

РЕЦИКЛАЖА И ОДРЖИВИ РАЗВОЈ
UDK
Стручни рад

Технички факултет у Бору – Универзитет у Београду, В.Ј. 12, 19210 Бор, Србија
Катедра за минералне и рециклажне технологије
Тел. +381 30 424 555, 424 556, Фак. +381 30 421 078

ВАЛОРИЗАЦИЈА РУДНИЧКОГ МЕТАНА
VALORIZATION OF THE COALMINE METHANE

Радоје Пантовић[#]

Технички факултет у Бору, Универзитета у Београду, Војске Југославије 12, 19210 Бор

ИЗВОД

У раду је описан значај емисије метана из подземних рудника угља, са аспекта глобалног загревања планете и његовог контролисаног дегазирања и коришћења као извора енергије. Одговарајућим односом параметара вентилације рудника и дегазације угљених слојева, могу се обезбедити: ниске концентрације метана у рудничком ваздуху, виша сигурност рада, већа производња, веће временско искоришћење рударске опреме, смањење оперативних трошкова производње а посебно трошкова вентилације. Описани су начини и основни принципи дегазације, са посебним освртом на технологију усмереног мултилатералног бушења. Наведени су поступци прикупљања и припреме дегазираног гаса и метана из јамског ваздуха. Метан који се ослободи при откопавању угља може бити искоришћен као извор топлотне или електричне енергије, аутогас, сировина за хемијски индустрију, итд. Указано је на значај могућег увођења технологије дегазације метана и његовог коришћења, као извора енергије, у руднику угља „Соко“, код Сокобање.

Кључне речи: метан, рудници угља, дегазација, сигурност рада, извор енергије

ABSTRACT

This paper presents the significance of methane emission from underground coalmines, especially regarding global heating, and its controlled degasification and use as clean energy source. By adequate relation of mine ventilation parameters and degasification of coal seams, lower methane content, higher working safety, higher production, increased equipment availability, reduction of production costs, especially ventilation costs, can be achieved. The methods and basic principles of degasification are described, with special retrospective of directional, multilateral drilling. The procedures of collection and processing of degassed gas and methane from the mine air are also described. Methane released during coal extraction can be used as a source of thermal and electrical energy, automotive fuel, as row chemical industry material etc. The paper emphasizes the significance of potential application of methane degasation and methane use in “Soko” coalmine near Sokobanja.

Key words: methane, coal mines, degasification, working safety, energy source

[#] *Особа за контакт: pan@tf.bor.ac.yu*

УВОД

Глобална емисија метана из подземних рудника угља, последњих неколико деценија, значајно се повећала услед повећане производње и тренда откопавања угља из све дубљих угљених слојева и она данас износи ико 8% укупне емисије метана у земљину атмосферу. Остали извори емисије метана су: ферментација ђубрета (краве, овце, свиње), природни гас, чврсти отпад, отпадне воде, пиринчана слама, итд. Када доспе у атмосферу метан има велики утицај на ефекат стаклене баште, доприносећи на тај начин глобалном загревању земљине атмосфере. Учешће појединих гасова у глобалном загревању је следеће: CO₂ - 54%, N₂O – 6%, тропосферски озон – 13%, хлорофлуороугљеници – 9%, CH₄ – 18%. Иако је време распада CH₄ у земљиној атмосфери 8 пута краће од времена распада CO₂, његов потенцијал за глобално загревање је 23 пута већи у односу на CO₂ [4]. За разлику од осталих гасова који доводе до глобалног загревања, метан представља потенцијални извор енергије. Отуда испуштање метана у атмосферу не

представља само еколошки проблем већ и губитак значајног извора енергије.

Ради обезбеђења метанске сигурности у подземним рудницама угља концентрација метана мора се контролисати на радним челима и другим деловима јама. Према члану 330. Правилника о техничким нормативима за подземну експлоатацију угља (Сл. лист СФРЈ 4/89) максимално дозвољени садржај метана на радилиштима износи 1,5%, у главној излазној ваздушној струји 1%, итд. У многим подземним рудницама угља у свету, посебно са повећањем дубине откопавања и капацитета откопавања, одржавање концентрације метана у рудничком ваздуху, испод прописаних максимално дозвољених вредности, више се не обезбеђује само традиционалним поступком - вентилацијом рудника. Спрегом вентилације рудника и дегазације метана из гасоносних слојева угља и пратећих стена, може се обезбеди одржавање ниских концентрација метана у рудничком ваздуху, а тиме и већа сигурност рада, већа производња и профит рудника.

