



KONZORCIJ ŠOLSkih CENTROV



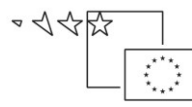
REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA ŠOLSTVO IN ŠPORT



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

# JAMSKA KLIMA

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*

*Termoregulacija, klimatski delovni pogoji, klimatski Kazalci*

*Naslov učne enote (teme)*

## JAMSKA KLIMA



### POVZETEK

Ugodna jamska klima je ključna za ugodne delovne razmere v rudnikih in premogovnikih. Gradivo Jamska klima opisuje pojme termoregulacija človeškega organizma, faktorje, ki vplivajo na jamsko klimo, ukrepe zoper neugodne klimatske razmere, ocenjevanje klimatskih razmer za delo in določevanje potrebnih količin zraka.

**Ključne besede:** rudarstvo, premogovniki, jamsko zračenje, jamski zrak, jamska klima, temperatura, vlažnost, hitrost zraka, zračni tlak, delovni pogoji,...

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

Datum: avgust 2009



## Cilji učne enote

Ugodna jamska klima je ključna za ugodne delovne razmere v rudnikih in premogovnikih.

### Ali si se že vprašal?

- Zakaj so tako zelo pomembni ugodni klimatski pogoji za delo?
- Ali razumeš pomen zračenja za jamske prostore?
- Kako razumeš pojav odvajanja toplote s človekovega telesa?
- Kateri parameter je zate najbolj pomemben (temperatura, hitrost, vlaga)?
- Ali poznaš vplive človekovega posega v podzemlje in potrebe po zraku?



## Jamska klima

Klimatske razmere delovnega okolja imajo bistven vpliv na delavčeve delovne sposobnosti in njegovo zdravje. Zaradi tega spada zagotavljanje ugodnih klimatskih razmer v jami med najpomembnejše naloge jamskega zračenja.

Poskušaj ugotoviti, kateri od naštetih parametrov klime te najbolj ovira pri vsakdanjem delu in pojasni vzroke!

- visoka temperatura zraka,
- visoka vlažnost,
- hitrost zraka oz. vetra.



## **Termoregulacija človeškega organizma**

Jamski zrak mora imeti sposobnost prevzemanja toplote, nastale v človeškem organizmu zaradi biokemijskih procesov. Toplota človeškega organizma se s krvjo prenaša do kože in sluznic, od koder prehaja v ozračje na več različnih načinov:

- z dihanjem,
- s toplotnim sevanjem,
- s konvekcijo toplote,
- z izparevanjem znoja.

Količina toplote, proizvedena v človeškem organizmu, je odvisna od telesne aktivnosti človeka; napornejše ko je delo, več toplote se sprosti. Oddajanje toplote človeškega organizma v ozračje je možno le v primerih, ko je zrak hladnejši od telesa. V nasprotnem primeru je energijski tok obraten.

### **Odvajanje telesne toplote z dihanjem**

Znano je, da se z dihanjem odvajajo znatne količine telesne toplote. S številnimi eksperimenti pa je bilo dokazano, da je količina odvedene toplote odvisna od temperature vdihanega zraka, njegove vlažnosti, pljučne kapacitete in telesne aktivnosti delavca.

### **Odvajanje toplote s sevanjem**

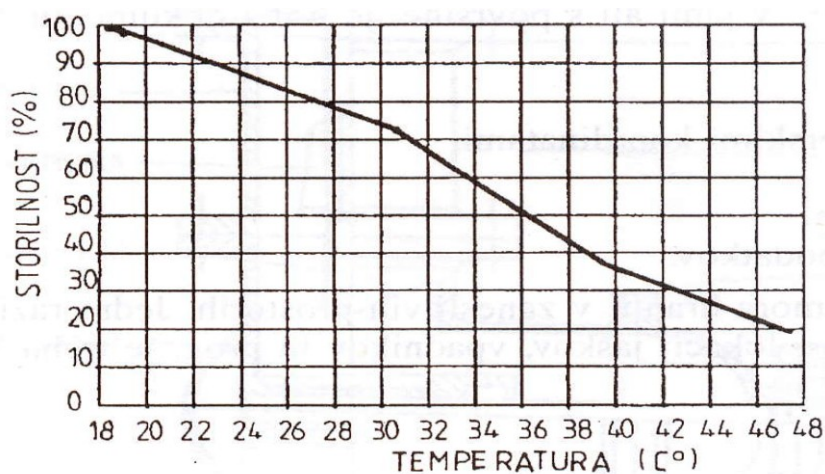
Odvajanje telesne toplote s sevanjem poteka skozi nepokrite dele telesa. Količina s sevanjem odvedene toplote je odvisna od temperature telesne površine, temperature sten delovnega okolja, površine nepokritih delov telesa itd. Odvajanje je učinkovito le v primerih, ko je temperatura sten delovnega okolja nižja od temperature telesne površine. V nasprotnem primeru je energijski tok obraten.

