

tereta). Računa se s koeficijentom trenja  $\mu = 0,25$ , iako je stvarna vrijednost toga koeficijenta veća (0,45), i s kutom obuhvata  $\alpha = \pi \dots 1,3\pi$ . Često se ne može postići traženi sigurnosni faktor, pa treba smanjiti razliku sila  $F_p$  i  $F_s$ , što se postiže uravnoteženjem izvoznog sustava i smanjenjem usporjenja gibanja izvozne posude.

Najviše Koepeovih izvoznica ima u njemačkim rudnicima, dok su drugdje gotovo nepoznate, a u nas postoje u samo nekoliko rudnika. Sve se više upotrebljavaju u rudnicima velike dubine i velikog proizvodnog kapaciteta. Koepeovu izvoznicu imaju sva dizala u zgradama.

**Sigurnosne mjere i propisi.** Okno s izvoznicom vrata u podzemnog rudnika prema površini i za svu iskopanu rudu i za zaposlene radnike. Besprijeckorno i pouzdano funkcioniranje izvoznice ima dakle prvorazredno ekonomsko i sigurnosno značenje. Propisima se utvrđuju uvjeti i mjere pri projektiranju, montaži i eksploataciji izvoznog postrojenja u cjelini, ali i svih njegovih komponenata. Tri su osnovne opasnosti: pad izvozne posude, pretjerivanje (preveliko podizanje ili spuštavanje) posuda i pad predmeta u okno.



Sl. 81. Okno s odjelom za prolaz ljudi

Izvozna će posuda pasti ako se prekine uža ili se posuda otkine od užeta. Prekid se užeta sprečava velikom rezervom sigurnosti užeta (koeficijent sigurnosti  $5 \dots 9,5$ ), stalnom kontrolom užeta od rudničkog osoblja i periodičnim ispitivanjem od specijalizirane i ovlaštene ustanove, te ograničenim vijekom upotrebe užeta ( $2 \dots 3$  godine). Otkidanje posude od užeta sprečava se većim faktorom sigurnosti (faktor sigurnosti 10) svih mehaničkih elemenata zavjesa, ograničenim vijekom upotrebe (10 godina), stalnom kontrolom i, prije svega, konstrukcijom koja isključuje mogućnost otkaćivanja posude.

Pretjerivanje je posuda veoma opasno. Posuda koja se spušta može se zabit u dno okna. Tada ljudima u posudi prijeti, osim mehaničkih ozljeda, i utapanje u vodi koja se obično tamo skuplja. Ako se posuda koja se diže ne zaustavi, udarit će u užetne koture ili u izvozni stroj u tornju, polomit će ih, otkinut će se od užeta i pasti u okno.

Protiv pretjerivanja propisano je sljedeće: a) aktiviranje sigurnosne kočnice kad se prekorači brzina prema zadanom režimu, odnosno ako se izvozna posuda ne zaustavi na krajnjoj točki svog puta; b) prisilno zaustavljanje posude u tornju i na dnu okna pomoću zadržavanja vodilica; c) hvatanje posude, koja je u tornju probila sve te barijere, udarila o odbojne grede i otkinula se od užeta, prije njezina slobodnog pada u okno.

Pad predmeta u okno manje je opasan, odnosno ne predstavlja kolektivnu opasnost. To mogu biti pojedinačni predmeti i ljudi, ali i čitavi vagoni. U starijim, neautomatiziranim izvoznicama to se češće događalo. Da bi se to spriječilo, zatvaraju se i oblažu kanali okna i svi otvori, a na navozištu i odvozištu upotrebljava se posebna mehanizacija i uređaji za punjenje i pražnjenje koševa. Skipovi su sigurniji jer je taj proces automatiziran.

Okno mora u jednom dijelu svog presjeka imati i odjel za prolaz ljudi (sl. 81) u kojem su strmo položene ljestve između odmorista. To omogućuje vezu jame s površinom i kad izvoznica ne radi, ali i pristup elementima izvoznice, za popravke i kontrolu.

LIT.: V. I. Kiselj, Rudarske mašine. Izd. preduzeće Ministarstva rudarstva FNRJ, Beograd 1950. – I. Arar, Transportna sredstva u rudarstvu. Tehnička knjiga, Zagreb 1962. – M. Simonović, Sredstva željezničkog i automobilskeg transporta na površinskim otkopima. Građevinska knjiga, Beograd 1972. – M. Antunović Kobliska, Opšti rudarski radovi. Građevinska knjiga, Beograd 1973. – R. Borović, Transportne trake. Savremena administracija, Beograd 1979. – H. K. Church, Excavation Handbook. McGraw-Hill, New York 1981. – H. Arnold, Schachtfördertechnik. Verlag Glückauf, Essen 1981. – B. Stack, Handbook of Mining and Tunnelling Machinery. John Wiley and Sons, New York 1982. – M. Simonović, Mašine za kopanje i transport otkopanog materijala i postrojenja za dubinsko bušenje na površinskim otkopima. Rudarsko-geološki fakultet, Beograd 1982. – R. H. Wöhlbier (Ed.), Bulk Handling in Open Pit Mines and Quarries. Trans Tech. Publications, Clausthal-Zellerfeld 1986. – R. H. Wöhlbier (Ed.), Conveyor Belt Technology. Trans Tech. Publications, Clausthal-Zellerfeld 1987.

B. Morović

**RUDARSTVO, VJETRENJE RUDNIKA**, održavanje atmosfere u rudnicima pogodna za težak fizički rad razrjeđivanjem zagušljivih, otrovnih i eksplozivnih plinova i prašine njihovim odvođenjem na površinu i dovodenjem svježega, atmosferskog zraka.

#### JAMSKA ATMOSFERA

U rudničkim podzemnim prostorijama vlada posebna, *jamska atmosfera*. Nastaje tako što atmosferski zrak koji se u te prostorije dovodi da bi se omogućio boravak i rad ljudi i strojeva, mijenja svoj sastav djelovanjem mnogobrojnih i raznovrsnih procesa, a oni ovise, u prvom redu, o mineralnoj sirovini koja se otkopava. Može se kazati da jamska atmosfera u ugljenokopima ovisi o plinovima, a u rudnicima metala o prašini. Miniranje i mehanizacija (npr. rad motora s unutrašnjim izgaranjem) te neki oksidacijski procesi i disanje radnika djeluju na atmosferu i u ugljenokopima i u rudnicima metala.

#### Jamski zrak u ugljenokopima

Jamski zrak u ugljenokopima ima karakterističan miris po vlazi. Kad mu je sastav približan atmosferskom, on je *svjež* ili *dobar*; on je *istrošen*, *težak* ili *zagušljiv* kad sadrži manje kisika i plinove nepovoljne za disanje ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ); zrak je *loš*, *slab* ili *zatrovan* kad sadrži otrovne plinove ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ); zrak postaje *eksplozivan* kad sadrži gorive plinove ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ , viši ugljikovodici); na kraju smjesa zraka i metana,  $\text{CH}_4$ , tvori eksplozivni *praskavi plin* (v. *Eksplozije u rudnicima*, TE 3, str. 520). Prilikom strujanja kroz jamske prostorije zrak mijenja svoj sastav smanjivanjem udjela kisika

i povećanjem udjela ugljik-dioksida, drugih plinova i prašine. Osim toga, mijenjaju mu se i neka fizikalna svojstva, kao vlažnost, temperatura, gustoća i tlak.

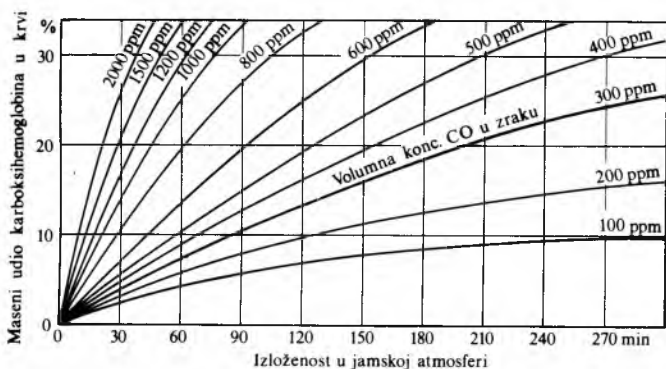
Djelovanje je plinova u zraku na čovjeka različito i ovisi o koncentraciji tih plinova (tabl. 1 i 2; sl. 1).

Tablica 1  
VOLUMNE KONCENTRACIJE ŠTETNIH PLINOVA U ZRAKU I NJIHOV UTJECAJ NA ČOVJEKA

Plin u jamskom zraku	Koncentracije koje uzrokuju simptome poslije nekoliko sati udisanja ‰	Koncentracije koje se mogu udisati do 1 sat bez ozbiljnijih posljedica ‰	Koncentracije koje je opasno udisati više od pola sata ‰	Koncentracije koje je opasno udisati nekoliko minuta ‰
Ugljik(IV)-oksid, CO <sub>2</sub>	20...50	60...70	70...90	145...180
Ugljik(II)-oksid, CO	0,1...0,2	0,5...0,6	0,6...2,3	5,0
Dušični oksidi	0,07...0,2	0,2...0,4	0,2...1,0	3,5
Sumporovodik, H <sub>2</sub> S	0,01...0,2	0,25...0,4	0,5...1,0	1,2...4,2
Sumpor(IV)-oksid, SO <sub>2</sub>	0,025	0,06...0,26	1,0...1,25	-

Tablica 2  
MAKSIMALNO DOPUŠTENE KONCENTRACIJE PLINOVA PRI MINIRANJU

Otrovni plin	Formula	Masena koncentracija mg/m <sup>3</sup>	Volumna koncentracija ppm
Ugljik(II)-oksid	CO	58	50
Dušik(II)-oksid	NO	30	25
Dušik(IV)-oksid	NO <sub>2</sub>	9	5
Sumporovodik	H <sub>2</sub> S	10	7
Sumpor(IV)-oksid	SO <sub>2</sub>	10	4
Olovne pare	Pb	0,15	-
Živine pare	Hg	0,10	-

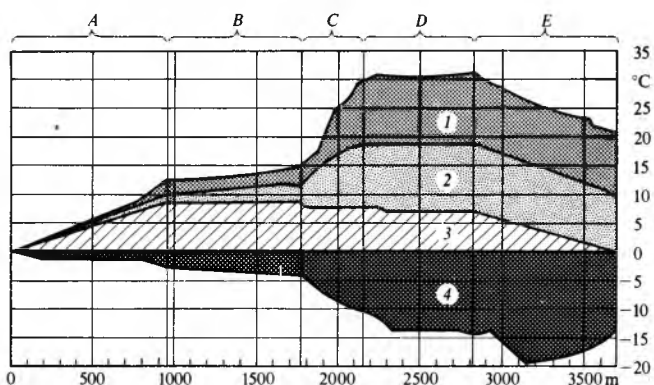


Sl. 1. Ovisnost masenog udjela karboksihemoglobina u krvi o volumnoj koncentraciji CO u zraku i trajanju boravka u toj atmosferi uz laki rad

Dobar se zrak u ugljenokopima osigurava dovođenjem svježeg zraka s površine. Postoje propisi koji određuju koje su količine svježeg zraka potrebne ovisno o plinonositosti ugljenih slojeva i drugim okolnostima, npr. o potrebi hlađenja jamskih prostorija. U ruskim rudnicima kamenog ugljena u SR Njemačkoj prosječna količina dovođenja svježeg zraka iznosi po čovjeku 12 m<sup>3</sup>/min, iako je propisana količina 6 m<sup>3</sup>/min. U ugljenokopima bez metana (*nemetanskim jamama*) minimalna količina svježeg zraka može biti po čovjeku i 3 m<sup>3</sup>/min. Količina se ne smije pretjerano povećati zbog opasnosti od uzvitlavanja prašine.

