

Vliv důlních otřesů a protiotřesové prevence na samovznícení uhlí

Effect rock bursts and rock burst prevention on self-ignition of coal

Z. PAVELEK

OKD, HBZS, a.s., Ostrava

Abstract

Rock bursts and rock burst prevention has negative and sometimes quite limiting effect on realization and efficiency of the measures directed towards elimination of self-ignition of coal or the measures towards suppression of mine fires.

In general, this effect can be classified into two basic categories. The first category is characterised by disturbance of rock mass followed by creation of predisposition of mine air draught through extracted spaces, gob areas and pillars among mine workings or in the vicinity of explosion-proof dams closing the abandoned mine workings. The second category is defined by alteration of coal mass from the viewpoint of its fragmentation and humidity and the increased reactivity with oxygen resulting from this alteration; this all contributes significantly to the hazard of self-ignition of coal.

The objective of this contribution is to familiarise the wider professional public with general unfavourable impacts of rock bursts and rock bursts prevention and with the problem of self-ignition of coal in coalmines in the Ostrava-Karviná Coalfield; at present, this problem concentrates almost solely on saddle seams in the Ostrava-Karviná group of strata. This contribution defines these unfavourable impacts and suggests methods and procedures for their elimination to avoid, despite of the generally adopted convention concerning the superiority of rock burst prevention above self-ignition prevention, quite unnecessary cases of occurrence of endogenous fires in extracted mine workings or gob areas of longwall faces or in coal faces of long mine workings.

Zvyšování propustnosti stavebních jednotek horského masivu důlními otřesy a realizací protiotřesové prevence

Porušení horského masivu způsobené důlními otřesy a realizací protiotřesové prevence zvyšuje jejich propustnost a vytváří (společně s porušením horského masivu vznikajícím časoprostorovým vedením důlních děl) predispozici průtahů důlních větrů přes vyrubané prostory, stařiny a pilře mezi důlními díly nebo okolí výbuchovzdorných hrází uzavírající opuštěná důlní díla. Uvedená skutečnost má za následek zvyšování parciálního tlaku kyslíku v nevětraných důlních prostorách a tím zvyšování rychlosti

oxidace v nich se nacházející uhelné hmoty. Jedná se tedy o negativní vliv, který mnohdy zcela zásadně limituje realizaci a účinnost opatření směřujících k zamezení samovznícení uhlí nebo opatření ke zdolávání důlních požárů.

Průtahy důlních větrů je obecně nazýváno nežádoucí proudění vzdušin jinými než určenými větrnými cestami. Z uvedené definice vyplývá, že se tak prakticky jedná o proudění tekutiny porézním prostředím (vyrubané prostory, stařiny, pilíře mezi důlními díly, okolí výbuchovzdorných hrází uzavírající opuštěná důlní díla atd.), které popisuje tzv. zákon odporu filtrace - Darcyho zákon, vyjádřený vztahem pro výpočet rychlosti filtrace (inverzně orientované vůči směru nárůstu tlakové ztráty):

$$v_f = -k_f \frac{dh}{dl} = -k_f i \quad (1)$$

Míru propustnosti porézního prostředí pro tekutinu dané kinematické viskozity určuje koeficient filtrace k_f [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$], který definuje úměru propustnosti porézního prostředí k vlastnostem proudící tekutiny. Parametr i určuje pokles piezometrické výšky h [m] na dráze l [m].

Míra absolutní propustnosti porézního prostředí je charakterizována koeficientem propustnosti k_p [m^2], jež je v případě stabilního a izotropního prostředí s relativně dostatečnou velikostí pórů považován za geometrickou, na povaze filtračního prostředí nezávislou konstantu.

Vzájemnou závislost obou výše uvedených koeficientů vyjadřuje vztah:

$$k_p = k_f \frac{\mu}{g\rho}, \quad (2)$$

kde μ - dynamická viskozita, [Pa.s],
 g - tíhové zrychlení, [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$],
 ρ - měrná hmotnost. [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$].

