



Jamski zrak

Jamski zrak

- ◆ Jamski zrak - treba omogućiti sigurnu radnu djelatnost
 - ◆ sastav
 - ◆ svojstva – kakvoća \Rightarrow temperatura, vlažnost, brzina zračne struje, pritisak
- ◆ Sastav jamskog zraka ovisi o:
 - ◆ sastavu zraka koji se dovodi u jamu
 - ◆ od jamskih utjecaja (inputa)

Sastav atmosferskog zraka

- ◆ Zrak je smjesa plinova sadržaja:
 - ◆ kisika O_2 - 20,93 % vol. dijelova
 - ◆ dušika N_2 - 78,10 %
 - ◆ plemeniti plinovi (argon, kripton, neon, ksenon) – 0,93 %
 - ◆ uglj. kiseline – 0,03-0,04 %
 - ◆ u zraku se još nalazi:
 - ◆ vodena para,
 - ◆ kozmička i zemaljska prašina,
 - ◆ druge pare i plinovi koji su pretežno lokalnog karaktera i zanemarivo malih količina.

Sastav atmosferskog zraka

- ◆ Na Zemlji \Rightarrow stalni procesi koji utječu na sastav atmosferskog zraka (prirodni ili umjetni),
- ◆ **stalnost sastava zraka** radi:
 - ◆ **ogromne zalihe** zraka ($5,1 \times 10^{15}$ tona),
 - ◆ ljudi i životinje troše **neznatan** dio kisika u zraku,
 - ◆ izvanredna **pokretljivost** zraka i difuzna **sposobnost** plinova

Utjecajи na jamski zrak

Prolaskom zraka kroz jamu dolazi do:

- ◆ utroška O_2
- ◆ izlučivanja plinova i onečišćavanja jamskog zraka
- ◆ - zaprašivanja zraka
- ◆ povećanja temperature

Procesi koji troše O_2

- ◆ disanje,
 - ◆ rad mehanizacije – motori sa unutrašnjim sagorijevanjem,
 - ◆ oksidacija ili gorenja – razne supstance, pogotovo samozapaljenja ugljena,
 - ◆ upotreba eksploziva
-
- ◆ Također može doći do porasta sadržaja O_2
 - ◆ strojevi pogonjeni komprimiranim zrakom
 - ◆ eksplozivi s pozitivnom bilansom kisika

Izlučivanje plinova i onečišćavanja jamskog zraka

- ◆ Porijeklo plinova:
 - ◆ ljudi,
 - ◆ tehnološki procesi \Rightarrow mehanizacija, miniranje,
 - ◆ plinovi oslobođeni iz stjenskog masiva,
 - ◆ procesi oksidacije \Rightarrow trulenje, hrđanje, požari, eksplozije

Temperatura zraka

- ◆ povećanja temperature stijene sa dubinom
⇒ temperturni gradijent,
- ◆ *temperatura zraka može i padati* ⇒ ljeti atmosferski zrak topliji od stijena (osobito plitke jame) ⇒ nema velikog utjecaja temperturnog gradijenta,

Kondicioniranje zraka

- ◆ zrak se po potrebi može ***zagrijavati ili hladiti,***
- ◆ ***sušenje ili vlaženje zraka***
- ◆ ***ozoniranje*** (pomoću posebnih elektrokemijskih uređaja)
- ◆ ***odoriranje*** (mirisanje).

Sastav jamskog zraka

- ◆ Kisik O_2
- ◆ Dušik N
- ◆ Ugljična kiselina CO_2
- ◆ Ugljični monoksid CO
- ◆ Sumporovodik – H_2S
- ◆ Sumporni dioksid – SO_2
- ◆ Selenovi spojevi
- ◆ Dušikov monoksid NO
- ◆ Jamski plin (metan)

Kisik O_2

- ◆ mol. masa 32,00
- ◆ u atmosferskom zraku cca. 21 % vol. i 23 % maseni
- ◆ *lako se spaja sa ostalim elementima*
- ◆ obzirom na **brzinu reakcije** razlikujemo:
 - ◆ *oksidaciju*, gorenje (prati ga pojava svjetla),
 - ◆ *eksploziju* (prati ga pojava bljeska i praska)
 - ◆ *detonaciju* (veoma velike brzine oksidacije)
- ◆ Spajanje sa ostalim elementima \Rightarrow **egzotermna reakcija**,
- ◆ ***Stvorena toplina*** \Rightarrow ovisi o ***elementima*** koji ulaze i nastaju u reakciji, ne o ***brzini reakcije***.

