძნობელობის ტესტი:**
 - **სცენარები:** შესაძლებელია 0-10 ან 0-8 სკალის გამოყენება; წონების მცირე გადაადგილება; მინ–მაქს ინტერვალების სათანადოდ დადგენა სკალის მიხედვით.
 - **შედეგი:** ინდექსის სტაბილურობის ან ცვლილების შეფასება. წონების მცირე გადაადგილებამ არსებითად არ უნდა შეცვალოს ინდექსის სიდიდე. კერძოდ, მკვლევარს შეუძლია წინასწარ პროცენტულად განსაზღვროს სიდიდის დასაშვები ცვალებადობა, მაგალითად 3-5 %-ის ფარგლებში და დაიცვას ეს მაჩვენებელი სკალის შეცვლის პირობებში.

13.3. კვლევის მეთოდები მრავალი ფაქტორის შემთხვევაში

მრავალფაქტორიანი რეგრესული ანალიზი (Multiple Regression Analysis):

- **მიზანი:** შედეგის პროგნოზირება რამდენიმე განმამარტებელი ცვლადის ერთდროული გათვალისწინებით.
- **ფორმა:**

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \varepsilon \quad (13.6)$$
- **პრაქტიკული გამოყენება:** მაგალითად, ინციდენტის სიხშირის პროგნოზი გარემო პირობებით (ტემპერატურა, ტენიანობა, ვენტილაცია).
- **როგორ მუშაობს:** თითოეული ფაქტორი (X_i) იღებს თავის კოეფიციენტს (β_i), რომელიც ასახავს მის წილს შედეგში (Y).

- **სასწავლო ღირებულება:** სტუდენტი ხედავს, რომ რეალობა იშვიათად არის ერთფაქტორული; რეგრესია აჩვენებს ურთიერთდამოკიდებულებას და პრიორიტეტებს.

ამგვარად, მრავალფაქტორიანი რეგრესული ანალიზი გამოიყენება მაშინ, როდესაც შედეგი დამოკიდებულია რამდენიმე განმარტებულ ცვლადზე ერთდროულად. მაშასადამე, თითოეული ფაქტორი (X_i) იღებს თავის კოეფიციენტს (β_i), რომელიც ასახავს მის წილს საბოლოო შედეგში (Y). პრაქტიკულად, ეს მეთოდი გვაძლევს საშუალებას ვივარაუდოთ ინციდენტის სიხშირე გარემო პირობებით (მაგ., ტემპერატურა, ტენიანობა, ვენტილაციის ინტენსიურობა).

ვარიაციისა და კოვარიაციის ანალიზი (ANOVA/ANCOVA - Analysis of Variance / Analysis of Covariance):

- **მიზანი:** ჯგუფებს შორის განსხვავების ტესტირება, კოვარიატების გათვალისწინებით.
- **პრაქტიკული გამოყენება:** მაგალითად, სხვადასხვა საწარმოში უსაფრთხოების პროგრამების ეფექტურობის შედარება, სადაც გარემო პირობები განსხვავებულია.
- **როგორ მუშაობს:** ANOVA ამოწმებს საშუალო მნიშვნელობების განსხვავებას ჯგუფებს შორის; ANCOVA ამატებს დამატებით განმარტებულ ცვლადებს, რათა შედეგი უფრო სანდო იყოს.
- **სასწავლო ღირებულება:** სტუდენტი სწავლობს, რომ მხოლოდ საშუალო მნიშვნელობების შედარება საკმარისი არ არის — საჭიროა კოვარიატების გათვალისწინება.
- **განმარტება:** კოვარიატები (Covariates) ნიშნავს დამატებით განმარტებულ ცვლადებს, რომლებიც შეიძლება გავლენას ახდენდნენ შედეგზე და რომლებიც გათვალისწინებულია ანალიზში, რათა შედეგი უფრო სანდო იყოს.
- **მაგალითად,** თუ ვადარებთ სხვადასხვა საწარმოში უსაფრთხოების პროგრამების ეფექტურობას, კოვარიატები (covariates) შეიძლება იყოს გარემო პირობები (ტემპერატურა, ტენიანობა, სამუშაოს ხანგრძლივობა), რომლებიც გავლენას ახდენენ შედეგზე და ეს გარემოება უნდა გავითვალისწინოთ, რომ ჯგუფებს შორის განსხვავება მხოლოდ პროგრამის ეფექტურობით არ აიხსნას.

ამგვარად, ANOVA გამოიყენება ჯგუფებს შორის საშუალო მნიშვნელობების განსხვავების შესამოწმებლად. ANCOVA კი ამატებს დამატებით განმარტებულ ცვლადებს — covariates — რათა შედეგი უფრო სანდო იყოს. მაგალითად, სხვადასხვა საწარმოში უსაფრთხოების პროგრამების ეფექტურობის შედარებისას covariates შეიძლება იყოს გარემო პირობები (ტემპერატურა, ტენიანობა, სამუშაოს ხანგრძლივობა).

მონტე-კარლოს სიმულაცია (Monte Carlo Simulation):

- **მიზანი:** გაურკვევლობების მოდელირება შემთხვევითი ცვლადების მრავალჯერადი გენერაციით.
- **პრაქტიკული გამოყენება:** მაგალითად, რისკის ინდექსის განაწილების შეფასება, Value-at-Risk საზომების მიღება.
- **როგორ მუშაობს:** შემთხვევითი სცენარების ათასობით გენერაცია, თითოეულში ინდექსის გაანგარიშება, შემდეგ შედეგების განაწილების ანალიზი.
- **სასწავლო ღირებულება:** სტუდენტი ხედავს, რომ რეალობა ყოველთვის შეიცავს გაურკვევლობას და სიმულაცია აძლევს სურათს შესაძლო შედეგების დიაპაზონის შესახებ.

ამგვარად, მონტე-კარლოს სიმულაცია გამოიყენება გაურკვევლობების მოდელირებისთვის შემთხვევითი სცენარების მრავალჯერადი გენერაციით. პრაქტიკულად, ეს ნიშნავს ათასობით სცენარის შექმნას, თითოეულში ინდექსის გაანგარიშებას და შედეგების განაწილების ანალიზს. სიმულაციის მისაღები ერთ-ერთი მეთოდი ამ შემთხვევაში არის რიცხვითი მოდელირება.

განმარტებები:

Value-at-Risk (VaR) - გაუფასურების რისკი: საზომი, რომელიც აჩვენებს მაქსიმალურ მოსალოდნელ დანაკარგს განსაზღვრულ დროის პერიოდში და განსაზღვრული სანდოობის დონეზე (მაგ., 95% ან 99%).

Monte Carlo სიმულაცია: შემთხვევითი სცენარების გენერირება (ათასობით ან მილიონობით) ფაქტორების შესაძლო ცვალებადობის მიხედვით.

როგორ მუშაობს:

1. თითოეული ფაქტორისთვის (მაგ., კონცენტრაცია, ვენტილაცია) განისაზღვრება ალბათური განაწილება.
2. სიმულაციით გენერირდება შემთხვევითი მნიშვნელობები.
3. თითოეულ სცენარში გამოითვლება რისკის ინდექსი.
4. შედეგების განაწილებიდან აიღება ბოლო ნაწილი — მაგალითად, 5% ყველაზე მძიმე შედეგები.

ინტერპრეტაცია: VaR გვიჩვენებს, რა დონემდე შეიძლება გაიზარდოს რისკი ყველაზე უარეს შემთხვევაში განსაზღვრული ალბათობით.

გადაწყვეტილების ხე / შემთხვევების ტყე (Decision Tree / Random Forest):

- **მიზანი:** წესობრივი სტრუქტურით პრიორიტეტების გამოხმობა და არაწრფივი დამოკიდებულებების დაჭერა.

- **პრაქტიკული გამოყენება:** მაგალითად, ინციდენტის ალბათობის პროგნოზი ფაქტორების კომბინაციით (ვენტილაცია, სენსორები, ორგანიზაციული წესები).
- **როგორ მუშაობს:** Decision Tree ქმნის **გადაწყვეტილების გზას** ფაქტორების მიხედვით; Random Forest ქმნის მრავალ Decision Tree-ს და აერთიანებს მათ, რათა შედეგი იყოს უფრო სტაბილური.
- **სასწავლო ღირებულება:** სტუდენტი სწავლობს, რომ რთული სისტემები შეიძლება აიხსნას **გადაწყვეტილების წესებით** და რომ მრავალმხრივი მოდელები უფრო საიმედოა.

განმარტება:

Decision Tree არის გამჭვირვალე წესობრივი სტრუქტურა, სადაც ყოველი „ხე“ ცალკე აღწერს მონაცემების ლოგიკას და სტუდენტს აძლევს შესაძლებლობას დაინახოს, როგორ მივყავართ შედეგამდე. Random Forest კი მრავალი ხის ერთობლიობაა — ტყე, რომელიც მთლიანობაში ქმნის უფრო სტაბილურ და სანდო სურათს. ყოველი ხის აღწერისას არ უნდა დავკარგოთ ტყე, ხოლო ტყის ერთიანობის აღწერისას უნდა გვახსოვდეს, რომ ტყე ეს ხეების ერთობლიობაა.

ამგვარად, Decision Tree ქმნის წესობრივ სტრუქტურას, სადაც თითოეული ფაქტორი განსაზღვრავს გადაწყვეტილების გზას. Random Forest კი ქმნის მრავალ Decision Tree-ს და აერთიანებს მათ, რათა შედეგი იყოს უფრო სტაბილური. პრაქტიკულად, ეს მეთოდები გამოიყენება ინციდენტის ალბათობის პროგნოზისთვის ფაქტორების კომბინაციით (ვენტილაცია, სენსორები, ორგანიზაციული წესები).

მთავარი კომპონენტების ანალიზი (PCA - Principal Component Analysis):

- **მიზანი:** მრავალი კორელირებული ფაქტორის შეკვეცა მთავარ კომპონენტებად, რათა შემცირდეს განზომილება და ხმაური.
- **პრაქტიკული გამოყენება:** მაგალითად, უსაფრთხოების მრავალმხრივი მონაცემების (სენსორები, გარემო პირობები, ორგანიზაციული ფაქტორები) შეკვეცა რამდენიმე მთავარ კომპონენტად. კლებადობით დალაგებული მათი საერთო რიცხვიდან დარჩება პირველი 2 ან 3, რომლებიც პრაქტიკულად განაპირობებენ ინფორმაციის სიზუსტეს.
- **როგორ მუშაობს:** PCA პოულობს ახალ ცვლადებს (მთავარ კომპონენტებს), რომლებიც მაქსიმალურად განმარტავენ მონაცემთა ვარიაციას.
- **სასწავლო ღირებულება:** სტუდენტი სწავლობს, რომ მონაცემთა სიმრავლე შეიძლება შეიკვეცოს ისე, რომ ძირითადი ინფორმაცია არ დაიკარგოს.

განმარტება:

ტერმინი **ხმაური** ხშირად გამოიყენება სტატისტიკაში და მონაცემთა ანალიზში, მაგრამ ზოგჯერ სტუდენტებისთვის უფრო გასაგებია **უმნიშვნელო გადახრები** ან **შემთხვევითი გადახრები**.

- ხმაური (Noise): ტექნიკური ტერმინია, რომელიც ხაზს უსვამს მონაცემებში შემთხვევით, არარელევანტურ ცვალებადობას.

- გადახრები (Deviations): უფრო ნეიტრალური და ყოველდღიურ ენასთან ახლოს მდგომი სიტყვაა, რომელიც სტუდენტს აჩვენებს, რომ PCA ამცირებს მონაცემებში არსებულ უმნიშვნელო, შემთხვევით გადახრებს.

ხმაური (Noise) მონაცემებში ნიშნავს უმნიშვნელო გადახრების სიმრავლეს, რომელიც ძირითადი სიგნალის აღქმას აბუნდოვანებს. სწორედ ამიტომ საჭიროა მისი ჩამოცილება, რათა რეალური სურათი მკაფიოდ გამოჩნდეს.

განზომილების შემცირება: როდესაც გვაქვს მრავალი ფაქტორი (მაგ., 10-20 პარამეტრი), PCA მათ გადააქცევს რამდენიმე მთავარ კომპონენტად, რომლებიც ყველაზე დიდ ვარიაციას ხსნის.

ხმაურის შემცირება: მონაცემებში ხშირად არის შემთხვევითი, უმნიშვნელო ცვალებადობა — მაგალითად, სენსორის მცირე შეცდომები, გარემოს შემთხვევითი მერყეობა, ან ისეთი ფაქტორები, რომლებიც შედეგზე რეალურად დიდ გავლენას არ ახდენს. PCA ამცირებს ამ ხმაურს, რადგან მხოლოდ ყველაზე მნიშვნელოვანი კომპონენტები ინახება.

პროცესი:

1. გამოითვლება კოვარიაციის მატრიცა.
2. Eigenvalue/Eigenvector-ებით დგინდება კომპონენტები.
3. ინახება მხოლოდ ის კომპონენტები, რომლებიც ყველაზე დიდ ვარიაციას ხსნის.

სასწავლო ინტერპრეტაცია: სტუდენტი ხედავს, რომ PCA არა მხოლოდ რიცხობრივად ამცირებს მონაცემებს, არამედ ამორებს ზედმეტ, შემთხვევით ცვალებადობას, რათა დარჩეს მხოლოდ რეალურად მნიშვნელოვანი ინფორმაცია.

ამგვარად, PCA გამოიყენება მრავალი კორელირებული ფაქტორის შეკვეცისთვის მთავარ კომპონენტებად, რათა შემცირდეს განზომილება და ხმაური. პრაქტიკულად, ეს ნიშნავს უსაფრთხოების მრავალმხრივი მონაცემების (სენსორები, გარემო პირობები, ორგანიზაციული ფაქტორები და სხვ.) შეკვეცას რამდენიმე მთავარ კომპონენტად.

წარმოვადგენთ მრავალფაქტორიან კვლევის მეთოდებს მთავარი მახასიათებლებით 13.2 ცხრილისა და ქვემოთ მოცემული ტექსტური ვიზუალური სქემის სახით:

- რეგრესული ანალიზი → პროგნოზი;
- ANOVA/ANCOVA → ჯგუფების შედარება;
- მონტე-კარლო → გაურკვევლობის მოდელირება;
- Decision Tree/Random Forest → წესობრივი სტრუქტურა;
- PCA → განზომილებათა შეკვეცა.

