

**OSIGURANJE KVALITETA VENTILACIONIH
SISTEMA PODZEMNIH RUDNIKA UGLJA**

**QUALITY ASSURANCE OF VENTILATION SYSTEMS IN
UNDERGROUND COAL MINES**

Edin Delić, Rijad Šišić, Edisa Nukić
Univerzitet u Tuzli, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, Tuzla

Nenad Todorović
Rudnici mrkog uglja Banovići, Banovići

ABSTRACT

Underground coal mines ventilation function is required in order to assure adequate climate conditions for staying and working, then to reduce flammable, explosive and materials harmful for laborer's health to standardized concentrations.

Chemicals influences to metabolism, among which ambient temperature, pressure, relative moisture and air circulation speed are four unavoidable factors, can be in general considered as climate conditions.

Interaction between climate conditions and subjective sensation of climate conditions are consequently imposing various criteria for estimate, which are depending on individual characteristics, workers acclimation, intensity of work, implemented safety measures, exposition endurance etc. This study defines parameters for ventilation quality evaluation, monitoring points selection, parameters tracking model and ventilation quality assurance mechanisms.

Ključne riječi: ventilacija, rudnik, uglj, kvalitet

1. UVOD

Funkcija rudničkih ventilacionih sistema je osiguranje povoljnih uslova za boravak i rad ljudi razblaživanjem štetnih hemijskih, fizičkih i termalnih emisija njihovim odvođenjem na površinu. Ventilacijom je neophodno osigurati količine vazduha koje će biti u mogućnosti podnijeti opterećenja na način da ni jedan od indikatora kvaliteta ne bude izvan okvira dozvoljenih vrijednosti. Osnovni faktori proračun količine i raspodjele vazduha su: *propusna sposobnost ventilacionih puteva, otpori ogranka mreže, ukupan otpor sa ventilacionim kanalom, potencijali u tačkama račvanja i na objektima izolacije starog rada, ekvivalentni otvori, stepen stabilnosti ogranka mreže i ukupna «depresija jame» (potreban negativan potencijal za depresionu ventilaciju)*. Potrebne količine vazduha za ventilaciju podzemnih rudnika uglja se određuju ovisno o funkciji prostorije, tehnološkom procesu i drugim faktorima koji mogu dovesti do neželjenih promjena osobina rudničkog vazduha. U BiH na snazi je Pravilnik o tehničkim normativima u podzemnom rudarstvu uglja, preuzet iz bivše SFRJ, gdje je definirano (član 283) da se količina vazduha kojom se ventilira radilište određuje po parametrima: *gasonosnost ugljenog sloja i pratećih stijena, neravnomjernost pojave gasova, gasovi miniranja, gasovi motora sa unutrašnjim sagorijevanjem, minimalna*

potrebna brzina vazdušne struje, klimatski uslovi rada, broj ugrađenih separatnih ventilatora, zaprašenost vazduha, broj radnika na radilištu i najniži atmosferski pritisak.



Slika 1: Suženje profila zbog materijala i opreme u prostoriji

Ventilacioni hazardi koji mogu dovesti do povreda i materijalnih gubitaka prema genezi mogu se kategorisati na: mehaničke, električne, termičke, zvučne, radijacijske, hemijsko-biološke, korozione, ergonomske, psihološke i kombinovane. Pod pojmom osiguranje kvaliteta ventilacionih sistema podrazumijeva se skup mjera i postupaka sa ciljem održavanja indikatora kvaliteta ventilacije u propisanim granicama ili njihovo poboljšanje. Rudnički ventilacioni sistem u podzemnim rudnicima uglja se karakterišu povećanim uticajem prirodnih faktora koji se ne mogu adekvatno predvidjeti, stalnim promjenama strukture sistema usljed napredovanja radova, velikim razlikama u obimu sistema tokom otvaranja, razrade, eksploatacije i likvidacije, varijacijama u potrebama vazduha u ventilacionom sistemu i složenim međusobnim uticajima niza faktora.

