

Hodnocení účinnosti trhacích prací pro uvolnění lokálních koncentrací napětí v podmínkách OKR na základě seismologického sledování

Effect Assessment of Destress Rock Blasting on the basis of Seismological Monitoring in Conditions of Ostrava-Karviná Coalfield

P. KONÍČEK & E. MOŘKOVSKÁ

Department of Geomechanics and Geophysics, Green Gas DPB, a. s.

Abstract

Rock blasting in overlaying strata is one of the most important active measures against rock burst. The main goal of that measure is desintegration of competent rock in overlaying strata. The destressing of rock mass in the vicinity of excavated coal seam occurs without attendance of employees. Rock blasting in overlaying strata has had a long tradition in Ostrava-Karvina Coalfield and its use increases. Present evaluation of the effect of rock blasting comes out from comparison between registered seismic energy and theoretic energy evolved from blasting explosive. This approach has been introduced in 90's of last century on base of research of available seismic data. In our contribution the data are analysed from seismological monitoring in period 2005 – 2007. The data here are evaluated by used contemporary system. A new system is proposed and discussed.

Úvod

Důlní otřesy představují významné nebezpečí hornických nebo hornicky prováděných prací v extrémních přírodních a hornických podmínkách po dlouhou dobu (např. STRAUBE 1972, BRÄUNER 1989, ORTLEPP 2005). V podmínkách Ostravsko-karvinského revíru (dále jen OKR) je tomuto problému věnována již téměř 100 let značná pozornost, neboť první zmínky o důlních otřesech v tomto regionu pocházejí již ze začátku minulého století (např. PELNÁŘ 1951, STRAUBE 1972, KONEČNÝ 1988, PĚTUCHOV & ZAMARSKI 1990, KONEČNÝ ET AL. 2003).

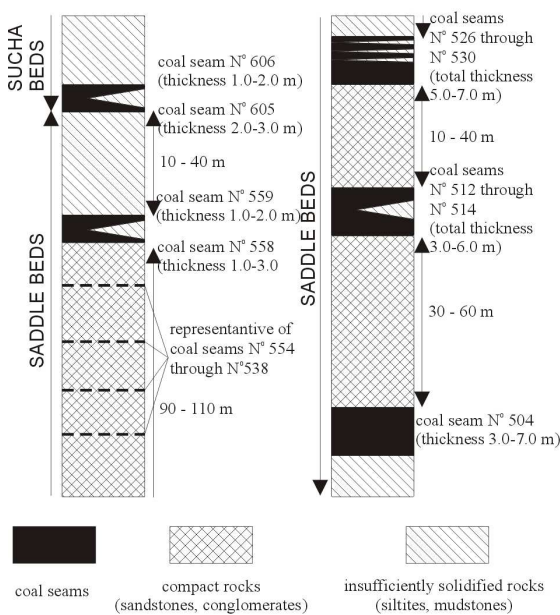
Mezi významná opatření, která jsou realizována za účelem snížení rizika vzniku důlního otřesu, patří tzv. aktivní prostředky protiotřesové prevence. Mezi ně lze zařadit činnosti, kterými ovlivňujeme fyzikálně mechanické vlastnosti stavebních jednotek masivu za účelem uvolnění nepříznivých lokálních koncentrací napětí nebo snížení schopnosti těchto jednotek napětí akumulovat. Opatření takového druhu jsou zejména:

- speciální trhačí práce (v podmínkách české legislativy tzv. bezvýlomové trhačí práce, obvykle velkého rozsahu),
- ovlivňování horského masivu tlakovou vodou

Bezvýlomové trhačí práce v průvodních horninách slouží náležitě bezesporu k nejvýznamnějším z těchto prostředků, neboť jsou, zejména v podmínkách české části hornoslezské pánve, účinně používány v největší míře. Co se týká délek nabíjených vývrtů a velikosti celkově odpalovaných náloží, je možno jejich použití v podmínkách OKR považovat za přinejmenším srovnatelné s poměry v jiných uhelných revírech. Některé zahraniční práce vidí v těchto prostředcích budoucnost pro hornické práce ve velmi obtížných podmínkách a velkých hloubkách (např. BÉTOURNAY AND BOYLE 2002).

Přírodní a hornické podmínky dobývání

Ve východní části OKR se na paralické souvrství usadily vrstvy kontinentální molasy. Na rozdíl od litologického charakteru západní části OKR jsou zde sedimentační cykly výrazně delší a navíc převládají písčité horniny. Pevnosti v tlaku těchto hornin jsou výrazně vyšší než u jílovců a prachovců (DOPITA ET AL. 1997). Ve více mocných lavicích pevných kompetentních hornin dochází pak k vyšší koncentraci napětí než



Obr. 1. Zjednodušený litologický profil sedlových vrstev

Fig. 1. Simplified lithological section of Saddle beds.

litologického typu (např. DOPITA ET AL. 1997).

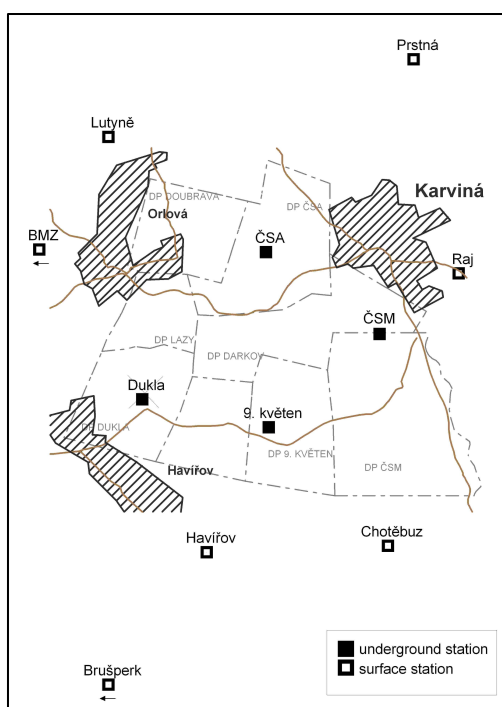
Výsledné rozložení primárního napětí v horském masivu je ovlivněno také strukturálně tektonickou stavbou. Také ta je odlišná v západní a východní části OKR. Zatímco západní část horského masivu je silně provrásněna, postižena častými přesmyky, ve východní části převládá klidné téměř horizontální uložení vrstev a

