



KONZORCIJ ŠOLSkih CENTROV



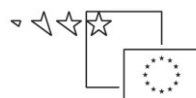
REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA ŠOLSTVO IN ŠPORT



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

# KEMIJSKE SESTAVINE JAMSKEGA ZRAKA IN JAMSKI PLINI

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*

*Jamski zrak, jamski plini, metan*

*Naslov učne enote (teme)*

### KEMIJSKE SESTAVINE JAMSKEGA ZRAKA IN JAMSKI PLINI



#### POVZETEK

Jamski zrak z svojimi škodljivimi plini predstavlja eno izmed največjih potencialnih nevarnosti za delo v jami. Gradivo Kemijske sestavine jamskega zraka in jamski plini opisuje pojme kot so sveži, izrabljeni, eksplozivni, zadušljivi in strupeni jamski zrak. Opisani so jamski plini, njihove lastnosti in kako preprečujemo nevarnost zaradi izbruha plina metana.

**Ključne besede:** rudarstvo, premogovniki, jamsko zračenje, jamski zrak, jamski plini, metan,...

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

Datum: avgust 2009



## Cilji učne enote

### Ali si se že vprašal?

- Ali poznaš osnovne sestavine atmosferskega zraka?
- Kako bi rešil problem jamskih plinov v rudniku?
- Kaj razumeš pod pojmom zračenje?
- Kakšen je pomen zračenja za jamske prostore?
- Ali razumeš nastanek in vpliv plinov, ki nastajajo v jamskih prostorih?
- Zakaj je nevaren jamski plin metan?



## Kemijske sestavine jamskega zraka in jamski plini

Jamski zrak z svojimi škodljivimi plini predstavlja eno izmed največji potencialnih nevarnosti za delo v jami. Po svetu se je zgodilo veliko nesreč zaradi izbruhov in eksplozij jamskih plinov.



Na internetu poišči informacije o velikih rudarskih nesrečah zaradi eksplozij jamskih plinov in skušaj razumeti njihov pomen! Kateri jamski plini so po tvojem mnenju najbolj nevarni za človeka?

Skušaj razumeti zakaj je kisik tako zelo pomemben za naše življenje.



### **Sveži jamski zrak**

Sveži jamski zrak je glede kemijske sestave enak atmosferskemu, to je površinskemu zraku, razlikujeta se lahko le po relativni vlažnosti. Sveži jamski oz. atmosferski zrak je zmes naslednjih plinov (*povzeto po Hace, 1986, str. 12*):

Kisika – O	20.93 %
Dušika - N	78.10 %
Ogljikovega dioksida - CO <sub>2</sub>	0.04 %
Žlahtnih plinov (argona - Ar, ksenona - Xe, kriptonu - Kr, helija - He in neona - Ne)	0.93 %

Prostorninska masa suhega atmosferskega zraka znaša 1.251 kg/m<sup>3</sup>.



### **Izrabljeni jamski zrak**

Izrabljeni jamski zrak po kemijskem sestavu ni enak svežemu jamskemu zraku, temveč vsebuje pline, sproščene ali nastale v procesu pridobivanja premogov ali rud vsebuje tudi mineralni prah in vodne pare. Plini, ki se v jami sproščajo, so predvsem: metan, ogljikov dioksid, dušik, radon, živosrebrne pare ipd. Plini, ki v jami nastanejo, pa so: ogljikov monoksid, ogljikov dioksid, vodik, dušikovi oksidi ali nitrozni plini.



### **Eksplozivni jamski zrak**

Ko se koncentracije eksplozivnih plinov ali eksplozivnega premogovega prahu nahajajo v mejah eksplozivnosti in ko plinska zmes vsebuje dovolj kisika, govorimo o eksplozivnem jamskem zraku.



### **Zadušljivi jamski zrak**

Zadušljivi jamski zrak vsebuje premalo kisika, potrebnega za dihanje. Za človeški organizem inertni plini, ki s svojo prisotnostjo zmanjšujejo koncentracijo kisika, so predvsem: dušik, metan in vodik.



