

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ -
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
Hornicko-geologická fakulta
Institut hornického inženýrství a bezpečnosti

VYUŽITÍ DUSÍKU V PODMÍNKÁCH DOLU DARKOV, OKD,
a. s.
UTILIZATION OF NITROGEN IN THE DARKOV COLLIERY,
OKD, a. s.

diplomová práce

Autor:
Vedoucí diplomové práce:

Mgr. David Chrysostomidis
prof. Ing. Alois Adamus, Ph.D.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut hornického inženýrství a bezpečnosti

Zadání diplomové práce

Student: **Mgr. David Chrysostomidis**
Studijní program: N2111 Hornictví
Studijní obor: 2101T008 Hornické inženýrství
Téma: **Využití dusíku v podmínkách Dolu Darkov, OKD, a. s.**
Utilization of nitrogen in the Darkov Colliery, OKD, a. s.

Zásady pro vypracování:

Úvod

1. Vývoj inertizace v hornictví
 2. Analýza vybraných případů inertizace na Dole Darkov, OKD a.s.
 3. Technické prostředky inertizace
 4. Aerodynamika a inertizace závalových prostor
 5. Ekonomické zhodnocení
- Závěr

Rozsah práce 30 – 35 stran, počet grafických příloh 5-10.

Seznam doporučené odborné literatury:


- MAKARIUS, R.: *Inertizace při důlních požárech*. SNTL, Praha 1993, ISBN 80-03-00695-3.
ADAMUS, A.: *Dusík v roce 1949 poprvé v historii hornictví*. Záchranář 3. čtvrtletí 2009.
ADAMUS, A., PAVELEK, Z.: *Dusík po šedesáti letech*. Záchranář 4. čtvrtletí 2009,
ADAMUS, A.: *Mezní koncentrace kyslíku samovznícení uhlí*. Záchranář, 1994, č.4.
ADAMUS, A.: *Koncentrace O₂ v závalovém prostoru stěnového porubu*. Záchranář, 1994, č.5.
ADAMUS, A.: *Nitrogen Inertization in Mines/Inertizace dusíkem v dolech*. "www.vsb.cz/nitrogen". Ostrava, duben 2013.
FASTER, P. a kol.: *Báňské záchranářství I., II* Montanex, Ostrava 2008, ISBN 80-7225-43-4.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

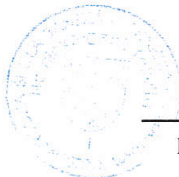
Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Alois Adamus, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2014

Datum odevzdání: 30.04.2015



doc. Ing. Petr Žůrek, CSc.
vedoucí institutu



prof. Ing. Vojtech Dirner, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že:

- celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3)
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO
- souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše)

V Ostravě 29. 4. 2015

Mgr. David Chrysostomidis



podpis autora práce

Rád bych poděkoval za kvalitní vedení mé diplomové práce prof. Ing. Aloisi Adamusovi Ph.D. vedoucímu této diplomové práce a také kolegům ze zaměstnání Ing. D. Hájkovi, Ing. J. Kubalíkovi, M. Žakovskému a dalším za poskytnutí potřebných informací. Také bych rád poděkoval kantorům VŠB – TU Ostrava za trpělivost, kterou potřebovali, aby nám předali své zkušenosti a vědomosti potřebné k výkonu naší hornické profese.

Anotace

Tato práce se zabývá využitím dusíku na dole Darkov, OKD, a.s. V první kapitole je uveden vývoj inertizace v hornictví, kde jsou popsány příklady použití v historii. Pro tuto problematiku jsou v další části analyzovány některé vybrané případy inertizace na dole Darkov, OKD, a.s. Následně jsou začleněny technické prostředky inertizace a jejich použití. Nedílnou součástí je aerodynamika a inertizace závalových prostor. V závěru je provedeno ekonomické zhodnocení.

Klíčová slova:

Bezpečnost dolů, dusík, inertizace, prevence samovznícení, aerodynamika závalu.

Summary:

This work deals with the utilization of nitrogen at the Darkov Colliery, an one of a deep mine of the Ostrava-Karvina District (OKD). The first chapter provides historical review of the technical devices. The next chapter illustrates application of the technique at the Darkov Colliery as illustrated on a few selected examples. List of integrated inertisation equipment, and its application, follows. Attention is paid also to the aerodynamics of a gob. And this work concludes with cost benefit analyses.

Keywords:

Mine safety, nitrogen, inertization, prevention of spontaneous heating, aerodynamic of a gob.

OBSAH

ÚVOD	1
1. VÝVOJ INERTIZACE V HORNICTVÍ	3
1.1 Použití dusíku v České republice	3
1.2 Použití dusíku v zahraničí	4
1.2.1 Velká Británie	4
1.2.2 Ukrajina	5
1.2.3 Německo	5
1.2.4 Francie	6
1.2.5 Polsko	7
1.2.6 Bulharsko	7
1.2.7 Austrálie	7
1.3 Historický přehled podle časové osy	8
2. ANALÝZA VYBRANÝCH PŘÍPADŮ INERTIZACE NA DOLE DARKOV, OKD a.s.	9
2.1 Použití dusíku v dobývaném porubu číslo 40604	9
2.1.1 Havarijní stav v porubu číslo 40604	10
2.2 Použití dusíku v dobývaném porubu číslo 340206	11
2.2.1 Havarijní stav v porubu číslo 340206	12
2.3 Použití dusíku v dobývaném porubu číslo 340402	14
2.3.1 Havarijní stav v porubu číslo 340402	16
2.4 Účinnost inertizace v porubech číslo 40604, 340206, 340402	17
3. TECHNICKÉ PROSTŘEDKY INERTIZACE	20
3.1 Výroba dusíku	20
3.2 Prostředky pro transport dusíku	22
3.3 Regulační a měřicí prostředky dusíku v dole	24
3.3.1 Centrické clony	24
3.3.2 Rotametry	25
3.3.3 Turbínové plynoměry	25
3.3.4 Vírové průtokoměry	26
3.4 Prostředky pro inertizaci při ražbách a dobývání	27

3.4.1 Pažící rohož s návlekm	28
3.4.2 Vyplňovací směsi na chemické nebo cementové bázi	29
3.4.3 Čerpadla pro močovino-formaldehydové pryskyřice	29
3.4.4 Polypropylénový vyplňovací vak	30
3.4.5 Generátor dusíkové pěny One Seven® MINING 6000	30
3.5 Inertizace při likvidaci porubů a uzavřených porubů	31
4. AERODYNAMIKA A INERTIZACE ZÁVALOVÝCH PROSTOR	33
4.1 Aerodynamika závalových prostor porubů	33
4.1.1 Výpočetní program typu CFD verze programu FLUENT 5.3	34
4.2 Inertizace závalových prostor porubů	35
4.2.1 Optimalizace preventivní inertizace a její zásady	37
4.3 Inovace inertizace závalových prostor	38
5. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	39
5.1 Ekonomické vyhodnocení porubů 40604, 340206,340402	40
5.2 Ekonomické vyhodnocení výroby dusíků	41
ZÁVĚR	43
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	44
SEZNAM OBRÁZKŮ	45
SEZNAM TABULEK	46
SEZNAM GRAFŮ	46
SEZNAM PŘÍLOH	46

Seznam zkratek

České zkratky

OBÚ	Obvodní báňský úřad
OKD	Ostravsko – karvinské doly
OKR	Ostravsko – karvinský revír
VŠB-TUO	Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
SVO	Samostatné větrné oddělení
PNZ	Plánovaný nehavarijní zásah
VLH	Vedoucí likvidace havárie
CDH	Centrální dusíkové hospodářství

Cizojazyčné zkratky

CFD	Computational Fluid Dynamic
PSA	Pressure Swing Adsorption

ÚVOD

Těžba černého uhlí má v našem kraji ekonomický a sociální význam. Oblast OKR (Ostravsko-karvinský revír) se nachází v hornoslezské pánvi, která z velké části zasahuje do Polska. Rozloha této pánve je přibližně 7000 čtverečních kilometrů, z toho České republice připadne 1500 čtverečních kilometrů. Uhlonosné vrstvy karbonského stáří se nacházejí v okolí měst Frenštátu pod Radhoštěm, Frýdku-Místku, Ostravy, Českého Těšína, Karviné a dalších okolních měst. Na našem území se ostravsko-karvinská uhelná pánev dále dělí na část ostravsko-karvinskou, kde nadále probíhá dobývání černého uhlí a část podbeskydskou, kde ještě nebyla zahájena těžba. Ostravsko-karvinská část je rozčleněna na ostravské a karvinské souvrství, kde ostravské vznikalo v přímořském prostředí, ovlivněno častou vulkanickou činností, což mělo za následek tvorbu kvalitnějšího uhlí ve slojích o menších mocnostech. Oproti karvinskému souvrství, které je mladší a vznikalo, až po definitivním ústupu moře.

Vznik dolu Darkov byl podmíněn začleněním důlních polí samostatných šachet Austria, Gabriela, Hohenegger, Suchá-Stonava a výstavbou nového závodu Darkov. Začátek výstavby dolu Darkov, který je z části předmětem této diplomové práce, se traduje okolo roku 1949 vyhloubením větrní jámy Mír 4. V roce 1972 započala investiční výstavba nového závodu. Rokem 1984 byl zahájen první porub a začala těžba na tomto závodě. V devadesátých letech došlo k dalšímu spojení závodů Darkov, Barbora, Mír a 9. květen (Kotlík, 2010).

V těchto letech, přesně dne 18. 10. 1990 došlo k velkému důlnímu neštěstí, konkrétně na závodě Barbora, výbuchu metanovzdušné směsi ve stařinných prostorách, bývalé výchozí prorážky ukončeného porubu ve vrchní lávce 40. sloje 5. kry, iniciovaný buď ohniskem skrytého záparu, nebo mechanickou jiskrou.

Proto se tato diplomová práce zaměří na použití dusíku v dole Darkov, kde budou uvedeny některé příklady použití dusíku i technické prostředky. Dále se zaměří na aerodynamiku a inertizaci závalových prostor a následné ekonomické vyhodnocení.

V současné době důl Darkov zobrazen na obr. č. 1, přesně k 1. 1. 2015 je v rámci organizační struktury OKD a.s., veden jako Důlní závod 1, do něhož patří lokalita Darkov, lokalita Lazy a lokalita Karviná. Další je Důlní závod 2, který pojal lokalitu ČSM Sever a Jih. Do Důlního závodu 3 patří lokalita Staříč a lokalita Chlebovice. Poslední je Důl Frenštát, ale ten se nachází v konzervačním režimu.



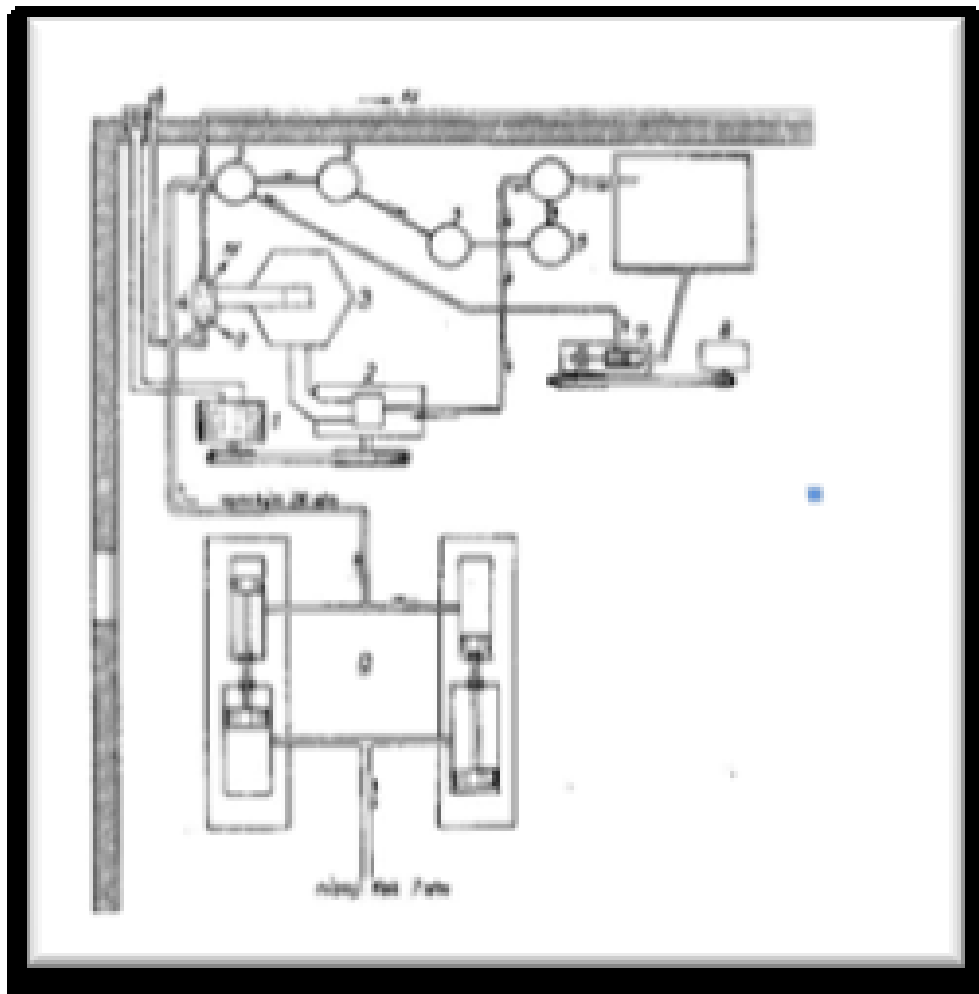
Obrázek 1: *Správní budova a těžní věž dolu Darkov v Karviné (foto Štefek).*

1. VÝVOJ INERTIZACE V HORNICTVÍ

Vývoj inertizace v hornictví sahá do druhé poloviny 19. století, kde nacházíme první zmínky o inertizaci důlní atmosféry na dole Clackmanan ve Skotsku. Pro hašení důlního požáru na tomto dole, byla použita směs vodní páry, dusíku, oxidu siřičitého a oxidu uhličitého, která byla generovaná ve spalovací peci pomocí vodního injektoru. Zhruba po měsíci byl tento požár zlikvidován, ačkoliv bylo zapotřebí více jak tři týdny inertizace. Ze zkušeností a poznatků s používáním oxidu uhličitého, se přešlo na hašení důlních požárů čistým dusíkem. Tento významný český patent, použití inertizaci dusíkem, byl podán v roce 1946 a je to zásluha pana Ing. Waldema z Moravských dusíkáren v Ostravě – Mariánské hory. Tento projekt byl úspěšně použit v České republice a následně i v zahraničí, jako je třeba Velká Británie, Slovensko, Rusko, Německo, Francie, Polsko, Rumunsko, Čína, Kanada, Bulharsko, Indie, Austrálie, JAR, USA a další země. (Adamus, 2001).