v jiných částech horského masivu. To se nejvíce projevilo v sedlových vrstvách, které jsou bazální částí karvinského souvrství. Sedlové vrstvy se vyznačují až desítky metrů mocnými lavicemi pevných hornin (pískovců, písčítých prachovců a slepenců). Také sloje jsou mocné řádově až několik metrů. Velké jsou i mezislojové vzdálenosti. Vertikální vzdálenost mezi dobývanými sloji dosahuje někdy až 100 metrů. Pro distribuci napětí je významná i nepravidelná sedimentace s plošně velmi proměnlivou mocností vrstev. Některé části vrstev jsou plošně erodované. Zjednodušený litologický profil sedlových vrstev je uveden na obrázku 1. K nepříznivým vlastnostem z hlediska nerovnoměrného rozložení napětí v horském masivu patří i značné rozdíly mezi pevnostními a přetvárnými vlastnostmi jednotlivých litologických typů hornin ale i rozdíly v rámci jednoho

zlomová stavba se blíží tafrogenní struktuře. Strukturální stavba Karvinské dílčí pánve je tvořena hlavním systémem poklesů s amplitudou desítek až stovek metrů. U mnoha z těchto poklesů můžeme identifikovat i horizontální složku posunu. Strukturálně tektonickou stavbu tvoří dva dominantními směry tektonických poruch. První je ve směru S-J až SSV-JJZ nebo SSZ-JJV a druhý v příčném směru na tento systém je oscilující kolem směru Z-V. Některé ze zlomů se svým původem blíží zavěšeným kloubovým zlomům. Tuto základní strukturálně tektonickou stavbu doplňuje drobná zlomová tektonika podobných směrů. Dalším důležitým strukturálně tektonickým prvkem karvinské dílčí pánve je zóna centrálního přesmyku o amplitudě 10 – 30 m. Původ kompresní struktury je v poslední době předmětem řady výzkumů, např. Grygar et al. 2004.

Kromě výše uvedených geologických vlastností, které primárně ovlivňují distribuci napětí v horském masivu, přispívá k nerovnoměrné koncentraci indukovaných napětí také vlastní hornická činnost. V OKR se dobývá uhlí od druhé poloviny 18. století. Od té doby byly postupně odrubávány sloje směrem do hloubky. Omezení, vyplývající z vývoje dobývacích metod, technického vývoje a ekonomických požadavků často vedla k ponechání nevydobytych partií ložiska. V současné době, kdy se dobývá zhruba 1000 m pod zemským povrchem způsobují všechny výše uvedené faktory velice nerovnoměrné rozložení napěťových polí, což se velmi nepříznivě projevuje při dobývání. Přičteme-li k tomu, že v současné době dobýváme téměř převážně sloje sedlových vrstev, jejichž vlastnosti jsou obecně nejméně příznivé, je v takto zatíženém horském masivu zřejmé vysoké riziko vzniku otřesů.

Seismologický monitoring v podmínkách OKR



Obr. 2. Mapa stanic seismologického monitoringu

Fig. 2. Map of stations of seismological monitoring

Geofyzikální metody jsou v OKR provozně využívány po dobu cca 30 let. Zahrnují především seismologické a seismoakustické metody, jimiž se monitoruje proces porušování horninového masivu při hornické činnosti. Postupně se tyto metody staly nedílnou součástí prognózy vzniku otřesů. Význam geofyzikálních metod spočívá především v jejich využívání při průběžném posuzování napěťodeformačního stavu v horském masivu utvářeného jak geologickými podmínkami, tak i dřívější a současnou hornickou činností. Od devadesátých let minulého století je provozován s menšími úpravami současný systém seismologického monitoringu. Zahrnuje lokální seismologickou síť na každém činném dole v karvinské části OKR, která je vybavena sítí převážně podzemních seismických stanic ve vlastním dobývacím prostoru. Stanice dolů sledují především lokální seismicitu jednotlivých dobývacích prostorů. Z jednotlivých dolů jsou vlnové obrazy

přenášeny on-line do vyhodnocovacího centra Green Gas DPB, a.s. v Paskově (dále jen DPB). Kromě dat lokálních sítí jsou k dispozici také seismická data regionální sítě obklopující OKR – seismický polygon (viz obr. 2). Tuto síť tvoří sedm povrchových a tři podzemní tříslůžkové seismické stanice.

Ve vyhodnocovacím centru DPB jsou veškerá seismická data nepřetržitě sledována a vyhodnocována. Interpretovaná data jsou přenášena zpět na seismická pracoviště dolů, kde se používají k průběžné prognóze otřesů. Pro vybrané oblasti porubů a ražeb se sleduje a interpretuje zejména (Green Gas DPB, a.s, 2005A):

- lokalizace ohnisek seismologických jevů v oblasti důlního díla,
- velikost seismické energie jednotlivých seismologických jevů i celkově vyzařené množství seismické energie za zvolený časový interval,
- změny vývoje seismické aktivity v součtovém (Benioffově) grafu a jeho gradientu ve zvoleném intervalu (denní přírůstek, týdenní směrnice součtového grafu apod.),
- změny energeticko-četnostní distribuce a její vývoj v čase.

