

EKONOMSKA KOMISIJA ZA EVROPU  
TRŽIŠNIM PARTNERIMA ZA METAN

**Praktične smernice za efikasnu  
drenažu i upotrebu metana u rudnicima uglja**

ECE ENERGETSKA SERIJA № 31



UJEDINJENE NACIJE,  
Njujork i Ženeva, 2010.

## Napomena

Upotrebljene oznake i prezentacija materijala u ovoj publikaciji ne impliciraju izražavanje bilo kakvog mišljenja od strane Sekretarijata Ujedinjenih Nacija u pogledu pravnog statusa bilo koje zemlje, teritorije, grada, ili oblasti, ili njihovih organa vlasti ili ticanja određivanja granica i državnih granica.

Spominjanje bilo koje firme, licenciranog procesa ili komercijalnih produkta ne podrazumeva odobrenje Ujedinjenih Nacija.

PUBLIKACIJA UJEDINJENIH NACIJA
Broj prodaje № R.10.II.R.2
ISBN 978-92-1-117018-4
ISSN 1014-7225

Autorsko pravo © Ujedinjene Nacije 2010

Sva prava zadržana širom sveta

## Predgovor

Ugalj je bio značajan izvor svetske proizvodnje primerne energije tokom poslednje dve decenije i svet će nastaviti da zavisi o uglju kao izvoru energije u doglednoj budućnosti. Metan (CH<sub>4</sub>) koji se oslobađa tokom izrade uglja, stvara nebezbedne uslova za rad u mnogim podzemnim rudnicima sirom sveta, sa ljudskim žrtvama i nedopustivim posledicama mnogih nezgoda vezanih za metan. Efikasno upravljanje gasom, međutim, nije ograničeno na brigu za bezbednost. Metan ispušten u atmosferu, posebno iz drenažnog sistema, predstavlja zauvek izgubljen izvor energije. Rezultirajuća emisija takođe doprinosi klimatskim promenama. Srećom, rešenja za ove izazove mogu da se nađu u jednom mahu, koristeći delotvoran, koordinirani odgovor.

Iako je uvažena literatura o upravljanju metanom široko dostupna stručnjacima rudarstva, jedinstven izvor informativnih ali dostupnih smernica za više menadžere, predhodno nije postojao. *Praktične smernice za efektivnu drenažu i upotrebu metana u rudnicima uglja* su namenjene da popune tu krucijalnu prazninu. Preporučeni principi i standardi za izdvajanje metana rudnika uglja (CMM) i njegova upotreba, pokrenuli su jasnu i temeljnu prezentaciju da bi donosiocima odluka snabdeli sa solidnom bazom rezumevanja preko koje će da određuju politiku i komercijalne odluke. Verujemo da je takvo znanje od ključne važnosti za postizanje nulte smrtnosti i rizika od eksplozije dok minimizira uticaj CMM-a po okolinu. Promena mora početi na vrhu.

Priručnik dokument takođe može biti korišćen od strane studenata i tehničkih stručnjaka kao uvod u ključne principe upravljanja metanom i preporuke. Naime, kao deo ove celokupne inicijative, nekoliko organizacija je financiralo preispitivanje prvobitnog *Priručnika za drenažu gasa*, kao konačne tehničke preporuke, objavljene od strane izdavača "Verlag Glückauf" za Komisije Evropskih Zajednica 1980.

Želimo da naglasimo da Priručnik ne zamenjuje ili subtiduira nacionalno ili međunarodno pravo ili druge pravno obavezujuće instrumente. Ovde navedeni principi imaju za cilj da daju smernice kako bi upotpunili postojeće zakonske i regulatorne okvire i da podrže razvoj sigurnije i efikasnije prakse gde industrijska praksa i regulacija i dalje evolviraju.

Saradnici na ovom projektu su dali svoje vreme dobrovoljno i samostalno u želji da povećaju bezbednosno stanje u rudnicima uglja. U svetlu svih nesreća i uz sećanje na sve žrtve iz prošlosti, autori izrazavaju nadu da će njihov rad doprineti povećanju sigurnosti operacija u rudnicima uglja.

Februar 2010

Ujedinjene Nacije Ekonomska Komisija za Evropu

Tržisnim Partnerima za Metan

# Sadržaj

Predgovor .....	
Sadržaj .....	
Priznanja .....	
Akronimi i Skracenice .....	
Rečnik pojmova .....	
Rezime .....	
Poglavlje 1. Uvod .....	
Ključne poruke .....	
1.1 Ciljevi ovog Priručnika Dokumenta .....	
1.2 Pitanja .....	
1.3 Izdvajanje Gasa, Korišćenje i sniženje .....	
Poglavnje 2. Osnovi kontrole gasa .....	
Ključne poruke .....	
2.1 Ciljevi kontrole rudnika gasa .....	
2.2 Pojava opasnosti od gasa .....	
Paljenje eksplozivne mesavine metana .....	
2.3 Smanjenje rizika od eksplozije .....	
2.4 Regulatorni i upravljački principi .....	
Efektivni regulatorni bezbednosni okvir .....	
Primena .....	
Dozvoljene koncentracije gasa za bezbedne uslove za rad .....	
Bezbedan transport i korišćenje gasa .....	
Regulacije za smanjenje rizika od paljenja .....	
Poglavnje 3. Pojava, pustanje i predviđanje emisije gasa u rudnicima uglja.....	
Ključne poruke .....	
3.1 Uvod .....	
3.2 Pojave gasa u savovima uglja .....	
3.3 Proces otpustanja gasa .....	

3.4	Relativna gasovitost rudnika uglja .....	
3.5	Rezumevanje karakteristike emisije gasa u rudnicima uglja .....	
3.6	Merenje in situ sadržaja gasa u uglju .....	
3.7	Praktična procena tokova plina u rudnicima uglja .....	
	<b>Poglavlje 4. Ventilacija rudnika .....</b>	
	Ključne poruke .....	
4.1	Izazovi u pogledu ventilacije .....	
4.2	Ključne karakteristike dizajna ventilacije .....	
4.3	Ventilacija gasnih radnih površina .....	
4.4	Potrebna snaga za ventilacioni sistem .....	
4.5	Ventilacija ugljenih naslova .....	
4.6	Nadgledanje ventilacije .....	
4.7	Kontrola ventilacije .....	
	<b>Poglavnja 5. Drenaža metana .....</b>	
	Ključne poruke .....	
5.1	Drenaža metana i njeni izazovi .....	
5.2	Osnovni principi prakse drenaže metana zaposlenih širom sveta .....	
5.3	Osnove pred-drenaže .....	
5.4	Osnove post-drenaže .....	
5.5	Razmatranja dizajna sistema drenaže metana .....	
5.6	Podzemna infrastruktura gasovoda .....	
5.7	Nadgledanje sistema drenaže gasa .....	
	<b>Poglavlje 6. Korišćenje i smanjenje metana .....</b>	
	Ključne poruke .....	
6.1	Rudnici uglja metana i ublažavanje klimatskih promena .....	
6.2	Rudnici metana kao izvor energije .....	
6.3	Koristiti opcije .....	
6.4	Smanjenje i korišćenje drenaže metana .....	

6.4.1 Srednja do visoka koncentracije metana (CMM) .....	
6.4.2 Niska koncentracija ispuštenog metana .....	
6.4.3 Tehnologije prečišćavanja za razblaživanje metana iz drenažnih sistema ...	
6.4.4 Plameće .....	
6.5 Smanjenje ili korišćenje nisko-koncentrovane ventilacije vazduha metana (VAM).	
6.6 Nadgledanje metana .....	
<b>Poglavlje 7. Troškovi i ekonomska pitanja .....</b>	
Ključne poruke .....	
7.1 Poslovni uslovi za drenažu metana .....	
7.2 Uporedni troškovi drenaže metana .....	
7.3 Ekonomije korišćenja metana .....	
7.4 Financiranje uglja i drugi podsticaji .....	
7.5 Mogućnosti troškova korišćenja .....	
7.6 Troškovi zaštite okoline .....	
<b>Poglavlje 8. Zaključci i rezime za donosiocce političkih odluka .....</b>	
<b>Poglavlje 9. Studije slučaja .....</b>	
Studija slučaja 1: Postizanje planiranje proizvodnje uglja iz gasa, povlačnje Longwall sa teškim <u>Strate stresom</u> i spontano sagorevanje sklono ugljenom sloju – Ujedinjeno Kraljevstvo .....	
Studija slučaja 2: Visoke performanse operacije Longwall u oblastima sa visokom emisijom gasa – Nemačka .....	
Studija slučaja 3: Visoke performanse operacije Longwall u oblastima sa visokom emisijom gasa – Australija .....	
Studija slučaja 4: Smanjenje rizika od eksplozije u zatvorenim i stubnim rudnicima –Južna Afrika	
Studija slučaja 5: Razvoj CMM strujne Co- generacijske/emisione šeme smanjenja –Kina	
Studija slučaja 6: VAM –Kina	
Studija slučaja 7: Australija	
Prilog 1. Poredjenje metoda drenaže gasa .....	
Napomene .....	
Dodatni izvori .....	

## Priznanja

### Sponzorske organizacije

**Ekonomska Komisija za Evropu Ujedinjenih nacija (UNECE)** je jedna od pet Regionalnih Komisija UN-a i pruža forum preko koga se 56 država Severne Amerike, Zapadne, Centralne i Istočne Evrope kao i Centralne Azije okupljaju da bi odredile sredstva svoje ekonomske saradnje. Osnovne oblasti UNECE-ovih aktivnosti su: ekonomska saradnja, okolina i ljudska naselja, statistika, održiva energija, trgovina, industrija i razvoj preduzeća, drvo i transport. UNECE teži svojim ciljevima kroz analizu politike, razvoj konvencija, regulacije i standarda i kroz pružanje tehničke podrške. [www.unece.org/energy/se/cmm.html](http://www.unece.org/energy/se/cmm.html)

**Tržišno partnerstvo za metan (M2M)** je međunarodno javno-privatno partnerstvo sa 30 država partnera, plus Evropska Komisija, osnovano 2004. godine i fokusirano na promovisanje isplativog smanjenja emisije metana preko obnove i upotrebe četiri osnovna sektora upotrebe metana: rudarstvo uglja, deponije, sistemi nafte i gasa i poljoprivreda. Podkomitet za ugalj je ujediniio ključne eksperte za obnovu ugljenih rudanika metana i upotrebu razmene informacija o državnih tehnologija i prakse putem brojnih radionica, treninga, studijskih putovanja i inicijativa za izgradnju kapaciteta. [www.methanetomarkets.org](http://www.methanetomarkets.org)

### Struktura

Ovaj document je zamišljen od strane Upravnog Odbora, koji je pružio direktive i ukupnu viziju i izdat je od strane Tehničkog Ekspertskog Panela, sačinjen od pet globalno renomiranih eksperata iz oblasti podzemne ventilacije i drenaže metana iz rudnika uglja. Nacrt dokumenta je prvo pregledan od strane *Savetodavne interesne grupe* da bi se osiguralo da poruke budu jasne i efektivne za više donosiocje odluka pre nego što prođe kroz formalni tehnički process revizije.

### Izvršni upravni odbor

- Pamela Franklin, kopredsednik, M2M Podkomitet za ugalj
- Roland Mader, Potpredsednik, UNECE Ad Hoc Grupe Ekspertata za Ugljene Rude Metana
- Raymond C. Pilcher, Predsednik, UNECE Ad Hoc Grupe Ekspertata za ugljene Rude Metana
- Carlotta Segre, Sekretar, UNECE Ad Hoc Grupe Ekspertata za ugljene Rude Metana
- Clark Talkington, Bivsi Sekretar, UNECE Ad Hoc Ekspertata za ugljene Rude Metana

### Grupa tehničkih eksperata

- Bharathe Belle, Anglo American
- David Creedy, Sindicatum Carbon Capital Ltd.
- Erwin Kunz, DMT GmbH & Co. KG
- Mike Pitts, Green Gas International
- Hilmar von Schoenfeldt, HVS Consulting

### Savetodavna interesna grupa

- Yuriy Bobrov, Udruženje Donbass Rudarskih Gradova (Ukrajina)
- Graeme Hancock, Svetska Banka
- Martin Hahn, Međunarodna Organizacija Rada
- Hu Yuhong, Državna Administracija za Bezbednost Radnika (Kina)

- Sergei Shumkov, Ministarstvo Energetike (Ruska Federacija)
- Ashok Singh, Centralni Institut za Planiranje i Dizajd Rudarstva (Indija)

### **Tehnička grupa jednakih**

- John Carras, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (Australija)
- Hua Guo, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (Australija)
- Li Guojun, Tiefsa Coal Industry Ltd. (Kina)
- Glyn Pierce Jones, Trolex Ltd. (UK)
- B.N. Prasad, Central Mine Planning & Design Institute (Indija)
- Ralph Schlueter, DMT GmbH & Co. KG (Nemacka)
- Karl Schultz, Green Gas International (UK)
- Jacek Skiba, Central Mining Institute of Katowice (Poljska)
- Trevor Stay, Anglo American Metallurgical Coal (Australija)
- Oleg Tailakov, Međunarodni Centar za istraživanje Uglja i Metana, Uglemetan (Ruska Federacija)

Kao dodatak uz gore pomenute, sponzorska organizacija želi da iskaže zahvalnost Luke-u Warren-u, koji je igrao integralnu ulogu u inicijalnoj fazi ovog projekta.



## AKRONIMI I SKRAĆENICE

CBM - Naslaga uglja metana

CDM - Mehanizam za čisti razvoj

CERs - Sertifikovano smanjenje emisije

CFRR - Katalitički reaktori za ukidanje protoka

CH<sub>4</sub> – Metan

CMM – Metan rudnika uglja

CMR – Katalitički monolitni reaktor

CNG – Kompresovani prirodni gas

CO<sub>2</sub> – Ugljen dioksid

CO<sub>2e</sub> – Ekvivalent ugljen dioksida

ERPA – Ugovor o kupovini za smanjenje emisije

ERUs – Jedinica smanjenja emisije

ESMAP – Program za pomoć pri epravljanju energetskim sektorom

GHG – Gas staklene bašte

GWP – Potencijal globalnog zagrevanja

IBRD – Međunarodna banka za obnovu i razvoj

IC – Unutrašnje sagorevanje

I&M - Inspekcija i održavanje

JI – Zajednička implementacija

kWh – Kilovat sati

LNG – Tečni prirodni gas

l/s – Litara po sekundi

m – Metar

m/s – Metara u sekundi

m<sup>3</sup>/d – Kubnih metara na dan

m<sup>3</sup>/s – Kubnih metara u sekundi

mD – Milidarci (U opstoj upotrebi ekvivalentno sa 10<sup>-3</sup> (µm)<sup>2</sup>)

MRD – Srednji radius bušenja

MSA – Molekularna rešetna adsorpcija

Mt – Million (10<sup>6</sup>) tona

Mtpa – Miliona tona godišnje

MWe – Megavat kapaciteta električne energije

Nm<sup>3</sup> – Normalni kubni metri

PSA – Oscilatorna adsorpcija pritiska

scfm – Standardna kubna stopa po minuti

t – Tona (numerički)

t/d – Tona na dan

TFRR – Termalni protod preokreta reaktora

TRD – Uzak radius bušenja

UNECE – Ekonomska Komisija za Evropu Ujedinjenih Nacija

UNFCCC – Okvirna Konvencija Ujedinjenih Nacija o klimatskim promenama

VAM – Metan iz ventilacionog vazduha

VERs – Verifikovano smanjenje Emisije

USBM – Biro rudnika Sjedinjenih Država

## Rečnik Pojmova

Unutar industrije uglja i ruda, i dalje postoji konfuzija oko pojmova i skraćenica korišćenih unutar i između različitih jurisdikcija. Kao dodatok ovde svrstanih pojmova, UNECE je pripremila *Rečnik rudnika metana uglja definicija i pojmova*, koji je obimniji i naglašava kako se terminologija koristi u različitim regionima.

([www.unece.org/energy/se/pdfs/cmm/cmm4/ECE.ENERGY.GE.4.2008.3\\_e.pdf](http://www.unece.org/energy/se/pdfs/cmm/cmm4/ECE.ENERGY.GE.4.2008.3_e.pdf))

**Plinski rezervoar** – Raspored vrata koji omogućava prolaz iz jednog dela rudnika ventilacionog kola u drugi bez izazivanja kratkog spoja.

**Pomoćna ventilacija** – Proporcija glavne ventilacije struje usmerene u pravcu naslova (tj. ulaza) pomoću pomoćnih ventilatora i kanala.

**Povratak nazad** – Privremeni aranžman za ventilaciju formiran krajem povratka na U-ventilirani longwall da prebaci proporciju vazduha po strani da bi se obezbedio pristup bušenju drenaže gasa i da bi se sprečilo da visoka koncentracija stožnih gasova zadire na stranu.

**Bleeder vratilo** – Vertikalno vratilo preko koga gasom natovareni vazduh prazni iz radne zone.

**Slepi naslov** – Razvoj kolovoza sa jednim ulazom koji zahteva pomoćnu ventilaciju.

**Tabla i stub (soba i stub)** – Metoda rudarstva u kojoj se ugalj izvlači iz serija naslova, koji su međusobno povezani, ostavljajući ne-rudirani ugaljeni stub da podrži krov.

**Efikasnost (drenaže) sakupljanja** – Proporcija metana (po zapremini) sakupljenog u sistemu drenaže metana, relativan prema ukupnoj količini oslobođenog gasa. Oslobođeni gas obuhvata sumu dreniranog gasa i gasa emitovanog u ventilacioni vazduh rudnika. Obično izražena u procentima, efikasnost sakupljanja (drenaže), može biti determinisana za pojedinačni longwall panel, ili za celokupan rudnik.

**Prednji ugljeni gas** – Gas oslobođen iz radnog šava kroz rad mašine za seču uglja.

**Naslaga uglja metan (CBM)** – generički izraz za gas bogat metanom, koji se prirodno javlja u ugljenim šavovima koji obuhvata od 80% do 95% metana sa niskom proporcijom etana, propana, nitrogena i ugljen –dioksida. U uobičajnoj međunarodnoj upotrebi, ovaj termin se odnosi na metan iz ne obrađenih šavova uz upotrebu površinskih bušotina.

**Metan Rudnika Uglja (CMM)** – Sakupljanje gasa u radnim rudnicima uglja kroz razumevanje tehnika drenaže metana. Gas sadrži mešavinu metana i drugih ugljovodonika i vodene pare. Često je razređen sa vazduhom i povezanim oksidacionim produktima zbog neizbežnog curenja gasa drenažne bušotine ili galerije preko rudarskih indukovanih fraktura i takođe zbog curenja vazduha na nesavršene spojnice u sistemima podzemnih cevovoda. Svaki gas sakupljen ispod zemlje, bilo drenažiran unapred ili nakon rudarenja, i svaki gas drenažiran iz površine stog bunara, je uključen u ovu definiciju. Pre -rudirani drenirani CMM može biti najčistiji.

**Strani gas** – emisija gasa različita od prednjeg ugljenog gasa.

**Rudnički gas** – alternativni naziv za CMM.

**Drenaža gasa** – metoda sakupljanja prirodno nastalog gasa u ugljenim šavovima radi prevencije ulaska u vazduh. Gas može biti uklonjen iz ugljenih šavova unapred iz rudnika upotrebom tehnike pre-drenaže i iz ugljenih šavova distribuiranih putem procesa ekstrakcije upotrebom post drenažne tehnike. Često se pominje kao **drenaža metana** ako je metan glavna gasna komponenta koja se sakuplja.

**Stog (Goaf) (u SAD korišćen termin: gob)** – slomljena, propusna zamlja gde je ugljen bio ekstrahovan putem longwell rudarenja uglja i dozvoljeno je urušavanje krova, lomeći tako slojeve iznad nje, u manjoj meri, ispod šava na kome se radi. Termin “gob” se generalno koristi u Sjedinjenim Državama, svuda ostalo se koristi termin “goaf” (stog).

**Drenaža metana** – Vidi **drenaža gasa**.

**Prirodni gas** – obično se odnosi na gas ekstrahovan iz geoloskih slojeva drugačijih, od ugljenih šavova (npr. iz “konvencionalnih” gasnih rezervi). Gas bi mogao biti sastavljen uglavnom iz metana i može originalno preći iz izvora ugljenih šavova.

**Pre drenaža (drenaža pre rudarenja)** – ekstrakcija gasa iz uglja pre rudarenja.

**Post drenaža (drenaža posle rudarenja)** – ekstrakcija gasa koja nastaje kao posledica rudarenja.

**Respirabilna prašina** – mikroskopske čestice prašine koje mogu da uđu u ljudska pluća i oštete ih.

**Metana iz ventilacionog vazduha (VAM)** – metan emitovan iz ugljenih šavova koji ulazi u ventilacioni vazduh i iscrpljuje se iz ventilacionog vratila pri niskoj koncentraciji, obično u opsegu između 0.1% do 1.0% po zapremini.

## Sažetak

Svet se uzdao u uglj kao bitan deo proizvodnje svoje primarne energije jos od Industrijske Revolucije. Najveće svetske indusrijalizovane ekonomije, ekonomije u nastanku i u tranziciji –i, dakle, globalna ekonomija –biće zavisne o uglju kao izvoru energije u doglednoj budućnosti. Danas uglj snabdeva 25% globalne primarne energije, 40% globalne struje i skoro 70% svetske čelične i aluminijumske industrije. Međunarodna Agencija za Energiju (IEA) predviđa da će nove ekonomije doživeti rast potražnje za energijom za 93% do 2030, uglavnom zbog rasta tražnje u Kini i Indiji, i uglj se očekuje da bude vodeće gorivo da zadovolji rastuće potrebe (IEA, 2009).

Sa kontinuiranom zavisnošću o proizvodnji uglja, vađenje uglja se očekuje sa sve više izazova u mnogim zemljama sveta, jer su plitke reserve iscrpljene i dublji i gasovitiji šavovi su rudirani. Ipak, društva traže i zahtevaju bezbednije uslove za rad u rudnicima, veće upravljanje prirodnim resursima životne sredine od industrije uglja. Aplikacija najbolje prakse za drenažu metana i upotrebu je kritička u nameri da smanji nesreće vezane za metan i eksplozije koje sve suviše često prate rudarstvo uglja, dok doprinose zaštiti sredine kroz redukciju emisije gasa staklene bašte (GHG).

### **Metan rudnika uglja postavlja bezbednosne i ekološke izazove**

U globalnoj industriji, nacionalne vlade, sindikati i zagovornici bezbednosti radnika su zabrinuti da je učestalost i intenzitet eksplozija metana, posebno u ekonomijama u nastanku, nedopustivo visoka. Dobre prakse u rudarstvu moraju biti prebačene na sve zamlje sveta da bi se obezbedilo da se rizicima upravlja profesionalno i efikasno. Ni jedan rudnik, čak i najrazvijenijim zemljama, nije bezbedan od rizika. Ne vezano za lokaciju ili uslove rudarstva, moguće je značajno smanjiti rizik nesreća matana.

Matan je eksplozivni gas u rasponu od 5% do 15% metana u vazduhu. Njegov transport, sakuljanje, ili upotreba unutar ovog raspona, ili unutar faktora sigurnosti od oko 2.5 puta manje eksplozivnog limita i bar dva puta većeg limita, se generalno smatra neprihvatljivim zbog inherentog rizika od eksplozije.

Efektivno upravljanje rizikom metana u rudnicima uglja može takođe doprineti redukciji ili minimiziranju emisije GHG. Rudnici uglja su značajni izvori emisije metana, potenta GHG sa potencijalom globalnog zagrevanja (GWP) od preko 20 puta većim od ugljen dioksida (IPCC, 2007). Metan iznosi 14% od globalnih antropogenih emisija GHG, i rudnici uglja ispuštaju 6% od ukupne antropogene emisije metana, ili ekvivalento 400 miliona tona ugljen dioksida (MtCO<sub>2e</sub>) godišnje. CMM emisije su projektovane da se povećaju tokom 2020. (Methane to Markets, 2008; IPCC 2007; EPA, 2006a) sa procenama od čak 793 MtCO<sub>2e</sub> do 2020. (ESMAP, 2007).

### **Pojava metana i kontrola**

Metanom bogat gas, koji generalno sadrži od 80% do 95% metana u podzemnim dubinama rudnika, se javlja prirodno u ugljenim šavovima/slojevima i oslobađa se kao CMM kada su slojevi uglja uzburkani rudarskim aktivnostima. CMM jedino postaje zapaljiv i eksplozivan ukoliko mu se dozvoli da se pomeša sa vazduhom.

Emisije velikih zapremina ugljen dioksida se takođe javljaju u rudnicima uglja u nekim geoloskim sredinama (npr. Australija, Južna Afrika, Francuska i Centralna Evropa). Ovaj ugljeni sloj ugljen dioksida može imati vaznu implikaciju za sveukupne strategije upravljanja rudnicima.

Dobra bezbednosna praksa u rudnicima uglja jeste da umanju rizik od eksplozije, kroz sprečavanje nastanke eksplozivnih smesa, praktičnim i bržim razblaživanjem do sigurnih koncentracija (npr. kroz

ventilacione sisteme). Tamo gde su tokovi gasa toliko visoki da prevazilaze kapacitete ventilacionih sistema rudnika kako bi se osiguralo adekvatno razblazivanje metana u vazduhu rudnika, gas bi trebalo da se sakuplja preko drenažnog sistema rudnika, pre nego što dospe u vazdušni prostor rudnika.

Dobra praksa za sistem drenaže metana rudnika predstavlja, kako selekciju sakupljanja održivog gasa, tako i pravilnu implementaciju i eksekuciju drenaže sistema rudnika. Nadalje će dobra praksa osigurati da se CMM može bezbedno sakupiti, transportovati i (po potrebi) koristiti, pri koncentraciji najmanje dva puta tolikoj kolika je gornja granica eksplozivnosti (npr. od ili preko 30% metana).

### **Regulatorni pristupi kontroli metana**

Pristup procene rizika za minimiziranje rizika od eksplozije –u kombinaciji sa jakim sprovođenjem propisa robustnih ventilacija i korišćenje sigurnosnih regulacija –može dovesti do znatnog poboljšanog kvantiteta i kvaliteta sakupljenog gasa.

Nadalje, uspostavljanje i sprovođenje bezbednosnih propisa koji regulišu vađenje gasa, transport i korišćenje će ohrabriti veći standard drenaže metana, povećati čistu proizvodnju energije i veću redukciju emisije.

### **Predviđanje podzemnog ispuštanja metana**

Tokovi gasa u podzemne rudnike uglja pod normalnim uslovima stacioniranog stanja su relativno predvidivi u određenim geološkim i rudarskim uslovima, iako postoje određene varijacije od zemlje do zemlje. Manjak pouzdanih metoda predviđanja emisije gasa za dubinsko i više-slojno rudarenje, nastavlja da bude značajan izazov zbog složenih rudarsko-indukovanih interakcija između slojeva, podzemnih voda i gasova. Ipak, proverene metode za projektovanje tokova gasa, sakupljanja gasa, zahteva za ventilaciju i korišćenje potencijala su široko dostupne i treba da se rutinski koriste u planiranju rudnika.

Po samoj svojoj prirodi, neuobičajene emisije i izlivni događaji, nisu lako predvidivi, ali uslovi pod kojima nastaju su razumljivo dobro poznati. Zbog toga dobre prakse koje slede, omogućuju efikasnije upravljanje tim rizicima.

Svaka rudarska aktivnost može ponekad da poremeti susedne rezervoare prirodnog gasa, dovodeći do neželjenog ispuštanja metana, koje može biti dvostruko od onog očekivanog iz ugljenog sloja. Takve situacije mogu biti identifikovane u ranim fazama, poređenjem izmerenih i očekivanih podataka.

### **Uloga ventilacionih sistema**

Najveća stopa vađenja uglja koja se može bezbedno postići na gasovitu radnu ugnjenu površinu, određuju pre svega u kombinaciji dva faktora: 1. kapacitet ventilacionog sistema rudnika da razredi gasovite zagađujuće materije do prihvatljivih koncentracija, i, 2. efikasnost drenažnog sistema rudnika.

Operativni troškovi su ključni pokretač u projektovanju opšte šeme degasifikacije rudnika. Snaga koja se koristi za snabdevanje rudnika ventilacijom spada među najskuplje operacione troškove u rudniku, proporcionalna je protoku vazduha zapremine na kub. Zato uvođenje sistema drenaže gasa –ili povećanje njegove efikasnosti –često predstavlja isplativiju opciju od povećanje zapremine vazduha za ventilaciju.

## **Drenaža metana**

Svrha drenaže metana jeste sakupljanje gasa visoke čistoće iz svojih izvora pre nego što uđe u vazdusni prostor rudnika. Iz strogo regulatorne perspective, samo dovoljno gasa je potrebno da bude sakupljeno da bi se obezbedilo, da kapacitet ventilacije vazduha da rablaži gasovite zagađivače, nije prekoračena. Međutim, postoji jaki razlog za maksimiziranje sakupljanja gasa, da bi se postiglo poboljšavanje bezbednosti, zaštita životne sredine i obnova energije.

Metan može biti sakupljen pre i posle rudarenja preko pre- ili post- drenažnih tehnika. Pred-drenaža je jedini način smanjenja protoka gasa iz rudiranih slojeva. Iz tog razloga, pred-drenaža je posebno važna ako je sloj ekstrahovan iz glavnog izvora emisije gasa, ali je generalno moguće samo slojevima srednje i visoke propustljivosti. Post drenažni metod podrazumeva presretanje metana koji je ispušten prilikom uznemirenja (poremećaja) rudnika pre nego što uspe da uđe u vazdušni prostor rudnika. Post-drenažne tehnike sve podrazumevaju pristupanje zoni uznemirenja (poremećaja) iznad, -a i ponekad ispod –radenog ugljenog šava. Post drenaža može podrazumevati bušenje na površini, ili ispod zemlje.

Niska efikasnost sakupljanje (gasa) drenažnog sistema i prekomerni prodor vazduha u radove rudnika rezultira iz selekcije neodgovarajućih drenažnih metoda i loše primene ovih metoda. Ovo, za uzvrat, negativno utiče na transport gasa i njegovo korišćenje, proizvodeći koncentraciju gasa koja ponekad nije na nivou one koja se smatra sigurnom (npr. ispod 30% metana).

Perforirani sistemi za drenažu metana mogu biti značajno unapređenje kroz kombinovanje pravilne instalacije i održavanja, redovno praćenje i sistematično bušenje.

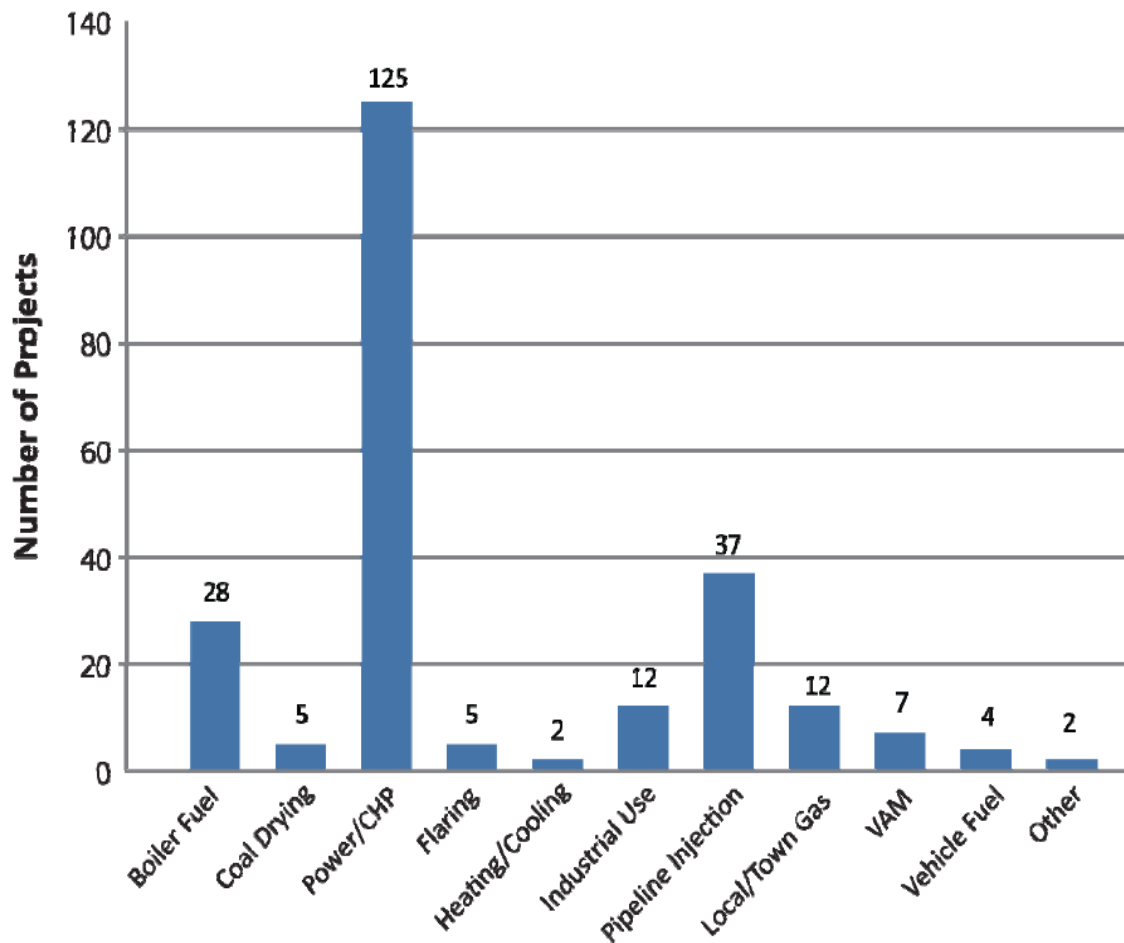
Postoji jak poslovni razlog za instaliranje i operativnu visoku efikasnost sistema drenaže gasa metana. Uspešna kontrola metana je ključni faktor za postizanje profitabilnosti gasnih podzemnih rudnika uglja.

Bazirano na iskustvu ugljenih rudnika širom sveta, investicija u “dobre prakse” sistema drenaže gasa rezultira sa manje problema sa zastojećima emisije gasa, bezbednije okruženje u rudarstvu i mogućnost da se koristi više gasa i smanje emisije.