1.1 Použití dusíku v České republice

První použití dusíku v České republice se datuje ke 12. únoru 1946 na dole Doubrava, kde došlo ve sloji Hubert k výbuchu metanu a následného požáru, který inicioval další exploze při uzavírání. Nutností bylo uzavření dolu na povrchu a to bylo provedeno uzavřením dvou výdušných a dvou těžních jam. Všechny jámy byly opatřeny poklapy a utěsněny slínem s navršenou vrstvou písku. Aby se mohl použít dusík v dole, byla z Moravské dusíkáreny přemístěna kryogenní dusíková výrobní jednotka Claude obr. č. 2. Tato výrobní dusíková jednotka byla umístěna v kompresorovně na povrchu dolu, přičemž byla poháněna stlačeným vzduchem o tlaku 2,5 – 3,0 MPa. Potrubím o průměru 100 mm vedeným v jámě a vyústěním s výpustným bodem v hloubce 540 m pod povrchem, byl injektován plynný dusík. Tato inertizace probíhala v době od 8. srpna 1946 do 12. září 1950. V průběhu inertizace bylo do dolu napuštěno 5,056644 mil. m³ plynného dusíku o čistotě 99,5 %. Průměrný denní objemový průtok činil zhruba 16 – 17 tisíc metrů krychlových to je po přepočtu 10 – 11 m³min⁻¹ objemového průtoku. Teplota injektovaného dusíku činila + 9 °C (Adamus, 2001).



Obrázek 2: Schéma zařízení pro výrobu dusíku z roku 1949 (Adamus, 2001).

1.2 Použití dusíku v zahraničí

1.2.1 Velká Británie

Velká Británie uvádí použití čistého dusíku již v roce 1959 na dole Roslin. Hašení požářiště proběhlo následujícím postupem, za hráz potrubím na odběr vzorků byl vpravován dusík z tlakových lahví. Jedna z větších aplikací inertizace, byla provedena na dole Fernhil. Na tomto dole došlo k iniciaci výbuchu metanu po trhacích pracích na čelbě, což mělo za následek vzniku důlního požáru. Důlní neproražené dílo bylo uzavřeno a rozhodnuto o použití inertizace dusíkem, z důvodu vysokého obsahu kyslíku 15,3 % v prostoru díla. Havarijní komise dne 8. srpna 1962 rozhodla o požádání pomoci britskou společností British Oxygen Company Ltd, na zdoání požáru dusíkem. Tato společnost dodala na povrch z nedalekých hutí odpařovače a následně

je zkompletovala a napojila na mobilní cisternu kapalného dusíku. Stanice měla dva odpařovače, každý o výkonu $810 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$. Při zahájení inertizace bylo v požářišti naměřeno 15.38 % kyslíku, ale po dvaceti čtyřech hodinách, při dodání 15930 m^3 dusíku, již hodnota kyslíku byla na 10.0 %. Zhruba po dalších třiceti šesti hodinách o celkovém dodání 50490 m^3 dusíku, snížila hodnota koncentrace kyslíku na 7.37 %. Inertizace byla ukončena 11. prosince a bylo dodáno do dolu 2,295 mil. m^3 plynného dusíku a tím zamezeno vytvoření výbušné směsi při uzavírání (Adamus, 2001).

1.2.2 Ukrajina

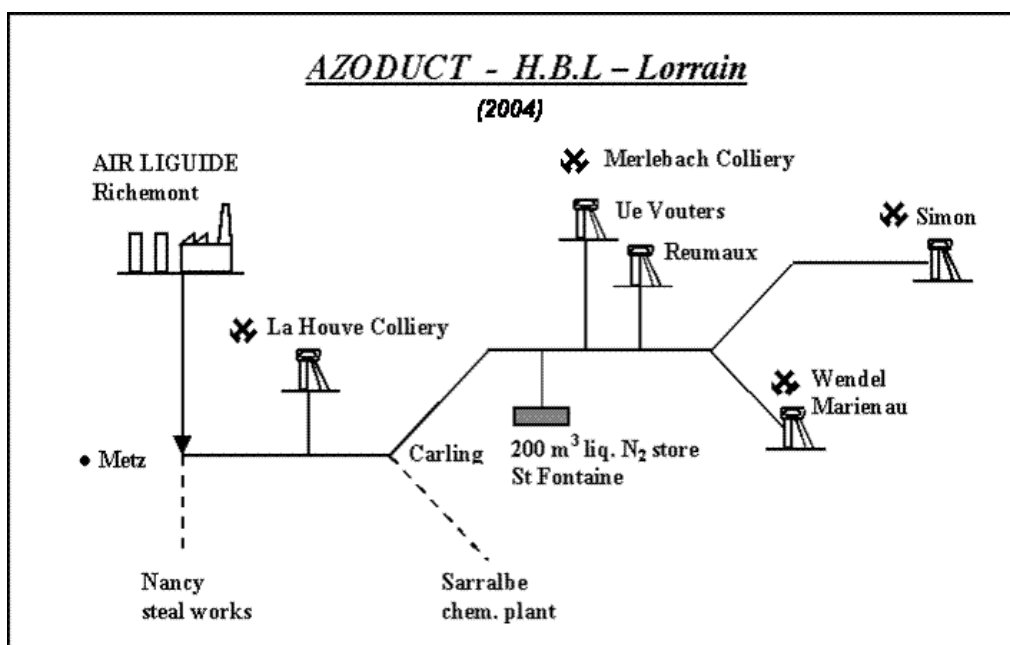
Za jako standardní zařízení na Ukrajině pro inertizaci v dolech je považována mobilní jednotka o výkonu $345 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ plynného dusíku. Toto zařízení obsahuje zásobník na 1440 kg kapalného dusíku a odpařovač AGU-2M. Dusíková membránová jednotka od firmy Messer byla použita na dole A. Zaszadzko v Doněcku v roce 2001. Jednotka byla zapůjčena z Polska i s obsluhou. Po výbuchu metanu dne 19. dubna 2001, se požár šířil v blízkosti stěnového porubu. O čtyři dny později byla zahájena inertizace oblasti s objemovým průtokem $480 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ plynného dusíku. Celková injektáž, která probíhala od 23. do 26. dubna 2001, činila 24000 m^3 plynného dusíku. Koncentrace metanu se za tu dobu snížila z 11,7 % na 5,8 %, (Adamus, 2001).

1.2.3 Německo

V dějinách Německa byla zaznamenána první významná inertizace v roce 1974 v prosinci na dole Osterfeld. Při uzavírání oblastí se samovznícením, byl použit plynný dusík o objemovém průtoku $60 \text{ m}^3\text{min}^{-1}$. Celková spotřeba po šesti dnech činila $154\,000 \text{ m}^3$. Kapalný dusík se odpařoval za pomoci parního stroje. Parní odpařovač byl vyroben a dodán firmou Messer-Griesheim. Toto zařízení vyžadovalo vnější zdroj páry. Tato firma posléze vyvinula propan – butanový odpařovač o výkonu $120 \text{ m}^3\text{min}^{-1}$ plynného dusíku. Vzduchové odpařovače, rovněž vyvinuty v této firmě, byly použity v roce 1978 na dole Konigsborn. V osmdesátých letech firma Bergbau-Forschung GmbH dodala na trh molekulová síta v systému PSA (Pressure Swing Adsorption). Tento systém se do dneška využívá na některých dolech i u nás (Adamus, 2001).

1.2.4 Francie

Ve francouzských dolech byl dusík používán poprvé pro prevenci endogenních požárů. Objemový průtok zhruba činil $2000 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ na jeden porub v případech výskytu $30 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1} \text{ CO}$. V roce 1976 došlo k takové první významné inertizaci dusíkem v porubu S 5 na dole Rozelay v severní sloji. Porub byl dobýván z pole o celkové délce porubní fronty devadesáti pěti metrů s denním postupem jednoho metru. Po výskytu CO, zhruba po odrubání čtyři sta osmdesáti metru, byla zahájena inertizace, s objemovým průtokem $40 - 150 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$. Porub byl uzavřen v květnu 1976 a díky inertizaci bylo možno tento porub vyklidit. Další případ inertizace na témže dole byl uskutečněn ve stejném roce. Porub S 61 byl již preventivně inertován po odrubání dvaceti pěti metrů. Objemový průtok činil $100 - 500 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ v závislosti na výskytu CO. Dusík byl do dolu dopravován ze stabilní odpařovací povrchové stanice, dodanou firmou Societe Union-Carbide. V osmdesátých letech dochází k výraznému rozvoji inertizace, kdy byl v roce 1983 zprovozněn speciální dusíkovod nazvaný Azoduct obr. č. 3 v uhelném revíru Lorrain. Tento dusíkovod byl napojen z chemického závodu Air Liquide a dolem La Houve, Vouter, Reumax a Simon. Dusíkovod dodával dolům plynný dusík o čistotě 99.8 % s objemovým průtokem do $10\,000 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ (Adamus, 2001).



Obrázek č. 3: Dusíkovod Azoduct (Adamus, 2001).

1.2.5 Polsko

V sedmdesátých letech v Polsku v Hlavním výzkumném uhelném ústavu Katowice, byl prováděn výzkum s rozprašováním kapalného dusíku, pro hašení důlního požářiště. V roce 1976 v Hornoslezské pánvi na polských dolech, byla odzkoušena tato technologie rozprašování. Na dole Ziemowit dne 4. prosince, po uzavření záparu ve sloji číslo 215, za hrází provedena tlaková injekce kapalného dusíku o objemu 8100 litrů. Po této dávce nastalo úplné vymizení CO. Ve stejném roce, ale na jiném polském dole Zabrze, došlo ve dvou důlních jamách k záparu. Po uzavření oblastí hrázemi, za kterými byly nainstalovány rozprašovací trysky, bylo aplikováno 70000 litru kapalného dusíku. Během osmi dnů, byl požár uhašen. Ze zjištěných zkušeností používání rozprašováním kapalného dusíku pod tlakem, vzniklo hasicí zařízení typu AGU (Adamus, 2001).

1.2.6 Bulharsko

V Bulharsku se první začátky inertizace datují okolo roku 1981 – 82, po složité situaci se vznikem samovznícení a následného důlního požáru na dole Babino v hnědouhelném revíru Bobov Dol. Na tento podnět bylo zřízeno dusíkové hospodářství na bázi kryogenní výroby dusíku. Tato jednotka začala dodávat dusík v roce 1986. Výrobní kryogenní jednotky byly dodány z Ruska. Tři typu AK – 1.5 a jedna typ AŽKžKAAZ. Takto získaný kapalný dusík je uskladněn v osmi stacionárních zásobnících o velikosti čtyřicet devět tun v jednom zásobníku a patnáct kusů o kapacitě dvacet tun na zásobník. Přeměnou kapalného dusíku vzduchovými odpařovači, kterých je patnáct, je odpařováno 2500 m³ h⁻¹ plynného dusíku. Pro prevenci je využíván obvykle objemový průtok 2000 - 3000 m³ h⁻¹ a na likvidaci důlních požárů je k dispozici 580000 m³ plynného dusíku (Adamus, 2001).

1.2.7 Austrálie

V osmdesátých letech byl dusík v Austrálii používán hlavně při likvidaci důlních požárů na dolech Liddell, Ulan a Munmorah v oblasti Hunter Vally v Novém Jižním Velsu. Ve státě Queensland dne 16. července roku 1986, došlo k mimořádné události na hlubinné části dolu Moura č. 4 zapříčiněné explozí metanu a uhelného prachu. Po výbuchu se rozšířil požár do této oblasti a započaly záchranné práce. Pro inertizaci

byla použita dusíková jednotka Mineschield z Nového Jižního Velsu. Tato jednotka se skládala z čtyřiceti tunového hlavního zásobníku s odpařovači. Destrukce vrtu neumožnila použít přímou injektáž. V pondělí 21. července došlo k výraznému zlepšení a podařilo se do dolu dostat pět tun kapalného dusíku za hodinu. Tento objemový průtok byl navýšen na čtrnáct tun za hodinu. Avšak dosud neuzavřené požářiště vyžadovalo, pro dosažení dvanácti procent obsahu kyslíku, osmnácti tun kapalného dusíku za hodinu objemového průtoku. Tuto hodnotu nebylo možno dodržet, proto bylo přistoupeno v této oblasti k zatopení stařin a uzavření dostupných děl. Inertizace probíhala přerušovaně, až do 28. července 1986 v rozsahu dvou až deseti tun kapalného dusíku za hodinu. Úspěšnost inertizace spočívala v udržení obsahu kyslíku v této oblasti mimo výbuchový trojúhelník (Adamus, 2001).