ДЕГАЗАЦИЈА МЕТАНА ИЗ РУДНИКА УГЉА

Методе дегазације метана, које се данас примењују у свету, омогућавају дренажу (прикупљање) метана пре, током и после откопавања угљеног слоја. Системи дегазације метана примењују се у Кини, САД-у, Пољској, Русији, Украјини, Аустралији, Индији. Са територије Кине у атмосферу се емитује око 40 % глобалне емисије метана или око 240 милиона м³ метана. Око 200 рудника у Кини има дегазационе системе, а на око 60 рудника функционишу системи за коришћење топлоте сагоревања метана, при чему се добије 100 MW електричне енергије, гас за град од пола милиона становника, аутогас, итд. Дегазација се остварује применом

вертикалних, хоризонталних и косих бушотина.

Вертикалне дегазационе бушотине

Вертикалне дегазационе бушотине (слика 1) са површине терена намењене су за:

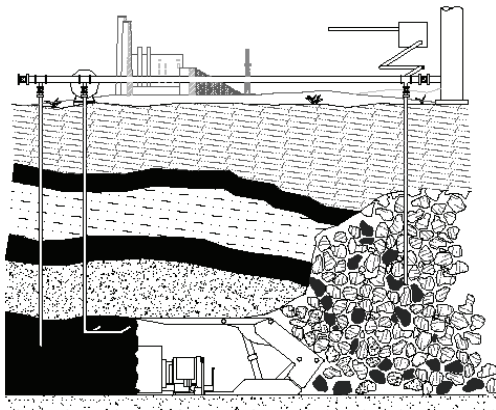
- претходну дегазацију једног или више угљених слојева и/или
- накнадну дегазацију метана из зарушених откопаних делова лежишта.

Бушотине за претходну дегазацију израђују се 2-7 година пре откопавања одређеног дела угљеног слоја. Ради бољег прилива гаса ка бушотини, из угљеног слоја испумпава се вода, која се у сепаратору на површини одваја од гаса (слика 2). За

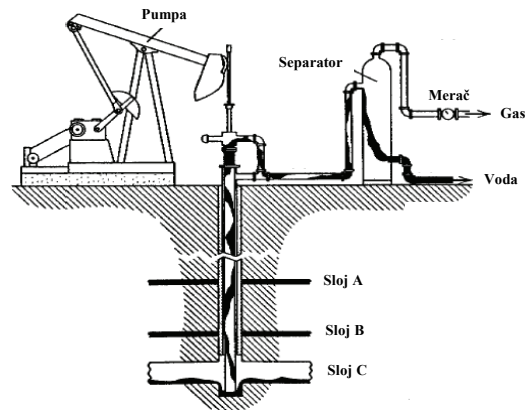
побољшање прилива метана према бушотини врши се хидраулично фрактурисање или формирање каверни у угљеном слоју (слика 3). Каверне се формирају физичким или хемијским поступцима. Из оваквих бушотина добија се гас са високим садржајем метана, јер нема разблажења са рудничким ваздухом. На овај начин може да се дегазира 50 – 90 % метана из угљеног слоја.

За накнадну дегазацију метана из зоне зарушавања кровинских стена, израђују се вертикалне бушотине до дубине 3-15 м