## **Korišćenje i smanjenje metana**

Sakupljeni CMM je čisti izvor energije za koji postoje raznovrsne primene. Slika ES-1 sumira distribuciju poznatih CMM projekata koji posluju širom sveta, u razvoju, planirani ili predhodno rađeni. Ove cifre se zasnivaju na bazi podataka od preko 240 projekata širom sveta, kompletiranih od strane Tržisnih Partnera za Metan. Kako cifre pokazuju, električna energija, prirodno ubrizgavanje gasovoda i kotlovi, dominantni su tipovi projekata (bazirano na broju projekata).

**Slika ES-1 Distribucija upotrebe CMM u globalnim projektima.** Ova slika pokazuje totalni broj CMM projekata prijavljenih Metanu za Tržiste, koji su aktivni, ili pod globalnim razvojem, na osnovu tipa krajnje upotrebe.



(Izvor: Tržišni Partneri za Metan, 2009)

Tehnologije prečišćavanje su razvijene i intenzivno korišćene (npr. u Sjedinjenim Državama) da uklone sve nečistoće iz visoko-kvalitetnog CMM, tipično proizvedenog iz pre-drenaže, da zadovolje stroge standarde kvaliteta gasovoda (EPA 2009). Za mnoge druge krajnje korisnike aplikacije gasa, visoki troškovi vezani za prečišćavanje gasa mogu biti nepotrebni i mogu biti izbegnuti povećanjem standarda podzemne drenaže metana.

Sa odgovarajućom opremom i procedurom, neiskorišćeni drenirani gas, može biti bezbedno izložen da minimizira emisije GHG. Sagorevanje konvertuje metan koji ima GWP više od 20 u ugljen dioksid, koji ima GWP (IPCC, 2007).

Metan koji nije sakupljen drenažnim sistemom biva razređen u ventilacioni vazduh rudnika i emitovan u atmosferu kao razređeni ventilacioni vazduh metana (VAM), tipičan za koncentraciju od 1%, ili manje metana. Uprkos niskoj koncentraciji, kolektivno, VAM je najveći pojedinačni izvor emisije metana iz rudnika globalno. Termalne oksidacione tehnologije su uvedene na demonstracionim i komercijalnim skalama na nekoliko lokacije na svetu (npr. Australija, Kina, Sjedinjene Države) da umanje ove emisije (i u jednom slučaju da proizvedu električnu energiju iz razblaženog metana). Druge tehnologine za ublaživanje VAM emisije (npr. katalitičke oksidacije) su u razvoju.

### **Troškovi i ekonomska pitanja**



Efikasna drenaža gasa smanjuje rizik od eksplozije i otuda rizik od nesreća. Smanjenje ovih rizika zauzvrat smanjuje sa tim povezane troškove. Troškovi nesreća uzrokovanih metanom variraju široko od zemlje do zemlje, ali jesu značajni. Na primer, 10% obustava rada ili praznog hoda, u datom rudniku zbog incidenta vezanog za gas ili nesreće, može dovesti do gubitaka prihoda od 8 miliona USD do 16 miliona USD godišnje u tipičnom visokoproduktivnom longwall rudniku. Dodatni troškovi pojedinačne fatalne nesreće za veliku rudarsku operaciju mogu dostići od 2 miliona USD do preko 8 miliona USD kroz izgubljenu proizvodnju, pravne troškove, kompenzaciju i naplate kazne.

Istovremeno, drenaža gasa stvara priliku za obnovu i korišćenje gasa. Takvi projekti za oporavak energije mogu biti ekonomični na svoj način kroz prodaju gasa, ili njegovo pretvaranje u električnu energiju, gorivo za vozila ili druge vredne akcija gasa.

Projekti obnove i korišćenja gasa sve više uljučuju i tokove prihoda kroz kredite redukcije emisije uglja u vidu Verifikovanog Smanjenja Emisije (VERs), Sertifikovanog Smanjenja Emisije (CERs), ili drugih kredita kao što je Jedinica Smanjenja Emisije (ERUs). Ove potencijalne mogućnosti finansiranje ugljenika mogu biti kritičan faktor u pravljenju nekih projekata za korišćenje CMM, ekonomski isplativi koji bi inače finansijski bili neprivlačni. Pored toga, finansiranje ugljenika može obezbediti samo izvore prihoda za projekte smanjenja kao što su VAM oksidacije (bez obnove energije) CMM sagorevanja.

VAM može takođe biti iskorišćen za proizvodnju energije. Trenutno, proizvedena energije iz VAM-a, nije komercijalno izvodljiva bez prihoda ugljenika ili drugih inicijativa, kao što su preferencijalne cene električne energije ili standardi porfelja.

Trenutno, investicione odluke većine rudnika radije favorizuju ekspanziju produkcije uglja, nego da razviju projekte korišćenja CMM (posebno električne energije) usred visokih mogućnosti troškova ulaganja u opremu kapitala električne energije i infrastructure. Da bi ispunili ciljeve zaštite životne sredine u budućnosti, međutim, vlasnici rudnika će možda biti prinuđeni da poboljšaju performanse drenaže gasa iznad nivoa koji je strogo potreban da bi se izašlo u susret bezbednosnim potrebama rudnika. Takva poboljšanja u drenažnom sistemu koja daju relativno visok kvalitet gasa mogu pružiti dodatni podsticaj za ulaganje u oporavak gasa i iskorišćenosti projekata.

## **Zaključci**

Holistički pristup upravljanju ispuštanja metana u radove rudnika metana i naknadne emisije u atmosferu će imati veliki uticaj na ukupnu sigurnost rudnika, produktivnost rudnika, i uticaja na životnu sredinu, posebno u pogledu emisija staklene bašte.

- Globalna primena akumuliranog znanja o pojavi metana, predviđanju, kontroli i upravljanju koje je trenutno dostupno, poboljšaće bezbednost rudnika. Implementacija najbolje prakse za drenažu metana bi mogla značajno da smanji rizik od eksplozije prouzrokovane metanom u rudniku.
- Postoji jak poslovni razlog za instaliranje i operativnost visoko efikasnog sistema drenaže gasa, baziranog na njihovom doprinosu poboljšanju produktivnosti. S obzirom da će takav sistem poboljšati dostupnosti CMM-a dobrog kvaliteta, može takođe postojati i jak poslovni razlog za eksploataciju i obnovu energije iz sakupljenog gasa.
- Emisije metana, važnog GHG, iz podzemnih mina se mogu značajno smanjiti korišćenjem dreniranog gasa, sagorevanjem gasa koji se ne može iskoristiti, i ublažavanjem emisije VAM kroz oksidaciju.

## Poglavlje 1. Uvod

### Ključne poruke

*Bez obzira na ograničenja, bezbednost radnika u rudniku je najvažnija i ne sme biti ugrožena.*

*Pristup procene rizika, za minimiziranje rizika od eksplozije treba kombinovati sa jakim sprovođenjem propisa robusnih instalacija i korišćenjem bezbednosnih propisa.*

*U idealnom slučaju, moderne rudarske kompanije uglja prepoznaju prednosti usvajanja holističkog sistema upravljanja gasom koji konstruktivno integriše kontrolu podzemnog gasa, korišćenje metana i smanjenje emisije gasa staklene baste (GHG).*

### 1.1 Ciljevi ovog dokumenta priručnika

Ovaj document ima za cilj da pruži smernice za vlasnike i operatere rudnika, vladine regulatore i donosiocce političkih odluka u dizajniranju i implementaciji bezbednog i efikasnog sakupljanja metana i kontrole u podzemnim rudnicima. Namenjen je prvenstveno da ohrabri bezbednije funkcionisanje rudnika da umanja smrtnu slučajevu, povrede i imovinske gubitke povezanih sa metanom.

Važna dodatna korist efikasne drenaže metana u rudnicima uglja jeste da dozvoli obnovu metana da bi optimizovao upotrebu izvora energije koji bi inače bili neiskorišćeni. Tako, vazan motiv, koji stoji iza ovog dokumenta priručnika, je da olakša i podstakne korišćenje i ublažavanje metana rudnika uglja (CMM) i smanjenje emisije GHG. Ultimativno, usvajanje ovih praksi će pomoći da se poboljša održivost i dugoročni finansijski položaj rudnika uglja, globalno, kroz:

- Nastojanje da se postigne cilj nulte stope smrtnih slučajeva, povreda i imovinskih gubitaka.
- Demonstraciju posvećenosti globalne industrije uglja bezbednosti rudnika, ublažavanju klimatskih promena, korporativnoj društvenoj odgovornosti i dobrom građanstvu.
- Uspostavljanje globalnog dijaloga o sakupljanju i upotrebi CMM.
- Stvaranje kritičke veze između industrije uglja, vlada i regulatornih zvaničnika.
- Ugradnjom efikasnog sakupljanja CMM kao deo efikasnog upravljanja portfelijem.

Ovaj dokument priručnik je namerno “baziran na principima”. To jest, on ne pokušava da predstavi jedan sveobuhvatan, propisni pristup, koji ne bi mogao adekvatno da objasni specifične uslove, geologiju i prakse rudnika. Autori priznaju da ne postoji univerzalno rešenje, i stoga su uspostavili širok skup principa koji se može prilagoditi na odgovarajuće pojedinačne okolnosti. Generalno, tehnologije za implementaciju ovih principa nastavljaju da se poboljšavaju i napreduju tokom vremena. Najbolje prakse međunarodne industrije su prikladno navedene u ovom dokumentu.

Ovaj dokument nije namanjen da služi kao sveobuhvatan, detaljan priručnik za drenažu metana. Reference i dodatni dokumenti su izloženi na kraju ovog dokumenta.

### 1.2. Pitanja

Ugalj je bitan energetska resurs kako u industrijalizovanim zemljama, tako i u zemljama u razvoju. Idući u susret zahtevnim energetskim potrebama, posebno u nekim brzo rastućim ekonomijama, izvršio je pritisak na rudnike uglja da povećaju svoju proizvodnju –ponekad do nivoa iznad onog koji se može bezbedno održavati, što dovodi do stresa/napetosti u ukupnim rudarskim radovima i ugrožavanja sigurnosti. Prisustvo metana u rudnicima uglja predstavlja ozbilju bezbednosnu brigu kojom treba upravljati profesionalno i efikasno. Dok se eksplozije metana u podzemnim rudnicima

uglja veoma retko javljaju u mnogim zemljama rudnika uglja, one ipak izazivaju na hiljade smrtnih slučajeva i povreda svake godine.

Mnogi smrtni slučajevi mogu da rezultiraju iz jedne pojedinačne nesreće. Tabela 1.1 pokazuje neke ozbiljne fatalne eksplozije rudnika uglja koje su se javila u nekoliko zemalja od 2000. Sa efikasnim upravljanjem metanom rudnika, ove tragedije mogu biti eliminisane.

**Tabela 1.1. Glavni incidenti ekspozije u rudnicima uglja, posle 2000.**

Zemlja	Datum	Rudnik uglja	Broj žrtava
Kina	14. Februar 2005.	Sunjiawan, Haizhou shaft, Fuxin	214
Kazakhstan	20. Septembar 2006.	Lenina, Karaganda	43
Rusija	19. Mart 2007.	Ulyanovskaya, Kemerovo	108
Ukrajina	19. Novembar 2007.	Zasyadko, Donetzk	80
SAD	2. Jun 2006	Sago, West Virginia	12

Nesreće se mogu desiti kada metan uđe u prostor rudnika iz ležišta uglja i okolnih slojeva, kao rezultat poremećaja, stvorenog rudarskim operacijama. Količina gasa puštena u rudnik je funkcija stope vadenja uglja in situ sadržaja gasa od uglja i okolnih slojeva.

Nacionalne regulatorne agencije postavljaju maksimalna ograničenja za koncentraciju metana u podzemnim vazušnim putevima. Na taj način, metan ispušten u radove rudnika može biti ograničavajući faktor za proizvodnju uglja.

Priručnik je hitno potreban da pomogne vladama da brzo implementuju bezbednije radne prakse da bi se smanjila opasnost nastala od metana u podzemnim rudnicima uglja. Sudeći po raspoloživim podacima, postoji veliki raspon u stopi smrtnosti u podzemnim rudnicima uglja u raznim zemljama širom sveta. Na primer, stopa smrtnosti na milion tona rudiranog uglja može da zavisi od jednog faktora preko 30 puta više u jednoj zemlji nego u drugoj<sup>1</sup>.

Ni jedan rudnik uglja nije izuzet od bezbednosnog rizika. Incidenti prourskovani gasom se javljaju i u najmodernijim rudnicima uglja. Moderne tehnologije smanjuju rizik od smrtnih slučajeva radnika prilikom eksplozije, ali tehnologija sama je nedovoljna da bi se problem rešio. Menadžment, organizaciona struktura, učešće radnika, trening i regulacija i sistem za sprovođenje su ključne komponente efektivnog procesa upravljanja rizikom. Znanje i razumevanje osnovnih principa kontrole metana gasa jeste fundamentalno za stvaranje kontrola i sistema. Konačno, sve nesreće izazvane eksplozijom su odraz neuspeha da se efektivno implementuju bezbedne prakse i procedure.

Rudnici uglja su značajan izvor emisije metana, potentnog GHG sa preko 20 puta većim potencijalom globalnog zagrevanja (GWP) od ugljen dioksida (IPCC) 2007. Metan čini 14 % globalnih

<sup>1</sup> Na osnovu podataka iz 2008. (zvanicna statistika) za smrtnu slucajeve u podzemnim rudnicima uglja u Kini i SAD. U 2008. Kina je prijavila 3,215 smrtnih slucajeva na 2,565 milijardi tona izradjenog uglja u podzemnim rudnicima (pod predpostavkom 95% od ukupno prijavljenih 2,7 milijardi tona iz podzemnih rudnika uglja), za 1,25 smrtna slucaja po milionu izradjenog podzemnog uglja (SAWS 2009). U 2008. SAD su prijavila 12 smrtnih slucajeva iz podzemnih rudnika uglja, na proizvodnju od 324 miliona tona, za 0,037 smrtna slucaja na million tona izradjenog uglja iz podzemnih rudnika (MSHA 2009).

antropogenih emisija GHG, dok CMM doprinosi sa 6% globalnoj antropogenoj emisiji metana ili blizu 400 miliona tona ekvivalenta ugljen dioksidu (MtCO<sub>2e</sub>) godišnje (EPA, 2006a; IPCC, 2007; Metan za Trziste, 2008). Emisije CMM su projektovane da povećaju do 793 MtCO<sub>2e</sub> do 2020. (ESMAP, 2007). Više od 90% od ovih CMM emisija su iz podzemnih rudnika (EPA, 2006b); od kojih su oko 80% emitovanih u vrlo razblaženom obliku (obično manje od 1% metana) kroz ventilacioni vazduh rudnika.

Postoje tehnologije koje mogu značajno smanjiti emisije metana u rudnicima uglja. Njihova uspešna implementacije zahteva uspešno rukovođenje od strane vlade, pogodne mehanizme financiranja i uključenost globalne rudarske industrije.

### **1.3. Sakupljanje, korišćenje i smanjenje gasa**

Sakupljanje i korišćenje gasa u rudnicima uglja nije novo, iako ima velikih poboljšanja u tehnologijama i njihovom aplikacijama u tokom nekoliko vekova. Do prve zabeležene drenaže metana je doslo u Ujedinjenom Kraljevstvu 1730. Moderniji, kontrolisani sistemi drenaže metana su predstavljeni u Evropi u prvoj polovini dvadesetog veka<sup>2</sup>. Korišćenje rudničkog gasa za osvetljenje se možda javilo pre 18tog veka i bilo je zabeleženo 1880-tih.

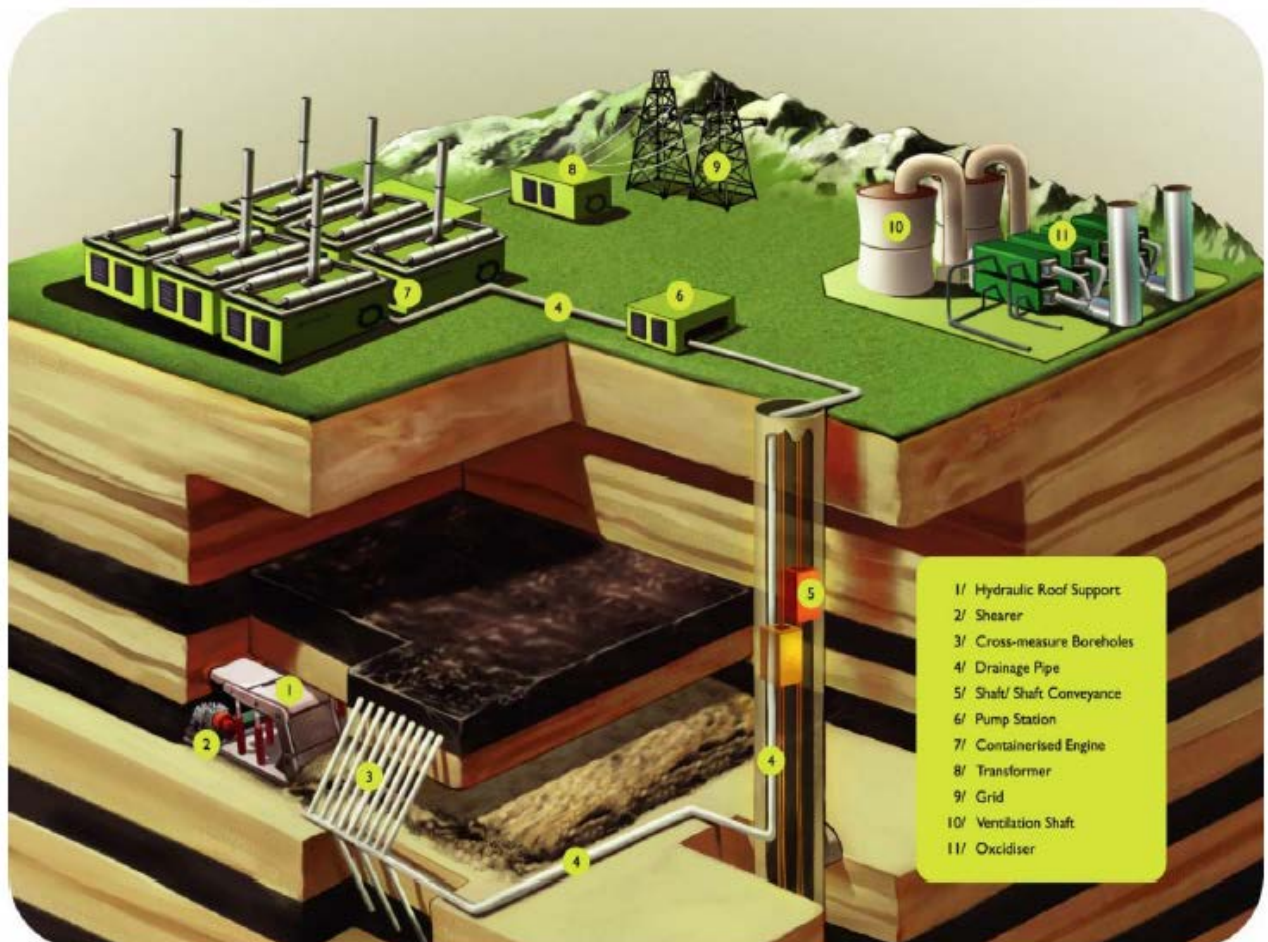
Do 1950-tih, sistematične i efikasne metode sakupljanja gasa koja je originalno bila razvijena u Nemačkoj, su bile korišćene širom Evrope. Od 1960-tih, povećana upotreba je bila napravljena od drenaže gasa, u početku za kotlove rudnika i industrijske procese i kasnije za proizvodnju energije, gasovod i gradski gas.

Slika 1.1. ilustruje trodimenzionalnu šemu, u perspektivi poprečnog preseka, podzemnih radova u rudniku uglja i površinski objekat. Ova grafika pokazuje aspekte složenosti i međusobne povezanosti rudničke podzemne drenaže i sistema sakupljanja gasa sa površinskim objektom, potrebnim za konvertovanje CMM u električnu energiju. Grafika takođe ilustruje simultano smanjenje ventilacionog vazduha metana (VAM) iz ventilacione osovine rudnika.

---

<sup>2</sup> Ovo uključuje sistem u basenu Juzne Sleske u Poljskoj 1937 i u Nemačkoj 1943.

Slika 1.1 Šema podzemnog sistema drenaže rudničkog uglja i površinsko postrojenje za obnovu energije i smanjenje CMM



*(Ljubaznošću Green Gas International-a)*

Trenutno postoji na hiljade projekata za korišćenje i obnovu CMM gasa širom sveta koji su operativni ili u razvitku. Na primer, Tršinsko Partnerstvo za Metan procenjuje da su preko 240 projekata radili i da trenutno rade, ili su u razvoju u oko 14 zemalje globalno (2009). Najrasprostranjenija upotreba CMM je za proizvodnju električne energije; druge upotrebe uključuju kotleno gorivo, ubrizgavanje u gasovode prirodnog gasa, gradski gas, industrijski gas, sirovinu za pretvaranje u gorivo za vozila kao što je tečni prirodni gas (LNG) ili kompresovani prirodni gas (CNG), ili sušenje uglja.

U nekim slučajevima metan koji ne može biti ekonomično obnovljen i iskorišćen zbog nepraktičnih uslova vezanih za slučaj ili tržišta, biva uništen (npr. razbuktali i time konvertovano u ugljen dioksid). Ovo redukuje GWP emisije. Te redukcije emisije takođe imaju potencijal da generišu prihod iz ugljenog kredita u nekim zemljama.

## Poglavlje 2. Osnove za kontrolu gasa

### Ključne poruke

Uspostavljanje i sprovođenje propisa za bezbednu ekstrakciju gasa, transport i korišćenje podstiče više standarde drenaže metana, kao i povećanje čiste proizvodnje energije i veće smanjenje redukcije emisije.

Postoji široko globalno industrijsko znanje i iskustvo o upravljenju rizikom eksplozije metana.

Bezbedni uslovi za rad u gasnim rudnim okruženjima ne mogu biti postignuti isključivo preko zakonodavstva ili čak kroz najnaprednije tehnologije. Štaviše, racionalni i efikasni sistem upravljanja, upravljačka organizacija i upravljanje praksama su fundamentalne za bezbedne operacije. Drugi ključni usvojeni elementi za bezbednost u rudniku jesu odgovarajuće obrazovanje i obuka kako upravljača, tako i radne snage i ohrabrenje radnika da daju svoj doprinos za bezbedan rad.

### 2.1 Ciljevi kontrole rudničkog gasa

Primarni cilj sistema kontrole gasa jeste da spreči eksplozije i rizike od gušenja u podzemnim rudnicima uglja. Kontrola metana u aktivnom longwall ulazu, tako da koncentracije metana u povratnom vazдушnom putu ne prelazi 1%, obično zahteva samo korišćenje tehnika za ventilaciju. Međutim, ako se očekuju viši tokovi metana iz radne površine, mora se koristiti kombinacija ventilacije i drenaže metana. Najbolje praksa kontrole gasa za bezbednost će povećati izgleda korišćenja gasa.

Mere zaštite su dostupne da bise smanjilo umnožavanje eksplozije nakon što se desi i veoma su važna druga linije odbrane. Smanjenje nakod neuspeha metana nije zamena za prevenciju, ona je međutim fokus ovih smernica.

### 2.2 Pojava gasne opasnosti

Gasovi bogati metanom, generalno sadže između 80% i 95% metana, prirodno se javlja u ugljenim slojevima i oslobađaju se kada god se ovi uzburkaju rudarenjam. Gas iz slojeva uglja postaje zapaljiv i uzrokuje eksploziju samo ako mu se dopusti mešanje sa vazduhom.

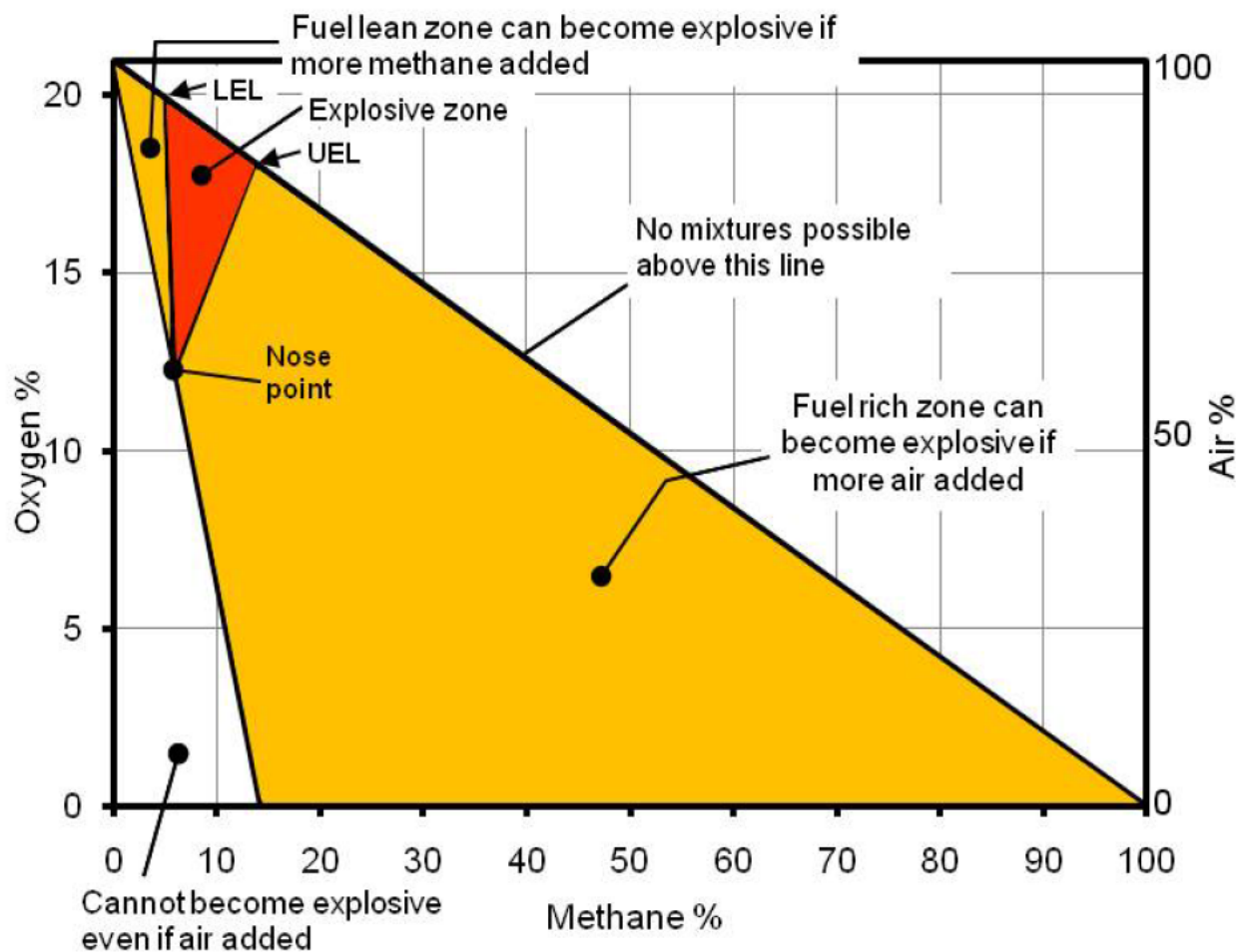
Emisije veće zapremine ugljen dioksida se takođe nalaze u rudnicima uglja u nekim geološkim sredinama. Ugljen dioksid je teži od vazduha i otrovan u koncentraciji većoj od 5% u vazduhu, međutim psihološki efekti se mogu iskusiti pri koncentraciji od 1%.

Metan je bez boje, mirisa i ukusa; zato je uređaj za merenje potreban da bi se potvrdilo njegovo prisustvo. Metan je zapaljiv kada se pomeša sa kiseonikom u rasponu koncentracije prikazanom na slici 2.1.

U atmosferskom pritisku, najeksplozivnije koncentracija metana je na 9,5% po zapremini. U ograničenim podzemnim uslovima, maksimum eksplozivnog pritiska se može povećati jer je podzemni gas kompresovan ispred fronta plamena.

U sredinama lišenih kiseonika, kakve se javljaju u zapečaćenim stogovima, eksplozivne mešavine mogu da se formiraju jedino uz dodatak vazduha. Kada je prisutan pri većim koncentracijama, metan je zagušljiv zbog premeštanja vazduha. Pošto su podzemni rudnici ograničeni, paljenje substancijalne akumulacije metana nužno dovodi do eksplozije.

Slika 2.1 Formacija eksplozivnih mešavina



(Izvor: Moreby, 2009; zasnovano na Coward, 1928)

Metan ima tendenciju da se stratifikuje i formira horizontalne slojeve blizu krova rudničkih radova gde postoji nedovoljno visoka brzina ventilacije za sprečavanje nanošenja slojeva. Ovaj fenomen se javlja zato što je metan lakši od vazduha, sa gustinom od samo 0.55% vazduha. U mnogim slučajevima, brzina vazduha od 0,5 metara u sekundi će sprečiti nanošenje slojeva, ali postoje uslovi u kojima će brzina vazduha biti nedovoljna. Dizajneri ventilacija treba da budu svesni varijabli koje sprečavaju nanošenje slojeva metana, kao što su širina sloja, nagib kolovoza, stopa emisije gasa, stopa protoka vazduha (Creedy & Phillips, 1997; Kissell, 2006).

U nekim uslovima, kada se mešanje ne dogodi zbog nedovoljne brzine vazduha, slojevi metana se mogu formirati i proteći bilo ka protoku ili od protoka ventilacione struje. Ovi slojevi metana mogu brzo raširiti plamen, čime se povećava rizik i jačina eksplozije, stvaranjem puta između izvora paljenja i velikih akumulacija zapaljivih smesa (npr. u longwall stogovima). Kada se metan jednom pomeša sa vazduhom, međutim, ne može se razdvojiti spontano.

Operateri rudnika aktivno izoluju područja rudnika koja više ne rade (npr. izrađeni longwalls ili ponekad stogovi aktivnih longwall-a) iz ventilacionog sistema rudnika, konstruisanjem barijera ili pečata. Ove ventilacione barijere ili pečati nužno nesavršene zbog pomeranja zemlje i ne mogu u potpunosti sprečiti emisiju gasa od ulaska u aktivne radove rudnika. Eksplozivne mešavine gasa se

mogu akumulirati iza ventilacionih pečata i ući će u vazdušni put kao rezultat ventilacione fluktuacije ili depresijom barometarskog pritiska.

Područja visokog rizika u rudnicima –gde metan iz slojeva uglja prolazi kroz eksplozivni opseg su stog (gubica) iza lica longwalla i zone sečenja mehanizovanih mašina za sečenje uglja. Eksplozivne mešavine se takođe formiraju unutar loše dizajniranih ili slabo operativnih sistema drenaže metana zbog uvlačenja prekomernog vazduha.

Sobni i stubni radovi rudnika (bez obnove stubova) imaju tendenciju da uzburkaju znatno niže zapremine susednog spoja nego longwall metoda; zato ti rudnici pretenduju da budu manje gasni od longwall rudnika. Međutim, sobni i stubni rudnici nisu nužno manje rizični od eksplozija, zbog poteškoća u postizanju adekvatne ventilacije radnih površina. Predominantni izvor metana u sobnim i stubnim radovima jeste sam radni sloj. Slojevi mešavine zapaljivog gasa mogu porasti na krovu kao rezultat neadekvatne ventilacije slepih zaglavlja i emisije sa krova izvora (vidi studiju slučaja 4).

### **Paljenje eksplozivne mešavine metana**

Mešavine vazduha metana mogu biti zapaljene preko brojnih izvora: električne varnice, visoke temperature izazvane steel striking quartzitic rock, abiabatske kompresije odronom kamenja, oticaja aluminijuma na gvozđe, udari groma, zadimljeni material, eksplozije i detonacije, spontano sagorevanje i gusti plamen.

## **2.2 Smanjenje rizika od eksplozije**

Isticanje osnovnih principa prevencije eksplozije je glavni cilj ovih smernica. Ovo znanje je ključno za efektivan programski dizajn za kontrolu rizika gasa u rudnicima uglja. Principi ovde opisani su sinonimni sa onima koje ugrađenim u sisteme upravljanje rizika, koje su moderne rudne kompanije implementovale u težnji za nultom stopom nesreća i eksplozija.

Upravljanje rizikom od eksplozije u rudnicima uglja uključuje veći broj različitih aktivnosti (vidi Okvir 2.1.), koje zahtevaju dobru organizaciju i jasnu podelu odgovornosti.



### **Okvir 2.1. Tipične kontrole rizika od eksplozije i procedure u rudnicima uglja**

- Korišćenje električne opreme i kablova otpornih na plamen
- Kontrola eksploziva i njegove upotrebe ispod zemlje
- Postojanje adekvatnih postrojenja za požar i spašavanje
- Planiranje drenaže gasa, dizajn i implementacija
- Kontrola pražnjenja dreniranog gasa metana
- Kontrola pristupa rudnicima i njihove radne zone
- Restrikcija kriumčarenja u podzemnom okruženju
- Inspekcija podzemnih radova
- Pružanje anti-statičkih materijala
- Nadzor rudarskih operacija
- Korišćenje i održavanje mehaničkog i električnog postrojenja
- Mere ograničanje za upotrebu neprimerene opreme
- Nadzor mehaničkih i električnih operacija
- Restrikcija dimnih materijala ispod zemlje
- Planiranje ventilacije
- Kontrola ventilacije rudnika
- Praćenje i merenje koncentracije rudničkog gasa
- Upotreba pomoćne ventilacije
- Degasiranje naslova/zaglavlja
- Predostrožnosti trenja paljenja
- Snabdevanje detektora matana
- Kvalifikacija zaposlenih
- Bezbednosna obuka
- Snabdevanje barijerama za susbijanje eksplozije
- Postavljanje sigurnosnih znakova i obaveštenja

Redukovanje rizika od eksplozija kroz prevenciju pojave eksplozivnih mešavina, kada god se pojave – i preuzimanje mera da se obezbedi odvajanje eksplozivnih mešavina od potencijalnih izvora paljenja – su najbolje bezbednosne prakse u rudnicima uglja.