1.3 Historický přehled podle časové osy

Historický přehled použití dusíku v dolech, podle časové osy, více informací lze nalézt na webové stránce www.vsb.cz/nitrogen, (Adamus, 2001).

- 1949 Česká republika Důl Doubrava
- 1953 Velká Británie Důl Roslin
- 1965 Slovensko Důl Cigel
- 1968 Rusko Důl č. 29, těžební organizace Vorkutaugol
- 1974 Německo Důl Osterfeld
- 1976 Francie Důl Rozelay
- 1976 Polsko Důl Ziemowit
- 1979 Rumunsko černouhelný revír Petrošani
- 1983 Čína Tianfu Coal Administration
- 1984 Kanada Důl č. 26, Glace Bay, Nové Skotsko
- 1984 Bulharsko Důl Babino, 1984, Michailov
- 1985 Indie Důl Lodna
- 1986 Austrálie Důl Moura 4

2. ANALÝZA VYBRANÝCH PŘÍPADŮ INERTIZACE NA DOLE DARKOV, OKD A.S.

V této části diplomové práce budou analyzovány případy použití dusíku na Důlním závodě 1 lokalita Darkov. Tyto analýzy mají velké opodstatnění, jelikož při dobývání, nelze vyloučit procházení tektonických poruch a erozivních výmolů, při nichž dochází k spuštění uhlí do závalového prostoru. Toto je jedna z častých příčin vzniku endogenního požáru a následné závažné události.

2.1 Použití dusíku v dobývaném porubu číslo 40604

Tento porub č. 40604, viz. příloha číslo 1 mapa příslušné oblasti, se nacházel v severozápadní části dobývacího prostoru ve 40. sloji 6. kře karvinského souvrství. Kra je situována do příkopové propadliny mezi tři protiklonné tektonické poruchy nazvané Dora, Gabriela a Sušskostonavská. Jedná se o takzvanou Severní kupu. Přímo obfáraný blok porubu byl ohraničen na severu poruchou Dora, západní část poruchou Gabriela a Pasecká. Jižně Sušskostonavským poruchovým pásmem a porubem číslo 40601. Z východní strany byla vyražena základní třída číslo 40662. Mocnost sloje dosahovala hodnot 6,4 m s průměrnou plánovanou dobývanou mocností sloje 4,6 m. Přímé nadloží tvořil černošedý prachovec a hlavně hrubozrnný pískovec. Přímé podloží bylo z černošedého prachovce.

Porub byl zapojen diagonálně ve větrní oblasti výdušné jámy Mír 4 a zařazen do samostatného větrného oddělení 40. sloje 6. kry s depresním spádem SVO $\Delta p = 186$ Pa. Větry byly vedeny z úrovně desátého patra od vtažné jámy Darkov 1 přes porub číslo 40604 a následně vedeny dovrchně na úroveň devátého patra do výdušné jámy Mír 4. Porub byl větrán průchodním větrním proudem o kapacitě $648 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ a minimální stanovený objemový průtok větrů pro dobývání porubu je $647,4 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$. Oblast v době dobývání byla strojně chlazena.

Vybavování porubu bylo zahájeno ve druhé dekádě, pátého měsíce roku 2012 a zahájení v první dekádě sedmého měsíce v témže roce. Porub byl dobýván úpadně s generálním úklonem pět až dvanáct stupňů směrným stěnováním na řízený zával z pole.

Délka porubní fronty byla 94,5 m až 96,5 m a směrná činila 200 m. Porub byl vybaven 64 kusy mechanizované výztuže typu Meos 22/46 a kombajnem KGE 750 F.

Pro dobývání bylo stanoveno $M = 39$ a oxyreaktivita uhelné sloje byla určena ve druhé kategorii – reaktivní uhlí. V době příprav, vybavování a dobývání porubu, nedošlo k výraznému navýšení koncentrace CO nad úroveň 10 ppm (Kubalík, 2012).

2.1.1 Havarijní stav v porubu číslo 40604

Havarijní stav byl vyhlášen dne 13. 9. 2012 v 11:20 hodin a ukončen 17. 9. 2012 v 14:45 hodin. Ke škodám na zařízení nedošlo, ale porub musel být výbuchuvzdorně uzavřen i s vybavením. V porubu se nacházelo 64 kusů mechanizované výztuže Meos 22/46, dobývací kombajn KGE 750 F, stěnový dopravník PF – 4/932, sběrný dopravník THD 700, pásová konstrukce TP 1000 a spotřební materiál k znovupoužití. Příčinou vzniku mimořádné události bylo pravděpodobně procházení tektonických poruch a erozivních výmolů, kde docházelo k místnímu spouštění uhelné vrstvy do závalu viz. příloha č. 2 mapa ponechané uhlí v závalu. Pomalým postupem dobývání a ponechávání uhlí v závalu, mělo za následek vznik endogenního požáru a zvýšení obsahu CO ve výdušných větrech. Byla prováděna intenzivní inertizace závalových prostor porubu z ponechaného ztraceného potrubí z úvodní třídy od staničení 130 m o objemovém průtoku $1300 \text{ m}^3 \text{ hod}^{-1}$ dusíkem. Další napouštěním do porubu bylo z výdušné chodby o objemovém průtoku $1000 \text{ m}^3 \text{ hod}^{-1}$. Celkový objemový průtok činil $2300 \text{ m}^3 \text{ hod}^{-1}$. Byla realizována stavba izopěnových větrných přepážek na úvodní a výdušné chodbě a i přes úpadní dobývání, bylo možné závalový prostor zaplavit popílkovou směsí z výdušné chodby. Po uhašení endogenního požáru pomoci prostorového uzavření hrázemi a inertizací dusíkem, bylo požářiště zpřístupněno dne 30. 9. 2012 a dokončeno dobývání na plánovanou stopčáru. Při dobývání byla nadále prováděna inertizace závalových prostor a těsnění závalu izopěnovými větrnými přepážkami na úvodní i výdušné třídě za postupujícím porubem. Po ukončení dobývání byla všechna technologie zařízení z porubu vyklížena a zlikvidovaný porub byl uzavřen hrázemi.

Náklady spojené s likvidací mimořádné události včetně, havarijní připravenosti porubu:

- mzdové (směny záchranářů)	1265000,- Kč
- materiálové	430000,- Kč
- dusík	380000,- Kč
- celkem	2075000,- Kč (Kubalík, 2012).

2.2 Použití dusíku v dobývaném porubu číslo 340206

Porub číslo 340206, viz. příloha číslo 3 mapa oblasti, byl situován v západní části dobývacího prostoru Karviná Doly 2, ve 40. sloji 2 kře. Tato sloj náleží stratigraficky k sedlovým slojím. Porub byl ohraničen ze severu již vydobytými poruby číslo 340204, 340400 a východně nepojmenovanou tektonickou poruchou. Z jihu vydobytými poruby čísel 340203, 340213, 340502 a 340503 a na západě tektonickou poruchou zvanou Gabriela. Mocnost sloje dosahovala hodnot 4,5 m až 7,94 m s průměrnou vydobytou mocností 5,3 m. Přímé nadloží tvořil střídavě hrubozrný pískovec, prachovec a slepenec. U přímého podloží se střídavě vyskytovaly vrstvy prachovců a jílovců.

Porub byl zapojen diagonálně ve větrní oblasti výdušné jámy Mír 4 a zařazen do SVO 40. sloje 2. kry a depresním spádem SVO $\Delta p = 930$ Pa. Větry byly vedeny z úrovně desátého patra od vtažné jámy Darkov 1 k porubu číslo 340206 a dále dovrchně nad úroveň devátého patra do výdušné jámy Mír 4. Objemový průtok větrů a tedy i depresní namáhání stařin porubu číslo 340206, byly po dobu likvidace minimalizovány na objemový průtok větrů $604 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$, pro odvětrání vlastního porubu a ražeb v předpolí pro připravující se porub číslo 340402.

Dobývání porubu číslo 340206 proběhlo úpadně s generálním úklonem tři až pět stupňů směrným stěnováním na řízený zával z pole. Byla nasazena mechanizovaná výztuž typu DBT 2600/5500 v 114 kusech a dobývací kombajn SL 500. Výchozí délka byla 197 m. Po zkrácení porubu, které proběhlo směrem od výdušné třídy cca 75 m před definitivní stopčarou v srpnu 2012, byla konečná délka porubu 170 m o 97 kusů sekcí. Porub byl veden převážně pod stropem sloje a místně docházelo ke spouštění uhlí do závalového prostoru v místech tektonických poruch, erozivních výmolů a při přecházení starých důlních děl viz. mapová příloha č. 4. Dobývání porubu bylo ukončeno v září 2012.

Do závalových prostor porubu, bylo v průběhu dobývání a likvidace prováděno nepřetržité napouštění plynného dusíku o objemovém průtoku $1200 \text{ m}^3 \text{ hod}^{-1}$. Po ukončení dobývání, byly závalové prostory porubu v celé své délce utěsněny izopěnovou přepážkou taženou po stojkách sekcí. Na úvodní i výdušné třídě byly zřízeny náběhové izopěnové větrní přepážky. Dále bylo prováděno napouštění dusíkové pěny do závalových prostor porubu pomocí speciálního hasicího zařízení pro výrobu pěny One Seven v části od dělicí třídy číslo 2090.3 po úvodní třídu číslo 340226. Tato pěna byla vháněna do ztraceného potrubí, ponechávaném v závalovém prostoru na výdušné třídě číslo 340246.3, který vyústoval do místa zkracování porubu a to 75 m před stopčarou. Pro samotnou likvidaci porubu, bylo nutno razícím kombajnem vyrazit manipulační prostor. Přes spodní úvrať porubu byl v době ražení oblamu provozován překlenovací foukací lutnový tah. Po vyražení oblamu byl porub číslo 340206 preventivně výbuchuvzdorně uzavřen, což umožnilo dokončit přípravu porubu číslo 340402, do kterého bylo překlizeno technologické zařízení z porubu číslo 304206. Tato uzavírka porubu byla provedena výbuchuvzdornými hrázi H1 na třídě číslo 340226, H2 na třídě číslo 2090.3 a H3 na třídě číslo 340246.3. Pro následné dotěsnění porubu byly před H1, H2 a H3 zhotoveny přeplavy, které byly doplaveny popílkovou směsí. Rovněž byly zaplaveny popílkovou směsí třídy čísel 340440 a 340522.1.

Hornická činnost v oblasti pokračovala ražením nové přístupové chodby číslo 340226.5, kvůli odvětrání porubu a následného výklizu sekcí. Tato chodba umožňovala přímý překliz technologie z porubu číslo 340206 bez demontáže mechanizované výztuže do připravovaného porubu číslo 340402 a rozdělení výklizu sekcí z porubu číslo 340206 na níže popsané etapy. Probití chodby číslo 340226.5 do porubu bylo realizováno v režimu PNZ. Před samotným probitím byla zahájena inertizace závalových prostor porubu napouštěním plynného dusíku o objemovém průtoku $1500 \text{ m}^3 \text{ hod}^{-1}$. I přes provedení veškerého preventivního opatření, došlo po probití třídy číslo 340226.5 a následného odvětrání prostoru porubu k náhlému nárůstu koncentrace CO ze závalových prostor, až na hodnotu převyšující 130 ppm (Suchánek, 18. 04. 2013).

2.2.1 Havarijní stav v porubu číslo 340206

Toto navýšení CO mělo za následek vyhlášení havarijního stavu a probíhající práce na likvidaci porubu, pokračovaly v havarijním režimu dle příkazu VLH. Havarijní stav

byl vyhlášen 01. 03. 2013 v 11:30 hod. a ukončen 11. 04 2013 v 13:00 hod. Po probití chodby číslo 340226.5 do porubu číslo 340206 byla postavena izolační přepážka do pravé severní části porubu směrem k hrázi H1. Tento izolovaný prostor byl inertizován plynným dusíkem o objemovém průtoku $400 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$. Levá jižní část porubu směrem k hrázi H3, byla větrána dvěma tahy foukacího separátního větrání s ventilátory v průchodním větrním proudu na třídě číslo 340422. Větrání zajišťoval ventilátor WLE 1005B s možností provozu na jeden nebo dva motory a s lutnou o průměru 800 mm umístěnou na výfuku z ventilátoru opatřenou klapou pro možnost regulace větrání. Současně byl natažen odsávací lutnový tah pro případné odsávání zplodin z pracovního prostoru porubu, ventilátorem VPAK 630 na třídě číslo 340442.5. V porubu proběhla přibírka počvy razícím kombajnem AM – 50 pro potřebnou dopravní výšku na výkliz sekcí.

Současně s pleněním sekcí probíhala inertizace závalových prostor plynným dusíkem o celkovém objemovém průtoku cca $3300 \text{ m}^3/\text{hod}$ a do ztracených potrubí na třídě číslo 340226 přes hráz H1 do staničení 840 m a 920 m v celkovém množství $1500 \text{ m}^3/\text{hod}$. Na třídě číslo 2090.3 přes hráz H2 do prostoru uzavřeného izopěnovou hrázkou a do navrtaných vrtů v nadloží porubu ze třídy číslo 340422.5 bylo plněno plynným dusíkem $900 \text{ m}^3/\text{hod}$. Taktéž i na výdušné třídě číslo 340246.3 probíhala inertizace ztraceným potrubím, až do staničení 965 m stejným množstvím plynného dusíku tedy $900 \text{ m}^3/\text{hod}$.