Důlními otřesy a realizací protiořesové prevence dochází k porušení stavebních jednotek masivu a tím ke snižování jejich měrného aerodynamického odporu r [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{s}^{-1}$], tj. [$\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-4}$], který vyjadřuje odpor krychle filtračního prostředí o hraně 1 m. Rovnice stanovující měrný aerodynamický odpor r pomocí koeficientů filtrace k_f a propustnosti k_p mají následující tvar:

$$r = \frac{\rho g}{k_f}, \quad (3)$$

$$r = \frac{\mu}{k_p}. \quad (4)$$

Autorem (DOPITA ET AL. 1997) publikované široké rozpětí hodnot koeficientů filtrace vody k_f hornin svrchního karbonu české části hornoslezské černouhelné pánve vymezuje rovněž jejich následující charakteristické oblasti propustnosti (definované hodnotami koeficientů propustnosti k_p):

neporušené horniny	$k_f = \text{n}\cdot 10^{-8}$ až $\text{n}\cdot 10^{-12}$ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,	tj. $k_p = \text{n}\cdot 10^{-15}$ – $\text{n}\cdot 10^{-19}$ m^2 ,
porušené horniny	$k_f = \text{n}\cdot 10^{-6}$ až $\text{n}\cdot 10^{-8}$ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,	tj. $k_p = \text{n}\cdot 10^{-13}$ – $\text{n}\cdot 10^{-15}$ m^2 .

Při přijetí postulátu, že v důsledku důlních otřesů a provádění protiotřesové prevence dochází u stavebních jednotek horského masivu ke změnám (nárůstu) hodnot jejich koeficientů filtrace k_f a propustnosti k_p v rozsahu odpovídajícímu přechodu od neporušených k porušeným horninám (viz. výše), je možné kvantifikovat snižování měrného aerodynamického odporu r dotčené části masivu a tím také predispozici průtahů důlních větrů přes ni.

Obecně platí, že ke zvyšování propustnosti je nejnáchylnější uhelná sloj v okolí důlních děl, která má složitou stavbu. Dílčí makropetrografické polohy jsou charakterizovány různou pevností, pružností, reologickými vlastnostmi apod. Mimoto jsou sloje porušeny četnými plochami diskontinuity (plochy vrstevnatosti, pukliny, trhliny apod.) a je tedy nutno je chápat jako soustavu vzájemně více či méně spojených elementů. Při důlní otřesu dochází v rámci generelního pohybu uhelné sloje do důlního díla k relativním, vzájemně diferencovaným posunům dílčích poloh a jejich deformacím ve směru kolmém k vrstevnatosti. Tyto deformační projevy slábnou úměrně se vzdálenostmi od důlního díla orientovanými do masivu a postupně převládá deformace sloje jako jednoho stejnorodého celku.

Vlastnosti uhelné sloje a její chování při důlním otřesu ovlivňuje v oblastech přilehlých k důlním dílům také výskyt trhlin, puklin, ploch vrstevnatosti, popř. jiných drobnětektonických prvků. V sousedství důlních děl se dle (PĚTUCHOV I. M. & ZAMARSKI B. 1990) uhelné sloje přednostně deformují po plochách primárního drobnětektonického porušení a ne vždy musí při důlních otřesech v uhelné sloji vznikat nové trhliny, které zvyšují její propustnost.

Z hlediska zvyšování propustnosti horského masivu je však mnohem zásadnější deformační projev slojového boku důlního díla způsobený kmitavým pohybem okolních hornin, kdy jejich rázem na sloj dojde ke stlačení uhelné hmoty, které je větší než konečná trvalá deformace předmětných okolních hornin. V důsledku popsání jevu se vytváří mezi stropní plochou sloje a porušenou slojí dutina, jejíž mocnost se pohybuje v řádu centimetrů až decimetrů a hloubka od důlního díla dosahuje až několika metrů. Při situování výchozích prorážek a porubních chodeb ve sloji do těsné blízkosti stařin tak, že vznikají uhelné pilíře tloušťky max. 5 m (POKYNY K VYHLÁŠCE ČBÚ č.659/2004 SB. 2005) dochází vytvořením uvedené dutiny ke zcela zásadnímu zvýšení propustnosti těchto pilířů.

Procesy vzniku trhlin v průvodních horninách jsou dosud předmětem studia působení důlních otřesů v horském masivu a nelze tedy vyvozovat kvantitativní závěry o zvyšování propustnosti hornin v důsledku jejich vytváření.