Osim količine zraka, na radnu klimu u jami utječe i njegova temperatura, sadržaj vlage u njemu te brzina njegova strujanja. Na sl. 2, na primjeru rudnika kamenog ugljena na dubini od 850 m, prikazani su utjecaji o kojima ovisi temperatura zraka uzduž puta od 3700 m od ulaznoga zračnog okna. U dubokim jamama povisuje se temperatura zračne struje zbog kompresije zračnog stupca i rada rudarskih

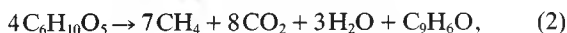
strojeva za 1 °C na 100 m, a snižuje se isparivanjem vode za 1,9 °C po 1 g vodene pare u 1 m<sup>3</sup> zraka.



Sl. 2. Glavni utjecaji na promjenu temperature zraka koji prolazi jamskim prostorijama na dubini od 850 m. A ulazno okno, B prečnik, C otkop, D vjetrovi horizont na 850 m, E izlazno okno; 1 oksidacijska toplota, 2 toplota stijenskog masiva, 3 toplota od zgušnjavanja zraka, 4 hlađenje pritokom vode

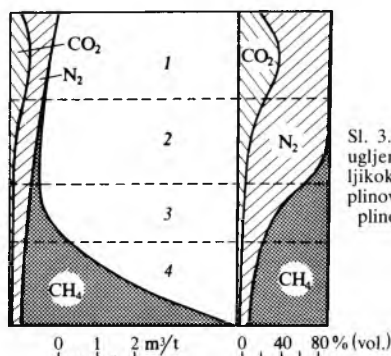
Tjelesna temperatura rudara povisuje se u vrućim jamama i do 38 °C bez štete za zdravlje. Ako zrak nije zasićen vlagom, zdravo tijelo može izlučiti 1 do 2 litre znoja na sat uz kasniju nadoknadu izgubljene tekućine. Bolji radni uvjeti na vrućem radilištu mogu se postići povećanjem brzine strujanja zraka uz tijelo od 0,1 do 2,5 m/s. Snižavanje temperature na takvim radilištima postiže se također povećanjem količine svježeg zraka te, u ekstremnim slučajevima, kao u veoma dubokim rudnicima zlata u Indiji i Južnoafričkoj Republici (v. *Rudarstvo, Otvaranje rudnika*), i primjenom posebnih strojeva za hlađenje zraka.

Plinonositost ugljenih ležišta ovisi o njihovoj geološkoj starosti. Najmlađi ugljeni sadrže najviše plinovitih sastojaka, a antracit najmanje. Tako, u prosjeku, treset sadrži 70, lignit 60, mrki ugljen 50, kameni 25 (ali i do 50) i antracit 6% plinova. Plinonositost je direktna posljedica nastanka ugljena. Raspadanjem odumrlog bilja bez pristupa zraka nastaje proces pougljenjivanja, tj. obogaćivanja ugljikom sve do gotovo čistog ugljika u obliku antracita (98...100% C). Osnovni se sastojak bilja, celuloza C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>, uglavnom raspada na metan i ugljik-dioksid prema reakcijama:



gdje je C<sub>9</sub>H<sub>6</sub>O čvrsti ostatak, tj. ugljen. Daljim smanjivanjem dotoka kisika razvijaju se anaerobni procesi s izdvajanjem ugljikovodika, (i metana), te sumporovodika. Ako nastali plinovi migriraju na površinu, ležište neće biti zaplinjeno, a ako se raspadnuto bilje prekrije nepropusnim slojem, ležište će biti zaplinjeno. Pod debljim nanosima nad ugljenim slojevima i s povećanom temperaturom prestaje djelovanje mikroorganizama i stvaranje plinova, pa se u tim slojevima zadržava samo CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, a ponekad i H<sub>2</sub>S.

Raspodjela plinova u ležištima pokazuje određenu zonalnost (sl. 3). Pri neravnomjernom zalijeganju slojeva i u



Sl. 3. Obilnost plinova po zonama u ugljenom ležištu. 1 zona nitro-ugljikokiselih plinova, 2 zona nitroznih plinova, 3 zona nitrožno-metanskih plinova, 4 zona metanskih plinova

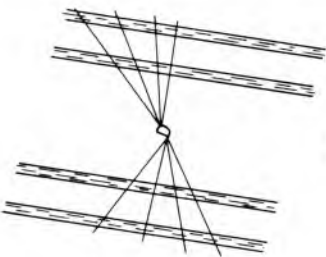
području permafrosta (npr. u ugljenokopima na Spitsbergenu) nema prve zone. Količina metana raste s dubinom.

**Mjere protiv zaplinjavanja jamskih prostorija** u načelu su trojake: opservacijske, preventivne i kurativne. *Opservacijske* se sastoje u *indiciranju*, tj. utvrđivanju štetnih plinova u jamskom zraku. Rudarskim su propisima manje ili više detaljno određeni postupci za periodičko ispitivanje jamske atmosfere na početnu pojavu otrovnih i eksplozivnih plinova. Za neposredno mjerenje plinova na radilištima služe prijenosni indikatori, a za neprekidno mjerenje i upozoravanje postavljani su na strateškim mjestima u jami indikatori koji svjetlosnim i zvučnim signalima upozoravaju već na male koncentracije plinova (npr. 1% CH<sub>4</sub>). Prelazi li plin određenu koncentraciju (npr. 2% CH<sub>4</sub>), monitor isključuje električnu struju sve dok se ne postigne dopušteni sastav zraka. Potpuna i točna analiza sastava i količine plinova u zraku utvrđuje se laboratorijskim analizama uzoraka iz jame.

Treba spomenuti da je Davy-Wolfova benzinska sigurnosna svjetiljka najstariji indikator za metan i nedostatak kisika te za približnu procjenu količine ugljik-dioksida, koji guši otvoreni plamen (v. *Eksplozije u rudnicima*, TE 3, str. 520).

*Indikatori s cjevčicama* primjenjuju se za indiciranje O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, NO, NO<sub>2</sub>. U zatvorene staklene cjevčice umetnuta je granulirana kemikalija. Za mjerenje se odlome krajevi cjevčice i usiše se određena količina zraka gumenom kruškom. Indicirani plin oboji granulat u cjevčici jače ili slabije, pa se usporedbom sa standardnim uzorkom određuje koncentracija sastojaka u ispitivanom plinu.

*Preventivne* mjere protiv štetnih plinova u biti su *otplinjavanje* jamskih prostorija prije ili, rjeđe, za vrijeme otkopavanja. Na sl. 4 prikazan je postupak otplinjavanja usmjerenim lepezastim bušotinama iz kolektorskog hodnika



Sl. 4. Otplinjavanje lepezasto usmjerenim bušotinama iz kolektorskog hodnika

Druga je metoda otplinjavanja izrada posebnih kolektorskih hodnika ili komora u kojima se plinovi skupljaju i zatim odvoje cjevovodima. Mogu se iskoristiti i postojeće jamske prostorije koje se više ne upotrebljavaju.

*Kurativne* se mjere primjenjuju kada se u zraku ustanove sumnjive količine plina, a sastoje se u *pojačanju vjetrenja* ugroženih dijelova jame. Zbog opasnosti od uzvrtavanja prašine postoje granice takvu povećavanju količina svježeg zraka. Stoga ni brzina vjetrene struje ne smije prijeći određene granice. Te su granice utvrđene rudarskim propisima, koji su prilagođeni lokalnim prilikama, ali ne bi smjele prijeći u prosjeku vrijednost od 2 m/s. U metanskim jamama u izlaznoj vjetrenjoj struji smije biti maksimalno 0,5% metana; ima li ga više, jama je ugrožena i ljudi se moraju povući. Količina kisika u izlaznoj vjetrenjoj struji također je indicacija za kvalitetu atmosfere: ako udio kisika iznosi manje od 19...20%, vjetrenje treba pojačati dok se ne postigne udio kisika od 21%.

#### Jamski zrak u rudnicima metala

Jamski zrak u rudnicima metala vjetrenjem se općenito lakše održava u granicama povoljne jamske atmosfere nego u ugljenokopima. Zato su u rudnicima metala glavni zadaci vjetrenja borba sa prašinom i s visokim temperaturama. Ne

računajući plinove od miniranja, ekshalacije plinova iz pratećih stijena veoma su rijetke. Ipak, u nekim se rudnicima pojavljuje ugljik-dioksid, uglavnom kao produkt raspadanja vapnenaca ili općenito karbonata. Kad postoje takve stijene, može se pojaviti i metan, i to ne samo u rudnicima metala nego i u rudnicima soli, sumpora i gline.

Jamska je atmosfera u rudnicima metala najviše opasna zbog prašine, koja može prouzrokovati profesionalne bolesti obuhvaćene zajedničkim nazivom *pneumokonioze*. Po definiciji 3. međunarodne konferencije o pneumokoniozama (Sydney, 1950), to je bolest što je uzrokuje udisanje prašine, pri čemu se pod prašinom razumijevaju sve čvrste čestice osim živih organizama. Prema vrsti prašine razlikuju se, kao profesionalne bolesti, *silikoza*, prouzrokovana udisanjem kremene prašine, *azbestoza* (od azbesta), *antrakoza* (od ugljena), *sideroza* (od željezo-oksida) itd. Sve su to, a i mnoge druge pneumokonioze, tipične bolesti rudara, i to već od davnina. Treba spomenuti i *merkurijalizam*, trovanje živom, također specifičnu rudarsku profesionalnu bolest, o kojoj je liječnik i botaničar P. Mattioli pisao još 1554, i to u vezi s rudnikom žive u Idriji.

Silikoza je najpoznatija pneumokonioza, jer je i najraširenija. U nekim rudnicima od nje boluje i 25% radnika. Broj rudara koji odlaze u invalidsku i prijevremenu mirovinu iznosi 50%, a ponegdje čak i 70% od ukupnog broja zaposlenih, s prosječnom starošću od ~40 godina u trenutku umirovljenja, s tim da u takvim pogonima gotovo i nema rudara koji dočekaju normalnu starosnu mirovinu.