Ključna je kontrola razblaživanja, disperzije i distribucije zapaljivih gasova u rudnicima uglja da bi se minimizirala dostupnost goriva za paljenje. Rizik povezan sa zapaljivim gasovima u podzemnim rudnicima uglja, može biti minimizovan na nekoliko načina: njihovim razblaživanjem do bezbednih koncentracija sa ventilacionim vazduhom; uz upotrebu prikladnih uređaja za ventiliranje mašina za seču uglja; kroz preusmervanje gasa od radnih oblasti; i, ukoliko je potrebno, sakupljanjem gasa u bušotinama ili galerijama za drenažu pre nego što dospe u vazdusni prostor.

Fundamentalni principi redukcije rizika od eksplozije su sledeći:

- Gde god je moguće, smanjiti pojavu eksplozivne mešavine gasa (npr. upotreba visoko efikasne metode drenaže gasa, prevencija i disperzija slojeva metana kroz brzinu ventilacije).
- Ako je eksplozivna mešavina gasa neizbežna, minimizirati zapreminu eksplozivne mešavine (npr. brzim razblaživanjem u ventilacionom vazduhu do dozvoljene koncentracije metana).

- Odvajanje neizbežne pojave mešavine gasa od potencijalnih izvora paljenja (npr. kroz upotrebu specijalno dizajniranih face end ventilacionih sistema da bi se izbegle akumulacije gasa blizu električnih motora ili izbegavanjem upotrebe elektrike u longwall distriktu povratnih vazdušnih puteva)
- Izbegavati izvore paljenja koliko god je moguće (npr. nebezbedni električni uređaji, otvoreni plamen, pušenje)
- Kontrola emisije gasa iz izrađenih, zapečaćenih područja rudnika, korišćenjem metode drenaže gasa regulisanih da održe čistoću gasa i dreniranjem gasa za primanje fluktuacije barometarskog pritiska.

## **2.4 Regulatorni i upravljački principi**

### **Efektivni regulatorni bezbednosni okvir**

Efektivni bezbednosni regulatorni okvir će obezbediti konherentnu i jasanu smernicu industriji pod okriljem vodećeg organa za bezbednost, sa jasno definisanom ulogom i odgovornostima koje se ne preklapaju sa onima od drugih organa uprave.

Obimne bezbednosne regulacije za gas rudnika uglja ne pružaju garancije za bezbedne uslove za rad. Da bi bile efikasne, regulacije se moraju rezumeti, primiti, i primeniti od strane inspektora rudnika, uprave rudnika, nadzornog osoblja i radnika rudnika. Proaktivno upravljanje rizikom i bezbednosna odgovornost “odozdo na gore”, su ključ za prevenciju nesreća. Upravitelji i rudari mogu jedino biti proaktivni ako razumeju podvučene principe emisije gasa i procese kontrole. Trening i razmena znanja su zato neophodan element za uspešan bezbednosni program kao i gotov pristup činjeničnim izveštajima o incidentima vezanih za gas i njihovim uzrocima. Upravljanje bezbednošću i trening treba da obuhvati kako zaposlene, tako i izvođače radova.

### **Primena**

Efektivni vladini inspektori reviziraju bezbednosne uslove kroz sprovođenje detaljne podzemne inspekcije, sprovođenjem stručnih saveta za upravljanje rudnikom, razmatranjem efikasnosti propisa i obezbeđivanjem poštovanje propisa, radeći sa operativcima rudnika da isprave neke nedostatke ili kažnjavanjem onih koji jasno ignorišu propise i ugrožavaju živote. Efektivno bezbednosno i regulatorno upravljanje sistemima takođe uključuje one koji su najviše pogođeni neuspehom kontrole gasa, dakle, same rudare. Da bi se obezbedilo najefikasnije upravljanje rizikom, naglasak mora biti na prevenciji nesreće, ili incidenta, pre nego na kažnjavanju nakon što se dogode.

Uspešno upravljanje zdravstvenim i bezbednosnim rizikom ne uključuje samo regulatorne organe, i operativce rudnika, već mora uključiti i rudare kao ravnopravne učesnike. Kao što je podvučeno u *Kodeksu prakse o bezbednosti i zdravlju u podzemnim rudnicima uglja*, Medunarodne Kancelarije Rada (ILO, 2006), radnici imaju pravo na bezbedno radno okruženje, uključujući i mogućnost da prijave potencijalne opasnosti bez straha od obmazde. Staviše, kao partneri u razvijanju bezbednih uslova za rad, radnici su u obavezi da podrže bezbedne radne prakse i da održe bezbedno okruženje za rudarstvo.

### **Dozvoljene koncentracije gasa za bezbedne uslove za rad**

Preskriptivne propise treba koristiti štedljivo, jer oni mogu da uguše inovacije. Oni su opravdani fizičkim imperativima, kao što je eksplozivni opseg zapaljivih gasova u vazduhu rudnika. Sve zemlje rudnika uglja postavljaju gornje granice dozvoljenosti koncentracije metana ili zapaljivog gasa koja

ne sme biti prekoračena u vazдушnom prostoru rudnika. Neke primenjuju različita obavezujuća ograničenja koncentracije gasa u različitim delovima rudnika uglja u zavisnosti od aktivnosti i dostignutog nivoa rizika od eksplozija, i postavljaju bezbedne koncentracije za transport i upotrebu gasa da bi minimizirali rizik od podzemnih eksplozija (tabela 2.1).

**Tabela 2.1 Odabrani primeri regulacije i preporučenih granica koncentracije zapaljivog metana**

Ograničenje koncentracije zapaljivog metan [%]	Australia	Kina	Nemačka	Indija (h)	Južna Afrika	Ujedinjeno Kraljevstvo	SAD	Faktori bezbednosti (a)
Maksimum ispod koga je generalno dozvoljeno raditi	1.25	1.0	1.0	1.25	1.4	1.25	1.0	3.6-5.0
Maksimum ispod koga je dozvoljeno raditi u povratnim vazдушnim putevima	2.0(b)	1.5 (g)	1.5	0.75	1.4	2.0(b)	2.0 (b)	2.5 – 6.7
Minimum dozvoljen za korišćenje	na(e)	30	25	na(f)	na(f)	40	25(c)	1.7 – 2.7
Minimum za podzemni transport gasovoda	na(e)	na	22	na(f)	na(f)	na(e)	na(d)	1.5

- (a) Faktor bezbednosti označava opseg multiplikatora ispod donje granice eksplozivnosti od 5% ili iznad gornje granice eksplozivnosti od 15% metana u vazduhu;
- (b) Ako nema elektriciteta;
- (c) Sjedinjene Države upravljaju degasifikacijom metana u ventilacionom planu, nema propisa ili regulacija;
- (d) Ne smatra se problemom jer niže koncentracije stožnih gasova se generalno dreniraju iz površinskih bunara;
- (e) Utvrđeno lokalnom procenom rizika;
- (f) Malo ili bez aplikacija, pa nije obrađeno
- (g) 2.5% za ne putujući povratak
- (h) U Indiji standardi metana su određeni Indijskoj Regulaciji Rudnika Uglja 1957, koja je zasnovana na Rudnickom Aktu 1952.

Precizni nivoi akcija za koncentraciju gasa po sebi nisu dovoljni za obezbede sigurne uslove rudarenja. Podjednako je važno identifikovati pogodne lokacije u kojima su koncentracije izmerene, procedure korišćene za merenje, i akcije preduzete kao konsekvence tih merenja. Propisi rudarenja u industrijalizovanim zemljama se generalno fokusiraju na nadgledanje i kontrolu napora u proporciji sa stepanom očekivanog rizika.

### Bezbedan transport i korišćenje gasa

Transport i upotreba eksplozivnih mešavina gasa je opasan zbog opasnosti od razmnožavanja eksplozije u radna područja rucnika. Nacionalne regulacije za bezbednost rudnika variraju u svojoj proceni minimalne koncentracije metana koja se smatra bezbednom za transport i korišćenje, koja varira od 25% do 40% među zemljama. Bezbednosni faktor od oko dva puta iznad eksplozivnog limita (t.j. 30% ili veća koncentracija metana), je generalno procenjen kako dobar praktični

minimum<sup>3</sup>. Nesreće koje uključuju gasovod za protok metana u koncentracijama znatno iznad gornje granice zapaljivosti ne rezultiraju eksplozijama, jer je gas na suviše visokom nivou čistoće da bi goreo; u tim slučajevima, vatra u gasnom/vazдушnom interfejsu može biti ugašena tehnikama za gašenje požara. Nasuprot tome, paljenje gasa niske čistoće, (npr. u rasponu od 5%-15%) u gasovodu može izazvati plamen koji može da se ubrza u oba pravca unutar cevi, kreirajući intenzivnu eksplozivnu silu i stavljajući ceo rudnik u opasnost.

### **Propisi za smanjenje rizika od paljenja**

Većina zemelja sa rudnicima imaju regulacije koje određuju tip i upotrebu materijala dozvoljenih ispod zemlje da bi se smanjili rizici od paljenja. Ne mogu međutim svi rizici od paljenja biti eliminisani.

Električna energija je potrebna da pokrene opremu rudnika. Njena bezbedna upotreba zavisi od usvajanja provere plamena i unutrašnjih bezbednosnih standarda, upotrebe oklopljenih kablova i bezbednih konektora i rigoroznih procedura inspekcije i održavanja (I&M). Obično, regulacije zabranjuju upotrebu električne energije u specifičnim kolovizima unutar longwall distrikta gde bi povišene koncentracije metana mogle nastati, ili, gde god su koncentracije bliske granici zapaljivosti gasa dozvoljene (tj. prelaze 1% metana).

Rizici zapaljivosti od trenja na mašinama za seču uglja su minimizirane upotrebom oštih alata, ispravno postavljenih sprejeva na vodu i mašinskim sistemom za ventilaciju. Transportne trake mogu takođe biti izvor paljenje usred pregrejavanja, ali rizik može biti bitno smanjen kroz redovni I&M. Nemarno ljudsko ponašanje, kao što je paljenje cigarete ispod zemlje, jeste poznat izvor eksplozija u rudnicima.

## **Poglavlje 3. Pojava, oslobađanje i predviđanje emisije gasova u rudnicima uglja**

### **Ključne poruke**

---

<sup>3</sup> Faktor bezbednosti od najmanje 2.5 ispod donjeg eksplozivnog limita metana (t.j. 2% metana) je dobar praktični minimum, u odsustvu električne struje; viši faktor bezbednosti je potreban ako se koristi električna struja.

Tokovi gasa metana u rudincima uglja u normalnim, uslovima mirovanja, su generalno predvidivi.

*Uobičajene emisije i događaji eksplozije/izliva nisu lako predvidivi, ali su uslovi pod kojima mogu da se dese dobro poznati. Detaljne metode smanjenja rizika, pod kojim se ovu uslovi razvijaju, su razvijene i trebalo bi da se primene gde god je identifikovan značajan rizik. U takvim uslovima, bezbedni radni uslovi zavise od rigoroznosti primene i nadzora metoda kontrole gasa.*

*Važnosti postavljanja ne samo podzemnog nadzora za operacionalno -bezbednosnog razloga, već i prikupljanje i upotreba podataka za bezbedno planiranje, ne može se dovoljno naglasiti.*

### **3.1 Uvod**

Moderni, visoko produktivni rudnici uglja se susreću sa sve višim tokovima gasa, sa povećanjem stope eksploatacije uglja i oni dublje rade, ugljeni slojevi sa višim sadržajem gasa. Poznavanje pojave, karakteristika emisije, i očekivanih tokova gasa iz rudnika uglja, kao funkcije stope proizvodnje uglja, je ključno za planiranje rudarstva, ventilacije, korišćenje gasa i svrhe kontrole GHG emisije.

### **3.2 Pojava gasa u slojevima uglja**

Gas koji se prirodno javlja, a pronađen je u slojevima uglja, uglavnom se sastoji iz metana (obično 80% do 95%) sa nižom proporcijom težih ugljovodoničnih gasova, nitrogena i ugljen dioksida. Mešavine metana, vodene pare, vazduha i povezanih oksidacionih produkata na koje se nailazi u rudnicima uglja su često kolektivno nazvani "gasovi rudnika."

Metan je formiran u slojevima uglja kao rezultat hemijske reakcije koje se događa kada ugalj biva zakopan u dubinu. Biljni ostaci pronađeni u modernim močvarama će se polako menjati od mokrog, organskog nanosa ka uglju, ako materijal postane sakopan na izvesnom stepenu i ostane pokriven duže vremena kroz proces poznat kao ugljenizacija. Što je viša temperatura, pritisak i pokop uglja, to je veća zrelost uglja (tj. nivo) i to je veća količina proizvedenog gasa. Mnogo više gasa je proizvedeno kroz proces ugljenizacije nego što je pronađeno u slojevima. Gas izgubljen tokom procesa ugljenizacije je emitovan na drevne zemljane površine, uklonjen u otapanju podzemnih voda koje prolaze, ili je prošao i postao zadržan u porama i strukturama okolnih stena. Ovaj gas je možda akumuliran u susednim poroznim slojevima kao što su peščare ili je možda bio absorbovan kroz organske ljuske. Ovi rezervoari kamenja mogu postati bitan izvor priliva gasa u rudnike ako su ovi slojevi gasnih ležaja zapečaćeni okružujućim nepropusnim slojevima i ostanu neometani dok se rudarstvo odvija. Metan se javlja u znatno većim koncentracijama u uglju u poređenju sa bilo kojim tipom stene, zbog procesa apsorpcije, koji dozvoljava molekulima metana da budu pakovani u substancu uglja do gustine gotovo nalik na tečnost. U vertikalnog sekvenci slojeva uglja, sadržaj metana se često povećava sistematično sa dubinom i rangom. Gasni sadržinsko-dubinski gradijenti variraju od ugljenog basena do ugljenog basena, i reflektuju geološku istoriju basena u kome se ugalj formira. U nekim basenima uglja, sadržaj metana se povećava sa dubinom, konačno dostiže maksimum i onda se smanjuje ispod tog nivoa.

### **3.3 Proces oslobađanja gasa**

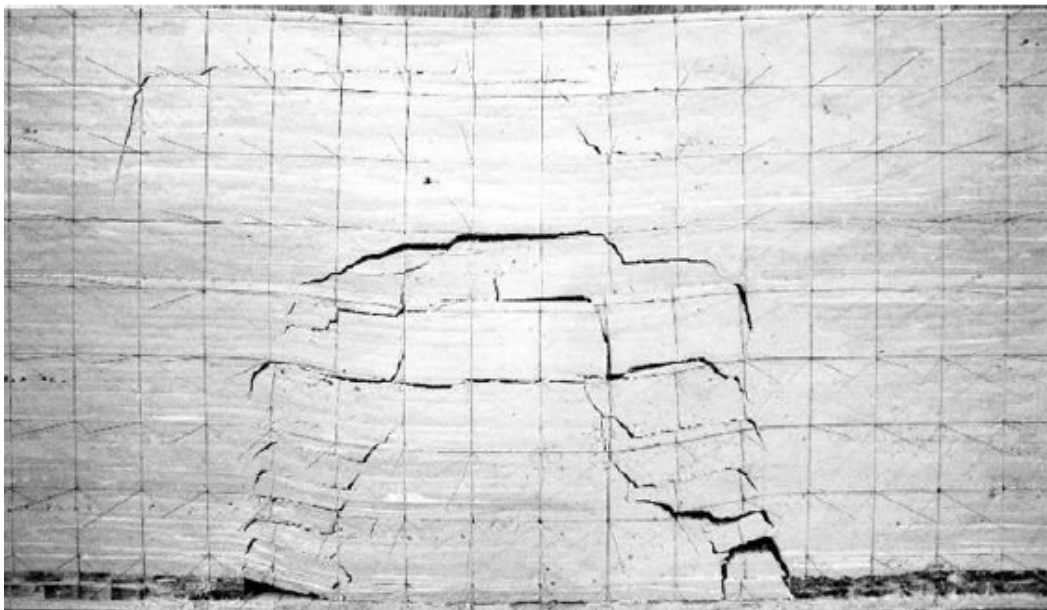
Gas koji se prirodno proizvodi i skladišti u uglju i okružujućim slojevima, može biti oslobođen ako se uzdrma rudničkim aktivnostima. Stopa i iznos ispuštenog gasa zavisi od inicijalnog iznosa gasa u

uglju (sadržaja gasa), distribucije i gustine slojeva uglja uzdrmanih rudarenjem, jačine sloja koji naleže na ugalj, geometrije rudničkih poslova, stope proizvodnje uglja i propustljivosti slojeva uglja. Totalni tok gasa varira proporcionalno od stope poremećaja/uzdrmanja slojeva tokom rudarskih aktivnosti. U posebnoj geološkoj postavci, zato, totalna zapremina oslobođenog gasa tokom rudarenja se proporcionalno povećava sa povećanjem stope vađenja uglja. U određenim uslovima, staviše, rapidno izbacivanje, ili izlivi uglja i gasa i iznadanne emisije se takođe mogu pojaviti.

Neki slojevi uglja izrađeni u Australiji ili negde drugo, su apsorbovali znatne količine ugljen-dioksida i takođe metana. Gde su ovi slojevi uglja izrađeni, izlivi se mogu javiti na nižem nivou in situ sadržaja gasa od ugljenog sloja koji bi onda bio očekivan samo ako je metan bio prisutan. Zato, in situ sadržaj gasa bi trebalo izmeriti, da bi se procenila potreba za pre-drenažu.

Evropske studije (Creedy et al, April 1997) su pokazale da de-stresovan svod ili zona poremećaja, unutar koje je gas oslobođen, biva formiran iznad longwall i obično proširuje 160m do 200m u krov i ispod longwall do oko 40m do 70m u zemlju. Slika 3.1 je prikaz gipsanog modela koji pokazuje distressing pokrivenog materijala nakog što je kreiran prazan prostor. Ovi postupci modeliranja su korisni u determinisanju magnitude de-stresovanja koje se dogodilo, i visine iznad praznine koja se primetno javlja bed separation, fracture opening, and other forms of strata relaxation, povećavaju time propustljivost i stvarajući prolaz za prolazak gasa. Razne teorije i empirijski modeli su razvijeni da predstavljaju ovaj proces.

**Slika 3.1 Model selekcija paralelna sa longwall licem koja pokazuje slomljenu stratu kako posledicu uklanjanja uglja, formirajući na taj način stog**



*(Modelovano po Gaskell-u, 1989)*

Ekstrakcija sloja uglja dovodi do sleganja na površini. Dok će svi slojevi između longwalla i površine biti uzburkani, samo će gas unutar de stresovanog luka ući u radni prostor. Bušotine sa površine i plitka iskopavanja će ponekad susresti oslobođeni gas iz slojeva uglja koji normalno ne bi bio emitovan tokom rudarenja. Produkcija gasa se može javiti. Međutim, bušotina ili iskopavanje takođe može služiti kao migracioni prolaz za gas koji nije sakupljen, rezultirajući površinskim ili ispodpovršinskim opasnostima.

### 3.4 Relativna gasovitost rudnika uglja

“Specifične” (ili “relativne”) količine emisija se obično koriste da prikažu gasovitost rudnika ili longvall distrikta. Koriste se iste jedinice mere kao za merenje gasa na primer kubni metar metana emitovan po toni kubnog metra uglja, ali ipak ima velikih suštinskih razlika<sup>4</sup>. Specifične emisije predstavljaju ukupnu količinu metana koji je oslobođen iz svih izvora podeljen sa ukupnom količinom proizvedenog uglja tokom vremenskog perioda u kome se merilo, pod idealnim uslovima nedelju dana ili više. Drugim rečima ovo merenje prikazuje stvarno stanje kubnih metara metana emitovanih po toni uglja u određenom vremenskom periodu. Emitovani i izmereni gasovi potiču ne samo od uglja koji se iskopava već i od svih slojeva uznemirenih kopanjem i otpuštaju se u prazninama koje ostaju nakon završetka procesa kopanja. U načelu, podrazumeva se da se gasovi javljaju u rudnicima uglja sa specifičnim emisijama od 10 kubnih metara po toni i više. Specifične emisije koje dosežu od 50 - 100 kubnih metara po toni se pojavljuju u rudnicima u nekim zemljama kao što su Ujedinjeno Kraljevstvo ili SAD, ali ovi nivoi su izuzetak (KISSEL et al, 1973.)

### 3.5 Razumevanje karakteristika emisija gasa rudnika uglja

Vrhunac tokova gasa pojavljuje se u povratnim vazдушnim kanalima u aktivnim četvrtima tokom ciklusa zasecanja kopa, a nakon urušavanja plafona tokom izrade potpornih zidova. Statistička istraživanja su pokazala da se maksimalne količine obično povećavaju 50 posto iznad proseka (CREEDY et al, april 1997.). Metode za proizvodnju gasa uobičajeno koriste ovaj odnos prilikom procene zapremine vazduha koji je neophodan da bi se ispunile obavezne količine za rastvaranje gasa.

Zapremina gasa koji se oslobađa iz bilo kog područja u kome se kopa uglj, smanjuje se tokom vremena, dok se nastavkom kopanja dodaju novi izvori gasa. Rezultirajuće emisije su određene sumom svih izvora kroz vreme. Kao posledica, ta specifična emisija (tj. količina gasa koja se emituje po toni iskopanog uglja) može se povećati tokom postojanja longwall-a. Kad se obustavi proizvodnja uglja, gas nastavlja da isparava iz ugljenih šavova/slojeva i teče iz ne-ugljenih slojeva, ali smanjenim intenzitetom. Kada se započne iskopavanje nakon par dana pauze, emisije gasa će inicijalno biti manje nego kad je proizvodnja stabilna.

Većina empirijskih proračunima emisija podrazumeva se da je proizvodnja uglja konstantna i da su emisije gasa ujednačene. Ovaj prilaz je dobar za planiranje, ali se moraju uzeti u obzir i ostali, teže predvidivi faktori. Zbog toga je u cilju sprečavanja ozbiljnih situacija neophodno razviti metode za kontrolu rizika. Na primer, u izvesnim rudnicima sa visokom koncentracijom gasa i niskom propustljivošću uglja, može doći do iznenadnih izliva gasa i uglja (a ponekad i kamenja) van obrađenih slojeva. Često se mogu identifikovati osnovni rudarski i geološki faktori koji mogu dovesti do visokog rizika izlivanja, ali stvarni incident se ne može predvideti sa izvesnošću. Uprava rudnika u cilju povećanja bezbednosti može primeniti rigorozne metode prevencije i kontrole. Te metode se obično svode na smanjenje sadržaja gasa u uglju do ispod kritičnog nivoa na taj način što će izvući gas pre kopanja.

Do iznenadnih emisija gasa može doći sa dna radne površine longwall-a ili sa prednje strane ili iz sporednih puteva. Do ovog tipa emisije može doći naročito kad je na dnu jaka peščana podloga a drugi šav leži 40 – 60 m ispod radnog šava. Iako je teško predvideti iznenadnu emisiju gasa, u cilju prevencije može se izbušiti niz rupa na dnu da bi se sprečila akumulacija gasnog pritiska.

---

<sup>4</sup> Količina gasa koji se emituje tokom kopanja u poređenju sa količinom proizvedenog uglja

Iznenadne emisije i erupcije mogu izazvati značajne štete i prouzrokovati povrede i smrtne slučajeve. Ukoliko mešavina vazduha/metana dostigne zapaljiv racio, varnice od kamena koji udara u metal mogu zapaliti gas u rudniku.

Radovi u rudniku ponekad mogu poremetiti prirodne rezervoare gasa i dovesti do emisija duplo većih od onih koje se očekuju samo od ugljenih šavova. Rezervoari prirodnog gasa mogu se smestiti između ispreplitanih ugljenih šavova i pojaviti kao normalan deo kopanja uglja, ali zbog geološki obstruisanih ili začepljenih puteva oticanja gasa, zarobljeni gas se oslobađa tokom kopanja. Te situacije nije lako identifikovati pre kopanja, ali radnici u rudniku treba da budu svesni te mogućnosti i da upoređuju merenja sa predviđene podacima. Za bezbedno funkcionisanje rudnika nije dovoljno samo uspostaviti sistem podzemnog nadzora, već je potrebno sakupljati i koristiti podatke za planiranje bezbednosti.

### **3.6 Merenje In Situ sadržaja uglja**

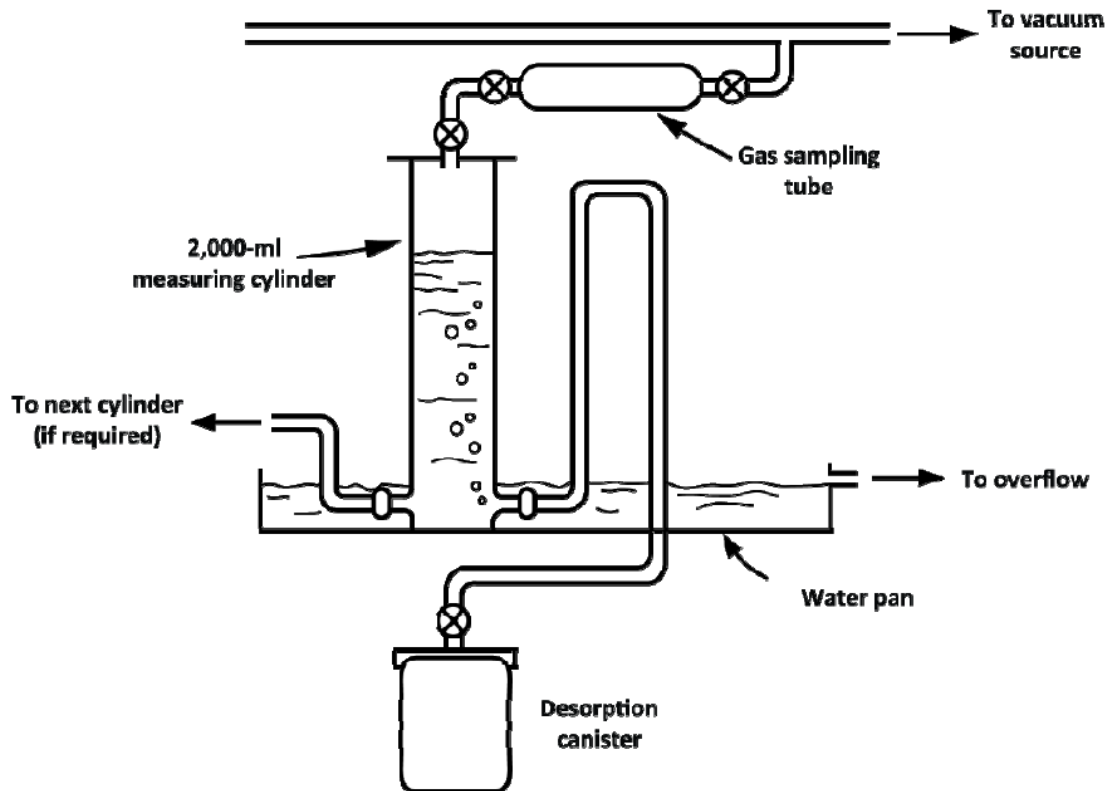
U cilju planiranja drenažnih i ventilacionih sistema koji bi obezbedili bezbedno funkcionisanje rudnika, potrebno je poznavanje gasa koji je adsorbovan u sadržaju uglja i, u zanemarljivom slučaju, poznavanje količine gasa koji je kompresovan u većim prostornim porama. Sadržaj gasa se izražava u količini gasa koja se sadrži u količine uglja in situ ( $m^3/t$ ) i ne treba je brkati sa specifičnim emisijama<sup>5</sup>. Sadržaj gasa se meri na taj način što se uzorci uglja stavljaju u kanistere u što svežijem stanju. Ti uzorci se drže na temperaturi što bližoj onoj u rezervoaru dok se gas ne desorbuje. Izmerena količina otpuštanja omogućava procenu količine gasa koji je izgubljen pre uzimanja uzorka. Na tabeli 3.2 je dijagram koji prikazuje aparat namenjen da sakuplja i meri gas tokom desorpcije iz uglja koji se nalazi u zapečaćenom kanisteru. Tokom ove procedure uzimaju se uzorci uglja iz bušotine i izdvaja uglja u kanister. S vremena na vreme se gas iz kanistera propušta u cilindar za merenje gde se gas meri i beleži rezultat. Sadržaj gasa se može analizirati tako što se uzima uzorak i daje na hemijsku analizu. Gas koji ostane u uglju nakon testiranja se meri tako što se ugalj izlomi i izmeri ispuštena količina. Najčešće metod za merenje sadržaja gasa je tehnika koji je razvio Američki Ured za rudarstvo (USBM) za koji je potreban period od nekoliko dana do nekoliko nedelja (Diamond & Levine, 1981.). U Evropi i Austraslji su razvijeni brži metodi desorpcije koji omogućuju brže rezultate koji odgovaraju operativnim potrebama u rudarstvu (Janas & Ophale, 1986.). Pored toga razvijeni su i statistički metodi i metodi delimičnog pritiska, za ugalj niske propustljivosti (Creedy, 1986). Zbog toga što slojevi uglja sadrže i mineralne materije i ugljene supstance (gas se pretežno adsorbuje na organskim materijama), sadržaj gasa se generalno prilagođava bazi bez pepela. Gasovite komponente se po nekad mere odvojeno; u većini slučajeva gas je dominantno metan. Tipične količine metana u ugljenom šavu koji se nalazi u prirodi kreću se od nivoa u tragovima do 30  $m^3/t$ .

### **Tabela 32. Oprema za merenje sadržaja gasa (Australijski standard)**

---

<sup>5</sup> Merenje gasa emitovanog tokom rudarskih operacija u poređenju za iznosom proizvedenog uglja.





(Bazirano na Diamond & Schatzel, 1998.)

### 3.7 Praktične procene toka gasa u rudnicima

Akademski i istraživački instituti razvili su rigorozne teoretske modele simulacije i emisionih tokova. U praksi, rudnici koriste empirijske modele emisije gasa koji su veoma pouzdani ukoliko se koriste zajedno sa lokalnim znanjem i ekspertizom. Ovi modeli traže da se odrede parametri kao što su sadržaj gasa u šavovima, mehanička svojstva stena i slojeva uglja, geometrija rudnika i stopa proizvodnje uglja. Korisnici mogu izgraditi sopstvene modele, koristeći publikovane informacije ili mogu kupiti gotov softver. Procene tokova gasa se izražavaju bilo u relativnim iznosima kubnih metara po toni iskopanog uglja (specifična emisija u  $m^3/t$ ) ili u apsolutnim iznosima kao stabilan priliv po kubnom metru u minuti ( $m^3/min$ ) ili litrama u sekundi ( $l/s$ ).

Modelima se može predvideti efekti povećanja proizvodnje uglja na tokove gasa. Takođe mogu da predvide maksimalni kontrolisani protok gasa i sa njim povezanu maksimalnu proizvodnju uglja na koju utiču sledeći parametri:

- Određeni limiti koncentracije zapaljivog gasa u povratnim protocima vazduha longwall-a.
- Raspoložive količine vazduha u ventilaciji i volumen protoka vazduha koji cirkuliše u radnim oblastima. Volumen protoka vazduha koji se isporučuje u longwall zavisi od broja puteva, konfiguracije ventilacije proizvodnog prostora i maksimalno prihvatljive brzine za komfor rudara.
- Drenaža gasa koja se može konstantno održavati, uoliko se koristi ova drenaža.

## Poglavlje 4. Ventilacija rudnika

## **Ključne poruke**

*Sistemi ventilacije rudnika su kritična komponenta celokupnog sistema efikasnog otklanjanja metana iz radnog prostora rudnika. Sistem ventilacije treba da ispuni tri cilja : 1) da za radnike obezbedi svež vazduh koji se može udisati, 2) kontroliše temperaturu i vlasžnost rudnika, i 3) efikasno razblažuje ili otklanja opasne gasove i prašinu koja se može udahnuti iz vazduha.*

*Često se poboljšanjem drenažnog sistema metana može postići brže i jeftinije rešenje umesto jednostavnim povećanjem snabdevanja vazduhom u rudniku.*

### **4.1 Ventilacioni izazovi**

Postizanje efikasne ventilacije u rudnicima je faktor koji ograničava proizvodnju uglja u datom rudniku. Maksimalan iznos ekstrakcije uglja koji se može postići na gasovitom rudištu zavisi od kombinacije dva faktora – od kapaciteta ventilacije da rastvori zagađivač do prihvatljive koncentracije i od kapaciteta drenaže metana.

Ventilacija je osnovno sredstvo za rastvaranje i dispersiju opasnih gasova u podzemnim rudnim putevima. Rastvaranje gasa, prašine i toplote se postiže na taj način što se optimizira brzina i količina vazduha. Što je veća količina svežeg vazduha koji ulazi u kop to je veći priliv gasova koji mogu da se pročiste. Taj proces rastvaranja je očigledno ograničen količinom raspoloživog vazduha u rudniku i maksimalno tolerisanom brzinom vazduha.

Ventilacioni pritisak je proporcionalan zapremini protoka vazduha na kvadrat. Skroman porast kvaliteta vazduha zahteva značajno povećanje pritiska što dovodi do većeg curenja kroz komore (stogove) i ventilaciona vrata. Preterano curenje kroz stogove može povećati rizik spontanog sagorevanja i onesposobiti sisteme drenaže gasa.

Lokalne vladine agencije često propisuju količinu vazduha koji je potreban da bi se provetravale podzemne radne površine i dozvoljene količine zagađivača. Ventilacioni sistem čija je jedina svrha da zadovolji minimalne propisane kriterijume o protoku i brzini vazduha mogu biti nedovoljni za obezbeđenje sigurnog i zadovoljavajućeg okruženja u aktivnom rudniku. Iz tog razloga prilikom izrade specifikacija za ventilacione sisteme treba uzimati u obzir očekivane najgore slučajeve nivoa zagađenja.

Metan se smatra glavnim zagađivačem i najopasnijim gasom prilikom izrade specifikacije ventilacionih sistema. Ukoliko je odabrani sistem ventilacije u stanju da otkloni ili na zadovoljavajući način kontroliše primarnog zagađivača, pretpostavka je da će se manji zagađivači otkloniti ili adekvatno kontrolisati u isto vreme.

### **4.2 Osnovne odlike ventilacionog dizajna**

Generalno, vazduh se isisava iz rudnika putem izduvnih ventilatora koji se nalaze na površini. Na taj način je vazdušni pritisak u rudniku ispod atmosferskog pritiska. U slučaju da otkáže ventilator, ventilacioni pritisak u rudniku raste i sprečava istovremeno oslobađanje gasa iz radnih prostorija.