### Konvekcijsko odvajanje toplote

Konvekcijsko odvajanje toplote je toplotni tok, ki nastane zaradi vpliva zračnega toka. Količina konvekcijsko odvedene toplote je odvisna predvsem od hitrosti zraka, njegove temperature, temperature telesne površine in velikosti površine nepokritih delov telesa.

### Odvajanje toplote z izparevanjem znoja

V primerih, ko odvajanje toplote z dihanjem, s sevanjem in konvekcijo ne zadošča, pride do znojenja in ohlajanja telesa zaradi izparevanja znoja.



Slika 1: Odvisnost človekove delovne sposobnosti od temperature okolja

Vir: Hacc, 1986, 17



### Izboljšanje jamskih klimatskih razmer

V toplih in hladnih jamah dosežemo najboljše učinke pri ustvarjenju ugodnih klimatskih razmer s spreminjanjem temperature jamskega zraka, saj je le-ta najvplivnejši faktor jamskih klimatskih razmer. V hladnih jamah je koristno zrak pred vstopom v jamo ogrevati, v nekaterih deželah pa je to predpisano tudi z zakonom.

Škodljiv vpliv mrzlega zraka je možno parcialno zmanjšati z ustrezno razpeljavo zraka skozi jamske prostore v smislu zmanjšanja njegove hitrosti v tistih jamskih prostorih, kjer ogroža največ ljudi, in v smislu ogrevanja z naravnimi in tehnološkimi toplotnimi izvori tako, da

dosežemo ugodne klimatske razmere na jamskih deloviščih. Za jame z mineralno substanco, nagnjeno k samovnetju, je nujno potrebno s študijo ugotoviti vpliv ogrevanja zraka pred vstopom v jamo, na ogroženost jame zaradi požarov endogenega izvora in v primeru potrebe določiti ustrezne preventivne ukrepe. V toplih jamah je možno zmanjšati temperaturo zraka na jamskih deloviščih z naslednjimi tehničnimi ukrepi oziroma sredstvi:

- Preprečevanje oksidacijskih procesov,
- Izolacija zračilnih poti,
- Razvejanje zračnega toka,
- Povečanje količine zraka.



### **Umetno hlajenje zraka**

Oksidacijski procesi in hribinska toplota imata močan vpliv na povišanje temperature jamskega zraka, ki ga lahko z ustrezno izolacijo sten jamskih prostorov, zlasti tistih z vhodnim zrakom, zelo zmanjšamo. Oksidacijske procese lahko nadalje krepko omejimo s solidnim odkopavanjem oksidacijske substance, z zapolnjevanjem odkopanih delov odkopnih polj z negorljivimi, zrakotesnimi materiali, z začasnim ali s stalnim zapiranjem nepotrebnih oziroma občasnih nepotrebnih jamskih prostorov in podobno. Na temperaturo jamskega zraka na deloviščih ima znaten vpliv tudi razvejanost zračilnih tokov, saj lahko z ustrezno razvejanostjo dosežemo oskrbo vsakega delovišča s svežim zrakom ter lahko zmanjšamo temperaturni vpliv števila delavcev v jami oziroma na ostalih deloviščih, temperaturni vpliv oksidacijskih procesov na ostalih deloviščih, temperaturni vpliv ohlajajoče se izkopenine pri transportu, temperaturni vpliv mehanizacije na ostalih deloviščih in podobno. Z ostalimi delovišči so mišljena delovišča v zaporednem sistemu zračenja, nahajajoča se glede na smer zraka, pred opazovanim deloviščem. Povečano število zračilnih vej pomeni praviloma, v metanskih jamah pa vedno, povečanje količine zraka, ki tudi predstavlja enega izmed možnih ukrepov za izboljšanje jamskih klimatskih razmer ter v smislu zmanjšanja temperature jamskega zraka. Večja količina zraka odvaja iz jamskih prostorov več toplote oziroma jih ohlaja, večkrat povzroča večje hitrosti zraka ter s tem povečanje njegove hladilne sposobnosti in zmanjšuje temperaturni vpliv nekaterih toplotnih izvorov. Slednje na ta način, da mora izločena toplota, v primeru večjih količin zraka, segrevati večjo količino zraka, posledica tega pa je zmanjšan temperaturni učinek toplotnih izvorov oziroma znižanje temperature jamskega zraka.

V primerih neuspešnosti doslej navedenih ukrepov za zmanjšanje temperature jamskega zraka je možno uporabiti umetno hlajenje jamskega zraka. Umetno hlajenje jamskega zraka je lahko centralno, to je pred vstopom zraka v posamezne zračilne oddelke ali na posamezna jamska delovišča. Na odločitev, kateri način hlajenja zraka bomo izbrali, imajo glavni vpliv rezultati podrobne analize toplotnih izvorov, tako količinske kot razporeditvene, izdelane pred izvajanjem katerega koli ukrepa za zmanjšanje temperature jamskega zraka. Posamezne tehnične rešitve morajo biti ekonomsko ovrednotene, saj je lahko na primer izolacija zračilnih poti neprimerno dražja od umetnega hlajenja ali obratno. Nadalje tudi povečane količine jamskega zraka predstavljajo znaten strošek, poleg tega pa povzročajo večje razlike zračnih pritiskov v jamskih prostorih, kar je v jamah s samovnetljivo mineralno substanco zelo neugodno, zaradi ustvarjanja pogojev za nastanek jamskega požara endogenega izvora, zaradi prepihanja zraka skozi zdrobljen ali razpokan steber samovnetljive substance.