2. VENTILACIONI HAZARDI

U opštem smislu ventilacionim hazardima mogu se smatrati faktori koji dovode do gubitka kvaliteta («*potrošnje*») vazduha, otežanog funkcionisanja ili prestanka rada ventilacije. Definišući ventilacione hazarde kao potencijalne opasnosti koje mogu dovesti do djelimičnog ili potpunog otkaza ventilacije, mogu se izdvojiti kategorije najčešćih izvora ugrožavanja ventilacije u metanskim podzemnim rudnicima uglja: *poremećaji stabilnosti usljed inverzije ili pojave dvosmjernih struja; gasodinamičke opasnosti (metanske trake i lokalno nakupljanje); smanjenje ili zatvaranje profila prostorija (obrušavanje, pritisak, gorski udar, bujanja gline, odlaganje materijala, instaliranja uređaja i opreme, protiveksplozivne brane i slično); generisanje prašine otkopavanjem, miniranjem i transportom; podizanje nataložene ugljene prašine gorskim udarom i eksplozijom; eksplozije gasova, eksplozivnih materijala i ugljene prašine; opasne i nedozvoljene koncentracije gasova; lebdeća i nataložena prašina; gubici vazduha na spojevima glavnih ili revirnih ulaznih i izlaznih vazdušnih struja, kroz ventilacione objekte, okolne stijene, ugljeni sloj i usljed neadekvatne upotrebe ventilacionih objekata; zastoji i nestabilnost u radu ventilatora; oksidacioni procesi i spontana upala uglja u ugljenom sloju, starom radu, zaštitnim stubovima i duž rasjednih površina; požari na električnim instalacijama, mašinskim sklopovima i podgradi; termalno opterećenje usljed toplote stijena, rada mašina i uređaja, prisustva ljudi, oksidacionih procesa, geotermalnih voda; opterećenje vlagom (isparavanje vode i efekt «*autokompresije*»); nedozvoljeni klimatski uslovi na radilištima; radijacija usljed prisustva radona ili drugih radioaktivnih elemenata; nakupljanje vode u prostorijama.*

U upravljanju i operativnoj kontroli ventilacije racionalno je funkcioniranje ventilacionog sistema osiguravati praćenjem indikatora kvaliteta i potencijalnih izvora opasnosti.

3. INDIKATORI KVALITETA VENTILACIONIH SISTEMA

Indikatori kvaliteta ventilacije mogu se kategorisati i grupisati ovisno o njihovom prisustvu i značaju u ventilacionom sistemu, odnosno riziku do koga nedopuštene vrijednosti ili stanja

indikatora mogu dovesti. Kako se rizik izvodi kao kombinirani pokazatelj vjerovatnoće pojavljivanja i posljedica ukoliko se opasnost realizira, to se na osnovu utvrđene vrijednosti rizika mogu kategorisati indikatori po njihovom značaju.