Što je dublji i skuplji rudnik, to je kompleksniji ventilacioni krug i veća sklonost za oticanjem gasa kroz ventilaciona vrata u rudniku kroz izlazne i ulazne vazdusne kanale. Tako, veći rudnici imaju ograničene količine svežeg vazduha koji mogu koristiti u zatvorenim prostorima i na radnim površinama što zahteva upotrebu spoljašnjih ventilacionih kanala. Uprkos tome, potrebno je obezbediti dovoljno vazduha za paralelnu ventilaciju unutrašnjih prostora, ne u seriji; na ovaj način bi

se omogućilo da se problem gasa transmituje iz jednog u drugi prostor. Najbolja praksa bi bila da se obezbedi prekid elektrike u svim radnim prostorijama nižim od one u kojoj je koncentracija gasa prešla propisani minimum.

Ventilacija je dinamičan proces. Potreba za ubacivanje vazduha putem ventilacije se povećava sa razvojem rudnika i povećanjem prostora koji treba da se ventilira, što po nekad zahteva instalaciju dodatnih ventilacionih vratila, povećanje broja ventilatora ili proširenje vazdušnih puteva.

Na tržištu se mogu naći softveri za ventilacione mreže. U toku ovih promena, a da bi se izabrao odgovarajući model i proverila funkcionisanje sistema, potrebno je redovno pregledati pritisak i protok vazduha.

Kad god je to moguće, ventilacioni sistem treba dizajnirati na takav način da se različite ventilacije "dele" ili grane na prirodan način balansiraju. Na ovaj način se smanjuje potreba za instaliranjem uređaja za kontrolu toka, kao što su brave za vazduh. Otvaranje i zatvaranje ovih uređaja da bi se omogućio prolaz osoblja ima veliki uticaj na protok vazduha u granama.

Površinske ventilatore treba dizajnirati tako da zadovolje potrebe rudnika. Površinski ventilatori se mogu podesiti na određene limite da udovolje potrebama, a da ne uzrokuju aerodinamičnu ravnotežu. Stariji površinski ventilatori koji su instalirani u nekim starim rudnicima često rade na maksimumu. U tim slučajevima se povećanje protoka vazduha u udaljene delove rudnika može se postići samo putem poboljšanje vazdušne ventilacione mreže.

### 4.3 Ventilacija gasnih radnih prostora

Zavisno od rasporeda rudnika, kontrola gasa, prašine i toplote koja nastaje od vađenja uglja, se obavlja uz različite stepene efikasnosti. Glavnini gasni rizici su asocirani sa predelima radova na uglju u kojima se šavovi parcijalno ili u celosti ekstrahuju (bilo putem longwall ili room-and-pillar metode) i nisu više bezbednosno prihvatljive (tj. stogovi). Sve longwall ili operacije obnove stuba su u direktnom kontaktu sa izradnjenim oblastima gde se metan, vazduh sa deficitom kiseonika i drugi opasni gasovi mogu akumulirati. Ovi gasovi uključuju metan koji nije sakupljen drenažom, plus nastavak emisija iz uglja zaostalog u stogu.

Ovi gasovi se obrađuju na jedan od dva načina. Prvo, može im biti dopušteno da uđu u tok vazduha u rudniku gde je dovoljno vazduha na raspolaganju da razblazi maksimalno očekivane tokove gasa u vazdušnim putevima do bezbednih koncentracija (slika 4.1). Kao primer, samo longwall sa podzemnom ventilacijom (U-Ventilation), kao što pokazuje slika 4.2, i 50% sakupljenog metana može biti obrađen ukupan tok gasa od 800 l/s (48 m<sup>3</sup>/min) čistog metana<sup>6</sup>. Najbolja praksa više ulaznog longwall-a i 70% skupljenog metana može kontrolisati 5,333 l/s (320 m<sup>3</sup>/min) čistog metana, povećanje za faktor veći od šest<sup>7,8</sup>.

#### Slika 4.2 Konvencionalni U-tip ventilacioni sistem

---

<sup>6</sup> Pojedinačan unosni vazdušni put i pojedinačni povratni vazdušni put, 2% maksimuma metana i 30 m<sup>3</sup>/s vazduha.

<sup>7</sup> Višestruki ulaz, 2% maksimuma metana i 120 m<sup>3</sup>/s vazduha.

<sup>8</sup> U oba slučaja napravljeno je dopuštanje od 50% iznad proseka.

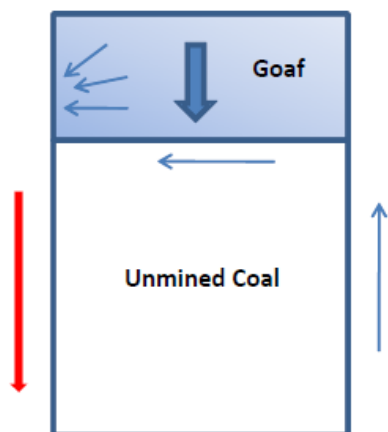
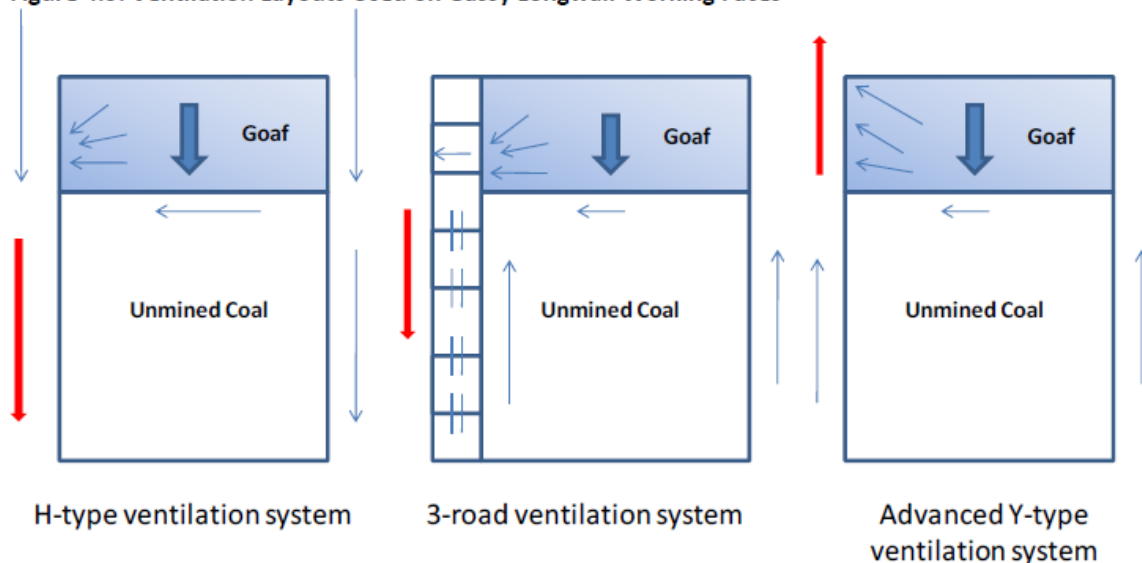


Figure 4.3: Ventilation Layouts Used on Gassy Longwall Working Faces



Kontrola gasa i pristup bušenju i regulatornoj bušotini poprečno merećih drenažnih bušotina je jednostavnije u napredovanju, u poređenju sa povlačenjem longwall-a. Međutim, većina svetskih longwall produkcija uglja dolazi povlačenjem coalface-a jer su ovi produktivniji i ventilacione konfiguracije su razvijene kao pokušaji da se inkorporišu prednosti kako od ventilacije iza coalface-a, kao što su “Y,” “H,” i sistemi povratka nazad<sup>9</sup>.

Ventilacioni sistem bi trebalo da inkorporira neki način kreiranja pritiska nagiba na longwall kraju površine da bi se osiguralo da zapaljiva mešavina gasa ne dospe u radnu površinu. Ovo može uljučiti upotrebu regulacija (delimičnih obstrukcija) u putevima i posebnim krajnjim ventilacionim aranžmanima da preusmeri protok vazduha duž ivice otpada iza coalface-a.

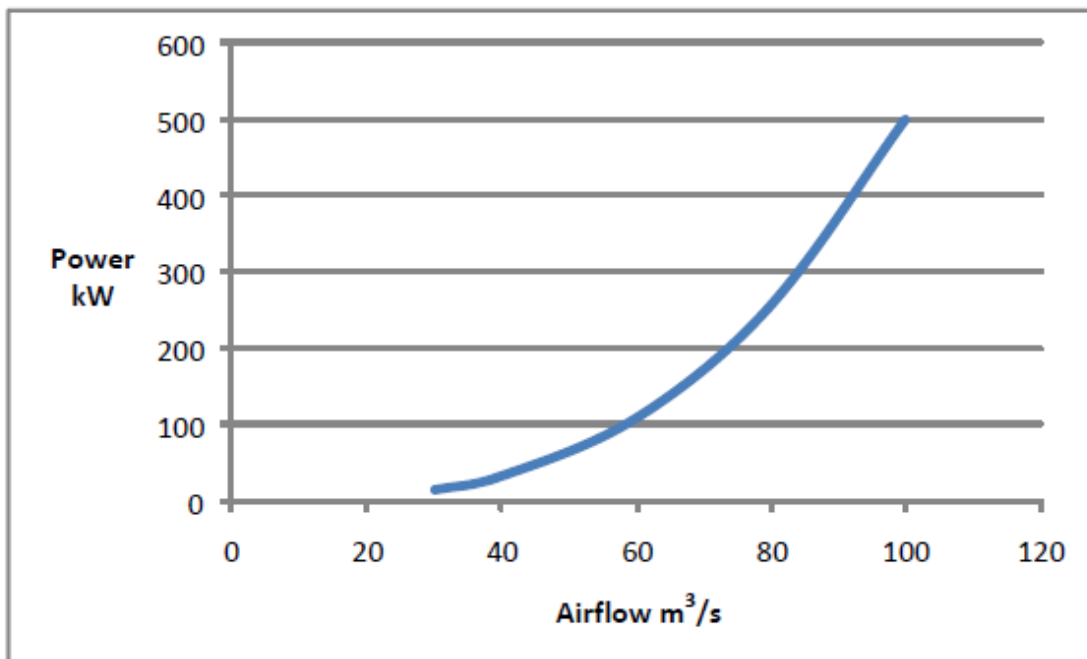
Opasnosti slojeva metana su manifestacija neadekvatne ventilacije rudnika. Njihovo prisustvo indukuje potrebu za nadzorom gasa, nedovoljna brzina gasa da se razidu slojevi gasa, i moguću potrebu da se poboljša drenaža gasa za uklanjanje gasa na svom izvoru.

#### 4.4 Potreba za napajanjem energijom ventilacionog sistema

<sup>9</sup> Videti sliku 9.1 u studiji slucaja 1 kao primer sistema povratka nazad.

Mala promena u zapremini vazduha transportovanog putem sistema ventilacije rudnika zahteva mnogo veće promene u potrošnji struje i stoga troškove ventilacije. Potreba ventilacionog sistema za napajanjem energijom, koja je jedan od najvažnijih operativnih troškova u rudniku, je proporcijalna zapremini protoka vazduha na kub (slika 4.4). Zato uvođenje drenaže gas ili povećanje njene efikasnosti često predstavlja opciju manjeg troška od povećanja zapremine ventilacionog vazduha, koji takođe može uključiti veliki razvoj infrastrukture u rudniku.

**Slika 4.4 Primer potrebe za energijom ventilacionog vazduha versus tokova vazduha**



*(Ljubaznošću Sindicatum Carbon Capita-al)*

#### 4.5 Ventilacija naslova uglja

Efikasna kontrola gasa u slepim naslovima i zatvorenim stubovima rudnika mogu biti postignuti kombinacijom pružanja pomoćne ventilacije i upotrebom sećućih motorno –masinskih uređaja da bi se razblažio gas ispušten sečenjem uglja.

Ugljeni naslovi su obično ventilirani pomoćnim fenom i kanalnim sistemom, bilo iscrpljivanjem ili prisiljavanjem, ili kombinacijom oba. Gasne opasnosti se mogu brzo razviti u slučaju bilo kakvog neuspeha pomoćnog ventilacionog sistema. Kada je gas jednom akumuliran, bezbedan ponovni ulaz u naslov zahteva posebne procedure. Da bi smanjili akumulaciju rizika gasa, neki rudnici dozvoljavaju automatski restart podzemnih fenova preteći kratku obustavu pod određenim uslovima.

Neuspesi ventilacionih sistema kroz prekid snabdevanja energijom, mehaničke greške, i greške pomoćnog usisnog fena su faktori koji utiču u mnogim nesrećnim slučajevima povezanih sa gasom. Dvostruka napajanja energijom rudnika i površina u mirujućem stanju i podzemni buster fenovi obezbeđuju redundanciju u glavnom sistemu ventilacije.

#### 4.6 Nadzor ventilacije

Nadzor ventilacije može biti izveden na dva osnovna načina: 1. kontinuirano koristeći fiksne brze transduktore koji transmituju podatke koji prebacuju vazduh na površinu, ili, 2. periodično koristeći ručnu opremu.

Preciznost kontinuiranog nadzora protoka zavisi od više faktora: pozicioniranja transduktora, pravilne kalibracije, i poprečnog preseka veličine kolovoza, koji može da se promeni sa vremenom kao posledica uzburkavanja rudarenjem. Protoci vazduha u radnoj oblasti i naslovima moraju biti oprezno nadgledani, jer su kritični kako za bezbednost, tako i za proizvodnju uglja.

Lokacije merenja ne smeju biti postavljene tamo gde su lokomotive ili vozila parkirana, jer ovi poremećaji stvaraju povremene promene u lokalnoj brzini vazduha.

Ručni krilni anemometri su pogodni za upotrebu bilo gde u rudniku, uključiv i nestabilne delove, jer dimenzije protoka vazduha mogu biti proverene sa svakim merenjem brzine vazduha. Uređaji za merenje vazduha moraju biti rekalibrirani u fiksnim vremenskim intervalima kako bi se osigurala njihova tačnost.

#### **4.7 Kontrola ventilacije**

Distribucija kontrole uključuje preusmeravanje toka vazduha na jednu lokaciju, na račun drugih tokova vazduha. Veza između aerodinamičkog otpora i stope protoka vazduha je dobro poznata i može biti upotrebljena da se predvidi ishod redistribucije protoka vazduha.

Ukupna kontrola sistema ventilacije rudnika je usmerena preventivno kroz površinski/e fen(ove). Povećanje diferencijalnog površinskog pritiska fena primenjenog u rudniku, može imati samo neznatan uticaj na protoke vazduha u najudaljenijim delovima rudnika. Iz tog razloga, povećanje površinskog pritiska fena možda ne može rešiti problem manjka ventilacionih vazdusnih puteva u udaljenim delovima rudnika. Pritisci strate mogu uzrokovati krovnu, rebranu i podnu konverziju, koja uzrokuje povećan protok vazduha; zato kolovozi moraju biti održani da bi olakšali efikasnu ventilaciju kao što je dizajnirana.

Kontinuirana kontrola i prilagođavanje glavnog ventilatora/fena nije preporučljiva. Relativno konstantan protok vazduha ispod zemlja minimizira rizik od spontanog sagorevanja i asistira u nadgledanju vazдушnih tokova i nivoa zagađenja. Tamo gde rudnik služi kao redundantno dizajniran sistem površinskog fena (jedan ili više fenova radi, jedan ili više fenova su na stendbaju), korišćenje objekta za prebacivanje fena je poželjno da se osigura da tokovi vazduha nisu prekinuti kada površinski fenovi bivaju zaustavljeni za rutinsko merenje ili inspekciju.

## Poglavlje 5. Drenaža metana

### Ključne poruke

*Iskustva u industrijalizovanim zemljama pokazuju da investiranje u dobru praksu drenaže rezultira sa manje zastoja u rudniku, zbog gasnih uslova rudnika, bezbednijeg okruženja rudarenja i mogućnosti da se koristi više gasa i da se smanje emisije metana iz rudnika.*

*Praktičan problem drenaže gasa u rudnicima uglja može generalno biti rešen primenom postojećih znanja i tehnika. Predstavljanje novih ili neobičnih tehnologija može se jedino razmatrati nakon primene dobrih praksi i jedino ako su postojeće tehnologije nisu uspele da obezbede zadovoljavajuće rešenje. Rigorozna testiranja treba da predhode uvođenju bilo kakve tehnologije u rudarskom okruženju kako bi se osiguralo da bezbednost nije ugrožena i da se najbolje prakse održavaju.*

*Performanse sistema drenaže metana mogu biti popravljene kroz pravilne instalacije, održavanje, redovan nadzor, i implementaciju sistematičnih planova bušenja.*

*Transportovanje mešavine vazduha metana u koncentracijama ravnih ili blizu eksplozivnog dometa u rudnicima uglja je veoma opasna praksa i trebalo bi biti zabranjena.*

### 5.1 Drenaža metana i izazovi vezani za nju

Svrha drenaže metana je sakupljanje gasa visoke čistoće u svom izvoru pre nego što dospe u vazdušni prostor rudnika. Iz regulatorskih potreba, količina oslobođenog gasa u vazdušni prostor ne sme preći kapacitet ventilacionog vazduha korišćenog da razblazi otrovne gasove do obaveznih bezbednih nivoa; međutim, postoji jaka potreba za maksimizacijom sakupljenog gasa da bi se postigla pobošljana bezbednost, ublažavanje posledica po životnu sredinu i obnova energije.

Postoji širok spektar metoda sa sakupljanje gasa. Odabir neprikladne metode, ili loša implementacija ove metode ce rezultirati lošom efikasnošću sakupljanja drenaže i prekomernim ulazakom tokova proizvedenog vazduha gasa niske koncentracije. Ako su ovi gasovi u okviru ili blizu eksplozivnog dometa prilikom transporta ili upotrebe, oni predstavljaju opasnost.

### 5.2 Osnovni principe prakse drenaže metana primenjenih širom sveta

Razliciti geološki i rudarski uslovi u svetskim basenima uglja su doveli do razvoja različitih tehnika drenaže metana.

Metode drenaže metana su konvencionalno klasifikovane kao one koje podrazumeva pre-drenažu ili post-drenažu. Pre-drenaža uključuje uklanjanje metana sa sloja da bi se preradio pre rudarenja, dok post-drenaža podrazumeva skupljanje metana i drugih gasova ispuštenih iz okružujucih slojeva kao posledica pomeranje strate, opuštanja i povećanja propustljivosti izazvane rudarenjem. Rezime najčešćih metoda drenaze metana je dat u prilogu 1.

Dobra praksa post-drenažne tehnike može obično da sakupi između 50% i 80% od ukupnog gasa iz longwall predela u uobičajenim geoloskim uslovima. 50% ukupno sakupljenog gasa iz rudnika je dostižan cilj u većini slučajeva. Koncentracije metana od 30% ili više bi trebalo biti dostižni upotrebom post-drenažnih sistema u svim uslovima, osim u najizazovnijima, i koncentracije od 60% i više bi trebalo biti dostižne pre-drenažnom metodom.

### 5.3 Osnove pre-drenaže

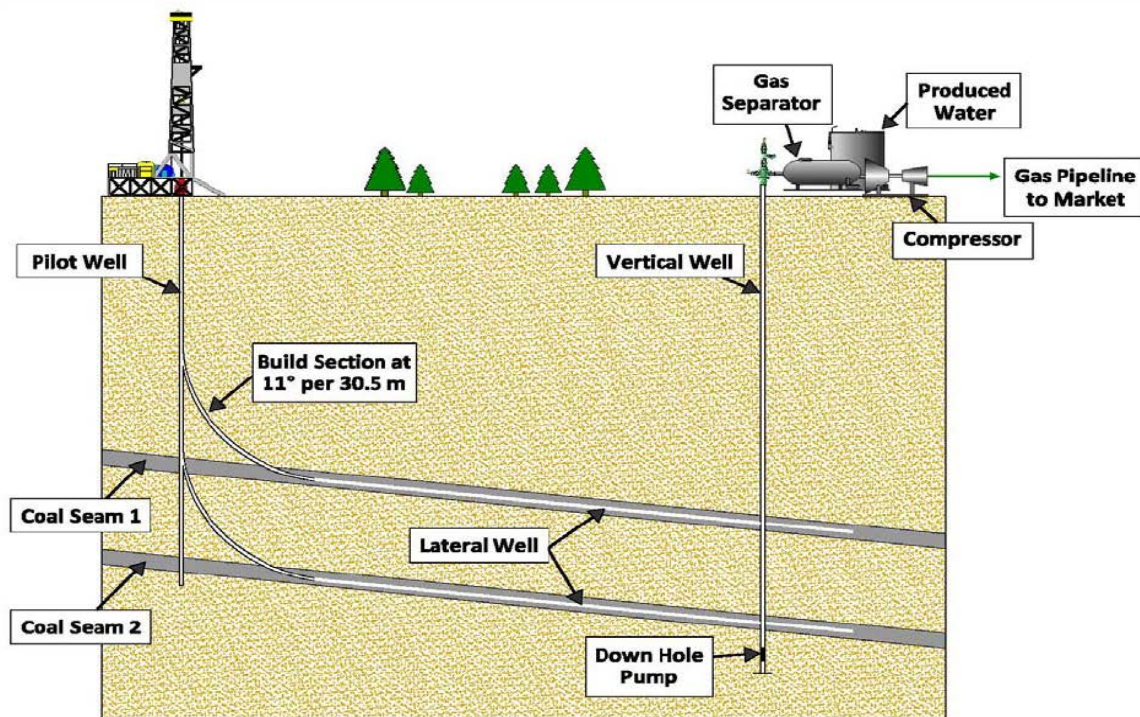
*Pre-drenaža* znači samo redukovanje toka gasa direktno iz radnog šava, koji može biti važan ukoliko je ekstrahovan sloj glavni izvor emisije. Pre-drenaža je ponekad takođe neobhodna da bi se smanjili rizici od izliva. S'obzirom da je drenaža preduzeta pre rudarenja, malo je verovatno da će sistemi za sakupljanje biti poremećeni kretanjem terena, i ukoliko je to izvodljivo, relativno visoka čistoća gasa se može ekstrahovati. Drenaža iz blokova uglja pre rudarenja generalno proizvodi konzistentne tokove gasa visoke čistoće, pod uslovom da su propustljivost i sadržaj gasa dovoljni da omoguće značajan protok gasa. Značajni tokovi gasa u netaknute naslove ukazuju na srednje do visoke lomove propustljivosti i sadašnji potencijal efikasne pre drenaže i korišćenja gasa.

Propustljivost uglja direktno utiče na vreme potrebno da se dovoljno drenira ugljeni sloj. Što je niža propustljivost uglja, to je više vremena potrebno da se drenira gas da bi se smanjio sadržaj ugljenog sloja gasa na potrebne prosečne vrednosti. Alternativno, veća propustljivost uglja zahteva veći broj bušotina potrebnih da se postigne željeni nivo metana pre miniranja. Vreme dostupno za degasiranje i troškovi operacije bušenja determinisu krajnju izvodljivost degasifikacije pre rudarenja pod uslovima specifičnim za slučaj.

Različite pre-drenažne tehnike rudarenja se koriste globalno. Rotaciono bušenje se obično koristi za bušenje ispod zemlje u šavnim rupama od 100 m do 200 m. Međutim, rupe od 1000 m ili više mogu biti instalirane upodrebnom usmerenih tehnika bušenja, čime se povećava efikasnost degazacije. Štaviše, gde rudnici nisu previše duboki, obimno bušenje i degazacija u sloju se može izvesti sa površine. Tehnike bušenja sa površine u slojeve su se dokazale kao efikasne u pre-drenažnim slojevima uglja sa opsegom propustljivosti od oko 0,5 do 10 milidarka (mD) (tj. otprilike  $5 \cdot 10^{-4}$  ( $\mu\text{m}$ )<sup>2</sup> to  $10^{-2}$  ( $\mu\text{m}$ )<sup>2</sup>), čak i manje. Kombinacije pre- i –post drenažne tehnike, upotrebom naprednih, površinskih usperenih tehnika bušenja je planirana u Australiji, gde totalna emisija može da dostigne 8,000 l/s i longwall efikasnost skupljanja od 80% je potrebna (Moreby, 2009). Iskustva Australije i SAD (Von Schonfeldt, 2008) su pokazala površinsko bušenje unutar sloja jeste moguće, tehnika je superiorna u unutrašnjim slojnim bušenjima jer bušotina može biti bušena dobro pre rudarenja i stoga je manje verovatno da će imati vremena dovoljenog da efikasna drenaža bude skraćena za aktivnosti proizvodnje (Black & Aziz, 2009). Slika 5.1 pokazuje potencijalnu konfiguraciju bušenja koja može biti korišćena da se drenira gas pre nego što počne rudarenje. U ovoj šemi, dva sloja koje je moguće rudirati, će bi drenirani tako što će prvo biti bušen pilot –izvor, iz koga će dva bočna rupna izvora biti izbušena u svakom od slojeva. Nakon što su bočni izvori postavljeni, drugi vertikalni izvor se buši da iseče bočne. Voda i gas su proizvedeni iz vertikalnog izvora i pilot-izvor je zatvoren ili shut-in napušten. Slike 5.2 prikazuje alternative post-rudarske drenažne alternative, ali bušotine unakrsnog merenja i vođene ili upravljane bušotine (pre rudarenja) mogu biti bušene u istoj konfiguraciji.



Slika 5.1 Sematski prikaz pre-drenaže sa bočnog izvora bušenog sa površine



(Ljubaznošću Raven Ridge Resources, inkorporisano)

Za plitke i slojeve srednje dubine visoke propustljivost ( $> 10$  mD), hidraulički stimulisani vertikalni izvori, bušeni sa površine, takođe poznati pod nazivom “frac wells”, se tradicionalno primenjuju za dreniranje metana pre rudarenja izuzetno uspešno, prvenstveno u Sjedinjenim Državama. Hidrofrakturisanje ili “fracking” je bilo u upotrebi bez kompromitovanja bezbednosti u rudnicima uglja lociranih u istočnom delu Sjedinjenih Država, ali treba biti oprezan prilikom utvrđivanja da li je tehnika pogodna za specifične geološke i rudarske uslove, pre nego što se primeni.

Prednost tehnika baziranih na površini je da se drenaža može obaviti nezavisno od operacije rudarenja, ali izvodljivost aplikacije zavisi od dubine bušenja, integriteta i premeabilnosti uglja i bilo kakvih ograničenja koje nameću topografija ili površinski objekti.

#### 5.4 Osnove post-drenaže

U mnogim svetskim basenima uglja, niska propustljivost ugljenih sloja ( $< 0.1$  mD) i geološke karakteristike slojeva (npr. mekani ugalj, prestupi) nisu pogodni za tehnike pre-drenaže. Kako plitke reserve bivaju iscrpljene i rudarenja se pomera ka dubljim slojevima u mnogim zemljama, ovo se može dogoditi još češće. Svaka efikasna drenaža u ovim slojevima uglja se oslanja na frakturiranje i povećanu propustljivost, izazvanu produbljivanjem strate kako se ugalj progresivno vadi.

*Post-drenažne* metode podrazumevaju presretanje metana ispuštenog rudarskim uzburkavanjem pre nego što uđe u vazdušni put i dobije pristup zoni iznad uzburkivanja i takođe ponekad ispod, u random sloju.

Tamo gde više nema slojeva uglja iznad ili ispod radnog sloja, emisije ovih izvora mogu znatno prekoračiti emisije iz radnog sloja u zavisnosti od prvenstveno neto debljine uglja i sadržaja gasa u ovim slojevima/šavovima. Zbog toga, mnogo veće zapremine tokova gasa mogu često biti drenirani

upotrebom post-drenažnih tehnika u poređenju sa pre-drenažnim tehnikama. Obezbeđivanje visoke koncentracije gasa za efikasnu drenažu i bezbedno korišćenje zahteva pažljiv dizajn i upravljanje ovim sistemima. Što je veća učestalost uglja na krovu i podu gasovitog radnog šava uglja, to je post-drenaža postaje važnija.

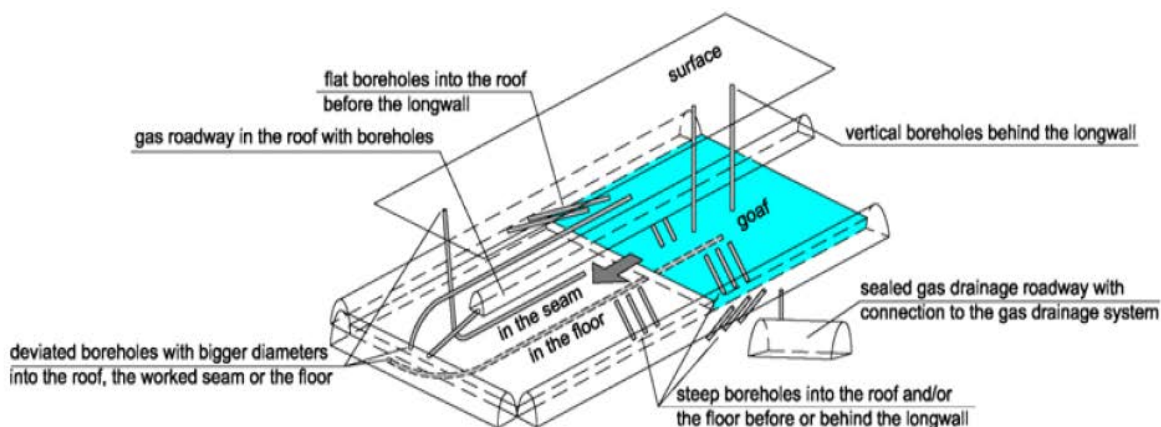
Slike 5.2 daje sinoptički pogled drenažnih tehnika koje se mogu koristiti za odvod gasa iz longwall panela, nakon što je ugalj izvađen. U ovom diagram su prikazana tri načina bušenja:

- Upravljanje horizontalne bušotine: Bušene sa kolozova ili specijalno propremljenih galerija za bušenje. Bušotine mogu biti bušene u okolne strate koje će se opustiti sa povlačenjem radne površine. Opuštanje strate proizvodi gas zonama koje deluju kao prolazni put i tačke prikupljanja gasa, kako (gas) ide nagore. Ova ilustracija prikazuje bušotine koje su bile bušene iznad panela u krovnu stratu i ispod poda u osnovnu podnu stratu.
- Bušotine unakrsne mere: Ovde prikazane kao izbušene u različitim konfiguracijama i dizajnirane da buše krov i pod kamene strate dok otpuste kao odgovor na de-naglašavanje izazvano vađenjem uglja. Jedan set se vrši pre povlačenja longwall površine u prekriveni krovni kamen iznad coalface-a. Ovaj tip pretenduje da deluje bolje od onih koji su prikazanih bušenjem pre nego što se rudarenje odradi, jer oni ovek trpe štetu kako površina prolazi stratu nakod sto je longwall površina već formirana. Generalno, bušotine unakrsnih mera, bušenih iza lica longwalla, postižu veću efikasnost sakupljanja i održavaju veću čistoću vazduha od onih bušenih ispred površine uglja. Ipak je međutim neobhodno održavati ulaz iza površine, izgradnjom paketa zidova i u nekim slučajevima takođe formiranjem plombi naspram stoga. Plombe na stožnoj strani otvorenog kolovoza iza površine služe za poboljšanje podrške kolovozu i za izolovanje stoga iz ulaza vazduha, kako bi se smanjio rizik spontanog sagorevanja.
- Površinske stožne bušotine: Bušene sa površine u gornje granice stoga, obično pre rudarenja. Ove bušotine su bušene tako da manje porcije od ukupno dreniranog gasa koji prolazi nagore od osnovnih ispuštenih i slomljenih strata. Rupe obično rade pod delimičnim vakuumom. Mora se obratiti pažnja da usisavanje nije preterano, jer bi skretanje velikih količina vazduha rudnika razblažilo čistoću metana na ispod 30%. Ukoliko čistoća padne ispod 25% do 30%, ti stogovi se moraju zatvoriti.

Kao dodatak tehnikama prikazanih na slici 5.2, pokretne galerije za drenažu gasa iznad ili ispod longwall radova i drenirani gas iz predhodnih radova, koji se nalaze u zoni uzburkavanja, jesu efikasna sredstva za redukovanje emisije metana u aktivne radove rudnika.

Strategija post -drenže gasa može primeniti jednu ili sve ove tehnike. Izbor i konfiguracija programa drenaže posle rudarenja će zavisi od potreba efikasnosti drenaže gasa, rudarskih i geoloških uslova, održivosti tehnika za ciljnu zonu odgovornu za najveće tokove gasa i troškova. Slike 5.2 je napravljena da naslika alternative drenaže posle rudarenja, bušotine unakrsnih mera i upravljani ili usmerene bušotine mogu biti bušene i istim konfiguracijama da proizvedu gas u razvijenim panelima pre nego što počne longwall proizvodnja.

### **Slika 5.2 Različite metode post-drenažnog bušenja**



*(Ljubaznošću DMT GmbH & Co. KG)*

Neke metode drenaže gasa, kao što su postavljanje drenažnih cevi u stog kroz barijere postavljene iz površine, omogućavaju da prekomerne zapremine vazduha budu uvučene u sistem da razblaže metan, ponekad u eksplozivnim rasponima. Ovaj i drugi tipovi sistema drenaže metana, koji sakupljaju samo CMM niske čistoće, trebalo bi biti izbegnuti –visoko su neefikasni i omogućavaju akumulaciju eksplozivnih mešavina gasa u stogu na kraju povratka povlačućeg longwall-a. Ove drenažne metode mogu takođe biti neefikasne u sprečavanju formiranja i kretanja slojeva metana.

Pogoršavanje performansi drenaže dovodi do rapidnog povećanja koncentracije metana u vazдушnim putevima (predpostavljajući da ukupni ventilacioni protok vazduha u rudniku ostaje konstantan). Sistem drenaže gasa zato zahteva kontinuirano, detaljno nadgledanje i upravljanje.

### **5.5 Razmatranje dizajna za sistem drenaže metana**

Kapacitet sistema drenaže metana bi trebalo biti dizajniran da omogući maksimum od očekivane mešavine toka sakupljenog gasa (metana i vazduha), iz svih izvora u rudniku, uključiv i radne površine, iskorišćene površine iz kojih je oprema uklonjena i napuštene (zatvorene ili zapečaćene) oblasti.

Očekivana zapremina proizvedenog gasa metana može biti procenjena upotrebom metode predviđanja metana. Najveći protok koji treba biti transportovan kroz mrežu cevi je dat preko najviše očekivanog sakupljenog toka gasa sa najnižom koncentracijom metana (čistoćom) i koji će se verovatno pojaviti tokom normalnih operacija. Rezultirajuća stopa protoka bi trebala da bude unutar sistemovog planiranog kapaciteta kada su sve pumpe operativne.