Za hlajenje zraka se danes uporabljajo najrazličnejše hladilne naprave, kot na primer absorpcijski hladilni stroj, hladilni stroj, hladilni stroj s suhim ledom (CO<sub>2</sub>), termoelektrični hladilni stroj, kompresijski hladilni stroj, hladilni stroj z izparevanjem vode itd. V rudarstvu se uporabljajo predvsem kompresorski hladilni stroji ne glede na način vgraditve v sistem prezračevanja, to je centralni ali lokalni. Pri lokalnem hlajenju zraka ločimo dve izvedbi glede na pripravo hladilnega medija. Hladilni medij je možno pripravljati na površini ali pa v jami. Danes se daje racionalnosti prednost lokalnemu hlajenju jamskega zraka s pripravo hladilnega medija v jami. Pri centralnem hlajenju hladimo tudi zrak, ki ga zatem pri vodenju na jamska delovišča izgubimo skozi kratke stike, pri površinski pripravi hladilne tekočine (medija) pa se pojavljajo energijske izgube pri dovajanju le-tega do lokalnih hladilnih naprav. Oboje je ekonomsko neupravičeno, obstajajo pa seveda izjeme pri manjših ali plitvejših jamah in podobno.



### **Ocenitev klimatskih delovnih pogojev**

Človek se je v svoji evoluciji prilagodil naravnemu okolju, zaradi česar ima njegovo telo za določena fizikalna stanja okolja svojo biološko odzivnost in prilagodljivost. Območje prilagodljivosti pa je žal omejeno, kar negativno vpliva na človekovo počutje, zdravje in delovno zmogljivost tudi v rudniških oziroma jamskih klimatskih razmerah, ki običajno zelo odstopajo od tistih na površini. Pri načrtovanju ter spremljanju človekovega dela in zaščite njegovega zdravja merimo predvsem fizikalne količine, ki vplivajo na klimatske razmere.

Te so:

- temperatura zraka,
- vlažnost zraka,
- toplotno sevanje,
- tlak zraka.

Med številnimi poskusi pravilnega kvantitativnega ovrednotenja vpliva naštetih dejavnikov na človekovo počutje in njegovo delovno zmogljivost je med boljšimi uvedba ameriške efektivne in korigirane efektivne temperature. Ameriško efektivno temperaturo so razvili in raziskali v laboratorijih s poskusi na velikem številu ljudi. To je namišljena temperatura za določeno stanje zraka v delovnem okolju, ki jo določimo iz diagrama na osnovi temperatur, izmerjenih s suhim in vlažnim termometrom, ter srednje hitrosti zraka. Človek lahko dosega normalne delovne učinke v območju 10 do 25 C ameriške efektivne temperature.

$$T_e = f(t_s, \varphi, v)$$

Kjer pomeni:

$T_e$  ameriška efektivna temperatura (°C)

$t$  temperatura zraka (suha) (°C)

$\varphi$  vlažnost zraka

$v$  srednja hitrost zraka v prostoru, v katerem ima človek enak občutek ugodja kot v prostoru z mirujočim ter z vlago nasičenim ( $\varphi = 100\%$ ) (m/s)

Ameriška efektivna temperatura ne upošteva vpliva toplotnega sevanja, zato ni primerna za uporabo v delovnem okolju z močnejšim toplotnim sevanjem. Toplotno sevanje upošteva korigirana efektivna temperatura, za njeno določitev pa moramo suho temperaturo izmeriti z globus-termometrom.





## **Faktorji, ki vplivajo na jamsko klimo**

Na jamsko klimo vpliva vrsta faktorjev, med katerimi so najpomembnejši:

### **Temperatura zraka**

Temperatura jamskega zraka je poleg vlažnosti in hitrosti zraka osnovni definicijski faktor klimatskih razmer. Na temperaturo jamskega zraka vplivajo naslednji faktorji oziroma toplotni izvori:

- Temperatura zunanjega (atmosferskega) zraka
- Temperatura hribine in izkopanine
- Oksidacijski procesi
- Trenje zraka
- Uporaba komprimiranega zraka
- Uporaba elektrostrojnih naprav
- Uporabe motorjev z notranjim izgorevanjem
- Število delavcev
- Kemijski procesi
- Sprememba zračnega pritiska zaradi višinskih razlik.

