



KONZORCIJ ŠOLSKIH CENTROV



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA ŠOLSTVO IN ŠPORT



*Naložba v vašo prihodnost*  
OPERACIJO DELNO FINANCIRA EVROPSKA UNIJA  
Evropski socialni sklad

# MERITVE ZRAČILNIH PARAMETROV IN ZRAČILNI OBJEKTI

Učno gradivo je nastalo v okviru projekta Munus 2. Njegovo izdajo je omogočilo sofinanciranje Evropskega socialnega sklada Evropske unije in Ministrstva za šolstvo in šport.



*Izobraževalni program*

## RUDARSTVO – GEOTEHNIK (SSI)

*Ime modula*

### ZRAČENJE IN ODVODNEVANJE OBJEKTOV IZDELANIH Z RUDARSKIMI DELI

*Naslov učnih tem ali kompetenc, ki jih obravnava učno gradivo*

*Temperatura, hitrost in zračni tlak, zračilni objekti, zračilna vrata*

*Naslov učne enote (teme)*

### MERITVE ZRAČILNIH PARAMETROV IN ZRAČILNI OBJEKTI



#### POVZETEK

Z meritvami zračilnih parametrov določamo osnove za projektiranje (upore jamskih prostorov, upore zračilnih instalacij, karakteristike ventilatorjev ipd.) in kontroliramo parametre zračilnega sistema (razdelitev količin zraka, vlažnost zraka, hitrost zraka, depresije, stabilnost itd.).

Zračilni objekti so pregrade, s katerimi razpeljujemo zračne tokove skozi vse pretočno prezračevanje jamske prostore.

**Ključne besede:** rudarstvo, premogovniki, jamsko zračenje, zračilni objekti, zračilna vrata, temperatura, hitrost, zračni tlak,...

**Avtor:** mag. Bogdan Makovšek, univ. dipl. inž. rud.

Datum: avgust 2009



## Predstavitev ciljev enote

### Ali si se že vprašal?

- Si že kdaj meril parametre klime v vašem okolju (temperatura, hitrost, tlak)? Če si, opiši na kakšen način!
- Kakšna je po tvojem mnenju vloga zračilnih vrat v rudniku?



## Meritve zračilnih parametrov

Z meritvami zračilnih parametrov določamo osnove za projektiranje (upore jamskih prostorov, upore zračilnih instalacij, karakteristike ventilatorjev ipd.) in kontroliramo parametre zračilnega sistema (razdelitev količin zraka, vlažnost zraka, hitrost zraka, depresije, stabilnost itd.).



## Temperatura

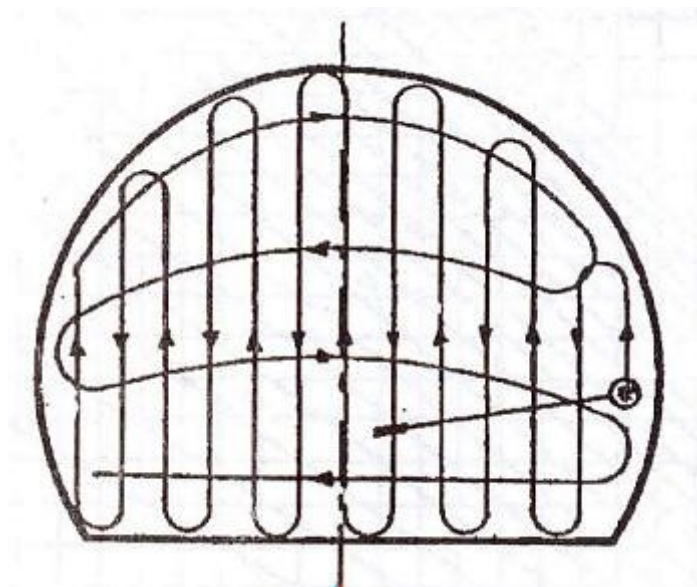
Temperaturno stanje zraka moramo poznati pri določanju klimatskih delovnih razmer oz. efektivne temperature, vlažnosti zraka, stopnje razvoja požarnih procesov, korekcije merilnih instrumentov ipd. Temperaturo merimo s termometri najrazličnejših konstrukcij in principov delovanja, v rudarstvu so najpogostejši živosrebrni termometri, živosrebrni globus termometri ter infrardeči in termistorski termometri.



## **Hitrost zraka**

Hitrost gibanja zraka moramo poznati predvsem pri določanju količin zraka v jamskih prostorih, ceveh in ventilatorjih, za ocenjevanje klimatskih delovnih razmer, kontrolo usklajenosti obstoječih hitrosti s predpisi, določenimi največjimi in najmanjšimi dovoljenimi vrednostmi in za določevanje dinamičnih tlakov.