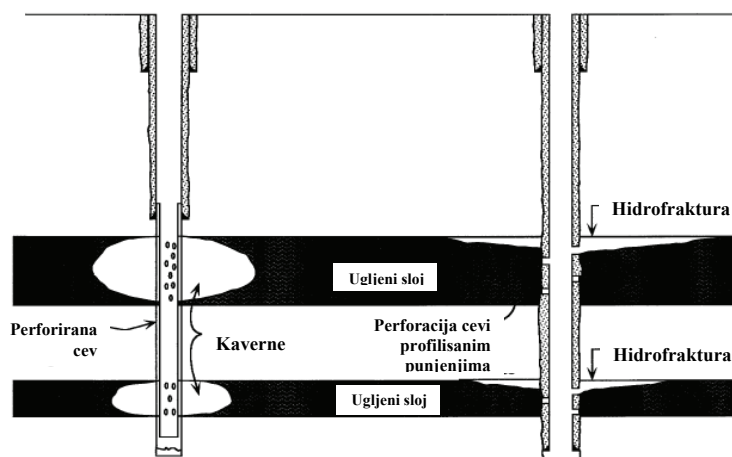
изнад откопаног угљеног слоја, тако да постају активне тек после одговарајућег обима зарушавања кровине (слика 1). Метан који се емитује из зарушене зоне кроз бушотину излази на површину. Бушотинама у зарушеној зони дренира се 30-60 % ЦХ₄. Квалитет гаса је променљив и за сагоревање на површини може да се меша са вентилационим јамским ваздухом. Овакав начин дегазације посебно је ефикасан при откопавању широким челом, чија је брзина напредовања релативно велика.



Слика 1. Положај вертикалних дегазационих бушотина испред и иза широког чела



Слика 2. Вертикална дегазациона бушотина



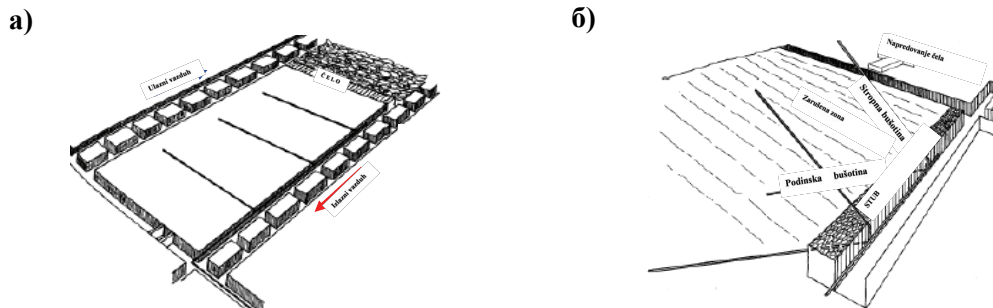
Слика 3. Побољшање прилива метана ка дегазационим бушотинама

Хоризонталне дегазационе бушотине

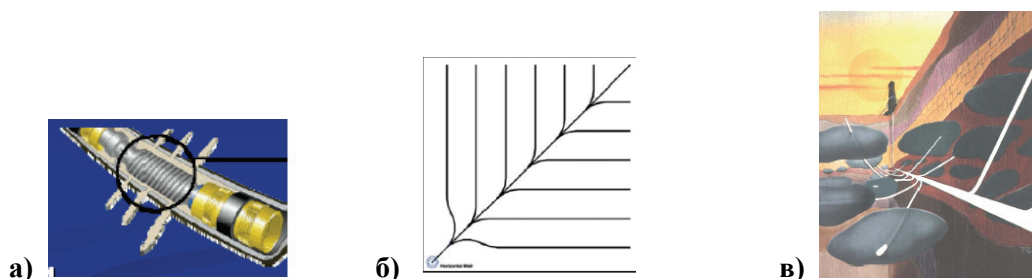
Хоризонталне дегазационе бушотине намењене су углавном за претходну дегазацију угљених слојева. Могу се израђивати из рудничких, најчешће припремних просторија али и као наставак вертикалних бушотина технологијом усмереног бушења. Бушотине које се израђују из припремних ходника омогућавају дренажу метана из дела угљеног слоја непосредно пре откопавања (слика 4а), чиме се смањује концентрација метана на радилишту у току откопавања. Пошто је период дренаже релативно кратак, из угљеног слоја дренара се 10-20% CH_4 . Чистоћа гаса је врло велика. За дегазацију метана из зарушених откопанних зона, код метода широкогачелног откопавања, могу се користити косе дегазационе бушотине, израђене из припремних јамских просторија (слика 4б),

косо нагоре у кровинске или косо надоле у подинске слојеве. Услед мешања са рудничким ваздухом квалитет гаса је низак (испод 25-50% CH_4).