Glede na začetno toplotno stanje jamskega zraka razvrščamo toplotne izvore med absolutne in relativne toplotne izvore. Absolutni toplotni izvori povzročajo spremembe toplotnega stanja oziroma temperature jamskega zraka neodvisno od začetne temperature jamskega zraka, kar pomeni, da vedno povzroča enako temperaturno spremembo tako v hladnem kot tudi v toplen zraku.

Relativni toplotni izvori povzročajo od začetnega toplotnega stanja jamskega zraka odvisne toplotne spremembe istega, kar pomeni, da je njihov vpliv pri segrevanju zraka večji pri hladnejšem kot pri toplejšem zraku, pri ohlajanju zraka pa manjši pri hladnejšem kot pri toplejšem zraku, pri ohlajanju zraka pa manjši pri hladnejšem kot pri toplejšem zraku.

Za uspešno reševanje klimatskih problemov moramo dobro poznati kvantitativni karakter vsakega toplotnega izvora za vsako jamo posebej. V ta namen izdelujemo na osnovi meritev toplotne bilance, s katerimi je določena vrsta toplotnih izvorov, njihova intenziteta, način vpliva

na toplotno stanje jamskega zraka in njihova razporeditev v sistemu prezračevanja jamskih prostorov.

Temperatura atmosferskega zraka ima neposredni vpliv na temperaturo jamskega zraka. Višja ko je zunanja temperatura zraka, višja je tudi temperatura jamskega zraka in obratno. Velikost vpliva pa je odvisna predvsem od toplotne prevodnosti hribin, globine jame in velikosti jame. Vpliv je večji predvsem v manjših in plitvejših jamah, manjši pa v globljih ali večjih jamah. Vpliv na temperaturo zraka je najmočnejši v območju glavnih vstopnih zračilnih poti in se nato postopoma zmanjšuje z oddaljenostjo jamskih prostorov od vstopne zračilne odprtine.

V normalnih jamskih razmerah lahko naštetih faktorji povzročijo nad 30 stopinjsko razliko med temperaturama atmosferskega in delovišnega jamskega zraka. Vplivnost posameznih faktorjev na spremembo temperature oz. toplotnega stanja jamskega zraka je različna in odvisna od toplotnega stanja toplotnih izvorov, v nekaterih primerih pa tudi od začetnega toplotnega stanja jamskega zraka. Glede na začetno toplotno stanje jamskega zraka razvrščamo toplotne izvore med absolutne ali relativne toplotne izvore.

Absolutni toplotni izвори povzročajo spremembe toplotnega stanja oz. temperature jamskega zraka neodvisno od začetne temperature jamskega zraka, kar pomeni, da vedno povzročajo enako temperaturno spremembo, tako kot v hladnem, tako tudi v toplem zraku. Npr.: delujoči elektromotor določene moči, vedno povišuje temperaturo jamskega zraka za 5o C ne glede na to, ali znaša njegova začetna temperatura 10 ali pa 30o C. Absolutni toplotni izвори so: spremembe zračnega pritiska, kemijski procesi, trenje zraka, pretvorba mehanske oz. električne energije v toploto, komprimiran zrak, razstreljevanje in število delavcev v jami.

Relativni toplotni izвори povzročajo od začetnega toplotnega stanja jamskega zraka odvisne toplotne spremembe istega, kar pomeni, da je njihov vpliv pri segrevanju zraka večji pri hladnejšem kot pri toplejšem zraku in pri toplejšem zraku. Npr. povečanje temperature zraka zaradi izkopnine, katere temperatura znaša npr. 30o C bo pri začetni temperaturi jamskega zraka 10o C znatno večja kot pri začetni temperaturi jamskega zraka 25o C. Med relativne toplotne izvore sodijo predvsem: ohlajanje ali ogrevanje sten jamskih prostorov, ohlajanje ali segrevanje izkopnine pri transportu in spreminjanje vlažnosti zraka.

Za uspešno reševanje klimatskih problemov moramo dobro poznati kvantitativni karakter vsakega toplotnega izvora za vsako jamo posebej. V ta namen izdelujemo na osnovi meritev toplotne bilance, s katerimi je določena vrsta toplotnih izvorov, njihova intenziteta, način vpliva

na toplotno stanje jamskega zraka in njihova razporeditev v sistemu prezračevanje jamskih prostorov.

### **Temperatura atmosferskega zraka**

Temperatura atmosferskega zraka ima neposredni vpliv na temperaturo jamskega zraka. Višja je zunanja temperatura zraka, višja je temperatura jamskega zraka in obratno. Velikost vpliva pa je odvisna od toplotne prevodnosti hribin, globine jame in velikosti jame. Vpliv zunanjih temperatur zraka na temperaturo jamskega zraka je večji v manjših ali plitvejših jamah, ter manjši v globljih ali večjih jamah. Vpliv je najmočnejši na temperaturo zraka v območju glavnih vstopnih zračilnih poti in se nato postopoma zmanjšuje z oddaljenostjo jamskih prostorov od vstopne zračilne odprtine. Zelo pogosti so primeri konstantnih temperatur jamskega zraka, glede na zunanje temperature, predvsem na deloviščih v globljih jamskih predelih ali na, od vstopne zračilne odprtine, bolj oddaljenih deloviščih.