Pro významné seismické jevy a důlní otřesy je prováděno jejich detailní vyhodnocení, které zahrnuje zejména (Green Gas DPB, a.s, 2005B):

- mechanismus jevu a zhodnocení animace ohniska,
- rozměry ohniska,
- směrovost vyzařování energie a magnituda.

Kromě makroseismických metod je v nejvíce ohrožených porubech uplatněna také metoda seismoakustická (Green Gas DPB, a.s, 2005C). Provoz porubu je sledován pěti seismoakustickými snímači (čtyřmi umístěnými ve sloji a jedním umístěným v nadložních horninách sloje nebo naopak, podle toho jestli jsou předmětem sledování impulzy ze sloje nebo z nadloží sloje) umístěnými v předpolí postupujícího porubu. Pro interpretaci vývoje seismoakustické aktivity se sledují a zpracovávají:

- lokalizační mapy impulsů (seismoakustických projevů seismologických jevů),
- změny energetických a četnostních parametrů v čase a ve vazbě na prováděnou hornickou činnost (vývoj Benioffova grafu a změny jeho gradientu),
- dotřesové sekvence po silném seismologickém jevu, po ukončení vyuhlování, po trhací práci apod.

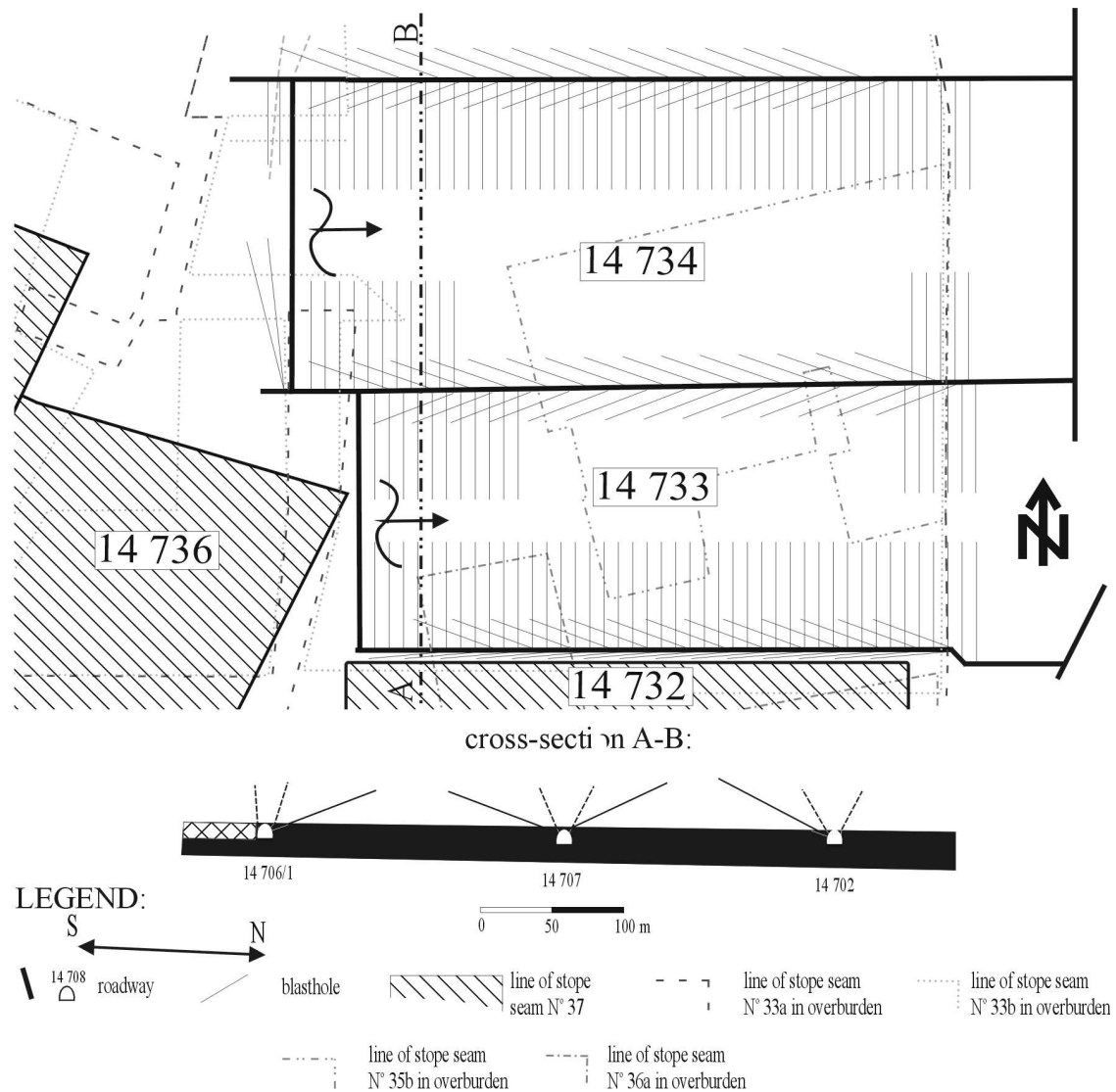
Bezvýlomové trhací práce v různých podmínkách

V současné době lze bezvýlomové trhací práce (dále jen BTPVR) používané v podmínkách OKR, ve vazbě na časový postup hornických prací a jejich geomechanické zadání, rozdělit na následující skupiny:

- trhací práce používané k ovlivnění mechanických vlastností nadložních hornin slojí před zahájením dobývání v porubu,

- trhací práce používané celoplošně při dobývání porubů ve složitých přírodních a hornických podmínkách, zejména v oblastech dobývání sedlových slojí s velkým podílem výskytu mocných vrstev kompetentních hornin v nadložní slojí (např. souslojí 526 – 530),
- trhací práce používané k omezení přenosu koncentrací napětí před postupující hranou porubní fronty do ponechaného ochranného pilíře jam nebo překopů (tzv. odřezávací) v předpolí takového porubu,
- trhací práce používané celoplošně v prostoru ponechaných ochranných pilířů k uvolnění napětí v těchto pilířích dobýváním v jejich okolí.