Po vyplenění a výklizu 50 sekcí z jižní části likvidovaného porubu číslo 340206, byla tato část porubu výbuchuvzdorně uzavřena hrází H2' na třídě číslo 340226.5. V té stejné době byla zahájena práce na zpřístupnění severní části porubu číslo 340206. Vstup byl přes prokopenou hráz H1 na třídě číslo 340226 a odvětrání severní části porubu číslo 340206, až po 45 sekcí, kde se nacházela izopěnová hrázka oddělující severní a jižní část. Severní část byla větrána dvěma tahy foukacího separátního větrání s ventilátory v průchodním větrním proudu. I zde byl použit, jak v jižní části porubu ventilátor WLE 1005B s možností provozu na jeden nebo dva motory s lutnou o průměru 800 mm umístěnou na výfuku ventilátoru, opatřenou klapou pro možnost regulace větrání, umístěný na třídě číslo 340442.41. Ventilátor VPAK 630 umístěný na třídě číslo 340226, sloužil pro případné odsávání zplodin z pracovního prostoru porubu. Na třídě číslo 340442 proběhla přibírka počvy razícím kombajnem AM – 50 pro potřebnou dopravní výšku pro výkliz sekcí.

Při plenění sekcí probíhala inertizace závalových prostor plynným dusíkem o celkové výši cca 3800 m³/hod. Do ztracených potrubí na třídě číslo 340226 do staničení 840 m a 920 m v celkovém množství 2000 m³/hod. Dále na třídě číslo 340226.5 přes hráz H2' do prostoru uzavřeného izopěnovou hrázkou a do navrtaných vrtů do nadloží porubu ze třídy číslo 340422.5 bylo plněno 900 m³/hod, taktéž i na výdušné třídě číslo 340246.3 do ztraceného potrubí do staničení 965 m o stejném množství plynného dusíku tedy 900 m³/hod. Po výše uvedených opatření byl porub číslo 340206 v havarijním režimu zlikvidován a uzavřen postavením těsných výbuchuvzdorných hrází a předplavením popílkovou směsí.

Náklady spojené s likvidací mimořádné události včetně havarijní připravenosti porubu:

- mzdové (směny záchranářů)	4830000,- Kč
- materiálové	1904000,- Kč
- dusík	640000,- Kč
- celkem	7384000,- Kč

(Suchánek, 18. 04. 2013).

2.3 Použití dusíku v dobývaném porubu číslo 340402

Porub číslo 340402, viz. příloha číslo 3 mapa příslušné oblasti, byl situován v západní části dobývacího prostoru Karviná Doly 2, ve 40. sloji 4 kře. Tato sloj náleží stratigraficky k sedlovým slojím. Porub byl ohraničen na severu tektonickou poruchou nazvanou Ležatá a z jihu vydobytými poruby čísel 340502 a 340503. Východně byl eliminován tektonickou poruchou zvanou Eliška a ze západu vymezen vydobytým blokem porubu číslo 340206. Průměrná mocnost sloje dosahovala 4,3 m. V přímém nadloží sloje číslo 40 se vyskytují střídající se vrstvy pískovců, slepenců a prachovců o celkové mocnosti 3,62 m, až po bilanční sloj číslo 39. V bezprostředním podloží sloje číslo 40 se vyskytují střídající vrstvy pískovců, prachovců a jílovců o celkové mocnosti 4,5 m.

Porub byl zapojen diagonálně ve větrní oblasti výdušné jámy Mír 4 a zařazen do SVO 40. sloje 2 kry s depresním spádem SVO $\Delta p = 1082$ Pa. Větry byly vedeny

z úrovně desátého patra od vtažné jámy Darkov 1 přes porub číslo 340402 a následně dovrchně na úroveň devátého patra do výdušné jámy Mír 4. Porub byl větrán průchodním větrným proudem o kapacitě $850 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$, kde byl stanoven minimální objemový průtok větrů pro dobývání porubu $847 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$. U tohoto porubu nebyla prováděna degazace.

Dobývání porubu číslo 340402 bylo zahájeno ve čtvrtém měsíci v roce 2013. Porub byl dobýván dovrchně s generálním úklonem tří až pět stupňů směrným stěnováním na řízený zával z pole do pole. Porub byl vybaven 94 kusy sekcí mechanizované výztuže typu DBT 2600 – 5500 a dobývacím kombajnem SL 500. Výchozí délka porubní fronty činila 165 m a směrná délka porubu byla 285 m. Při dobývání porubu docházelo k lokálnímu spouštění uhlí do závalu v místech tektonických poruch, erozivních výmolů a při přecházení starých důlních děl viz. mapová příloha číslo 5.

Z důvodu zvýšení koncentrace CO ve výdušných větrech v průběhu dobývání porubu, byla v rámci havarijní připravenosti postavena hráz H2 na výdušné třídě číslo 340660.2. Závalové prostory porubu číslo 340402, byly napouštěny vodou z proplachu při plavení popílkové směsi do dolu. Přes ztracené potrubí ponechané v závalu ve staničení 110 m na výdušné třídě, byla prováděna inertizace závalových prostor porubu číslo 340402 plynným dusíkem z CDH o objemovém průtoku $1100 \text{ m}^3 \text{ hod}^{-1}$. Dusík byl vpravován přes ztracená potrubí z úvodní třídy čísla 340422 a na výdušné třídě číslo 340442.5, taktéž přes ztracená potrubí založené do výchozí prorážky kde objemový průtok činil $1100 \text{ m}^3 \text{ hod}^{-1}$. Na úvodní třídě číslo 340422 byla do ztraceného potrubí a za izohrázku střídavě aplikovaná dusíková pěna ze speciálního přístroje na výrobu pěny One Seven. Nadále byla provedena optimalizace a regulace objemového průtoku důlních větrů přes porub číslo 340402, otevřením regulačních oken větrních dveří na třídě číslo 340660.2. Na výdušné straně byl nainstalován foukací lutnový tah s vyústěním do prostoru horní úvratě porubu. Denně byly stavěny izopěnové hrázky za spodní i vrchní úvratí porubu. Tyto hrázky se nelikvidovaly, ale ponechávaly se v závalovém prostoru. Pro snížení depresivního namáhání v porubu číslo 340402, byl nainstalován mezi spodní úvratí a desátou sekcí překlenovací lutnový tah o průměru 630 mm. Ventilátor VPAK 630 pro tento lutnový tah, byl umístěn 12 m od spodní úvratí. Po ukončení dobývání porubu a při přípravě porubu k likvidaci došlo ke snížení CO ve výdušných větrech za porubem a koncentrace CO ve výdušných větrech klesla pod 10 ppm.

Plnění sekcí v porubu bylo zahájeno dne 02. 10. 2013, kdy došlo k opětovnému nárůstu koncentrací CO ve výdušných větrech za porubem. Za tímto účelem bylo na výdušné třídě číslo 340660.2 postaveno peření, kvůli dotěsnění hráze H2 zaplavením popílkovou směsí. Závalové prostory porubu číslo 340402 byly napuštěny vodou z proplachu, přes ztracené potrubí na výdušné třídě porubu. U tohoto porubu byla prováděná inertizace závalových prostor plynným dusíkem o objemovém průtoku $1300 \text{ m}^3\text{hod}^{-1}$ z CDH, přes ztracená potrubí z úvodní třídy ve staničení 110 a 130 m číslo 340422 a za hráz třídy číslo 2090. Na úvodní třídě číslo 340422 byla do ztraceného potrubí a za izohrázku, střídavě aplikovaná dusíková pěna ze speciálního přístroje na výrobu pěny One Seven. Byla provedena optimalizace a regulace objemového průtoku důlních větrů, přes porub číslo 340402 otevřením regulačních oken větrních dveří na třídě číslo 340660.2 na hodnotu objemového množství větru porubem $450 \text{ m}^3\text{min}^{-1}$. Na výdušné třídě zůstal stávající foukací lutnový tah s vyústěním do prostoru horní úvratě porubu. Všechny sekce mechanizované výztuže, byly po ukončení dobývání, utěsněny nástřikem izopěny. Závalové prostory po vypleněných sekcí, byly okamžitě utěšňovány stavbou větrní přepážky z větrního plátna a dotěsněny izopěnou. Pro možnost změny systému větrání v likvidovaném porubu z větrání průchodním větrním proudem, na separátní větrání, byl z úvodní chodby číslo 340660.1 nainstalován foukací lutnový tah s ventilátorem WLE 1005B a regulační lutnou (Suchánek, 06. 12. 2013).

2.3.1 Havarijní stav v porubu číslo 340402

Po nárůstu koncentrací CO ve výdušných větrech za porubem a následném vyhlášení havarijního stavu, byly v likvidovaném porubu číslo 340402 postaveny tři izohrázky za hráňovými sekcemi a zprovozněno foukací separátní větrání s vyústěním luten u sekce číslo 20. Zároveň byla uzavřena hráz H2 na třídě číslo 340660.2 a proveden dusíkový šok napuštěním maximálního množství plynného dusíku, až na hodnotu $4700 \text{ m}^3\text{hod}^{-1}$. Napuštění plynného dusíku, bylo dále aplikováno za hráz na třídě číslo 2090.5 ve spodní úvratí porubu a za izohrázku za hráňovými sekcemi v množství $2500 \text{ m}^3\text{hod}^{-1}$. Ve stejném čase, byla za izohrázku napouštěna dusíková pěna ze speciálního přístroje na výrobu pěny One Seven. Depresní namáhání závalových prostor bylo sníženo otevřením větrních izolačních dveří na třídě číslo 340660.2. Závalové prostory porubu byly utěsněny v celé jeho délce izopěnovou přepážkou a na úvodní třídě

byla zřízena náběhová izopěnová větrná přepážka. Současně byl natažen odsávací lutnový tah, pro případné odsávání zplodin z pracovního prostoru ventilátorem VPAK 630 na třídě číslo 340660. Při dodržení výše uvedených opatření, byl porub číslo 340402 v havarijním režimu úspěšně zlikvidován a uzavřen postavením těsných výbuchuvzdorných hrází.

Náklady spojené s likvidací mimořádné události včetně havarijní připravenosti porubu:

- mzdové (směny záchranářů)	3006000,- Kč
- materiálové	1360000,- Kč
- dusík	702000,- Kč
- celkem	5068000,- Kč

(Suchánek, 06. 12. 2013).

2.4 Účinnost inertizace v porubech číslo 40604, 340206, 340402

Z uvedených hodnot a předešlých výsledků ve vybraných porubech, shrnutých do tabulky č. 1, můžeme inertizaci u těchto třech porubů zhodnotit jako velmi úspěšnou. U dobývání sedlových slojí, jako je čtyřicátá sloj na Důlním závodě 1 lokalita Darkov, je předpoklad samovznícení enormní a to z důvodu velkých mocností sloje o průměru 4,5 m a více a procházení tektonických poruch, erozivních výmolů a procházení starých důlních děl s následným ponecháváním uhlí v závalu. Při dobývání u těchto porubů, se osvědčilo po ujetí 70 až 100 m, v případě ponechávání uhlí v závalovém prostoru, napuštění dusíku o objemovém množství $1000 - 1500 \text{ m}^3 \text{ hod}^{-1}$ z důvodu vytěsnění kyslíku v závalu. Tímto množstvím dusíku dosáhneme 3 – 4% kyslíku v závalu. Inertizací a utěsněním závalu úspěšně utlumujeme zápar, pro bezproblémové dobývání a následnou přípravu pro likvidaci porubu.

U přípravy porubu k likvidaci a nebo u samotné likvidace, se hodnota množství dusíku pomalu navyšuje, v závislosti na výsledném rozboru důlního ovzduší odebraném ve vzorcích na výduchu. Hodnota objemového průtoku cca $2500 \text{ m}^3 \text{ hod}^{-1}$ bývá postačující k tomu, aby se dal porub úspěšně vyklidit a uzavřít. Při likvidaci porubu také záleží na směru vedení porubní fronty, což má také vliv na inertizaci. Je-li veden porub dovrchně víme, že ponechané ztracené potrubí, se nám může zaplavovat vodou a tím se nám nemusí dostávat dusík dále do závalu. Má to ale i kladné stránky, že se nám případně ložisko

Preventivní inertizace je prováděna bez příznaků samovznícení po vydobytí zhruba 70 metrů od úvodní prorážky. Prevence spočívá v dosažení bezpečné koncentrace O_2 pod hodnotu 10 % v důlní atmosféře závalu. Bylo laboratorně prokázáno, že hodnota kyslíku pod 10 %, prodlužuje inkubační dobu samovznícení, až k nekonečnu a to pro uhlí v tomto regionu (mimo uhlí z blízkosti pestrých vrstev). Podle možnosti příslušného důlního závodu se pro preventivní inertizaci napouští do závalu 800 - 1300 $m^3 \text{hod}^{-1}$ plynného dusíku, vyšší objemové průtoky jsou vyžadány rizikovými podmínkami samovznícení v daných porubech, (Adamus, 1994).

Pro potlačení již vznikajícího ložiska samovznícení, předchází preventivní inertizace na inertizaci k potlačení samovznícení. Ze zkušeností z předešlých případů, které se staly v OKD, je zapotřebí pro likvidaci ložiska samovznícení dosáhnout 3 – 5 % obsahu kyslíku v důlní atmosféře závalu. Této koncentrace dosáhneme při napuštění cca 1500 - 2500 $m^3 \text{hod}^{-1}$ plynného dusíku, (Adamus, 2001).

Represivní inertizace je používána pro zdolání důlního požáru. To docílíme pouze tím, že obsah kyslíku v důlní atmosféře bude přibližovat 0 %. Pro represivní inertizaci je doporučeno přeplnit plynným dusíkem více než 1,2 x objem uzavíraného požářiště. V dnešní době je možno z CDH pro represivní inertizaci dodat, až 18000 $m^3 \text{hod}^{-1}$ plynného dusíku, (Adamus, 2001).