### **Strupeni jamski zrak**

Strupeni jamski zrak vsebuje toliko strupenih plinov, da so glede na koncentracije v zraku nevarni za človeški organizem. V jamah srečujemo predvsem naslednje strupene pline: ogljikov monoksid, žveplovodik, žveplov dioksid, dušikove okside in živosrebrne pare.



### **Stalni plini v jamskem zraku**

- **Kisik (O<sub>2</sub>)**

Kisik je plin brez barve, vonja in okusa,  $\rho = 1.429 \text{ kg/m}^3$ ,  $p = 213 \text{ mbar}$ , molekularna masa je  $32.000 \text{ kg/Kmol}$ . Omogoča odvijanje oksidacijskih procesov, med njimi tudi presnovnih v organizmih živih bitij, zaradi česar je življenjsko pomemben za človeka.

- **Dušik (N<sub>2</sub>)**

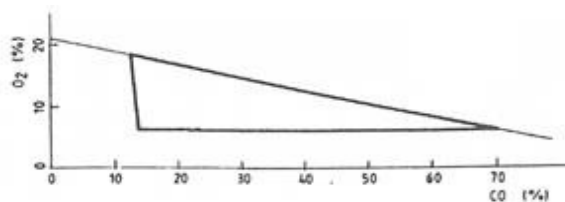
Dušik je plin brez barve, vonja in okusa,  $\rho = 1.151 \text{ kg/m}^3$ , molekularna masa znaša 28.016 kg/Kmol. Dušik se le težko spaja z drugimi snovmi, v kemičnih reakcijah pri dihanju in gorenju pa sploh ne sodeluje. Pri koncentracijah nad 78 % zmanjšuje odstotek kisika v zraku, zato je zadušljiv, zelo uporaben pa je za gašenje jamskih požarov in inertizacijo požarnih prostorov.



### **Plini, ki se občasno pojavljajo v jamskem zraku**

- **Ogljikov monoksid (CO)**

Ogljikov monoksid je plin brez barve, vonja in okusa,  $\rho = 1.251 \text{ kg/m}^3$ , molekularna masa znaša 28.016 kg/Kmol, je zelo strupen, gorljiv, pri koncentracijah od 13 do 75 % pa eksploziven, če je v plinski zmesi najmanj 6 % kisika. Nastaja pri nepopolnem izgorevanju pri t.i. pri oksidacijskih procesih ob nezadostnih količinah kisika: požarih, eksplozijah in tudi razstreljevanju.



*Slika 1: Trikotnik eksplozivnosti CO*

Vir: Hace, 1986, 12

Predpisana vrednost MDK ogljikovega monoksida v jamskem zraku je 0.003 prostorninskih odstotkov ali 30 ppm.

Koncentracije CO v jamskem zraku ugotavljamo laboratorijsko s kemijsko analizo vzorcev jamskega zraka, v jami pa s pomočjo indikatorskih cevčic in vrsto prenosnih ali stacionarnih elektronskih merilnikov CO.

- **Ogljikov dioksid (CO<sub>2</sub>)**

Ogljikov dioksid je brezbarven plin, brez vonja in kiselkastega okusa. Molekularna masa znaša 44.010 kg/Kmol,  $\rho = 1.977 \text{ kg/m}^3$ .

Ogljikov dioksid nastaja v jami pri oksidacijskih procesih, vsebujejo ga tudi nekateri premogi in druge mineralne substance, kjer je praviloma pod visokim tlakom. Predpisana MDK znaša

normalno 1.0 prostorninskega odstotka in 1.5 prostorninske-ga odstotka, če je v zraku najmanj 19 prostorninskih odstotkov kisika.

Koncentracije CO<sub>2</sub> v jamskem zraku določamo laboratorijsko s kemijsko analizo vzorcev zraka, v jami pa s pomočjo indikatorskih cevčic interferometrov in elektronskih merilnikov.