Příklad takovýchto trhacích prací prezentuje obrázek 3. Jedná se o BTPVR realizované v nadložních horninách sloje 37 ve 4. dobývací kře na Dole ČSA, závod Jan-Karel v celé ploše dobývaných porubů 14 733 a 14 734 pravidelně před postupující hranou porubní fronty. Hodnocením realizovaných BTPVR v OKR se v poslední době zabývala řada autorů (např. DVORSKÝ ET AL. 2003, 2005, PRZECZEK ET AL. 2005).



Obr. 3. Příklad BTPVR naprojektované v porubech 14 733 a 14 734 na Dole ČSA v Karviné
 Fig. 3. Example of rock blasting in longwalls No 14 733 and 14 734 in ČSA Colliery in Karviná

Dosavadní metodika hodnocení účinnosti

Podle platného metodického postupu (Green Gas DPB, a.s, 2005B,D) musí být po realizaci bezvýlomové trhací práce provedeno hodnocení její účinnosti. Trhací práce musí být posouzena z pohledu stanoveného cíle definovaného v geomechanickém zadání (např. za účelem změny mechanických vlastností horninového masivu, uvolnění nebo přeskupení napětí, případně za účelem vyvolání důlního otřesu za nepřítomnosti zaměstnanců).

Posouzení účinnosti BTPVR, jejichž zadáním je usnadnit vytváření pravidelného závalu bezprostředně za zálomovou hranou porubní fronty dobývaného porubu, vychází z komplexního posouzení změn ve vývoji úrovně SL aktivity při vedení příslušného důlního díla před a po BTPVR. Příznivě hodnotíme případy BTPVR, po kterých dochází při vedení příslušného díla (např. postupu porubu) k rovnoměrnému, případně

periodickému vývoji úrovně seismické aktivity sledované oblasti. Velikost uvolněné energie vyvolaných seismických jevů přitom není rozhodujícím kritériem.

Posouzení seismického účinku je rozhodující u těch BTPVR, jejichž zadáním je zejména uvolnění napětí kumulovaného v horském masivu, případně i vyvolání otřesu za nepřítomnosti zaměstnanců. Vychází z posouzení velikosti uvolněné seismické energie a stanovení seismického efektu (SE), jakož i komplexního vyhodnocení dalších údajů seismologického a seismoakustického sledování.

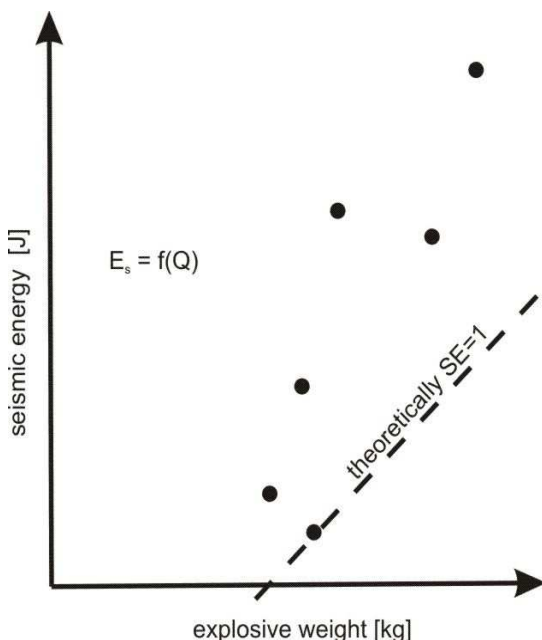
Seismický efekt trhací práce je poměrem seismické energie E_s uvolněné v horském masivu při odstřelu BTPVR (která byla vypočtena z SL záznamů zaregistrovaného seismického jevu) k energii E_Q , která by odpovídala velikosti samotné odpálené nálože. Seismický efekt je jedním z parametrů používaných pro celkové posouzení účinnosti BTPVR.

Pro OKR byl ekvivalent seismické energie (v jednotkách [J]) odpovídající velikosti odpálené nálože o hmotnosti Q (v kg) empiricky stanoven vztahem:

$$E_Q = 2,6 \cdot Q \quad (1)$$

kde $K = 2,6$ je hodnota empiricky stanovené konstanty z řady odpalů pro OKR – viz obr. 4 (KNOTEK ET AL. 1983, 1985).

V tomto empiricky stanoveném vztahu nebylo možno zcela postihnout všechny možné vlivy na proces uvolnění seismické energie v horském masivu, ani vlivy reálného nehomogenního a anizotropního prostředí na šíření seismických vln (na jejich absorpci, útlum, disperzi apod.), ani vlivy provedení samotného odstřelu. Proto se může velikost vypočtené seismické energie pro různé BVTP se stejným množstvím trhaviny částečně lišit.



Obr. 4 Princip stanovení koeficientu K
Fig. 4. Principle of determination of coefficient K

Seismický efekt (SE) lze vyjádřit vztahem:

$$SE = \frac{E_s}{E_Q}, \text{ tj. } SE = \frac{E_s}{2,6 \cdot Q} \quad (2)$$

Jestliže celková energie seismického jevu vyvolaného odstřelem trhaviny převyšuje hodnotu ekvivalentu odpálené nálože, tj. seismický efekt SE dosahuje hodnoty $SE > 1$, pak lze oprávněně očekávat, že došlo k uvolnění mechanické energie z horského masivu. Na druhou stranu však nelze striktně říci, že BTPVR s hodnotou SE menší než 1 byla zcela bez účinku.