Ponechané uhlí v závalu je zobrazeno v přílohách číslo 2, 4 a 5, vždy pro příslušné poruby uvedené v této diplomové práci. U porubu číslo 40604 bylo spouštěné uhlí v závalu, jen na samotném počátku dobývání porubu a to od staničení 0 do 120 m. Toto ponechané množství uhlí v závalu činilo cca 930 m^3 , což nebylo mnoho, oproti dalšímu zmíněnému porubu. U porubu číslo 340206 bylo ponechané celkové množství uhlí v závalu cca 89200 m^3 od 0 do 700 m staničení. V porubu číslo 340402 byla ponechána uhelná hmota v závalu o kapacitě 19220 m^3 a taktéž počátek spouštěného uhlí, byl od staničení 0 do 200 m. Je-li ponechávané uhlí v závalu ze stropu důlního díla, má to pro průběh dobývání velmi nepříznivý stav, z důvodu nakypření ponechané uhelné hmoty. Proto bylo u všech zmíněných porubů, už od počátku dobývání zakládáno ztracené potrubí v závalu pro inertizaci dusíkem. Příčinou ponechávaného uhlí v závalu, bylo procházení tektonických poruch, erozivních výmolů a procházení starých důlních děl a to ve všech uvedených porubech.

3. TECHNICKÉ PROSTŘEDKY INERTIZACE

Do technických prostředků inertizace můžeme zařadit jak samotnou výrobu dusíku, prostředky pro transport, tak i techniku pro regulaci a měření.

3.1 Výroba dusíku

V největší míře výroby dusíku pro OKD je společnost MG Odra Gas s r.o, která získává dusík pomocí kryogenní technologie, jako odpadní zdroj při výrobě kyslíku v kyslíkárně v huti Acerol Mittal Ostrava Vratimov obr. č. 4. Touto technologií získáváme až 11300 m³hod⁻¹ objemu o tlaku 0,4 - 0,5 MPa. Použitím kryogenní technologie dosahujeme relativně vysoké čistoty dusíku 99,9 % (zbytkový kyslík do cca 2 % je způsoben připojenými jednotkami membránových molekulových filtrů na vstupu CDH). Dalším zdrojem pro výrobu dusíku, jsou uhlíková molekulová síta provozovaná na Důlním závodě 2 a Důlním závodě 1 lokalita Darkov na obr. č.5. Polymerové membránové jednotky na výrobu dusíků využívá pouze kyslíkárna MG Odra Gas s r.o. obr. č. 6 a firma Gascontrol s r.o. na Důlním závodě 2. Jako posledním a nejnáročnějším zdrojem pro výrobu plynného dusíku, jsou stacionární odpařovací stanice obr.č. 7.



Obrázek č. 4: MG Odra Gas, spol. s r.o. kyslíkárna (foto Zielinski).



Obrázek č. 5: *Jednotka uhlikových molekulových sít, PSA, CMS 600 (foto Adamus).*



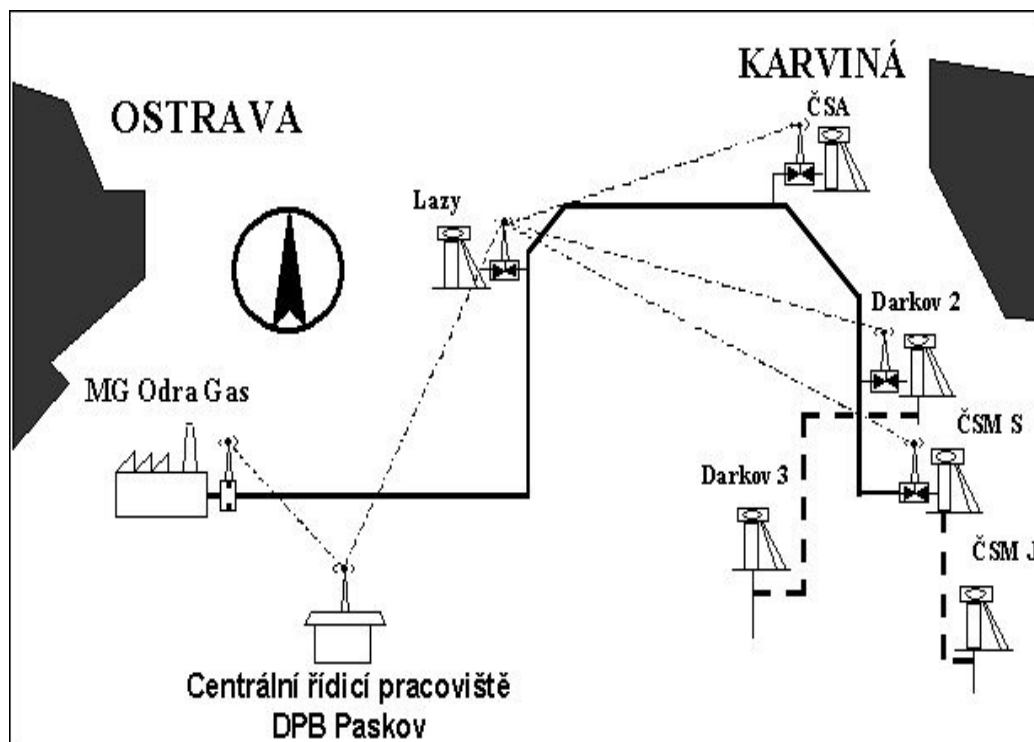
Obrázek č. 6: *Polymerová membránová jednotka typ Generon (foto Adamus).*



Obrázek č. 7: *Odpařovací stanice (foto Adamus).*

3.2 Prostředky pro transport dusíku

Pro doly v OKD je největším dodavatelem plynného dusíku výrobce MG Odra Gas s r.o., který k tomu využívá centrální rozvod obr. č. 8. Tento rozvod je veden od výrobce potrubím o průměru 300 mm v délce 13,5 km až k bývalému dolu Dukla v Havířově. Následné odbočky k daným dolům, jsou již vedeny potrubím o průměru 200 mm. Potrubní řád CDH má celkovou délku 31,5 km. Rozvody v dole jsou projektovány pro každý důl samostatně, dle jeho potřeb a požadavků. V případě havarijních stavů, mohou být použity nitrogenové hadice o průměru 150 mm a celkové délce 2000 m, které jsou uloženy na HBZS Ostrava Radvanice. Další z možností pro dopravu plynného dusíku byla v historii OKR přeprava v tlakových lahvích obr. č. 9 (Adamus, 2001).



Obrázek č. 8: Schéma Centrálního dusíkového hospodářství (Adamus, 2001).



Obrázek č. 9: Vlek s tlak. láhvemi o kapacitě 630 m³ (foto Zielinski).

Přeprava dusíku v kapalném skupenství je řešena pomocí mobilních cisteren obr. číslo 10, nebo kontajnerech pro operativní přepravu kapalného dusíku do dolu obr. číslo 11.



Obrázek č. 10: Cisterna pro přepravu kapalného dusíku (foto Tomala).



Obrázek č. 11: Kontejner pro operativní přepravu kapalného dusíku (foto Adamus).

3.3 Regulační a měřicí prostředky dusíku v dole

Optimalizace preventivní inertizace spočívá ve správné regulaci objemu a průtoku plynného dusíku v potrubním řádu. Tato technika nám napomáhá při řešení závažných situací, kdy je zapotřebí současně inertizovat v dole více porubů najednou (Adamus, 2001).

Měřicí technika objemového průtoku dusíku:

- centrické clony,
- rotametry,
- turbínové plynoměry,
- vírové průtokoměry.

3.3.1 Centrické clony

Samotný princip měření centrické clony spočívá, ve vyhodnocení tlakového rozdílu vytvořeného samotnou clonou při průtoku tekutiny. Centrické clony byly v rámci CDH použity na Důlním závodě 1 lokalita Darkov. Centrické clony 100/80 obr. č. 12 byly v důlním prostředí používány již v roce 1993 na dvou i třech větvích současně.

Tento typ centrických clon spolehlivě měřil při objemovém průtoku do $1500 \text{ m}^3 \text{ hod}^{-1} \text{ s}$ přesností do 10% stanovení hodnoty objemového průtoku (Adamus, 2001).



Obrázek č. 12: *Centrická clona 100/80* (foto Adamus).

3.3.2 Rotametry

Měření rotametrem spočívá v odečtení číselné hodnoty na stupnici rotametrické trubice, ke které dosahuje horní hrana dutého plováčku umístěného v trubici. Podle odečtené hodnoty dílku nalezneme příslušný průtok kalibračního plynu v grafu přiloženém k rotametru. Průtok kalibračního plynu přepočteme na průtok měřeného plynu podle rovnice uvedené v dokumentaci přístroje. Rotametry jsou používány jako součástí technologických celků, např. molekulových sít PSA (Adamus, 2001).

3.3.3 Turbínové plynoměry

Při spuštění centrálního rozvodu plynného dusíku v roce 1993, byla vybavena povrchová distribuční stanoviště turbínovými plynoměry typu TZ Rombach. Tyto turbínové plynoměry se však moc neosvědčily z důvodu zamrzání a častých mechanických poruch, zapříčiněnými nečistotami v potrubí. Jediný turbínový plynoměr typu TZ 80/G 250 Rombach byl ponechán na dusíkovém rozvodu v podzemí mezi dolem Darkov závod 2 a dolem Darkov závod 3. Nacházel se na severojižním překopu č. 903 na devátém patře dolu Darkov závod 3 obr. č. 13. Jeho účelem bylo měření preventivní inertizace na dole pro tento závod. V případě represivní inertizace, byl tento plynoměr

přemostěn pomocí překlenovacího potrubí. Na vstupu do plynoměru byl vsazen kuličkový bezpečnostní uzávěr proti nečistotám, který je používán v důlní degazaci (Adamus, 2001).



Obrázek č. 13: Turbínový průtokoměr TZ 80/250 Rombach (foto Adamus).

3.3.4 Vírové průtokoměry

Vírové průtokoměry typu Vortex od Japonské firmy Yokogawa, jsou použity na povrchových distribučních uzlech centrálního rozvodu CDH, namísto turbínových plynoměrů, které se neosvědčili. Vírové průtokoměry fungují na principu vyhodnocení četnosti turbulentních vírů, které střídavě vznikají na stranách předmětu ponořeného do proudící tekutiny. Tyto víry byly nazvány tzv. Karmanovy víry podle fyzika Karmana z Maďarska. Vygenerováním vibrací těchto turbulentních víru, následného převedení ultrazvukem nebo piezoelektrickým principem na elektrické veličiny (proud, frekvence, el. napětí) a následně přeformátovány na hodnotu průtokové rychlosti. Pro měření objemového průtoku tekutin, využíváme vírové průtokové snímače v kombinaci s měřením tlaku a teploty (Adamus, 2001).

Vírové průtokoměry pro použití v podzemí na měření objemového průtoku plynného dusíku, byly ověřeny vírové průtokoměry od firmy Trolex obr. č. 14. Tyto snímače pracují na bázi vzniklých vírů, které přecházejí do místa mezi ultrazvukový vysílač a přijímač. V tomto prostoru způsobí změnu frekvence ultrazvukového paprsku a následně vyhodnotí elektronickými obvody, které se změní na výstupní elektrický signál.

Tento signál lineárně odpovídá rychlosti proudění 0,5 až 30 m s⁻¹. Na displeji snímače lze zobrazit aktuální naměřenou hodnotu v námi zvolené jednotce i s dalšími parametry (Adamus, 2001).



Obrázek č. 14: Snímače rychlosti proudění a absolutního tlaku (foto Adamus).

3.4 Prostředky pro inertizaci při ražbách a dobývání

Při ražení a dobývání v oblastech, které jsou náchylné k samovznícení, musíme používat co jak nejvhodnější technologie pro ražení a dobývání důlních děl.

Při ražení dbáme hlavně na co jak nejpreciznější postup bez výlomů nad TH výztuží. Dojde li však k záparu z důvodu nedokonalého odvětrání a odvedení tepla z horniny, musíme zamezit přechodu ohniska do fáze otevřeného endogenního požáru. Pokud je ohnisko přístupné z chodby, zahájíme zchlazení, přímým zásahem, dotěsníme výlom a pomocí instalovaného potrubí vháníme dusík. Je li však ohnisko nepřístupné z ražené chodby, musíme zvolit vhodné dotěsnění manžetou nebo chodbovým tzv. „ochranným brudníkem“ (pojmenováno podle autora Ing. Brudníka). V poslední fázi pomocí vrtů vybudujeme inertizační potrubí pro napuštění plynného dusíku, dusíkové pěny nebo výplňové hmoty např. lehčené betonové směsi nebo popílkové směsi.

Při dobývání musíme hlavně dbát na protizáparovou prevenci. Tato prevence spočívá v kvalitním dotěsnění a napuštění plynného dusíku do závalu. Je li zjištěn zápar v závalovém prostoru, jako prvotní úkol je pomocí důkladné indikace zjistit ložisko.