Količina O₂ potrebna čovjeku

- ◆ Potrošnja O₂ je individualna i ovisi o:
 - ◆ uzrastu,
 - ◆ građi
 - ◆ naprezanju (fizičkom i psihičkom)
 - ◆ u mirovanju min. 0,25 l/min. O₂
 - ◆ u kretanju min. 1-4 l/min O₂

Prosječno u smjeni je potrebno 1-1,25 l/min O₂

Parcijalni pritisak

- ◆ *Disanje najlakše kod parcijalnog pritiska O₂ u zraku cca. 21000 Pa (159 mm Hg), vol. 21 % (normalni pritisak).*
- ◆ Disanje moguće i pri nižem pritisku (prilagodba ljudskog organizma) od cca. 9000 Pa \Rightarrow sadržaj O₂ od 9 % vol.
- ◆ U dubljim jamama pritisak zraka raste \Rightarrow disanje moguće i pri nižem postotnom sadržaju O₂ u zraku.
- ◆ 7 % O₂ \Rightarrow ***donja granica*** \Rightarrow nastupa gubitak svijesti ili smrt u vrlo kratkom periodu.

Indiciranje O₂

- ◆ Indiciranje benzinskom lampom:

- 19 % O₂ - svjetlo se smanjuje na 1/3

- 17 % O₂ - lampa se gasi

- 16 % O₂ - plamen karbidne lampe je slab i drhti

- oko 12 % O₂ (11-13%) – gasi se karbidna lampa

Lampe - gase se prije gubitka svijesti \Rightarrow upozoravaju na opasnost.

Dušik

- ◆ Atomski (redni) broj 7
- ◆ Relativna atomska masa 14,00,
- ◆ 79% vol. / 77% mas.,
- ◆ neutralni plin za gorenje i disanje,
- ◆ sadržaj u zraku mu se povećava utroškom O₂
- ◆ u manjoj mjeri nastaje raspadanjem org. spojeva u jami,
- ◆ iz eksploziva (1 kg dinamita – 135 lit. N₂).

Ugljični dioksid CO_2

◆ stvara se uslijed:

- ◆ disanja ljudi,
- ◆ gojenja lampi,
- ◆ miniranja,
- ◆ rad motora sa unutarnjim sagorjevanjem
- ◆ raspadanja organskih spojeva – naročito drveta,
- ◆ oksidacija ugljena
- ◆ požari i eksplozije

◆ Pritok iz jame:

- ◆ isticanje iz malih, nevidljivih pora i pukotina
- ◆ plinski puhači – dugotrajno istjecanje iz pukotina
otvorenih jamskim radovima

Ugljični dioksid CO_2

- ◆ 1-2 % nije štetno
- ◆ Iznad 10 % gubi se svijest
- ◆ 25 % - smrt
- ◆ 3 % - plamen slab i drhti
- ◆ 5-6 % - benzinska lampa se gasi

Ugljični dioksid CO_2

- ◆ Teži od zraka, slabo se miješa sa zrakom, skuplja se u donjim dijelovima prostorija \Rightarrow potrebna velika brzina vjetrene struja za sprečavanje koncentriranja CO_2 .
- ◆ Često se skuplja i pojavljuje u donjim dijelovima starih radova (budući izlazi kroz pukotine u ugljenu i stijenama).
- ◆ Propisi – sadržaj CO_2 vol. ne smije biti veći od 0,5%
- ◆ Koeficijent respiracije jame (prosječno 0,5)=
$$\frac{\text{Količina } \text{CO}_2 \text{ izdvojenog u jami}}{\text{količina apsorbiranog } \text{O}_2}$$