- 1) Projekat i stanje ventilacije
 - a) Usaglašenost projekta ventilacije, rudarskih projekata sa stanjem radova, pokrivenost budućeg razvoja radova i formalno odobrenje i revidovanje.
 - b) Gasonosnost ugljenih slojeva [m^3/t] i gasoobilnost [m^3/s].
 - c) Serijska ventilacija radilišta i ventilacione dijagonale u sistemu.
 - d) Gubici vazduha [%].
 - e) Uticaj prirodnog potencijala na ventilaciju.
- 2) Makroskopski pokazatelji
 - a) Zapreminski protok [m^3/s] i potencijal h [Pa] glavnih i pomoćnih ventilatora.
 - b) Eksploatacione karakteristike ventilatora $h=f(V)$ u regulacionom opsegu.
 - c) Radne tačke ventilatora u V - h dijagramu i ekvivalentni otvor jame $A[\text{m}^2]$.
 - d) Efektivna P_{ef} [kW] i ukupna P_{uk} [kW] snaga ventilatora.
 - e) Pouzdanost i stabilnost ventilacije.
- 3) Relativni pokazatelji ventilacionog sistema
 - a) Specifični protok po jediničnoj proizvodnji uglja [m^3/t].
 - b) Specifični protok po osnovu instalisane snage mašina i uređaja [m^3/W].
 - c) Specifična snaga po jediničnoj zapremini vazduha [kW/m^3].
 - d) Koeficijenti međusobne usaglašenosti ventilatora.
 - e) Relativna metanoobilnost [$\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{t}$ uglja].
 - f) Cijena jediničnog protoka vazduha [KM/m^3] i po toni proizvedenog uglja [KM/t].
- 4) Stanje ventilacionih prostorija i objekata
 - a) Neadekvatna ugradnja, oštećenja i ugroženost ventilacionih objekata radovima.
 - b) Zapreminski protok \dot{V} [m^3/s] i potencijalna razlika h [Pa] ispred i iza objekata.
 - c) Smanjenje poprečnog presjeka prostorije usljed nakupljanja vode, bujanja gline, djelovanje pritisaka, ruševine, naslaganog materijala, instalirane opreme i slično.
 - d) Izloženost radnika produktima gorenja i eksplozije.
 - e) Uticaj prolaska kroz ventilacione objekte na njihovo funkcioniranje.
- 5) Ventilacioni i klimatski parametri u prostorijama i na radilištima
 - a) Brzine vazdušnih struja v [m/s], profili A [m^2] i koeficijenti trenja vazduha.
 - b) Zapreminski \dot{V} [m^3/s] i maseni \dot{m} [kg^3/s] protoci vazduha u prostorijama.
 - c) Otpori [Ns^2/m^8], potencijali tačkaka p [Pa] i pad potencijala u ograncima Δp [Pa].
 - d) Gasni ekvivalenti ($\text{N}_{2\text{ekv}}$, $\text{CO}_{2\text{ekv}}$) i istrošenost vazduha I [%].
 - e) Efektivne temperature (ocjena klime kombiniranim pokazateljima) [$^\circ$].
 - f) Geotermiski stepen i temperatura stijena duž ventilacionih puteva.
 - g) Koncentracije zapaljivih i eksplozivnih gasova (CH_4 , H_2S , CO , H_2 i C_nH_m) [%].
 - h) Koncentracije otrovnih i zagušljivih gasova (CO , H_2S , SO_2 , NO_x) [%].
 - i) Koncentracija radioaktivnih gasova [%].
- 6) Gasodinamički režim vazdušnih struja
 - a) Indeks uslojavanja metana (pojava metanskih traka) Ba [-].
 - b) Reynoldsov broj, Re [-], režim strujanja i granični sloj.
 - c) Koncentracije metana u stropu i u antiklinalnim dionicama prostorija [%].
- 7) Separatna ventilacija
 - a) Odnos protoka separatnog ventilatora i protoka u dolaznoj prostoriji [%].
 - b) Oštećenja cjevovoda i instalacije za separatnu ventilaciju.
 - c) Recirkulacija na separatnim ventilatorima.
 - d) Udaljenost kraja cijevi separatnog ventilatora od čela radilišta [m].
 - e)

- 8) Ugljena prašina
 - a) Eksplozivnost ugljene prašine [g/m^3].
 - b) Zapaljivost i agresivnost ugljene prašine.
 - c) Koncentracije nataložene i lebdeće ugljene prašine [g/m^3].
 - d) Intenzitet izdvajanja ugljene prašine [g/s].
- 9) Spontana oksidacija i požari
 - a) Sklonost uglja ka spontanoj oksidaciji [$^{\circ}\text{C}/\text{min}$].
 - b) Dim, miris ili pojačano zagrijavanje vazduha.
 - c) Intenzitet izdvajanja i koncentracije CO_2 i CO u prostorijama i u starom radu.
 - d) Požarni indeksi (Grahamov indeks, Tricket-ov broj i drugi).
 - e) Relativni odnosi koncentracija u vazduhu $((\text{CO}+\text{CO}_2)/\text{O}_2; (\text{CO}+\text{CO}_2)/\text{CH}_4)$.
 - f) Koncentracije etilena i propilena (nastaju zagrijavanjem gasova).
 - g) Temperatura ugljenog sloja, okolnih stijena, električnih uređaja i instalacije.
 - h) Nataložena prašina na uređajima i dijelovima sklonih zagrijavanju.
 - i) Pojačano trenje pokretnih dijelova uređaja i opreme,
- 10) Organizacija službe i zaštitne mjere
 - a) Osposobljenst, popunjenost i opremljenost službe ventilacije.
 - b) Zadovoljava li rukovodioc ventilacije minimalne uslove za ovu dužnost.
 - c) Postoji li četa za spašavanje i osposobljenost za ventilacione manevre.
 - d) Procedure za postupanje, razumijevanje od strane radnika i primjena procedura.
 - e) Periodična kontrola ventilacije i vođenje evidencije.
 - f) Izvještavanje o neusaglašenosti, povišenim rizicima i otklanjanje nedostataka.
 - g) Stabilnost ventilacije i sekundarna dobava vazduha,
 - h) Evakuacija, skloništa, pomoć unesrećenim i komunikacija.
 - i) Pozicija u ventilacionom sistemu i stanja puteva dolaska i evakuacije radnika.
 - j) Uvježbanost radnika, korištenje mjerne tehnike i zaštitne opreme.
 - k) Uslovi, način i efektivnost inverzije vazdušne struje.
 - l) Isključenje elektro i dizel opreme pri povećanim koncentracijama gasova.
 - m) Vodene zavjese i prskalice za obaranje lebdeće ugljene prašine.
 - n) Zaštitna sredstva od resipabilne prašine za radnike.
 - o) Protiveksplozivne barijere za lokalizaciju eksplozija ugljene prašine.
 - p) Zaštita od neovlaštenog ili neželjenog ulaska u neventilirane zone.