Применом опреме за усмерено бушење (слика 5а) из вертикалних дегазационих бушотина могу се израђивати хоризонталне и косе бушотине, при чему се основна вертикална бушотина грана на више бушотина. Мреже хоризонталних бушотина могу бити урађене на једном или два нивоа. Систем хоризонталних бушотина може бити урађен у облику “борове гране” (слика 5б). На слици 5в илустровано је мултилатерално бушење дегазационих бушотина усмерених према гасоносним слојевима или замкама. Бушење мултилатералних бушотина са подпритиском исплаке представља ефикасан и нов правац у технологије дегазације метана из угљених слојева.



Слика 4. Дренажне бушотине пре откопавања (а) и бушотине у подини и кровини откопаног угљеног слоја (б)

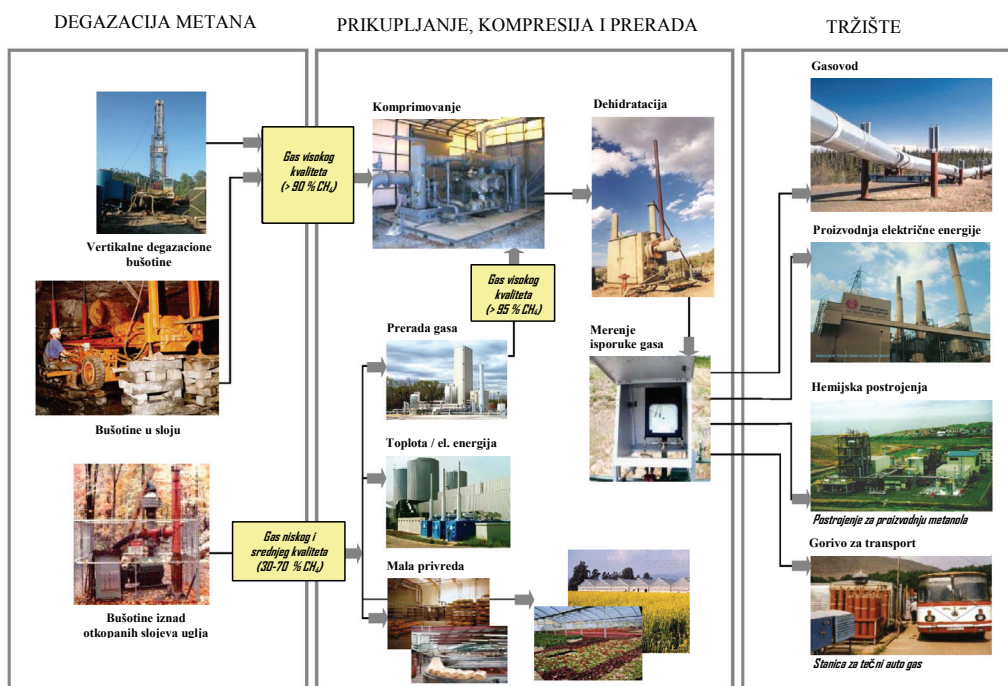


Слика 5. Савитљива бушаћа колона (а), систем мултилатералних бушотина у облику “борове гране” (б) и мултилатерално усмерено бушења дегазационих бушотина (в)

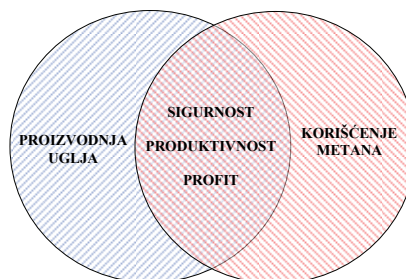
ЗНАЧАЈ ДРЕНАЖЕ МЕТАНА

Метан који се дегазацијом прикупи на површини се третира на различите начине, зависно од његовог квалитета, количине, дугорочне перспективе коришћења, потреба тржишта. Поред директног спаљивања у циљу добијања топлотне и електричне енергије, метан се може прерађивати до чистоће неопходне за гас у гасоводима, аутогас, производњу метанола, хемијску индустрију (слика 6).