Ugljični monoksid CO

- ◆ Bez boje, mirisa i okusa ⇒ goriv i eksplozivan
- ◆ Granica eksplozivnosti 13 – 75 % vol.,
 - ◆ najeksplozivniji kod 30 % vol. (ukoliko je O₂ 21 %).
 - ◆ temperatura paljenja eksplozivne smjese 630– 810 °C.
- ◆ Vrlo otrovan ⇒ 300 puta veći afinitet prema hemoglobinu (crvena krvna zrnca) od O₂.
- ◆ Čovjek može apsorbirati do **300 cm³ CO**.
- ◆ Jačina trovanja ovisi o:
 - ◆ koncentracije CO u zraku,
 - ◆ duljine boravka u zatrovanoj prostoriji,
 - ◆ udahnutoj količini zraka i
 - ◆ brzini cirkulacije krvi.

Ugljični monoksid CO

- ◆ Vrijeme sigurnog boravka u prostoriji sa CO ⇒ utvrđuje se empirijski prema obrascu **Henderson – Haggarda** (za sadržaje CO ispod 0,4-0,5 %).

$T = 3/\%$ CO, minuta
sadržaj CO u stotinkama postotka

- ◆ Neškodljiv kod sadržaja ispod 0,002 %.

Nastajanje CO

- ◆ nepotpunim sagorjevanjem C



- ◆ *redukcijom* CO_2 prelaskom plina preko tijela zagrijanih $> 300^\circ C$.

Ugljični monoksid CO

◆ Izvori u jami:

- ◆ Glavni – jamski požari i eksplozije
- ◆ *pri eksploziji metana* uglavnom se *ne stvara*, osim ukoliko ima ugljene prašine (u rudnicima ugljena),
- ◆ *miniranje i motori SUS* (odnosno CO i CO₂ kod ispravnog motora 28:72, a kod neispravnog 73:27).
- ◆ *iz ugljena* ⇒ neki pored CH₄, CO₂, N₂ sadrže i CO.

Indiciranje CO

- ◆ **kolorimetrične metode** ⇒ na licu mesta
pomoću kemijskih reagensa ⇒ brzina promjene boje
reagensa upučuje na % sadržaj CO.
- ◆ **laboratorijski** ⇒ kemijska i spektroskopska analiza.

Sumporovodik – H₂S

- ◆ Bezbojni, sladunjavi plin, mirisa pokvarenih jaja.
- ◆ Eksplozivan u području 4,3 – 46 %.
- ◆ Nadražuje očnu rožnjaču i dišne puteve.
- ◆ Kroz krv utječe na živčani sistem \Rightarrow paraliza centra za disanje
- ◆ smrtonosan u postocima 1 – 1,5 % vol.
- ◆ Nastaje : -
 - ◆ trulenjem org. spojeva (drveta)
 - ◆ raspadanjem pirita, gipsa itd.



- ◆ izlazi iz pukotina u stijeni i podzemnih voda
- ◆ miniranjem s barutom i štapinom
- ◆ jamski požari

Nastajanje (izvor) sumporovodika

- ◆ truljenjem org. spojeva (drveta)
- ◆ raspadanjem prita, gipsa itd.



- ◆ iz pukotina u stijeni i podzemnih voda
- ◆ miniranjem s barutom i štapinom
- ◆ jamski požari

Sumporni dioksid – SO_2

- ◆ bezbojan, oštra mirisa i okusa, nadražuje sluzokožu i oči
- ◆ kod 0,5 % opasan za život i kod kratkotrajnog djelovanja
- ◆ ne gori niti podržava gorenje.
- ◆ pojavljuje se rijetko u jamama
- ◆ stvara se :
 - ◆ u požarima (opasne conc. u rudnicima sulfida prilikom požara i eksplozije prašine)
 - ◆ miniranje
 - ◆ eksplozivom koji sadrži S i
 - ◆ u sulfidnim stijenama

Selenovi spojevi

- ◆ sam selen nije otrovan, već njegovi spojevi

Dušikov monoksid NO

- ◆ miniranja ⇒ eksploziv koji sadrži nitroglycerin,
- ◆ motori SUS
- ◆ smrtonosan kod konc. 0,02 – 0,08 % vol.