Hitrost zraka merimo z merilniki hitrosti zraka, delujočimi na osnovi najrazličnejših predpisov. Za merjenje srednjih hitrosti zraka v jamskih prostorih so zelo primerni krilni anemometri, pri katerih zračni tok povzroča vrtenje rotorja s krilci (vetrnice). Hitrost zraka prikaže števec obratov, ki je umerjen v m/min ali m/s.



*Slika 1: Shematski prikaz vodenja anemometra po pretočnem prerezu jamskega prostora*

Vir: Hace, 1986, 38



## **Absolutni statični ali barometrski tlak zraka**

Barometrski tlak zraka oz. njegove vrednosti potrebujemo za določevanje gostote zraka, določevanje vlažnosti zraka, za korekcijo analiz ali meritev plinskih koncentracij, za posredno določevanje razlik tlakov pri pretakanju zraka skozi jamske prostore ali zračilne instalacije.

Za merjenje barometriškega tlaka uporabljamo živosrebrne in aneroidne barometre različnih konstrukcij in natančnosti.



### ***Razlika tlakov in dinamični tlak***

Razlike tlakov moramo poznati pri določevanju karakteristik in obratovalnih točk ventilatorjev, upornosti jamskih prostorov, instalacij, zračilnih objektov ipd. v zračilnem sistemu, dinamični tlak pa za določanje hitrosti zraka in pri posrednem in neposrednem določanju depresij za premagovanje uporov.



### ***Površine pretočnih prerezov jamskih prostorov in cevi***

Za izračun količin zraka moramo razen hitrosti zraka poznati še velikosti površin pretočnih prerezov. Pri prerezih pravilnih geometrijskih oblik je določevanje enostavno, kar velja za zračilne cevi, obzidane ali betonske kanale, ventilatorje, podgrajene nove oz. nedeformirane jamske prostore ipd.



## Zračilni objekti

V poglavju o zračilnih objektih boš spoznal osnovne načine usmerjanja zraka skozi jamske prostore.

Zračilni objekti so pregrade, s katerimi razpeljujemo zračne tokove skozi vse pretočno prezračevanje jamske prostore. Vgrajujemo jih v kratkostične jamske prostore, t.j. prostore, ki povezujejo vstopno in izstopno zračilno območje. Nadalje so zračilni objekti tudi regulacijske pregrade z nastavljivimi velikostmi pretočnih odprtin, s katerimi nastavljamo potrebne količine zraka v jamskih prostorih, in zračilni mostovi, s katerimi vodimo vstopni in izstopni zračni tok skozi eno in isto križišče.

Naravna razdelitev količin zraka v posameznih jamskih prostorih nikoli ne ustreza, ali pa ustreza redkokdaj tehnološkim in varnostnim zahtevam prezračevanja jamskih prostorov. Nalogo pravilnega razdeljevanja količin zraka v jamskih prostorih lahko razdelimo na dva dela in sicer:

- usmerjanje zraka v vse jamske prostore in
- regulacija količin zraka.

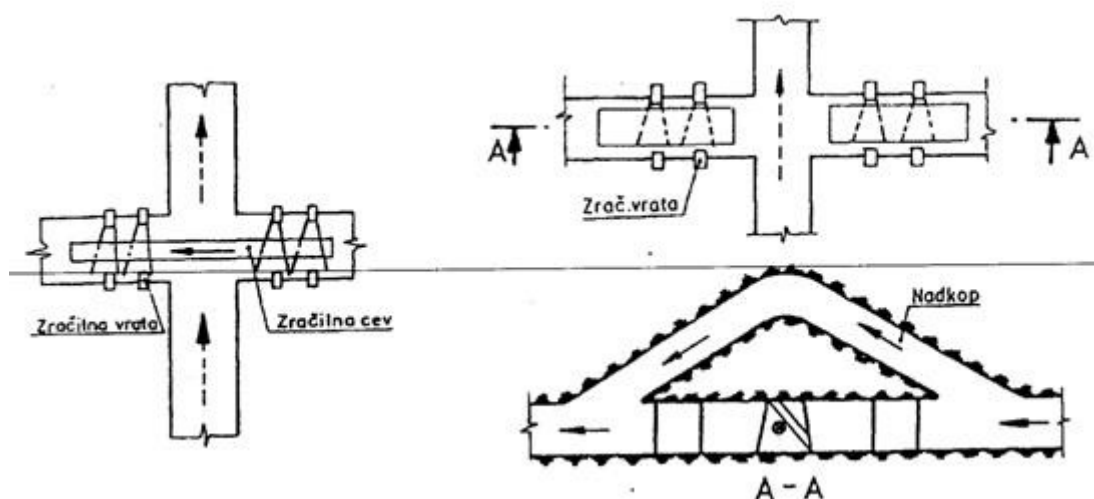
Zrak usmerjamo v jamskih prostorih s pomočjo zračilnih vrat, katerih osnovni namen je preprečevanje pretakanja zraka po krajših poteh od vstopnega proti izstopnemu ustju jame in s tem zagotavljanju prezračevanja vseh t.j. tudi najbolj oddaljenih jamskih prostorov od vstopnega in izstopnega ustja jame. Objekti za usmerjanje oz. razpeljavo zraka so zračilni mostovi in zračilne pregraje z vrati za pohod ter transport in zračilne pregraje brez vrat.