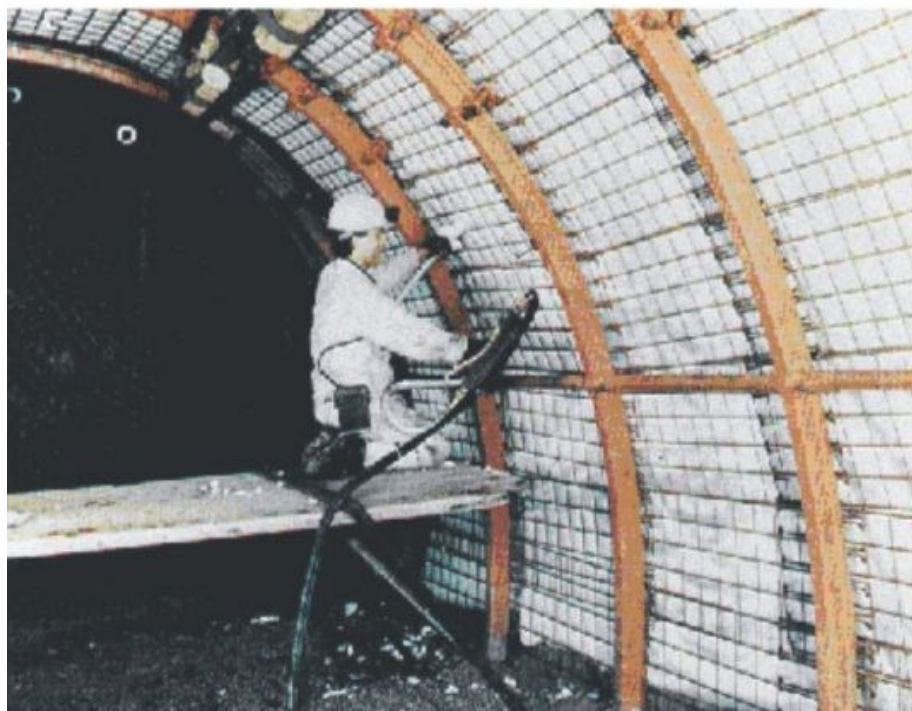
Dalším krokem je dotěsnění spodní a vrchní úvratě pomocí polypropylenových vaků a efektivně inertizovat. Z dobrých zkušeností se jako nejúčinnější používá inertizace plynným dusíkem pomocí ztraceného potrubí v závalovém prostoru z úvodní a výdušné třídy a použití generátoru dusíkové pěny One Seven® MINING 6000.

Pro inertizaci při ražbách a dobývání používáme tyto prostředky:

- pažící rohož s návlekm,
- vyplňovací směsi na chemické nebo cementové bázi,
- čerpadla pro močovino-formaldehydové pryskyřice,
- polypropylénové vyplňovací vaky,
- generátor dusíkové pěny One Seven® MINING 6000.

3.4.1 Pažící rohož s návlekm

V místech kde přecházíme přes tektonickou poruchu s možným předpokladem záparu, budujeme tzv. „ochranné brudníky“. Tyto se mohou budovat už i ve stávajících chodbách, které jsou ohroženy záparem. Pažící rohože s návlekm obr. č. 15, nán slouží jako náhrada za betonové pažnice, svařovanou tyčovinu a nebo tahokov. Volný prostor za pažící rohoží je vyplněn dvousložkovou pryskyřicí nebo inertním materiálem.



Obrázek č. 15: Pažící rohož s návlekm (foto Minova).

3.4.2 Vyplňovací směsi na chemické nebo cementové bázi

Tyto materiály na chemické nebo cementové bázi např. Krylamina, Porocem, Ekoflex a jiné nám zajišťují dokonalý kontakt výztuže s výlomem respektive s původní výztuží a také jsou využívány pro utěšňování závalů, izolací pilířů, omezování průtahů větrů a utěšňování zálomových hran stěnových porubů v průběhu výklizu. Výhodou těchto materiálů je mnohonásobné zvětšení svého objemu, což oceníme při dopravě a omezených pracovních prostorů, (Janiček, 2005).

3.4.3 Čerpadla pro močovino-formaldehydové pryskyřice

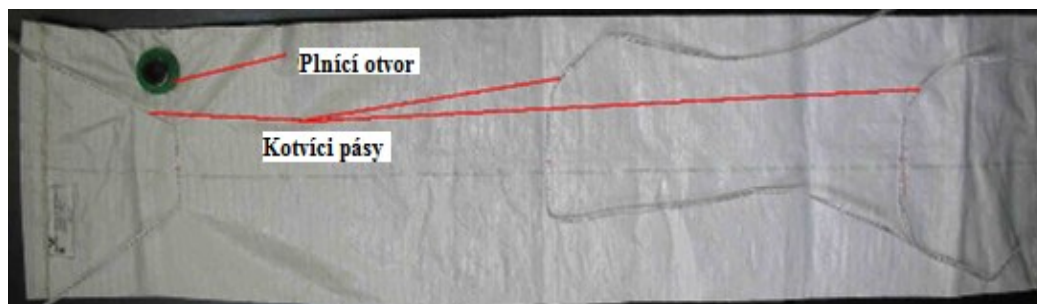
Jsou to speciální čerpadla určená k dopravě specifických materiálů na bázi močovino-formaldehydových pryskyřic určených pro in-situ výrobu těsnících pěn. Čerpadla jsou poháněná stlačeným vzduchem a vzhledem ke svým rozměrům a konstrukci, jsou vhodné pro práce v obtížně přístupných a stísněných prostorech. Od firmy Minova používáme tyto čerpadla DNDP Duplex nebo MB Foam obr. č. 16. Dalším dodavatelem čerpadel je polská firma se sídlem v Katovicích Ekochem a.s. Od této firmy používáme čerpací soupravu Hydox – Adal s dvoustupňovým čerpadlem HA 1 (Adamus, 2001).



Obrázek č. 16: Čerpadlo MB Foam (foto Minova).

3.4.4 Polypropylénový vyplňovací vak

Polypropylénové výplňové vaky obr. č. 17 jsou určeny k ohraničení prostoru, který může být vyplněn minerální cementovou směsí nebo formaldehydovou pryskyřicí. Dle typu provedení se používají vaky podélné nebo vaky objemové.



Obrázek č. 17: Polypropylénový vyplňovací vak (foto Minova).

3.4.5 Generátor dusíkové pěny One Seven® MINING 6000

Generátor dusíkové pěny One Seven® MINING 6000 obr. č. 18 je speciální pěnové zařízení vyvinuté pro důlní prostředí s nepřetržitou produkcí o výkonu 600 l/min speciální One Seven® pěny. Tato pěna se ztraceným potrubím aplikuje do závalu, kde časem se z této pěny postupně uvolňuje plynný dusík. Pro samotnou výrobu pěny, není zapotřebí elektrické energie. Tlaková pěna vzniká ve směšovacím modulu, kde se směšuje voda, dusík popřípadě vzduch s One Seven® pěnidlem. Zařízení je vybaveno regulačním ventilem pro regulaci mokré a suché pěny. Z důvodu bezpečnosti jsou všechny konstrukční prvky vyrobeny z červeného bronzu, mědi a nerezové oceli.



Obrázek č. 18: Generátor ONE Seven ®MINING 6000 (foto Zielinski).

3.5 Inertizace při likvidaci porubů a uzavřených porubů

Po dokončení dobývání porubu je zapotřebí neustále inertizovat plynným dusíkem závalové prostory z důvodu vyklizení dobývací technologie, příslušenství a v poslední etapě i mechanizované výztuže. Pro tuto etapu máme více variant a záleží, jakou zvolíme z hlediska ekonomického i bezpečnostního.

Jedna z variant je, že porub uzavřeme na výdušné třídě a na vtažné třídě vybudujeme dusíkové propustě, přes které budeme inertovat plynným dusíkem porub i zával. Tímto způsobem zamezíme vstupu kyslíku do prostoru závalu a vzniku záparu. Z hlediska bezpečnosti a nákladů je tato varianta nákladná, protože plenění mechanizované výztuže probíhá v rámci plánovaného nehavarijního zásahu.

Další možností je, že vydobytý porub dokonale utěsníme a napustíme plynný dusík do závalových prostor. Připravíme výbuchuvzdornou hráz s průlezovými lutnami na výdušné třídě a začneme postupně od vrchní úvratě směrem ke spodní plenit mechanizovanou výztuž. Po vyplnění mechanizované výztuže, vždy dotěsníme pomocí polypropylenových vyplňovacích vaku obr. č. 19. Tato varianta není tak ekonomicky i bezpečnostně náročná, ale vzniká tu riziko možného přístupu kyslíku do závalových prostor.



Obrázek č. 19: Dotěsněný prostor po vyplnění sekci (foto Zielinski).

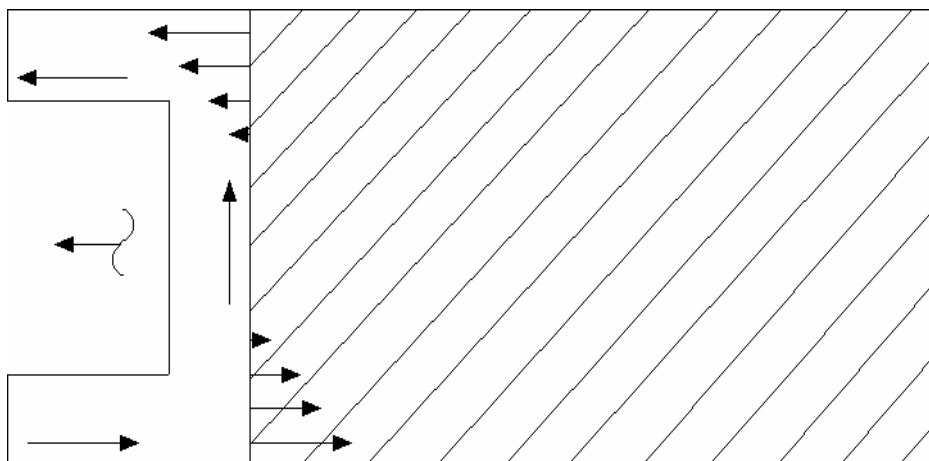
Uzavřené poruby nám mohou pořád ovlivňovat sousední dobývané poruby nebo ražby a to z důvodu možného přístupu kyslíku přes trhliny v masivu. Tento kyslík nám zapříčiní vznik záparu v tomto uzavřeném díle a prasklinami nám bude vystupovat oxid uhelnatý do sousedních funkčních porubů a ražeb. Po dotěsnění těchto prasklin, zahájíme inertizaci uzavřeného porubu přes uzavírací hráz se zásahovým potrubím. Další z možností inertizace je navrtání sousedního uzavřeného porubu po celé jeho délce sítí inertizačního potrubí pro plynný dusík. Pomocí analyzní hadičky, která je součástí sítě, odebíráme vzorky pro chromatografický rozbor. Z těchto hodnot zjistíme informace o plynných složkách a inertizaci uzavřených porubů.

4. AERODYNAMIKA A INERTIZACE ZÁVALOVÝCH PROSTOR

Mezi závažná rizika při hlubinném dobývání slojí náchylných k samovznícení v OKR patří riziko vzniku ohniska samovznícení. Nejvíce náchylné prostředí pro vznik záparů jsou závalové prostory stěnových porubů a to z důvodu ponechávání uhlí v závalu (cca 75 % všech záparů). Toto uhlí je okysličováno důlním ovzduším, které filtruje závalovým prostorem. S problematikou samovznícení úzce souvisí aerodynamika závalových prostor stěnových porubů.

4.1 Aerodynamika závalových prostor porubů

Závalový prostor stěnového porubu je zóna, která je tvořena rozrušenými horninami bezprostředního a přímého nadloží za postupujícím porubem. Porub dobývaný z pole a větraný systémem „U“, je znázorněn na obr. č. 20. Zával porubu tvoří aerodynamický systém, jehož veličiny závisí na několika prvotních faktorech. Jedním z podstatných faktorů ovlivňující jeho aerodynamiku je stupeň konsolidace. Se zvětšující se vzdáleností vytěženého prostoru dochází v závalovém prostoru k postupné konsolidaci zavalených hornin zapříčiněné tlakem nadloží, čímž se nám zvětšuje aerodynamický odpor. Proudění větrů porubem je způsobeno tlakovou depresí mezi horní a dolní úvrati porubu. Ve spodní úvrati z důvodu netěsnosti dochází k částečnému průchodu větrního proudu do závalu a tím pádem ke ztrátám větrů závalem. Tyto ztráty jsou označovány jako propustnost závalu a jsou definovány v %. Tyto ztráty mohou být v rozmezí 15 – 40% z průchodního větrního proudu porubu, a v ojedinělých případech až 60%. Velikost těchto ztrát je přímo závislá na pevnostních vlastnostech hornin bezprostředního a přímého nadloží. Pro snížení ztrát větrů v závalovém prostoru, budujeme větrní hrázky umístěné na zálokové hraně úvodní i výdušné třídy. Další způsob je proplavování závalu interní směsí, čímž zmenšíme provětrávanou plochu závalu a zvětšíme účinnost inertizace dusíkem (Adamus, 2001).



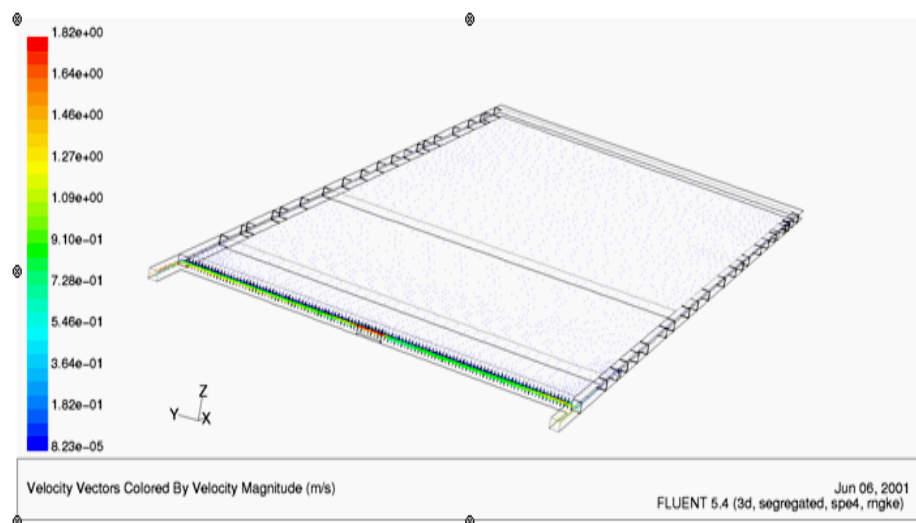
Obrázek č. 20: Zjednodušené schéma proudění vzdušín v závalu (foto Ševčík).