ცხრილი 13.2

მრავალფაქტორიანი კვლევის მეთოდები

მეთოდი	მიზანი	პრაქტიკული გამოყენება	როგორ მუშაობს	სასწავლო ღირებულება
--------	--------	-----------------------	---------------	---------------------

მრავალფაქტორიანი რეგრესია (Multiple Regression)	შედეგის პროგნოზი რამდენიმე განმამარტებელი ცვლადით	ინციდენტის სიხშირის პროგნოზი გარემო პირობებით (ტემპერატურა, ტენიანობა, ვენტილაცია)	თითოეული ფაქტორი იღებს კოეფიციენტს (β_i), რომელიც ასახავს მის წილს შედეგში (Y)	აჩვენებს ურთიერთდამოკიდებულებას და პრიორიტეტებს
ANOVA/ANCOVA (Analysis of Variance / Covariance)	ჯგუფებს შორის განსხვავებების ტესტი	საწარმოების უსაფრთხოების პროგრამების შედარება	ANOVA ამოწმებს საშუალო მნიშვნელობებს; ANCOVA ამატებს covariates (დამატებით განმმარტებელ ცვლადებს)	სწავლის, რომ მხოლოდ საშუალო მნიშვნელობები შედარება საკმარისი არ არის — საჭიროა covariates-ის გათვალისწინება
მონტე-კარლოს სიმულაცია (Monte Carlo Simulation)	გაურკვევლობების მოდელირება	რისკის ინდექსის განაწილების შეფასება, Value-at-Risk საზომები	შემთხვევითი სცენარების ათასობით გენერაცია და შედეგების განაწილების ანალიზი	აჩვენებს შესაძლო შედეგების დიაპაზონს და გაურკვევლობის მნიშვნელობას
Decision Tree / Random Forest	წესობრივი სტრუქტურით პრიორიტეტების გამოსხმობა	ინციდენტის ალბათობის პროგნოზი ფაქტორების კომბინაციით	Decision Tree ქმნის გადაწყვეტილების გზას; Random Forest აერთიანებს მრავალ Decision Tree-ს	ასწავლის, რომ რთული სისტემები შეიძლება აიხსნას წესებით და მრავალმხრივი მოდელები უფრო საიმედოა
	განზომილების	უსაფრთხოების მრავალმხრივი	პოულობს ახალ ცვლადებს (მთავარ	აჩვენებს, რომ მონაცემთა სიმრავლე შეიძლება

PCA (Principal Component Analysis)	შეკვეცა და ხმაურის შემცირება	მონაცემების შეკვეცა მთავარ კომპონენტებად	კომპონენტებს) , რომლებიც მაქსიმალურად ხსნიან მონაცემთა ვარიაციას	შეიკვეცოს ისე, რომ ძირითადი ინფორმაცია არ დაიკარგოს
------------------------------------	------------------------------	--	--	---

13.4. მრავალფაქტორული ინდექსებით სარგებლობის პრაქტიკული მაგალითები

მაგალითებში რიცხვითი სიდიდეების წყაროებისა და ტერმინების წარმოდგენა ცხრილის სახით უფრო ცალსახას და ადეკვატურს გახდის ამოხსნის პროცედურას.

ცხრილი 13.3

რიცხვითი სიდიდეების წყაროები და ტერმინები

ტერმინი	Term	განმარტება
მიღებული	Obtained	მონაცემი, რომელიც პირდაპირი გაზომვით ან დაკვირვებით მივიღეთ. მაგ.: სენსორის მიერ დაფიქსირებული კონცენტრაცია.
შერჩეული	Selected	პარამეტრი, რომელიც მკვლევარმა ან ექსპერტმა წინასწარ განსაზღვრა, რომ შევიდეს მოდელში. მაგ.: ვენტილაციის ეფექტურობის გამოყენება.
დადგენილი	Determined	მიღებული მონაცემების ან ექსპერტული შეფასების საფუძველზე ნორმალიზაციის, კალიბრაციის ან ფორმულის გამოყენებით მიღებული მნიშვნელობა. მაგ.: რეაგირების დრო ნორმალიზაციის შემდეგ.
საკლები	Upper bound	სკალის ცვალებადობის ღიაპაზონის ზედა ზღვარი (0-1 სკალაზე = 1; 0-10 სკალაზე = 10).
მაკლები	Positive index	პოზიტიური ფაქტორის მიღებული მნიშვნელობა, რომელიც ინვერსიისას გარდაიქმნება სხვაობად.
სხვაობა	Difference	საკლებიდან მაკლების გამოკლება. ეს არის პოზიტიური ინდექსის ნეგატიური წილის ასახვა სხვა პირდაპირი ნეგატიური ფაქტორების ჯამთან ერთად.

მაგალითი A – სამთო მრეწველობა: კომპოზიტური მეთანის რისკები (CRI):

მეთანის კონცენტრაცია მიღებულია სენსორით, ვენტილაციის ეფექტურობა შერჩეულია როგორც ფაქტორი, რეაგირების დრო დადგენილია ნორმალიზაციით.

შერჩეული ფაქტორები:

- ვენტილაციის ეფექტურობა (0-1; მაღალი = უკეთესი → ინვერსია საჭიროა).
- T_s : სენსორის რეაგირების დრო (წმ; ნორმალიზაცია 0-1; მოკლე დრო = უკეთესი → ინვერსია).

ინვერსიული ნორმალიზაცია:

- ვენტილაცია: $V^* = 1 - V_e$.
- რეაგირების დრო: $T^* = 1 - T_s^*$ (სადაც T_s^* არის 0-1 შუალედში დაყვანილი დრო).
- წონები: $\{W_C, W_V, W_T\} = \{0.5, 0.3, 0.2\}$, $\sum W = 1$.
- კომპოზიტური ინდექსი:

$$CRI_{\text{methane}} = C_m \cdot W_C + V^* \cdot W_V + T^* \cdot W_T.$$

რიცხვითი მაგალითი:

- მონაცემები: $C_m = 0,6$ – მიღებულია გაზომვით (სენსორის მეშვეობით).
- $V_e = 0,7$ – შერჩეულია როგორც პოზიტიური ფაქტორი.
- $V^* = 1 - V_e = 1 - 0,7 = 0,3$ – ნორმალიზებულია ინვერსიით.
- $T_s = 10$ წმ - მიღებულია დაკვირვებით, ხოლო $T^* = 0,5$ – ნორმალიზებულია ინვერსიით.
- შენიშვნა: ინვერსიის შედეგად მიღებული სხვაობა ყოველთვის პოზიტიური ინდექსის ნეგატიური წილის ასახვაა სხვა პირდაპირი ნეგატიური ფაქტორების ჯამთან ერთად.

გაანგარიშება:

$$CRI = 0,6 \times 0,5 + 0,3 \times 0,3 + 0,5 \times 0,2 = 0,30 + 0,09 + 0,10 = 0,49$$

ინტერპრეტაცია: 0,49 — საშუალოზე მაღალი კომპოზიტური რისკი; პრიორიტეტი: ვენტილაციის გაუმჯობესება და სენსორის რეაგირების დაჩქარება.

რატომ არის 0,49 საშუალოზე მაღალი რისკი?

1. სკალის განსაზღვრა:

- CRI ჩვეულებრივ ნორმალიზებულია 0-1 შუალედში.
- 0 ნიშნავს რისკი არ არსებობს, ხოლო 1 ნიშნავს მაქსიმალურ რისკს.

2. შუალედების ინტერპრეტაცია:

- 0-0,33 → დაბალი რისკი;
- 0,34-0,66 → საშუალო რისკი;
- 0,67-1,00 → მაღალი რისკი.

3. ჩვენი შედეგი:

- მიღებული CRI = 0,49.

- ეს მნიშვნელობა ზუსტად შუაშია, მაგრამ უფრო მაღალია, ვიდრე საშუალო ქვედა ზღვარი (0,34).
- ამიტომ მართებული ინტერპრეტაციაა: საშუალოზე მაღალი რისკი.

მაგალითი B – ჯანდაცვა: ინფექციის მრავალფაქტორული ინდექსი (WII + CRI)

ჰიგიენის შესაბამისობა მიღებულია დაკვირვებით, მოწყობილობის გამართული პროცენტი მიღებულია აუდიტით, სამუშაო პროცესების თანმიმდევრულობა დადგენილია ექსპერტული შეფასებით.

ფაქტორები:

- **გავრცელების ალბათობა** $P = 0,30$ — მიღებულია სტატისტიკური მონაცემებით.
- **შედეგის სიმძიმე** $S = 4$ — შერჩეულია ექსპერტული კლასიფიკაციით.
- **კატეგორიის შესაბამისი წონა** $W = 1,0$ (0-1 სკალის პირობებში ყველა კატეგორიის წონათა ჯამი $\sum W_i = 1$, რადგან ამ შემთხვევაში გვაქვს მხოლოდ ერთი კატეგორია, ამიტომ მისი დადგენილი წონა 1-ის ტოლია).

WII (პირველ თავში ნაჩვენების ანალოგიურად):

$$WII = P \cdot S \cdot W = 0,30 \cdot 4 \cdot 1,0 = 1,20$$

CRI გაფართოება (პრევენციული ფაქტორებით):

- H_h : ჰიგიენის შესაბამისობა (0-1; ინვერსია: $H^* = 1 - H_h$).
- E_e : მოწყობილობის გამართული პროცენტი (0-1; ინვერსია: $E^* = 1 - E_e$).
- W_r : სამუშაო პროცესების თანმიმდევრულობა (0-1; ინვერსია საჭიროების მიხედვით).
- ინვერსიის შედეგად მიღებული სხვაობა ყოველთვის პოზიტიური ინდექსის ნეგატიური წილის ასახვაა სხვა პირდაპირი ნეგატიური ფაქტორების ჯამთან ერთად.

წონები: $\{W_H, W_E, W_W\} = \{0.4, 0.4, 0.2\}$, $\sum W = 1$.

რიცხვითი მაგალითი:

- **მონაცემები:** $H_h = 0,8$ — მიღებულია დაკვირვებით.
- $H^* = 0,2$ — ნორმალიზებულია ინვერსიით.
- $E_e = 0,9$ — მიღებულია აუდიტის მონაცემებით.
- $E^* = 0,1$ — ნორმალიზებულია ინვერსიით.
- $W_r = 0,7$ — დადგენილია ექსპერტული შეფასებით.
- $W^* = 0,3$ — ნორმალიზებულია ინვერსიით.

კომპოზიტიური რისკის ინდექსი CRI:

$$CRI_{inf} = 0,2 \times 0,4 + 0,1 \times 0,4 + 0,3 \times 0,2 = 0,08 + 0,04 + 0,06 = 0,18$$

ინტერპრეტაცია: $WII = 1,20$ (სერიოზული გავლენა); $CRI = 0,18$ (პრევენციის ხარვეზი საშუალო–დაბალი). პრიორიტეტი: ჰიგიენის პროცედურების გამკაცრება და მოწყობილობების რეგულარული აუდიტი.

მაგალითი C – ციფრული ტექნოლოგიები: კიბერუსაფრთხოება (MSI)

კიბერუსაფრთხოებაში შეტევის სიხშირე მიღებულია სტატისტიკით, სიმძიმე შერჩეულია ექსპერტული კლასიფიკაციით, კონტროლების სიმწიფე დადგენილია კალიბრაციით.

ფაქტორები:

- შეტევის სიხშირე (Attack frequency) $P_a = 0,27$ — მიღებულია სტატისტიკური მონაცემებით.
- სიმძიმე (Severity) $S_a = 5$ — შერჩეულია ექსპერტული კლასიფიკაციით.
- შეტევის დასრულებადობის კონტროლი (Controls maturity) $C_m = 0,6$ — მიღებულია აუდიტით.
- $C^* = 0,4$ — ნორმალიზებულია ინვერსიით.
- მომხმარებლის უნარი შეაფასოს ვითარება (User awareness) $U_a = 0,5$ — მიღებულია გამოკითხვით.
- $U^* = 0,5$ — ნორმალიზებულია ინვერსიით.
- შენიშვნა: ინვერსიის შედეგად მიღებული სხვაობა ყოველთვის პოზიტიური ინდექსის ნეგატიური წილის ასახვაა სხვა პირდაპირი ნეგატიური ფაქტორების ჯამთან ერთად.

WII (კიბერშეტევა):

$$WII_{cyber} = 0,27 \times 5 \times W_{cyber}; \quad W_{cyber} = 0,53 \Rightarrow WII = 1,35$$

CRI (კონტროლები + ცნობიერება):

- წონები: $\{W_C; W_U\} = \{0,6; 0,4\}, \sum W = 1.$
- CRI:

$$CRI_{ctrl} = 0,4 \times 0,6 + 0,5 \times 0,4 = 0,24 + 0,20 = 0,44$$

MSI (კალიბრირებული კომბინაცია):

$$MSI = \alpha \times CRI_{ctrl} + \beta \times WII_{cyber}$$

ინტერპრეტაცია: $MSI \approx 0,99$ — მაღალი ინტეგრირებული რისკი; პრიორიტეტი: კონტროლების სიმწიფის ზრდა (IAM, SIEM, patching) და მომხმარებლის ცნობიერების პროგრამები.

განმარტებები მხოლოდ C მაგალითისათვის:

MSI (Multivariate Safety Index) – მრავალცვლადიანი უსაფრთხოების ინდექსი: კიბერუსაფრთხოებაში შეიძლება გამოყენებულ იქნას კონტროლების სიმწიფის შეფასებისთვის.

კონტროლების სიმწიფე:

- **IAM (Identity and Access Management) – იდენტიფიკაციისა და წვდომის მართვა:** რამდენად კარგად არის ორგანიზებული მომხმარებელთა იდენტიფიკაცია და წვდომის კონტროლი.
- **SIEM (Security Information and Event Management) – ინფორმაციისა და უსაფრთხოების მართვა:** რამდენად ეფექტურად ხდება უსაფრთხოების მოვლენების შეგროვება, ანალიზი და რეაგირება.
- **Patching – განახლებები:** რამდენად დროულად ხდება სისტემების განახლება და დაუცველობების აღმოფხვრა.

სიმწიფის ზრდა:

- დაბალი დონე: კონტროლები ნაწილობრივ ან არათანმიმდევრულად მუშაობს.
- საშუალო დონე: კონტროლები სტანდარტიზებულია, მაგრამ ჯერ კიდევ არის ხარვეზები.
- მაღალი დონე: კონტროლები ინტეგრირებულია, ავტომატიზებულია და მუდმივად მონიტორინგდება.