- **Žveplovodik (H<sub>2</sub>S)**

Žveplovodik je plin brez barve, je sladkega okusa, ima močan vonj po gnilih jajcih in je zelo strupen. Je gorljiv, zmes zraka s 4.3 do 45.3 % žveplovodika je eksplozivna. Molekularna masa znaša 34.080 kg/Kmol,  $\rho = 1.539 \text{ kg/m}^3$ , je težji od zraka

Predpisana MDK H<sub>2</sub>S v jamskem zraku je 0.001 prostorninskih odstotkov ali 10 ppm.

Koncentracijo H<sub>2</sub>S ugotavljamo s pomočjo kemijske analize, indikatorskih cevčic in elektronskih merilnikov.

- **Žveplov dioksid (SO<sub>2</sub>)**

Žveplov dioksid nastaja pri gorenju snovi, ki vsebujejo žveplo. Pogosteje se pojavlja v premogovnikih (požari), nastaja pri uporabi razstreliv, ki vsebujejo žveplo, nastaja pa tudi v motorjih z notranjim izgorevanjem.

Predpisana MDK SO<sub>2</sub> v jamskem zraku je 0.0002 prostorninskega odstotka ali 2 ppm.

Koncentracije SO<sub>2</sub> ugotavljamo s pomočjo kemijske analize, indikatorskih cevčic in elektronskih merilnikov.

- **Nitrozni plini (NO, NO<sub>2</sub>)**

Nitrozni plini so spojine dušika in kisika, so brez vonja in okusa ter zelo strupeni. V rudnikih se najpogosteje pojavljajo:

- brezbarvni dušikov oksid NO, ki v stiku s kisikom iz zraka oksidira v dušikov dioksid NO<sub>2</sub>, rumenordečkaste barve in

- dušikov trioksid N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, temnordeče barve, ki se pri ohladitvi spremeni v tekočino modre barve.

Predpisana MDK za nitrozne pline NO + N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> znaša 0.0005 prostorninskega odstotka ali 5 ppm.

Koncentracije nitroznih plinov ugotavljamo s kemijsko analizo, z indikatorskimi cevčicami in elektronskimi merilniki.

- **Dimetilsulfid (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>S**

Dimetilsulfid (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>S je plin brez barve, okusa in ostrega vonja. Je težji od zraka (2,58 kg/m<sup>3</sup>). Je strupen, gorljiv in eksploziven. Eksploziven z zrakom je v koncentracijah od 2,2 – 19,7%. Dovoljena koncentracija je 0,007% oz. 70 ppm. Ugotavljamo ga s kemično analizo, indikatorskimi cevčicami ter elektronskimi merilniki.

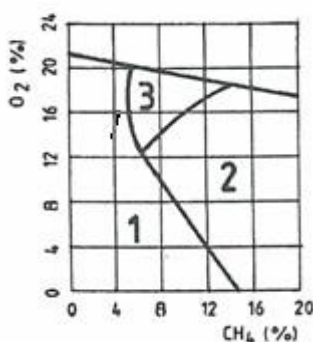
- **Vodik (H<sub>2</sub>)**

Vodik je plin brez barve, vonja in okusa. Je najlažji med znanimi plini, molekularna masa znaša 2.0156 kg/Kmol,  $\rho = 0.0899 \text{ kg/m}^3$ . Vodik nastaja v jami predvsem pri gašenju požarov z vodo in polnjenju akumulatorjev v remizah. Pri gašenju požarov nastaja vodna para, ki pri kontaktu z žarečim premogom povzroči nastanek vodika in ogljikovega monoksida:  $\text{H}_2\text{O} + \text{C} = \text{CO} + \text{H}_2$ .

Koncentracije H<sub>2</sub> ugotavljamo s kemijsko analizo, indikatorskimi cevčicami in elektronskimi merilniki.