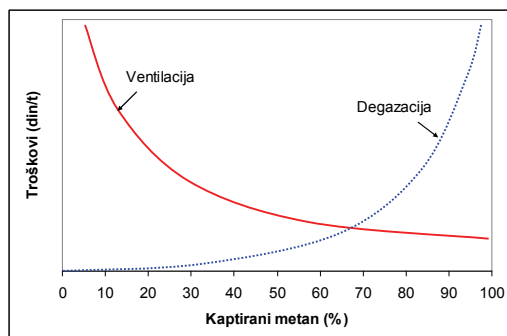
Поред глобалног еколошког значаја, услед смањења емисије метана у атмосферу, дегазација и прикупљање и коришћење метана, обезбеђује повећање сигурности рада и капацитета подземних рудника угља а може донети и значајне економске ефекте на бази коришћења метана као извора енергије (слика 7).



Слика 6. Шема технологија дегазације, прераде и примене метана из рудника угља [3]



Слика 7. Значај дегазације и коришћења метана на подземним рудницима угља.



Слика 8. Упоређење релативних трошкова вентилације и дегазације при различитом проценту каптираног метана системима дренаже [3]

Повећање капацитета рудника, услед смањења времена застоја при великим концентрацијама метана у рудничком ваздуху, доводи до одговарајућег смањења оперативних трошкова откопавања. На пример, стајање савремене опреме за широкочелно откопавање кошта 100-200 USD/min. Дегазација метана омогућава, да се услед смањења концентрације метана у рудничком ваздуху, смањи количина ваздуха неопходна за проветравање, односно смањење концентрације метана испод дозвољених вредности. Ово се одражава на одговарајуће смањење оперативних трошкова вентилације (слика 8). Услед смањења неопходних попречних пресека и укупне дужине вентилационих просторија, смањују се трошкови израде просторија припреме. Делимичним избацивањем воде кроз дегазационе бушотине обезбеђује се смањење трошкова одводњавања.

Израдом дегазационих бушотина омогућава се додатно истраживање угљеног слоја, утврђивање појава геолошких аномалија и евентуално повећања резерви угља.

Са смањењем концентрације метана у рудничком ваздуху повећава се ниво сигурности рада рудника и побољшавају ергономски услови рада. Услед смањења брзине струјања ваздуха долази до смањења концентрације угљене прашине у рудничком ваздуху и побољшања комфора рада. Топлотна енергија која се ослободи

спаљивањем метана користи се као извор енергије за загревање зграда, воде и улазне ваздушне струје у рудник, затим за сушење угља на сепарацији, производњу струје, за течни гас за погон аутомобила и друге потребе.

Прикупљени метан може се побољшати делимичним компримовањем и увести у комерцијалну мрежу гасовода. Ово може обезбедити посебно велику добит за рудник уколико је метан високе чистоће и уколико се у близини налази гасовод.

Наведене предности треба узети у обзир у оквиру компаративне техно-економске анализе пројекта дегазације метана. На уму треба имати да се поједине предности, као што су повећање сигурности, смањење запрашености, побољшање комфора рада, тешко могу новчано исказати.

Поред коришћења метана, који се дренира бушотинама, данас су развијене и технологије за коришћење топлотне енергије метана из јамског ваздуха. На слици 9 приказано је постројење за производњу струје из вентилационог метана подземног рудника угља VAMPP (Ventilation Air Methane Power Plant) у West Cliffu у Аустралији. Ова термоцентрала је урађена према патентираној технологији фирме Megtec Systems и ради у пуном капацитету од априла 2007. године. Мешањем вентилационог ваздуха (око 250 000 m³/h) и метана из система за дегазацију добија се гас са 0,9% метана. Из прегрејане струје

гаса под високим притиском, може се добити око 25 MW топлотне или 6 MW електричне енергије. Минимална концентрација метана за спаљивање гаса је 0,2%,

при притиску паре од 60 бара и температури од 450 °C [4].