ინტერპრეტაცია: MSI აერთიანებს ამ კონტროლების სიმწიფეს ერთიან ინდექსში, რაც საშუალებას აძლევს ორგანიზაციას შეაფასოს თავისი უსაფრთხოების საერთო დონე.

განმარტებები ყველა მაგალითისათვის.

როგორც ზემოგანხილული მაგალითებიდან ჩანს, ინვერსია არის სკალის მიმართულების შეცვლა იმ მიზნით, რომ ყველა ფაქტორი ერთგვაროვნად და ნეგატიურად ინტერპრეტირდეს მრავალფაქტორულ ინდექსში:

- ნეგატიური ფაქტორი პირდაპირ თავისი ინდექსით შედის მრავალფაქტორულ ინდექსში;
- პოზიტიური ფაქტორი მრავალფაქტორულ ინდექსში პირდაპირ კი არ შედის თავისი მნიშვნელობით V_e , არამედ სხვაობით $1 - V_e$;
- ერთგვაროვნად ინტერპრეტირება ნიშნავს პოზიტიური ფაქტორის წარმოჩენას ნეგატიური კუთხით თავისი რიცხვითი სიდიდის V_e შესაბამისად.

ეს საჭიროა იმიტომ, რომ ზოგი ფაქტორი ბუნებრივად რაც უფრო მაღალია, მით უკეთესია (მაგ., ვენტილაციის ეფექტურობა), ხოლო ზოგი რაც უფრო მაღალია, მით უარესია (მაგ., მეთანის კონცენტრაცია). თუ მათ პირდაპირ შევკრებთ, საერთო ინდექსი დამახინჯდება. ინვერსია უზრუნველყოფს, რომ ყველა ფაქტორი ერთგვაროვნად (რისკად) აღიქმებოდეს და ჯამურ ინდექსში თანმიმდევრულად აისახოს. ამ შემთხვევაში ვენტილაცია პოზიტიური ფაქტორია, რომლის ნეგატიურობა გამოხატულია სხვაობით $1 - V_e$. ამგვარად, ყოველი ფაქტორის წვლილი, იქნება ის პოზიტიური თუ ნეგატიური, უნდა აისახოს ჯამურ მაჩვენებელში ნეგატიური გავლენით.

არსებითი მნიშვნელობა უნდა მივანიჭოთ მრავალფაქტორული ინდექსის სწორად განსაზღვრავს, ამიტომ ნაბიჯ-ნაბიჯ ავხსნათ მასთან დაკავშირებული საკითხები, რომელიც იმავდროულად პარაგრაფის შეჯამება იქნება.

1. ფაქტორების ბუნება

- **პოზიტიური ფაქტორი:** რაც უფრო მაღალია, მით უკეთესია (მაგ., ვენტილაციის ეფექტურობა).
- **ნეგატიური ფაქტორი:** რაც უფრო მაღალია, მით უარესია (მაგ., მეთანის კონცენტრაცია).
- **ნეიტრალური/შერეული ფაქტორი:** შეიძლება ორივე მიმართულებით იმოქმედოს, დამოკიდებულია კონტექსტზე (მაგ., რეაგირების დრო).

2. ნორმალიზაცია

ყველა ფაქტორი გადაყვანილია ერთიან სკალაში (0–1 ან 0–10).

- ნეგატიური ფაქტორები პირდაპირ გამოიყენება (მაღალი = მაღალი რისკი).
- პოზიტიური ფაქტორები ინვერსირდება ($X^* = 1 - X$), რათა **მაღალი პოზიტიური მაჩვენებელი იქცეს დაბალ რისკად**.

3. წონების მინიჭება

- თითოეულ ფაქტორს ენიჭება წონა (W_i), რომელიც გამოხატავს მის მნიშვნელობას საერთო სურათში.
- ყველა ფაქტორის წონების ჯამი ყოველთვის უნდა იყოს 1-ის ტოლი ($\sum W_i = 1$).

4. ჯამური მაჩვენებლის გაანგარიშება

ყველა ფაქტორის წვლილი ერთიანდება ფორმულით:

$$CRI = \sum_{i=1}^n X_i^* \cdot W_i$$

- X_i^* — ნორმალიზებული/ინვერსირებული მნიშვნელობა.
- W_i — წონა.
- შედეგი: **ჯამური მაჩვენებელი**, რომელიც ასახავს ყველა ფაქტორის ერთობლივ გავლენას.

5. ინტერპრეტაცია

- **პოზიტიური ფაქტორი:** ინვერსიის შემდეგ მისი კარგი მხარე (მაღალი რიცხვითი მნიშვნელობა) გადაქცეულია დაბალ რისკად, ხოლო პოზიტიური ფაქტორის დაბალი სიდიდე — მაღალ რისკად.
- **ნეგატიური ფაქტორი:** პირდაპირი მნიშვნელობა უკვე ასახავს რისკს.
- **ჯამური მაჩვენებელი:** ყველა წვლილი (პოზიტიური და ნეგატიური) ერთიანდება და გვაძლევს საერთო სურათს.

13.5. მეთოდოლოგიური რუკა და ვიზუალური სქემა

- ნაბიჯები მკვლევრისთვის:

ნაბიჯი 1 – მიზნის ფორმულირება: რა კატეგორიას ვსწავლობთ? რა შედეგია შესაფასებელი?

მკვლევარმა პირველ რიგში უნდა განსაზღვროს, რა კატეგორიას სწავლობს და რა შედეგია შესაფასებელი. მაგალითად: მეთანის აფეთქების რისკი ან ინფექციის გავრცელების ალბათობა. მიზნის მკაფიო ფორმულირება განსაზღვრავს, რა მონაცემები უნდა შეგროვდეს და რა მეთოდები უნდა იქნეს გამოყენებული.

ნაბიჯი 2 – ფაქტორების შერჩევა: ტექნიკური, ორგანიზაციული, ადამიანური.

ფაქტორები შეიძლება იყოს ტექნიკური, ორგანიზაციული ან ადამიანური. შერჩევისას მკვლევარმა უნდა გაითვალისწინოს, რომ თითოეული ფაქტორი რეალურად მოქმედებს შედეგზე. მაგალითად: ვენტილაცია, სენსორების რეაგირების დრო, ჰიგიენის პროცედურები.

ნაბიჯი 3 – ნორმალიზაცია:

ფაქტორები გადაყვანილი უნდა იქნეს ერთიანი სკალის მიხედვით. როგორც უკვე აღვნიშნეთ, პოზიტიური ფაქტორები ინვერსიის გზით გარდაიქმნება ნეგატიურ ეკვივალენტად. ინვერსიის შედეგია სხვაობა – პოზიტიური ინდექსის ნეგატიური ასახვა. ამ შემთხვევაში საკლები არის სკალის მაქსიმალური მაჩვენებელი, რიცხვი 1 (0-1 სკალის შემთხვევაში), ხოლო მაკლები – პოზიტიური ფაქტორის ერთზე ნაკლები რიცხვითი სიდიდე. ადვილი მისახვედრია, რომ სხვა სკალის შემთხვევაში. მაგალითად, 0-10 სკალის შემთხვევაში, საკლები იქნება 10 და მაკლებიც ათობითი სისტემის მიხედვით იქნება დადგენილი, ანუ ერთზე მეტი იქნება.

ნაბიჯი 4 – წონები:

ფაქტორებს ენიჭება წონები (W_i), რომელთა ჯამი უნდა იყოს 1, ე.ი. $\sum W_i = 1$. წონები შეიძლება განისაზღვროს ექსპერტულად (პრიორიტეტების მიხედვით) ან მონაცემებით (ფორმულით $W_i = \frac{x_i}{\sum x_j}$). ეს უზრუნველყოფს, რომ უფრო მნიშვნელოვანი ფაქტორი მიიღებს უფრო დიდ წილს.

ნაბიჯი 5 – ინდექსები: *CRI*, *WII*, საჭიროებისამებრ *MSI*.

მკვლევარი ითვლის კომპოზიტურ ინდექსს (*CRI*), წონის გავლენის ინდექსს (*WII*) ან საჭიროების შემთხვევაში მრავალცვლადიან უსაფრთხოების ინდექსს (*MSI*). თითოეული

მათგანი აძლევს განსხვავებულ ხედვას: *CRI* აერთიანებს ფაქტორებს, *WII* აჩვენებს ინდივიდუალური ფაქტორის წონას, *MSI* კი ქმნის ინტეგრირებულ სურათს.

ნაბიჯი 6 – მგრძნობელობის ანალიზი: სკალების, წონების, სცენარების გამოცდა.

საჭიროა სცენარების გამოცდა: სკალის ცვლილება (0–10 → 0–8), წონების მცირე გადაადგილება (± 0.05), მინ–მაქს ინტერვალების განსაზღვრა. დასაშვები ცდომილების წინასწარი განსაზღვრა. ეს აჩვენებს, რამდენად სტაბილურია ინდექსი და რამდენად მგრძნობიარეა ცვლილებების მიმართ.

ნაბიჯი 7 – ვალიდაცია: ტრიანგულაცია (დაკვირვება + სტატისტიკა + ინტერვიუ).

მიღებული შედეგები უნდა დამოწმდეს სხვადასხვა მეთოდით: ტრიანგულაციით (დაკვირვება + სტატისტიკა + ინტერვიუ), ჯვარედინი–ვალიდაციით (მონაცემების შედარება სხვადასხვა ობიექტებში). ეს ზრდის სანდოობას და ამცირებს შეცდომის დამშვების ალბათობას.

ნაბიჯი 8 – ინტერპრეტაცია: პრიორიტეტი, კონტროლის ზომები, PDCA ციკლში ჩასმა.

ბოლოს მკვლევარმა უნდა განსაზღვროს პრიორიტეტები და კონტროლის ზომები. შედეგები უნდა ჩასვას PDCA ციკლში (Plan–Do–Check–Act), რათა მიღებული ინდექსი გადაიქცეს პრაქტიკულ გადაწყვეტილებად.

ვიზუალური სქემა (ტექსტური):

- Hazard identification → Factor selection → Normalization → Weighting → Index calculation (*CRI/WII/MSI*) → Prioritization → Control measures → Monitoring (PDCA).
- საფრთხის იდენტიფიკაცია → ფაქტორების შერჩევა → ნორმალიზაცია → აწონვა → ინდექსის გაანგარიშება (*CRI/WII/MSI*) → პრიორიტეტიზაცია → კონტროლის ზომები → მონიტორინგი (PDCA).

ცხრილი 13.4

ნაბიჯები მკვლევრისთვის

ნაბიჯი	შინაარსი	პრაქტიკული გამოყენება	სასწავლო ღირებულება
ნაბიჯი 1 – მიზნის ფორმულირება	განსაზღვრე, რა კატეგორიას სწავლობ და რა შედეგია შესაფასებელი	მეთანის აფეთქების რისკი ან ინფექციის გავრცელების ალბათობა	ნაჩვენებია, რომ კვლევა იწყება მკაფიო მიზნიდან
	ტექნიკური, ორგანიზაციული, ადამიანური	ვენტილაცია, სენსორების რეაგირების დრო,	ასწავლის, რომ შედეგზე

ნაბიჯი 2 – ფაქტორების შერჩევა	ფაქტორების განსაზღვრა	ჰიგიენის პროცედურები	მოქმედებს მრავალი ფაქტორი
ნაბიჯი 3 – ნორმალიზაცია	ფაქტორების გადაყვანა ერთიან სკალაზე (0–1 ან 0– 10)	პოზიტიური ფაქტორების ინვერსია: საკლები–მაკლები– სხვაობა	აჩვენებს, როგორ ხდება მონაცემების ერთგვაროვანი წარმოდგენა
ნაბიჯი 4 – წონები	თითოეულ ფაქტორს ენიჭება წონა (W_i), $\sum W_i = 1$	ექსპერტული განსაზღვრა ან მონაცემებით დადგენა	ასწავლის, რომ უფრო მნიშვნელოვანი ფაქტორი იღებს მეტ წილს
ნაბიჯი 5 – ინდექსების გაანგარიშება	CRI , WII , საჭიროების შემთხვევაში MSI	კომპოზიტიური ინდექსი CRI აერთიანებს ფაქტორებს; WII აჩვენებს ინდივიდუალური წონას; MSI ქმნის ინტეგრირებულ სურათს	აჩვენებს, რომ სხვადასხვა ინდექსი იძლევა განსხვავებულ ხედვას
ნაბიჯი 6 – მგრძნობელობის ანალიზი	სცენარების გამოცდა: სკალის ცვლილება, წონების გადაადგილება	0–10 → 0–8; ± 0.05 წონებზე	ასწავლის, რომ შედეგი უნდა იყოს სტაბილური მცირე ცვლილებების დროს
ნაბიჯი 7 – ვალიდაცია	შედეგების დამოწმება სხვადასხვა მეთოდით	ტრიანგულაცია (დაკვირვება + სტატისტიკა + ინტერვიუ), ჯვარედინი– ვალიდაცია	აჩვენებს, რომ სანდოობა იზრდება მრავალმხრივი შემოწმებით
ნაბიჯი 8 – ინტერპრეტაცია	პრიორიტეტების განსაზღვრა და კონტროლის ზომების ჩამოყალიბება	PDCA ციკლში ჩასმა (Plan–Do–Check–Act)	ასწავლის, რომ ინდექსი უნდა გადაიქცეს პრაქტიკულ გადაწყვეტილებად

ნაბიჯები მკვლევრისათვის დავასრულოთ გაფართოებული პრაქტიკული მაგალითებით, რომელიც სტუდენტს აძლევს არა მხოლოდ ფორმულას და შედეგს, არამედ გამჭვირვალე გზას, თუ როგორ განისაზღვრა თითოეული რიცხვი. უკვე განხილული სამი მაგალითი (სამთო მრეწველობა, ჯანდაცვა, კიბერუსაფრთხოება) აქ განსაკუთრებულ სიღრმეს ღებულობს, სადაც ყოველი რიცხვი განმარტებულია: მაგალითად, მიღებულია გაზომვით, შერჩეულია ექსპერტულად, ან დადგენილია ნორმალიზაციით/ფორმულით.

მაგალითი A – სამთო მრეწველობა: კომპოზიტური მეთანის რისკი (CRI):

მონაცემები:

$C_m = 0,6$ — მიღებულია სენსორის განაზომით (მეთანის კონცენტრაცია).