- **Metan (CH<sub>4</sub>)**

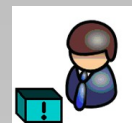
Metan je plin brez barve, vonja in okusa. Je lažji od zraka, molekularna masa znaša 16.04 kg/Kmol in  $\rho = 0.717 \text{ kg/m}^3$ . Za človeški organizem je inerten, v zraku pa zmanjšuje odstotek kisika, zato ga uvrščamo med zadušljive pline. Je gorljiv, zmes zraka s 5 do 14 % metana je eksplozivna, če je v zmesi najmanj 12 % kisika, učinek eksplozije je maksimalen pri 9.5 % metana in 19% kisika.



Slika 2: Trikotnik eksplozivnosti CH<sub>4</sub>

Vir: Hace, 1986, 15

Do vžiga metana pride pri temperaturi 923 K (650 °C).



**Ali veš?**

*Metan se imenuje tudi treskavi plin ali "treskavec". Rudarji ga poznajo kot treskavec ali jamski plin, saj se pogosto nahaja v skladih premoga, kjer je ostal ujet v majhnih votlinicah ob počasnem razkrajanju odmrlih rastlin pod zemljo.*



Metan nastaja v naravi pri razpadanju in ogleenju organskih snovi brez prisotnosti kisika.



### **Preprečevanje nevarnosti zaradi metana**

Preventivni ukrepi so predvsem:

- učinkovito prezračevanje vseh jamskih prostorov,
- redna kontrola prisotnosti metana v jamskem zraku,
- učinkovita protipožarna obramba,
- prepoved uporabe odprtega plamena (kajenje, varjenje, spajkanje in rezanje kovin),
- uporaba ustreznih metanskovarnih razstrelilnih sredstev,
- varno ravnanje z razstrelilnimi sredstvi,
- upoštevanje navodil proizvajalcev razstrelilnih sredstev,
- redno vzdrževanje elektrostrojnih naprav,
- uporaba elektrostrojnih naprav in instalacij v protieksplzijski izvedbi z atesti S komisije,
- uporaba zračilnih in vodovodnih cevi iz ustreznih antistatičnih materialov itd.

Količine jamskega zraka morajo biti tolikšne, da koncentracije metana v nobenem primeru, vključno z ekshalacijskimi konicami ne presežejo dovoljenih vrednosti, ki znašajo:

- v deloviščnem zraku 1.5 vol. %,
- v oddelčnem izstopnem zraku 1.5 vol. %,
- v glavnem izstopnem zraku 1.0 vol. %,
- v vstopnem oddelčnem zraku 0.5 vol. % in
- v povratnem zraku separatno zračenih delovišč 1.5 vol. %.

Koncentracije metana ugotavljamo s kemijsko analizo, interferometrom in s prenosnimi ter stacionarnimi elektronskimi merilniki.