4.1.1 Výpočetní program typu CFD verze programu FLUENT 5.3

Pro modelování aerodynamiky v závalovém prostoru je možné využít výpočetní program typu CFD, který byl vytvořen v roce 2000, jako matematický model aerodynamiky závalu ve verzi programu FLUENT 5.3. Program FLUENT 5.3 nám umožňuje prostřednictvím propojovacího softwaru GAMBIT efektivnější nástroje geometrie modelování. Pro tento program je jednou z nejdůležitějších vstupních fyzikálních dat propustnost závalu. Na obrázku č. 21 je znázorněna ukázka 3D matematického modelu závalu porubu. Vztah mezi propustností a měrným aerodynamickým odporem je vyjádřen rovnicí /1/:

$$\mathbf{k} = \boldsymbol{\mu} / \mathbf{r} \quad /1/$$

kde: **k** - propustnost (permeabilita), [m²],
μ - dynamická viskozita, [Pa.s],
r - měrný aerodynamický odpor, [N.s.m⁻⁴].



Obrázek č. 21: Ukázka 3D matematického modelu závalu, (Adamus, 2001).

4.2 Inertizace závalových prostor porubů

Při dobývání sedlových slojí a slojí náchylných k samovznícení je inertizace závalových prostor, nedílnou součástí prevence. Inertizaci závalových prostor provádíme plyným dusíkem, buď v režimu preventivní inertizace což znamená, že cílová koncentrace kyslíku nepřesáhne 10 %. Pro dosažení této hodnoty napouštíme pro prevenci do závalu cca 800 - 1300 m³hod⁻¹ plyného dusíku. Při zjištění že se v závalovém prostoru v plyných složkách vyskytnou hodnoty, vykazující samovznícení, přejdeme na inertizaci pro potlačení samovznícení. Tady musíme dosáhnout hodnoty kyslíku v rozmezí 3 – 5 %, což je zapotřebí 1500 - 2500 m³hod⁻¹ a více plyného dusíku. Jako poslední fáze je inertizace represivní. U této inertizace se snažíme uzavíraný objem požářiště přeplnit nejméně 1,2 x plyným dusíkem, abychom dosáhli koncentrace kyslíku blízké 0%.

Jako další opatření související s inertizací je minimalizace deprese porubu pasivními i aktivními prvky regulace větrního proudu. Lze také využívat postupu vedení porubní fronty, kdy úpadní postup nám způsobuje přirozenou inertizaci přidanou plynodajností a dovrchní postup nám umožňuje proplavování závalu. (Adamus, 2001).

Teoretický výpočet objemového průtoku dusíku pro napouštění do závalu je stanoven rovnicí /2/, (Hornická rizika a záchranářství, 2015) :

$$Q_{VN2 \min} = Q_{vu} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{(c_1 - c_2)}{(c_1 - c_3)} \quad /2/$$

kde:

Q_{VN2} - objemový průtok plynného dusíku preventivní inertizace, ($m^3 \min^{-1}$),

Q_{vu} - objemový průtok větrů úvodní třídou porubu, ($m^3 \min^{-1}$),

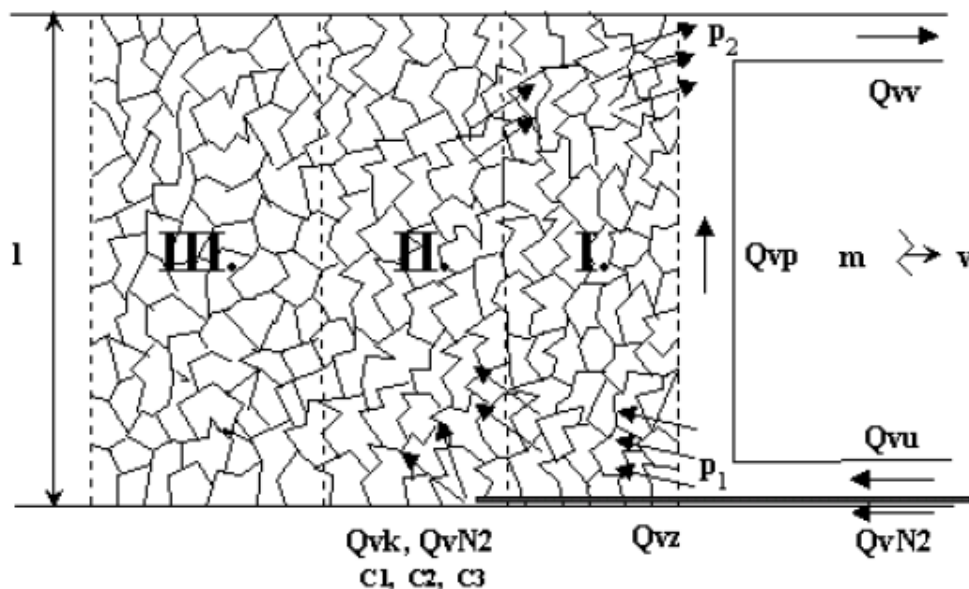
k_1 - součinitel větrních ztrát porubu závalem, (-),

k_2 - součinitel větrních ztrát krizické zóny závalu, (-),

C_1 - původní koncentrace kyslíku v kritické zóně závalu, před zavedením, preventivní inertizace, (%),

C_2 - cílová koncentrace kyslíku v kritické zóně závalového prosotoru, (%),

C_3 - zbytková koncentrace kyslíku v dusíku, (%).



Obrázek č. 22: Napuštění dusíku do stěnového porubu (Hornická rizika a záchranářství, 2015).

Ztráty větrů do závalu činí podle charakteru nadloží (je možné omezeně měřit) 15-45 % ($k_1=0,15-0,45$), propustnost mezi zónou I. a II. byla modelováním ověřena cca 20% ($k_2=0,2$), (Adamus, osobní sdělení).

4.2.1 Optimalizace preventivní inertizace a její zásady

Jednou ze zásad optimalizace preventivní inertizace je stanovit maximální objemový průtok plynného dusíku, pro výpočet poklesu kyslíku na výduchu porubu podle rovnice /3/, (Hornická rizika a záchranářství, 2015):

$$Q_{VN_2} = Q_{VU} \cdot [(\%O_2 / \%O_{2p}) - (1 + 0,01 \cdot \%CH_4)] \quad /3/$$

kde:

Q_{VN_2} - maximální objemový průtok injektovaného dusíku, ($m^3 \text{min}^{-1}$),

Q_{VU} - objemový průtok větrů PVP, ($m^3 \text{min}^{-1}$).

$\% O_2$ - koncentrace kyslíku úvodního PVP, (% obj.).

$\% O_{2p}$ - povolená koncentrace O_2 ve výdušném PVP, (% obj.).

$\% CH_4$ - koncentrace metanu ve výdušném PVP (% obj.)

K dalším zásadám optimalizace patří, (Hornická rizika a záchranářství, 2015) :

- podstatou preventivní inertizace a její optimalizace je dosažení celkové koncentrace kyslíku v závalu 10 % a méně,
- za zálomovou hranu z úvodní třídy injektovat plynný dusík od 40 – 100 m a podle potřeby a podmínek i ve více místech porubu,
- při zastavení postupu porubu a dosažení dokonalého utěsnění závalu, např. zapěněním k zálomové hraně izopěnou v plném profilu, aplikovat dusík za těsnicí barieru,
- v současných podmínkách OKR je při dobývání doporučený objemový průtok $1000 \text{ m}^3 \text{hod}^{-1}$ pro jeden aktivní porub, eventuálně v rozmezí 400 - $1200 \text{ m}^3 \text{hod}^{-1}$ podle lokálních podmínek,
- v aktivním porubu po vydobytí 50 m směrné délky, začít preventivní inertizaci,
- aktivními a pasivními prvky regulace větrání porubu, snižovat depresi porubu,
- stupňovat aerodynamický odpor závalového prostoru pleněním chodeb porubu za zálomovou hranou např. náběhovými plentami, izopěnovými hrázkami, zapěňováním atd.
- při úpadně vedené frontě využívat přirozenou inertizaci závalového prostoru přídatnou plynodajností pro vytěsnění kyslíku a při dovrčně vedené fronty využít možnost proplavování závalu,
- používat plynný dusík s co nejmenší koncentrací kyslíku,

- v činném porubu při preventivní inertizaci průběžně kontrolovat koncentrace kyslíku v průvodním větrném proudu,
- věnovat zvýšenou pozornost složení důlních větrů na výduchu porubu v době započetí inertizace a následného navyšování dusíku,
- měřit a kontrolovat v přívodní větvi porubního řádu porubu objemový průtok plynného dusíku při preventivní inertizaci,
- v závalovém prostoru pravidelně ponechávat rozmístněné odběrové sondy pro kontrolu stavu ovzduší, doporučené rozmístění těchto sond je každých 50 m na úvodní a výdušné třídě porubu,
- v závalu, podle stavu ovzduší, usměrňovat režim preventivní inertizace dle provozních potřeb v porubu.

4.3 Inovace inertizace závalových prostor

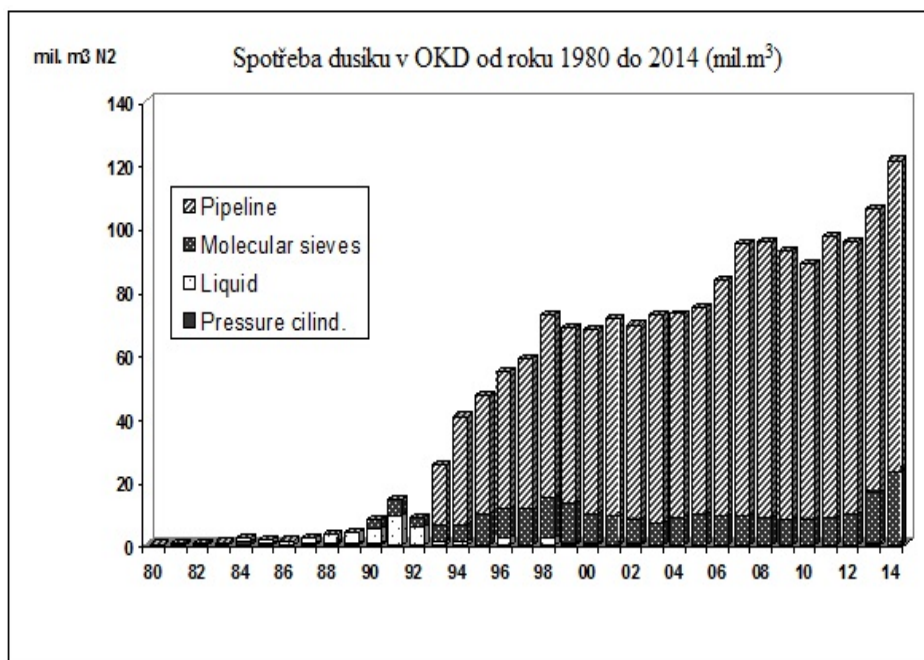
Ve vývoji prostředků na modernizaci v dnešní době se dosáhlo velmi dobrých výsledků, co se týče řízení a distribuce plynného dusíku z centrálního dusíkového hospodářství. Další úspěchy byly zaznamenány ve vývoji nových pěnících hmot, které jsou kvalitnější a dovedou mnohonásobně zvětšit svůj objem, což oceníme při transportu na místo určení. V pozadí nezůstal ani vývoj nových čerpadel, které jsou lehčí a mají větší pěnící výkon. Jisté rezervy spatřuji v důlním rozvodu dusíku na jednotlivých důlních závodech. Ventily umístěné na odbočkách a páteřních rozvodech v dole jsou mechanické a pro regulaci průtoku dusíku je musíme ovládat ručně. Tyto ventily by bylo zapotřebí nahradit za plně automatické, osázené průtokoměrem s dálkovým přenosem na centrální pult dispečinku. Dále bych rozvedl samostatné odběrové potrubí s odbočkami v závalu a pomocí hadičky z výdušné třídy monitoroval ovzduší, které by bylo možno kontinuálně měřit z dispečinku i s grafickým vyobrazením. Tímto bychom měli možnost rychleji reagovat na probíhající změny a regulovat tak dodávky dusíku.

5. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

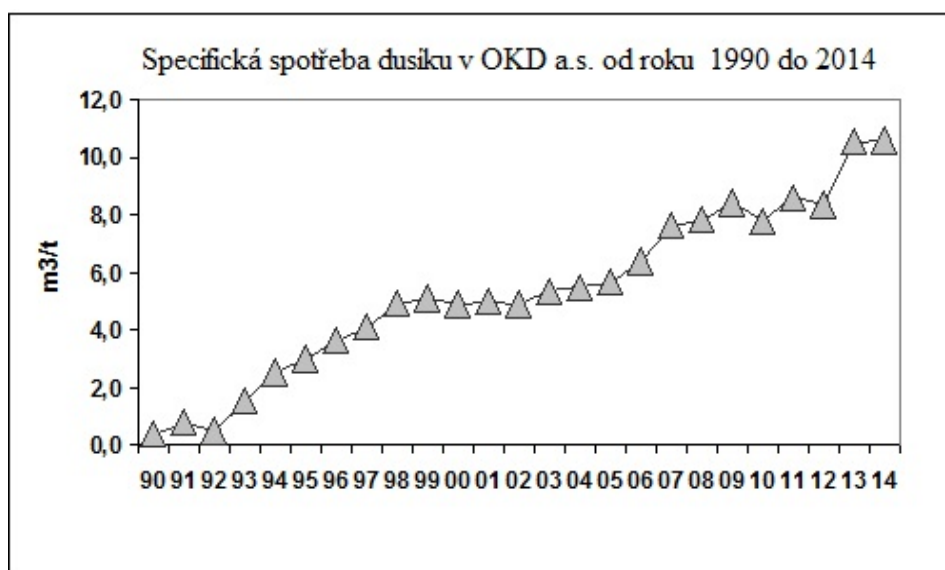
Používání inertizace na Důlním závodě 1, lokalitě Darkov, ale i na ostatních Důlních závodech v našem regionu má za následek navýšení ceny za vydobytou tunu uhlí. Avšak při dobývání sedlových slojí, které jsou obzvláště náchylné k samovznícení, se bez této prevence neobejdeme. Počet samovznícení, který má neustále rostoucí tendenci, má za následek i zvyšující se spotřebu plynného dusíku v OKD viz. graf č. 1. V této navyšující se tendenci, se také začala zvyšovat spotřeba plynného dusíku na vydobytou tunu viz. graf č. 2, kdy v roce 2014 to bylo 10,57 m³ plynného dusíku na vydobytou tunu uhlí, (Adamus, osobní sdělení).