Silikoza nastaje zbog rada u zraku onečišćenu prašinom u kojoj ima slobodnog silicij-dioksida, SiO<sub>2</sub>, tj. kremenca. Štetno djelovanje kremenca ovisi o količini i veličini njegovih čestica u zraku. Što se tiče veličine, smatra se da su opasne sve čestice manje od 5 μm, dok broj maksimalno dopuštenih čestica varira prema udjelu kremenca u prašini. U prašini koja sadrži do 10% kremenca smije biti po američkim propisima i do 1600 čestica u cm<sup>3</sup>, ali svega 170 čestica u prašini sa 80 i više postotaka kremenca. Pritom je važno naglasiti da nema nikakve pravilnosti između udjela SiO<sub>2</sub> u stijeni i u prašini nastaloj drobljenjem te stijene, pa koncentraciju SiO<sub>2</sub> treba mjeriti u visini usta radnika, a ne uzimati njezinu prosječnu vrijednost u jamskoj atmosferi.

Prašina se razvija u prvom redu pri drobljenju, utovaru, pretovaru i transportu. U rudnicima metala sipke su jedan od glavnih izvora prašine (v. *Rudarstvo, Otkopavanje mineralnih sirovina*), koje mogu biti duboke i više desetaka metara. U ugljenokopu glavni dio prašine nastaje u samom sloju prije početka otkopavanja na radilištu, i to trenjem što ga prouzrokuje otkopni tlak u sloju.

Voda je osnovno sredstvo za borbu protiv silikozne prašine u rudnicima metala. Ona se upotrebljava kao isplaka pri bušenju, za vlaženje iskopine prije utovara, za stvaranje magle prije miniranja (prvenstveno u ugljenokopima), za vlaženje zasipa i sl. Podrobnije v. *Eksplozije u rudnicima*, TE 3, str. 520.

Nakon *miniranja* pojavljuju se specifični plinovi, već prema kemijskim i fizikalnim svojstvima eksploziva, uvjetima njihove upotrebe i radnoj okolini. Prema vrsti eksploziva i procesu detonacije, 100 kg eksploziva može razviti približno sljedeće količine plinova: 10...27 m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>, 0,6...4,4 m<sup>3</sup> NO i NO<sub>2</sub>, 1,2...4,0 m<sup>3</sup> CO, 0,03...0,3 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>. Tako se na 1 kg eksploziva amonala izdvaja iz andezita 28,7 L ugljik-monoksida, iz željezne rude 37,9 L, iz olovno-cinčane rude 47,9 L, a iz škrljavca 22,9 L. U tabl. 2 navedene su, prema propisima JUS Z.BO.001/1971, maksimalno dopuštene koncentracije otrovnih plinova nakon miniranja.

Za rad *strojeva s unutrašnjim izgaranjem* vjetrenje mora biti osobito izdašno, pogotovo pri radu snažnih strojeva. Za svaki kilogram dizelskog goriva potrebno je za potpuno izgaranje 15 kg zraka, što daje oko 6,4 m<sup>3</sup> ispušnih plinova. Pri idealnoj mješavini goriva i zraka ispušni plinovi imaju sljedeći volumni sastav: 73% N<sub>2</sub>, 13% CO<sub>2</sub>, 13% vode, 1% aldehida i neznatne količine CO, NO, SO<sub>2</sub> i dr. Volumni udjeli plinova u zraku uz koje se može raditi bez posebnih

zaštitnih sredstava iznose: 0,005% CO, 0,5% CO<sub>2</sub>, 0,0025% NO, 0,0005% NO<sub>2</sub>, 0,0004% SO<sub>2</sub>, 0,0008% formaldehida i 0,00001% akroleina.

**Jamska atmosfera u rudnicima urana** posebno je opasna jer tu ima radona koji nastaje kao međuproizvod pri radioaktivnom raspadu urana u rudi, pri čemu se kao ruda definira stijena s više od 100 g urana po toni rude. Radon dospijeva u jamski zrak difuzijom kroz stijenski masiv. Po međunarodnim mjerilima, kojima je prilagođen i naš Pravilnik o sigurnosnim mjerama i normativima za ionizirajuće zračenje pri podzemnim radovima na dobivanju uranove rude (1979), u jamskom je radilištu dopuštena koncentracija radona u zraku od 2,5 kBq/m<sup>3</sup>. U Žirovskom vrhu ta se vrijednost postiže vjetrenjem, osim u kratkotrajnim fazama nakon radnih operacija karakterističnih po jakom razvijanju prašine. Tako je pri bušenju izmjereno 2,25 kBq/m<sup>3</sup>, pri utovaru 21 kBq/m<sup>3</sup>, a 30 min nakon miniranja 25 kBq/m<sup>3</sup>. Vjetrenje u uranskim rudnicima zato mora biti posebno intenzivno, a u obzir dolazi i zamagljivanje pojedinih sektora vodom. Jamske prostorije za ulaznu struju moraju se izgraditi u pratećim stijenama, a ne u rudi; ako to nije moguće, ulazni vjetrovi hodnici moraju biti izolirani u rudnoj zoni po cijelom opsegu i duljini, a u njima se ruda ne smije ni deponirati ni drobiti. Sve pomoćne prostorije, kao što su crpne i kompresorske stanice, radionice, skladišta i remize, moraju se izgraditi u jalovini u cijelosti ili barem 50% obujma. Vjetrenje se mora stalno i strogo nadzirati što se tiče koncentracije radioaktivnih plinova i prašine. U SAD se računa da je oko 65% rudara u uranskim rudnicima izloženo opasnim koncentracijama radona.

V. Abramović R. Marušić

**VJETRENJE RUDNIKA**

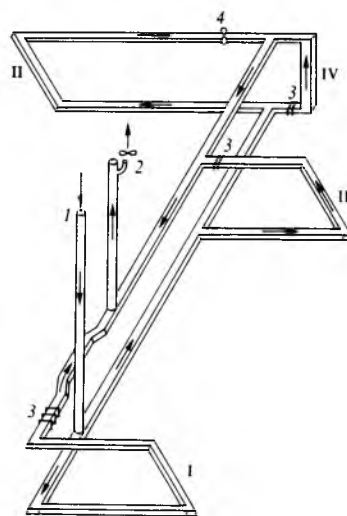
Vjetrenjem rudnika održava se, stalnom izmjenom zraka u svim prostorijama rudnika (jame), jamska klima pogodna za težak fizički rad i razrjeđuje se koncentracija zagušljivih, otrovnih i eksplozivnih plinova i prašine uz njihovo odvođenje na površinu. Rudarenjem u sve većim dubinama i sa sve bržim napredovanjem visokomehaniziranih radnih čela u rudnicima ugljena raste desorpcija plinova, što iziskuje dobavu sve većih količina zraka, a u rudnicima metalnih ruda zrak se sve više onečišćuje ispušnim plinovima i čadom iz Dieselovih motora. Intenziviranjem mehanizacije povećava se i uzvitlanje prašine koja je često silikatnog sastava. U skladu s geotermičkim temperaturnim gradijentom, s dubinom raste i temperatura stijena, pa zbog toga raste i temperatura zraka u rudniku. Na povišenju temperature djeluju i drugi izvori topline kao što su procesi oksidacije, pokretanje stijena pri rušenju, tople jamske vode, gubici u strojevima i dr. Izvanredni su izvori topline slojna zagrijavanja i jamske vatre. I promjena udjela vlage hlapljenjem ili kondenzacijom djeluje na temperaturu janskog zraka. Intenzivnost vjetrenja bitno ne utječe na sniženje temperature zraka.

U dubokim jamama potrebni su rashladni uređaji. Nasuprot tomu, u sjevernim predjelima, npr. u Kanadi, u zimskim mjesecima jamski se zrak mora zagrijavati.

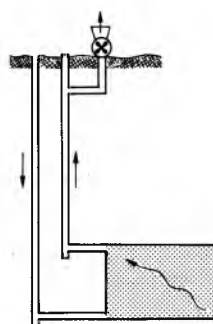
**Osnove vjetrenja**

**Vjetrenje jame.** Sustav za vjetrenje sastoji se od vjetrovih provodnika koje čine okna, prečnici, otkopni hodnici, otkopi i ostale jamske prostorije; ti se provodnici nazivaju granama. Kroz jamu struji zrak koji ulazi kroz okno i dijeli se na otkopna radilišta I, II i III, te na slijepo okno IV (sl. 5). Zrak se s radilišta prikuplja u odvodnim prečnicima i kroz okno 2 izbacuje se ventilatorima na površinu. Na sl. 5 označeni su regulacijski uređaji 3 i unutrašnji ventilatori 4.

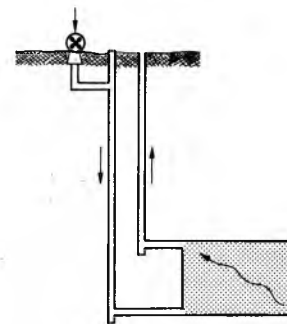
S obzirom na djelovanje ventilatora primjenjuje se usisni, odnosno depresijski režim ventilatora (sl. 6), i rjeđe tlačni, odnosno kompresijski režim s potisnim djelovanjem ventilatora (sl. 7). Prema položaju usisnih i tlačnih ušća razlikuju se: središnji jednokrlni ili dvokrlni sustav s oba ušća u središnjem području jame (sl. 8), dijagonalni jednokrlni (sl.



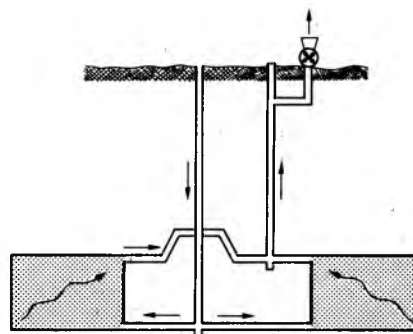
Sl. 5. Aksonometrijski prikaz vjetrenja jame. I do III otkopna radilišta, IV slijepo okno; 1 dovod zraka, 2 odvod zraka, 3 regulacijski uređaj, 4 unutrašnji ventilator



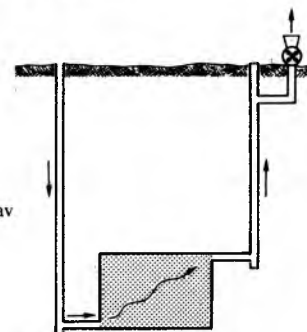
Sl. 6. Vjetrenje radilišta usisnim djelovanjem ventilatora



Sl. 7. Vjetrenje radilišta tlačnim djelovanjem ventilatora

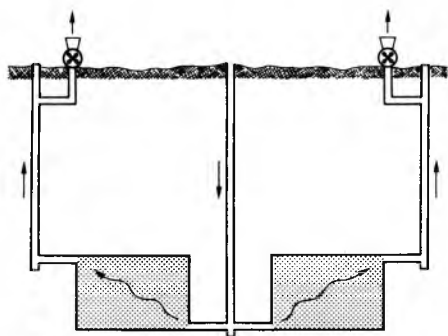


Sl. 8. Središnji sustav za vjetrenje



Sl. 9. Dijagonalni jednokrlni sustav za vjetrenje

9) ili dvokrlni (sl. 10) sustav sa suprotnim položajima obaju ušća, te kombinirani sustav s više od dva ušća u različitim položajima.