4. OCJENA INDIKATORA I MJERE OSIGURANJA KVALITETA



U osiguranju kvaliteta rudničke ventilacije indikatori se mogu ocjenjivati u odnosu na normativno propisane vrijednosti i stanja, rizika o kojim se može cijeliti na osnovu indikatora, administrativnih, sigurnosnih ili na drugi način utvrđenih okvira.

Slika 2: Mjerenje brzine vazduha na difuzoru ventilatora

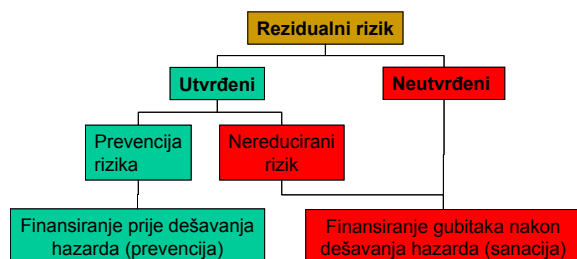
Načini na koji se iskazuju indikatori ovise o prirodi indikatora i mogućnostima mjerenja, odnosno uvida u stanje. Pojedine veličine se mogu direktno mjeriti i izražavati u numeričkim vrijednostima, računati kao kombinirani pokazatelj više faktora, a indikatori koji se ne mogu izraziti numerički, ili njihovo mjerenje nije izvodljivo, mogu se ocijeniti deskriptivno i kategorisati. Kako bi se ocjenom indikatora brzo došlo do ocjene na osnovu koje bi se moglo relevantno suditi o funkcionisanju ventilacije, racionalno je

informacije o njihovom stanju prevesti u određeni broj usporedivih kategorija, kako je prikazano na narednoj tabeli.

Tabela 1: Ocjena stanja ventilacionih indikatora

STANJE VENTILACIONOG INDIKATORA	OCJENA
Ne prati se ili nema značaja u konkretnom slučaju	0
Indikator ne zadovoljava, urgentna intervencija	1
Djelimično zadovoljenje, potrebna intervencija	2
Djelimično zadovoljava, preporučuje se intervencija	3
Uglavnom zadovoljava, intervencija po želji	4
Potpuno zadovoljava, nije potrebna intervencija	5

Potrebno je sažeto opisati oblasti u kojima indikator nije u potpunosti usklađen sa propisanim stanjem, te preporučiti vrstu intervencije za korekciju stanja. Neadekvatni indikatori ukazuju na potencijalnu opasnost. Značaj indikatora se procjenjuje po osnovu vjerovatnoće da se realizira opasno ili neželjeno stanje i posljedica do kojih realizacija neželjenog događaja može dovesti. U operativnoj kontroli i osiguranju kvaliteta rudničke ventilacije racionalno je



primjeniti model preliminarnе analize hazarda (PHA-*Preliminary Hazard Analysis*), po osnovu koga se mogu u relativno kratkom vremenu uočiti značajni izvori ugrožavanja i poduzeti mjere.