$V_e = 0,7$ — შერჩეულია როგორც პოზიტიური ფაქტორი (ვენტილაციის ეფექტურობა, მიღებულია აუდიტის მონაცემებით).

$T_s = 10$ წმ — მიღებულია დაკვირვებით (სენსორის რეაგირების დრო).

ნორმალიზაცია და ინვერსია:

$V^* = 1 - V_e = 0,3$ — დადგენილია ინვერსიის გზით.

$T_s^* = 0,5$ — დადგენილია ნორმალიზაციით (10 წმ დაყვანილია 0-1 სკალაზე).

$T^* = 1 - T_s^* = 0,5$ — დადგენილია ინვერსიის გზით.

წონები:

$\{W_C, W_V, W_T\} = \{0.5, 0.3, 0.2\}$ — შერჩეულია ექსპერტული პრიორიტეტებით.

გაანგარიშება:

$$CRI = 0,6 \times 0,5 + 0,3 \times 0,3 + 0,5 \times 0,2 = 0,49$$

ინტერპრეტაცია: 0,49 — საშუალოზე მაღალი რისკი.

მაგალითი B – ჯანდაცვა: ინფექციის მრავალფაქტორული ინდექსი (WII + CRI)

მონაცემები:

$P = 0,30$ — მიღებულია სტატისტიკური მონაცემებით (ინფექციის გავრცელების ალბათობა).

$S = 4$ — შერჩეულია ექსპერტული კლასიფიკაციით (შედეგის სიმძიმე).

$W = 1,0$ — შერჩეულია როგორც კატეგორიული წონა.

წონის გავლენის ინდექსი WII:

$$WII = P \times S \times W = 0,30 \times 4 \times 1,0 = 1,20.$$

პრევენციული ფაქტორები:

$H_h = 0,8$ — მიღებულია დაკვირვებით (ჰიგიენის შესაბამისობა).

$E_e = 0,9$ — მიღებულია აუდიტის მონაცემებით (მოწყობილობის გამართულობა).

$W_r = 0,7$ — დადგენილია ექსპერტული შეფასებით (პროცესების თანმიმდევრულობა).

ინვერსია:

$$H^* = 1 - H_h = 0,2$$

$$E^* = 1 - E_e = 0,1$$

$$W^* = 1 - W_r = 0,3$$

წონები:

$\{W_H, W_E, W_W\} = \{0,4, 0,4, 0,2\}$ — შერჩეულია ექსპერტულად.

კომპოზიტური რისკის ინდექსი CRI :

$$CRI = 0,2 \times 0,4 + 0,1 \times 0,4 + 0,3 \times 0,2 = 0,18.$$

ინტერპრეტაცია: $WII = 1,20$ (სერიოზული გავლენა); $CRI = 0,18$ (პრევენციის ხარვეზი საშუალო-დაბალი).

მაგალითი C – კიბერუსაფრთხოება: MSI – ვიანგარიშით მრავალფაქტორიანი უსაფრთხოების ინდექსი.

მონაცემები:

$P_a = 0,27$ — მიღებულია სტატისტიკური მონაცემებით (შეტევის სიხშირე).

$S_a = 5$ — შერჩეულია ექსპერტული კლასიფიკაციით (სიმძიმე).

$C_m = 0,6$ — მიღებულია აუდიტით (კონტროლების სიმწიფე).

$U_a = 0,5$ — მიღებულია გამოკითხვით (მომხმარებლის ცნობიერება).

ინვერსია:

$$C^* = 1 - C_m = 0,4;$$

$$U^* = 1 - U_a = 0,5.$$

წონის გავლენის ინდექსი – WII :

$$WII_{cyber} = P_a \times S_a \times W_{cyber} = 0,27 \times 5 \times 0,53 = 1,35.$$

($W_{cyber} = 0,53$ — შერჩეულია ექსპერტულად).

CRI :

$$CRI_{ctrl} = 0,4 \times 0,6 + 0,5 \times 0,4 = 0,44$$

($\{W_C, W_U\} = \{0,6; 0,4\}$ — შერჩეულია ექსპერტულად).

MSI :

$$MSI = \alpha \times CRI_{ctrl} + \beta \times WII_{cyber}$$

(α, β — დადგენილია კალიბრაციით; მაგალითად, $\alpha = 0,4$; $\beta = 0,6$).

ინტერპრეტაცია: $MSI \approx 0,99$ — მაღალი ინტეგრირებული რისკი.

ცხრილი 13.5

სამთო მრეწველობა: მეთანის აფეთქების კომპოზიტური რისკი (CRI)

პარამეტრი	მნიშვნელობა	წყარო	განმარტება
C_m	0,6	მიღებული	სენსორის მიერ გაზომილი მეთანის კონცენტრაცია
V_e	0,7	შერჩეული	ვენტილაციის ეფექტურობა, აუდიტის მონაცემებით
T_s	10 წმ	მიღებული	დაკვირვებით მიღებული რეაგირების დრო

V^*	0,3	დადგენილი	ინვერსია: $1 - V_e$
T_s^*	0,5	დადგენილი	ნორმალიზაცია: 10 წმ დაყვანილი 0–1 სკალაზე
T^*	0,5	დადგენილი	ინვერსია: $1 - T_s^*$
წონები	{0,5;0,3; 0,2}	შერჩეული	ექსპერტული პრიორიტეტებით

ცხრილი 13.6

ჯანდაცვა: ინფექციის მრავალფაქტორული ინდექსი ($WII + CRI$)

პარამეტრი	მნიშვნელობა	წყარო	განმარტება
F	0,30	მიღებული	სტატისტიკური მონაცემებით მიღებული გავრცელების ალბათობა
S	4	შერჩეული	ექსპერტული კლასიფიკაციით განსაზღვრული სიმძიმე
W	1,0	შერჩეული	წონა, როცა მხოლოდ ერთი კატეგორიაა
H_h	0,8	მიღებული	დაკვირვებით მიღებული ჰიგიენის შესაბამისობა
E_e	0,9	მიღებული	აუდიტის მონაცემებით მიღებული მოწყობილობის გამართულობა
W_r	0,7	დადგენილი	ექსპერტული შეფასებით განსაზღვრული პროცესების თანმიმდევრულობა
H^*	0,2	დადგენილი	ინვერსია: $1 - H_h$
E^*	0,1	დადგენილი	ინვერსია: $1 - E_e$
W^*	0,3	დადგენილი	ინვერსია: $1 - W_r$
წონები	{0,4;0,4;0,2}	შერჩეული	ექსპერტული პრიორიტეტებით

ცხრილი 13.7

კიბერუსაფრთხოება: MSI

პარამეტრი	მნიშვნელობა	წყარო	განმარტება
S_a	0,27	მიღებული	სტატისტიკური მონაცემებით მიღებული შეტევების სიხშირე
S_a	5	შერჩეული	ექსპერტული კლასიფიკაციით განსაზღვრული სიმძიმე
C_m	0,6	მიღებული	აუდიტით მიღებული კონტროლების სიმწიფე
U_a	0,5	მიღებული	გამოკითხვით მიღებული მომხმარებლის ცნობიერება
C^*	0,4	დადგენილი	ინვერსია: $1 - C_m$

U^*	0,5	დადგენილი	ინვერსია: $1-U_a$
W_{cyber}	0.53	შერჩეული	ექსპერტული პრიორიტეტებით
წონები	{0,6; 0,4}	შერჩეული	ექსპერტული პრიორიტეტებით
α, β	0,4; 0,6	დადგენილი	კალიბრაციის პროცესით, მონაცემებისა და ექსპერტული შეფასების სინთეზით

მოცემული ცხრილებით ყოველი რიცხვი **გამჭვირვალედ არის ახსნილი**:

- **მიღებული** — გაზომვით, დაკვირვებით, სტატისტიკით, აუდიტით, გამოკითხვით.
- **შერჩეული** — ექსპერტული პრიორიტეტებით ან კლასიფიკაციით.
- **დადგენილი** — ნორმალიზაციით, ინვერსიით, კალიბრაციით ან ფორმულით.

13.6. პოლიტიკის რეკომენდაციები და ინტერპრეტაცია

- **პრიორიტეტიზაცია**: მაღალი WII → დაუყოვნებელი კონტროლი; მაღალი CRI → პროცესის გამყარება; მაღალი MSI → სტრატეგიული რეფორმა.
- **რესურსების განაწილება**: წონებზე და ინდექსებზე დაყრდნობით — ყველაზე გავლენიან კატეგორიებზე ფოკუსი.
- **PDCA-სთან ინტეგრაცია**:
 - **Plan**: ინდექსების კალიბრაცია, მიზნობრივი პროგრამები.
 - **Do**: კონტროლის ზომების განხორციელება.
 - **Check**: აუდიტი, ინდექსების გადახედვა.
 - **Act**: კორექცია, სტანდარტების სიმკაცრის დონის გადახედვა.
- **კომუნიკაცია**: მოკლე, ინტერპრეტირებადი დიაპაზონები; ვიზუალიზაცია; ერთგვაროვანი ტერმინოლოგია (EN-KA პარალელი შენარჩუნდეს).
- **გრადაციის დიაპაზონები** 0-1 სკალისათვის ურყევია (0–0,33 ; 0,34–0,66 ; 0,67–1,00), ფაქტორების რაოდენობის მიუხედავად. გრადაციის დიაპაზონები აგრეთვე არ იცვლება სხვა საზღვრების მქონე სკალისათვის (0-10 და ა.შ.). მრავალი ფაქტორის არსებობა სიზუსტეს ზრდის, მაგრამ საზღვრებს არ ცვლის.

13.7. საკონტროლო კითხვები და პასუხები

კითხვა 1. რა განსხვავებაა მიღებულ, შერჩეულ და დადგენილ რიცხვით მნიშვნელობებს შორის?

პასუხი:

- **მიღებული** — მონაცემი, რომელიც პირდაპირი გაზომვით ან დაკვირვებით მიიღება (მაგ., სენსორის მიერ დაფიქსირებული კონცენტრაცია).
 - **შერჩეული** — პარამეტრი, რომელიც მკვლევარმა ან ექსპერტმა წინასწარ განსაზღვრა, რომ შევიდეს მოდელში (მაგ., ვენტილაციის ეფექტურობის გამოყენება).
 - **დადგენილი** — მიღებული მონაცემების ან ექსპერტული შეფასების საფუძველზე ნორმალიზაციის, კალიბრაციის ან ფორმულის გამოყენებით მიღებული მნიშვნელობა (მაგ., რეაგირების დრო ნორმალიზაციის შემდეგ).
- ეს განსხვავება სტუდენტს აჩვენებს, რომ ყველა რიცხვი უნდა იყოს გამჭვირვალედ ახსნილი, რათა ინდექსი სანდო და გასაგები იყოს.

კითხვა 2. რატომ არის საჭირო ნორმალიზაცია და ინვერსია?

პასუხი:

ნორმალიზაცია საჭიროა, რომ სხვადასხვა მასშტაბის მონაცემები ერთიან სკალაზე გადავიყვანოთ (მაგ., 0–1 ან 0–10). ინვერსია გამოიყენება პოზიტიური ფაქტორების ნეგატიურ ასახვად: მაგალითად, ვენტილაციის მაღალი ეფექტურობა (V_e) რეალურად ამცირებს რისკს, ამიტომ ინდექსში გამოიყენება $V^* = 1 - V_e$.

ეს პროცესი უზრუნველყოფს, რომ ყველა ფაქტორი ერთგვაროვნად იყოს რისკის მიხედვით წარმოდგენილი და ინდექსი რეალურად ასახავდეს რისკის დონეს.

კითხვა 3. როგორ განისაზღვრება წონები (W_i) და რატომ უნდა იყოს მათი ჯამი 1?

პასუხი:

წონები (W_i) გამოხატავს თითოეული ფაქტორის მნიშვნელობას მთლიან ინდექსში. მათი განსაზღვრა შეიძლება:

- **ექსპერტულად** — სპეციალისტების პრიორიტეტების მიხედვით.
- **მონაცემებით** — ფორმულით $W_i = \frac{x_i}{\sum x_j}$.

ჯამი უნდა იყოს 1, რათა ინდექსი იყოს პროპორციული და ყველა ფაქტორი შედარებად წარდგეს.

- აღნიშნული ასწავლის სტუდენტს, რომ წონა არ არის შემთხვევითი რიცხვი და არის სისტემური პრიორიტეტის გამოხატულება.

კითხვა 4. რა არის *CRI*, *WII* და *MSI* და როდის გამოიყენება თითოეული?

პასუხი:

- ***CRI* (Composite Risk Index)** — აერთიანებს ყველა ფაქტორს ერთიან ინდექსში. გამოიყენება, როცა საჭიროა საერთო სურათი.

- ***WII* (Weighted Impact Index)** — აჩვენებს ინდივიდუალური ფაქტორის წონას და გავლენას. გამოიყენება, როცა საჭიროა კონკრეტული ფაქტორის მნიშვნელობის შეფასება.

- **MSI (Multivariate Safety Index)** — ინტეგრირებული ინდექსი, რომელიც აერთიანებს *CRI*-ს, *WII*-ს და დამატებით ინდექსებს (α, β, γ). გამოიყენება, როცა საჭიროა სრული, მრავალმხრივი სურათი.

ეს პასუხები აჩვენებენ, რომ ინდექსები განსხვავებულ მიზნებს ემსახურება და მკვლევარმა უნდა იცოდეს, როდის გამოიყენოს თითოეული.

კითხვა 5. რა არის მგრძნობელობის ანალიზი და რატომ არის აუცილებელი?
პასუხი:

მგრძნობელობის ანალიზი ამოწმებს, რამდენად სტაბილურია ინდექსი მცირე ცვლილებების დროს. მაგალითად, თუ წონები შეიცვალა ± 0.05 -ით ან სკალა 0–10-დან 0–8-ზე გადავიდა, შედეგი არ უნდა შეიცვალოს მკვეთრად და არ უნდა გადააჭარბოს წინასწარ პროცენტულად დასახულ ცდომილების სიდიდეს.

ეს პროცესი ასწავლის სტუდენტს, რომ ინდექსი უნდა იყოს არა მხოლოდ გამოთვლილი, არამედ **სანდო და მდგრადი**. წინასწარ შეგვიძლია დავსახოთ რა სიზუსტით ხდება საკითხების კვლევა.