Kvalitet gasa je dizajnirano svojstvo sistema drenaže gasa, a ne inherentna ili dizajnirana karakteristika. Čistoća gasa od ispod 30% metana u vazduhu bi se trebalo smatrati neprihvatljivo kako iz bezbednosnih razloga, tako i iz razloga efikasnosti. Održavanje čistoće gasa u podzemnim sistemima drenaže savisi od kvaliteta plombe bušotine, uključujući i ispravne instalacije hidranata, sistematične regulacije pojedinačnih bušotina i usisavanje pritiska primenjenog na površini ekstrahovane postavke. Pojačavanje usisavanja u cilju povećanja toka gasa će uvesti više vazduha i tako smanjiti čistoću gasa. Obrnuto, smanjivanje usisavanja će smanjiti ukupnan protok mešavine, ali će povećati čistoću gasa. Najvažnije, usisavanje i protok na površini postavke bi samo trebali biti prilagođeni sa punim znanjem podzemnog statusa i dok se održava komunikacija sa načelnikom-supervizorom ventilacije.

Kada se planira, implementuje i održava sistem drenaže metana, sledeće faktore bi trebalo uzeti u obzir:

- Bezbedan pristup bušenju, nadzoru i regulaciji.
- Stabilnost tla i neobhodan sistem podrške da bi se stabilizovale bušotine.
- Konfiguracije bušotina za drenažu gasa, sa uzimanjem u obzir razlika između očekivanih performansi krova i poda post-drenažnih bušotina.
- Kapacitet drenaže, dijometri cevi, ekstrakciona pumpa i zahtevi infrastrukture.
- Lokacija, instalacija i puštanje u rad mreže cevi za drenažu.
- Filteri za vodu i postrojenja za odvodnjavanje.
- Operaciona kontrola i održavanje sistema za drenažu i infrastrukture.
- Zaštita cevi za drenažu od loma iza longwall skloništa.

## **5.6 Podzemna infrastruktura gasovoda**

Trebalo bi koristiti prikladne materijale za infrastrukturu cevi za drenažu gasa. Čelik, staklom pojačana plastika (GRP) i polietilen (PE) cevi za drenažu gasa jesu dostupni.

GRP cevovodi su vrlo lomljivi i ne bi trebalo biti korišćeni u oblastima proizvodnje uglja, međutim, njihova jednostavnost u rukovanju i instalacije, u poredjenju sa čeličnim cevima, ih čini preferencijalnim materijalom za osnovne linije trupa.

Tamo gde je prostor ograničen i linije mogu biti sklonije fizičkom oštećenju (npr. od deformacije kolovoza ili slobodno -usmerenog vozila), trebalo bi koristiti čelična creva i povezivatni prikladnim fleksibilnim spojnicama da bi se omogućilo kretanje.

PE cevi se koriste u nekim zemljama, ali visoka temperaturna fuzija ovih spajajućih cevi ili segmenata, bi trebalo izbegavati. Bezbednosne regulacije u nekim zemljama dozvoljavaju ovu praksu u dobro ventiliranim oblastima pod nadzorom kvalifikovanog osoblja rudnika, dok se u drugim zemljama smatra neprihvatljivim. Kao dodatak, providni materijal je neobhodan da smanji rizik od pojave statičnog elektriciteta.

Nevezano za izbor materijala i pozicioniranje, podzemni sistemi cevi su ranjivi na oštećenja čak i u najbolje regulisanim rudnicima. Osnovni potencijalni izvor opasnosti jeste okruženje rudarenja, uključiv i konvoje minerala, sisteme prenosa konopca, lokomotive i njihov tovar i aktivnosti tegljenja. Postoji takođe i potencijalna šteta kroz pomeranje strate i odrona krova. Sistem drenaže bi zato trebalo dizajnirati i operirati sa premisom da postoji konačan rizik od neuspeha integriteta.

## **5.7 Nadzor sistema drenaže gasa**

Manuelni ili daljinski sistemi nadzora bi trebalo biti korišćeni da bi odredili efektivnost sistema drenaže gasa. Kvalitet nadzora zavisi od pouzdanosti senzora, pozicioniranja, održavanja, kalibracije i upotrebe.

Merenja su potrebna na pojedinačnim bušotinama u radnim cevima drenaže gasa i na površini postrojenja ekstrakcije metana koja poseduju pumpe koje skreću drenirani gas iz rudnika. Parametri koji se moraju nadgledati su mešani tokovi, koncentracije gasa, manometar i temperatura. Barometarski pritisak bi takođe trebalo biti zabeležen da bi se olakšale standardizacije protoka podataka. U nekim slučajevima, drenirani ili emitovani gas u radove rudnika može sadržati komponente kao što su vlaga, jedinjenja sumpora, ili teži gasoviti ugljovodonici (npr. etan ili propan) koji mogu uzrokovati neprecizno merenje metana. Treba se pobrinuti da se dizajnira program nadzora i merenja sposoban da koriguje sve dodatne konstituente i tako obezbedi precizno merenje.

Nadzor treba da se koristi za praćenje trenutnih performansi instaliranog sistema protiv originalnog koncepta dizajna.

## Poglavlje 6. Korišćenje i smanjenje metana

### Ključne poruke

*6.1 Podzemni rudnici su najveći izvor antropogenih emisija metana, ali te emisije se mogu suštinski smanjiti ukoliko se koristi najbolja praksa. Metan ima 20 puta viši GWP od ugljen dioksida i globalno je najveći GHG.*

*Rudarska industrija može ili da koristi ili da uništi veće količine metana koji proizvode podzemni rudnici. Neke od opcija su: eksploatacija izvučenog gasa, paljenje viškova izvučenog gasa ili korišćenje i smanjenje VAM rudnika. Uz odgovarajuće tehničke i tržišne uslove, krajni cilj treba da bude emisija metana blizu nulte.*

*U žurbi da se eksploatiše CMM, često se zapostavljaju potrebni standardi sigurnosti i inženjeringa i na taj način stvaraju novi hazardi u rudnicima uglja. Perilikom planiranja korišćenja metana, treba izbeći svako povećanje podzemnog rizika.*

### 6.1 Metan iz rudnika i klimatske promene

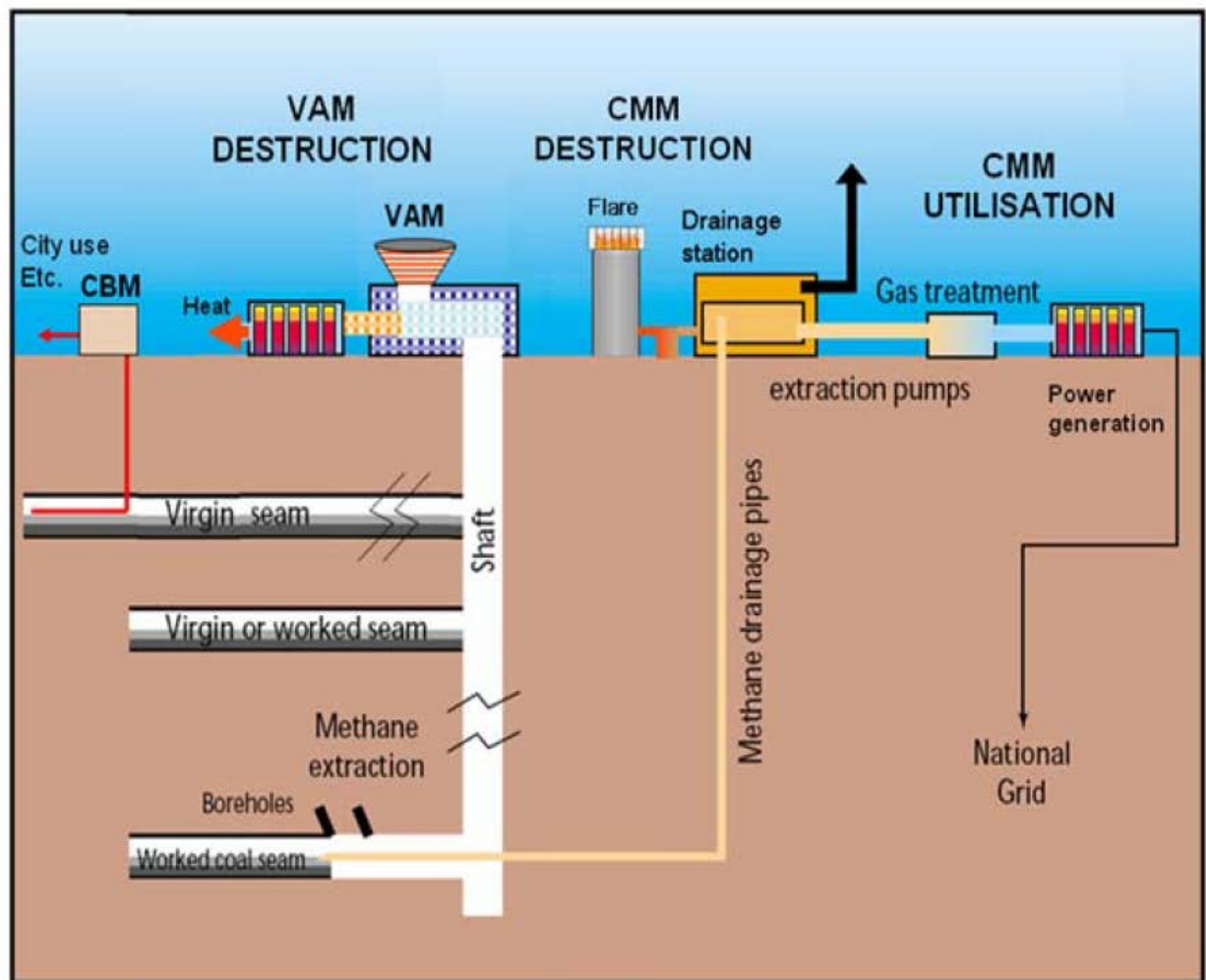
Smanjenje emisije metana predstavlja međunarodni prioritet, pri čemu rudnici uglja imaju važnu ulogu. Na metan otpada 14 % globalnih antropogenih GHG emisija, od čega 6 % otpada na emisije metana iz rudnika uglja ili oko 400 MtCO<sub>2</sub> godišnje (EPA 2006; IPCC 2007; Metan za tržište 2008). Globalne CMM emisije su male u poređenju sa ostalim GHG emisijama iz rudnika (npr. ugljen dioksid od sagorevanja uglja), ali nisu beznačajne. Važno je da postoje komercijalne i isprobane tehnologije da se izvuče i koristi CMM, što čini da je korišćenje CMM-a privlačno rešenje za srednjeročno i dugoročno smanjenje GHG.

### 6.2 Metan iz rudnika kao izvor energije

Kaptiranje i upotreba metana može znatno doprineti vrednosti rudarskih operacije. Kaptirani CMM može se direktno koristiti za snabdevanje ili proizvodnju energije i na taj način se ovladava vrednost prirodnog izvora. Rudnik, za uzvrat može ostvariti ekonomsku dobit kroz prodaju energije ili smanjenjem troškova. Štaviše, korišćenje metana doprinosi povećanju unutrašnje vrednosti rudnika jer generiše kapital koji se može reinvestirati u opremu za sigurnost rudnika i njegovo funkcionisanje.

Postojeća tehnologija može da optimalizuje korišćenje energije i praktično eliminiše znatan procenat emisija metana iz podzemnih rudnika uglja (Tabela 6.1). Dobri standardi i praksa drenaže gasa će doprineti da gas bude korisnog i stabilnog kvaliteta, a sa druge strane će omogućiti primenu najjeftinijih metoda za njegovu upotrebu. Zbog varijacija u iskopavanju, snabdevanje gasom će fluktuirati, a sprave za njegovo korišćenje će povremeno otkazivati ili će morati da se zaustavljaju zbog održavanja. U takvim slučajevima neiskorišćeni gas može da se sagori da bi se minimizirale emisije. Metan koji ne može da se kaptira ili iskoristi, rastvara se kroz ventilacioni vazduh i ispušta u atmosferu kao VAM. Već godinama se radi na tehnologijama za smanjenje VAM emisija. Generalno, tehnički je moguće da se oksidiše VAM u koncentracijama iznad 0.20, a širom sveta u operaciji je više takvih komercijalnih projekata.

Slika 6.1 Optimiziranje obnove energije sa blizu-nultom emisijom miniranja metana



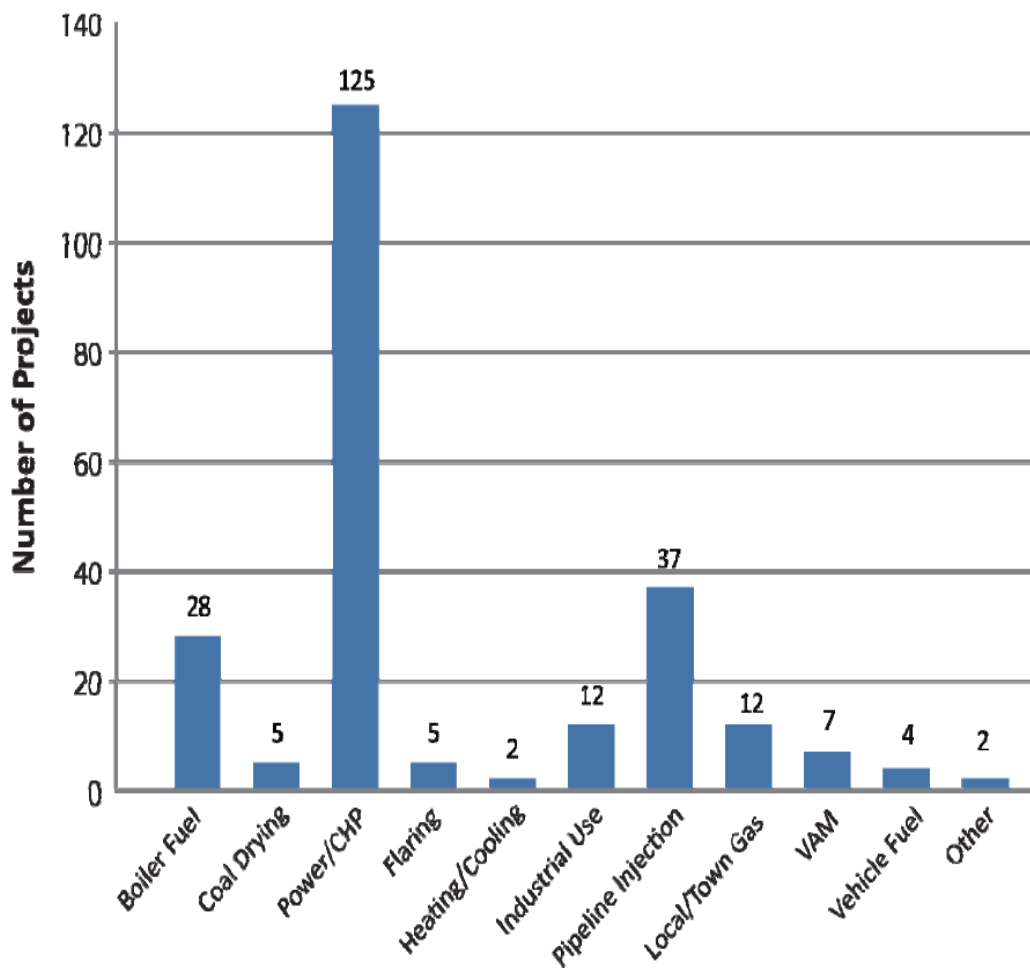
U upravljanju podzemnim rudnicima uglja i metana, sigurnost mora uvek da bude najveći prioritet. U žurbi da se eksploatiše CMM, ponekad se zapostavljaju neophodni standardi sigurnosti i inženjeringa i na taj način dolazi do hazardnih situacija u rudnicima uglja. Prilikom planiranja korišćenja metana, treba izbeći povećanje bilo kakvog rizika pod zemljom.

### 6.3 Opcije korišćenja

U velikom broju slučajeva moguće je korišćenje CMM-a u obimu 30% do 100% metana, uključiv: 1) korišćenje za gorivo u čeličnim pećima, pećima za sagorevanje i boilerima; 2) za unutrašnje sagorevanje u (IC) mašinama i turbinama za generatore; 3) za injektiranje u gasovode za prirodni gas; 4) kao sirovina za industriju đubriva ili 5) kao gorivo za vozila (LNG ili CNG). Za korisnike koji nisu sa lica mesta, posebno civilne potrošače, konstruišu se posebni rezervoari koji se mogu koristiti i za skladištenje gasa u slučaju prekida u ekstrakciji gasa. U fabrikama CMM koje se nalaze pri rudnicima, obično se izbegava skladištenje velikih količina zapaljivih mešavina gasa i njegovo civilno korišćenje zbog visokih troškova, vizuelnog impakta i rizika, jer one i onako uspešno funkcionišu.

Tržišno partnerstvo za metan ([www.methanemarkets.org](http://www.methanemarkets.org)) je identifikovao više od 240 tekućih, sadašnjih i bivših CMM/VAM projekata u aktivnim ili napuštenim rudnicima širom sveta. Tabela 6.2 prikazuje distribuciju CMM/VAM projektnih tipova u kojima su dominantne elektrane, gasovodi prirodnog gasa i bojleri. Svi zajedno, projekti imaju kapacitet za proizvodnju 1,263 megavata (MW) električne energije i 156 MW termalne energije, isporučuju 1,582 miliona m<sup>3</sup> godišnje prirodnog gasa i doprinose godišnjoj redukciji emisija koje su ekvivalentne 7 MtCO<sub>2</sub>e (Methane to Market 2009).

**Tabela 6.2 Distribucija CMM projekata sirom sveta**



(Izvor: Methane to Markets Partnership, 2009)

Danas se većina projekata koji koriste kaptirani metan sprovodi u Australiji, Kini, Češkoj, Nemačkoj, Poljskoj, Ruskoj Federaciji, Ukrajini, Ujedinjenom Kraljevstvu i SAD. Sa napretkom trgovine ugljenikom, u nekim zemljama se povećava merilo za smanjenje emisije ugljenika i rezultirajući krediti za ugljenik i druge robe za razmenu u oblasti zaštite sredine, pored vrednosti energije koja se generiše tim projektima (vidi odeljak 7). Ovo je podstaklo povećanje projektnih aktivnosti u mnogim zemljama, posebno Kini, dok se istovremeno podupire porast projekata koji se isključivo oslanjaju na kredite ugljenikom kao glavnim izvorom prihoda (tj. smanjenje gorinika i VMA).

#### 6.4 Smanjenje i korišćenje drenažnog metana



Korišćenje dreniranog metana zavisi od kvaliteta i kvantiteta proizvedenog gasa. Ranije je bila neophodna koncentracija od najmanje 30% metana. Poslednjih godina su se na tržištu pojavile mašine za sagorevanje koje mogu koristiti metan iz rudnika i u koncentracijama manjim od 30%. U ovim smernicama se pravi razlika između koncentracija koje su srednje/visoke koncentracije i onima sa niskom koncentracijom (< 30%) drenažnog metana, jer je transport gasa niske koncentracije krajnje opasan i treba ga izbegavati.

#### **6.4.1 Srednja do visoka koncentracije metana (CMM)**

Tehnologija koja se koristi u ovoj kategoriji zahteva konstantan protok i kvalitet drenažnog metana, koji zbog sigurnosti transporta, treba da ima minimalnu koncentraciju od 30%. Neke tehnologije su komercijalno isplative samo ukoliko se koristi drenažni gas visokog kvaliteta koji se dobija pre kopanja uglja. Ne postoji jedan "najbolji način". Svaki projekat treba procenjivati posebno na osnovu kvaliteta i kvantiteta proizvedenog gasa kao i uzimajući u obzir tržište, funkcionisanje kopa i pravne propise za rudnike. Na primer, podsticajne tarife su bile pokretačka snaga za korišćenje CMM u Nemačkoj i ohrabrile proizvodnju energije koja se bazira na CMM. U SAD, mnogi rudnici imaju pristup razvijenim sistemima gasovoda, sa povoljnim cenama prirodnog gasa, što je imalo za posledicu prodaju brojnih projekata gasovoda za prenos prirodnog gasa. Na tabeli 6.1 je dat komparativni prikaz kako se najčešće koristi drenažni gas, sa kratkim pregledom prednosti i nedostataka. Za više informacija mogu se konsultovati vodeći izvori informacija, uključiv vebsajt Tržišnog partnerstva za metan ([www.methanetomarkets.org](http://www.methanetomarkets.org)).

**Tabela 6.1 Poređenje korišćenja CMM**

<b>Upotreba</b>	<b>Aplikacije</b>	<b>Prednosti</b>	<b>Mane</b>
Proizvodnja električne energije	Generatori na gasni motor koji proizvode struju za korišćenje u rudniku ili izvoz za mrežu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dokazana tehnologija</li> <li>• Oporavak otpadne toplote za grejanje zgrade rudnika, kupatila rudara, i vratilo za grejanje i hladjenje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prekidljiv i promenljiv izlaz; dakle, ne može biti pogodna za električnu mrežu</li> <li>• Redovno održavanje zahteva posvećenost operatera rudnika</li> <li>• Visoki troškovi kapitala u početnoj fazi projekta</li> </ul>
Visoko kvalitetni gasovod	Čistoće visoko kvalitetnog CMM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ekvivalent prirodnom gasu</li> <li>• Profitabilno gde je visoka cena gasa</li> <li>• Dobra opcije tamo gde postoji jaka gasovodna infrastruktura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Standardi čistoće gasovoda su visoki i prečišćavanje je skupo</li> <li>• Jedino izvodljivo za visoko kvalitetni, predrenirani CMM i prerađeni CMM</li> <li>• Zahteva razumni pristup gasovodu</li> </ul>
Srednje kvalitetni “gradski” ili industrijski gas	>30% metana za lokalno stanovništvo, daljinsko grejanje i industrijsku upotrebu peći za grejanje	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Niska cena goriva</li> <li>• Lokalizovana korist</li> <li>• Može zahtevati minimalno ili nikakvo čišćenje gasa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Troškovi distributivnog sistema i održavanje</li> <li>• Promenljivi kvalitet i snabdevanje</li> <li>• Skupi držači za gas potrebi za upravljanje vrhunskim zahtevima</li> </ul>
Hemijska sirovina	Visoko kvalitetan gas za proizvodnju čađi, formaldehid, sintetičkih goriva i di - metil etar ( DME )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Upotreba za nasukale visoko kvalitetne zalihe CMM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Visoki troškovi prerade</li> <li>• Nema CMM potencijala kada ugljenik može biti oslobođen</li> </ul>
Gradiliste rudnika	Grejanje, kuvanje, kotlovi, ugalj kazne sušenje, rezidencije rudara	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dislocira korišćenje uglja</li> <li>• Čist izvor energije niskog troška</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Može biti manje ekonomski korisno za korišćenje na licu mesta nego izvan gradilista</li> </ul>
Vozila	Visoko kvalitetan, pre drenirani gas i CBM za CNG i LNG	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pristup tržištu za standardne zalihe gasa</li> <li>• Cene goriva vozila su veoma visoke</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obrada, skladištenje, rukovanje i transportni troškovi</li> <li>• Standardi za prečišćavanje su veoma visoki</li> </ul>

*Napomena: Svi projekti koji zadovolje tražene kriterijume mogu dobiti kredite za ugljenik, kredite za obnovljivu energiju, ili feed-in tarife gde projekti zadovoljavaju kriterijume koji se zahtevaju.*

#### 6.4.2 Niska koncentracija ispuštenih metana

Neodgovarajuća drenaža gasa i nepridržavanje standarda dovodi do niske efikasnosti drenaže i suvišnog ulaska vazduha što proizvodi protok gasa niske koncentracije, eksplozivnog opsega. U ovim smernicama se snažno zalažemo protiv pokušaja da se transportuje ili koristi gas eksplozivnog opsega kako bi se izbegle katastrofalne eksplozije koje mogu ugroziti živote rudara, naneti materijalne štete u rudniku i rezultirati u značajnom povećanju troškova funkcionisanja rudnika.

#### 6.4.3 Tehnologije prečišćavanja razblaženog metana iz drenažnih sistema

U nekim slučajevima bilo bi poželjno da se poboljša kvalitet CMM, posebno metan iz stogova. Početni fokus treba da bude na poboljšanju podzemnih standarda drenaže metana kako bi se izbegli visoki troškovi pročišćavanja dreniranog gasa. Tako se poboljšava kvalitet gasa i pojačava bezbednost unutar rudnika.

Druga opcija je da se nadogradi kvalitet gasa. Sistemi za nadogradnju kvaliteta gasa mogu biti skupi. Pre instaliranja takvih sistema treba razmotriti opcije i izmeriti troškove i koristi naspram CMM projektnih ciljeva. Ukoliko je željeni cilj nadogradnja kvaliteta gasa, najjednostavnije rešenje je da se pomeša gas nižeg kvaliteta iz stogova sa gasom visokog kvaliteta iz oblasti pre drenaže, kako bi se dobila optimalna mešavina. Sledeća opcija bi bila da se drenažni gas oslobodi od kontaminanata (kiseonik, azot, ugljen dioksid i ugljen monoksid, ali i vodonik sulfid), koristeći jednu od tri osnovne tehnologije: 1) adsorpcija pod pritiskom (PSA); 2) molekularna sitasta adsorpcija (MSA), varijanta PSA i 3) kriogenska separacija.

- Adsorpcija pod pritiskom: u većini sistema PSA za odbacivanja azota, široka molekularna sita adsorbuju metan za vreme svakog ciklusa hermetizacije. Ovim procesom se reciklira gas bogat metanom tako da se proporcija metana povećava u svakom ciklusu. PSA izvlači do 95% raspoloživog metana i može se non-stop odvijati uz minimalan nadzor.
- Molekularna sitasta adsorpcija: MSA koristi PSA proces pomoću podesivog molekularnog sita. Ono omogućava da se pore nameste na 0.1 angstrom. Ovaj proces nije ekonomičan ako je inertan sadržaj gasa veći od 35 %.
- Kriogenska separacija : Kriogeni proces – standardno, ekonomično rešenje za nadogradnju gasa sa niskim specifikacijama iz polja prirodnog gasa – koristi niz razmenjivača toplote da bi pretvorio u tečno stanje gas pod visokim pritiskom. Kriogenske fabrike imaju najveću stopu oporavka metana, 98 %, od svih tehnologija za prečišćavanje, ali su veoma skupe i prema tome pogodnije za velike projekte.

SAD EPA Publikacija, Upgrading Drained Coal Mine Methane to Pipeline Quality: A Report on the Commercial Status of System Suppliers (EPA-430-R-08-004), sadrži dodatne informacije o unapređenju drenažnog CMM. <http://epa.gov/cmop/docs/red24.pdf>

#### 6.4.4 Paljenje

Jedna od opcija za smanjenje CMM je paljenje CMM što može biti poželjno ukoliko nije moguće korišćenje CMM. Poželjno bi bilo da svaka fabrika ima postrojenje za paljenje u slučaju pada sistema ili kada je potrebno obustaviti proizvodnju zbog radova na održavanju, kao i u ranoj fazi rada fabrike

kada proizvodnja metana još nije dostigla komercijalni nivo. Na ovaj način se minimiziraju emisije metana u atmosferu i štiti okolina kad god korišćenje nije moguće.

Rudna industrija i pravna regulativa u nekim zemljama se protive paljenju u rudnicima iz bojazni da bi plamen mogao da se vrati kroz sistem drenaže i izazove eksploziju. Bezbedno paljenje, kao minimum, zahteva rigorozne sisteme koji sadrže niz sigurnosnih uređaja kao što su prekidači za plamen i detonatore, pešačenje i senzori. Uređaju za paljenje CMM se uspešno primenjuju u mnogim zemljama kao što je Australija, Kina i Ujedinjeno Kraljevstvo. U konceptualnom smislu ovaj rizik se ne razlikuje od rizika prilikom upotrebe bojlera za CMM koji se široko primenjuju.

Plamen može biti otvorenog tipa kao „sveća“ ili zatvoren – prizemljen. Zatvoreni plamen mnogo više košta od otvorenog, ali je njegova destruktivna efikasnost veća. U “idealnim uslovima“, efikasnost je gotovo ista i iznosi 98% do 99 %, ali se efikasnost otvorenog plamena znatno smanjuje ukoliko deluju spoljni faktori kao što je vetar. (Univerzitet Alberta, 2004.). Izvršni savet Mehanizma za čisti razvoj (CDM) je, na primer, odredio referentne vrednosti za zatvoren plamen od 90 %, a za otvoren 50% (Izvršni savet CDM 2009.g.). Efikasnost zatvorenog plamena je moguće izmeriti. Možemo zaključiti da zatvoreni plamen ima veću estetsku vrednost jer se plamen ne vidi i zagađenje od sagorevanja može bolje da se kontroliše.

### **6.5 Smanjenje ili korišćenje nisko-koncentrovane ventilacije vazduha metana (VAM)**

Pozemni rudnici su daleko najveći izvor odbegle emisije metana u rudarskom sektoru i procenjuje se da je 70 % i više emisija iz rudnika na globalnom nivou potiče iz podzemnog ventilacionog vazduha. VAM se ispušta u atmosferu obično u koncentracijama manjim od 1%.

Poslednjih godina došlo je do razvoja tehnologija koje termalnom oksidacijom mogu da unište niske koncentracije metana u ventilacijama rudnika. Svrha ovih tehnologija je da se smanje GHG emisije. Neke od ovih tehnologija mogu se kombinovati sa sistemima za obnovu toplote koja se koristi za zagrevanje rudnika ili okruga ili za rad parnih turbina koje proizvode struju. Danas se na tržištu mogu naći dva tipa tehnologije i to Regenerativni termalni oksidator (RTO) poznat i pod nazivom Reaktor za preusmeravanje termalnog toka (TFRR) i Regenerativni katalitički oksidator (RCO), poznat i pod nazivom Reaktor za preusmeravanje katalitičkog toka (CFRR). U ove ove tehnologije se koristi proces za preusmeravanje toka da bi se održala temperatura u jezgru reaktora, a razlikuju se samo po korišćenju RCO upotrebi katalizatora u procesu oksidacije. Pre primene VAM-a, ove tehnologije su bile u širokoj upotrebi za kontrolu polucije u komercijalnim proizvodnim pogonima, naročito u cilju oksidacije promenljivih organskih materija, mirisa i drugih zagađivača vazduha. Komercijalni VAM RTO oksidatori za mitigaciju metana se koriste u rudnicima u Australiji, Kini i SAD. Korišćenje energije iz VAM se uspešno primenjuje u Australiji, gde se u rudničkim elektranama koristi VAM kao vazduh za sagorevanje u IC motorima, a RTO za pretvaranje VAM-a u električnu energiju. Na testovima se pokazala puna vrednost VAM-a za RCO.

Današnje ventilacione tehnologije po pravilu, bez dodatnog goriva, nisu u stanju da procesuiraju koncentracije metana ispod 0.2% , međutim su u toku istraživanja kako da se smanji ovaj procenat, jer koncentracije VAM-a u mnogim rudnicima padaju ispod 0.2%. Postrojenja koja koriste VAM za proizvodnju energije treba da optimiziraju koncentracije priliva i povećaju koncentracije VAM-a koji ulazi u oksidacioni uređaj. Jedan od metoda koji se koristi je obogaćivanje (povećanje) gasa sa metanom iz drugih izvora kao što je gas iz stoga ili iz pred-drenaže. Ukoliko se razmatra ova mogućnost - obogaćivanje, onda ne treba koristiti gas niske koncentracije (< 30%) zbog opasnosti od

eksplozije. Korišćenje gasa veće koncentracije (>30%) može skrenuti gas iz jeftinijih CMM elektrana i to može doprineti izvodljivosti projekta.

Potrebno je obezbediti da RTO/RCO i infrastruktura kojom se transportuje povratni vazduh iz rudnika u reaktore ne stvara dodatni pritisak na ventilator u rudniku, da se minimizira parazitska potrošnja energije do nivoa praktičnosti i da se zadrže analizatori metana i druga oprema za održavanje bezbednosti (kao što su prenaponi plamena, bajpas sistemi).

Koriste se i druge VAM tehnologije kao što su Katalitički monolitni reaktor (CMR), turbine za sagorevanje koje koriste VAM u koncentracijama od 1.5 % i manje i rotacione peći koje mešaju VAM sa ostacima uglja (SU, 2006).

U današnje vreme, komercijalna izvodljivost VAM tehnologija gde se VAM koristi kao osnovno gorivo zavisi od prihoda koji se dobijaju od kredita ugljen dioksida. Prema izveštajima, VAM projekti imaju pozitivan bilans pri niskim cenama ugljen dioksida od 5 – 10 dolara /tCO<sub>2</sub>e.

## **6.6 Nadgledanje metana**

Efikasnost i sigurnost upotrebe metana može se znatno povećati ukoliko se sa sigurnošću može izmeriti stvarna koncentracija metana u ekstrakovanom gasu.

Drenirani gas koji se transportuje radi pretvaranja u energiju ili za paljenje može se sigurnije transportovati ukoliko se raspolaže pouzdanim podacima o sadržaju metana u gasu. Raspolaganje ovim podacima je važno ne samo zbog sigurnosti, već trgovine metanom i proizvodima koji se dobijaju njegovom preradom ili razblaživanjem. Na primer, mašine koje koriste gas kao pogonsko sredstvo ne podnose veće koncentracije metana i radiće efikasnije i imati niže troškove održavanja (O&M) ukoliko se obezbedi stabilan i postojan priliv gasa. Metan koji se isporučuje gasovodima prirodnog gasa mora odgovarati vrlo striktnim specifikacijama ili će biti odbačen ili čak sankcionisan od strane operatora.

U slučaju VAM projekata, bitno je da se, pre izrade projekta, precizno izmere ventilacioni tokovi, procene fluktuacije u VAM koncentracijama i ukupni tokovi VAM-a. Kad se puste u rad, veoma je važno da se pored tehničkih podataka, programom monitoringa obezbedi precizno merenja redukcije emisija. To zahteva režim testiranja koji se veoma razlikuje od onog koji se normalno koristi u rudarskim operacijama gde se metan nadgleda iz razloga bezbednosti, a protok vazduha meri zbog poboljšanja ventilacije. Na primer u mnogim protokolima koji se odnose na GHG traži se kontinuirano nadgledanje emisija tokova VAM i stalna ili redovna analiza uzoraka metana.