Koeficient $K = 2,6$ byl stanoven z grafu závislosti seismické energie, zjištěné ze seismologického monitoringu

a velikosti nálože trhaviny v kilogramech. Účinnost byla stanovena užitím minimálního poměru E_s k použité náloži. Pro $SE = 1$ pak byla stanovena konstanta K (viz obr. 4 – dle KNOTKA ET AL. 1983, 1985).

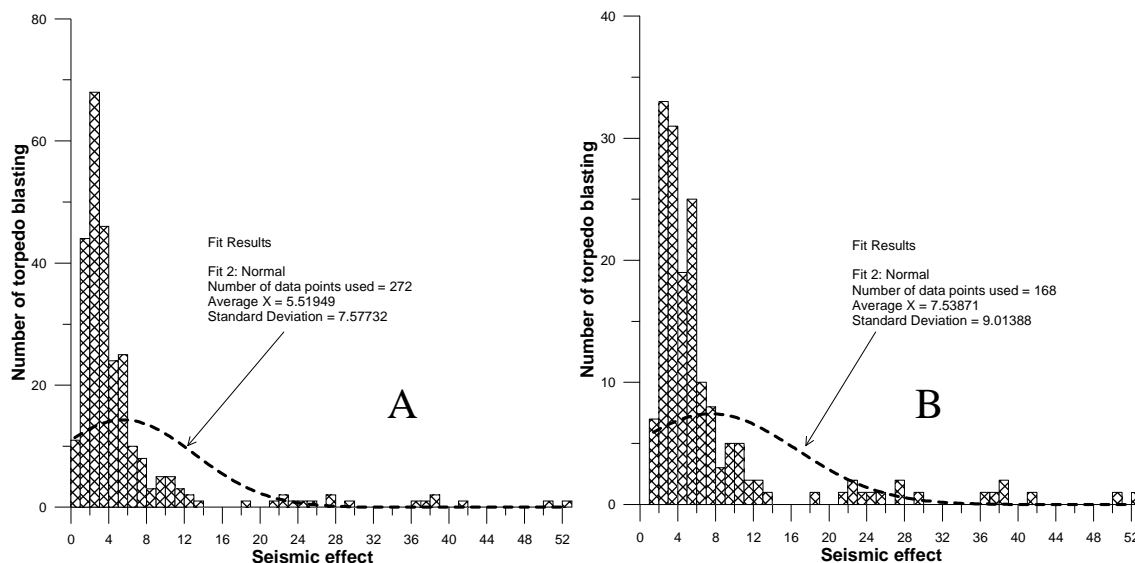
Hodnocení seismického účinku realizovaných BTPVR v období 2005 – 2007

Pro hodnocení seismického účinku realizovaných BTPVR v letech 2005 – 2007 byla použita následující data získaná ze seismologického sledování:

- registrovaná seismická energie,
- magnitudo,
- maximální objemové změny v ohnisku.

První dva parametry jsou získávány pro všechny seismické jevy a maximální objemové změny v ohnisku jsou standardně analyzovány pouze pro energeticky významné jevy (podle užívané metodiky jevy o energii od 1×10^4 J). Podrobnější popis užitých parametrů je proveden dále v textu.

Analýza účinnosti vybraných bezvýlomových trhacích prací v průvodních horninách slojí (s náloží 250 – 4781 kg) byla provedena pro BTPVR za použití obdobného přístupu jaký použil Knotek et al. (1993, 1995). V analyzovaném souboru dat byla nalezena lineární závislost zkoumaných dat a pro nejmenší poměr energie k veličině použité pro hodnocení (energie, magnitudo, max. objemové změny v ohniskové oblasti) byla proložena přímkou rovnoběžná s nalezenou lineární závislostí, pro kterou je uvažováno se seismickým efektem $SE = 1$ (KNOTEK ET AL. 1993, 1995). Na základě poměru hodnocené veličiny a velikosti odpálené nálože byl vypočten koeficient K do vztahu (1) resp. (2). Před zpracováním souboru dat byla analyzována jejich četnostní distribuce a to zejména s ohledem na možnost upravit analyzované soubory dat vyřazením extrémních hodnot. Dále také za účelem prokázat, že bude možné provést porovnání nově vypočtených seismických efektů i ze souboru dat, který neobsahuje všechny BTPVR za analyzované období, protože v případě velikosti objemových změn v ohniskové oblasti jsou tato data přístupná pouze pro energeticky významné seismické jevy (o energii větší než 10^4 J). Při analýze četnostní distribuce seismických efektů BTPVR vypočtených podle stávající metodiky bylo zjištěno, že ve vyšetřovaném souboru dat se většina seismických efektů pohybuje v intervalu maximálně jedné směrodatné odchylky od aritmetického průměru, tzn. v intervalu do hodnoty $SE = 13,1$.



Obr. 5. Histogram seismických efektů (podle stávající metodiky, $K=2,6$, BTPVR 2005-2007)
 A – SE pro všechna data, B – SE pro uvolněnou seismickou energii $> 10^4$ J
 Fig. 5. Histogram of seismic effects (after existing methodology, $K=2.6$, rock blasting 2005-2007)
 A – SE for all data, B – SE for release seismic energy $> 10^4$ J

(viz obr. 5). Dále bylo zjištěno, že od četnostní distribuce seismických efektů BTPVR o registrované energii větší než 10^4 J se od četností distribuce celého souboru dat výrazně neliší (viz obr. 5). Podle našeho názoru je možné soubory dat nově vypočtených seismických efektů (z maximálních objemových změn v ohnisku) porovnat se seismickými efekty vypočtenými z celého analyzovaného souboru dat (energie, magnitudo).

Seismická energie

V centru seismologického sledování jsou k jednotlivým jevům kromě lokace určovány další parametry, ke kterým patří seismická energie. Pojmem seismická energie rozumíme část mechanické energie, která se při vzniku seismického jevu uvolní do prostoru a šíří se z ohniska všemi směry ve formě seismických vln. V průběhu tohoto procesu se pružná deformační energie přeměňuje na další druhy energií, z nichž významnou částí je energie seismická.