Kontrola NO

◆ Sprečavanje

- ◆ upotreba amon. – nitr. eksploziva sa manje od 0,5 % vlage i
- ◆ miniranje bez štapina.

◆ Preporuka

- ◆ *patrona vapna u minskoj bušotini* neutralizira NO (skraćuje se vrijeme vjetrenja na trećinu).
- ◆ *prskanje vodom ili rastvorom sode* ⇒ *vлага* upija dušikove okside

Jamski (zemni) plin

- ◆ Bezbojan, bez mirisa i okusa
- ◆ Metan učestvuje u jamskom plinu i sa 99,9 %.
- ◆ Ostali sastojci :
 - ◆ uglj. dioksid (< od 5 %)
 - ◆ ostali ugljikovodici \Rightarrow etan 1 – 4 %, etilen
 - ◆ dušik (par % nekad i 20 – 30 % \rightarrow)
 - ◆ vodik, helij, argon

Jamski plin

- ◆ *slabo se miješa sa zrakom,*
- ◆ *lakši od zraka* (masa ~0,68 kg), skuplja se u stropu prostorija,
- ◆ *opasni prostori* i zvona u stropu prostorije,
- ◆ *zabranjena* izrada prostorija ***odozdo prema gore*** (uskopno) ⇒ metan se nakuplja u stropu.
- ◆ prostorije u metanskim jamama izrađuju se ***odozgo prema dolje***

Pojavljivanje metana

- ◆ Najčešće u *rudnicima ugljena*, ali i u drugim rudnicima,
- ◆ Izdvajanje metana
 - ◆ iz stijene i ugljena,
 - ◆ iz otkopanog ugljena pa i
 - ◆ iz ugljena zaostalog u starom radu.
- ◆ Stari radovi potencijalni akumulatori ⇒ plin dolazi iz poroznog stropa i ugljena u zaštitnim stupovima,
- ◆ Barometarski pritisak i depresija ventilatora ⇒ utječu na količinu plina koji izlazi iz starih radova i stijena

Načini izdvajanja jamskog plina

- ◆ redovno (normalno) izlaženje plina,
- ◆ izdvajanja većih količina plina kroz duže vrijeme,
- ◆ nagla izlaženja plina

Normalno izdvajanje jamskog plina

- ◆ najveće količine pri *pripremnim radovima*, na otkopima 4-5 puta manje,
- ◆ veći napredak veće zaplinjavanje,
- ◆ **pritisak plina** mjeri se manometrom u bušotini.
- ◆ **pritisak** utječe na granulaciju ugljena (sitni se) →
- ◆ prevencija ⇒ **otplinjavanje bušotinama**.

Izdvajanja većih količina plina kroz duže vrijeme

- ◆ nekoliko dana do desetak godina
- ◆ *iz pukotina i šupljina* (najčešće u tektonski poremećenim zonama).
- ◆ **kapacitet i do desetke tisuća m³ dnevno** ⇒
- ◆ *odvođenje plina* izoliranim putem ili cijevima u istrošenu zračnu struju.

Nagla izlaženja jamskog plina

- ◆ nekoliko 10 – 100 000 m³
- ◆ izbacuju i povlače za sobom desetine tisuća tona ugljene prašine,
- ◆ praćena *potresima* i jakim *gorskim udarima*

Izvori jamskog plina

- ◆ stvara se i u požarima
- ◆ kao produkt suhe destilacije ugljena,
- ◆ polijevanjem užarenog ugljena vodom
- ◆ prilikom raspadanja organskih tijela,
- ◆ slučajevi dopremanja na radilište zrakovodom nastao raspadanjem kompresorskog ulja.