## Poglavlje 7. Troškovi i ekonomska pitanja

### Ključne poruke

*U poslovnom je interesu instaliranje efikasnih sistema za drenažu gasa i korišćenje kaptiranog gasa. Šifrok je spektar mogućnosti za komercijalno i profitabilno korišćenje CMM koje su već globalno prihvaćene. Visoki troškovi prečišćavanja dreniranog gasa koji imaju za cilj poboljšanje koncentracije metana za krajnjeg korisnika, često se mogu izbeći ukoliko se poboljša praksa drenaže metana pod zemljom.*

### 7.1 Poslovni uslovi za drenažu metana

Da bi se ostvario prihvatljiv povraćaj investicije, u modernim rudnicima je potrebno održavati postojan i visok nivo proizvodnje uglja. Povećanje količina ekstrahovanog uglja dovodi do povećanog nivoa emisija metana. Održiva proizvodnja uglja ne sme biti ograničavajući faktor za ispunjenje zakonskih obaveza i reagovanje čak i u situacijama kada dođe do nekontrolisanog izliva gasa, kako bi koncentracija gasa uvek bila u zakonski dozvoljenim granicama. Kršenje propisanih standarda podleže kaznama jer može dovesti do ugrožavanja života ljudi. Gubitak ljudskog života je neprihvatljiv i treba ga izbeći po svaku cenu. Smrtni ishod ne utiče samo na porodicu, već može oštetiti kompaniju i njene radnike mnogo više od novčanog iznosa odštete, isplate kompenzacije, gubitka usled obustave proizvodnje ili drugih mogućih ugovornih kazni. Troškovi velikih rudnika za samo jedan smrtni ishod mogu da se kreću u iznosu od 2 do više od 8 miliona dolara kroz izgublenu proizvodnju, pravne troškove, kompenzacije i kaznene mere. U nekim zemljama ozbiljna nesreća u jednom rudniku može dovesti do obustave proizvodnje u svim rudnicima u toj oblasti u trajanju od nekoliko nedelja dok nadležni organi ne izvrše inspekciju i obezbede da se slični slučajevi ne ponove.

Troškovi drenaže metana su bitan deo troškova proizvodnje i upravljanja rudnikom. Zbog toga su opravdane investicije kojima se obezbeđuje ekstrakcija gasa na siguran i na propisima zasnovan način. Evo ilustracije finansijskog aspekta. U modernom kopu, umerene širine (od oko 3 metra) može se proizvesti 2 do 4 miliona toma uglja godišnje (Mtpa), pod uslovom da su dobri geološki uslovi. Ukoliko je cena uglja 40 dolara po toni, onda bi svako usporavanje ili obustava proizvodnje, do koje bi došlo zbog emisija gasa, samo za 10 % ukupnog vremena, koštalo kompaniju 8 do 16 miliona dolara u izgubljenim prihodima.

Kada se uspostavi sistem drenaže gasa, dodatna investicija za drenažu gasa omogućava uštede ili dodatni prihod kroz potencijalno smanjenje troškova ventilacije ili povećanje potencijala za proizvodnju uglja.

### 7.2 Uporedni troškovi drenaže metana

Troškovi sistema za drenažu metana zavise od mnogih faktora (oprema, usluge, rad, površinski pristup, sticanje zemljišta) i razlikuju se od zemlje do zemlje. Do razlike u troškovima dolazi usled varijacija u geološkim i rudarskim uslovima u okviru pojedinih zemalja pa se generalizacijom dolazi samo do širokih okvira. Tabela 7.1 pokazuje generalizovano poređenje relativnih troškova drenaže gasa po toni proizvedenog uglja (cene iz 2009.g.). Osnov za poređenje je drenaža zamišljenog gasnog panela dužine 2 kilometra, širine 250 m, na 600 metara dubine, sa 3m debelim šavom, stopom ekstrakcije od 2.0 Mtpa do 0.5 Mtpa, korišćeni podaci iz Kine i Australije.

**Tabela 7.1 Protok metana i fluktuacije u čistoći dreniranog CMM sa prikazom optimalnih kapaciteta i korišćenja motora i plamenika**

Metoda	Osnovna tehnologija	Glavne stavke troškova	Glavne varijable troškova	Procenjeni trošak po US \$/t
Podzemna pre-drenaža	Usmerene duge bušotine, u sloju duž dužine panela	Specijalizovane bušilice i oprema	Dijametar i dužina bušotine	0.4 do 3.2
	Rotaciono-bušene bušotine preko panela	Rotaciona garniture za bušenje i oprema	Dijametar i dužina bušotine	0.6 do 4.0
Površinska pre-drenaža	Vertikalno vrelo sa konvencionalnom frakturom stimulacije	Ugovorno bušenje, usluge navlačenja i frasinga, <u>prava na odstupanje</u>	Dubina bušotine i broj slojeva da budu kompletirani	1.2 do 9.6
	Vrela sa površine ka unutrašnjosti sloja sa više unutrašnjih grana	Ugovorno bušenje, navlake i specijalizovane upravljane usluge bušenja nadole, ka rupi, pravo na odstupanje	Dubina bušotine i broj unutrašnjih slojeva bočnih bušenih grana; troškovi mogu naglo eskalirati gde se pojave teškoće u bušenju	1.0 do 8.0
Podzemna post-drenaža	Bušotine unakrsnog merenja (od postojećih kolovoza)	Rotaciona oprema za bušenje i ostala oprema	Dijametar i dužina bušotine	0.1 do 1.6
	Galerije drenaze	Dodatni razvoj kolovoza	Distanca isnad/ispod radnog sloja i dimenzija kolovoza	0.3 do 11.2
	Super sporedne (ili u blizini) bušotine ili usmerene horizontalne bušotine	Specijalizovane bušilice i mešuća oprema za bušenje ka rupi-nadole	Težina bušenja za radius krivine	0.5 do 4.0
Površinska post-drenaža	Stožne bušotine	Ugovorno bušenje i navlačenje; <u>pravo na odstupanje</u>	Dubina	1.4 do 15.2

*Napomena: Gornji podaci su krajnje generalizovani i ne odnose se na varijacije u troškovima za površinske metode sa dubinama*

Odabrani metod drenaže mora da odgovara rudarskim i geološkim uslovima. Na primer, podzemne poprečne bušotine u slojevima iznad radnog sloja/šava, sa nekoliko krovih slojeva, neće obezbediti efikasnu kontrolu gasa. Troškovi površinskih metoda se povećavaju što se više ide u dubinu, a podzemni metodi će postajati finansijski sve atraktivniji.

U veoma gasovitim rudnicima biće potrebno primeniti kombinaciju metoda pre nego što se dostignu sigurne stope proizvodnje. Troškovi drenažnih sistema se povećavaju u zavisnosti od kompleksnosti geološkog sastava. Potrebno je stvoriti takav sistem koji bi obezbedio da neuspeh u jednoj bušotini ili drenažnoj galeriji ne utiče na sigurnost podzemnog iskopavanja uglja. Procena je da tipičan trošak ekstrakcije CMM-a iz podzemlja na bazi čistog metana iznosi 0.06/m<sup>3</sup> do 0.24/m<sup>3</sup> dolara.

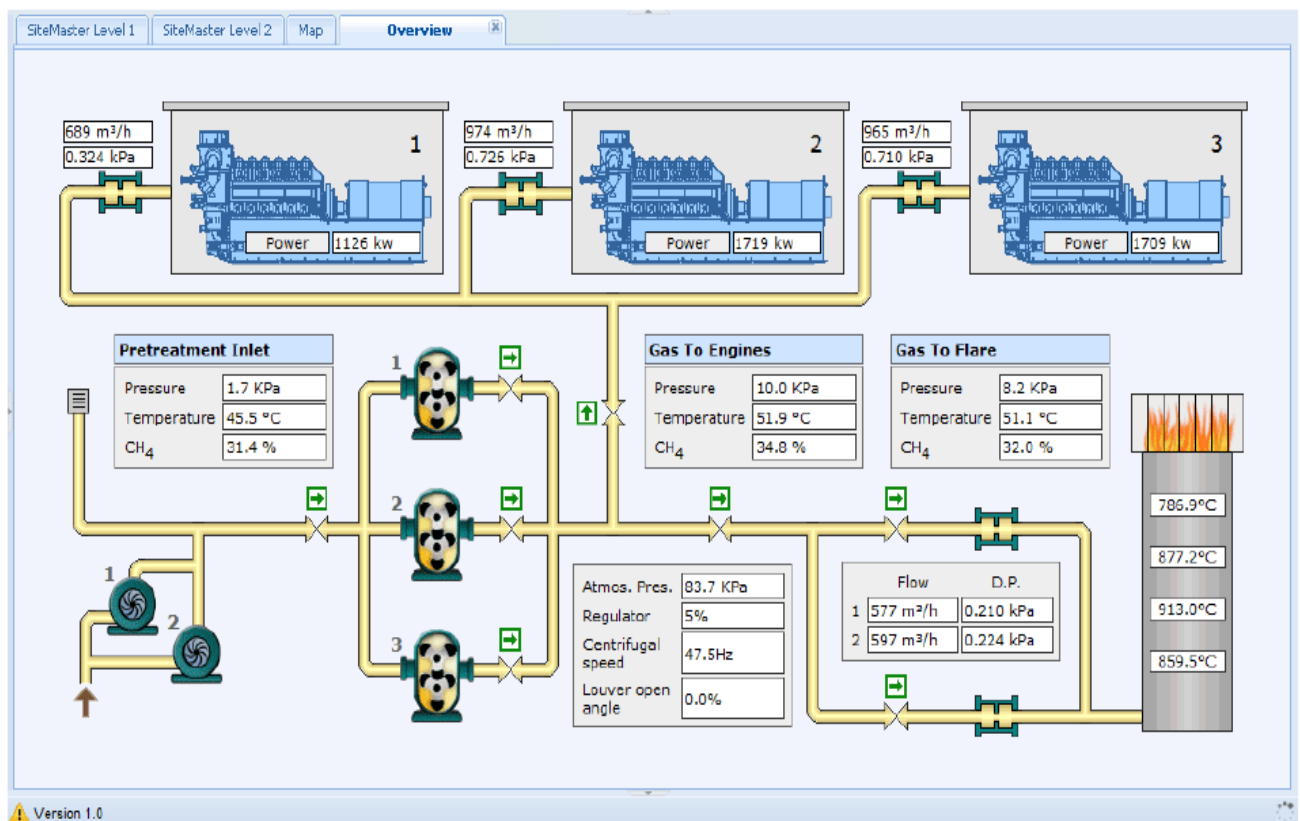
### 7.3 Ekonomije korišćenja metana

Korišćenje drenažnog gasa za proizvodnju energije zahteva dodatna ulaganja, ali istovremeno otvara novi izvor prihoda i smanjuje troškove rudnika. Kad se investira u projekte za proizvodnju energije treba voditi računa o varijabilnosti snabdevanja gasom i njegovom kvalitetu, povoljnosti troška i izvoru finansiranja.

Troškovi investicija po megavatu električnog kapaciteta (Mwe) za elektranu koja proizvodi energiju zasnovanu na CMM (sa svom opremom, uključiv obradu gasa) iznosi od 1 do 1.5 miliona dolara za generator visokog, međunarodnog standarda (2008.g.). Troškovi O&M su u proseku od 0.02 do 0.025 dolara po kilovat satu (kWh) tokom čitavog životnog ciklusa elektrane (2008.g.)

Finansijske performanse CMM elektrane zavise od količina raspoloživog gasa, pouzdanosti opreme (i sa tim povezanim radnim satima), prihvatanja proizvedene energije od strane korisnika ili od strane nacionalne mreže i prihoda i ušteda od energije proizvedene korišćenjem CMM. U svakom slučaju, pošto se gas izvlači zbog sigurnosti i proizvodnje uglja, marginalni troškovi drenaže nisu uključeni u analizu. U nekim slučajevima može doći i do dodatnih troškova zbog potrebe pojačavanja pritoka gasa i poboljšanja njegovog kvaliteta. Za uspešno poslovanje je potrebna kombinacija faktora kao što su dobar projektni dizajn, upotreba isprobane opreme, robustna O&M šema, i nadgledanje performansi u realnom protoku vremena. Na tabeli 7.1 je prikazana šema za nadgledanje softvera.

**Slika 7.1 CMM Generator energije i smenjenje; praćenje uspešnosti u realnom vremenu koje pokazuje diagram protoka i parameter performansi upotrebe CMM u tri gasna motora i jednom kotlu**



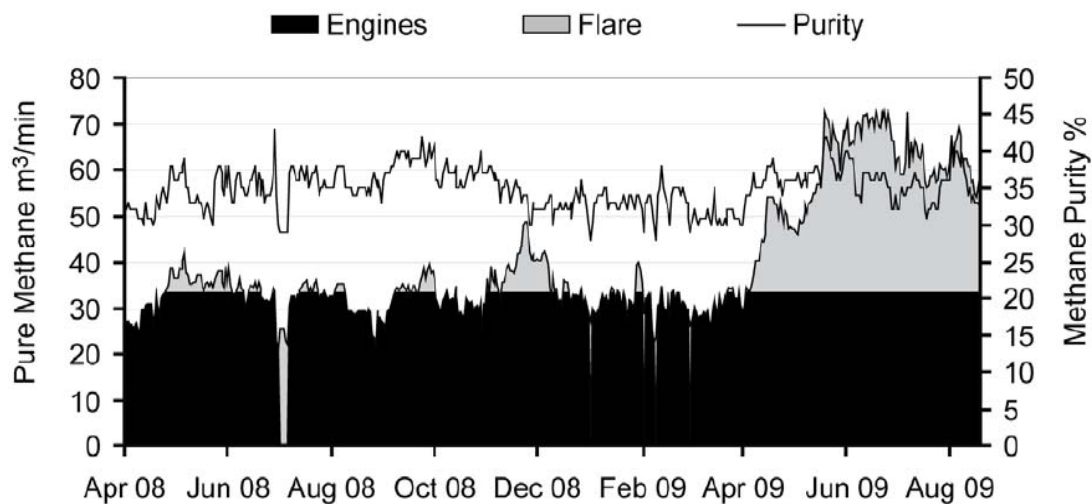
(Ljubaznošću Formac Electronics and Sindicatum Carbon Capital)



Prilikom određivanja veličine CMM elektrana treba uzeti u obzir varijabilnost protoka gasa i njegova čistoća i ukoliko je potrebno standardi crpljenja se moraju podići na odgovarajući nivo kako bi se obezbedilo da je gas sigurnog kvaliteta za upotrebu. Istorijski podaci se mogu koristiti da se utvrde potencijalni proizvodni kapaciteti i odredi dostupnost gasa (na pr. 85%) sa mogućnošću paljenja neiskorišćenog gasa (tabela 7.2). Kao što pokazuju mnoge predimenzionirane, ali neefikasne elektrane, veličina je važna jer je zbog ekonomičnosti potrebno da takve elektrane rade što je više moguće odnosno minimum 7.5000 sati godišnje. Zbog toga motore za gas treba dizajnirati tako da se ne koristi njihov maksimalni kapacitet, već da se drže bezbednog opterećenja, zasnovanog na dostupnosti gasa. Maksimumi gasa u kako u kvantitetu tako i gas nižeg kvaliteta treba uništavati paljenjem da bi se postigla najbolja zaštita okoline.

Sa progresivnim poboljšanjem kaptaže/sakupljanja gasa, mogu se uvoditi novi motori; dotok čistog metana od 4m<sup>3</sup>/min podržava oko 1 MWe.

**Slika 7.2 Tok metana i čistoća fluktuacija dreniranog CMM koji pokazuju optimizovani kapacitet i upotrebu motora i kotla**



*(Ljubaznošću Sindicatum Carbon Capital)*

Pored upotrebe CMM za proizvodnju električne energije, postoje i druge opcije za korišćenje CMM kao na primer za upotrebu u gradovima, za bojlere, za grejanje ili kao sirovina za hemikalije, kao što smo videli u Poglavlju 6. U tim slučajevima ekonomska isplativost zavisi umnogome od konkretnih okolnosti i, za razliku od elektrana, teško je davati uopštene procene.

Pošto se većina emisija iz rudnika odvija u formi VAM, to zahteva ispunjenje određenih garancija. Oksidacijom VAM-a se otpušta toplota koja se može koristiti za proizvodnju pare i na njoj zasnovane električne energije. Postrojenja za oksidaciju VAM-a kapaciteta 35 normalnih kubnih metara u sekundi (Nm<sup>3</sup>/s) ventilacionog vazduha koji sadrži 0.5% metana može proizvesti oko 1.3MWe. U cilju dostizanja konstantne proizvodnje energije, potreban je izvor drenažnog CMM-a koji treba da stabilizuje koncentraciju VAM-a, a da bi se postigle optimalne performanse, potrebna je relativno visoka koncentracija VAM-a. Troškovi po jedinici na taj način proizvedene energije su dvostruko veći od energije proizvedene na konvencionalan način korišćenjem CMM-a, a tome treba dodati i "trošakove zaštite okoline" zbog potrebe smanjenja emisija, koji su četiri do pet puta veći od efekata koji se mogu postići sa sličnim nivoom investicija. Zbog toga proizvodnja energije zasnovane na

VAM-u danas nije isplativa ukoliko se ne obezbedi dugoročni prihod od proizvodnje uglja. Osim toga, mnogo manje košta da se poboljšanjem drenaže gasa poveća proizvodnja energije zasnovane na CMM-u i na taj način smanje emisije VAM-a.

Ekonomičnost upotrebe električne energije koja je zasnovana na CMM-u ili VAM-u umnogome zavisi od cene struje za određeni projekat, kao i od vrednosti kredita za smanjenje emisija ili drugih podsticaja.

#### **7.4 Finansiranje uglja i drugi podsticaji**

Kreditni za smanjenje emisija predstavljaju dodatnu opciju finansiranja u nekim zemljama, koja dopunjuje konvencionalno finansiranje putem bankarskih kredita ili privatnog kapitala. Kjoto protokol je predivo više režima za finansiranje smanjenja emisija, kao što je fleksibilan CDM ili Zajednička implementacija (JI), a postoje i dobrovoljni režimi koji se koriste kao dodatna finansijska opcija.

Koriste se i neki drugi podsticaju za finansiranje korišćenja metana kao što su grantovi, poreski krediti, finansiranje čiste proizvodnje (GIS) i podsticajne tarife (u Nemačkoj i Češkoj Republici). Ukoliko nema takvih podsticaja, finansiranje ugljenika je najpopularniji aktivator za implementaciju CMM i VAM šema.

Najveći efekat od finansiranja ugljenika se postiže ukoliko je jedna jedinica redukcije emisija ekvivalentna jednoj toni ugljen dioksida. Iznos od 66.4 m<sup>3</sup> metana je približno jednak jednoj toni ugljen dioksida. Prilikom proračuna se mora voditi računa o tome šta se dobija destrukcijom metana čiji je emisioni efekat GHG više od 20 puta veći od ugljen dioksida i ispušta 2,75 tCO<sub>2</sub> po toni spaljenog metana. Po pravilu, 1MW instaliranog kapaciteta za proizvodnju energije od CCM-a, uz korišćenje 250 m<sup>3</sup> po satu čiste emisije metana, može dovesti do godišnjeg smanjenja emisija u iznosu od 30,000 tCO<sub>2</sub>. U zavisnosti od količine radnih sati i efikasnosti sistema, turbina od 1 MW će smanjiti emisiju za više od sedam puta.

Pre donošenja odluke o načinu finansiranja ugljenika i drugim podsticajima, treba razmotriti i mehanizme kreditiranja, troškove procesuiranja i transakcija, vremenske okvire, lokalne propise i nepostojanje cene kredita za redukciju emisija, što će biti elaborirano u daljem tekstu koristeći radi ilustracije primere CDM i JI.

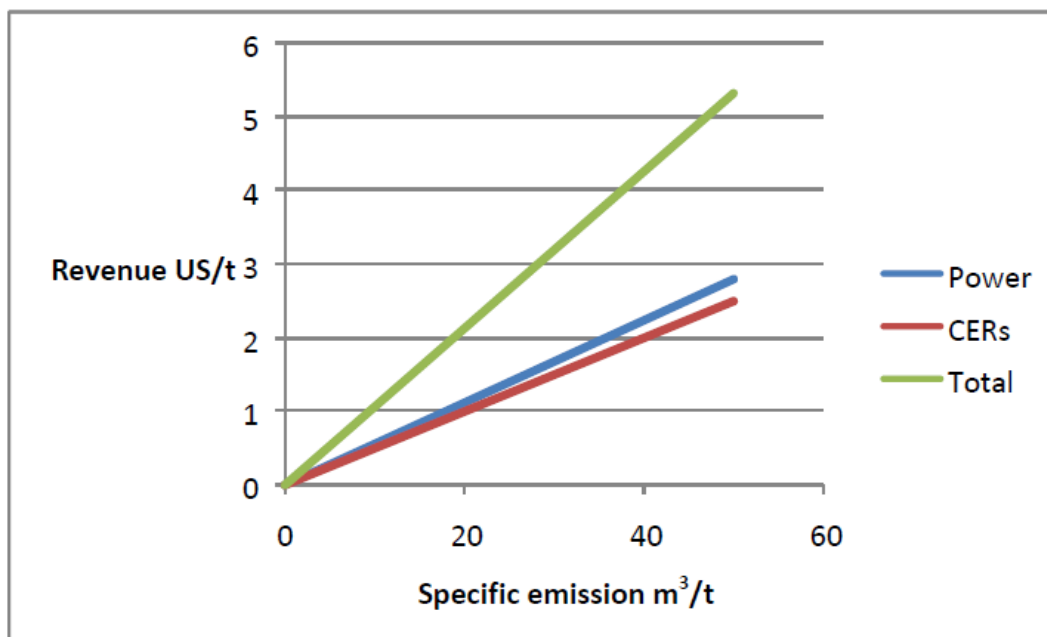
Sprovođenje Mehanizma čistog razvoja (CDM) po Kjoto protokolu, dozvoljava razvijenim zemljama da potražuju CER-ove (Sertifikovana smanjenja emisije) od zemalja u razvoju (non-Annex 1) zemalja. JI (Zajednička implementacija) omogućava projekte u ne-CDM zemljama i/ili u zemljama koje imaju emisione limite na osnovu Kjoto protokola. Postoji više dobrovoljnih emisionih standarda za pripisivanje redukcija emisije. VER projekti ne podležu rigoroznim i dugim procesima validacije i verifikacije koje nameće CDM i JI na osnovu Okvirne konvencije Ujedinjenih nacija o klimatskim promenama (UNFCCC); ipak, VER-ovi imaju manje tržište i znatno niže cene.

Da bi se projekat kvalifikovao za CDM i JI, potreban je verodostojan dokaz o njegovoj „dodatnoj vrednosti“. Takav dodatni projekat treba da smanji nivo GHG emisija na nivo manje od onih od kojih bi došlo bez projekta; na primer, poređenje sa slučajem bussines-as-usual – kako je uobičajeno. Na primer, troškovi investiranja za smanjenje emisija u elektranama koje koriste CMM tokom 10 godina rada iznose približno 3-5 dolara po t/CO<sub>2</sub>. CER/ERU proizvodnja uključuje pripremu CDM/JI projekta, validaciju, verifikaciju i troškova servisiranja, kao i opremu za korišćenje/uništavanje metana i njeno održavanje. Kad se uzmu u obzir svi troškovi, uključiv troškove kapitala, finansijskog rizika i specijalizovanih CDM i JI usluga, ukupan suma može dostići do 10 dolara po CER ili ERU.

Na primer, rudnik srednje gasovitosti (specifične emisije 10m<sup>3</sup>/t) zarađuje oko 0.002 CER/t proizvedenog uglja, dok veoma gasovit rudnik (specifične emisije 40m<sup>3</sup>/t) daje 0.168 CER/t uglja<sup>10</sup>. U ovom proračunu se polazi od pretpostavke da se od 40% ekstrahovanog gasa, 80% iskoristi. Ovakav učinak se očekuje kao minimum za projekte koji se pridržavaju najbolje prakse i standarda i u slučajevima kad ne postoje bitna geološka i rudarska ograničenja. Aktuelna vrednost CEE-ova i ERU-a zavisi od tržišta i tajminga prodaje.

Investicije u Mtpa rudnike sa srednjim nivoom gasovitosti (10m<sup>3</sup>/t) uz postojanje prethodnog ugovora o kupovini emisija (ERPA) po ceni od 12 dolara po toni CO<sub>2</sub>e (40% ekstrakcija – 80% iskorišćenost) će doneti oko 2 miliona dolara godišnje od CER-ova i ERU-va plus prihod ili uštede od proizvodnje energije ili prodaje gasa<sup>11</sup>. Dobijeni metan, pod pretpostavkom stabilnog snabdevanja gasom, će biti dovoljan da generiše 5 Mwe (2,5 miliona m<sup>3</sup> godišnje čistog metana proizvede oko 1 Mwe), a prihod od energije po gruboj proceni od 0.05 dolara po kwh i 7,000 radnih sati godišnje donosi prihod od 1.75 miliona dolara. Ukupan prihod od smanjenja emisija i od energije iznosi 3.75 miliona dolara. U ovom slučaju, krediti ugljenika skoro dupliraju prihode od projekta, kao što je dokumentovano na slici 7.3 koja prikazuje prihode u dolarima po toni (US/t) dobijene proizvedene struje i prodaje CER-a u funkciji specifične emisije metana u m<sup>3</sup> (čist metan)/t.

**Slika 7.3 Dupli prihodi dobijeni proizvodnjom energije od CMM: od 40% uhvaćenog gasa, 80% iskorišćeno**



Znatno veći prihod se može dobiti u rudnicima veće koncentracije gasa. Vrlo gasovit rudnik (40m<sup>3</sup> specifične emisije) koji proizvodi 4 Mtpa može dati prihod od 8 miliona dolara iz smanjenja emisije i ima proizvodni potencijal od 20 Mwe koji može dati 9 miliona dolara. Ukupan prihod je otuda 17 miliona dolara<sup>12</sup>.

<sup>10</sup> Samo uništavanje, ali može se izvući korist i zamenom goriva iz razmeštene elektrane na uglj

<sup>11</sup> Nisu uračunati porezi na CER

<sup>12</sup> Ni u ovom slučaju nisu dati porezi za CER

Finansijska dobit od projekata smanjene emisije je jedino moguć ako smanjenje emisije može biti dokazano davanjem podataka o tačnom merenju dotoka metana i njegovoj čistoći. Projekti drenaže i korišćenja metana su već – i vrlo verovatno će biti još više, pod kontrolom u smislu pružanja pouzdanih dokaza o smanjenju emisije. Kompleksnost nadzora i merenja je vrlo često podcenjena i može dovesti do rizika sigurnosti i gubitka dobiti.

### **7.5 Mogućnosti troškova korišćenja**

Prosečan kapitalni trošak korišćenja elektrana koje koriste metan zavisi od veličine i tipa odabranog procesa korišćenja. Kao prva procena ovih troškova za korišćenje, može se predšpstaviti vrednost od USD 1\$/t od kapaciteta proizvodnje uglja. Poređenja radi, marginalni troškovi za proširenje proizvodnje uglja u Kini na primer, procenjeni su na oko 12 dolara po toni (gde god to dozvoljavaju licence, odobrenja, resursi, geologija, uslovi kopanja, podzemna i površinska infrastruktura i tržište). Investicija od USD 1\$/t proizvedenog uglja u kopanje uglja umesto korišćenje gasa može otuda rezultirati marginalnim porastom proizvodnje uglja od 1/12 ili 0,083 tone. Tako na primer, kapacitet rudnika od 4 Mtpa može porasti do  $1.083 \times 4 = 4.332$  Mtpa korišćenjem fondova potrebnih za proizvodnju gasa u svrhu povećanja kapaciteta za proizvodnju uglja. Ukoliko je cena uglja USD 30\$/t dodatni godišnji prihod iznosiće 10 miliona dolara. Trošak od USD 2.5\$/t je visok zbog čega su veći izgledi da će investitoru ulagati u kapacitete za proizvodnju uglja nego u proizvodnju energije iz CMM-a. U slučajevima kada je, na primer, moguće ostvariti dodatni prihod u formi kredita za smanjenje emisija, proizvodnja energije se javlja kao ekonomski opravdana alternativa rudnicima uglja sa specifičnim emisijama iznad 20m<sup>3</sup>/t (vidi gore sliku 7.3) Može se zaključiti da je energija koja se dobija od CMM-a uvek dodatna. Kako raste cena uglja, proizvodnja energije iz CMM postaje sve manje atraktivna.

Slika se menja u slučaju investicija od treće strane, potpomognutih finansiranjem ugljenika -što je atraktivan predlog za rudnike – zato što se otklanja mogućnost drugih troškova, a ranije neiskorišćen metan stvara dodatnu vrednost.

### **7.6 Troškovi zaštite okoline**

Danas većina rudarskih kompanija troškove izvlačenja gasa tretira kao troškove kopanja rude, dok troškove upotrebe gasa i smanjenja negativnih emisija smatra dodatnim investicionim troškovima. Pošto smanjenje negativnih uticaja na klimatske promene i proizvodnja čiste energije postaje bitan deo u lancu vrednosti, operatori rudnika treba da uzimaju u obzir ove faktore. Od vlasnika rudnika može u budućnosti biti zahtevano da povećaju drenažu gasa na nivo viši od mera sigurnost rudnika da bi se izašlo u susret ciljevima zaštite okoline. U scenariju „business as- -usual“, procene za Kinu pokazuju da bi trošak za internalizaciju uticaja emisija metana iznosio 12 dolara po toni proizvedenog uglja (ESMAP, 2007.g.). Do sada ni jedna zemlja nije pokušala da nametne troškove te veličine, ali dolarski iznos je indikacija potencijalnih troškova rudnika koji izbegnu da minimiziraju emisije u životnu sredinu. Rusija, na primer, već nameće kazne za emisije metana iz rudnika, ali mnogo niže od gorenavedenog iznosa.

## Poglavlje 8. Zaključci i rezime za donosiocce politickih odluka

Još od Industrijske revolucije svet se oslanjao na uglj kao primarni izvor energije. Mnoge ekonomije u nastajanju, industrijske i tranzicione ekonomije, a time i globalna ekonomija, će nastaviti da izvlače korist i da zavise od izvora uglja u doglednoj budućnosti. Danas uglj obezbeđuje 25% potreba globalne primarne energije, 40% električne energije i skoro 70% svetskog čelika i aluminijuma. Međunarodna agencija za energiju (IAE) procenjuje da će potražnja za energijom u ekonomijama u nastajanju do 2030. godine porasti za 93%, za šta je u najvećoj meri zaslužan rast potražnje u Kini i Indiji, a očekuje se da uglj bude vodeće gorivo za zadovoljenje te potražnje (IEA 2009.g.).

Izvlačenje uglja i efikasno upravljanje metanom će predstavljati sve veći izazov, s obzirom na iscrpljivanje rezervi u plitkim slojevima i potrebu da se kopa sve dublje u gasovitije slojeve. U isto vreme povećavaju se zahtevi društva koje od industrije očekuje bolju zaštitu okoline i sigurnije radne uslove.

U idealnim uslovima, moderne rudarske kompanije priznaju koristi od prihvatanja holističkih sistema upravljanja gasom koji na konstruktivan način integrišu kontrolu gasa pod zemljom, korišćenje metana i smanjenje štetnih emisija. Slično tome, iz perspektive politike i regulative, od sveobuhvatnog pristupa upravljanjem CMM-om ostvarila bi se višestruka korist. Uspostavljanje i sprovođenje regulative za sigurno izvlačenje gasa, njegov transport i upotrebu ohrabruje postavljanje viših standarda za izvlačenje metana, kao i povećanu proizvodnju čiste energije i veću redukciju emisija metana iz rudnika.

Ključni principi ovog dokumenta su:

1. **Postoji ogromno znanje i iskustvo globalne industrije o upravljanju rizicima eksplozije metana.** Globalna primena akumuliranog i danas dostupnog industrijskog znanja i prakse o pojavi, predviđanju, kontroli i upravljanju metanom može znatno da umanj rizike od eksplozija metana u rudnicima uglja.
2. **Bez obzira na ograničenja, u prvom planu treba da bude bezbednost radnika koje se ne sme ugroziti.** Sigurni radni uslovi u gasovitim rudnim sredinama ne mogu se postići samo legislativnim merama ili najsavršenijom tehnologijom. Od osnovne važnosti za siguran rad rudnika je racionalan i efikasan sistem upravljanja, organizacije rada i upravljačke prakse. Sledeći bitan element za sigurnost rudnika je odgovarajuće obrazovanje i obuka kako menadžera, tako i radne snage, kao i prihvatanje predloga radnika prilikom usvajanja mera sigurnosti.
3. **Miniziranje rizika od eksplozija treba da se kombinuje sa sprovođenjem rigoroznih propisa u pogledu ventilacije i sigurnosti.** Ovaj pristup će dovesti do poboljšanja kvaliteta i kvantiteta dreniranog gasa. U većini slučajeva, i pod normalnim uslovima, mogu se predvideti tokovi metanskog gasa u rudnicima uglja. Neuobičajene emisije i izlivi se ne mogu lako predvideti, ali uslovi pod kojima do njih dolazi su uglavnom dobro poznati. Razvijeni su detaljni metodi kako da se smanji rizik u takvim uslovima i treba ih primeniti gde god se identifikuju značajni rizici. U takvim uslovima, sigurnost radnih uslova zavisi od rigoroznog sprovođenja i nadgledanja metoda kontrole gasa. Ne može se preceniti važnost, ne samo instaliranja podzemnog nadzora za siguran rad rudnika, već i sakupljanja i korišćenja podataka za planiranje mera sigurnosti.