### **Temperatura hribin**

Temperatura hribin v katerih se nahajajo jamski prostori ima velik vpliv na temperaturo jamskega zraka. Temperatura hribin z globino narašča v povprečju za 1o C na vsakih 33 m. Sicer pa je naraščanje temperature hribin z globino odvisno od toplotne prevodnosti hribin, fizikalnih in kemijskih lastnosti hribin, njihove toplotne kapacitete, bližine pretakajočih se nosilcev toplotne energije (voda, plini), vulkanskih aktivnosti, geoloških razmer ipd. Naraščanje temperature z globino izražamo z geotermično stopnjo, ki nam pove na koliko metrov globine naraste temperatura za 10 °C ali pa z geotermičnim gradientom, ki predstavlja recipročno vrednost geotermične stopnje ter nam pove za koliko °C naraste temperatura hribin na 1 m globine. Geotermična stopnja se zaradi predhodno naštetih vplivov spreminja od 1,5 do 180 m/ °C, ugotavlja pa se z meritvami hribinskih temperatur v novo izdelanih rudniških prostorih ter raziskovalnih in naftnih vrtinah. Na so prikazane temperature, izmerjene v naftni vrtini v jugozahodnem delu Panonske nižine, povprečna geotermična stopnja tega območja znaša približno 2 m/ °C.

Vpliv temperature hribin oz. geotermične stopnje na temperaturo jamskega zraka je odvisen od količine in temperature zraka, dolžine zračilnih poti, velikosti površin prereзов zračilnih poti, oblike istih in od toplotne prevodnosti hribin v katerih se jamski prostori nahajajo. Na sliki 71 so

shematično prikazane vrednosti toplotnih prevodnosti za nekatere sedimentne hribinske materiale, kjer posamezne pozicije materialov pomenijo:

1 kvarcit, 2 dolomit, 3 apnenec, 4 peščenjak, 5 skriljavec, 6 lapor, 7 konglomerat, 8 kameno sol, 9 anhidrit, 10 silvanit in 11 premog. Iz podatkov lahko zanesljivo sklepamo, da bo vpliv geotermične stopnje na temperaturo jamskega zraka znatno večji pri jamskih prostorih v dolomitih kot v premogu, saj slednji deluje, v primerjavi z drugimi materiali, skoraj kot toplotni izolator.

### **Vlaga v zraku**

Absolutna in relativna vlažnost zraka se na njegovi poti skozi jamo spreminjata; absolutna zaradi kondenzacije vodne pare, vode v jamskih prostorih in zaradi hidroskopičnosti hribin (v rudnikih soli), relativna pa še zaradi temperaturnih in tlačnih sprememb jamskega zraka. Intenzivnost izparevanja vode je odvisna predvsem od temperature in vlažnosti zraka. Bolj je zrak topel in suh, več vlage lahko sprejme. V nasičenem ozračju ni izparevanja vode. Vpliv spreminjanja absolutne vlažnosti zraka na njegovo temperaturo je odvisen od tega, ali je sprememba pozitivna ali negativna. Temperatura zraka se zniža v primerih izparevanja vode t.j. povečanja absolutne vlažnosti, kateremu sledi tudi povečanje relativne vlažnosti zraka. Znižanje temperature zraka je posledica porabe toplote iz zraka za izparevanje vode, večkrat pri tem sodeluje tudi hribinska toplota, vendar pa je v takšnem primeru vpliv povečanja absolutne vlažnosti zraka na temperaturo istega, ustrezno zmanjšan.

Do povečanja temperature jamskega zraka pride vsled kondenzacije vodne pare na hladnih stenah jamskih prostorov, ko para odda toploto, ki je bila potrebna za vzdrževanje plinastega stanja vode, jamskemu zraku delno pa tudi hribini oz. stenam jamskih prostorov.

V povprečnih jamskih razmerah ( $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ ,  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  in  $B = 1013 \text{ mb}$ ) je potrebno za izparitev  $g$  vode približno  $2,4 \text{ kJ}$  toplotne energije, zaradi česar se zniža temperatura  $1 \text{ m}^3$  zraka za  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

## **Trenje zraka**

Pri trenju zraka ob stene jamskih prostorov naraste temperatura jamskega zraka zaradi trenjskega dela. Velikost temperaturnih sprememb zraka je odvisna predvsem od: depresije, količine zraka, gostote zraka in specifične toplote zraka.