Z aktivních prostředků protiotřesové prevence při vedení důlních děl má negativní vliv na zvyšování propustnosti horninového masivu zejména bezvýlomová trhací práce ve sloji a okolních horninách, v menší míře pak odlehčovací vrtání. Při bezvýlomové trhací práci se v okolí nálože použité trhavy vytváří kontinuální či diskontinuální oblast nevratných deformací, která se skládá ze zóny drcení (tangenciálních trhlin) a zóny radiálních trhlin. Oblast nevrtaných deformací se stanovuje jako rotační válec (oboustranně zakončený příslušnou částí kulové vlnoplochy), jehož osa je totožná s osou nálože a výška je rovna délce nálože. Poloměr válce je dán vzdáleností od osy nálože k místu, ve kterém dojde k poklesu tangenciální složky napětí na čele podélné vlny pod hodnotu tahové pevnosti okolních hornin. Vzdálenost, do které způsobuje napěťová vlna nevratné deformace je funkcí výbušinářských charakteristik použité

trhaviny, fyzikálně-mechanických vlastností okolních hornin a jejich primárního porušení. Negativní vliv bezvýlomové trhací práce na propustnost horninového masivu lze vcelku dobře eliminovat správným projektováním trhací práce, tj. vytváření technologického ochranného pásma nad uhelnou slojí nebo podél boků dlouhého důlního díla, jež nebude ovlivněno účinky trhací práce. Samozřejmě by se měla stát likvidace vrtů po trhací práci, a to jejich ucpáním vhodnou ucpávkou (např. PUR pěnou) v oblasti vytvořeného technologického pásma.

Alterace uhelné hmoty v důsledku důlních otřesů a realizace protiotřesové prevence

Důlní otřesy a realizace protiotřesové prevence způsobují v zásadě dva typy alterace uhelné hmoty, a to alteraci fragmentační a alteraci vlhkostní.

Fragmentační alterace se projevuje na uhelné hmotě následkem deformačních projevů důlních otřesů na uhelnou sloj, coby nejslabší stavební jednotky horského masivu. Míra a rozsah drčení uhlí závisí na intenzitě důlního otřesu a také složitosti stavby a míře primárního porušení sloje.

Ke změnám fragmentace uhlí z titulu realizace protiotřesové prevence dochází při aplikaci bezvýlomové trhací práce (zejména ve sloji) a odlehčovacím vrtání, jakožto aktivních preventivních prostředků. Jak již bylo v předcházející kapitole uvedeno, vytváří se v okolí detonující nálože bezvýlomové trhací práce zóna drčení (radiálních trhlin), která dosahuje v závislosti na typu použité trhaviny a fyzikálně-mechanických vlastnostech uhlí dvou až pětinašobku poloměru nálože trhaviny. Vytváření zóny drčení při odlehčovacím vrtání přímo úměrně závisí na stavu napjatosti touto metodou odlehčovaného uhelného pilíře a průměru daného odlehčovacího vrtu.

Samovzněcovací proces uhelné hmoty v zónách drčení je charakterizován nárůstem rychlosti její oxidace v_{ox} [ml O₂.g⁻¹], který je dle (TARABA B. 2003) vyjádřen vztahem:

$$v_{ox} \approx d^{-k} . \quad (5)$$

kde d - střední průměr uhelných zrn, [mm],
 k – exponent kvantifikující míru závislosti oxidační na zrnitosti uhlí.

U černouhelných vzorků fragmentačního rozmezí 0,06 až 1,2 mm se pohybují hodnoty exponentu k v rozmezí hodnot 0,3 až 0,45. Z uvedeného rozmezí vyplývá, že desateronásobné zmenšením hodnoty středního průměru uhelných zrn d je provázáno dvojnásobným až trojnásobným zvětšením oxidačního tepla a hodnota rychlosti oxidace v_{ox} je pak nepřímou úměrná druhé až třetí odmocnině tohoto poloměru. Pro hodnoty $d < 1$ mm není dle (TARABA AT AL. 2005) dynamika teplotní závislosti oxidace nad úrovní kritické teploty samovznícení (90°C) závislá na fragmentaci uhlí. V uvedeném případě jsou aktivační energie, tedy energetické bariéry, které je nutno překonat k možnému průběhu dané oxidační reakce, zhruba stejné jak u hrubší, tak i jemnější fragmentace uhelné hmoty.