V minulém roce v OKD bylo cca patnáct činných porubů, což vycházelo přibližně tři činné poruby na každou lokalitu Důlních závodů, kromě (ve vztahu k používání dusíku) Důlního závodu 3, který plynný dusík nepoužívá, jelikož nemá riziko samovznícení. Při preventivní inertizaci každého z těchto porubů, napouštíme do závalu objemovým průtokem cca 1200 m³hod⁻¹ z centrálního dusíkového hospodářství s kapacitou 12000 m³hod⁻¹, což znamená, že cca 2/3 všech činných závalu je účinně inertizováno. Pro určení počtu činných porubů jsem vycházel z informací Důlního závodu 1 a zbylé činné poruby jsem uvedl, jen jako vlastní odhad.

Preventivní inertizace a její náklady na ni, jsou dobře vynaložené investice z důvodu zajištění plynulé těžby bez nutnosti uzavírání záparových porubů. Největší prioritou inertizace je zajištění bezpečnosti dolu a s ní ochrana lidských životů. V úvodu této práce jsem poukázal na obrovské důlní neštěstí s fatálními následky, které se stalo 18. října 1990 na dole 1. Máj, kde došlo k výbuchu metanovzdušné směsi ve stařinných prostorách bývalé výchozí prorážky ukončeného porubu ve vrchní lávce 40. sloje 5. kry. Jedna z příčin byla uvedena, jako zapálení výbušné směsi obnaženým ohniskem záparu. Při tomto neštěstí bylo zmařeno 30 lidských životů tamních horníků. Používáním preventivní inertizace závalových prostor plynným dusíkem, nebyla již od této doby zaregistrována žádná závažná důlní katastrofa, zapříčiněna zapálením výbušné směsi ohniskem záparu.



Graf č. 1: Celková spotřeba dusíku v OKD 1980 - 2014 (Adamus).



Graf č. 2: Specifická spotřeba dusíku v OKD 1990 - 2014 (Adamus).

5.1 Ekonomické vyhodnocení porubů č. 40604, 340206, 340402

Ve druhé kapitole jsem se zabíral použitím inertizace u vybraných případech na Důlním závodě 1 lokalita Darkov, kde v závěru této kapitoly jsou vyčísleny finanční náklady na použití dusíku u jednotlivých porubů. Celkové finanční náklady na inertizaci

dusíkem za rok 2014 na dole Darkov jsou vyčísleny na 33 103 000,- Kč. Tyto náklady jsou za použití CDH – 5 248 000,- Kč a za dusík 27 855 000,- Kč za rok. K těmto výdajům musíme ještě přičíst náklady na další materiál pro prevenci např. dusíkové pěny, záchranné plátno, polypropylenové vyplňovací vaky atd. a samozřejmě náklady na platy záchranných. Z propočtů nákladů na dusík si můžeme odvodit, že náklady dusíku na jednu vytěženou tunu odpovídají 15,- Kč, což je velmi příznivá cena pro firmu, (Kubalík, osobní sdělení).

Podle těchto zjištění je zřejmé, že používání inertizace závalových prostor stěnových porubů je pro zkvalitnění bezpečnosti v dolech OKD a.s., výhodné přesto, že není zcela univerzální a nemusí být vždy naprosto úspěšná. Tato inertizace není tak nákladná, jak následně řešit již vzniklé ložisko záparu nebo dokonce požár, což se v koncovém důsledku projeví na finančních nákladech ve firmě. Bez použití preventivních opatření proti záparové prevence a plynného dusíku, bychom museli každý porub, který vykazuje v závalu požární zplodiny uzavřít a dlouho čekat na jeho samovolné uhašení. Tato volba uzavření porubu je pro podnik nepříznivá, jelikož některé nové technologie pro dobývání nejsou majetkem firmy a ta musí splácet pohledávky za tyto technologie.

5.2 Ekonomické vyhodnocení výroby dusíků

Spotřeba dusíku v dolech má vzrůstající charakter a jeho náklady na výrobu jsou odlišné z příčiny rozličné výrobní technologie. Největší dodavatel plynného dusíku do OKD a.s. je firma MG Odra Gas s r.o., která nabízí plynný dusík jako odpadní produkt při kryogenní výrobě kyslíku. Finanční náklady na zakoupení 1 m³ dusíku jsou 0,66,- Kč, pro Důlní závod 1. K této částce se ještě musí připočítat paušální poplatek na provoz CDH pro firmu Green Gas a.s.

Výroba dusíku pomocí uhlíkových molekulových sít, je zhruba dvounásobně dražší než kryogenní technologii. Cena výroby je zhruba 1,8,- Kč na 1 m³ dusíku. Tuto technologii výroby dusíku máme na Důlním závodě 2 a Důlním závodě 1, lokalita Darkov. Molekulová síta jsou již 25 let v provozu a tím pádem účinnost molekulových sít je na hranici 50% objemové výkonnosti. Výměna uhlíkového sorbentu by řádově vyšla na 1,2 mil. Kč za jednotku, což by navýšilo výrobní cenu dusíku.

Další metodou výroby dusíku je pomocí polymerových membrán. Za 1 m³ dusíku zaplatíme 2,1,- Kč. Tuto metodu výroby využívá firma MG Odra Gas s r.o. a firma Gascontrol s r. o. s jednou jednotkou polymerových membrán na Důlním závodě 2.

Nejméně finančně výhodnou metodou je výroba dusíku pomocí odpařovačů kapalného dusíku. Tato cena se nedá jednoznačně určit, z důvodů různých aspektu a to vzdálenosti dopravy kapalného dusíku a množství odebraného kapalného dusíku. Z těchto důvodů se tato metoda používá jen výjimečně (např. překlenutí dodávky N₂ při výluce).

Z předešlých výpočtů si odvodíme, že průměrná hodnota výroby dusíku na 1 m³ vychází na 1,5,- Kč. Z této položky lze odvodit nákladovou zátěž dusíku na vydobytou tunu uhlí odbytové těžby a to je cca 0,75% průměrné odbytové ceny. Průměrná odbytová cena uhlí za rok 2014 na Důlním závodě 1, byla cca 2024,- Kč za jednu tunu. Pro zajištění bezpečnosti dolu v rámci inertizace je toto necelé procento odbytové ceny zanedbatelné.

ZÁVĚR

Přestože již několik posledních let, nebyly žádné smrtelné úrazy, které by souvisely se vznikem záparu a následným ohniskem požáru, musíme brát toto nebezpečí velmi vážně. Při dobývání uhlí dochází k okysličování uhelné hmoty a to má za následek vznik samovznícení a tím ohrožení důlních děl a pracovníků. Inertizaci, důsledným monitoringem důlního ovzduší a kvalitní protizáparovou prevencí, těmto nebezpečným stavům předcházíme.

Tato práce se zabývala vývojem inertizace v hornictví, kde je popsán historický sled událostí, při vzniku používání inertizačních plynů jak v České republice, tak i v zahraničí. Následně jsem se věnoval analýze vybraných případů inertizace na Důlním závodě 1, lokalita Darkov. Zde byl popsán průběh inertizace s následným vyhodnocením účinnosti inertizace, která byla ve všech případech účelná. Další kapitolou byly technické prostředky, kde jsem se věnoval samotné výrobě dusíku, transportem a regulačními i měřicími prvky dusíku. Objasnili jsem prostředky inertizace pro ražení a dobývání a následné likvidaci a uzavření porubu. Následně jsem probral problematiku aerodynamiky a inertizaci závalových prostor, kde jsem se zmínil o možnostech modelování. Do této kapitoly jsem zahrnul optimalizaci preventivní inertizace i její zásady a navrhnul možnou inovaci inertizaci závalových prostor. V posledním oddíle jsem provedl ekonomický rozbor a následné vyhodnocení vybraných porubů a provedl hospodářské zhodnocení využívání dusíku v OKD, a.s.

Inertizace na našich důlních pracovištích, nám pomáhá zvládat dobývání uhlí v běžném pracovním režimu a je jedním z hlavních pilířů, co se týče bezpečnosti a ochrany zdraví pracovníků v dole. Nesmíme ale zapomínat, že je to inertní plyn, který vytlačuje kyslík. Proto je nutný monitoring ovzduší v místech, kde hrozí nebezpečí poklesu kyslíku pro důlní pracovníky na pracovišti.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- ADAMUS, A.: *Mezní koncentrace kyslíku samovznícení uhlí*. Záchranář č. 4, 1994.
- ADAMUS, A.: *Inertizace dusíkem v dolech* [online.] c2001, poslední revize 1. 4. 2013 [cit. 2015-02-01] Dostupné na WWW: <<http://homen.vsb.cz/~ada70/nitrogen/cz/index.htm>>
- Hornická rizika a záchranářství*. Souhrn podkladů k výukovému předmětu, HGF VŠB-TU, Ostrava, 2015. 259 s. Dostupné na WWW: <<http://homen.vsb.cz/~ada70>>
- JANIČEK, A.: *Prospekt divize hornictví* [online.] c2005, verze 3.0, poslední revize 1. 2. 2015 [cit. 2015-04-09] Dostupné na WWW: <http://www.minova.cz/download/prospekt_divize_hornictvi.pdf>
- KOTLÍK, J. FILIP, L. HROMADA, J.: *Výpočet zásob černého uhlí v dobývacím prostoru Karviná - Doly II, lokalita Gabriela, č. ložiska 3070 423*. Ostrava, 2010. DA 9 D002-0/1.
- KUBALÍK, J.: *Zpráva o výskytu koncentrace CO vyšší než 130 ppm v dobývaném porubu číslo 40604*. Karviná, 2012. NB/VDBS/Ku/2012.
- SUCHÁNEK, P.: *Zpráva o výskytu koncentrace CO vyšší než 130 ppm v dobývaném porubu číslo 340206*. Karviná, 18. 04. 2013. NB/TDBS/Su/2013.
- SUCHÁNEK, P.: *Zpráva o výskytu koncentrace CO vyšší než 130 ppm v dobývaném porubu číslo 340402*. Karviná, 06. 12. 2013. NB/TDBS/Su/2013.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1: Správní budova a těžní věž dolu Darkov (foto Štefek).	2
Obr. č. 2: Schéma zařízení pro výrobu dusíku z roku 1949 (Adamus, 2001).	4
Obr. č. 3: Dusíkovod Azoduct (Adamus, 2001).	6
Obr. č. 4: MG Odra Gas, spol. s r.o. kyslíkárna (foto Zielinski).	20
Obr. č. 5: Jednotka uhlík. molekul. sít, PSA, CMS 600 (foto Adamus).	21
Obr. č. 6: Polymerová membránová jednotka, Generon (foto Adamus).	21
Obr. č. 7: Odpařovací stanice (foto Adamus).	21
Obr. č. 8: Schéma Centrálního dusíkového hospodářství (Adamus, 2001).	22
Obr. č. 9: Vlek s tlak. láhvemi o kapacitě 630 m ³ (foto Zielinski).	23
Obr. č. 10: Cisterna pro přepravu kapalného dusíku (foto Tomala).	23
Obr. č. 11: Kontejner pro operativní přepravu kapal. dusíku (foto Adamus).	24
Obr. č. 12: Centrická clona 100/80 (foto Adamus).	25
Obr. č. 13: Turbínový průtokoměr TZ 80/250 Rombach (foto Adamus).	26
Obr. č. 14: Snímače rychlosti proudění a absolutního tlaku (foto Adamus).	27
Obr. č. 15: Pažící rohož s návlekm (foto Minova).	28
Obr. č. 16: Čerpadlo MB Foam (foto Minova).	29
Obr. č. 17: Polypropylénový vyplňovací vak (foto Minova).	30
Obr. č. 18: Generátor ONE Seven ®MINING 6000 (foto Zielinski).	30
Obr. č. 19: Dotěsněný prostor po vyplnění sekci (foto Zielinski).	31
Obr. č. 20: Zjednodušené schéma proudění vzdušín v závalu (foto Ševčík).	34
Obr. č. 21: Ukázka 3D matematického modelu závalu (Adamus, 2001).	35
Obr. č. 22: Napuštění dusíku do stěnového porubu (Hornická rizika a záchra- nářství, 2013).	36

SEZNAM TABULEK

Tab. č. 1: Naměřené hodnoty v porubech č. 40604, 340206, 340402 (autor).	18
--	----

SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1: Celková spotřeba dusíku v OKD 1980 - 2014 (Adamus).	40
Graf č. 2: Specifická spotřeba dusíku v OKD 1990 - 2014 (Adamus).	40

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Situace uzavřeného porubu číslo 40604 (mapa).
Příloha č. 2: Ponechané uhlí v porubu číslo 40604 (mapa).
Příloha č. 3: Situace uzavřených porubů číslo 340206 a340402 (mapa).
Příloha č. 4: Ponechané uhlí v porubu číslo 340206 (mapa).
Příloha č. 5: Ponechané uhlí v porubu číslo 340402 (mapa).