Sl. 10. Dijagonalni dvokrilni sustav za vjetrenje

**Strujanje zraka.** Razlikuje se laminarno i turbulentno strujanje zraka (v. *Mehanika fluida*, TE 8, str. 67). Laminarno strujanje (Reynoldsova značajka  $Re < 2300$ ) pojavljuje se samo kad zrak struji kroz zasip, stare jame ili slojne pukotine, dok kroz jamske provodnike zrak struji turbulentno. Raspodjela brzina pri turbulentnom strujanju vidi se na sl. 11. Srednja brzina strujanja iznosi  $0,838 \cdot \dots \cdot 0,875$  od maksimalne brzine i raste s povećanjem vrijednosti Reynoldsove značajke.



Sl. 11. Raspodjela brzina pri turbulentnom strujanju

**Potrošnja zraka** za vjetrenje radilišta određuje se prema potrebi zraka za disanje radnika, za razrjeđivanje plinova da se ne bi premašio dopušteni udio štetnih plinova te za odvođenje topline zbog rada strojeva smještenih u jami.

**Gustoća zraka.** Za proračun vjetrenja potrebno je poznavati gustoću zraka  $\rho$ . Ona se računa prema izrazu

$$\rho = \frac{ap - b\varphi p_w}{T}, \quad (1)$$

gdje je  $p$  tlak zraka,  $\varphi$  vlažnost zraka,  $p_w$  tlak zasićene vodene pare pri termodinamičkoj temperaturi  $T$ , a korekcijski su koeficijenti  $a = 3,4836 \cdot 10^{-3} \text{ K s}^2/\text{m}^2$  i  $b = 1,3168 \cdot 10^{-3} \text{ K s}^2/\text{m}^2$ . Za mjerenje vlažnosti služi Assmannov aspiracijski psihrometar (v. *Meteorološki uređaji*, TE 8, str. 487).

Gustoća zraka između dviju točaka vjetrenog provodnika određuje se pomoću aritmetičke sredine gustoće. Kad su veće visinske razlike između točaka, npr. veće od 500 m, pojavljuju se manje pogreške. Tada se gustoća zraka izračunava pomoću promjene toplinskog stanja.

**Gubici tlaka i otpori strujanju.** Gubitak tlaka  $H$  zapravo je utrošak energije za svladavanje otpora strujanja, pa se gubitak tlaka može iskazati omjerom utrošene energije i obujma prostrujalog zraka ( $\text{N/m}^2 = \text{Nm/m}^3 = \text{J/m}^3$ ). Gubitak tlaka može se prikazati i izrazom

$$H = RQ^2, \quad (2)$$

gdje je  $R$  otpor strujanja, a  $Q$  protok zraka ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). Tada je jedinica otpora strujanja  $\text{Ns}^2/\text{m}^6 = \text{kg/m}^7$ .

Gubitak tlaka u cijevima kružnog presjeka promjera  $D$  određuje se iz izraza

$$H = \Lambda \rho \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2} = \frac{8}{\pi^2} \Lambda \rho L \frac{Q^2}{D^5}, \quad (3)$$

gdje je  $\Lambda$  koeficijent trenja,  $\rho$  gustoća zraka,  $L$  duljina cijevi, a  $v$  srednja brzina strujanja zraka. Drugi izraz dobiva se nakon uvrštenja izraza za brzinu

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{4Q}{\pi D^2}, \quad (4)$$

gdje je  $S$  presjek cijevi. Za presjeka koji nisu kružni gubitak se tlaka proračunava pomoću hidrauličkog promjera koji je

određen izrazom

$$D_h = \frac{4S}{O}, \quad (5)$$

gdje je  $O$  duljina oboda provodnika, pa se uvrštenjem u relaciju (3) dobiva

$$H = 0,125 \Lambda \rho L O \frac{Q^2}{S^3}. \quad (6)$$

Odatle je, a u skladu s izrazom (2), otpor strujanja

$$R = 0,125 \Lambda \rho L \frac{O}{S^3}. \quad (7)$$

Gubitak tlaka i otpor strujanja ovise o obliku provodnika kroz koji struji zrak, o koeficijentu trenja  $\Lambda$  i o gustoći zraka  $\rho$ . Koeficijent trenja ovisi o hrapavosti obodnih stijena i o Reynoldsovoj značajki  $Re$ . O utjecaju te značajke na koeficijent trenja u okruglim cijevima ima dosta podataka u literaturi (v. *Mehanika fluida*, TE 8, str. 169), ali su podaci za prilike u rudnicima vrlo oskudni. Prema nekim pokusima može se zaključiti da je koeficijent otpora konstantan kad je  $Re \geq 10$ , ali da osjetno raste sa smanjenjem vrijednosti Reynoldsove značajke. Mnogo je veći, međutim, utjecaj hrapavosti oboda. U jamskim uvjetima pojam je hrapavosti prilično neodređen, pa se u priručnicima navode podaci za koeficijente otpora prema vrsti jamskih radova i načinu podgradnje.

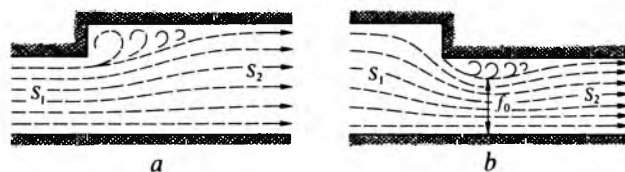
Izrazi za gubitak tlaka (6) i za otpor (7) vrijede za ravni provodnik jednakog presjeka, pa se moraju još priračunati utjecaji tzv. lokalnih otpora. Lokalni otpori nastaju zbog nagle promjene presjeka, promjene smjera strujanja, križanja provodnika i zbog prigušenja strujanja koje se primjenjuje za regulaciju protoka. Gubici tlaka u lokalnim otporima računaju se iz izraza

$$H = \rho \frac{(v_1 - v_2)^2}{2} = \rho \xi \frac{Q^2}{2S^2}, \quad (8)$$

gdje je  $v_1$  brzina prije, a  $v_2$  brzina poslije djelovanja lokalnog otpora. Koeficijent  $\xi$  ovisi o vrsti lokalnog otpora. Otpor je strujanja, u skladu s izrazom (2),

$$R = \frac{\rho \xi}{2S^2}. \quad (9)$$

Otpor zbog nagle promjene provodnika pojavljuje se pri naglom proširenju ili naglom suženju provodnika (sl. 12). U izraze (8) i (9) treba uvijek uvrstiti suženi presjek. Vrijednost koeficijenta  $\xi$  ovisi o omjeru obaju presjeka i o koeficijentu otpora  $\Lambda$ .



Sl. 12. Promjena presjeka provodnika. a) naglo proširenje, b) naglo suženje

Promjena smjera strujanja može biti oštrobridna i zaobljena. Vrijednost koeficijenta  $\xi$  ovisi o kutu skretanja strujanja i o vrsti promjene smjera.

Koeficijent  $\xi$  za spojeve i grananja provodnika (sl. 13) ovisi o smjerovima strujanja zraka, o izvedbi i koeficijentu otpora  $\Lambda$ . Kad su rubovi zaobljeni, vrijednost koeficijenta  $\xi$  mnogo je manja. Otpor  $R$  uvijek se odnosi na odlazno strujanje.

Zrak koji je upotrijebljen za vjetrenje vraća se u okoliš kroz otvor presjeka  $A$  (sl. 14). Zbog kontrakcije sužuje se struja zraka na presjek  $S_1$ , a zatim se širi na presjek  $S_2 \rightarrow \infty$ . Koeficijent kontrakcije iznosi  $\varphi \approx 0,65$ , pa je brzina istjecanja

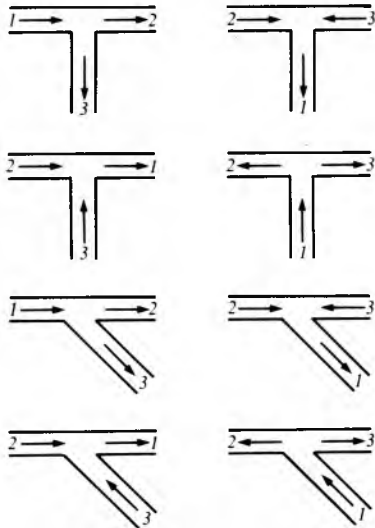
$v_1 = \frac{Q}{0,65A}$ . Otpor se određuje iz izraza

$$R = \frac{\rho}{2S_1^2}, \quad (10)$$

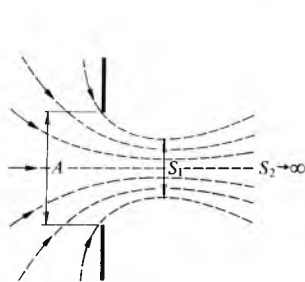
a površina je ekvivalentnog otvora, uz gustoću  $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ , prema (2) i (9)

$$A = cQH^{-1/2}, \quad (11)$$

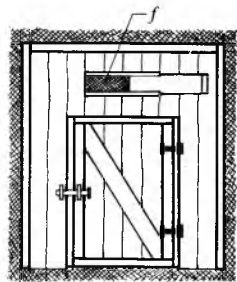
gdje je  $c = 1,19 \text{ kg}^{1/2} \text{ m}^{-3/2}$ . Pomoću ekvivalentnog otvora ocjenjuje se propusna moć provodnika ili cijele jame.



Sl. 13. Primjeri grananja provodnika. 1 tlačna odnosno upojna strana ventilatora



Sl. 14. Istjecanje zraka kroz otvor



Sl. 15. Vrata s regulacijskim otvorom

Ulazni otpor zraka pri ulazu iz atmosfere u uređaje za provjetravanje iznosi

$$R \approx 0,245 \frac{Q}{S^2}. \quad (12)$$

Za prigušenje strujanja služe prigušnice u obliku pregrade s vratima i regulacijskim otvorom površine  $f$  (sl. 15). Potrebna površina regulacijskog otvora iznosi

$$f = \frac{SQ}{q_1 S \sqrt{\Delta H} + q_2 Q} = \frac{S}{q_1 S \sqrt{\Delta R} + q_2}, \quad (13)$$

gdje je  $\Delta H$  dodatni gubitak tlaka,  $\Delta R$  dodatni otpor strujanja,

a koeficijenti su  $q_1 = 0,839 \sqrt{\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}}$  i  $q_2 = 0,65$ . Prigušivanje se obično provodi dvjema uzastopnim prigušnicama, pa je tada potrebna površina otvora na svakoj prigušnici

$$f = \frac{SQ}{q_1 S \sqrt{\frac{\Delta H}{2}} + q_2 Q} = \frac{S}{q_1 S \sqrt{\frac{\Delta R}{2}} + q_2} \quad (14)$$

### Mjerenje gubitka tlaka i protoka zraka

Računski postupak za određivanje gubitka tlaka (depresije) i otpora primjenjuje se u projektiranju sustava za vjetrenje. U već izgrađenim rudnicima stanje u sustavu kontrolira se mjerenjem. Mjerenjem se određuje gubitak tlaka i protok zraka uzduž promatrane jame, dok se otpor izračunava pomoću izraza (2). Gubitak tlaka može se izmjeriti

neposredno (sondažna metoda) ili posredno (barometarska metoda). Barometarska metoda temelji se na mjerenju vrijednosti veličina u Bernoullijevoj jednadžbi, prema kojoj razlika tlakova između dviju točaka iznosi

$$\Delta H = (p_1 - p_2) + g \rho_s (z_1 - z_2) + \rho_s \left( \frac{k_1 v_1^2}{2} + \frac{k_2 v_2^2}{2} \right), \quad (15)$$

gdje su  $p_1$  i  $p_2$  apsolutni tlakovi u točkama 1 i 2,  $g$  je ubrzanje Zemljine teže,  $\rho_s$  je srednja vrijednost gustoće zraka,  $\rho_s = (\rho_1 + \rho_2)/2$ ,  $z_1$  i  $z_2$  su kote točaka,  $v_1$  i  $v_2$  brzine zraka, a  $k_1$  i  $k_2$  korekcijski faktori koji za okrugle cijevi iznose  $1 + 2,7\lambda$ , a za podgrađene jamske hodnike  $0,89 + 4,2\lambda$ .