Vlhkostní alterace uhlí (zvyšování jeho vlhkosti) je při protiotřesové prevenci způsobeno především aplikací zavlažování uhelných při aktivní způsobu dané prevence. Názory na úlohu vlhkosti uhelné hmoty v oxidačním procesu uhlí jsou mnohdy zcela diametrálně různé a k objektivnímu posouzení této úlohy je nutno vždy přesně

specifikovat typ dané uhelné hmoty a rozsah její vlhkosti. Z hlediska vlivu zavlažování uhelných pilířů na proces samovznícení uhlí je rozhodující fakt, že černá uhlí jsou charakteristická klesající mírou oxidačního tepla v závislosti na rostoucí vlhkosti (výjimku tvoří uhlí hydrofilní). Dynamika této oxidace je dle (TARABA ET AL. 2005) zhruba stejná jak u vlhké, tak i suché uhelné hmoty. Pouze do úrovně kritické teploty samovznícení (90°C) je vývin oxidačního tepla vyšší u suchého uhlí, což je způsobeno postupným vysušováním (původně) vlhkého uhlí s rostoucí teplotou. V této souvislosti stojí za zmínku fakt, že voda je jednou z majoritních zplodin oxidační reakce uhlí a v průběhu této reakce zvyšuje vlhkost i primárně suchého uhlí.

Závěr

Zvyšování propustnosti horského masivu a alterace uhelných slojí související s důlními otřesy a realizací protiořesové prevence představují složitý komplex, často protichůdných hledisek. Eliminace uvedených jevů za účelem prevence samovznícení uhlí či zdolávání důlních požárů je možná jen do té míry, pokud nedochází k omezení ochranných účinků tlumících zón vytvářených bezvýlomovými trhacími pracemi a odlehčovacím vrtáním. Nelze tedy vrty po bezvýlomové trhací práci nebo odlehčovacím vrtání vyplnit v jejich plném objemu injektážními či těsnicími hmotami. Utěšňování zvýšeně propustného masivu je tedy možné např. v okolí uzavíracích hrází či v pilířích izolující výchozí prorážky a porubní chodby v těsné blízkosti od stařin. Mnohdy lze tedy důlními otřesy a protiořesovou prevencí ovlivněnou propustnost horského masivu snížit (a tím ovlivnit hodnoty parciálního tlaku kyslíku v nevětraných důlních prostorách) pouze vhodným rozložením depresí ve větrní síti dolu, nebo využitím inertizačních prostředků.

Z příspěvku popsaných alteračních procesů uhelné hmoty představuje závažnější riziko samovznícení uhlí jen fragmentační alterace. To dokazuje např. vysoce dynamický průběh samovznícení uhlí po důlním otřesu na Dole Lazy, v prorážce 38 708-2(-3) ze dne 6.8.2002, kdy došlo jeho vlivem k fragmentační alteraci uhlí v prorážce a následně dne 4.10.2008 k intenzivnímu důlnímu požáru (svou roli zde sehrál i malý objemový průtok důlních větrů vedený otřesem destruovanou prorážkou a jeho nedostatečný ochlazovací účinek na oxidující uhlí). Dalším důkazem závažnosti tohoto typu alterace jsou časté projevy samovznícení uhlí ve vrtech po bezvýlomové trhací práci či odlehčovacím vrtání v uhelných bocích ražených dlouhých důlních děl.

Literatura

- DOPITA M. ET AL. (1997): Geologie české části hornoslezské pánve. Praha, Ministerstvo životního prostředí ČR
- PĚTUCHOV I. M. & ZAMARSKI B. (1990): Boj proti horským otřesům v uhelných dolech. SNTL, Praha
- POKYNY K (PRACOVNÍ PRAVIDLA) K VYHLÁŠCE ČBÚ Č.659/2004 SB. (2005). Montanex a.s., Báňské publikace, Ostrava
- TARABA B. (2003): Nízkoteplotní oxidace uhelné hmoty. Ostravská univerzita, Ostrava
- TARABA B. ET AL.. (2005): Oxidační proces uhlí z pohledu kritické (prahové) teploty. Uhlí, rudy, geologický průzkum 12, 2005, str. 26-30

Odborné posouzení Ing. Jiří Ptáček, PhD.