Jamski plin- značajke

- ◆ Načelno \Rightarrow povećanje dubine \Rightarrow veća količina
- ◆ prisutnost varira od sloja do sloja \Rightarrow čak i u istom sloju može doći do odstupanja u sadržaju CH_4 .
- ◆ Neutralan za disanje \Rightarrow štetan indirektno, povećanjem udjela vol. CH_4 u zraku smanjuje se vol. udio O_2 .
- ◆ *Eksplozivan* u području 5 – 16 %
- ◆ *Najeksplozivniji* kod 9,5 %
- ◆ *Temp. paljenja* 650 – 750 °C.
- ◆ *Najzapaljiviji* kod 8,0 %.

Emisija metana

- ◆ iz vjetrene struje jame
- ◆ isplinjavanjem ugljenih slojeva
- ◆ iz rovnog ugljena nakon jamskog otkopavanja
- ◆ iz površinski dobivenog ugljena

Emisija metana

- ◆ *Ukupna svjetska emisija* \Rightarrow 425-675 mil. tona godišnje,
- ◆ *Industrija ugljena* sudjeluje u tome sa 4 do 6 %,
- ◆ 95 % emisije iz *podzemnih rudnika* iako jame daju samo 54 % svjetske proizvodnje,
- ◆ Relativno *mala emisija* iz *površinske eksploatacije* \Rightarrow
 - ◆ *male dubine ležišta* i
 - ◆ *ugljeni slabije kakvoće* (ligniti, mrki) manjeg sadržaja metana.

Emisija metana

- ◆ *Ukupna svjetska emisija metana pri rudarenju, preradi, transportu i skladištenju ugljena ~ 25 mil. tona/godišnje.*
- ◆ ~ milion tona koristi se u industriji, ostalo se ispušta u atmosferu.

Stupanj emisije metana

- ◆ Općenito, *viši rang i veća dubina* daju više plina
- ◆ sadržaj metana 0-25 m³/toni (ogrjevna vrijednost > 33,5 MJ/m³).
- ◆ Kvaliteta varira sa ležištem, općenito 90-95 % je metan i ostali ugljikovodici, ostalo inertni plinovi (dušik, CO₂, argon) i drugi manje značajni (helij, vodik).
- ◆ **Količina metana** stvorena u procesu ugljenizacije (najveća u antracitima ⇒ približno 765 m³/toni,
- ◆ **sposobnost zadržavanja** metana (*adsorpcijski kapacitet*) ⇒ ovisi o *rangu ugljena i okolnim uvjetima*: dubini, neposrednoj podini i krovini, geološkim anomalijama, tektonici i temperaturi tijekom procesa ugljenizacije.

Specifična emisija metana

- ◆ korelacija **specifične emisije metana** q_e m³ po toni proizvedenog ugljena i dubine otkopavanja h_o :

$$q_e = 4,1 + 0,023 * h_o$$

specifična emisija metana \Rightarrow 10,8-26,0 m³/toni
(1m³ metana \approx 0,68 kg).

Specifična emisija metana

- ◆ **rovni ugljen** $0,3\text{-}3,5 \text{ m}^3/\text{toni}$
 - ◆ Oko 40% ostaje u ugljenu do potrošnje ili usitnjavanja u fine čestice a 60% se oslobađa.
- ◆ **površinski dobiveni** ugljeni $0\text{-}1,5 \text{ m}^3/\text{toni}$ (pretežno kameni, mrki ili lignitsko smeđi).
- ◆ **10 najvećih proizvođača ugljena** (SAD, Velika Britanija, bivši SSSR, Australija, Kina, Njemačka, Poljska, Češka, Indija i J. Afrika) daju 90% svjetske proizvodnje (1990.)
- ◆ **Apsolutno i relativno veća emisija -Kina i bivši SSSR**
 - ◆ U Kini su u eksploataciji pretežno podzemni rudnici (92%).
 - ◆ SSSR-u eksploatacija na većim dubinama - prosječno 600 m (300 m u ostalim proizvođačima ugljena).