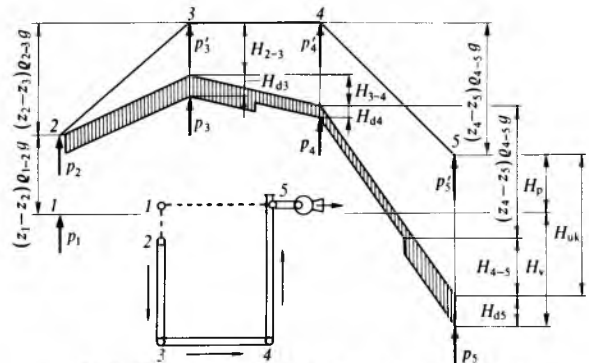
**Prikaz promjene tlaka pomoću Bernoullijeve jednadžbe.** Na jednostavnom primjeru usisnog vjetrenja prikazana je promjena tlaka (sl. 16). Tlakovi  $p$  prikazani su dijelovima pravaca 1-2-3-4-5. Točka 1 u atmosferi nalazi se na koti usisnog kanala ventilatora. Dužine 1 do 5 označuju tlakove zračnih stupaca u mirovanju. Donje dužine označuju statičke tlakove, a iscrtani dijelovi dinamičke tlakove. Zbroj smanjenja tlakova daje ukupno smanjenje tlaka koje iznosi

$$\Delta H_{uk} = (p_1 - p_5) + g [\rho_{s23}(z_2 - z_3) + \rho_{s34}(z_3 - z_4) + \rho_{s45}(z_4 - z_5)] - \rho_s \frac{kv_s^2}{2}. \quad (16)$$

Pri usisnom djelovanju ventilatora ukupno smanjenje tlaka može se prikazati izrazom

$$\Delta H_{uk} = H_v + H_p - H_d, \quad (17)$$

gdje je  $H_v$  ventilatorski,  $H_p$  prirodni, a  $H_d$  dinamički gubitak tlaka. Mjerenjem se utvrđuju ventilatorski i dinamički gubici tlaka, dok se prirodni gubitak tlaka izračunava.

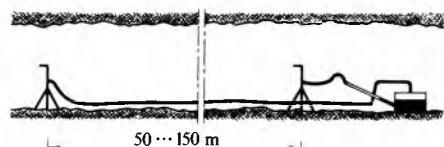


Sl. 16. Prikaz promjene tlakova pri usisnom vjetrenju

Pri tlačnom djelovanju ventilatora ukupno smanjenje tlaka iznosi

$$\Delta H_{uk} = H_v + H_p + H_d. \quad (18)$$

**Sondažna metoda** primjenjuje se za mjerenje razlike tlaka među dvjema točkama dionice ili između točke u provodniku i okoliša. Mjeri se pomoću dviju Pitotovih cijevi (v. *Mehanika fluida*, TE 8, str. 147) što služe kao sonde i koje su smještene na udaljenosti od 50...150 m (sl. 17), a otvori su im okrenuti protiv zračne struje. Pitotovim cijevima mjeri se ukupan tlak koji je jednak zbroju statičkog i dinamičkog tlaka. Mjereni tlak prenosi se gumenim ili plastičnim cijevima do mjernog instrumenta koji pokazuje razliku tlakova, koja je jednaka gubitku tlaka. Takvi instrumenti nazivaju se depresimetrima, a kao depresimetri upotrebljavaju se cijevi u obliku slova U (U-cijevi), mikromanometri i minimetri.



Sl. 17. Smještaj sonda za mjerenje razlike tlakova sondažnom metodom

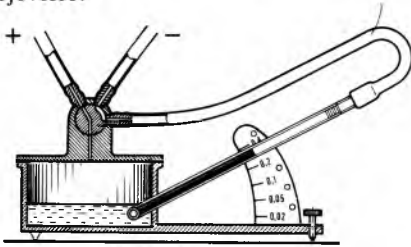
U-cijev je savijena staklena cijev napunjena vodom. Na krajeve U-cijevi dovode se cijevi od dviju sonda. Zbog različitih tlakova i razine su vode u U-cijevi različite. Razlika razina  $h$  mjeri se za smanjenje tlaka koje iznosi

$$\Delta H = \rho g h. \quad (19)$$

Mikromanometar služi za točnija mjerenja, a sastoji se od posude s nagnutom staklenom cjevčicom (sl. 18). Sonda s pretlakom spojena je s posudom koja je napunjena tekućinom, a ona s podtlakom spojena je s gornjim krajem cjevčice. Nagib cjevčice može se mijenjati, čime se utječe na točnost mjerenja, a na cjevčici je nacrtana milimetarska skala. Razlika tlakova određuje se iz izraza

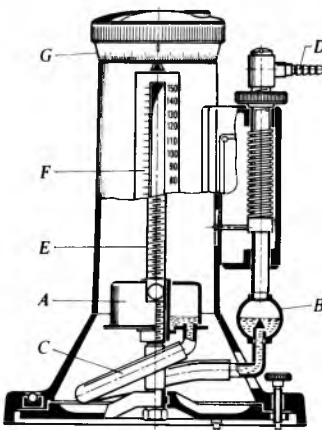
$$\Delta H = \frac{\rho g l \sin \alpha}{1000}, \quad (20)$$

gdje je  $\rho$  gustoća tekućine,  $l$  očitavanje na skali cjevčice (mm), a  $\alpha$  nagib cjevčice.

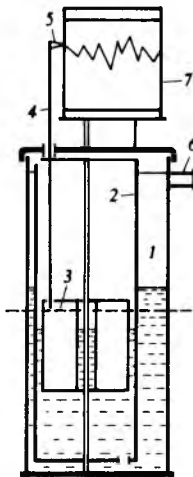


Sl. 18. Mikromanometar

Minimetar Askania (sl. 19) služi za precizna mjerenja. Temelji se na djelovanju spojenih posuda A i B koje su spojene gumenom cijevi C. U ravnotežnom stanju razina vode vrhuni s vrškom pera u posudi B. Ako se na nastavak D spoji cijev sa sonde s pretlakom, a na posudu A cijev sa sonde s podtlakom, snizit će se razina vode u posudi B. Da bi se razine vode izravnale, podiže se posuda A vretenom E sve dok razina vode ne vrhuni s vrškom pera u posudi B. Na skali F očitava se gruba, a na skali G fina vrijednost tlaka. Točnost očitavanja iznosi 1/100 mm vodenog stupca, a procjena dostiže i 1/400 mm.



Sl. 19. Minimetar Askania. A i B spojene posude, C spojna cijev, D nastavak za priključak sonde s podtlakom, E mjerne vreteno, F gruba skala, G fina skala



Sl. 20. Registracijsko mjerilo sniženja tlaka

Registracijsko mjerilo sniženja tlaka (sl. 20) služi za stalno mjerenje sniženja tlaka na usisnoj strani ventilatora. Zatvorena posuda 1 u kojoj se nalazi voda spojena je nastavkom 6 s usisnom cijevi ventilatora. Druga posuda 2 spojena je s atmosferom i u njoj je plovak 3 kojemu se položaj preko poluge 4 i pera 5 prenosi na bubanj 7 na koji se bilježi razlika razina. Bubanj je pokreće satnim mehanizmom.

Mjerenje razlike tlaka između provodnika i okoliša provodi se za određivanje tlaka u vjetrenim cijevima ili u kanalima ventilatora. Mjeri se na već opisani način, ali se jedan krak instrumenta spaja s okolišem.

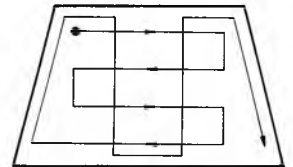
Barometarska metoda temelji se na određivanju sniženja tlaka pomoću Bernoullijeve jednadžbe. Obični aneroidni barometar služi samo kao pomoćni instrument za određivanje gustoće zraka, a za barometarska mjerenja služi precizni aneroidni instrument (npr. *barolux*) kojim se postiže točnost očitavanja i do ~30 Pa.

Protok zraka određuje se posredno, i to mjerenjem presjeka provodnika i brzine strujanja zraka, pa umnožak tih dviju veličina daje protok zraka kroz provodnik.

Neposredno mjerenje brzine strujanja provodi se anemometrom (sl. 21). Uređaj se sastoji od vjetrenjače sa 8 krilaca i brojčanika koji registrira prijedeni put zračne struje u m/min. Mjeri se 2...3 minute, pa se brzina strujanja dobiva dijeljenjem puta zračne struje s vremenom mjerenja. Tokom mjerenja treba anemometrom prijeći cijeli presjek (npr. kao na sl. 22). Anemometrom se mogu mjeriti brzine od 0,3...20 m/s. Brzine manje od 0,2 m/s mjere se opažanjem vremena prolaza dima. Najčešće se pri mjerenju brzina podijeli presjek na jednake kvadrate, pa se u njihovim sredinama mjere brzine. Tako se dobiva raspodjela brzina po presjeku, što omogućuje točnije određivanje protoka zraka.



Sl. 21. Anemometar s krilcima

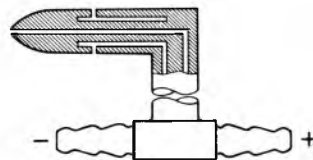


Sl. 22. Primjer kretanja anemometra po presjeku provodnika

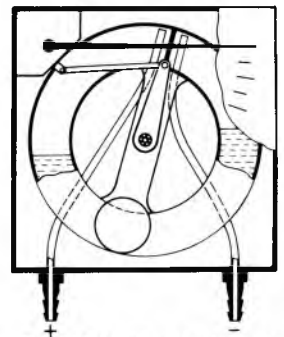
Posredno mjerenje brzine strujanja zasniva se na određivanju brzine pomoću dinamičkog tlaka prema izrazu

$$v = \sqrt{\frac{2p_d}{\rho}}, \quad (21)$$

gdje je  $p_d$  dinamički tlak. Dinamički tlak određuje se pomoću Pitot-Prandtllove cijevi (sl. 23). Na otvor koji je usmjeren prema zračnoj struji djeluje ukupni tlak, a na otvor koji je okomit na smjer strujanja djeluje statički tlak, pa depresiometar pokazuje razliku tih dvaju tlakova, odnosno dinamički tlak. Kao depresiometri mogu se upotrijebiti već opisani instrumenti.