## **Komprimiran zrak**

Komprimiran zrak vpliva na temperaturo jamskega zraka na različne načine. Najpomembnejši je njegov vpliv v primeru, ko ni dovolj ohlajen in oddaja toploto, skozi stene komprovodnih cevi, jamskemu zraku. Povečanje temperature je odvisno od količine komprimiranega zraka in temperature istega, ter od količine jamskega zraka v jamskih prostorih s komprovodnim omrežjem. Manjšega pomena je hladilni učinek komprimiranega zraka pri uporabi istega za pogon delovnih naprav. Komprimiran zrak izhaja iz delovne naprave z znižanim tlakom, vsled česar je lahko (v kolikor je bila njegova temperatura ob vstopu v stroj enaka ali nižja od temperature jamskega zraka) hladnejši od jamskega zraka, vendar se možni hladilni efekt skoraj izniči vsled izvršenega mehanskega dela in pri tem nastale toplote. Znatnejši pa je njegov hladilni efekt zaradi zmanjševanja relativne vlažnosti jamskega zraka, vendar to ni vpliv na temperaturo jamskega zraka temveč na klimatske razmere na delovišču. Pri iztrekanju komprimiranega zraka iz komprovoda brez opravljanja mehanskega dela, na račun notranje energije naraste kinetična energija komprimiranega zraka, vsled česar pride do zmanjšanja njegove temperature.

## **Ohlajanje izkoppnine**

V kolikor je izkoppnina toplejša od jamskega zraka pride do povečanja temperature slednjega, zaradi ohlajanja izkoppnine. Pojav je običajno negativen in zelo izrazit pri transportu izkoppnine skozi jamske prostore s svežim t.j. vstopnim zrakom, saj ima le ta nižjo temperaturo kot deloviščni in izrabljeni jamski zrak. Povečanje temperature jamskega zraka je odvisno od: temperature izkoppnine, količine izkoppnine, trajanja kontakta med zrakom in izkoppnino, temperature zraka in količine zraka.

## **Pretvorba mehanske in električne energije v toplotno energijo**

Pri delovanju katerega koli mehanizma se vložena energija pretvori v koristno delo le delno, preostanek pa se spremeni v toplotno energijo, katera predstavlja izvor povečanja temperature jamskega zraka. Količina sproščene toplote je odvisna od moči stroja in koeficienta obremenjenosti istega.

Sodobno rudarstvo je v večini primerov mehanizirano z uporabo električne energije in ustreznih naprav za pretvorbo električne energije v mehansko delo t.j. elektromotorjev pri katerih je količina sproščene toplote največja.

## **Število delavcev v jami**

Odvečna telesna toplota odteka v jamski zrak, zaradi česar pride do povišanja temperature istega. Povišanje temperature jamskega zraka je odvisno predvsem od števila delavcev v jami, napornosti dela in količine zraka. Temperatura 600 m<sup>3</sup>/min zraka zaradi 50 delavcev pri srednje težkem delu naraste za približno 1,20 C.

## **Vlažnost zraka**

Povečana vlažnost zraka ima negativen vpliv na klimatske razmere v jami, ker ovira oz. preprečuje izparevanje znoja s površine človeškega telesa, s tem pa tudi odvajanje telesne toplote na ta način. Glede na to, da je odvajanje toplote z izparevanjem znoja pri višjih temperaturah zraka prevladujoče (slika 68), je pozitiven učinek jamskega povečanja absolutne vlažnosti zraka, v obliki znižanja temperature istega, izničen.

Na vlažnost jamskega zraka vplivajo številni faktorji, med katerimi so najpomembnejši:

- temperatura in vlažnost atmosferskega zraka,
- barometerski pritisk zraka in globina jame,
- vlažnost sten jamskih prostorov in jamska voda,
- količina in hitrost zraka,
- dolžina zračilnih poti in
- temperaturno stanje jamskega zraka.

Vpliv vlažnosti zunanjega zraka je neposreden, vpliv temperature zunanjega zraka pa posreden. Toplejši je zrak, večja je lahko njegova maksimalna absolutna vlažnost in obratno. Zaradi tega se relativna vlažnost zraka na poti v jamo v primeru znižanja temperature zraka zviša in v primeru zvišanja temperature zraka zniža. Navedeno velja seveda le v primeru konstantne absolutne vlažnosti zraka.

Barometerski pritisk narašča z globino jame, povečanje barometerskega pritiska pa povzroča pri nespremenjeni absolutni vlažnosti in izotermični kompresiji, povečanje relativne vlažnosti zraka.

Jamska voda in mokre stene jamskih prostorov povzročajo povečanje absolutne in relativne vlažnosti zraka, na povečanje pa vplivata količina zraka in hitrost zraka. Dolžina zračilnih poti ima pomemben vpliv, saj je od nje odvisna velikost kontaktnih ploskev voda – zrak, večje so te, večja je možnost za povečanje absolutne in relativne vlažnosti zraka.

Temperaturno stanje jamskega zraka vpliva na vlažnost jamskega zraka v smislu povečanja absolutne vlažnosti istega glede na to, da lahko vsebuje toplejši zrak več vodne pare kot hladnejši.