Слика 9. Метанска термоцентрала на руднику угља West Cliff (Аустралија)

АНАЛИЗА УСЛОВА ЗА ДЕГАЗАЦИЈУ МЕТАНА НА РМУ „СОКО“

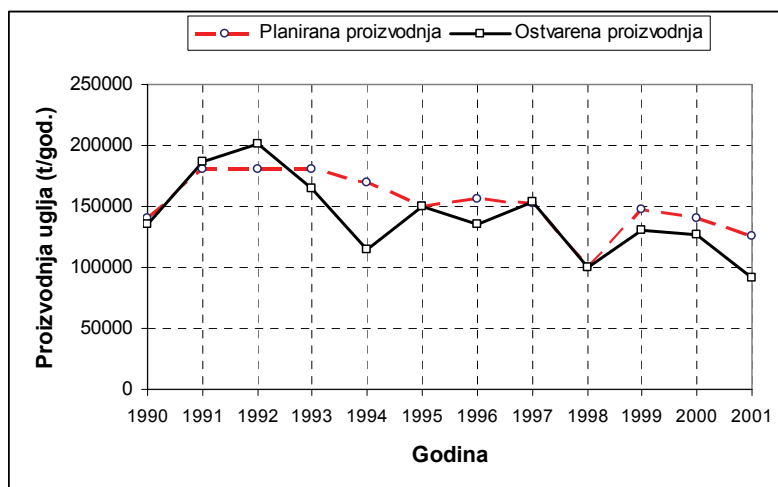
Подземни рудник мрког угља „Соко“, код Сокобање, представља најинтересантнију локацију за могућу примену технологије дегазације и коришћења метана, као извора енергије, у Србији. У овом руднику откопава се угљени слој велике моћности, која се креће у границама 15 ÷ 20 m, а изузетно и 25 ÷ 30 m. Угљени слој залеже под углом од 20 ÷ 40°, тако да хоризонтална моћност достиже 60 ÷ 70 m. Експлоативни део слоја чини само неколико процената укупне површине сокобањског терцијарног угљоносног басена, отуда се по резервама угља ово лежиште сматра најперспективнијим за подземну експлоатацију у Србији. Процењене геолошке резерве рудника „Соко“, категорије А + Б + Ц1, износе преко 60 милиона тона угља.

Лежиште је тектонски јако поремећено, са низом уздужних и попречних раседа који га деле на већи број посебних блокова, међусобно висински померених, дајући лежишту тзв. паркетну структуру. Оваква грађа усложњава процес истраживања

угљеног слоја али и његово отварање и припрему за откопавање.

Откопавање се врши методом која представља комбинацију стубног и пречног откопавања у хоризонталним појасима са зарушавањем кровног угља. Припрема за откопавање је карактеристична и састоји се у изради припремних ходника по средини угљеног слоја. Откопавање се изводи у етажама са међусобном висинском разликом од 9 m, при чему се најчешће припремају паралелно по две етаже за истовремени рад. Обарање кровног угља врши се кратким минским бушотинама у две фазе.

Експлоатација угља у јами РМУ "Соко" у периоду од 1990.-2001. године вршена је у два независна откопна поља и то, у западном крилу централног поља (блок Б-3) и у јужном крилу западног поља (блок Б-6). Однос планиране и остварене производње угља у наведеном периоду приказан је на слици 10.



Слика 10. Планирана и остварена производња угља у руднику мрког угља „Соко“

Посебан проблем рудника представља проветравање јаме, с обзиром на врло сложену шему вентилационих путева и велику метанообилност од 6 -10 m³CH₄/min, односно релативну гасоносност од 5-10 m³CH₄/t откопаног угља [2]. При експлозији метана 1974. године у руднику „Соко“ погинуло је 15 рудара а при експлозији 1998. године погинуло је 29 рудара.

Контрола гасно-вентилационих параметара врши се оперативном и преко система аутоматске даљинске контроле (АДК). Оперативну контролу обавља служба ветрења. Систем АДК је спрегнут са енергетским системом јаме и у случају да концентрација CH₄ пређе максимално дозвољену концентрацију аутоматски се искључује напајање електричном енергијом у угроженом делу јаме. Јама је угрожена пожарима ендеогеног (угаљ је склон ка самооксидацији) и егзогеног порекла. Угљена прашина је тешко запаљива али спада у групу експлозивно врло опасних. Карактеристично је постојање опасности од избоја гаса и стенског материјала под притиском. Гас се налази под притиском у колектору на 40 m од непосредне кровине угљеног слоја. Максимални измерени притисак износи 22 бара.