Seismická energie je určována pro každou z 10 stanic zvlášť a výslednou hodnotou uvolněné seismické energie (E) je geometrický průměr jednotlivých vypočtených hodnot. Seismická energie jevů registrovaných seismickým polygonem je na jednotlivých stanicích určována dle vztahu odvozeného Knotkem et al. (1997-2002):

$$E = (1/2 \cdot \pi) \cdot \rho \cdot v \cdot d^2 \cdot e^{2\alpha(d-1)} \cdot A^2 \cdot \tau \quad (3)$$

Kde:

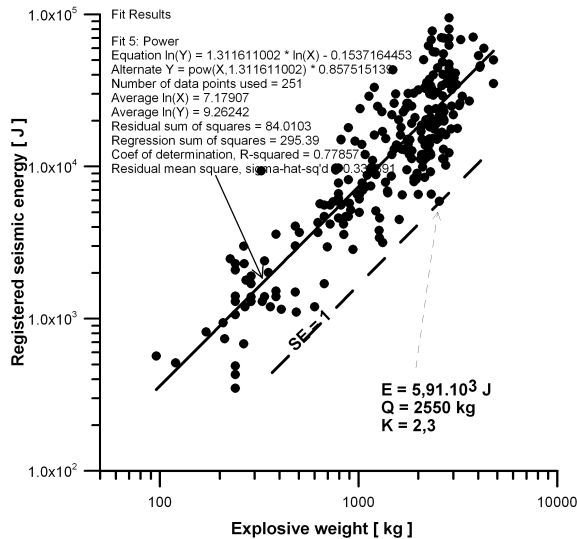
A - maximální amplituda rychlosti

d - vzdálenost ohniska

α - útlum pro P-vlny = 0,006, pro S-vlny = 0,004

ρ - měrná hmotnost prostředí
 v - rychlost šíření vln
 τ - doba trvání

Obrázek 6 prezentuje závislost registrované seismické energie na velikosti odpálené nálože (pro upravený soubor dat na základě analýzy četnostní distribuce – viz výše). Nalezená lineární závislost vykazuje poměrně dobrou hodnotu spolehlivosti ($R^2 = 0,77$).



Obr. 6. Graf závislosti registrované seismické energie a velikosti odpálené nálože trhaviny
 Fig. 6. The relationship between registered seismic energy and explosive weight

Po aplikaci výše popsané metodiky byla v bodě nejmenšího poměru registrované seismické energie a velikosti odpálené nálože proložena přímkou jež charakterizuje seismický efekt = 1, tzn., že je zde aplikován předpoklad, že v tomto případě došlo pouze k uvolnění energie dodané trhavinou. Z hodnot tohoto minimálního poměru byl vypočten nový upřesněný koeficient $K = 2,3$.

Magnitudo

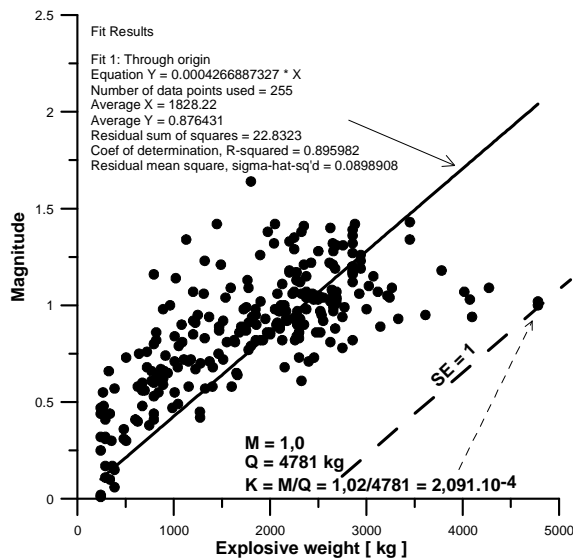
Dalším kvantifikujícím parametrem charakterizujícím energetickou velikost jevu, který je ze seismologického sledování standardně stanovován, je magnitudo. Magnitudo je definováno jako dekadický logaritmus maximální amplitudy (A) vyjádřené v mikrometrech na záznamu standartního krátkoperiodického Wood-Andersonova seismometru v epicentrální vzdálenosti 100 km (RICHTER 1935). Existuje několik způsobů výpočtu magnituda vycházejících z měření různých parametrů seismických jevů při použití funkce kalibrace.

Magnitudo je v našem případě určováno pro každou z 10 stanic zvlášť a přijatou hodnotou magnituda (M) je aritmetický průměr jednotlivých vypočtených hodnot. Magnitudo jevů registrovaných seismickým polygonem je na jednotlivých stanicích určováno dle vztahu odvozeného Knotkem et al. (1997-2002):

$$M = 5,202 \cdot \log A_{vMAX} + \log d + 0,04 \cdot \log e^{(d-1)} \quad (4)$$

Kde:

A_{vMAX} - maximální úplná amplituda rychlosti
 d - vzdálenost ohniska



Obr. 7. Graf závislosti registrované magnitudy a velikosti odpálené nálože trhaviny

Fig. 7. The relationship between registered magnitude and explosive weight

další parametry a pro energeticky významné jevy (viz výše) se provádí následné detailní zpracování, které obsahuje i určení mechanismů ohniska, tedy určení pohybů v ohnisku, určení smykových porušení a objemových změn ohniska. Vycházíme z předpokladu, že objemové změny v ohnisku nám mohou také charakterizovat velikost seismického jevu.