### **Hitrost zraka**

Gibajoči zrak intenzivneje odvaja telesno toploto kot mirujoči, zato spada med vplivnejše faktorje jamskih klimatskih razmer, različne hitrosti zraka z enako temperaturo povzročajo pri človeku različne občutke toplote oz. temperature zraka. Hladilni učinek gibajočega se zraka narašča z večanjem hitrosti zraka in pada z zmanjšanjem hitrosti zraka. V mirujočem ozračju je nič, v gibajočem se zraku pa omejen, pri hitrostih večjih od 3,7 m/s se hladilni učinek zraka zaradi hitrosti ne spreminja več bistveno.

### **Zračni pritisk**

Povečan zračni pritisk ima negativen vpliv na jamske klimatske razmere, predvsem zaradi povzročanja povišanja temperature jamskega zraka in zmanjšanja sposobnosti prevzemanja vlage, ter s tem oviranja odvajanja telesne toplote z izparevanjem znoja.

## Toplotno sevanje

Toplotno sevanje v večini primerov slabša jamske klimatske razmere, ker so v večini primerov stene jamskih prostorov (zlasti delovišč) zaradi hribinske toplote (geotermična stopnja) toplejše od človeškega telesa. Izjema so predvsem plitvejše jame in starejši ali permanizirani jamski prostori. Vpliv sevanja na jamske klimatske razmere je odvisen tudi od količine oz. hitrosti zraka. Večje so pretočne količine zraka skozi jamo, manjše je povečanje temperature jamskega zraka zaradi toplotnega sevanja.



## **Ukrepi zoper neugodne jamske klimatske razmere**

Neugodne jamske klimatske razmere so največkrat posledice:

- nizkih temperatur zraka,
- prevelikih hitrostih gibanja zraka,
- visokih temperatur zraka,
- premajhnih hitrosti gibanja zraka,
- prevelike relativne vlažnosti zraka itd.

Nizke temperature zraka lahko odpravimo z ogrevanjem vstopnega zraka, večkrat pa tudi z vodenjem vstopnega zraka na delovišče po toplejših jamskih prostorih.

Hitrost gibanja zraka lahko zmanjšamo s povečanjem števila zračilnih poti, povečanjem površin pretočnih prerezov jamskih prostorov in zmanjšanjem količine zraka na dopustni varnostni minimum glede na sproščanje nevarnih plinov in prahu v jami.

Visoke temperature zraka lahko znižamo z umetnim hlajenjem jamskega zraka, s preprečevanjem oksidacijskih procesov, izolacijo zračilnih poti, povečanjem količine zraka.

Če je večja relativna vlažnost zraka, je manjša intenziteta izparevanja tekočin in s tem možnost oddajanja telesne toplote z znojenjem oz. izparevanjem. Relativno vlažnost zraka je možno zmanjšati z odvzemanjem vlage s termodinamičnimi postopki (ohladitev zraka in odvzem kondenzirane vlage ter zatem segretje zraka).



## **Ocenjevanje klimatskih delovnih razmer**

Klimatske delovne razmere oz. toplotno udobje ocenjujemo na osnovi meritev vrednosti fizikalnih parametrov, ki vplivajo na občutenje toplote, t.j.:

- temperature zraka,
- relativne vlažnosti zraka in
- hitrosti gibanja zraka.

## **Določevanje potrebnih količin zraka**

Po sedaj veljavnih tehničnih normativih za podzemeljsko eksploatacijo premoga je potrebno pri določitvi potrebne količine zraka za prezračevanje jamskih delovišč upoštevati:

- plinonost hribine in prihribine,
- pline, nastale pri razstreljevanju,
- pline, nastale pri obratovanju motorjev z notranjim izgorevanjem,
- minimalne dovoljene hitrosti gibanja zraka,
- klimatske delovne razmere,
- število vgrajenih separatnih ventilatorjev,
- zaprašenosť ozračja,
- število delavcev na delovišču in
- najnižji atmosferski (barometriški) tlak.

Veljavni tehnični normativi določajo najmanjšo količino zraka za prezračevanje jame takole:

- količina zraka ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) glede na dnevni izkop  $0,017 \text{ m}^3/\text{s}/\text{dan}$
- količina zraka ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) glede na absolutni pritok metana ( $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{s}$ )  $1700\text{m}^3/\text{s}/\text{m}^3\text{CH}_4/\text{s}$
- količina zraka ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) glede na število delavcev  $0,067\text{m}^3/\text{s}/\text{delavca}$

## **Vzpostavitev zračnega toka skozi jamo**

Pogoj, da zrak skozi jamo vleče, je, da ima jama najmanj dve odprtini oz. glavna prostora, ki jo povezujeta s površino. Tok zraka skozi jamo ali pretočno zračenje jame je posledica razlik zračnih tlakov med odprtinama. Razlika zračnih tokov ali depresija je lahko naravna ali pa umetna.

Metanske jame in jame z nevarnim premogovim prahom moramo prezračevati umetno z depresijsko delujočimi ventilatorji, ne glede na velikost naravne depresije.