Regulacijo količin zraka v posameznih jamskih prostorih ter s tem tudi v tokovnih krogih pa odpravimo s pomočjo regulacijskih dušilnih pregraj brez vrat za transport in pohod ter dušilnih regulacijskih pregraj z vrati za transport in pohod. S pomočjo dopolnilnih ventilatorjev, s pomočjo sprememb jamskih prostorov v smislu zmanjševanja koeficienta upornosti, s pomočjo aerodinamičnih zožitev jamskih prostorov in s pomočjo zračnih zaves, ustvarjenih z ventilatorji ali pnevmatskimi prezračevalnimi napravami.



## Zračni most

Zračni most je jamski objekt, ki omogoča razpeljavo vstopnega in izstopnega zraka skozi križišče izstopne z vstopno progo, ki se nahajata na istem nivoju. Izvedbe zračnih mostov so najrazličnejše, od permaniziranih do zgrajenih v hribini ter podprtih z lesenimi ali jeklenimi podboji ter do zračnih mostov s cevjo. Pri izbiri vrste zračnega mostu je potrebno upoštevati prezračevalne razmere (razliko zračnega tlaka in količino zraka), geomehanske lastnosti hribine in nagnjenost mineralne substance k samovnetju. Npr.: za razpeljavo izstopnega in vstopnega zraka skozi istonivojsko križišče v premogu bomo ubrali permanizirano izvedbo zračnega mostu, saj lahko sicer zaradi prepihanja zraka, zaradi različnih zračnih tlakov, skozi razpoke v premogu povzročimo jamski požar. Na naslednjih treh slikah so shematsko prikazane različne izvedbe zračnih mostov.



Slika 2: Zračni most s cevjo, z nadkopom in betonski zračni most

Vir: Hace, 1986, 52



## Zračilne pregraje

S pomočjo zračilnih pregraj usmerjamo zrak v vse tiste prostore, katerim bi se zaradi krajše poti delno ali pa v celoti izognili. Zračilne pregraje vgrajujemo ravno v te krajše zračne poti ter tako

ločujemo vstopne od izstopnih zračilnih tokov. Prostori z vgrajenimi zračilnimi pregradami predstavljajo v zračilnem sistemu kratkostične zveze; količine zraka, ki skozi kljub pregraditvi uhajajo v izstopno območje, pa kratkostične količine zraka (v zračilnem sistemu pomenijo izgube zraka). Kot je že bilo navedeno, so v rabi zračilne pregrade z vrati in zračilne pregrade brez vrat. Zračilne pregrade z vrati imenujemo tudi zračilna vrata. Izbira vrste pregrade je odvisna od namena, ki mu služi jamski prostor, ki bo pregrajen. Za transportne, pohodne ali bežne prostore bomo izbrali pregrade z vrati, za nekomunikativne jamske prostore pa zračilne pregrade brez vrat. Glede na položaj v zračilnem sistemu so v rabi najrazličnejše izvedbe zračilnih vrat: zidana s težkimi lesenimi vrati, zidana s kovinskimi vrati, lahka lesena itd. V jamske prostore vgrajujemo različni zračilni tokovi ustrezno število zračilnih vrat, ki pa ne sme biti manjše od dveh. Zaradi preprečevanja neposrednih kratkostičnih izgub zraka pri pohodu ali transportu skozi te prostore, pri izbiri lokacije za vgraditev zračilnih vrat v jamskih prostorih, zgrajenih v mineralni substanci, ki je nagnjena k samovnetju, se je potrebno izogibati bližine križišč, prelomnih con in na drug način porušeni delov jamskih prostorov ter preprečiti nevarnejše oksidacijske procese. Kadar se naštetim nevarnim območjem ne moremo izogniti zaradi pomanjkanja prostora ipd., moramo območja lokacij vgraditve zračilnih vrat zrakotesno izolirati (permanizacije ali izolacijske obloge so zainjektirane oz. zapolnjene z negorljivimi snovmi). Zračilna vrata se morajo vedno odpirati proti zračnemu toku, nagnjena morajo biti tako, da se iz vsake odprte lege sama zapirajo, svetla odprtina mora biti široka najmanj 0,7 m in visoka najmanj 1,2 m. Opremljena morajo biti tako, da jih lahko, ne glede na razliko zračnih tlakov, odpre en sam človek brez orodja, ne smejo imeti ključavnice, njihova trdnost pa mora ustrezati jamskim pogojem dela. Krila vrat, ki niso več potrebna, je treba sneti zaradi eliminiranja možnosti nastanka motenj v zračilnem sistemu ter s tem ogrožanja varnosti v jami zaposlenih ljudi. Za projektiranje in operativno vodenje jamskega zračenja je potrebno poznati aerodinamične karakteristike posameznih tipov zračilnih vrat, ki se razlikujejo od jame do jame zaradi specifičnosti, kot so montangeološke razmere, stopnja mehaniziranosti proizvodnega procesa in s tem način transporta materiala in izkopsnine ipd. Šele poznavajoč omenjene karakteristike, ki jih določimo eksperimentalno, lahko ekzaktno določimo pri določeni razliki zračnih tlakov glede na namembnost prostora, točno število vrat določenega tipa. Na naslednjih slikah so prikazane aerodinamične karakteristike različnih vrat oz. medsebojna odvisnost razlike zračnih tlakov, kratkostične količine zraka in število zračilnih vrat v Kuzneckem in Karagandijskem bazenu.