კითხვა 6. როგორ ხდება ვალიდაცია და რატომ არის ის მნიშვნელოვანი?
პასუხი:

ვალიდაცია ნიშნავს შედეგების დამოწმებას სხვადასხვა მეთოდით და ვსწავლობთ იმ მონაცემებს, რომელთა შესწავლაც გვაქვს დასახული:

- **ტრიანგულაცია** — დაკვირვება + სტატისტიკა + ინტერვიუ.
- **ჯვარედინი-ვალიდაცია** — მონაცემების შედარება სხვადასხვა ობიექტებში.

ეს ზრდის სანდოობას და ამცირებს შეცდომის ალბათობას. სტუდენტი სწავლობს, რომ შედეგი უნდა იყოს არა მხოლოდ გამოთვლილი, არამედ დამოწმებული.

კითხვა 7. როგორ უნდა ინტერპრეტირდეს მიღებული ინდექსი?

პასუხი:

ინდექსის ინტერპრეტაცია ნიშნავს პრიორიტეტების განსაზღვრას და კონტროლის ზომების ჩამოყალიბებას. მაგალითად, თუ $CRI = 0,49$, ეს ნიშნავს საშუალოზე მაღალ რისკს და საჭიროებს დამატებით კონტროლს. შედეგები უნდა ჩასვას PDCA ციკლში (Plan–Do–Check–Act), რათა ინდექსი გადაიქცეს პრაქტიკულ გადაწყვეტილებად. ეს პასუხი აჩვენებს, რომ ინდექსი არ არის მხოლოდ თეორიული რიცხვი — ის უნდა იქცეს **მოქმედების ინსტრუმენტად**.

ცხრილი 13.8

საკონტროლო კითხვები

კითხვა	პასუხი	ღირებულება
--------	--------	------------

რა განსხვავებაა მიღებულ, შერჩეულ და დადგენილ მნიშვნელობებს შორის?	მიღებული = გაზომვით; შერჩეული = ექსპერტულად; დადგენილი = ნორმალიზაციით/ფორმულით	ასწავლის, რომ ყველა რიცხვი უნდა იყოს გამჭვირვალედ ახსნილი
რატომ არის საჭირო ნორმალიზაცია და ინვერსია?	ნორმალიზაცია = ერთიანი სკალა; ინვერსია = პოზიტიური ფაქტორის ნეგატიური ასახვა	აჩვენებს, რომ მონაცემები უნდა იყოს ერთგვაროვანი და რეალურად ასახავდეს რისკს
როგორ განისაზღვრება წონები (W_i)?	ექსპერტული პრიორიტეტებით ან მონაცემებით; $\sum W_i = 1$	ასწავლის, რომ წონები გამოხატავს სისტემურ პრიორიტეტებს
რა არის CRI , WII და MSI ?	CRI = საერთო სურათი; WII = ინდივიდუალური წონა; MSI = ინტეგრირებული ინდექსი	აჩვენებს, რომ ინდექსები განსხვავებულ მიზნებს ემსახურება
რა არის მგრძნობელობის ანალიზი?	ინდექსის სტაბილურობის ტესტი მცირე ცვლილებების დროს	ასწავლის, რომ შედეგი უნდა იყოს სანდო და მდგრადი
როგორ ხდება ვალიდაცია?	ტრიანგულაცია და χ^2 კვადრეტი-ვალიდაცია	აჩვენებს, რომ შედეგი უნდა დამოწმდეს მრავალმხრივ
როგორ უნდა ინტერპრეტირდეს ინდექსი?	შედეგი უნდა ჩასვას PDCA ციკლში	ასწავლის, რომ ინდექსი უნდა იქცეს პრაქტიკულ გადაწყვეტილებად

ცხრილი 13.9

ბილინგვური ტერმინოლოგია

ქართული ტერმინი	ინგლისური ტერმინი	განმარტება	შენიშვნა
საფრთხე	Hazard	პოტენციური ზიანის წყარო	არ უნდა აირიოს რისკთან
რისკი	Risk	$[R = P \times S]$ — ალბათობა $\times$ სიმძიმე	ISO 31000
ალბათობა (P)	Probability (P)	რეალიზაციის სიხშირე/სავარაუდოობა	მიუთითეთ წყარო: გაზომილი/შერჩეული/დადგენილი
სიმძიმე (S)	Severity (S)	შედეგის სიდიდე/სიმძიმე	შედეგის მასშტაბი
ინტენსიურობა	Intensity	ზემოქმედების ძალა/სიმკვეთრე	გამოიყენეთ მხოლოდ ექსპოზიციის კონტექსტში

საშიში სიტუაცია	Hazardous situation	პირობები, სადაც რეალური რისკია	ISO 45001
ინდივიდუალური შემთხვევა	Individual case	ერთი დაზიანებული	ერთეული → ინდივიდუალური
ჯგუფური შემთხვევა	Multiple-casualty event	ერთზე მეტი დაზიანებული	ჯგუფური ან მრავლობითი
უსაფრთხოება	Safety	რისკების შემცირება მისაღებ დონემდე	მისაღები დონე
პროფესიული უსაფრთხოება	Occupational safety	სამუშაო გარემოს უსაფრთხოება	ISO 45001
რისკების შეფასება	Risk assessment	იდენტიფიკაცია, ანალიზი, შეფასება	ISO 31000
რისკების მართვა	Risk management	დონისძიებები რისკების შემცირებაზე	PDCA ციკლი
კონტროლის ზომები	Control measures	ტექნიკური/საორგანიზაციო/ინდივიდუალური	კოლექტიური პრიორიტეტულია
სამთო საქმე	Mining	დარგობრივი კონტექსტი	სტანდარტიზებული ფორმა
სერტიფიცირება	Certification	შესაბამისობის დადასტურება	ISO 31000 არ ექვემდებარება სერტიფიკაციას
დოზიმეტრია	Dosimetry	მაიონებელი გამოსხივების დოზების მონიტორინგი	IAEA

სტანდარტიზაციის წესები:

- ფორმულა: ყოველთვის $[R = P \times S]$ LaTeX ფორმატში.
- ISO მითითებები: პირველი მოხსენიება სრული სახელით + წელი, შემდეგ მხოლოდ აკრონიმი.
 - PDCA: ერთიანი ბილინგვური ფორმა — PDCA (Plan–Do–Check–Act — დაგეგმვა–განხორციელება–შემოწმება–მოქმედება).
 - რიცხვითი მნიშვნელობები: ყოველთვის მიუთითეთ წყარო (Measured / Selected / Determined).

14. დანართი

ცხრილი დ. 1

საერთაშორისო სტანდარტები

აბრევია- ტურა	სრული სახელწოდება	მოქმედი სტანდ./ცნობარი	გადახედვის ციკლი	მოკლე რეზიუმე
ISO	International Organization for Standardization	ISO 45001:2018 – Occupational Health & Safety Management Systems; ISO 14001:2015 Environmental Management Systems; ISO 9001:2015 Quality Management Systems	ჩვეულებრივ ყოველ 5 წელიწადში ერთხელ; ISO 45001 ახალი რევიზია მოსალოდნელია 2027	წარმოადგენს უნივერსალურ სტანდარტს უსაფრთხოების, გარემოსდაცვითი და ხარისხის მართვის სისტემების ჰარმონიზაციისთვის
ILO	International Labour Organization	ILO Convention C167 – Safety and Health in Construction	რეგულარული გადახედვა საერთაშორისო პრაქტიკის მიხედვით	ადგენს სხვადასხვა ხასიათის პროფესიული უსაფრთხოების წესებს
NFPA	National Fire Protection Association	NFPA 10 – Standard for Portable Fire Extinguishers	პერიოდული განახლება პრაქტიკული საჭიროებების მიხედვით	ცეცხლსაქრობების ტიპოლოგია და გამოყენების წესები
IEC 60479	International Electrotechnical Commission	IEC 60479 – Effects of current on human beings and livestock	გადახედვა 10 წელიწადში ერთხელ	განსაზღვრავს ელექტრომონტაჟის უსაფრთხოების წესებს
WHO	World Health Organization	Occupational Health Guidelines	განახლება საჭიროების მიხედვით	უზრუნველყოფს მუშაკთა ჯანმრთელობისა და სამუშაო გარემოს უსაფრთხოების რეკომენდაციებს
IAEA	International Atomic Energy Agency	IAEA Safety Standards Series GSR Part 3 – Radiation Protection and Safety of Radiation Sources	რეგულარული გადახედვა 10 წელიწადში ერთხელ	ადგენს რადიაციული უსაფრთხოების საერთაშორისო წესებს
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing	ICNIRP Guidelines (2020) – Radiofrequency EMF exposure limits	განახლება 10 წელიწადში ერთხელ	ადგენს არაიონიზებული გამოსხივების

	Radiation Protection			უსაფრთხოების საზღვრებს
--	----------------------	--	--	------------------------

ცხრილ დ. 1-ის სქოლიოები

დამატებითი განმარტებები

- ISO → ISO სტანდარტების გადახედვა ხდება ყოველ 5 წელიწადში ერთხელ, რათა შეესაბამებოდეს ახალ სამეცნიერო მონაცემებს. მაგალითად, ISO 45001:2018-ის ახალი რევიზია მოსალოდნელია 2027 წელს.
 - ILO → სამშენებლო უსაფრთხოების კონვენცია (C167) პირდაპირ ეხება ხარაჩოების, კიბეების და სამშენებლო მოედნების მოწყობას.
 - NFPA 10 → ცეცხლსაქრობების ფერების კოდირება: წყალი – წითელი; მშრალი ფხვნილი – ლურჯი; ნახშირორჟანგი – შავი; სწრაფი აორთქლება – მწვანე; ქაფი – კრემისფერი.
 - IEC 60364 → განსაზღვრავს ელექტრომონტაჟის უსაფრთხოების წესებს შენობებში, მათ შორის ჩამიწების და მეხსარიდის მოთხოვნებს.
 - IEC 60479 → დენის გავლენის ზღვარი ადამიანზე: ≤10 ომი წინააღმდეგ უსაფრთხო ჩამიწებისთვის; დენის გავლენის ეფექტები კლასიფიცირდება როგორც შეგრძნების, საშიში და ლეტალური.
 - WHO → Occupational Health Guidelines მოიცავს ინდივიდუალური დამცავი საშუალებების გამოყენებას, სამუშაო გარემოს მიკროკლიმატის კონტროლსა და ტრავმატიზმის პრევენციას.
 - IAEA → Radiation Protection Standards გამოიყენება არა მხოლოდ ბირთვულ სფეროში, არამედ სამედიცინო გამოსხივებისასაც (მაგ., რენტგენი, CT).
 - ICNIRP → განსაზღვრავს რადიოტალღებისა და ელექტრომაგნიტური ველების ზღვრულ დონეებს, რათა აიცილოს ჯანმრთელობის რისკები.
- მომდევნო ცხრილი დ.2 წარმოადგენს დანართის გაგრძელებას და მოიცავს ყველა იმ საერთაშორისო სტანდარტს, რომელიც გამოყენებულია სახელმძღვანელოს თავებში, მაგრამ არ არის ასახული დანართის ცხრილში დ.1. მისი მიზანია ერთიანი სურათის შექმნა, რათა მკითხველმა მარტივად დაინახოს ყველა გამოყენებული სტანდარტი. ლეტალური განმარტებები და სქოლიოები მოცემულია დანართის პირველ ცხრილში.

ცხრილი დ. 2

საერთაშორისო სტანდარტები, რომლებიც არაა ასახული დ.1 ცხრილში

აბრევია-ტურა	სრული სახელწოდება	მოქმედი სტანდ./ცნობარი	გადახედვის ციკლი	მოკლე რეზიუმე
ISO 31000	Risk Management – Guidelines	ISO 31000:2018	5 წელიწადში ერთხელ (შემდეგი რევიზია მოსალოდნელია 2023–2025)	განსაზღვრავს რისკების მართვის პრინციპებსა და პროცესებს; უნივერსალური ჩარჩო ყველა დარგისთვის
ISO 31010	Risk Assessment Techniques	ISO 31010:2019	5 წელიწადში ერთხელ (შემდეგი რევიზია)	ავსებს ISO 31000-ს; აღწერს 30-ზე მეტ პრაქტიკულ მეთოდს

			მოსალოდნელია 2024–2025)	(HAZOP, FMEA, FTA და სხვ.)
ISO 8995-1	Lighting of Work Places	ISO 8995-1:2021	5 წელიწადში ერთხელ	ადგენს სამუშაო ადგილების მინიმალურ განათების დონეებს და ვიზუალური კომფორტის მოთხოვნებს
ISO 1999	Acoustics — Determination of Occupational Noise Exposure	ISO 1999:2013	10 წელიწადში ერთხელ	განსაზღვრავს პროფესიული ხმაურის ზღვარს (85 დბ 8 სთ-ში) და დოზის მოდელირებას
IEC 60529	Degrees of Protection Provided by Enclosures (IP Code)	IEC 60529:1989 + Amd2:2013 + Cor1:2019	10 წელიწადში ერთხელ	განსაზღვრავს მოწყობილობების დაცულობის ხარისხს მტვრისა და წყლის შეღწევისგან (IP კოდები)
IEC 60079	Explosive Atmospheres	IEC 60079 სერია	10 წელიწადში ერთხელ	ფეთქებად გარემოში გამოყენებული მოწყობილობების უსაფრთხოების მოთხოვნები
EN 13445	Unfired Pressure Vessels	EN 13445:2021	პერიოდული განახლება	ევროპული სტანდარტი მაღალი წნევის ჭურჭლების კონსტრუქციისთვის
ASME BPVC	Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII	ASME BPVC Section VIII, Division 1 (2025)	პერიოდული განახლება	ამერიკული კოდექსი წნევის ჭურჭლების უსაფრთხო კონსტრუქციისთვის
IEC 61508	Functional Safety of Electrical/Electronic Systems	IEC 61508:2010	10 წელიწადში ერთხელ	განსაზღვრავს ფუნქციური უსაფრთხოების მოთხოვნებს ელექტრონულ სისტემებში
NFPA 77	Recommended Practice on Static Electricity	NFPA 77:2023	პერიოდული განახლება	სტატიკური ელექტრობის მართვის პრაქტიკული წესები
				განსაზღვრავს გარემოსდაცვით,

EHS&CLM	Environmental, Health, and Safety Guidelines for Cement and Lime Manufacturing	IFC EHS&CLM (ბოლო ვერსია IFC ვებსაიტზე)	პერიოდული განახლება	ჯანმრთელობისა და უსაფრთხოების მოთხოვნებს ცემენტის/კირის წარმოებაში
IFC PS	International Finance Corporation – Performance Standards	IFC PS (ბოლო ვერსია IFC ვებსაიტზე)	პერიოდული განახლება	უზრუნველყოფს უფრო მკაცრ მოთხოვნებს საერთაშორისო პროექტებში, თუ ადგილობრივი რეგლამენტაცია ნაკლებად მკაცრია

შენიშვნა დ.2 ცხრილთან:

წინამდებარე სახელმძღვანელოს გამოქვეყნების პერიოდში მოქმედი ნორმები იყო ISO 31000:2018 და ISO 31010:2019 მიუხედავად იმისა, რომ ცხრილში მოცემული ჩანაწერის მიხედვით, მათი რევიზია უნდა განხორციელებულიყო 2024-2025 წლებში.