Pro zpracování mechanismu jevů a tedy i zjišťování velikosti změn objemu ohniskové oblasti byl vyvinut program ANIM (KNOTEK ET AL. 1997-2002), který zpracovává rekonstrukci pohybů na okraji ohniskové oblasti seismického jevu. Výstupem tohoto programu je jednak grafické zobrazení pohybů, registrovaných jednotlivými seismickými stanicemi polygonu a deformace jednotkové koule se středem v ohnisku, a jednak numerický výstup.

Numerický výstup obsahuje časový průběh změn celkového objemu ohniska. Změna ohniska se počítá jako střední hodnota odchylek v jednotlivých časových úsecích. Vychází se z naměřených amplitud na jednotlivých stanicích v určitém časovém úseku za použití rastru drátěného modelu, vyhlazování se provádí metodou nejmenších čtverců. Pro pokles amplitudy v závislosti na vzdálenosti se používá vztah:

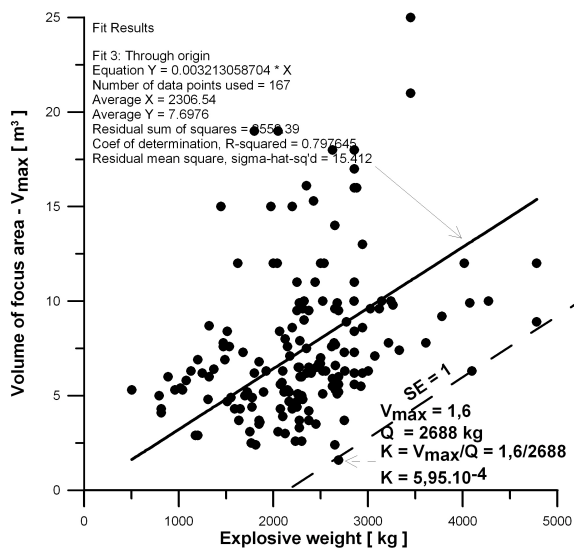
$$A = A_0 / d \cdot e^{-\alpha(d-1)} \quad (5)$$

Obrázek 8 prezentuje závislost maximálních objemových změn ohniska (V_{\max}), přepočtených na jednotkovou kouli, na velikosti odpálené nálože. Nalezená lineární závislost vykazuje poměrně dobrou hodnotu spolehlivosti ($R^2 = 0,79$). Po aplikaci výše popsané metodiky byla v bodě nejmenšího poměru objemových změn v ohnisku a velikosti odpálené nálože proložena přímkou, která charakterizuje seismický efekt = 1, tzn., že je zde aplikován předpoklad, že v tomto případě došlo pouze k uvolnění energie dodané trhavinou. Pro nalezenou hodnotu minimálního poměru byl vypočten koeficient $K = 5,95 \cdot 10^{-4}$.

Obrázek 7 prezentuje závislost registrované magnitudy na velikosti odpálené nálože. Nalezená lineární závislost vykazuje poměrně vysokou hodnotu spolehlivosti ($R^2 = 0,89$). Po aplikaci výše popsané metodiky byla v bodě nejmenšího poměru registrované magnitudy a velikosti odpálené nálože proložena přímkou, která charakterizuje seismický efekt = 1, tzn., že je zde aplikován předpoklad, že v tomto případě došlo pouze k uvolnění energie dodané trhavinou. Z hodnot tohoto minimálního poměru byl vypočten koeficient $K = 2,091 \cdot 10^{-4}$.