Zračilna vrata največkrat odpiramo ročno, sodoben diskontinuirni transport pa zahteva mehanizirano odpiranje in zapiranje vrat, saj le-to omogoča visoko transportno zmogljivost,



zmanjšuje potrebno število ljudi, večkrat pa olajšuje tudi delo jamskim reševalnim ekipam. Mehanizirana vrata lahko namreč odpiramo tudi daljinsko in se tako izogibamo izpostavljanju reševalcev, delovanju strupenih in požarnih plinov ali delovanju drugih jamskih plinov itd., ko je potrebno opraviti lokalno reverzijo zračnih tokov ali zmanjšati pretočno količino zraka v požarnem prostoru.

Odpiranje in zapiranje zračilnih vrat je lahko izvedeno s pomočjo najrazličnejših mehanizmov na električni, hidravlični, pnevmatski ali kombinirani pogon.

Hkratno odprtje vseh zračilnih vrat v istem kratkostičnem jamskem prostoru je možno preprečiti z ustrezno povezavo pnevmatskih krmilnih enot vseh zračilnih vrat v tem prostoru ali pa s primerno (običajno svetlobno) signalizacijo.



### **Dušilne regulacijske pregraje**

Z dušilnimi regulacijskimi pregrajami opravljamo negativno regulacijo razdelitve zraka. Vse, kar velja za zračilne pregraje, velja tudi za dušilne regulacijske pregraje, ali krajša dušilna vrata za tiste, z vrati za pohod ali transport.

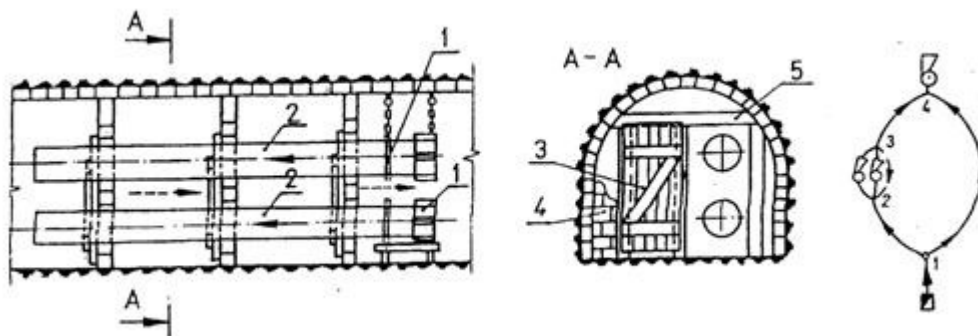
Razlika med zračilnimi in dušilnimi vrati je ta, da morajo dušilna vrata prepuščati potreben ustrezno količino zraka, zračilna vrata pa čim manjšo. V ta namen imajo dušilna vrata odprtino, opremljeno z zasunom, s pomočjo katerega spreminjamo velikost odprtine in s tem aerodinamično karakteristiko dušilnih vrat oz. pretočno količino zraka pri obstoječi razliki zračnih tlakov.