ცხრილი დ. 3

ფიზიკური სიდიდეების ძირითადი ერთეულების ცხრილი

ფიზიკური სიდიდე		ფიზიკური სიდიდის ერთეული			
დასახელება	განზომილება	დასახელება	აღნიშვნა		
			ქართული	საერთაშორისო	რუსული
სიგრძე	L	მეტრი	მ	m	м
მასა	M	კილოგრამი	კგ	kg	кг
დრო	T	წამი	წმ	s	с
ელექტრული დენის ძალა	I	ამპერი	ა	A	А
თერმოდინამიკური ტემპერატურა	θ	კელვინი	კ	K	К
ნივთიერების რაოდენობა	N	მოლი	მოლი	mol	моль
სინათლის ძალა	J	კანდელა	კდ	cd	кд

ცხრილი დ. 4

დამატებითი ერთეულები

ფიზიკური სიდიდე	ფიზიკური სიდიდის ერთეული			
	დასახელება	აღნიშვნა		
		ქართული	საერთაშორისო	რუსული
ბრტყელი კუთხე	რადიანი	რად	rad	рад
სივრცითი კუთხე	სტერადიანი	სრ	sr	ср

წარმოებული ერთეულები, რომელთა სახელი წარმოქმნილია ძირითადი და
დამატებითი ერთეულების დასახელებებიდან

ფიზიკური სიდიდე		ფიზიკური სიდიდის ერთეული			
დასახელება	განზომი- ლება	დასახელება	აღნიშვნა		
			ქართული	საერთაშორისო	რუსული
ფართობი	L^2	კვადრატული მეტრი	m^2	m^2	m^2
მოცულობა	L^3	კუბური მეტრი	m^3	m^3	m^3
სიჩქარე	LT^{-1}	მეტრი წამში	მ/წმ	m/s	m/c
კუთხური სიჩქარე	T^{-1}	რადიანი წამში	რად/წმ	rad/s	rad/c
აჩქარება	LT^{-2}	მეტრი წამ კვადრატზე	მ/წმ ²	m/s^2	m/c^2
კუთხური აჩქარება	T^{-2}	რადიანი წამ კვადრატზე	რად/წმ ²	rad/s^2	rad/c^2
ტალღური რიცხვი	L^{-1}	მეტრი მინუს ერთ ხარისხში	m^{-1}	m^{-1}	m^{-1}
სიმკვრივე	$L^{-3}M$	კილოგრამი კუბურ მეტრზე	კგ/მ ³	kg/m ³	$кг/м^3$
კუთრი მოცულობა	L^3M^{-1}	კუბური მეტრი კილოგრამზე	მ ³ /კგ	m^3/kg	$м^3/кг$
ელექტრული დენის სიმკვრივე	L^2M^{-1}	ამპერი კვადრატულ მეტრზე	ა/მ ²	A/m ²	A/m^2
მაგნიტური დაძაბულობა	$L^{-1}I$	ამპერი მეტრზე	ა/მ	A/m	A/m
მოლური კონცენტრაცია	$L^{-3}N$	მოლი კუბურ მეტრზე	მოლი/მ ³	mol/m ³	$моль/м^3$
მაიონებელი ნაწილაკების ნაკადი	T^{-1}	წამი მინუს ერთ ხარისხში	წმ ⁻¹	s^{-1}	c^{-1}
მაიონებელი ნაწილაკების ნაკადის სიმკვრივე	$L^{-2}T^{-1}$	წამი მინუს ერთ ხარისხში მეტრი მინუს ორ ხარისხში	წმ ⁻¹ მ ⁻²	$s^{-1}m^{-2}$	$c^{-1}m^{-2}$

სიკაშკაშე	$L^{-2}J$	კანდელა კვადრატულ მეტრზე	$კდ/მ^2$	cd/m^2	$кд/м^2$
-----------	-----------	--------------------------------	----------	----------	----------

ცხრილი დ. 6

წარმოებული ერთეულები, რომელთაც აქვთ სპეციალური დასახელებები

ფიზიკური სიდიდე		ფიზიკური სიდიდის ერთეული			
დასახელება	განზომი- ლება	დასახელებ ა	აღნიშვნა		
			ქართულ ი	საერთაშორის ო	რუსულ ი
სიხშირე	T^{-1}	ჰერცი	ჰც	Hz	Гц
ძალა, წონა	LMT^{-2}	ნიუტონი	ნ	N	Н
წნევა, მექანიკური დაძაბულობა, დრეკადობის მოდული	$L^{-1}MT^{-2}$	პასკალი	პა	Pa	Па
ენერგია, მუშაობა, სითბოს რაოდენობა	L^2MT^{-2}	ჯოული	ჯ	J	Дж
სიმძლავრე, ენერგიის ნაკადი	L^2MT^{-3}	ვატი	ვტ	W	Вт
ელექტრობის რაოდ. (ელექტრული მუხტი)	TI	კულონი	კლ	C	Кл
ელექტრული ძაბვა, ელექტრული პოტენციალი, ელექტრულ პოტენციალთა სხვაობა, ელექტრომა- მოძრავებული ძალა	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	ვოლტი	ვ	V	В
ელექტრული ტევადობა	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$	ფარადა	ფ	F	Ф
ელექტრული წინაღობა	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	ომი	ომი	Ω	Ом
ელექტროგამტარობ ა	$L^2M^{-1}T^3I^2$	სიმენსი	სიმ	S	См
მაგნიტური ინდუქციის ნაკადი, მაგნიტური ნაკადი	$L^2MT^{-2}I^{-1}$	ვებერი	ვებ	Wb	Вб
მაგნიტური ნაკადის სიმკვრივე, მაგნი- ტური ინდუქცია	$MT^{-2}I^{-1}$	ტესლა	ტესლა	T	Тл

ინდუქციურობა, ურთიერთინდუქციურობა	$L^2MT^{-2}I^{-2}$	ჰენრი	ჰნ	H	Гн
სინათლის ნაკადი	J	ლუმენი	ლმ	lm	лм
განათებულობა	$L^{-2}J$	ლუქსი	ლქ	lx	лк
ნუკლიდის აქტიურობა რადიაქტიურ წყაროში	T^{-1}	ბეკერელი	ბეკ	Bg	Бк
გამოსხივების შთანთქმული დოზა, კერმა, შთანთქმული დოზის მაჩვენებელი	L^2T^{-2}	გრეი	გრ	Gy	Гр

ცხრილი დ. 7

**წარმოებული ერთეულები, რომელთა დასახელებები ნაწარმოებია წინა ცხრილში
მოცემული სპეციალური დასახელებებისაგან**

ფიზიკური სიდიდე		ფიზიკური სიდიდის ერთეული			
დასახელება	განზომილება	დასახელება	აღნიშვნა		
			ქართული	საერთაშორისო	რუსული
ძალის მომენტი	L^2MT^{-2}	ნიუტონ-მეტრი	ნ.მ	N.m	Н.м
ზედაპირული დაჭიმულობა	MT^{-2}	ნიუტონი მეტრზე	ნ/მ	N/m	Н/м
დინამიკური სიბლანტე	$L^{-1}MT^{-1}$	პასკალ-წამი	პა.წმ	Pa.s	Па.с
ელექტრული მუხტის სივრცული სიმკვრივე	$L^{-3}TI$	კულონი კუბურ მეტრზე	კლ/მ ³	C/m ³	Кл/м ³
ელექტრული ძვრა	$L^{-2}TI$	კულონი კვადრატულ მეტრზე	კლ/მ ²	C/m ²	Кл/м ²
ელექტრული ველის დაძაბულობა	$LMT^{-3}I^{-1}$	ვოლტი მეტრზე	ვ/მ	V/m	В/м
აბსოლუტური დიელექტრიკ. შეღწევადობა	$L^{-3}M^{-1}T^4I^2$	ფარადა მეტრზე	ფ/მ	F/m	Ф/м

აბსოლუტური მაგნიტური შეღწევადობა	$LMT^{-2}I^2$	ჰენრი მეტრზე	ჰნ/მ	H/m	$\Gamma H/m$
კუთრი ენერგია	L^2T^{-2}	ჯოული კილოგრამზე	ჯ/კგ	J/kg	$Дж/кг$
სისტემის თბოტევადობა, სისტემის ენტროპია	$L^2MT^{-2}\theta^{[22]}$	ჯოული კელვინზე	ჯ/კ	J/K	$Дж/К$
კუთრი თბოტევადობა, კუთრი ენტროპია	$L^2T^{-2}\theta^{[22]}$	ჯოული კილოგრამ კელვინზე	ჯ/(კგ.კ)	J/(kg.K)	$Дж/(кг.К)$
ენერგიის ნაკადის ზედაპირული სიმკვრივე	MT^{-3}	ვატი კვადრატულ მეტრზე	ვტ/მ ²	W/m ²	$Вт/м^2$
თბოგამტარობა	$LMT^{-3}\theta^{[22]}$	ვატი მეტრ კელვინზე	ვტ/(მ.კ) ვტ/(მ.კ)	W/(m.K)	$Вт/(м.К)$
მოლური შიგა ენერგია	$L^2MT^{-2}N^{-1}$	ჯოული მოლზე	ჯ/მოლი	J/mol	$Дж/моль$
მოლური ენტროპია, მოლური თბოტევადობა, მასაგადატანის პოტენციალი	$L^2MT^{-2}\theta^{[22]}N^{-1}$	ჯოული მოლ კელვინზე	ჯ/(მოლი.კ)	J/(mol.K)	$Дж/(моль.К)$
სინათლის ენერ- გეტიკული ძალა (გამოსხივების ძალა)	L^2MT^{-3}	ვატი სტერადიან ზე	ვტ/სრ	W/sr	$Вт/ср$
ექსპოზიციური დოზა, (რენტგენ- ური და გამა- გამოსხივების)	$M^{-1}TI$	კულონი კილოგრამზე	კლ/კგ	C/kg	$Кл/кг$
შთანთქმული დოზის სიმძლავრე	L^2T^{-3}	გრეი წამში	გრეი.წმ	Gy/s	$\Gamma p/c$

ცხრილ დ.7-ის შენიშვნა:

მნიშვნელობა თუ გვაქვს ერთზე მეტი მარტივი შემოკლებული აღნიშვნა, მაშინ უნდა ვისარგებლოთ ფრჩხილებით. მაგალითად: ჯოული კილოგრამ-კელვინზე უნდა

დაიწეროს ასე - $\chi/(\text{კგ}\cdot\text{კ})$ ან $\chi/(\text{კგ}\cdot\text{გრად})$ და არა ასე - $\chi/\text{კგ}\cdot\text{კ}$ ან $\chi/\text{კგ}\cdot\text{გრად}$. მრიცხველში ანალოგიური შემთხვევისას ფრჩხილებით სარგებლობა საჭირო არაა.

ცხრილი დ. 8

ჯერადი და წილადი ერთეულების წარმოსაქმნელად დადგენილი თავსართები

ჯერადობა ან წილადობა	თავსართების დასახელება	შემოკლებული აღნიშვნა		
		ქართული	საერთაშორისო	რუსული
$1,000,000,000,000 = 10^{12}$	ტერა	ტ	T	Т
$1,000,000,000 = 10^9$	გიგა	გ	G	Г
$1,000,000 = 10^6$	მეგა	მ	M	М
$1,000 = 10^3$	კილო	კ	k	к
$100 = 10^2$	ჰექტო	ჰ	h	г
$10 = 10^1$	დეკა	და	da	да
$0,1 = 10^{-1}$	დეცი	დ	d	д
$0,01 = 10^{-2}$	სანტი	ს	c	с
$0,001 = 10^{-3}$	მილი	მ	m	м
$0,000001 = 10^{-6}$	მიკრო	მკ	μ	мк
$0,000000001 = 10^{-9}$	ნანო	ნ	n	н
$0,000000000001 = 10^{-12}$	პიკო	პ	p	п

ცხრილ დ.8-ის შენიშვნა:

1. შემოკლებული ქართული თავსართების მეგა და მილი ერთმანეთისაგან განსხვავება ხდება ტექსტის შინაარსის მიხედვით. სადაც ეს შეუძლებელია, მაშინ მეგა უნდა დაიწეროს სრულად ან შემოკლებით დეფისის გამოყენებით. მაგალითად: მეგა-ვატი ან მგ-ვტ. გამოწვევისაა მეგა-ელექტრონვოლტი (მევ). ინგლისურსა და რუსულში აღნიშნული განსხვავება გააღვილებულია მთავრული ასოების გამოყენების გამო.
2. ერთეულების დასახელება ქართულად შესაძლებელია დაიწეროს როგორც დახრილი, ისე სწორი შრიფტით; ინგლისურად მხოლოდ სწორი შრიფტით, ხოლო რუსულად – მხოლოდ დახრილი შრიფტით.

ცხრილი დ.9

მაიონებელი გამოსხივების შესაფასებელი ერთეულები

ნაწილაკის უძრაობის მასა:

სისტემური - კილოგრამი [კგ];

არასისტემური - მასის ატომური ერთეული [მ.ა.ე.];

1 მ.ა.ე. = $1,66057 \cdot 10^{-27}$ კგ.

მაიონებელი გამოსხივების ენერგია:

სისტემური - ჯოული [ჯ];

არასისტემური - 1. ელექტრონ-ვოლტი [ევ]; 2. ერგი [ერ];

1 ევ = $1,60219 \cdot 10^{-19}$ ჯ;

1 ერ = $1,0 \cdot 10^{-7}$ ჯ.