Tabela 1: Jamski plini

JAMSKI PLINI	LASTNOST	TEŽA kg/m <sup>3</sup>	BARVA	VONJ	OKUS	EKSPLOZIVEN POMEŠAN Z ZRAKOM	DOVOLJENE KONC. V OZRAČJU %	UČINKOVANJE NA ČLOVEŠKI ORGANIZEM IN OSTALO
METAN <b>CH<sub>4</sub></b> (lažji od zraka)	eksploziven , zadušljiv	0,72				5 - 15 % (9,5 %)	Pri normalnih delih na PV do 1,5 %	Vsebina metana v jamskem zraku sme znašati: V svežem zračnem toku (vstop) 0,5 % V glavnem izstopnem zračnem toku 1,0 % V izstopnem zračilnem toku iz zračilnega oddelka 1,5 % V delovnih prostorih in izstop s tega delovišča 1,5 % <b>S kisikom tvori treskavi plin.</b>
OGLJIKO DIOKSID <b>CO<sub>2</sub></b> (težji od zraka)	zadušljiv	1,97			kiselkast		1,0 %, izjemoma 1,5 % (pogoj 19 % kisika)	3 % dihanje otežkočeno, 2 x hitrejši utrip srca, 5 % dihanje zelo otežkočeno, 3x hitrejši utrip srca, 6 % se pojavi dušenje, 7 % bolečine v glavi in onemoglost, 10 % nezavest, 25 % smrt v kratkem času.
OGLJIKOV MONOKSID <b>CO</b> (približno enak teži zraka)	strupen, eksploziven	1,25				12,5 - 75 % (29,6 %)	30 ppm ali 0,003 %	0,04 % se človek lahko zadržuje v prostoru do 1 ure, 0,5 % takoj smrtno nevarno. <b>Znaki zastrupitve:</b> omotica, slabost v udih, nejasen vid, močnejši utrip srca. Težave pri dihanju ne nastopijo.
ŽVEPLOVODIK <b>H<sub>2</sub>S</b> (težji od zraka)	strupen, eksploziven	1,54		po gnilih jajcih	sladkobni	4,3 - 46 %	10 ppm ali 0,001 %	0,07 % težka obolenje, 0,1 % v kratkem času smrt. <b>Znaki zastrupitve:</b> glavobol in vrtoglavica, draži dihalne organe in oči.
NITROZNI PLINI <b>NO, NO<sub>2</sub></b>	strupen	1,34	rjavordeč NO <sub>2</sub>				5 ppm ali 0,0005 %	<b>Znaki zastrupitve:</b> močan kašelj, močan glavobol, vnetje pljuč s krvavitvijo In bolečine v prsnem košu.
ŽVEPLOV DIOKSID <b>SO<sub>2</sub></b>	strupen	2,84		oster	kiselkast		2 ppm ali 0,0002 %	Draži sluznico zlasti pljuča in oči. Povzroča obolenja pljuč. Pri 0,1 % nastopi smrt v trenutku.
DIMETILSULFID <b>(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>S</b>	gorljiv in eksploziven , strupen	2,58		oster		2,2 - 19,7 %	70 ppm ali 0,007 %	Pri višjih koncentracijah draži oči, nos in grlo. Pri nižjih koncentracijah se pojavlja glavobol, vrtoglavica, omotičnost, dušenje in tesnoba.
VODIK <b>H</b> (lažji od zraka)	zadušljiv, eksploziven	0,089				4,1 - 74,2 % (28,6 %)	0,4 %	S kisikom tvori pokalni plin.



### **Ponavljanje in obnovitev znanja**

1. Navedi kemijski sestav atmosferskega zraka!
2. Opiši razliko med svežim in izrabljenim jamskim zrakom!
3. Kakšen je eksplozivni jamski zrak?
4. Kakšen je zadušljivi jamski zrak?
5. Naštej stalne pline v jamskem zraku!
6. Opiši lastnosti kisika?
7. Kakšen je strupeni jamski zrak?
8. Naštej pline, ki se občasno pojavljajo v jamskem zraku?
9. Opiši lastnosti dušika!
10. Opiši lastnosti in vpliv ogljikovega dioksida na človeški organizem ter kako nastaja!
11. Kolikšna je maksimalna dovoljena koncentracija ogljikovega monoksida v jamskem zraku?
12. Navedi oblike pojavljanja ogljikovega dioksida v jami!
13. Kakšni so preventivni ukrepi za preprečevanje nevarnosti zaradi metana?



### **Medpredmetno povezovanje**

**Kemija:** kemična sestava jamskega zraka, lastnosti plinov

**Fizika:** fizikalne lastnosti jamskega zraka

**Varstvo pri delu:** ukrepi proti škodljivosti jamskih plinov, merjenje koncentracij

**Ekologija:** vpliv jamskega ozračja pri izpustu skozi ventilatorsko postajo v okolje



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.

Müller, L. *Tunnelbau: Dritter Band*. Stuttgart, Salzburg: Ferdinand Enke Verlag, Der Felsbau, 1978.