Glede na različne medsebojne lege vstopnih in izstopnih priključkov jame na površino pa ločimo še: centralno glavno jamsko zračenje, diagonalno glavno jamsko zračenje in pri več kot dveh priključkih jame na površino tudi kombinirano. Pri centralnem glavnem jamskem zračenju zrak izstopa iz jame v neposredni bližini vstopa v jamo, pri diagonalnem sta vstopni in izstopni mesti bolj oddaljeni med sabo, pri kombiniranem pa se pojavlja kombinacija obojega.

Pri pretakanju zraka skozi jamske prostore ovirajo zračni tok:

- upori trenja ob stenah jamskih prostorov,
- čelni upori ovir v jamskih prostorih (vozički, podporje, transportne naprave itd.) in
- lokalni upori jamskih prostorov (razširitve in zožitve prostorov, zavoji ipd.).

Potrebno razliko zračnih tlakov, t.j. depresijo za pretok zraka skozi jamski prostor določimo na naslednji način:

$$h = Q^2 \times R$$

h...depresija (Pa)

Q...količina zraka (m<sup>3</sup>/s)

R...vsoto vsot trenjskih, čelnih in lokalnih uporov (Ns<sup>2</sup>/m<sup>8</sup>)

Specifične upornosti so podane za 100 m dolge odseke jamskih prostorov, upornost konkretnega prostora določimo tako:

$$R = \frac{R_{100} \times L}{100}$$

V enačbi pomeni:

R...dolžinsko upornost jamskega prostora ( $\text{Ns}^2/\text{m}^8$ )

$R_{100}$ ...specifično upornost 100 m dolgega jamskega prostora ( $\text{Ns}^2/\text{m}^8$ )

L...dolžino jamskega prostora (m)

Potrebno depresijo za prezračevanje cele jame določimo kot vsoto depresij vseh zračnih vej kritičnega tokovnega kroga, določenih na osnovi potrebnih količin zraka in upornosti zračnih vej. Zračna veja je jamski prostor med dvema križiščema, kritični tokovni krog pa tista skupina zaporednih zračilnih vej, med vstopno in izstopno odprtino, katerih vsota depresij je največja.

Ekvivalentna odprtina jame je tista odprtina v tanki steni, ki je upornostno enakovredna jami. Velikost ekvivalentne odprtine izražamo v  $\text{m}^2$ , ponazarja pa stopnjo zračne prepustnosti jame (večja je, manjši so upori). Vrednost ekvivalentne odprtine izračunavamo takole:

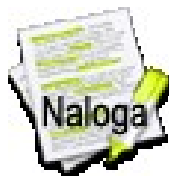
$$A = 1,19 \times \frac{Q}{\sqrt{h}}$$

A...ekvivalentna odprtina jame ( $\text{m}^2$ )

Q...skupna količina zraka, izmerjeno v ventilatorju ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

h...depresija ventilatorja (Pa)

**Primer za izračun:**



Izračunajte ekvivalentno odprtino jame A pri ventilatorskem prezračevanju!

Podatki:

$Q_z = 220 \text{ m}^3 / \text{s}$  ... skupna količina zraka

$h = 2450 \text{ Pa}$  ... depresija ventilatorja

$\eta = 1,19$  ... konstanta zračenja

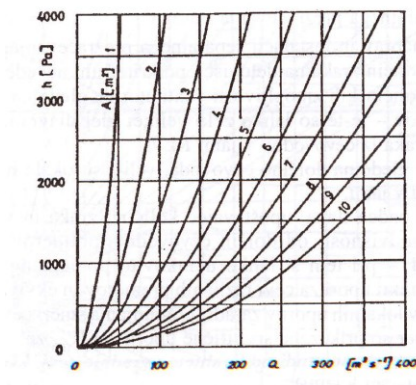
**Izračun:**

$$A = \eta \times \frac{Q_z}{\sqrt{h}}$$

$$A = 1,19 \times \frac{220}{\sqrt{2450}}$$

$$\underline{\underline{A = 5,289 \text{ m}^2}}$$

Ekvivalentna odprtina jame znaša  $5,289 \text{ m}^2$ .



Slika 2: Ekvivalentna odprtina jame

Vir: Hacc, 1986, 21



### ***Ponavljanje in obnovitev znanja***

1. Kaj razumeš pod pojmom termoregulacija človeškega organizma?
2. Vpliv vlažnosti zraka na jamsko klimo!
3. Na kakšen način se lahko izboljšajo klimatske razmere?
4. Naštej in opiši ukrepe proti neugodnim klimatskim razmeram!
5. Kateri dejavniki vplivajo na zagotovitev potrebne količine zraka?
6. Kaj je ekvivalentna odprtina jame in kako se določi?



### ***Medpredmetno povezovanje***

**Podnebje:** primerjava jamske klime z atmosferskim zrakom

**Fizika:** fizikalne lastnosti jamske klime (temperatura, vlaga, tlak, hitrost)

**Varstvo pri delu:** vpliv jamske klime na počutje delavcev pri delu

**Ocena tveganja:** vpliv jamske klime na različna dela in delovna mesta v jami



### ***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.