4. **Sistemi ventilacije rudnika su kritična komponenta celokupnog sistema za efikasno otklanjanje metana iz radnih prostora.** Sistemom ventilacije rudnika treba da se postignu tri cilja: 1) da se obezbedi svež vazduh za radnike; 2) da se kontroliše temperatura rudnika i 3) da se na efikasan način razblaže ili otklone opasni gasovi i prašina koja se može udahnuti.
5. **Poboljšanje sistema drenaže metana često je brže i jeftinije rešenje problema sa gasom umesto da se samo poveća prtok svežeg vazduha.** Praktični problemi izvlačenja gasa u rudnicima uglja se generalno mogu rešiti primenom postojećih znanja i tehnika. Uvođenje nove ili inovativne tehnologije dolazi u obzir samo nakon što je primenjena dobra praksa i samo ukoliko postojeće tehnike nisu uspele da daju zadovoljavajuće rezultate. Učinkovitost sistema izvlačenja metana može da se poboljša kroz ispravnu instalaciju, održavanje, redovno nadgledanje i sistematsko primenjivanje planova bušenja.
6. **Transportovanje mešavina metana i vazduha u koncentracijama eksplozivnog opsega ili blizu toga u rudnicima uglja je opasna praksa i treba je zabraniti.** Metan je eksplozivni gas u koncentracijama od 5% do 15% u vazduhu. Generalno pravilo bezbednosti, koga se treba striktno pridržavati, je najmanje 2.5 niže od najnižeg kraja i 2.0 od najvišek kraja tog opsega.
7. **Podzemni rudnici uglja su značajan izvor antropogenih (ljudski indukovanih) metanskih emisija (oko 6% globalnog metana), ali se te emisije mogu znatno smanjiti sprovođenjem najbolje prakse.** Metan ima 20 puta veći GWP od ugljen dioksida i najveći je globalni (GHG) zagađivač. Velike količine metana koji se ispušta u podzemnim rudnicima se može oporaviti i koristiti ili uništiti (njegov efekat globalnog zagrevanja se ublažava tako što se pretvara u ugljen dioksid). Među opcijama se pominju: izvlačenje energije iz izvučenog gasa, paljenje viškova dreniranog gasa i korišćenje ili smanjenje VAM-a. U odgovarajućim tržišnim i tehničkim uslovima, krajnji cilj treba da bude (blizu) nulta emisija metana.
8. **Postoji jak poslovni interes za instaliranje i funkcionisanje drenažnih sistema i korišćenje sakupljenog gasa.** Širok je spektar potencijalnog korišćenja CMM koji se komercijalno i profitabilno primenjuje širom sveta. Visoki troškovi prečišćavanja dreniranog gasa da bi se poboljšala koncentracija metana za potencijalne krajnje korisnike često može da se izbegne ukoliko se poboljša praksa podzemne drenaže metana.

## Poglavlje 9. Studije slučaja

Sledeće studije slučaja obrađuje sedam primera najbolje prakse koja je sprovedena u rudnicima širom sveta, a o kojoj je bilo reči u ovom dokumentu. U studijama slučaja od 1 – 3 obrađena je praksa procene, planiranja i upravljanja metanom koja se sprovodi u tri longwall rudnika u cilju kontrole problema sa metanom. Studija slučaja 4 se bavi smanjenjem rizika od eksplozije u prostornim i stubnim rudnicima. U studiji slučaja 5 se ispituje sakupljanje metana i njegova upotreba za proizvodnju energije. Studije slučaja 6 i 7 se fokusiraju na smanjenje i korišćenje VAM.

Ove studije su kratke i njihova svrha je samo da istaknu u prvi plan ključne tačke u svakom slučaju.

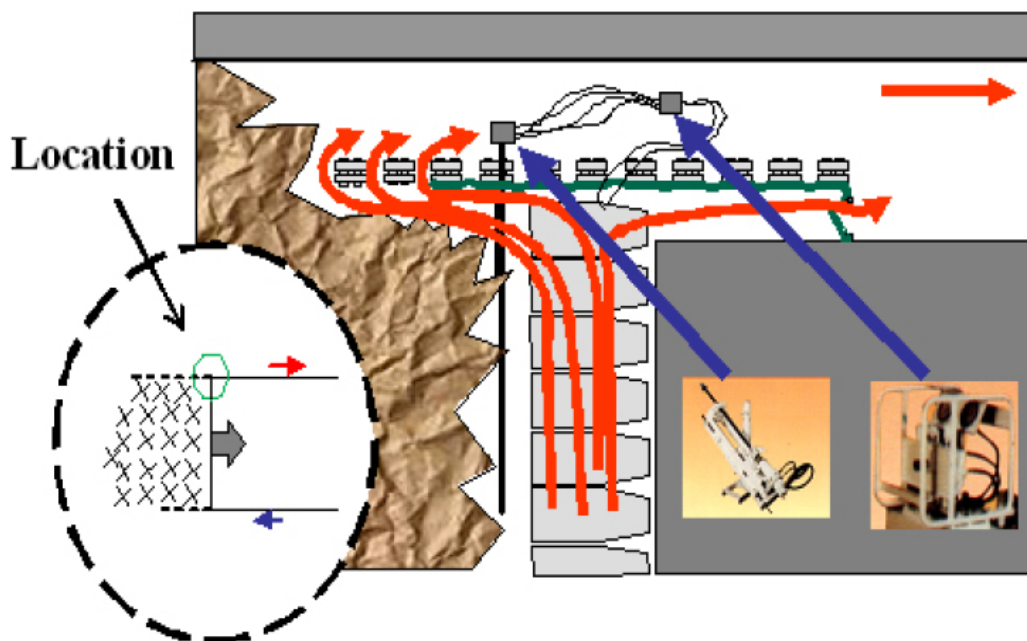
## Studija slučaja 1: Postizanje planirane proizvodnje uglja iz gasnog, zavaćenog longwall-a sa ozbiljnim poremećajima naslaga i spontanom, sklonim sagorevanju, ugljanim slojem – Ujedinjeno kraljevstvo

**Početni uslovi:** 980m radne dubine, 50m<sup>3</sup>/spečifične emisije iz 2 metra visokog povučenog longwall-a koji treba da proizvede 1 Mtpa, visok rizik spontanog sagorevanja uglja, uglj ultra niske propustljivosti, više horizontalnih poremećaja na licu uglja i dizanje i spuštanje poda u pristupnim putevima longwall-a, jedan pri dovozu – jedan pri odvozu.

**Problemi kontrole gasa:** Pred-drenaža nije bila moguća zbog loše propustljivosti uglja i poprečnih bušotina iznad prednjeg dela longwall-a koje su prekinute zbog velikog stresa; zbog toga je bila premala kaptaža gasa, kao i njegova čistoća. Visok rizik od spontanog sagorevanja i potreba za stubovima velikih dimenzija radi stabilnosti isključili su mogućnost upotrebe sistema višestranog ulaska.

**Rešenje:** Željena proizvodnja je postignuta tako što je korišćen ventilacioni vazduh brzine 30m<sup>3</sup>/s i što su probušene poprečne rupe iza lica u posebno podržanom i ventiliranom „povrtaku nazad“ (slika 9.1). Najbolje se pokazalo bušenje čitave serije gornjih rupa, pod pravim uglom u odnosu na longwall put i pod uglom od 55 stepeni od sloja/šava, na 7.5 m razdaljine. Donje rupe su bušene na 100 m razdaljine kako bi se minimizirao rizik emisije.

**Slika 9.1 Povratni sistem**

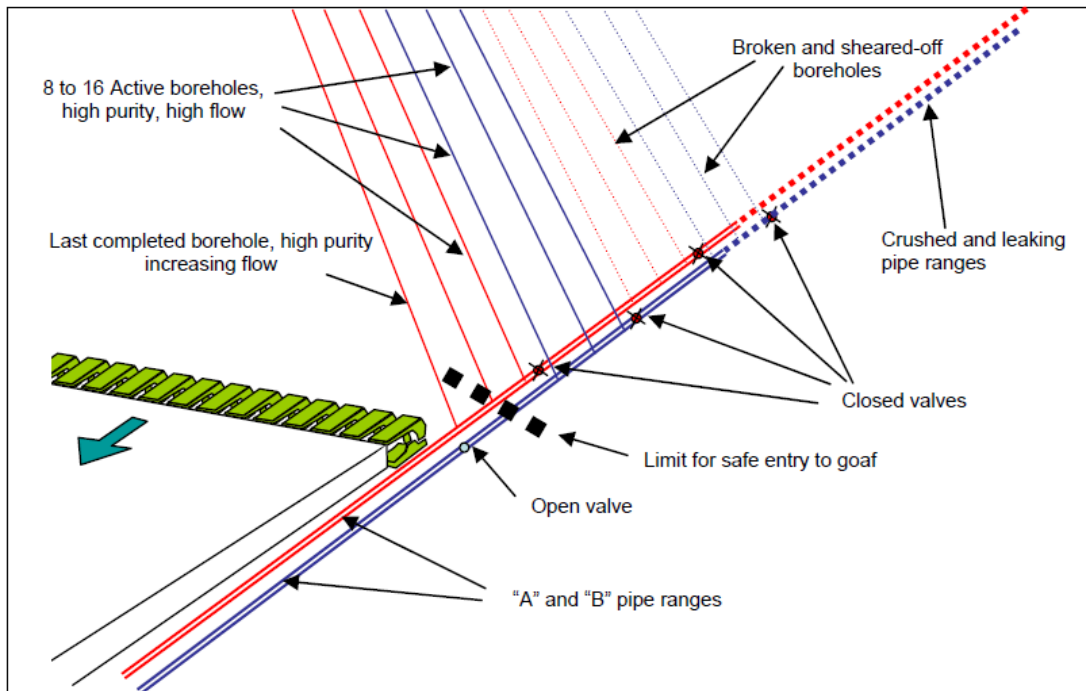


*(Ljubaznošću Green Gas International)*

Dve odvodne cevi za drenažu su instalirane jedna paralelno sa drugom. Bušotine su progresivno povezivane sa jednom od cevi dok nije došlo do pada kvaliteta gasa; ta cev je onda poslužila da spreči preterano razblasživanje gasa, a bušotine su zatim povezane na drugu cev. Ovaj proces „žabljeg skoka“ se nastavio što je omogućilo da najmanje 8 bušotina bude povezano na sistem drenaže gasa u isto vreme (Vidi sliku 9.2). Grubo podešavanje je bilo dovoljno da optimalizuje kvalitet i kvantitet gasa, a postignuta je stopa kaptaže/sakupljanja od 67% bez potrebe da ljudstvo odlazi u opasan stog radi podešavanja pojedinačnih bušotina.



**Slika 9.2** Sistem „Žablji skok“



*(Ljubaznošću Green Gas International)*

Stopa povlačenja longwall-a je bila veoma brza, a prostor za operacije jako ograničen, tako da je svaka rupa trebalo da se izbuši, uspravna cev postavi i pričvrsti, zatim spoji sa kolekcionom cevi i to sve za samo 10 časova. To je postignuto uz pomoć male, snažne, mobilne mašine za bušenje (slika 9.3) koja se napajala iz hidrauličkog sistema postavljenog zbog longwall-a, da bi se izbeglo korišćenje struje.

**Slika 9.3** Poprečni pregled opreme za bušenje



*(Ljubaznošću of EDECO Ltd.)*

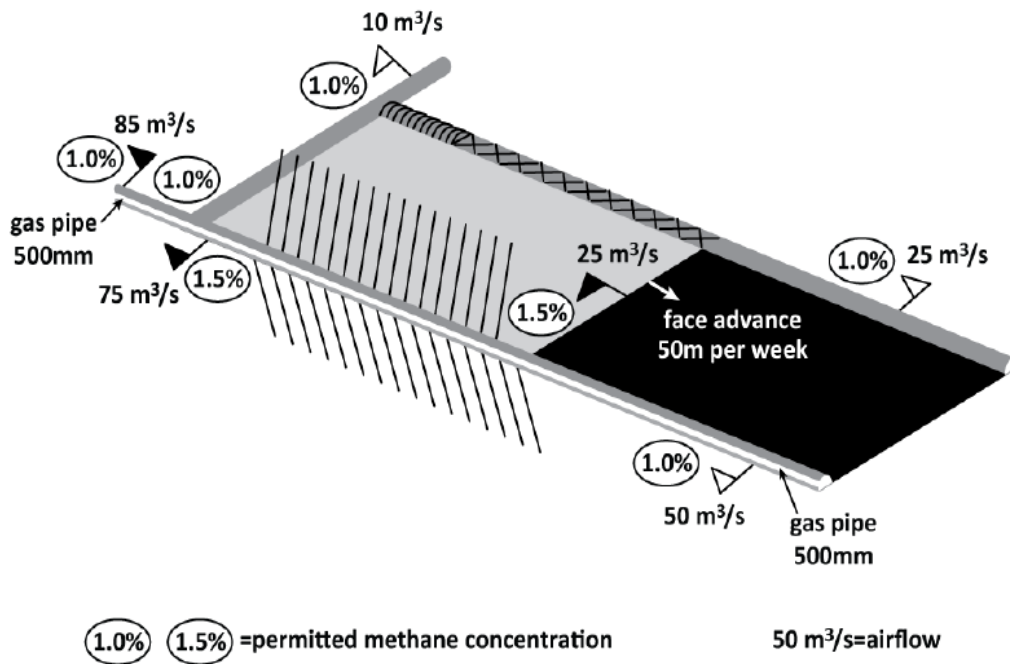
## **Studija slučaja 2: Longwall visokih performansi u oblastima sa velikim emisijama gasa – Nemačka**

**Početni uslovi:** U šavu debljine 1.5 m, longwall dužine 300 m, planirana proizvodnja 400 tona na dan (t/d), napredak kroz tunel 50 m/nedeljno. Dubina preopterećenja je 1,200 m, šav skoro horizontalan i nema prethodnih radova kako bi se delimično odatle otklonio gas. Predviđalo se da su moguće emisije gasa 25m<sup>3</sup>/t sa krova, 3m<sup>3</sup>/t sa obrađenog šava i 8m<sup>3</sup>/t sa dna (ukupno 36m<sup>3</sup>/t). Poznato je da je ugalj mogao spontano da se zapali.

**Problem kontrole gasa:** Maksimalna količina metana koja mora da se kaptira/sakupi ili razredi ventilacijom da bi dostigla sigurne koncentracije je 1.175 m<sup>3</sup>/s (112.5m<sup>3</sup>/min). Izvršena pre-drenaža se pokazala kao neefikasna. Postojale su dva bitna ograničenja. Prvo, maksimalno dozvoljeni protok vazduha od 25m<sup>3</sup>/s duž longwall-a mogao je da razblaži 0.37m<sup>3</sup>/s (22.2m<sup>3</sup>/min) uprkos tome što je uprava rudnika podigla maksimalno dozvoljenu koncentraciju metana sa 1.0% na 1.5% (redukcija faktora sigurnosti sa 5.0 na 3.3). Ova promena je učinjena pod uslovom da se poveća nadzor i drenaža gasa. Važno je da takve promene mogu da se urade samo na specifičnim lokacijama i pod uslovom da su preduzete dodatne mere da ne dođe do značajnog povećanja rizika. Drugo ograničenje je bio vazdušni put kroz koji je išao ventilacioni vazduh u kome je maksimalno dozvoljena količina metana mogla da bude 1%.

**Rešenje:** Dizajniran je ventilacioni sistem u vidu slova Y (slika 9.4) da bi se dodalo još 50m<sup>3</sup>/s vazduha na postojećih 25m<sup>3</sup>/s duž prolaza, tako da je ovaj kombinovani protok mogao da razblaži emitovani metan iz kopa i stoga. Konfiguracija ventilacije dozvoljava da se probuše poprečne rupe koje su povezane sa sistemom drenaže i individualno se nadgledaju – pokazalo se da se kroz poprečne rupe koje se izbuše iza longwall-a može uhvatiti više gasa, veće čistoće, nego kroz one sa prednje strane. Te drenažne rupe imaju duži rok trajanja i veću efikasnost, a očekuje se da uhvate 70 % krovnog gasa i 40 % podnog.

Slika 9.4 Longwal u obliku Y, unapređeni ventilacioni dizajn i probušene drenažne rupe u krovu i na podu iza longwall-a



(Izvor: DMT GmbH & Co. KG)

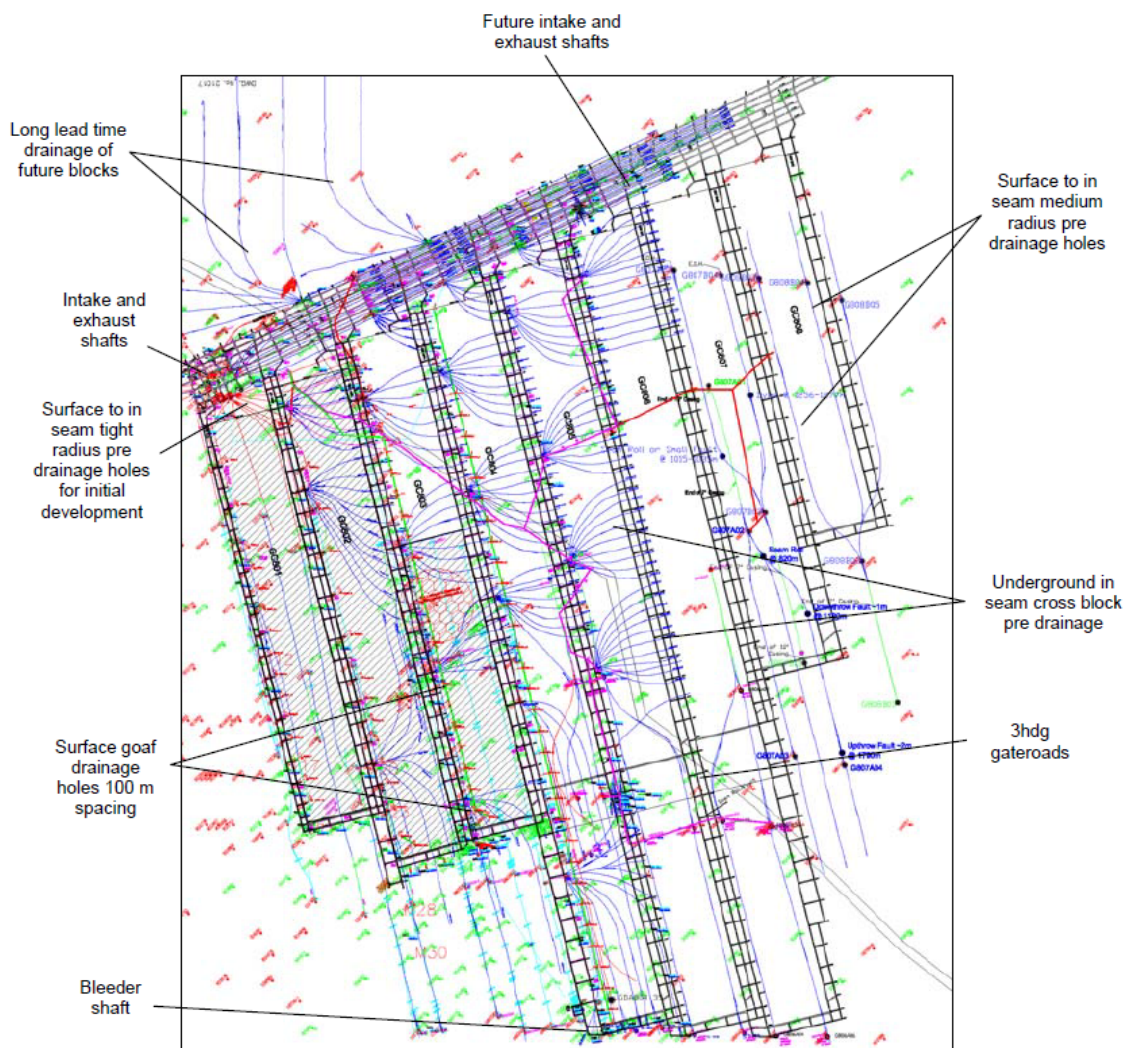
Pečati (paketni zid) na strani stoga iza prednje strane služe da se ojačaju podupirači i izoluje stog od ulaska vazduha da bi se minimizirao rizik od spontanog gorenja i ne bi došlo do koncentracije metana eksplozivnog opsega.

Limitiranje koncentracije na 1% ograničilo je proizvodnju uglja na 4,000t/d, što je bilo u skladu sa planiranim ciljem. Oko 80,000m<sup>3</sup>/d čistog metana moglo je da se usisa kroz sistem drenaže gasa i upotrebi za proizvodnju energije. Uprkos teškim uslovima kopanja, longwall je bio uspešan zbog unapređenja sistema ventilacije i visoko efikasne drenaže gasa.

### Studija slučaja 3: Izvanredna dostignuća rada longwall-a u uslovima visoke emisije gasa – Australija

**Inicijalni uslovi:** Nova serija longwall blokova je locirana u šavovima visine 2.8 m, sa sadržajem metana od 8 do 14 m<sup>3</sup>/t. Dubina pokrivača je od 250 do 500 m sa neometanim pristupom površini. Upotrebom pred-drenažnih metoda, mora se smanjiti in situ sadržaj gasa na ili ispod 7.5m<sup>3</sup>/t da bi se zadovoljio propis o sprečavanju izliva, kao i samo-nametnuti limita za kontrolu frikcionog paljenja od 5.75m<sup>3</sup>/t. Postoji jedna podna žila i osam krovnih žila koje sadrže 10 do 15 m uglja u nominalnoj zoni kovanja. Longwall blokovi su 300 m široki i do 3.6 km dugački (vidi sliku 9.5) sa planiranom proizvodnjom od 110,000 tona nedeljno.

Slika 9.5 Plan rudnika koji prikazuje sistem drenaže gasa



(Izvor: Moreby, 2009)

Zbog potencijalno visokih emisija gasa u rudniku je od samog početka razvijen sistem trostranog odvoda u longwall-u (three-heading gate roads on longwalls) koji bi omogućio visok volumen ventilacije kako bi se razblaživao gasa. Ovaj sistem omogućava dovod znatno većih količina vazduha za razblaživanje gasa u povratni kraj prednjeg dela longwall-a, bez smanjenja brzine ubačenog vazduha sa te strane, za razliku od klasičnih U-ventilacionih sistema. Ovo je danas jedini rudnik u Australiji koji koristi taj sistem.

**Problemi kontrole gasa:** Proračuni ukazuju na verovatnoću specifičnih emisija od 15 do 30m<sup>3</sup>/t iz ugljanih izvora. Pod pretpostavkom da se ispune planovi proizvodnje, što znači 3,500 do 7,000 l/s CH<sub>4</sub>, što se povećava sa dubinom kopa. Međutim, prethodne studije u jednom obližnjem rudniku pokazale su značajne količine slobodnog gasa što bi znatno moglo da poveća ukupnu stopu emisija. Sa postojećim sistemom mogle su se kontrolisati emisije iz prva tri longwall-a koje su veće od očekivanih na relativno manjim dubinama. Ekstrapolacija dubljih longwall-a je pokazala da će početna predviđanja biti premašena, sa mogućim emisijama od 9,500 l/s.

**Rešenje:** U razvojnoj fazi postavljene granice izliva gasa i frikcionog paljenja se postižu tako što se kombinuju tehnike bušenja srednjeg radijusa (MDR) od površine prema šavu koje se dopunjuju podzemnim bušenjem usmerenih rupa u kojima se kontroliše sadržaj gasa. Početna oblast pri dnu rupe je pred -drenirana korišćenjem tehnike čvrstog radijusa (TRD).

Prvobirni plan da se koriste trostrani odvod (three-headins hate roads) je bio ispravan s' obzirom da je omogućio da se longwall ventilira kružnom cirkulacijom kapaciteta od 100 do 120 m<sup>3</sup>/s (2,000 do 2,400 l/s CH<sub>4</sub> sa povratnim limitom od 2 %). Važno je zabeležiti da, posle nesreća u Mouri 1994. godine u kojoj je nastradalo 11 rudara, propisi, smernice, običaji i praksa u rudnicima u Kvinslendu (Queensland), ne dozvoljavaju korišćenje ventilacionog odvoda vazduha američkog tipa. Ipak, moguća je upotreba kontrolisanog odvoda ukoliko se posebno pazi na lokacije potencijalno opasnih mešavina i kontroliše spontano sagorevanje.

U svakom slučaju, realni kapaciteti razblaživanja gasa sa ovakvim sistemom odvoda u ovim blokovima su znatno ispod ukupnih stopa emisija gasa u longwall-u, zbog čega su potrebne alternativne mere. Kako bi se umanjio teret emisija gasa kroz ventilacioni sistem, danas ovaj rudnik uspešno koristi konvencionalne drenažne rupe koje vode od površine u stog (dijametra 300 milimetara na 100 m razdaljine koji su locirane na povratnoj strani prekidača). Na ovaj način se postiže prosek od 65% sakupljenog gasa (drenaža stoga plus ventilacija), sa postignutim maksimumom od oko 80% pri pritoku gasa visoke čistoće (> 90% CH<sub>4</sub>).

Infrastruktura za prikupljanje gasa se nalazi na površini i ona koristi cevi dijametra 400 milimetara, što uključuje i cevi za vertikalno povezivanje sa podzemnim rupama. Svi gasni tokovi, iz podzemlja, kao i oni iz površinske pre -drenaže i stogova se sakupljaju u centralnu pumpnu stanicu u kojoj se 2,200 l/s gasa u ubacuje u mašinu 16 x 2.0 MW sa izjednačenim plamenom. Politika uprave je da se izbegne direktno otpuštanje gasa koliko god je to moguće.

Pošto je jasno da će emisije gasa u daljim blokovima, sa postojećom ventilacionom mrežom koja drenira 65 % gasa, biti problematične, u rudniku sada pokušavaju sa predrenažom debljih krovnih šavova, uz pomoć rupa dugačkih 2 km koje se buše duž osovina longwall-a. Ove rupe će najpre služiti za predrenažu, a kasnije kao rupe za drenažu stogova. Ukoliko bude bila potrebna dodatna predrenaža za buduće dublje radne prostore, može se razmotriti i mogućnost korišćenja konvencionalnih metoda.

## Studija slučaja 4: Smanjenje rizika od eksplozije u zatvorenim i stubnim rudnicima –Južna Afrika

**Početni uslovi:** U ovoj specifičnoj rudarskoj oblasti bile su potrebne pravne i praktične mere kako bi se smanjio rizik, s obzirom na povećan broj ozbiljnih eksplozija u veoma debelim, (4 – 6 m visokim), ugljanim slojevima, sa niskim sadržajem gasa (1-2m<sup>3</sup>/t), u zatvorenim i stubnim rudnicima. Oko 75% eksplozija se desilo na samim ulazima ili blizu ulaza u radni prostor, a frikcije su bile dominantni uzrok eksplozija (Landman, 1992. godine). Značajan broj eksplozija u non-face oblastima ukazao je na teškoće da se ventilacijom kontroliše metan u zatvorenim i stubnim rudnicima. Dotok vazduha u radne prostorije sa potpornim stubovima razlikuje se od onog u longwall prostorima zbog ponovljenih naglih ekspanzija i kontrakcija, pri čemu se presecaju uzdužni putevi sa poprečnim presecima.

Nagomilavanje gasa u prostorijama u kojima se odvija velika proizvodnja, a ventilacija je neadekvatna, kao i prenošenje plamena u gornje slojeve metana koji nisu detektovani (tabela 9.1) predstavljalo je značajan rizik koji je bilo potrebno kontrolisati (Creedz & Phillips, 1997).

**Tabela 9.1 Procena rizika paljenja nagomilanog metana zatvorenim i stubnim rudnicima**

Potencijalni neuspeh	Mogući uzrok kvara	Preventivne mere
Neuspeh prevencije paljenja	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Neadekvatna ili nepouzdana sporadna ventilacija u naslovima</li> <li>• Nedostaci u mašinskom sistemu ventilacije</li> <li>• Izlizani alati, blokirani sprejevi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Upotreba prikladno dizajnirane i zaštićene opreme</li> <li>• Visoki standardi održavanja</li> <li>• Efektivan nadzor</li> </ul>
Neuspeh isključnja uzroka paljenja	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Električna snaga i župčani izvor paljenja, povezani sa kontinuiranim rudarima/radnicima</li> <li>• Pušenje ili druge ilegalne aktivnosti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stroga obuka i nadgledanje osoblja</li> <li>• Pretres na nedozvoljen material pri ulasku u rudnik</li> </ul>
Neuspeh da se rasuje naslojavanje metana	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nedovoljan kapacitet ventilacije</li> <li>• Neadekvatne lokacija ventilacionog postrojenja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procedure kontrole metana</li> <li>• Dostupnost pokretača vazduha i druge odgovarajuće opreme</li> </ul>
Neuspeh da se detektuju slojevi metana	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Loša lokacija nadgledanja</li> <li>• Nedostatak odgovarajuće opreme za nadzor</li> <li>• Neadekvatno obučeno osoblje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistem nadzora specifičan za gradilište</li> <li>• Odgovarajuće sonde za nadzor, posebno za visoke kolovozne sekcije</li> <li>• Obuka</li> </ul>
Neuspeh da se preventuje naslojavanje metana	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suvuše niski ventilacioni kvantiteti</li> <li>• Nepouzdana ventilacija</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planiranje ventilacije</li> <li>• Lokalno poboljšana krovna ventilacija</li> </ul>
Neuspeh da se preventuju emisije metana	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisije metana su prirodna posledica podzemnih radova na uglju</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drenaža metana</li> </ul>

**Problemi kontrole gasa:** Ventilacija radnih prostora zahteva spoljni sistem dovođenja vazduha iz poslednjeg poprečnog puta. Oblasti u kojima se kopa uglj su povezane čitavim sistemom unakrsnih puteva i stubova koji se ne mogu efikasno provetravati zbog ogromnih količina vazduha koje su potrebne i teškoća da se taj vazduh rasporedi ravnomerno. Da bi se obezbedilo da glavni dotok vazduha dopre do tekućih radnih prostorija, prethodne prostorije se zatvaraju pomoću privremenih panoa, tako da se gas akumulira u zatvorenim prostorima iza radnog dela.

U rudnicima u kojima je akumulacija vode i pritisak metana prouzrokovao pad krovova, pored otvorenih drenažnih rupa, izukrštane su krovne rupe. U drugim rudnicima je emitovan gas sporog dotoka koji je mogao da formira ekstenzivne slojeve metana i ostao bi neotkriven ukoliko se ne testira visoko pri krovu – što je teško izvesti u visokim tunelima.

**Rešenja:** U rudnicima u kojima se uglj kopa metodom delimične ekstrakcije, gas se kontroliše pre-drenažom u sloju; post-drenaža je retko potrebna s obzirom da krovni i podni slojevi uglja nisu značajnije poremećeni. U slojevima koji sadrže malo gasa, pre-drenaža nije od velike pomoći. Zbog toga drenaža gasa nije bila opcija u rudnicima u ovoj oblasti. Zbog ograničenih količina vazduha, nije praktično da se ventiliraju prostorije u kojima se ne vrši iskopavanje na isti način kao u aktuelnim radnim prostorima. U tim uslovima, akcenat je stavljen na uvođenje sistema nadzora kojim se omogućava detekcija gasa u krovnim oblastima i na nadzor brzine vazduha u glavnim radnim prostorijama, gde je smanjivana ventilacija, pečaćenjem prostorija u kojima se više ne radi.

S obzirom da najveći rizik postoji u radnim prostorima rudnika, nadležno telo vlade (Department of Mineral and Energy Affairs, 1994.) usvojilo je pravilnik o načinu ventilacije mehanizovanih sekcija rudnika. Ustanovljen je kriterijum da zapaljive koncentracije gasa ne treba da pređu 1.4 %, a da bi se to obezbedilo preporučene su sledeće mere:

- Minimalna brzina vazduha u poslednjem tunelu od najmanje 1.0m/s (u mnogim rudnicima je instaliran daljinski sistem nadgledanja brzine vazduha).
- Upotreba pomoćnih ventilatora u poprečnom prokopu (sekundarna ventilacija).
- Redovno merenje i beleženje podataka o ventilaciji.
- Inspekcija gasovitih sekcija u intervalima ne većim od jednog sata.
- Automatska električna izolacija mehaničkog bušenja u slučaju da sekundarni sistem ventilacije prestane sa radom.
- Specijalne mere opreza u blizini zona emisije sa eruptivnim upadima i geološkim anomalijama.
- Kontinuirano nadgledanje gasa u oblastima kopanja.

## Studija slučaja 5: Razvoj CMM strujne Co- generacijske/emisione šeme smanjenja –Kina

**Početni uslovi:** Novo površinsko postrojenje ekstrakcije gasa je instalirano i dovršeno u maju 2007. na 1,600 m daljinske planinske lokacije iznad rudnika uglja sa kapacitetom proizvodnje uglja od 5 Mtpa, specifične emisije od 17.7 m<sup>3</sup>/t i drenaže metana prosečne čistoće toka od 22 m<sup>3</sup>/min. Ukopna efikasnost sakupljanja metana iz rudnika je bila 15%, ostalih 85% je bilo emitovano kroz ventilacioni vazduh.

**Problem kontrole gasa:** Čistoća gasa u fabrici vađenja je varirala i ponekad ispod 30% minimuma od dozvoljene za korišćenje i efikasnost sakupljanja gasa. Drenažni kapaciteti gasa su očekivani da fluktuišu usred varijacija u ciklusu longwall rudnika i faziranje radova u određenim slojevima; stoga je kapacitete CMM potrebno izmeriti da bi se obezbedila 85%-totna dostupnost da se izađe u susret potrebama investiranja. Cilj projekta je bio da se optimizuje obnova energije i minimizuju emisije GHG. Integrirani motor i sistem kotla je bio potreban –prvo u Kini; zato je bilo očekivano, da potražnja za transferom tehnologije bude visoka.

**Rešenje:** Tim lokalnih i međunarodnih stručnjaka za dreniranje gasa i energije i inženjering sistema su angažovani da projektuju rad sa osobljem rudnika da bi obezbedili isporuku gasa, skaliranje veličina projekta i integraciju i performanse fabrike.

Čistoća metana je porasla poboljšanjem pečaćenja/plombiranja i regulacije bušotina unakrsnog merenja. Kapacitet gasa drenažne infrastrukture se povećao, visoko otporan sistem nadzora je zamenjen i spremljen je plan za poboljšanje sakupljanja gasa. Intenzivno pred-drenažno bušenje na dva buduća longwall panela su proizvela obogaćeni gas i takođe suplementirali tokove, na kraju doprinoseći 23% dreniranog gasa, ostatak dolazi od post-drenaže, krovnim bušotinama unakrsnog merenja. Drugi su bušeni ispred površine i neki su neizbežno pretrpeli štetu i loše su dejstvovali kada su dospeli u stog. Demonstraciona bušotina je bušila preko stoga, a iza površine, koja je radila dobro, ali tehnika jos nije bila usvojena iz razloga lokalnih regulacija i ova metoda dreniranja nije bila istorijski praktikovana u ovom regionu.