Дегазацијом угљеног слоја, могла би се смањити метанска опасности, а тиме би се створили и погоднији услови за побољшање методе откопавања, односно за обарање угља дугачким минским бушотинама са раздвојеним минским пуњењима. При откопавању угља постиже се укупно искоришћење око 60%. Угаљ који остаје у зарушеном откопаном делу представља значајан извор емисије метана у јама. Ово указује на могућу оправданост примене дегазационих бушотина до кровине која се зарушава.

Имајући у виду велику метанообилност, метанску опасност, опасност од експлозивне прашине, опасност од избоја гаса и велике резерве угља, које омогућавају дугогодишњу перспективу рада рудника, примена технологије дегазације метан и коришћење дренажног метана, као извора енергије, може бити врло интересантна. Количина излазног рудничког ваздуха и концентрација метана на руднику мрког угља „Соко“, готово су исти као у случају термоцентрале у West Cliffu (слика 9), што указује на могућу профитабилну дегазацију и коришћења метана као енергетског извора.

ЗАКЉУЧАК

Емисија метана, који се ослобађа током подземне експлоатације угља, у атмосферу не представља само еколошки проблем већ и губитак значајног извора енергије. Применом система вертикалних, хоризонталних и косих бушотина, може се дегазирати метан из угљених и пратећих слојева и то пре, током и после откопавања. Савремена технологија усмереног бушења омогућава израду система хоризонталних и косих дегазационих бушотина, из једне основне вертикалне бушотине, на једном или два нивоа.

Метан је у подземним рудницама угља деценијама био фактор ризика број 1. Иако је то и сада он добија нову димензију. Метан из рудника угља у многим земљама данас се користи као извор енергије. Метан који се дегазацијом прикупи на површини се третира на различите начине, зависно од његовог квалитета, количине, дугорочне перспективе коришћења, потреба тржишта. Поред директног спаљивања у циљу добијања топлотне и електричне енергије, метан се може прерађивати до чистоће неопходне за индустријски гас или за производњу метанола. Топлотна енергија која се ослободи спаљивањем метана користи се као извор енергије за загревање зграда, воде и улазне ваздушне струје у рудник, затим за сушење угља на сепарацији, производњу струје, друге потребе.

Поред глобалног еколошког значаја, услед смањења емисије метана у атмосферу,

дегазација и прикупљање и коришћење метана, обезбеђује одржавање ниских концентрација метана у рудничком ваздуху а тиме и повећање сигурности рада и капацитета подземних рудника угља. Дегазација метана омогућава, да се смање оперативни трошкови вентилације, израде просторија припреме и одводњавања и остваре значајни економски ефекти на бази коришћења метана као извора енергије. Поједине предности дегазације метана као што су, повећање сигурности рада, смањење запрашености, побољшање комфора рада, не могу се новчано исказати у оквиру техно-економске анализе пројекта дегазације метана.

Подземни рудник мрког угља „Соко“, код Сокобање, представља најинтересантнију локацију за могућу примену технологије дегазације и коришћења метана, као извора енергије, у Србији. Имајући у виду велику метанообилност, метанску опасност, опасност од експлозивне праши-не, опасност од избоја гаса и велике резерве угља, које омогућавају дугогодишњу перспективу рада рудника, примена технологије дегазације метана и његово коришћење као извора енергије, може бити врло интересантна за рудник „Соко“. Дегазацијом угљеног слоја, могла би се смањити метанска опасности, а тиме би се створили и погоднији услови за побољшање методе откопавања, односно за обарање угља дугачким минским бушотинама са раздвојеним минским пуњењима.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пантовић Р., Милић В., Видановић Н., Токалић Р., „Студија истраживања примењених метода минирања у рудницама угља са подземном експлоатацијом“, ТФ Бор и РГФ Београд. 2006.
2. Група аутора, „Усавршавање технологија подземне експлоатације лежишта угља у Србији у циљу рехабилитације постојећих рудника и валоризације ванбилансних резерви“, Монографија, Технички факултет у Бору, 2004.

3. Kelafant J. R., "Current Developments in Methane Degasification", A Workshop - New Trends in Coal Mine Methane Recovery and Utilization, Szczyrk, Poland, 2008
4. Mattus R., "Megtec Systems, Converting VAM (ventilation air methane) to Energy", A Workshop - New Trends in Coal Mine Methane Recovery and Utilization, Szczyrk, Poland, 2008