Korištenje metana iz ugljena

- ◆ **Tehnologija pridobivanja metana** znatno se razlikuje (zbog sadržaja i propusnosti),
- ◆ **Sigurnost i učinkovitost rudarenja** zahtjeva potpuno i djelotvorno uklanjanje metana,
- ◆ **Vjetrenje** ⇒ najstarija i najčešća metoda, 5-30 tona zraka po toni otkopanog ugljena razblažuje metan,
- ◆ **Idealni uvjeti** ⇒ duboki zaplinjeni slojevi ⇒ malim zahvatima iskoristivost 60-70%,
- ◆ **manje povoljni uvjeti** ⇒ srednje duboki slojevi manje zaplinjeni, iskoristivost 30 do 40%,
- ◆ **plitki slojevi** ⇒ slab potencijal za komercijalno korištenje metana.
- ◆ ~ 70% metana potječe iz pratećih naslaga.

Otplinjavanje ugljenog sloja

- ◆ Ukoliko se tijekom izrade prostorija pripreme ustanovi visok stupanj emisije metana sloj se isplinjava:
 - ◆ *hidraulički stimuliranim vertikalnim bunarima ili dugačkim horizontalnim bušotinama* ispred rudarskih radova.

Otplinjavanje ugljenog sloja

- ◆ duboki i jako zaplinjeni slojevi \Rightarrow **ventilacija nemože** razblažiti metan na sigurnu razinu,
- ◆ **metode za otpolinjavajućeg ugljenog sloja**
 - ◆ prije početka eksploatacije,
 - ◆ tijekom eksploatacije.
- ◆ **troškovi otpolinjavanja** \Rightarrow minimiziranje **optimizacijom** omjera metana uklonjenog otpolinjavanjem i ventilacijom.
- ◆ **kontrola metana otpolinjavanjem** \Rightarrow uklanjanje metana vertikalnim i/ili horizontalnim bušotinama \Rightarrow može se ukloniti 60-70%,
- ◆ **vjetrenje uvijek potrebno** \Rightarrow otpolinjavanje znatno smanjuje potrebe za zrakom.

Hidraulički stimulirani vertikalni bunari

- ◆ **Bunari** prethode otkopavanju, kasnije služe za otpolinjavanje starog rada.
- ◆ **Vertikalne bušotine** ⇒ rijetko daju veće količine plina bez *stimulacije*,
- ◆ **Stimulacija hidrauličkim frakturiranjem** ⇒ slična stimulaciji klasičnih plinskih bušotina,
- ◆ Primjena često neuspješna ⇒ **pritisak frakturiranja** može preći čvrstoću krovine i podine otvarajući pukotine što narušava cjelovitost ležišta,
- ◆ **Suvremena praksa hidrauličkog stimuliranja** ⇒ minimizira štete u krovini uz intenzivno frakturiranje.

Horizontalno usmjerenе bušotine

- ◆ **Horizontalne bušotine** ⇒ izrađuju se prije otkopavanja iz postojećih jamskih prostorija,
- ◆ Duljine 300-900 m, u početku daju visoku proizvodnost,
- ◆ Približavanjem rudarskih radova proizvodnja se drastično smanjuje.
- ◆ Pittsburgh sloj (istočni dio SAD) ⇒ proizvodnja jedne bušotine 3-5 mil. m³ za period od jedne do dvije godine.
- ◆ tehnika manje pogodna za stalnu proizvodnju i dugotrajne projekte.
- ◆ često je najučinkovitija i najjeftinija za kontrolu metana na radilištima provodljivog ugljenog sloja.

Ekonomika korištenja metana iz ugljenog sloja

- ◆ *Dobivanje metana otpolinjavanjem* ⇒ temeljena na proračunu troškova drugih metoda kontrole metana,
- ◆ *Ekonomika dobivanja metana* ⇒ minimiziranje troškova za održavanje sigurnih uvjeta rada,
- ◆ *Financijska analiza opravdanosti korištenja metana iz ugljenog sloja obuhvaća:*
 - ◆ analizu količine i kakvoće plina,
 - ◆ troškove sabiranja i obrade plina,
 - ◆ troškove fizičkog pristupa tržištu.
- ◆ Projekt zahtjeva rudarsku aktivnost koja daje velike količine visokokvalitetnog plina - otpolinjavanje nužno za siguran rad rudnika
- ◆ *troškovi proizvodnje ugljena* ⇒ smanjuju se korištenjem metana iz otpolinjavanja,