შთანთქმული დოზა:

სისტემური - გრეი [გრ];

არასასტემური - რადი [რდ];
 1 გრ = 1 ჯ/კგ = 100 რდ.
 მთანთქმული დოზის სიმძლავრე:
 სისტემური - გრეი/წმ [გრ/წმ];
 არასასტემური - 1. რადი/წმ [რდ/წმ], 2. გრეი/წთ [გრ/წთ];
 1 რდ/წმ = $1,0 \cdot 10^{-2}$ გრ/წმ;
 1 გრ/წთ = $1,666 \cdot 10^{-2}$ გრ/წმ.
 ექსპოზიციური დოზა:
 სისტემური - კლ/კგ [კლ - კულონი];
 არასასტემური - რენტგენი [რ];
 1 რ = $2,57976 \cdot 10^{-4}$ კლ/კგ.
 ექსპოზიციური დოზის სიმძლავრე:
 სისტემური - ა/კგ [ა - ამპერი];
 არასისტემური - რენტგენი/წმ [რ/წმ];
 1 რ/წმ = $2,57976 \cdot 10^{-4}$ ა/კგ.
 ეკვივალენტური დოზა:
 სისტემური - ზივერტი [ზვ];
 არასასტემური - ბერი [ბრ];
 1 ბრ = $1,0 \cdot 10^{-2}$ ზვ.
 [ბერ(ი) - ბიოლოგიური ეკვივალენტი რენტგენის]
 ეკვივალენტური დოზის სიმძლავრე:
 სისტემური - ზივერტი/წმ [ზვ/წმ];
 არასისტემური - ბერი/წმ [ბრ/წმ];
 1 ბრ/წმ = $1,0 \cdot 10^{-2}$ ზვ/წმ.
 რადიონუკლიდის აქტიურობა:
 სისტემური - ბეკერელი [ბეკ];
 არასისტემური - კიური [კი];
 1 კი = $3,70 \cdot 10^{10}$ ბეკ.
 რადიონუკლიდის კუთრი აქტიურობა:
 სისტემური - ბეკერელი/კგ [ბეკ/კგ];
 არასისტემური - კიური/კგ [კი/კგ];
 1 კი/კგ = $3,70 \cdot 10^{10}$ ბეკ/კგ.
 მაიონებელი გამოსხივების ენერგიის ნაკადი:
 სისტემური - ვატი (ვტ);
 არასისტემური - ერგი/წმ [ერ/წმ];
 1 ერ/წმ = $1,0 \cdot 10^{-7}$ ვტ.
 მაიონებელი გამოსხივების ენერგიის ნაკადის სიმკვრივე:
 სისტემური - ვატი/მეტრი² [ვტ/მ²];
 არასისტემური - ერგი/(წმ.სმ²) [ერ/წმ.სმ²];
 1 ერ/(წმ.სმ²) = $1,0 \cdot 10^{-3}$ ვტ/მ²

15. ლიტერატურა

- [1] თ. კუნჭულია, ო. ლანჩავა, მ. ქიტოშვილი (2023) გეოლოგიური სამუშაოების შრომის უსაფრთხოება (სახელმძღვანელო). *ტექნიკური უნივერსიტეტი*, ISBN 978-9941-28-927-9, 220.
- [2] თ. კუნჭულია, ო. ლანჩავა, მ. ქიტოშვილი (2024) შრომის უსაფრთხოება სამთო საწარმოებში (სახელმძღვანელო). *ტექნიკური უნივერსიტეტი*, ISBN 978-9941-512-24-7, 392.
- [3] ო. ლანჩავა, ვ. ჭყონია, კ. ლეკვეიშვილი (2011) შრომის დაცვა (სახელმძღვანელო). *ტექნიკური უნივერსიტეტი*, ISBN 978-9941-0-3657-6, 452.
- [4] ა. ფრანგიშვილი, ნ. ბოჭორიშვილი, ო. ლანჩავა (2011) სიცოცხლის უსაფრთხოება - საგანგებო სიტუაციების მართვა და სამოქალაქო თავდაცვა (სახელმძღვანელო). *ტექნიკური უნივერსიტეტი*, ISBN 978-9941-14-928-3, 640.
- [5] Bărbulescu A., Hosen K. (2024) Cement Industry Pollution and Its Impact on the Environment and Population Health: A Review. DOI: 10.3390/toxics13070587
- [6] Benevolenza M. A., DeRigne L. (2019) The impact of climate change and natural disasters on vulnerable populations: a systematic review of literature. *International Journal of Civil Engineering* 29, 266–281.
- [7] Bolashvili N., Lanchava O., Tsikarishvili K. (2017) Tskhaltubo (Prometheus) Cave System. *Monograph, Lambert Academic Publishing*, Saarbrücken 1, 136.
- [8] Cement industry emissions worldwide – Statistics & Facts Statista. <https://www.statista.com>
- [9] Filonchik M., Peterson M. P., Zhang L., Hurynovich V., He Y. (2024) Greenhouse gases emissions and global climate change: examining the influence of CO₂, CH₄, and N₂O. *Sci. Total Environ.* 935, 173359.
- [10] FIT (2006) 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.
- [11] Green Cement (2024): The Road to Eco Friendly Production – Cement Industry Trends, Innovations, and Solutions. <https://www.axcell.cn>
- [12] Hosen K., Al Maruf M.A., Howlader R., Chakma K., Mia M.R. (2024) Concrete Strength and Aggregate Properties: In-Depth Analysis of Four Sources. *Civil Engineering Journal* 10:1254–1264. Doi: 10.28991/CEJ-2024-010-04-016.
- [13] IEA – International Energy Agency. <https://www.iea.org> › search › q=Cement.
- [14] IFC Report 2025: Strengthening Sustainability in the Cement Industry. <https://documents.worldbank.org>
- [15] Ilias N., Lanchava O. (2020) Numerical simulation of air flow in short metro ventilation shafts caused by a piston effect. *MATEC Web of Conferences* 305, 00050.
- [16] Ilias N., Lanchava O., Tsanava D. (2021) Study of propagation of harmful factors of fire in short road tunnels with different inclinations. *MATEC Web of Conferences* 342, 03023.

- [17] Kennedy W.D. (1996) Critical velocity: past, present and future. Seminar of Smoke and Critical Velocity in Tunnels, JFL Lowndes, 305–322.
- [18] Kennedy W.D. (2012) Longitudinal ventilation analysis for the Glenwood canyon tunnels. Fourth International Symposium on the Aerodynamics & Ventilation of Vehicle Tunnels, BHRA Fluid Engineering.
- [19] Lanchava O., Ilias N. (2018) Complex calculation method of temperature, mass transfer potential and relative humidity for ventilation flow in subway, *Technical Sciences* 3 (1), 69-84.
- [20] Lanchava O., Ilias N., Andras I., Moraru R., Neag I. (2007) On the Ventilation of Transport Tunnels in the Presence of a Strong (Heavy) Fire. *Annals of the University of Petrosani*, 9, 219-227.
- [21] Lanchava O. (2020) Analysis of Critical Air Velocity for Tunnel Fires Controlled by Ventilation. *Georgian Scientists* 2 (2).
- [22] Lanchava O., Ilias N. (2017) Some issues of thermal calculation of ventilation air for the metro. *Journal of Engineering Sciences and Innovation* 2 (2), 92-105.
- [23] Lanchava O., Ilias N. (2020) Critical velocity analysis for safety management in case of tunnel fire. *MATEC Web of Conferences* 305, 00023.
- [24] 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.
- [25] Lanchava O., Ilias N., Radu S.M., Nozadze G., Jangidze M. (2022) Preventing the Spread of Combustible Products in Tunnels by Implementing a Divisible System. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)* 21 (4).
- [26] Lanchava O., Ilias N. (2020) Calculation of railway tunnels ventilation. *Journal of Engineering Sciences and Innovation* 5 (1), 69-86.
- [27] Lanchava O., Ilias N., Radu S.M., Nozadze G., Tsanova D. (2022) Analysis of the use of transformable elements in intelligent tunnel ventilation systems. *MATEC Web of Conferences* 354, 00020.
- [28] 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.
- [29] Lanchava O., Arudashvili N., Nozadze G. (2015) Analyze of Fatal Fires in Transport Tunnels and Measures of its Preventing. *Mining Journal* N 2, 85-89.
- [30] Lanchava O., Bezhanishvili A., Javakhishvili G., Khokerashvili Z., Arudashvili N. (2024) Study of the Throttling Effect in Tunnel Fire. *Inżynieria Mineralna* 1 (1).
- [31] Lanchava O., Ilias N., Radu S.M., Nozadze G., Moraru R., Khokerashvili Z. (2019) Modelling the Piston Effect in Subway Tunnels Using Fire Dynamics Simulator. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)* 18 (4).
- [32] Lanchava O., Ilias N., Radu S.M., Javakhishvili G., Makharadze L. (2022) Influence of current direction in longitudinal ventilated road tunnels on the backflow of combustion Products. *MATEC Web of Conferences* 373, 00076.
- [33] Lanchava O., Bolashvili N., Naskhidashvili A., Tsikarishvili K., Lezhava Z. (2018) Determination of the Simultaneously Allowed Optimal Number of Tourists for the Tskaltubo (Prometheus) Cave. *Open Journal of Geology* 8 (4), 437-445.

- [34] Lanchava O. (2024) Clarification of fire characteristics in a road tunnel based on numerical and laboratory studies. *Edelweiss Applied Science and Technology* 8 (6), 7791-7801.
- [35] Lanchava O., Bezhanishvili A., Abshilava A., Ratiani N. (2024) On Legislation and Some Aspects of Occupational Safety in GEORGIA. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM 2024* (5.1).
- [36] Lanchava O., Ratiani N., Khokerashvili Z., Arudashvili N. (2024) Variation of Critical Velocity of Downward Ventilation in Inclined Road Tunnels. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM, 2024* (4.1), 475-482.
- [37] Lanchava O., Gugeshashvili S. (2024) Occupational health and safety risk management in the field of laboratory medicine. *MATEC Web of Conferences* 389, 00077.
- [38] Lanchava O., Ilias N., Radu S.M., Nozadze G., Javakhishvili G. (2024) Dynamics of harmful factors in inclined road tunnels according to the results of numerical modeling of up to 50 MW fires in terms of natural ventilation. *MATEC Web of Conferences* 389, 00056.
- [39] Lanchava O. (2025) Some Considerations on Universal Research Methods in the Field of Occupational Safety. *Georgian Scientists* 7 (4), 155-172.
- [40] Lanchava O., Bulia N., Darakhvelidze M. (2025) Ensuring Occupational Safety in the Medical Sector: Key Problems, Systemic Challenges, and Strategic Recommendations. *Georgian Scientists* 7 (2), 617-624.
- [41] Lanchava O. (2025) Integrated Analysis of Ventilation System Efficiency and Lifesaving in Tunnel Fire Conditions. *Georgian Scientists* 7 (2), 563-584.
- [42] Lanchava O. (2024) Some Questions about the Safe Operation of Short Road Tunnels. *Georgian Geographical Journal* 4 (1), 11-16.
- [43] Lanchava O., Javakhishvili G., Kunchulia T., Khokerashvili Z., N Arudashvili (2023) Aspects of Critical Velocity Variation for the Fire and Air Pollution Control in Road Tunnels. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM 23* (4.1), 237-244.
- [44] Lanchava O. (2025) Multifactorial Dynamic Model for the Analysis and Evaluation of Road Tunnel Fires. *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*, 19 (4), 40-48.
- [45] Lanchava O. (2025) Spatial Development Policy of Georgia: Sectoral Problems and Prospects. *Monograph*, 65, DOI: <https://doi.org/10.52340/monog2025.12.11>.
- [46] Lanchava O., Ilias N., Nozadze G., Radu S.M. (2019) Heat and hygroscopic mass exchange modeling for safety management in tunnels of metro, *Quality Access to Success* 20, S1.
- [47] Li Y.Z., Ingason H. (2018) Discussions on critical velocity and critical Froude number for smoke control in tunnels with longitudinal ventilation. *Fire Safety Journal* 99, 22-26.
- [48] Li Y.Z., Vylund L., Ingason H., Appel G. (2015) Influence of fire suppression on combustion products in tunnel fires. The work Co-financed by the European Union, 70.
- [49] Meier A., Bonaldi E., Cella G. M., Lipinski W., Wullemmin D. (2006) Solar chemical reactor technology for industrial production of lime. *Solar Energy* 80, 1355–1362.

- [50] Morte B., Araújo I.B., Morgado Q. F., de Medeiros J. L. (2023) Electrification and decarbonization: a critical review of interconnected sectors, policies, and sustainable development goals. *Energy Storage Sav* 2, 615–630.
- [51] Number of recorded natural disaster events (2024) Our World in Data. <https://ourworldindata.org/grapher/number-of-natural-disasterevents>
- [52] Statkauskas M., Vaičiukynienė D., Grinys A., Dvořák K. (2025) Effect of elevated temperature on mechanical properties of ceramic brick and metakaolin waste-based geopolymer mortar. *Construction and Building Materials* 470, 140431.
- [53] Statkauskas M., Vaičiukynienė D., Grinys A., Bajare D. (2025) Effect of Sodium Silicate and Sodium Hydroxide Ratios on Compressive Strength of Ceramic Brick and Metakaolin Waste-Based Geopolymer Binder. Doi: 10.3390/ma18214947.
- [54] The Mission is Clear: Research Project Aims to Make Cement Carbon-Neutral – INNO-CCUS. <https://inno-ccus.dk>
- [55] Towards decarbonization of cement industry (2025): a critical review of electrification technologies for sustainable cement production. <https://www.nature.com/articles/s44296-025-00068-6>
- [56] UN (2001) Economic and Social Council, Economic Commission for Europe, Report TRANS/AC.7/9.
- [57] UN (2002) Economic and Social Council, Economic Commission for Europe, Report TRANS/AC.7/9.
- [58] UN (2003) Economic and Social Council, Economic Commission for Europe, Report TRANS/AC.7/13.
- [59] UN (2024) Growing at a slower pace, world population is expected to reach 9.7 billion in 2050 and could peak at nearly 11 billion around 2100. <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-population-prospects-2019.html>
- [60] Vaitkevicius A., Carvel R. (2016) Investigating the Throttling Effect in Tunnel Fires. *Fire Technology* 52, 1619–1628.
- [61] WEF Net Zero Industry Tracker 2024 – Cement. <https://www.weforum.org/publications/cement>.