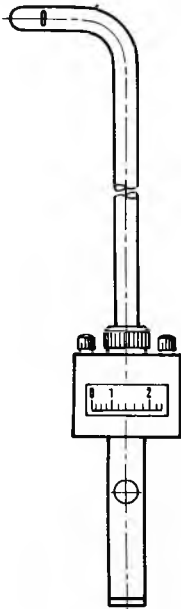
Sl. 23. Pitot-Prandtllova cijev



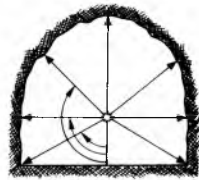
Sl. 24. Tlakomjerna kružna vaga

Tlakomjerna kružna vaga (sl. 24) ima šuplji prsten napunjen tekućinom koji je pregradom podijeljen na komoru višeg i komoru nižeg tlaka. Komore su spojene mjernim cijevima na Pitot-Prandtllovu cijev. Zbog razlike tlakova prsten se zakrene, a njegov je zakret mjera brzine strujanja, koja se neposredno očitava na skali. Raspon brzina koje se mogu mjeriti ovisi o tipu uređaja i vrsti tekućine.

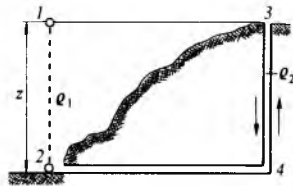
Strujna sonda (sl. 25) djeluje na istom principu. Tlakovi od Pitot-Prandtlove cijevi prenose se na malu tlakomjernu vagu koja ima skalu za neposredno očitavanje brzine strujanja zraka.



Sl. 25. Strujna sonda



Sl. 26. Primjer snimanja presjeka polarnom metodom



Sl. 27. Prikaz djelovanja prirodnog potiska

**Površina presjeka vjetrog provednika.** Jednostavno je određivanje površine pravilnih presjeka. Površina nepravilnih presjeka može se odrediti *polarnom metodom* koja se temelji na mjerenju dužina od neke po volji odabrane središnje točke do niza točaka oboda (sl. 26). Tada je moguće odrediti površine pojedinih segmenata, pa i ukupnu površinu presjeka.

**Održavanje zračnog strujanja**

Za održavanje zračnog strujanja moraju se savladati otpori strujanja, što se postiže prirodnim potiskom i ventilatorima.

**Prirodni potisak** nastaje zbog različitih gustoća zraka u okomitim i kosim dionicama sustava za vjetrenje. Prirodni potisak može djelovati samostalno ili, što je češće, u sprezi s ventilatorom.

Djelovanje prirodnog potiska vidi se na primjeru vjetrenja potkopa spojenog s oknom (sl. 27). Da bi se odredio prirodni potisak, treba usporediti tlak stupca zraka 1-2, koji djeluje na početku potkopa, i tlak stupca zraka 3-4, koji djeluje na kraju potkopa. Prirodni potisak dobiva se kao razlika tih tlakova iz izraza

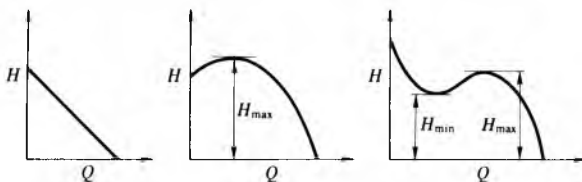
$$\Delta H = zg(\rho_1 - \rho_2), \tag{22}$$

gdje je  $z$  visinska razlika. Ako je  $\rho_1 > \rho_2$ , što je obično zimi, zrak ulazi kroz potkop i struji kroz okno na površinu. Ljeti, međutim, kad je  $\rho_1 < \rho_2$ , zrak ulazi kroz okno i kroz potkop struji na površinu.

**Djelovanje ventilatora.** Pogonska karakteristika ventilatora koja prikazuje međusobnu vezu tlaka  $H$  na tlačnoj strani ventilatora i protoka zraka  $Q$  ima općeniti oblik

$$H = a + bQ + cQ^2 + dQ^3, \tag{23}$$

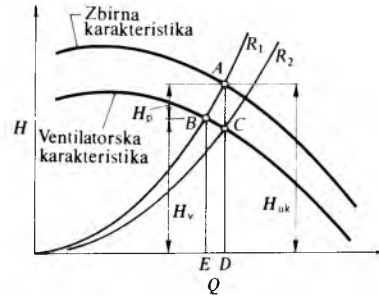
gdje su  $a, b, c$  i  $d$  konstante ovisne o konstrukciji ventilatora. Te konstante mogu imati i vrijednost nula. Na sl. 28 prikazani



Sl. 28. Primjeri pogonskih karakteristika ventilatora

su principi pogonskih karakteristika. Samo dio karakteristike desno od maksimalne vrijednosti  $H$  ima praktično značenje za pogon ventilatora.

**Ventilator u sprezi s prirodnim potiskom.** Budući da se može računati s konstantnim prirodnim potiskom, pogonska karakteristika sprege ventilatora i prirodnog potiska dobit će se jednostavnim pomakom pogonske karakteristike za vrijednost prirodnog potiska  $H_p$  (sl. 29). To vrijedi kad prirodni potisak potpomaže djelovanje ventilatora. Ako, međutim, prirodni potisak djeluje u suprotnom smjeru od djelovanja ventilatora, pogonsku karakteristiku sprege treba spustiti za vrijednost prirodnog potiska.

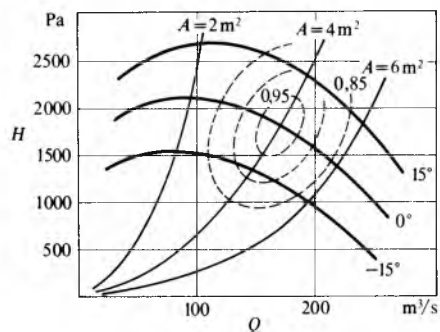


Sl. 29. Pogonska karakteristika sprege ventilatora i prirodnog potiska, karakteristika otpora i pogonska točka

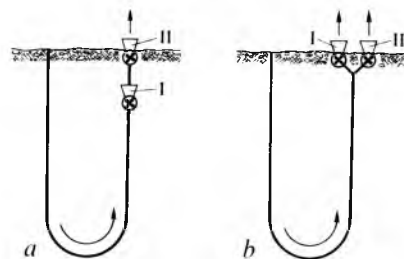
U isti dijagram može se ucrtati ovisnost gubitka tlaka o protoku zraka prema izrazu (2), koja je prikazana parabolom s tjemnom u ishodištu koordinatnog sustava. To je karakteristika otpora jame. Sjecište pogonske karakteristike sprege ventilatora i prirodnog potiska i karakteristike otpora jame  $R_1$  predstavlja pogonsku točku kojom je određen protok zraka (točka A na sl. 29). Kad ne bi bilo djelovanja prirodnog potiska, sjecište bi karakteristika bilo u točki B, pa bi protok zraka bio manji.

Na suvremenim aksijalnim ventilatorima mogu se mijenjati nagibi lopatica u granicama  $\pm 15^\circ$ . Svakom nagibu lopatica odgovara druga pogonska karakteristika (sl. 30). U isti dijagram ucrtane su krivulje konstantnog stupnja djelovanja  $\eta$  i krivulje ekvivalentnog otvora jame A (11). Sjecište karakteristika ventilatora i krivulja ekvivalentnog otvora jame obilježavaju pogonske točke.

Osim pojedinačnih ventilatora, postavljaju se ventilatori u seriju (sl. 31a) i paralelno (sl. 31b). Kad se ventilatori



Sl. 30. Pogonske karakteristike ventilatora s promjenjivim nagibom lopatica

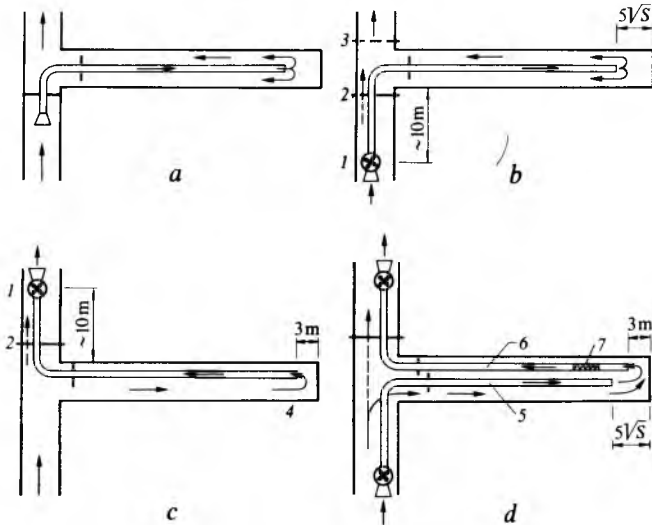


Sl. 31. Spoj ventilatora. a serijski spoj, b paralelni spoj



spajaju u seriju, pogonske se karakteristike toga sklopa dobivaju zbrajanjem ordinata, pa se takav spoj upotrebljava kad su otpori jame veliki. Pogonske karakteristike paralelno spojenih ventilatora dobivaju se zbrajanjem apscisa, a takav se spoj upotrebljava kad je potreban veliki protok zraka. I paralelno i serijski spojeni ventilatori moraju biti jednakih pogonskih karakteristika.

**Posebno provjetravanje slijepih radilišta.** Strujanje zraka u slijepim radilištima (sl. 32) postiže se pomoću podtlaka u jami ili pomoću posebnog ventilatora. Može se primijeniti tlačno, usisno i kombinirano vjetrenje. Zrak se u radilište dovodi ili odvodi vjetrenim cijevima.



Sl. 32. Vjetrenje slijepog radilišta. a) vjetrenje pomoću jamskog podtlaka, b) tlačno vjetrenje, c) usisno provjetravanje, d) kombinirano vjetrenje

**Vjetrenje pomoću jamskog podtlaka** (sl. 32a) moguće je kad je podtlak dovoljan da osigurava dovoljan dotok zraka i kad je otpor u smjeru radilišta malen. Uklanjanje takva vjetrenja u sustav za vjetrenje treba provjeriti proračunom cijele vjetrene mreže. Kad je potreban veći dotok zraka i kad su otpori veći, treba predvidjeti posebni ventilator. Kad se proračunava potrebna količina zraka, valja uzeti u obzir gubitke zraka koji obično iznose 2...3% na 100 m cijevi, a u nepovoljnim uvjetima i 6%. Djelovanje posebnog ventilatora treba uskladiti s djelovanjem glavnog ventilatora. Osim toga, svaki cjevovod mora imati zasun za regulaciju protoka.

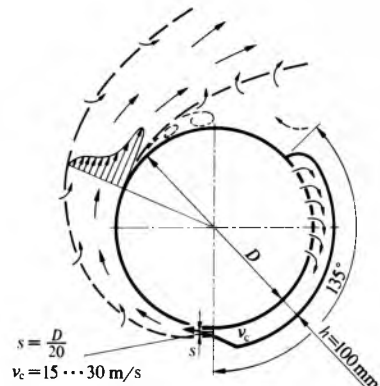
**Tlačno vjetrenje** (sl. 32b). Zrak se dovodi do radilišta potiskom ventilatora 1 koji je udaljen ~10 m od zakreta cijevi. Pregradom 2 ili 3 sprečava se protok zraka mimo radilišta. Prednost je tlačnog vjetrenja što ventilator dobavlja svjež zrak i što intenzivno provjetrava radno čelo, pa je osobito povoljno za jame s metanom. Nedostatak je takva vjetrenja u tome što se onečišćeni zrak odvodi uzduž hodnika ili otkopa i što strujanje toga zraka neugodno djeluje na zaposlene radnike.