Prva faza šeme uključuje instalaciju 5 MWe, sa obnovom otpadne toplote za grejanje zgrada i usis vazduha za ventilaciju zimi. Nominalan kotao od 5,000 m<sup>3</sup>/satu je takođe instaliran. Specijalizovana kompanija je angažovana da osmisli i instalira daljinski sistem nadzora performansi opreme za korišćenje i destrukciju.

Kada je sakupljanje gasa evidentno povećano za više od 50 m<sup>3</sup>/min (čisto), konstrukcija faze 2 je bila implementirana u oktobru 2009. godine da poveća kapacitet energije na 12 MWe.



## Studija slučaja 6: VAM –Kina

**Smanjenje emisije VAM i generisanje tople vode iz energije oslobođene oksidacijom VAM.**

**Slika 9.6 Smanjenje VAM i implementacija obnove energije u Kini**



*(Ljubaznošću ZhengZhou Mining Group, MEGTEC Systems, i EcoCarbone)*

**Početni uslovi:** Veliki rudnik uglja, lociran u Provinciji Henan, Narodna republika Kina, sa kapacitetom proizvodnje uglja od 1.5 Mtpa je emitovala oko 12 miliona m<sup>3</sup> metana godišnje. VAM čini 56% emisije sa preostalih 44 % metana uklonjenog kroz program drenaže. Koncentracije VAM variraju od 0,3% do 0,7%.

**Problemi kontrole gasa:** Korišćenje ili smanjenje emisije VMA nije predhodno bilo demonstrirano u Kini, jer nije bilo podsticaja da se preduzmu takvi projekti u odsustvu kredita za ugljalj.

**Rešenje:** Funkcionalno CDM tržište sada pruža finansijsku pomoć za implementaciju projekata za smanjenje VAM. Grupe rudnika u državnom vlasnistvu sa CDM izvođačem projekta i vodeći snabdevač tehnologija da dizajnira, prouči i odradi demonstracioni VAM projekat, koristeći jednokrevetni RTO bez plamena. Uz podršku izvođača projekta, ovaj projekat je prvo potvrđeni i registrovani VAM CDM projekat u okviru Kjoto protokola.

Prvi projekat je namenjen kao komercijalni demonstracionni projekat, ali specifična VAM tehnologija korišćena u rudnicima je modularna u prirodi sa mogućnošću da grupiše više jedinica zajedno u jednu operativnu instalaciju. Ovo će omogućiti rudniku da uveliča projekat za obradu izuzetno velike količine VAM. Dodatne jedinice VAM bi takođe mogle biti razvijene u drugim rudnicima u okviru iste grupe rudnika.

VAM instalacija se sastoji iz pojedinačne RTO sa kapacitetom protoka od 62,500 Nm<sup>3</sup>/satu (17 Nm<sup>3</sup>/s) što je 17% od ukupnog toka rude od 375,000 Nm<sup>3</sup>/s. Veza na ventilator rudnika je indirektna u prirodi tako da ukoliko instalacija koja procesuirala VAM bude zaustavljena, ceo ventilacioni vazduh odlazi u atmosferu. Važan bezbednosni aranžman uključuje dovoljnu dužinu kanalskih radova, tako da u slučaju opasnosti (npr. ako je prevelika koncentracije detektovana), bude dovoljno vremena da se postavi bajpas prigušivač, koji dozvoljava da protok prolazi kroz bajpas. RTO je sposoban za samo-održive operacije do 0,2% metana i tako je sposoban da radi uspešno u okviru razmera koncentracija VAM u rudniku.

Projekat je započeo rad u oktobru 2008 i radi sa efikasnošću destrukcije od 97%. Produkcija CER zavisi od kvaliteta destrukovanog metana i biće verovatno između 20,000 tona (0.3% CH<sub>4</sub>) i 40,000 tona (0.6% CH<sub>4</sub>) ekvivalenta ugljen dioksida godišnje za pojedinačnu jedinicu. Sa oksidacijom bez plamena, sistem ne generiše emisije azot oksida. U vremenima kada je koncentracija metana ispod samo-održivog nivoa od 0,2%, sistem se zatvara.

Značajna količina energije se može oporaviti unutar RTO. Instalacija u rudniku generiše toplu vodu za tuševe rudara i za grejanje okolnih zgrada. Obnova toplote se postiže primenom razmenjivača toplote na relaciji vazduh-voda, instaliranog između RTO i njegove izduvne cevi, obnavljajući energiju u zagrejanom izduvnom vazduhu. Tabela ispod poredi količine energije koje se mogu preuzeti u obliku vode na 70 stepeni C i 150 stepeni C, odnosno, u različitim koncentracijama VAM.

**Tabela 9.2 Količina energije koja može biti povraćena iz jedne VAM kubne instalacije pod različitim koncentracijama VAM**

<b>Rezultati sekundarne rezmene toplote</b>	<b>Na 0.3 % VAM</b>	<b>Na 0.6 % VAM</b>	<b>Na 0.9 % VAM</b>
Voda na temperaturi od 70 stepeni C	1 MW	8 MW	15 MW
Voda na temperaturi od 150 stepeni C	-nije moguće-	2 MW	10 MW

## Studija slučaja 7: VAM Australija

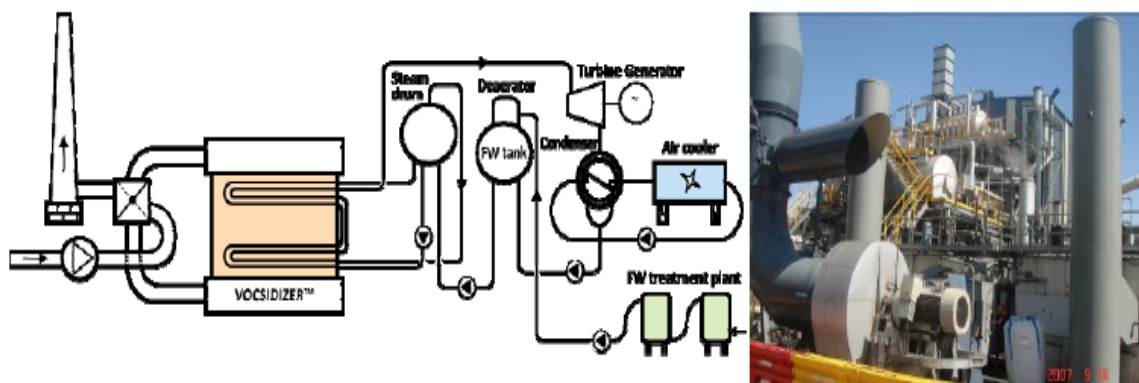
### Smanjenje VAM emisija i korišćenje energije koja se otpušta VAM emisijama za dobijanje struje

**Početni uslovi:** Iz velikog ugljenokopa u Novom Južnom Velsu emotovan je VAM u atmosferu u koncentracijama od oko 0.9 % CH<sub>4</sub>. Takođe je ispuštan drenažni gas u atmosferu u koncentracijama koje su prelazile 25 %.

**Problemi kontrole gasa:** Korišćenje ili smanjenje VAM-a velikih razmera, nikada ranije nije primenjeno u svetu zbog prirode emisije u kojoj je prisutan veliki protok vazduha i krajnje rastvorena koncentracija metana. Korišćenje ili smanjenje VAM-a manjih razmera isprobavano je tokom 12 meseci od 2001. -2002. godine u rudniku Appin BHB Billiton u Australiji. Tamo je mala RTO procesuirala VAM koristeći proizvedenu energiju za dobijanje pare – na taj način je pokazano da je dugoročno moguće upotrebljavati prirodne promene u VAM koncentracijama kao i efikasna proizvodnja energije.

**Rešenje:** Rudnik Appin je u saradnji sa proizvođačem RTO, primenio četiri RTO koje je integrisao u parni ciklus parne elektrane, koristeći RTO kao specijalne peći koje su mogle da rade na krajnje razblaženom gorivu VAM-a (slika 9.7). Ova rudarska kompanija je dobila značajna sredstva od vlade da bi sprovela ovaj projekat.

**Slika 9.7 : Smanjenje VAM i dobijanje energije za proizvodnju struje**



*(Ljubaznošću MEGTEC Systems and Illawarra Coal Division of BHP Billiton)*

Elektrana na VAM je projektovana da obradi 250,000 Nm<sup>3</sup>/h (150,000 standardnih kubnih stopa u minuti ili scfm) ventilacionog vazduha, što odgovara 20% ukupno raspoloživog obima u rudniku. Elektrana je projektovana za prosečnu koncentraciju VAM-a od 0.9%. Iako su RTO projektovane da mogu da podnesu varijacije u koncentraciji VAM-a, ukoliko parne turbine rade neprekidno optimalnom brzinom, energija u procesuiranom ventilacionom vazduhu mora da se održava na stabilnom nivou, u skladu sa dizajnom. Iz tog razloga, drenažni gas u koncentracijama od 25% i više se ubacuje u tok ventilacionog vazduha kada su koncentracije VAM-a niže od dizajniranih, što je u slučaju ovog rudnika 0.9%.

Elektrana na VAM je proradila u aprilu 2007. U prvoj fiskalnoj godini (od jula 2007. do juna 2008.) dostigla je 96% iskorišćenosti, sa dva planska prekida rada zbog održavanja. Do 2009. celo postrojenje je proizvelo 500,000 kredita ugljenika (koji su razmenjeni u okviru lokalne seme razmere u Novom Južnom Velsu) i 80,000 MWh struje.

Za uspešnu VAM elektranu potrebno je:

- da koncentracija VAM-a bude 0.7 % ili viša
- da je zapremina ventilacionog vazduha najmanje 500,000 Nm<sup>3</sup>/h (300.000 scfm)
- potreban je drenažni gas (u koncentraciji najmanje 25 %) radi ubacivanja u ventilacioni vazduh kako bi se kompenzovao nedostatak u koncentraciji VAM-a
- potrebno je imati dovoljno vode radi hlađenja
- da je locirana u blizini distributivne mreže visoke voltaže radi transporta proizvene energije.

O obogaćivanju VAM-a korišćenjem drenažnog metana je bilo reči u sekciji 6.3. Treba izbegavati korišćenje metana niske koncentracije zbog rizika od eksplozije.

## Prilog 1: Poređenja metoda drenaže gasa

Metoda	Opis	Prednosti	Nedostaci
<b>Pre-drenaža uz upotrebu vertikalnih površinskih bušotina</b>	Uključuje frakturisanje jednog ili niza ugljenih šavovima kroz upumpavanje tečnosti pod visokim pritiskom na površinsku bušotinu. Frakture se drže otvorenim kroz ubrizgavanje pomoćnog materijala. Na taj način, gas i druge tečnosti, koje mogu da proteku kroz ugljeni sloj, mogu da uđu u bušotinu bez da budu limitirani otporom okružujućeg sloja. Druge metode završetka bušotine su takođe korišćene, kao što je formacija proste šupljine u visoko propustljivostim ugljima.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gas je izvađen pre rudarenja</li> <li>• Gas visoke čistoće obično dobije komercijalnu vrednost.</li> <li>• Vađenje gasa nezavisno od podzemnih rudarskih aktivnosti.</li> <li>• Kada je hidro-frakturisani ugalj izrađen, to obično ne utiče negativno na krovne uslove.</li> <li>• Potencijal pretvaranja u stožni bunar nakon što je izruđeno.</li> <li>• Mogućnost da se smanje emisije metana u atmosferu (smanjenje emisije gasa staklene bašte) iz izvore povezanih sa rudnikom uglja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Skupo da se završi</li> <li>• Površinski kolekcioni cevovodi su potrebni da olakšaju korišćenje.</li> <li>• Površinski aranžmani mogu biti teško ostarivi u smislu vlasništva, pristupa i vizuelnih upada.</li> <li>• Odlaganje slane vode koja se ponekad proizvede</li> <li>• Propustljivost može biti suviše niska u dubokim šavovima/slojevima.</li> <li>• Troškovi bušenja mogu biti previsoki za duboke ugljene šavove/slojeve.</li> <li>• Ugljeni š</li> <li>• avovi/slojevi moraju imati visoku prirodnu frakturalnu propustljivost.</li> <li>• Teškoće u koordinaciji sa planom rudarenja.</li> <li>• Završni dizajn bušotine je poseban zadatak.</li> </ul>
<b>Pre-drenaža uz upotrebu horizontalnih unutrašnjih bušotina</b>	Duge bušotine su bušene iz podzemnih kolovoza ili baze vratila u dalja područja radova uglja i gas je ekstrahovan u produzenom vremenskom periodu da bi se smanjili tokovi gasa u razvojne naslove i buduće longwall ulaze/ <u>coalfaces</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gas je izvađen pre rudarenja</li> <li>• Gas visoke čistoće je proizveden i pogodan za upotrebu</li> <li>• Drenaža gasa nezavisna od podzemnih rudarskih aktivnosti</li> <li>• Isplativije od bušenja vertikalnih bušotina sa površine</li> <li>• Primenjiv u dubokim subjektima rudnika za permeabilnost uglja.</li> <li>• Može smanjiti rizik od eksplozije u šavovima koji su skloni eksploziji</li> <li>• Omogućava visoku stopu razvoja u gasnim naslovima</li> <li>• Uklanja gas koji ne može biti presretnut tokom post-drenaže</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bušotinama je potrebno bušenje pre rudarenja</li> <li>• Ugljeni šavovi moraju imati umerenu do visoku prisodnu propustljivost da bi omogućili sadržaj gasa u šavu u razumnom vremenskom roku</li> <li>• Smanjuje emisiju gasa samo u radnom šavu, ne i u susednim šavovima, uzburkanim longwall rudarenjam</li> <li>• Emisije vode, stabilnost bušotine i direkcionalna kontrola bušenja može biti problematična u nekim lokacijama šava</li> <li>• Potreban je tim obučenih kopača za podzemni rudnički gas.</li> </ul>

<b>Metoda</b>	<b>Opis</b>	<b>Prednosti</b>	<b>Nedostaci</b>
<b>Pre-drenža uz upotrebu površinskog, upravljanog bušenja u šavu</b>	Vertikalna ili nagibna rupa je bušena iz koje su pokrenuta usmerena bušenja da bi se ušlo u željeni šav ili šavove koji potom slede do 1000m ili više. Različiti kompleksi unutar šavnih bušenih konfiguracija se koriste da maksimiziraju performanse i najpovoljniji su oni koji uzimaju u obzir pravac pružanja strate.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gas je izvađen pre rudarenja</li> <li>• Gas visoke čistoće je proizveden i pogodan za upotrebu</li> <li>• Efikasnija obnova gasa od vertikalnih frakcionih bunara</li> <li>• Potencijal ponovne upotrebe rupa u šavovima iznad radova za post - drenažu</li> <li>• Fleksibilna lokacija bušenja, pa nije ograničena površinskim prilikama</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Visoka cena</li> <li>• Nije moguće bušiti sve šavove/slojeve uglja</li> <li>• Zahteva aranžmane odvodnjavanja da bi ostao efikasan</li> <li>• Potrebna umerena propustljivost uglja</li> <li>• Kvar na rupi nije lako ispraviti</li> <li>• Potrebna je specijalizovana oprema bušenja i veštine</li> </ul>
<b>Predostrožna pre-drenaža uz upotrebu kratkih rupa u krovu naslova</b>	Kratke, vertikalne bušotine su bušene u krovnu stratu unutar naslova da kontrolišu emisije rudnočkog gasa iz diskretnih fraktura u krovnom sloju peščare. Gas može da protекne iz ugljenog šava iznad i u kontaktu sa frakturisanom stratom, ili se može pojaviti prirodno iz peščare. Bušotine niskog uglja su ponekad bušene u krov iznad površine da ispuste gas pre rudarenja da bi smanjile rizik od trenja paljenja u mehanizovanim naslovima.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isplativa metoda za smanjenje rizika od trenja paljenja i kontrolu emisije rudničkog gasa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Niski tokovi gasa.</li> <li>• Sistem povezivanja rudničkog gasa, ako se smatra potrebnim.</li> </ul>

Metoda	Opis	Prednosti	Nedostaci
<b>Post-drenaža uz upotrebu bušotina unakrsnog merenja</b>	Bušotine su bušene pod uglom iznad i ispod šava sa povratnog kolovoza površine longwall-a i povezane su sa sistemom ekstrakcije rudničkih gasova. U nekim povučenim longwall rudnicima, bolje performanse drenaže su bile dobijene od bušotina bušenih iza površine, u poređenju sa onima bušenih unapred, pre <u>coalface-a</u> . Pristup iza povučenih površina je, međjutim, ponekad teško održiv.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Visoke mogućnosti sakupljanja na razvijenim <u>longwall coalfaces</u>.</li> <li>• Izvodljivo za duboke ugljene šavne radove.</li> <li>• Kratka distansa bušenja do primarnog izvora gasa.</li> <li>• Gas može biti ekstrahovan i prosleđen do uobičajene fiksne lokacije na površini za komercijalnu eksploataciju ili upotrebu na strani rudnika.</li> <li>• Efektivna u ugljenim šavovima niske permeabilnosti.</li> <li>• Podne bušotine mogu smanjiti rizik od iznenadnih emisija gasa u osetljivim radovima.</li> <li>• Fleksibilan i lako modifikovan obrazac bušenja.</li> <li>• Povoljniji od metoda drenaže gasa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Visoka efikasnost sakupljanja je teško održiva na povučenim površinama.</li> <li>• Za maksimalnu efikasnost, potrebno je bušiti iza površine povučenih longwalla.</li> <li>• Produktivan vek trajanja bušotina je generalno kratak.</li> <li>• Dobijen je vazduh srednje do niske čistoće, jer je ventilacioni vazduh uvučen u sistem ekstrakcije gasa kroz prelome u strati izazvane rudaranjem.</li> <li>• Potreban je obučeni tim za podzemno bušenje.</li> <li>• Podzemna cevovodna infrastruktura je potrebna ka površini ili ka lokaciji za bezbedno pražnjenje, u povratnom kolovozu.</li> </ul>
<b>Post-drenaža uz upotrebu površinskih stožnih bušotina</b>	Ventilaciona bušotina se buši i postavlja za rad u kratkom rastojanju od šava. Postavljanjem na dno, produktivna dužina bušotine se obično prorezuje. Ponekad je bušotina bušena i postavljena do 30m iznad šava i zatim manji dijametar otvara rupu bušeći kroz radni šav horizontalno pre ili posle prolaza <u>coalface-a</u> . bezbedna i pouzdana metoda postavljanja bušotine uključuje bušenje da se iseče radni šav i zatim fugovanje donih 30m. Bušotine su obično locirane naspram one strane longwalla gde se vraća vazduh.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operacije drenaže gasa nezavisne od podzemnih operacija.</li> <li>• Sposobnost da ventilira tokove održivog rudničkog gasa iz longwall šavova.</li> <li>• Dobro dokazan, ekonomičan metod za plitke do umerene dubine</li> <li>• Često se dobija gas umerenog nivoa čistoće. Produktivni životni vek može biti produžen na nekoliko meseci.</li> <li>• Može da odgovori na promene u planu rudarenja.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Skupo za duboke ugljene šavove.</li> <li>• Rizik od ulaska vode tamo gde glavni izdanci vode nadležu radne ugljene šavove.</li> <li>• Nema direktne drenaže gasa iz šava na mestu radova.</li> <li>• Stožne bušotine ne mogu biti operativne dok <u>coalface</u> ne prođe izvesnu razdaljinu ispod bušotine da bi se sprečila ventilaciona propuštanja na površinu.</li> <li>• Kolekcija gasa za eksploataciju zahteva skupe površinske cevovodne infrastrukture.</li> <li>• Primenjivo je samo tamo gde nema površinskih pristupnih ograničenja.</li> <li>• Može da izmami i ventiliše više gasa nego što bi bilo ispušteno kroz podzemne radove.</li> </ul>

Metoda	Opis	Prednosti	Nedostaci
<b>Post-drenaža uz upotrebu usmerenih bušenih horizontalnih dugačkih rupa iznad ili ispod radnog šava</b>	Brojne bušotine su bušene uz upotrebu usmerenih tehnika bušenja u kompetentnom horizontu na, da kažemo, 20m-30m iznad ili ispod radnog šava za punu dužinu projektovanog longwall panela. Ako ni jedno mesto bušenja nije dostupno na prikladnom horizontu, bušotina je upravljana do neobalnog nivoa iz rudiranog horizonta.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Može biti korišćeno u predrenžnom modusu pre rudarenja.</li> <li>Potencijalno viša efikasnost sakupljanja od bušotina unakrsnog merenja bušenih iz ugljenog šava/sloja.</li> <li>Aktivnosti drenaže gasa nezavisne od aktivnosti proizvodnje uglja.</li> <li>Može se dobiti gas visoke čistoće.</li> <li>Sakuplja gas blizu inicijalnog gradilišta otpuštanja u blizini linije <u>coalface</u>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Usmereno bušenje je relativno skupo.</li> <li>Problematično kod "bubrenja" stena i mekanog uglja.</li> <li>Popravka propalih bušotina može biti teška</li> <li>Nije fleksibilno na promene u operacijama rudarenja.</li> <li>Oslanja se na tačnost i brzinu bušenja da bi obezbedila da je zadovoljavajući sistem postavljen pre nego sto proizvodnja počne.</li> <li>Potrebni su specijalizovane podzemne veštine bušenja i oprema.</li> </ul>
<b>Post-drenaža kroz galerije koje leže iznad ili ispod</b>	Kolovoz je upravlan iznad ili ispod radnog šava pre rudarenja. Naslov je zatim isključen prekidom i povezan sa sistemom drenaže rudničkog gasa kroz cev preko prekida. Oblast uticaja naslova drenaže može biti povećana bušenjem fenova bušotina iz njih pre <u>plombiranja</u> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>Može biti dopunjena bušenjem unakrsnog merenja iz galerije.</li> <li>Potencijalno viša efikasnost sakupljanja od od bušotina unakrsnog merenja bušenih sa rudiranog horizonta.</li> <li>Aktivnosti drenaže gasa nezavisne od aktivnosti proizvodnje uglja.</li> <li>Da bi se smanjili troškovi, mogu se ponekad koristiti već postojeći kolovozi ili radovi iznad ili ispod predložene oblasti proizvodnje uglja.</li> <li>Često se dobija gas umerenog nivoa čistoće.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Skupo da se obezbedi pristup od radnog čava do nivoa galerije.</li> <li>Rizik od požara u šavovima uglja sklonim spontanom sagoravanju iz ventilacionih curenja.</li> <li>Skupo, osim ako nije vođeno u razumno širokom ugljenom čavu.</li> <li>Nije fleksibilno na promene u operacijama rudarenja.</li> <li>Može biti neefikasna tamo gde su prisutne kompetentne strate između galerije drenaže i longwall površine.</li> </ul>
<b>Post-drenaža uz upotrebu usmerenog bušenja sa površine ka unutrašnjosti šava</b>	Relativno nova aplikacija već osnovane tehnologije za upravljanje bušotina sa površine ka unutrašnjosti šava, iznad radnog šava, postizajući sličnu konfiguraciju za upravljano bušenje iz podzemne post-drenaže.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nema potrebe za podzemnim pristupom.</li> <li>Potencijalno ostvarivo kroz ponovnu upotrebu bušotina sa površine ka unutrašnjosti šava, bušenih pre drenaže.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Visoka cena.</li> <li>Ponovno upotrebljene pre-drenažne bušotine mogu biti oštećene tokom rudarenja.</li> <li>Ne zamenjuje potrebu za podzemnim bušotinama unakrsnog merenja blizu površine da bi se postigla efektivna kontrola gasa.</li> </ul>



Metoda	Opis	Prednosti	Nedostaci
<b>Post-drenaža iz komora ili cevi u longwall stoga</b>	<p>Komora je instalirana u stogu iza površine kroz prekide u sistemu drenaže gasa. Alternativno, cev za drenažu gasa sa otvorenim krajem blizu lica/površine prekidne linije, biva produženo kako se površina/lice povlači.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Smanjuje koncentracije metana na kraju povratka na povučenom licu/površini longwalla.</li> <li>• Smanjen kvantitet gasa koji ulazi u distrikt.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pretenduje da vodi ka sakupljanju i transmisiji zapaljive gasne mešavine, stvarajući nedopustivu opasnost</li> <li>• Potreban je visok kapacitet drenaže metana zbog niske čistostće sakupljenog gasa, koja je nedovoljna.</li> <li>• Efikasnost sakupljanja je niska.</li> <li>• Mala količina sakupljenog gasa.</li> </ul>
<b>Post-drenaža iz poprečnih preseka longwall stoga (varijanta gorenavedene metode)</b>	<p>Poprečni preseci su vođeni sa paralelnih puteva duž radnog distrikta da se preseče stog. Sistem drenaže gasa je povezan za cev kroz prekid konstruisan u poprečnom preseku.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Može smanjiti potrebu za <u>drenazom rundickog gasa unakrsnim busenjem</u> u određenim uslovima</li> <li>• Aktivnosti drenaže gasa su nezavisne od aktivnosti ekstrakcije uglja</li> <li>• Smanjuje koncentracije metana na povratnim krajevima površine/lica longwalla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Može da dovede do sakupljanja i transmisije zapaljive gasne mešavine stvarajući nedopustivu opasnost</li> <li>• Potreban je visok kapacitet drenaže metana zbog niske čistosti sakupljenog gasa</li> <li>• Efikasnost sakupljanja je generalno niska</li> <li>• Primenjiva je samo gde postoji odgovarajući kolovoz iz koga poprečni preseci ka stogu mogu biti razvijeni</li> <li>• Troškovi dodatnih poprecnih preseka</li> </ul>

## Preporuke

- Black, D. & Aziz, N. (2009). Reducing Coal Mine GHG Emissions Through Effective Gas Drainage and Utilisation. 2009 Coal Operators Conference, Australian Institute of Mining and Metallurgy, Illawarra Branch, pp. 217-224.
- CDM Executive Board. (2006). Tool to determine project emissions from flaring gases containing methane. Meeting 28. Bonn, Nemacka: Clean Development Mechanism (CDM) Executive Board.
- Coward, H.F. (1928). Explosibility of atmospheres behind stoppings. *Trans Inst Min Engs*, 77, pp. 94 – 115.
- Creedy, D.P. (1986). Methods for the Evaluation of Seam Gas Content From Measurements on Coal Samples. *Mining Science and Technology*, Vol. 3, pp. 141 – 160. Amsterdam: Elsevier.
- Creedy, D.P. (2001). Effective Design and Management of Firedamp Drainage. UK Health and Safety Executive, Contract Research Report 326/2001, pp. 48, 1 annex, HSE Books.
- Creedy, D.P. & Phillips, H.R. (1997, jul). Methane Layering in Bord-and-Pillar Workings. Safety in Mines Research Advisory Committee (SIMRAC) Final Report. Project COL 409. Johannesburg, South Africa: Safety in Mines Research Advisory Committee.
- Creedy, D.P., Saghafi, A., & Lama, R. (1997, april). Gas Control in Underground Coal Mines: IEA Coal Research. International Energy Agency (IEA) CR/91, pp. 120. London: The Clean Coal Centre.
- Department of Mineral and Energy Affairs. (1994, octobar). Guidelines for a Code of Practice for the Ventilating of Mechanical Miner Sections in Coal Mines in terms of Section 34(1) of the Minerals Act 1991, Second Edition, Ref. GME 16/2/1/20.
- Diamond, W.P. & Levine, J.R. (1981). Direct Method of Determination of the Gas Content of Coal: Procedures and Results. Report of Investigation 8515. Pittsburgh, PA (U.S.): United States Department of the Interior, Bureau of Mines.
- Diamond, W.P. & Schatzel, S.J. (1998). Measuring the Gas Content of Coal: A Review. *Int. Journ. of Coal Geology* 35, pp. 311 – 331. Amsterdam: Elsevier.
- ESMAP. (2007, jul). A Strategy for Coal Bed Methane (CBM) and Coal Mine Methane (CMM) Development and Utilization in China: Formal Report 326/07, pp. 109. Washington, D.C.: The International Bank for Reconstruction and Development (IBRD)/WORLD BANK Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP).
- Gaskell, P. (1989). A Study of Sub-Surface Strata Movement Associated with Longwall Mining. PhD. Thesis. University of Nottingham.
- IEA. (2009). World Energy Outlook. Pariz, Francuska: International Energy Agency (IEA).
- ILO. (2006). Code of Practice on Safety & Health in Underground Coal Mines. Kancelarija medjunarodne organizacije rada (ILO).

IPCC (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. Geneva, Switzerland: International Panel on Climate Change (IPCC).

Janas, H. F. & Opahle, M. (1986). Improvement of Gas Content Determination. Glückauf-Forschh 47, pp. 83 – 89. Essen, Nemacka.

Kissell, F. N. (2006). Handbook for Methane Control in Mining. Pittsburgh, PA (U.S.): Pittsburgh Research Laboratory, National Institute for Occupational Safety and Health.

Kissell, F. N, et al. (1973). Direct Method of Determining Methane Content of Coalbeds for Ventilation Design. Report of Investigation RI7767. U.S. Bureau of Mines.

Landman, G v R. (1992). Ignition and initiation of coal mine explosions. PhD. Thesis, University of the Witwatersrand, pp. 252.

Methane to Markets Partnership. (2008). Global Methane Emissions and Mitigation Opportunities. Washington, D.C.: Methane to Markets Administrative Support Group.

Methane to Market Partnership. (2009, septembar). International Coal Mine Methane Projects Database. [www.methanetomarkets.org](http://www.methanetomarkets.org)

MSHA (2009). Injury experience in coal mining, MSHA IR1341. Washington, D.C.: U.S. Department of Labor, Mine Safety & Health Administration (MSHA).

Moreby, R. (2009). Private communications.

SAWS (2009). China State Administration of Worker Safety.

Shi Su, et al. (2006, January). Development of Two Case Studies on Mine Methane Capture and Utilization in China. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO).

University of Alberta. (2004). Flare Research Project: Final Report 1996-2004. Kostiuk, L., Johnson, M., and Thomas, G. Edmonton, Alberta, Canada: University of Alberta.

US EPA. (2006a). Global Anthropogenic Emissions of Non-CO2 Greenhouse Gases: 1990-2020. EPA-430-R- 06-003. Washington, D.C. (U.S.): U.S. Environmental Protection Agency.

US EPA. (2006b). Global Mitigation of Non-CO2 Greenhouse Gases. EPA-430-R-06-005. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.

von Schoenfeldt, H. (2008, januar). “Advanced CMM and CBM Extraction Technologies.” CBM Conference. Singapore.

## Dodatni izvori

Boxho, J., Stassen, P., Mücke, G., Noack, K., Jeger, C., Lescher, L., Browning, E., Dunmore, R., & Morris, I. (1980). Firedamp Drainage Handbook for the Coalmining Industry in the European Community, p. 415. Coal Directorate of the Commission of the European Communities. Essen: Verlag Glückauf GmbH.

Brandt, J. & Kunz, E. (2008). Gas Drainage in High Efficiency Workings in German Coal Mines. Presentation at the 21st World Mining Congress, session "Methane Treatment," pp. 41 – 50. Krakov.

Creedy, D.P. (1996). Methane Prediction in Collieries. Safety in Mines Research Advisory Committee (SIMRAC) Final Report, Project COL 303. Johannesburg, South Africa: Safety in Mines Research Advisory Committee.

ESMAP. (2008, Decembar). Economically, socially and environmentally sustainable coal mining sector in China: World Bank Report No. 47131, pp. 258. Washington, D.C.: The International Bank for Reconstruction and Development (IBRD)/WORLD BANK Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP).

Hinderfeld, G. (1985). State and Perspectives of Gas Drainage. Bergbau 2, pp. 7. Essen Nemacka.

Kravits, S. J & Li, J, (1995, March). Innovative in-mine gas recovery techniques implemented by Resource Enterprises. In: International Symposium-Cum-Workshop on Management Control of High Gas Emission and Outbursts, pp. 523 – 532. Wollongong, NSW, Australia.

Lama, R.D. & Bodziony, J. (1998). Management of outburst in underground coal mines. Int. Journ. of Coal Geology 35, pp. 83 – 115, Amsterdam: Elsevier.

Lunarzewski, L .W. (1998). Gas Emission Prediction and Recovery in Underground Coal Mines. Int. Journ. Of Coal Geology 35, pp. 117 – 145, Amsterdam: Elsevier.

Mine ventilation handbook, Mine Ventilation Society of South Africa.

Moore, S., Freund, P., Riemer, P., & Smith, A. (1998, June). Abatement of Methane Emissions. Paris, France: International Energy Agency (IEA) Greenhouse Gas R&D Programme.

Mutmansky, J. M. & Thakur, P.C. (1999). Guidebook on Coalbed Methane Drainage for Underground Coal Mines, pp. 46.

Noack, K. (1998). Control of gas emissions in underground coal mines. Int. Journ. Of Coal Geology 35, pp. 57 – 82. Amsterdam: Elsevier.

Schlotte, W. & Brandt, J. (2003). 50 Years of Coal Research – Gas Emissions, Ventilation and Climate. Glückauf 139, pp. 402 – 408. Essen, Nemacka.

Sdunowski, R. & Brandt, J. (2007). Optimizing the Gas Drainage in High Performance Longwalls. Glückauf 143, pp. 528 – 534. Essen, Nemacka.

Skiba, J. (2009, November). Central Mining Institute of Katowice. Licna komunikacija.

Somers, M.J. & Schultz, H.L. (2008). Thermal Oxidation of Coal Mine Ventilation Air Methane. 12<sup>th</sup> U.S./North American Mine Ventilation Symposium 2008, Reno, NV (U.S.): Wallace.

Thakur, P.C. (1997). Methane Drainage from Gassy Mines – A Global Review. Proc. Of the 6th Int. Mine Vent. Congr. pp. 415 – 422. Pittsburgh, PA (U.S.).

US EPA. (2003, jul). Assessment of the Worldwide Market Potential for Oxidizing Coal Mine Ventilation Air Methane. EPA-430-R-03-002. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency [www.epa.gov/cmop/resources/index.html](http://www.epa.gov/cmop/resources/index.html)

US EPA. (2009, jul). Coal Mine Methane Finance Guide. EPA-400-D-09-001. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.

US EPA. (2009, jul). Coal Mine Methane Recovery: A Primer. EPA-430-R-09-013. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.

US EPA. (2008, januar). Upgrading Drained Coal Mine Methane to Pipeline Quality: A Report on the Commercial Status of System Suppliers. EPA-430-R-08-004. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.