Slika 3: Ekonomski aspekti rezidualnog rizika

Za hazarde čiji su mehanizmi pojavljivanja poznati, te čija se vjerovatnoća pojavljivanja i posljedice mogu iskazati numerički mogu se primjeniti i druge metode upravljanja rizikom: analiza uticaja na operabilnost, analiza efekata hazarda, stablo događaja i grešaka, ekonomske, SWOT i druge analize. Rizici se ne mogu potpuno neutralisati, te se za na osnovu stepena prihvatljivosti i tolerancije stepena opasnosti može govoriti o rezidualnim rizicima. Generalno tehnike za opšte reduciranje nivoa rizika su: *eliminiranje uzročnika, izbjegavanje rizičnih aktivnosti, transfer rizika, evidentiranje i implementiranje iskustva, analiza «zamalo izbjegnutih opasnosti», globalno razmišljanje i lokalno djelovanje, podrška uprave, propisivanje standardnih procedura, optimizacija organizacione strukture, interna kontrola, disciplina, izvještavanje, trening, komunikacija i informisanje.*

U evidenciji indikatora rizika i poduzimanju interventnih mjera centralna je uloga službe za ventilaciju, koja je odgovorna za monitoring stanja i mjere za osiguranje kvaliteta ventilacije. Značajna mjera je i obuka radnika i jačanje svijesti o potrebi izvještavanja o postupcima i promjenama koje mogu ugroziti funkcioniranje ventilacije. Mjere nadzora sprovode upravljačke strukture preduzeća i inspeksijski organi, koji imaju ovlaštenja izdati naloge za poduzimanje zaštitnih mjera, obustavu radova i evakuaciju radnika u slučaju neprihvatljivih nivoa rizika ili nedozvoljenih stanja u ventilacionom sistemu.

Kako propisima u BiH nije definirana obaveza provođenja mjera za osiguranje kvaliteta analizom rizika, promjena pristupa u osiguranju kvaliteta ventilacije ovisit će o poslovnoj politici.

Tabela 2: Kombiniranje vjerovatnoće pojavljivanja hazarda i posljedice

Vjerovatnoća događaja		Ocjena skale uticaja (posljedica)				
		Beznačajane	Male	Srednje	Značajane	Katastrofalne
		1	2	3	4	5
NIVO RIZIKA						
Vrlo vjerovatan	A	Visoki	Visoki	Ekstremni	Ekstremni	Ekstremni
Vjerovatan	B	Srednji	Visoki	Visoki	Ekstremni	Ekstremni
Moguć	C	Niski	Srednji	Visoki	Ekstremni	Ekstremni
Malo vjerovatan	D	Niski	Niski	Srednji	Visoki	Ekstremni
rijedak	E	Niski	Niski	Srednji	Visoki	Visoki

Primjena principa upravljanja rizicima u osiguranju kvaliteta ventilacije podzemnih rudnika uglja umjesto tradicionalnog normativnog pristupa (zadovoljiti propisane uslove) ima niz prednosti, među kojim posebno treba istaći:

- koncentraciju mjera za poboljšanje na indikatore koji prednjače u težini rizika,
- obuhvatanje znatno šireg opsega ventilacionih hazarda i definiranje kvaliteta kao «bezotkaznog» ili «rada bez posljedica», u odnosu na tradiciionalni pristup zadovoljenja propisanih vrijednosti i
- mogućnost komparativne analize različitih objekata ili različitih stanja istog objekta.

Od velike je važnosti da se preliminarnom analizom hazarda kategoriju pojedine opasnosti po njihovom značaju i indikatori na osnovu kojih će se hazardi sa najvećim pripadajućim rizicima pratiti.

5. LITERATURA

- [1] Improving Mine Safety Technology and Training: Establishing U.S. Global Leadership, Mine Safety Technology and Training Commission September 2006
- [2] DeRosa, M.I. (2004), Análisis of Mine Fires for All U.S. Underground and Surface Coal Mining Categories: 1990-1999, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service,
- [3] DOE Principles for Using Risk Analysis, US Department of Energy – Office of Environmental Management, Web reference www.em.doe.gov/irm/principl.html, Jul 2004
- [4] Risk Management Guidance for Health, Safety and Environmental Security under Extraordinary Incidents, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 2004
- [5] Atsuko Tanaka, Risk Management in Mining Industry, JICA text - NIRE Safety Engineering Department, Tsukuba Japan, 1999
- [6] Edin Delić, Abdulah Bašić, Rijad Šišić; Concept of Risk Management in Underground Coal Mining, Naučna konferencija „Procjena profesionalnog rizika i zaštita», Banja Luka, 2004