**Usisno provjetravanje** (sl. 32c). Zrak se dovodi hodnikom do ušća cijevi 4 i odvodi se kroz cijev djelovanjem usisne strane ventilatora 1. Pomoću pregrade 2 osigurava se dobro iskorištavanje vjetrene struje. Usisnim provjetravanjem osigurava se čisti zrak u hodniku, ali se slabo provjetrava čelo radilišta. Zbog toga treba ušće cijevi privući na 3 m od čela radilišta. Ušće cijevi se povlači unazad za vrijeme miniranja. Pri usisnom strujanju zraka i upotrebi armiranih plastičnih cijevi treba računati sa znatno većim otporom.

**Kombinirano vjetrenje.** Kad je zrak u radilištu jako onečišćen plinovima od miniranja i kad se želi osigurati čisti zrak uzduž hodnika, primjenjuje se kombinirano vjetrenje. Moguća je primjena mnogih sustava, od kojih su dva najčešća: jednostavno tlačno-usisno vjetrenje i tlačno-usisno vjetrenje s vrtložnom cijevi tipa Coanda.

Jednostavno tlačno-usisno vjetrenje (sl. 32d) provodi se sa dvije cijevi: tlačnom 5 i usisnom 6. Ušće tlačnog cjevovoda

udaljeno je za  $5\sqrt{s}$  od čela radilišta, a ušće usisnog cjevovoda udaljeno je 3 m od čela radilišta. Za vrijeme miniranja uvlači se usisni cjevovod u posebno cjevno spremište 7. Da bi se osigurao dovod svježeg zraka uzduž hodnika, mora se usisavati više zraka nego što se dovodi tlačnim cjevovodom.



Sl. 33. Presjek vrtložne cijevi tipa Coanda

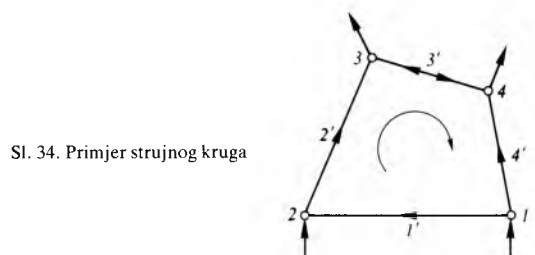
Tlačno-usisno vjetrenje s vrtložnom cijevi tipa Coanda upotrebljava se za vrlo duga slijepa radilišta, pogotovo kad se radi s rotirajućim glodalnicama. Tada se na kraju tlačnog cjevovoda postavljaju 2...3 sloga cijevi tipa Coanda (sl. 33). Zrak napušta cijev tipa Coanda kroz bočne tangencijalno usmjerene otvore, pa se tako stvara kružni vrtlog koji se uz obod postepeno primiče čelu radilišta. Zrak se odvodi pomičnim usisnim cjevovodom s ugrađenim filtrom za zadržavanje prašine. Ako je potrebno, ugrađuje se ejektor u blizini čela radilišta da bi se usmjerio zračni mlaz, što je povoljno ako se pojavi metan.

#### Vjetrena mreža i sustavi za vjetrenje

**Sastav vjetrene mreže.** Vjetrena mreža skup je od  $n$  čvorova međusobno spojenih sa  $m$  grana. Svaka grana ima samo jedan početni i jedan završni čvor. Brojčana oznaka čvorova određena je smjerom strujanja u grani koji se u grafu mreže označuje strelicom. U svakom čvoru sastaju se najmanje dvije grane, a često tri i više grana. Sva ulazna i izlazna ušća povezuju se u jednu točku. Osim toga, mreža se sastoji od strujnih krugova ili petlji (sl. 34). To su zatvoreni krugovi koji su sastavljeni od grana koje počinju i završavaju s istim čvorom, ali bez ponavljanja grana ili čvorova. Broj strujnih krugova  $s$  određen je izrazom

$$s = m - n + 1. \quad (24)$$

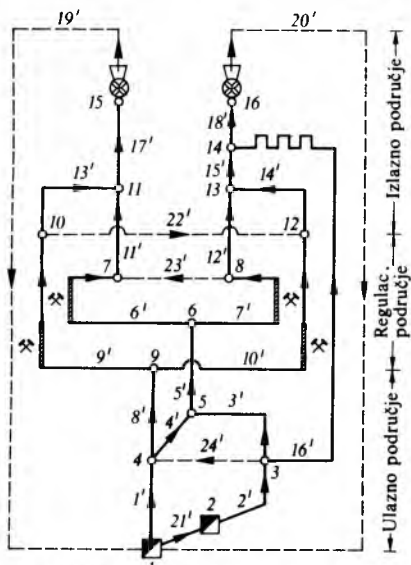
Strujni krug temelji se na bazičnoj grani kao vodilji, koja se pojavljuje samo u jednom strujnom krugu. Sve su ostale grane nezavisne i mogu se pojaviti u više strujnih krugova. Bazične grane biraju se sljedećim redom: grane s ventilatorima, grane s određenim protocima i konačno grane prema vrijednosti otpora. Iz toga slijedi da broj prvih dviju grupa grana ne smije biti veći od nekog unaprijed određenog broja. U mrežama se mogu pojaviti kratko spojene grane kroz koje se pretpostavlja da struje pretpostavljeni kratkospojni protoci. Raspored strujnih krugova i izbor bazičnih grana mora udovoljiti uvjetu da se strujni krug mora zatvoriti jedino preko nezavisnih grana. Smjer kruženja u strujnom krugu određen je smjerom strujanja u bazičnoj grani. Zbroj



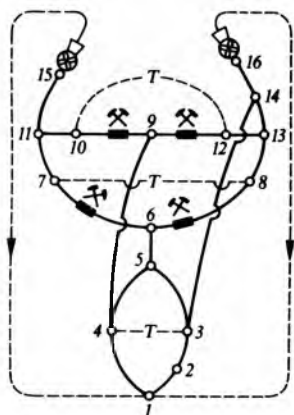
Sl. 34. Primjer strujnog kruga

gubitaka tlaka (depresija) u strujnom krugu, uzimajući u obzir predznak tlakova, mora uvijek biti jednak nuli.

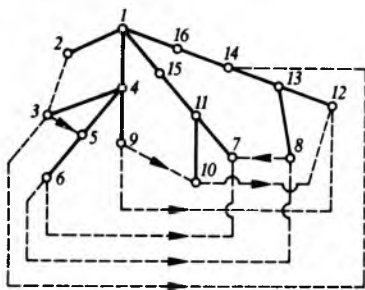
**Grafovi sustava za vjetrenje.** Najčešće se graf crta kao rešetkasta mreža u kojoj se grane prikazuju ravnim linijama (sl. 35). Ulazna ušća smještena su na donjoj, a izlazna ušća na gornjoj strani mreže. Sličan je graf sa zakrivljenim i ravnim linijama nazvan kanonskom shemom (sl. 36). Tada se ravnim linijama obično obilježavaju dijagonalne grane. Stablo mreže (sl. 37) čine lanci nezavisnih grana koji polaze od odabranog čvora. Svaki lanac završava u čvoru iz kojeg nema izlaza preko nezavisne grane. Završni čvorovi povezuju se bazičnim granama koje su označene crtkano. Ako se polazi od bazičnih grana, formiraju se strujni krugovi koji se najkraćim putem zatvaraju preko lanca pripadnih nezavisnih grana.



Sl. 35. Primjer rešetkaste vjetrene mreže



Sl. 36. Kanonska shema vjetrene mreže na sl. 35



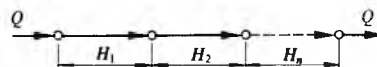
Sl. 37. Stablo vjetrene mreže na sl. 35

Grafovi na sl. 35 do 37 prikazuju vjetrenu mrežu sa 24 grane i 16 čvorova, a mreža ima 9 strujnih krugova. Sustav ima dva ulazna (1 i 2) i dva izlazna (15 i 16) ušća. Bazične su grane 2', 3', 6', 7', 9', 10', 16', 22' i 23'.

**Proračun sustava za vjetrenje.** Metoda proračuna ovisi o složenosti sustava. Jednostavni sustavi za vjetrenje proračunavaju se bez upotrebe elektroničkog računala, dok je proračun složenih sustava praktički nemoguć bez upotrebe elektroničkog računala.

Jednostavni sustavi za vjetrenje mogu biti serijski i paralelni.

Serijski sustav sastoji se od niza vjetrenih provodnika različitih otpora, ali kroz koje protječe jednak protok (sl. 38). Ukupni gubitak tlaka jednak je zbroju gubitaka u pojedinim provodnicima. To vrijedi i za ukupni otpor strujanju.



Sl. 38. Shema serijskog sustava za vjetrenje

Paralelni sustav sastoji se od više grana koje su međusobno paralelno spojene ili koje su kombinirane sa serijski spojenim granama (sl. 39). Zajednički otpor dviju paralelnih grana (1 i 2 na sl. 39) izračunava se pomoću izraza

$$R_I = \frac{R_1 R_2}{(\sqrt{R_1} + \sqrt{R_2})^2} \quad (25)$$

Tom otporu treba dodati otpore grana 3 i 4, pa se dobiva otpor

$$R_{II} = R_I + R_3 + R_4 \quad (26)$$

Rezultantni otpor sustava na sl. 39 dobiva se iz izraza

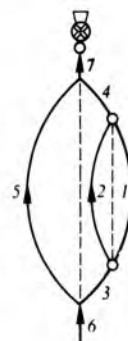
$$R_{rez} = R_6 + \frac{R_{II} R_5}{(\sqrt{R_{II}} + \sqrt{R_5})^2} + R_7 \quad (27)$$

Protok  $Q$  kroz sustav određuje se pomoću relacije

$$R_{rez} Q^2 - H_{vent} = 0 \quad (28)$$

Protoci kroz grane određuju se prema otporima grana.

Sl. 39. Shema paralelnog sustava za vjetrenje



Složeni sustavi sastoje se od kombinacija različitih spojeva vjetrenih provodnika koji se ne mogu promatrati na način koji vrijedi za jednostavne sustave. Pri tom treba uzimati u obzir prirodne potiske i utjecaj više glavnih i pomoćnih ventilatora. Za proračun sustava za vjetrenje služe osnovni i regulacijski model.