### **Dopolnilni ventilatorji**

S pomočjo dopolnilnih ventilatorjev opravljamo pozitivno regulacijo razdelitve zraka, vgrajujemo pa jih v zračilne veje kritičnih tokovnih krogov. S smiselno uporabo dopolnilnih ventilatorjev je možno občutno zmanjšati obratovalne in včasih tudi investicijske stroške za jamsko zračenje. Kljub omenjenim dobrim lastnostim takšne regulacije pa se ji v praksi večkrat

izogibamo zaradi možnega povzročanja jamskih požarov, ki so posledica oksidacijskih procesov samovnetljive substance. Večja razlika zračnih tlakov v območju dopolnilnih ventilatorjev namreč povzroča prepihanje zraka skozi razpoke v stebru k samovnetju nagnjenega premoga. Glede na navedeno moramo dopolnilne ventilatorje vgrajevati v kompaktnih stebrih oz. jamskih prostorih, zgrajenih v takšnih stebrih. Če to ni možno, je potrebno jamske prostore v območju dopolnilne ventilatorske postaje zrakotesno izolirati, razpoke v stebru pa zapolniti z negorljivim materialom. Pri izbiri ventilatorja (ventilatorjev) za dopolnilno ventilatorsko postajo moramo izbrati takšen ventilator, ki količinsko ustreza potrebam in kratkemu stiku pri dopolnilni ventilatorski postaji, tlačno pa manjkajoči depresiji ali kompresiji glavnega ventilatorja in premagovanju uporov zračilnih cevi dopolnilne ventilatorske postaje pri potrebni količini zraka. Če uporabljamo več ventilatorjev za dopolnilno ventilatorsko postajo, moramo upoštevati njihovo rezultantno karakteristiko. Na naslednji sliki je prikazana dopolnilna ventilatorska postaja.



Slika 3: Dopolnilna ventilatorska postaja z dvema paralelno vgrajenima ventilatorjema  
1 ventilator, 2 zračilna cev, 3 pohodna vrata, 4 zidana zračilna pregraja, 5 lesen podboj

Vir: Hace, 1986, 60



### **Aerodinamična zožitev zračilnega prevodnika**

Zožitve zračilnih prevodnikov uporabljamo predvsem za lokalne mikro regulacijske posege za izboljšanje prezračevanja slabše prezračevanih jamskih prostorov. Delovanje zožitev je lahko dušilno ali pa sesalno. Pri dušilnih zožitvah s povečanjem upora zračilne veje usmerimo več

zraka v sosednji, siber slabše prezračevani prostor. Pri sesalnih zožitvah pa izkoristimo padec zračnega tlaka zaradi povečane hitrosti zraka na mestu zožitve zračilnega prevodnika za sesanje zraka iz sosednjih, slabše prezračevanih jamskih prostorov.



### **Zračne zavese**

Kot aerodinamične zožitve tudi zračne zavese uporabljamo za lokalno mikroregulacijo. Zračno zaveso ustvarimo s pomočjo ventilatorja ali pnevmatske prezračevalne naprave, katere zračni curek usmerimo prečno na glavni zračni tok, kar povzroči nastanek dodatnega zračnega upora, ki usmeri del glavnega zračnega toka v slabše prezračevani jamski prostor.



## **Ponavljanje in obnovitev znanja**

1. Kako merimo temperaturo zraka?
2. Kaj je anamometer? Opiši delo z njim!
3. Naštej osnovne lastnosti jamske klime, ki jih merimo!
4. Kateri je osnovni namen zračilnih objektov?
5. Katere objekte poznaš? Na kratko opiši!
6. Kakšne tipe zračilnih vrat poznaš? Opiši glavne razlike!
7. Čemu služijo dušilne regulacijske pregrade?



## **Medpredmetno povezovanje**

**Fizika:** fizikalne lastnosti jamskega zraka (temperatura, vlažnost, tlak)

**Jamska klima:** pravilna izvedba meritev v odnosu na jamsko klimo



## **Viri**

Hace, M. *Jamsko zračenje*: skripta-učbenik-priročnik. Velenje: Rudnik lignita Velenje, 1986.

Hrastnik, J. *Rudarska dela in jamsko pridobivanje*: skripta 1. in 2. del. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Montanožistika, Ljubljana, 1981.

Josipović, J., Pavlović, V. *Osnovi rudarstva sa geologijom*. Beograd: Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, 1980.

Jovanović, P. *Izrada podzemnih prostorija velikog profila*. Beograd: Izdavačko preduzeće "Gradževinska knjiga", 1978.