Contents

1. წინასწარი შენიშვნები	3
1.1. განმარტებები	3
1.2. ძირითადი ცნებები და დოკუმენტები	4
1.3. ISO სტანდარტების პრაქტიკული გამოყენება (სამთო მრეწველობა)	6
1.4. ISO სტანდარტების პრაქტიკული გამოყენება (ჯანდაცვა)	7
1.5. ISO სტანდარტების პრაქტიკული გამოყენება (ციფრული ტექნოლოგიები)	8
1.6. ISO სტანდარტების პრაქტიკული გამოყენება (მშენებლობა)	10
1.7. ექსპერტული შეფასება	11
1.8. როგორ უნდა იმოქმედოს მკვლევარმა	12
1.9. წარმოებებისა და ტექნოლოგიური პროცესების უსაფრთხოება	14
1.10. კვლევის მეთოდები პროფესიულ უსაფრთხოებაში	16
1.11. მეთოდოლოგიური რუკა - ტრიანგულაცია	18
1.12. კვლევის მეთოდების დაწვრილებითი მოდულური აღწერა	19
1.13. რისკების ტიპოლოგია	21
1.14. ინტეგრირებული ინდექსების საანგარიშო ფორმულები	23
1.15. უსაფრთხოების ინტეგრირებული ინდექსი. ISO სტანდარტების გამოყენება	24
1.16. დაცვის კოლექტიური და ინდივიდუალური საშუალებები	33
1.17. რისკის ინდექსების გამოთვლის პრაქტიკული მაგალითები	37
1.18. შეჯამება ინდექსების შესარჩევად	40
1.19. გასამეორებელი კითხვები პარაგრაფების მიხედვით	41
1.20. გამოყენებული ტერმინების განმარტება	44
2. საწარმოო ტრავმატიზმი და პროფესიული დაავადება	46
2.1. გზამკვლევი მე-2 თავისათვის	46
2.2. ცნებების განმარტება	47
2.3. საშიში და მავნე საწარმოო ფაქტორები	48
2.4. საწარმოო ტრავმატიზმის ანალიზის მეთოდები	49
2.5. ტრავმატიზმის შემთხვევების გამოკვლევა და შემცირება	53
2.6. პროფესიული დაავადებების შემთხვევების გამოკვლევა	56
2.7. მომუშავეთა სწავლება და ინსტრუქტაჟი	58
2.8. პირველადი დახმარების აღმოჩენის წესი	59
2.9. ნებართვების მიღება	61
2.10. სამუშაოს მეცნიერული ორგანიზაცია	62

2.11. საინჟინრო ფსიქოლოგია	63
2.12. შრომისუნარიანობა და დაღლილობა	66
2.13. ობიექტების მართვა.....	66
2.14. კრებსითი მონაცემები, დასახული მიზანი, ინტეგრაცია სტანდარტებთან.....	68
2.15. კითხვები გამეორებისათვის მოკლე პასუხებით.....	69
3. ჰაერის შედგენილობა და ნორმირება	73
3.1. გზამკვლევი მე-3 თავისათვის.....	73
3.2. ატმოსფერული ჰაერის შედგენილობა.....	73
3.3. ჰაერის წნევა და ფარდობითი ტენიანობა	77
3.4. ჰაერის სიმკვრივე	79
3.5. ჰაერის მინარევთა კონცენტრაცია	82
3.6. ჰაერის ძირითადი კომპონენტები.....	86
3.7. ჰაერის კონცენტრაციის ნორმირება	88
3.8. ჰაერის ტოქსიკური და ფეთქებადი მინარევები	88
3.9. საწარმოო მტვერი ჰაერში და მისი ზემოქმედება	95
3.10. ჰაერის მიკროკლიმატური პარამეტრების ნორმირება საწარმოო სივრცეში	98
3.11. ჰაერის სიჩქარის, ხარჯის, რაოდენობის განსაზღვრა	100
3.12. ჰაერის კლიმატური პარამეტრების ცვალებადობა	106
3.13. სათანადო დაცვის საშუალებების გამოყენება	107
3.14. კითხვები გამეორებისათვის მოკლე პასუხებით.....	108
4. სათავსოთა ბუნებრივი და ხელოვნური ვენტილაცია.....	111
4.1. გზამკვლევი მე-4 თავისათვის.....	111
4.2. სათავსებში ჰაერცვლის შექმნის ხერხები.....	112
4.3. ვენტილაციის გაანგარიშება	115
4.4. ვენტილაციის ნორმირება.....	118
4.5. ჰაერის სტატიკური, დინამიკური და მთლიანი წნევა ქსელებში	119
4.6. აეროდინამიკური წინააღობების სახეები	126
4.7. სათავსების ვენტილაციის სქემები	131
4.8. ადგილობრივი გამწოვები	135
4.9. ვენტილატორები და დამხმარე მოწყობილობები	136
4.10. ჰაერის გაწმენდა მინარევებისაგან	139
4.11. გამოსაყენებელი დაცვის საშუალებები	141
4.12. კითხვები გამეორებისათვის მოკლე პასუხებით.....	142

5. აფეთქება და ხანძრები.....	146
5.1. განმარტებითი შენიშვნები (ინტეგრაცია, ჰარმონიზაცია)	146
5.2. ქვანახშირის მტვრის ფეთქებადობა	147
5.3. გოგირდისა და მისი ნაერთების მტვრის ფეთქებადობა.....	150
5.4. აეროზოლების აფეთქების ასაცილებელი ღონისძიებები.....	152
5.5. წვადი მტვრის საშიშროების შეფასება.....	155
5.6. მტვრის აფეთქების აცილება ტექნოლოგიურ მოწყობილობებში	160
5.7. სამშენებლო კონსტრუქციებისა და საწარმოო შენობების ცეცხლმედეგობა	167
5.8. ხანძარსაწინაღო დაბრკოლებანი.....	168
5.9. ცეცხლსაქრობი ნივთიერებები და საშუალებები	169
5.10. ხანძრის ავტომატური ჩაქრობა და სახანძრო სიგნალიზაცია.....	173
5.11. ხანძრის ჩაქრობის წესები.....	175
5.12. შენობების დემონტაჟი აფეთქებით	175
5.13. გამოსაყენებელი დაცვის საშუალებები	182
5.14. კითხვები გამეორებისათვის მოკლე პასუხებით.....	182
5.15. მე-5 თავის შეჯამება.....	184
6. გამოსხივება და მისგან დაცვა	186
6.1. გზამკვლევი მეექვსე თავისათვის	186
6.2. სახიფათო და მავნე გამოსხივებათა სახეები.....	187
6.3. ელექტრომაგნიტური გამოსხივების მავნე მოქმედება.....	190
6.4. ელექტრომაგნიტური გამოსხივების წყაროები	191
6.5. ელექტრული ველის გავლენისაგან დაცვის ღონისძიებები.....	192
6.6. მაეკრანირებელი მოწყობილობა.....	194
6.7. მაეკრანირებელი კოსტუმი	195
6.8. რადიოსიხშირის ელექტრომაგნიტური ველები და პერსონალის დაცვა.....	197
6.9. ოპტიკური დიაპაზონის გამოსხივება და მისგან დაცვა	198
6.10. რადიაციული გამოსხივების სახეები და თვისებები	201
6.11. რადიაციული გამოსხივების ერთეულები.....	203
6.12. რადიაციული უსაფრთხოების ნორმები	208
6.13. რადიაციული გამოსხივებისაგან დაცვა	209
6.14. რადიექტიურ ნივთიერებათა ნარჩენების ლიკვიდაცია	211
6.15. ჩერნობილის ავარიის ზოგიერთი შედეგი.....	212
6.16. გამოსაყენებელი დაცვის საშუალებები	213

6.17. კითხვები გამეორებისათვის მოკლე პასუხებით	214
7. სამუშაო ადგილების განათება	216
7.1. გზამკვლევი მეშვიდე თავისათვის	216
7.2. სინათლე და მისი მნიშვნელობა	217
7.3. სინათლის დამახასიათებელი ერთეულები	218
7.4. ადამიანის თვალის აგებულება	219
7.5. სათავსოთა განათების სახეობები	220
7.6. სათავსოთა ბუნებრივი განათება	221
7.7. სინათლის ხელოვნური წყაროები	222
7.8. ხელოვნური განათება	225
7.9. ხელოვნური განათების გაანგარიშება	227
7.10. საწყობებისა და ტერიტორიების განათება	230
7.11. გამოსაყენებელი დაცვის საშუალებები	231
7.12. კითხვები გამეორებისათვის მოკლე პასუხებით	232
8. საწარმოო ხმაური და ვიბრაცია	234
8.1. გზამკვლევი მერვე თავისათვის	234
8.2. ბგერის ტალღური ბუნება	235
8.3. საწარმოო ხმაურის არსი	239
8.4. ხმაურის წარმოშობის მიზეზები	240
8.5. საწარმოო ხმაურის ნორმირება	242
8.6. ულტრაბგერის ნორმირება	243
8.7. საწარმოო ხმაურის პროფილაქტიკა	244
8.8. საწარმოო ვიბრაცია	247
8.9. ვიბრაციის ზემოქმედება ორგანიზმზე	248
8.10. საწარმოო ვიბრაციის ნორმირება	249
8.11. ვიბრაციის გაზომვა და პროფილაქტიკა	250
8.12. კითხვები გამეორებისათვის მოკლე პასუხებით	252
9. ელექტროუსაფრთხოება	254
9.1. გზამკვლევი მეცხრე თავისათვის	254
9.2. ელექტრული დენის მოქმედება ადამიანის ორგანიზმზე	254
9.3. ადგილობრივი ელექტროტრავმა	255
9.4. ელექტრული დენის გავლენა ადამიანის ორგანიზმზე	257
9.5. ადამიანის სხეულის ელექტრული წინაღობა	258

9.6. დენის ინტენსიურობის გავლენა დაზიანების სიმძიმეზე	260
9.7. დენის მოქმედების ხანგრძლივობის გავლენა.....	262
9.8. დენის გავლის მარშრუტის როლი დაზიანების შედეგებში	263
9.9. ინდივიდუალური თვისებების მნიშვნელობა დენის მოქმედებისას	265
9.10. ელექტრული დენის უსაფრთხოების სტანდარტები.....	266
9.11. დაშავებულის გათავისუფლება დენის გავლენისაგან	269
9.12. დენის განდინება გრუნტში	270
9.13. შეხების ძაბვა	273
9.14. ბიჯური ძაბვა	274
9.15. გრუნტის ელექტრული წინაღობა	276
9.16. დენით დაშავების საშიშროება ქსელებში	278
9.17. ქსელის სქემისა და ნეიტრალის რეჟიმის შერჩევა.....	283
9.18. დამცავი ჩამიწება. დანულება. დამცავი ამორთვა.....	284
9.19. ელექტროდანადგარების ექსპლუატაციის უსაფრთხოება.....	289
9.20. მაღალი ძაბვის საჰაერო ხაზების უსაფრთხოება	290
9.21. კითხვები გამეორებისათვის მოკლე პასუხებით.....	291
9.22. პრაქტიკული გაანგარიშების ნიმუშები	293
10. დაცვა სტატიკური ელექტრობისაგან	296
10.1. გზამკვლევი მეათე თავისათვის	296
10.2. სტატიკური ელექტრობა და მისი გავლენა.....	296
10.3. სტატიკური ელექტრობისაგან დაცვა	297
10.4. ელვის დახასიათება.....	299
10.5. ელვის მავნე გავლენა	300
10.6. დაცვითი ღონისძიებები	302
10.7. მეხსარიდის დაცვის ზონა	305
10.8. ჩამიწების ნორმირება	308
10.9. მეხსარიდის ჩამმიწებლის ტიპური კონსტრუქციები	309
10.10. მეხსარიდის ტიპური კონსტრუქციები	311
10.11. კითხვები გამეორებისათვის მოკლე პასუხებით.....	315
10.12. პრაქტიკული გაანგარიშების ნიმუშები	315
11. მაღალი წნევის მოწყობილობები	317
11.1. გზამკვლევი მეთერთმეტე თავისათვის	317
11.2. მოწყობილობებზე წაყენებული ძირითადი მოთხოვნები	318

11.3. კონტროლი და მომსახურება	321
11.4. ტრავმატიზმის გამომწვევი მიზეზები	323
11.5. დასამზადებელ მასალებზე წყენებული მოთხოვნები	325
11.6. კომპრესორების უსაფრთხო ექსპლუატაცია	329
11.7. კომპრესორული დანადგარის მომსახურება და შეზეთვა	331
11.8. ქვაბები: დანიშნულება, უსაფრთხოება და ექსპლუატაცია	332
11.9. მაღალი წნევის მილსადენების უსაფრთხო ექსპლუატაცია	336
11.10. აირის ბალონები: კონსტრუქცია, ექსპლუატაცია და უსაფრთხოება	338
11.11. კითხვები გამეორებისათვის მოკლე პასუხებით	340
12. ცემენტის წარმოება	343
12.1. გზამკვლევი მეთორმეტე თავისათვის	343
12.2. ცემენტის წარმოების სახიფათო და მავნე ფაქტორები	345
12.3. გაფრქვევები ატმოსფეროში	347
12.4. ენერგიისა და სათბობის გამოყენება	350
12.5. ჩამდინარე წყლები, მყარი ნარჩენები, ხმაური	352
12.6. პროფესიული უსაფრთხოება	354
12.7. გარემოს დაცვა	357
12.8. კითხვები გამეორებისათვის მოკლე პასუხებით	361
12.9. პრაქტიკული გაანგარიშების მაგალითები	362
13. მრავალფაქტორული ანალიზი	364
13.1. წინასწარი მოსაზრებები	364
13.2. მრავალფაქტორული ინდექსები და ფორმულები	366
13.3. კვლევის მეთოდები მრავალი ფაქტორის შემთხვევაში	369
13.4. მრავალფაქტორული ინდექსებით სარგებლობის პრაქტიკული მაგალითები	375
13.5. მეთოდოლოგიური რუკა და ვიზუალური სქემა	381
13.6. პოლიტიკის რეკომენდაციები და ინტერპრეტაცია	387
13.7. საკონტროლო კითხვები და პასუხები	387
14. დანართი	392
15. ლიტერატურა	402

რედაქტორი ნ. ქაფიანიძე

გადაეცა წარმოებას 24.04.2026. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 21.05.2026.
ქაღალდის ზომა 60X84 1/8. პირობითი ნაბეჭდი ქაღალდი 26. №3844.

საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, კოსტავას 77