Osnovni model obuhvaća proračun količine zraka, smjero- rova i brzina strujanja, gubitaka tlaka i prirodnog potiska u svim granama, te tlakove i dobave ventilatora uzimajući u obzir njihove pogonske karakteristike. Osnovu toga modela čine graf mreže, podaci o otporima grana, gustoći zraka, kotama čvorišta i jednačbama karakteristika ventilatora. U prvom koraku pretpostavljaju se protoci zraka u svim granama, ali uz uvjet da, uzimajući u obzir smjer protoka, za svaki čvor bude zadovoljen uvjet  $\Sigma Q = 0$ . Nakon toga treba korigirati pretpostavljene protoke, i to uz uvjet da za svaki strujni krug bude zadovoljen uvjet  $\Sigma H = 0$ , gdje su  $H$  promjene tlaka u svim granama strujnog kruga. Ta korekcija protoka određuje se relacijom

$$\Delta Q = - \frac{\sum_i A_i R_i Q_i |Q_i| - H_v - H_p}{\sum_i 2R_i |Q_i| - H'_v} \quad (29)$$

gdje je u brojniku izraz kojim su obuhvaćene sve promjene tlaka (depresije) u strujnom krugu, a u nazivniku derivacija brojnika po protoku  $Q$ . Koeficijent  $A$  služi samo da se uzme u obzir smjer strujanja zraka u granama. Ako je, naime, smjer strujanja u grani jednak smjeru kruženja u strujnom krugu, postavlja se da je  $A = +1$ , a ako je smjer strujanja u grani suprotan smjeru kruženja u strujnom krugu, onda je  $A = -1$ . Izračunata korekcija  $\Delta Q$  dodaje se svim granama. Kad je ta korekcija određena za prvi strujni krug, određuje se korekcija za drugi, ali se pri tom već računa s korigiranim protocima u onim granama koje su zajedničke prvom i drugom strujnom krugu. Kad je provedena korekcija u posljednjem strujnom krugu, završena je prva iteracija proračuna. Druga iteracija počinje opet s korekcijom protoka u prvom strujnom krugu. Postupak se nastavlja sve dok se ne postigne da korekcija protoka, prema izrazu (29), u svim strujnim krugovima postane jednaka ili manja od unaprijed određene dovoljno male vrijednosti (npr.  $\Delta Q \leq 0,01 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Da bi se to postiglo, potrebno je  $\sim 15$  iteracija. Ako se u rezultatu pojave neke grane s negativnim protokom, znači da je stvarni smjer strujanja obrnut od pretpostavljenoga. Osnovni model služi kao osnova za dalje analize pomoću regulacijskog modela.

*Regulacijski model* služi za određivanje regulacijskih zahvata kojima se postiže tražena raspodjela zraka koja ne mora biti ostvarena raspodjelom prema osnovnom modelu. Prije proračuna treba podijeliti cijelu mrežu na podmreže prirodne i dirigrane raspodjele zraka. Podmreže prirodne raspodjele obuhvaćaju one dijelove mreže u kojima protoci nisu unaprijed određeni i u kojima ne postoje ventilatori.

Proračun se odvija u dvije faze. U prvoj se fazi određuju protoci metodom približavanja prema osnovnom modelu. U drugoj se fazi određuju depresije rješavanjem linearnih jednadžbi, ali s tim da se grane uključuju po pravcima koji prolaze kroz zajedničke točke i regulacijske grane te se zatvaraju kroz atmosferu u polaznoj točki. Bazične su grane s određenim protocima. Vanjski su ventilatori isključeni, što omogućuje zatvaranje krugova kroz njihov smještaj i atmosferu. Od određenih se depresija odabire obično najveća koja se smatra mjerodavnom. Svakoj poziciji vanjskog ventilatora odgovara po jedna odabrana depresija, pa se tako dobivaju depresije kojima moraju odgovarati ventilatori ( $H_v$ ). Sve ostale depresije ( $H_x$ ) treba izjednačiti s odabranom ventilatorskom depresijom ( $H_v$ ) pomoću dopunske depresije ( $\Delta H_x$ ) prema izrazu

$$\Delta H_x = H_v - H_x \quad (30)$$

Odatle se određuje dodatni (regulacijski) otpor  $R_x$  u grani  $x$ , pa je

$$R_x = \frac{\Delta H_x}{Q_x^2} \quad (31)$$

gdje je  $Q_x$  protok u grani  $x$  u kojoj se vrši regulacija.

Kao što je već spomenuto, proračun složenih sustava za vjetrenje moguć je pomoću električnog računala. Tada se vjetrena mreža definira njenim parametrima i pohranjuje u datoteci računala. To vrijedi i za karakteristike ventilatora. Svaka promjena topografije mreže ili nekih parametara može se uključiti u proračun i tako odrediti novo stanje vjetrenja.

E. Teplý

LIT.: W. Budryk, Ventilacija kopalni. Panstowe wydawnictwo techniczne, Katowice 1951. – D. R. Scott, F. B. Hinsley, Ventilation Network Theory. Coll. Engn. XXVIII 1951, 67/71, 159/166, 229/235, 497/500. – F. Plasche, Wetterlehre und Brandbekämpfung im Bergbau. Fachbuchverlag, Leipzig 1955. – A. A. Skotschinski, W. B. Komarow, Grubenbewetterung. Berlin 1956. – C. H. Fritzsche, Bergbaukunde, 1. B. Springer-Verlag, Berlin 1959. – C. H. Fritzsche, Bergbaukunde, I, II. Springer-Verlag, Berlin 1959. – Горное дело, Энциклопедический справочник, Углетехиздат, Москва 1959. – В. Јокановић, Проветравање рудника. Градевинска књига, Београд 1960. – Справочник по рудничној вентилацији. Госгортехиздат, Москва 1963. – W. A. Neumann, F. Plasche, G. Sonnemann, Wetterlehre und Grubenbrandbekämpfung. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1963. – L. Auer, Untersuchungen über Strömungswiderstände bei der Grubenbewetterung. VEB Deuts-

cher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1968. – V. Abramović, Spasavanje u rudnicima. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb 1970. – V. Jovičić, Ventilacija rudnika. Izdavačko-informativni centar studenata (ICS), Beograd 1974. – M. Vukić, Otrovi gasovi u procesu miniranja. Tehnička knjiga, Zagreb 1978. – V. S. Vutukuri, R. D. Lama, Environmental Engineering in Mines. Cambridge University Press, Cambridge 1986.

V. Abramović R. Marušić E. Teplý

**RUDNA LEŽIŠTA (RUDIŠTA)**, akumulacije korisnih mineralnih sirovina u Zemljinoj kori nastale geološkim procesima. Da bi takva akumulacija, međutim, dobila značajnije pravoga rudnog ležišta, mora sadržavati neki minimalni udio mineralne komponente (kvaliteta rude) i neku minimalnu količinu rude (rudna rezerva), a njezina eksploatacija mora biti tehnički moguća i ekonomski opravdana. Ti uvjeti nisu stalni, nego se mijenjaju s napretkom rudarske tehnike i potražnjom pojedinih mineralnih sirovina.

Ako se rudno ležište u suvremenim tehničkim uvjetima ne može ekonomično eksploatirati, naziva se *rudnom pojavom*, dok je *ruda* mineralni agregat u kojem je udio korisne komponente ili korisnih komponenata tolik da opravdava njegovo ekonomično iskorišćivanje.

Minimalni udio korisnog elementa u rudi uvijek je veći od prosječnog udjela tog elementa u Zemljinoj kori (Clarke-vrijednost, v. *Kemijski elementi*, TE 7, str. 53). Minimalni je udio olova  $\sim 600$  puta veći od njegovog udjela u Zemljinoj kori, molibdena i urana  $\sim 200$  puta, bakra i zlata  $\sim 100$  puta, nikla, vanadija i cinka  $\sim 50$  puta, kositra  $\sim 25$  puta, a željeza  $\sim 8 \cdot 10$  puta.

Što je veća vrijednost mineralne sirovine, to su manje minimalne rudne rezerve. Tako za ležišta željezne rude minimalne rudne rezerve iznose stotinjak tisuća tona, za ležišta obojenih metala desetke tisuća tona, za ležišta rijetkih metala (volfram, molibden, kositar, živa) stotinjak tona, a za ležišta plemenitih metala (zlato, platina) minimalne rezerve mogu iznositi svega nekoliko kilograma.

Mineralne sirovine mogu se razvrstati u tri skupine: a) metalne mineralne sirovine od kojih se dobivaju metali; b) nemetalne mineralne sirovine koje se upotrebljavaju u metalurgiji (topitelji), kemijskoj industriji, agronomiji, zatim kao vatrostalne i staklarsko-keramičke sirovine, kao sirovine za građevinske materijale i dr.; c) energetske mineralne sirovine (ugljen, nafta, prirodni plin, uljni škriljavci, ležišta urana).

Znanost o rudnim ležištima ima svoj početak još u doba prve upotrebe mineralnih sirovina. Moralo je, međutim, proći mnogo vremena da bi se razvila znanost o rudnim ležištima. Sve do sredine XV. stoljeća postavljale su se različite hipoteze o postanku ruda. Neke su smatrali da su rude živi organizmi koji nastaju rastom iz sjemenja ili sazrijevanjem od neplemenitih metala. Bilo je mišljenja da rude imaju oblik podzemnog *zlatnog drveta* s granama od različitih metala i korijenom u središtu Zemlje.

Na prva shvaćanja o postanku rudnih ležišta utjecali su grčki filozofi Thales i Zenon. Thales ( $\leftarrow 640$ . god.) je držao da je voda izvor svega živoga i neživoga na Zemlji (neptunističko tumačenje postanka ruda), dok je Zenon ( $\leftarrow 350$  —  $\leftarrow 264$ ) smatrao da je vatra temelj svega (plutonističko tumačenje postanka ruda).

Prvu teoriju o postanku rudišta, utemeljenu na proučavanju pojave ruda u prirodi, postavio je Georg Bauer (*Georgius Agricola*, 1494–1555). U djelu *De re metallica* on opisuje pojavu ruda i smatra da su rudne žile nastale ispunjavanjem pukotina mineralima istaloženim iz podzemnih voda koje su uglavnom površinskog porijekla. Te su vode, zagrijane u Zemlji, otapale minerale iz stijena, a zatim ih taložile u pukotinama. *Descartes (Principia philosophiae*, 1644), nasuprot tome, smatra da je Zemlja zvijezda u stadiju hlađenja, pa ruda u obliku injekcija i otopina dolaze u ohlađeni omotač planeta iz rastaljene jezgre.

U XIX. stoljeću uvidjelo se da postoje rudišta nastala u vezi s magmatskim procesima u dubljim dijelovima Zemlje, ali i rudišta nastala djelovanjem geoloških procesa na površini. Postalo je jasno da ne postoji univerzalna hipoteza kojom bi se mogao rastumačiti postanak svih tipova rudišta.

Boljim upoznavanjem rudišta ustanovljeno je da se pojedini tipovi rudišta uvijek nalaze u blizini ili unutar određenih vrsta stijena. Tako se rudišta kroma, azbesta i platine nalaze u ultrabazičnim magmatskim stijenama, rudišta kositra, volframa i mnoga rudišta obojenih metala u blizini granitnih masiva, boksiti leže na vapnencima ili stijenama s povećanim udjelom aluminija, a najveća ležišta željezne rude nalaze se u metamorfnim stijenama. Time je ustanovljena genetska veza između rudišta i stijena, što je bio velik napredak.

U novije doba utvrđena je prostorna i vremenska veza između pojedinih tipova rudišta, magmatizma i tektonskih pokreta, pa je dokazano da su svi