Maximální objemové změny ohniska

Jak již bylo uvedeno, ze stanic seismického polygonu jsou určovány i

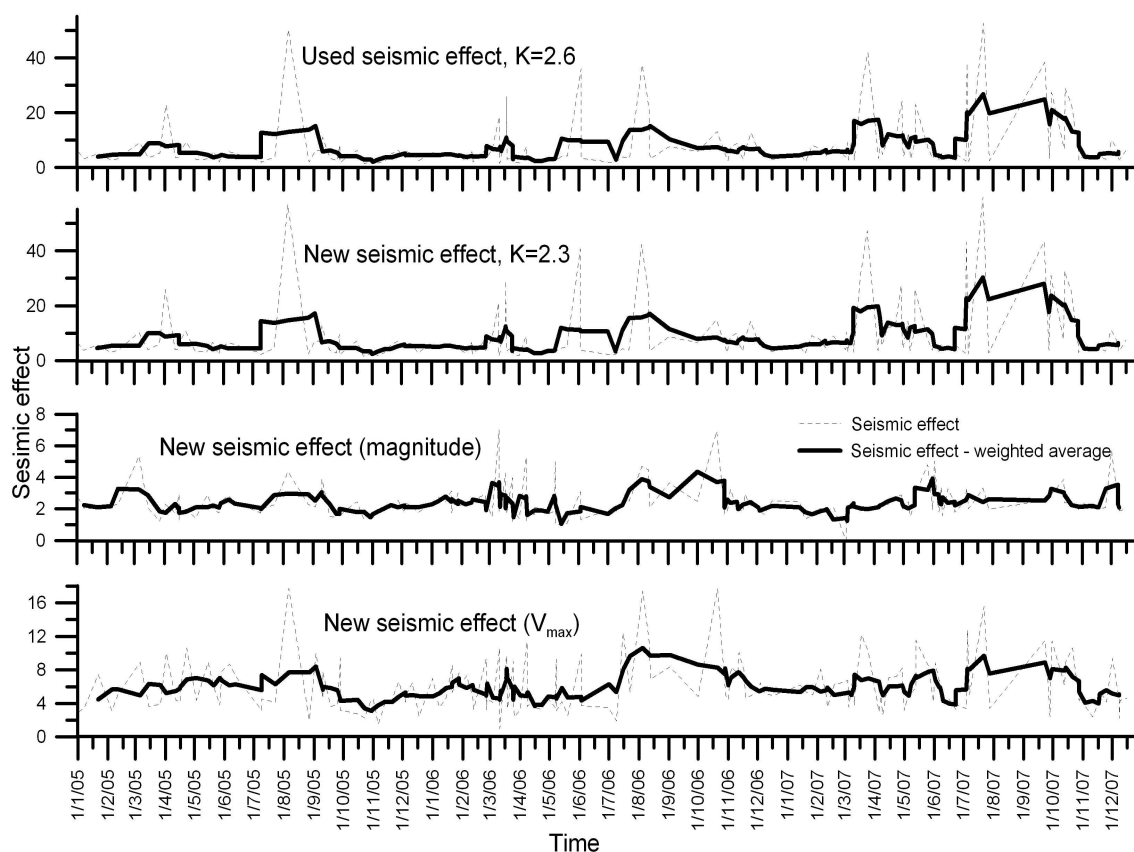


Obr. 8. Graf závislosti maximálních objemových změn ohniska a velikosti odpálené nálože trhaviny
 Fig. 8. The relationship between volume of focus area and explosive weight

Závěr

Za účelem korelace nově vypočtených seismických efektů s vypočteným seismickým efektem podle dosud užívané metodiky byl sestaven graf, který je prezentován na obrázku 9. Na vodorovné ose byla vynesena časová osa období realizace BTPVR a na svislých osách jednotlivé vypočtené seismické efekty, podle použitých parametrů (seismická energie, magnitudo, maximální objemové změny v ohniskové oblasti). Pro možnost dobře zobrazit porovnání vypočtených seismických efektů na relativně krátké časové ose a z důvodu dostupnosti dat pro všechny registrované BTPVR byly v grafu zobrazeny pouze seismické efekty pro BTPVR s registrovanou seismickou energií větší než 10^4 J. Z porovnání můžeme vyvodit následující závěry:

- Z analýzy použitých dat vyplývá, že pro hodnocení účinnosti je možné principiálně využít všechny analýze podrobené parametry, tzn. jak současně použitelnou registrovanou seismickou energii, tak magnitudo i maximální objemové změny v ohniskové oblasti.
- Seismický efekt vypočtený z registrované seismické energie a maximálních objemových změn v ohniskové oblasti vykazuje větší výkyvy než seismický efekt vypočtený za použití magnituda, čemuž odpovídají i vypočtené hodnoty spolehlivosti.
- V případě nově vypočteného koeficientu K (2,3) a hodnocení účinnosti BTPVR na základě registrované seismické energie je obraz průběhu vypočtených seismických efektů logicky shodný, neboť bylo použito stejné veličiny pro hodnocení účinnosti (seismická energie). Vlivem stanovení menšího koeficientu (K) z analyzovaného souboru dat, došlo pouze k mírnému posunu směrem k vyšším hodnotám stanoveného seismického efektu (cca 12 %).
- Pokud ke stanovení konstanty K do vztahu (1) resp. (2) použijem výše uvedené přístupu bude vždy záležet na velikosti souboru analyzovaných dat. Pro jiný použitý soubor dat může být nalezena odlišná lineární závislost nebo nalezeno jiné minimum. Na základě nalezeného minima bude vypočten upřesněný koeficient K.
- Rozbor podmínek realizace BTPVR z výrazně většími vypočtenými seismickými efekty ukazuje, že se jedná ve velké většině případů o několik málo vybraných lokalit, u kterých byly významné efekty dosahovány celkem pravidelně (BTPVR např. při postupu porubu v okolí ochranných pilířů, dobývání porubů o malé šířce, dobývání porubů podél ponechaných pilířů v exploatované sloji apod.)



Obr. 9. Porovnání vypočtených seismických efektů BTPVR
 Fig. 9. Comparison of calculated seismic effect of rock blasting

Předložená analýza představuje pokus, analyzovat hodnocení účinnosti BTPVR za pomoci vypočteného seismického efektu z dat seismologického sledování jiným způsobem než dosud. Výše prezentovaný příspěvek chápeme jako začátek obsáhlejší analýzy hodnocení účinnosti BTPVR jednak pomocí stávající platné metodiky, ale také podklad k diskusi o použití dalších, zde navrhovaných parametrů získaných ze sesimologického monitoringu. Na základě dostupnosti poměrně velkého množství dat bude v budoucnu možné analyzovat další vlastnosti parametrů použitých pro výpočet seismického efektu mezi něž můžeme zařadit např. rozptyl hodnot jednotlivých parametrů stanovovaných na jednotlivých seismických stanicích, vlastnosti používaných trhavin příp. průměr odpalovaných vývrtů (resp. množství odpálených trhavin na objem ovlivňovaného masivu) apod. Bude rovněž vhodné rozdělit BTPVR na jednotlivé druhy diskutované výše., To usnadní analýzu dat jednotlivých BTPVR realizovaných v obdobných geomechanických podmínkách. Navrhovaný postup rovněž umožní vyčlenit výrazně nepříznivé otřesové podmínky v nichž byly BTPVR realizovány (výrazné seismické efekty).

Literatura

BÉTOURNAY, M., LI, G. AND BOYLE, R. (2002): The application of stress reduction halos for deep mining extraction. Division Report CANMET-MMSL 05-032 (TR), CANMET Mining and Mineral Sciences Laboratories, Natural Resources Canada, Ottawa, pp. B123-B136.

- BRÄUNER G.: Gebirgsschläge und ihre Verhütung. Verlag Glückauf GmbH, Essen, 1989
- DOPITA M. (1997): Geologie české části hornoslezské pánve, MŽP ČR, Praha.
- DVORSKY P., KONICEK P., MORKOVSKA E., PALLA L. (2003): Rock blasting as a rockburst control measures in the safety pillar of SW crosscuts at Lazy colliery in Orlová. In Proceedings of the 10th International scientific-technical conference Rockbursts 2003, Ustron, 12-14 November 2003, Central mining institute in Katowice, pp. 37 - 45.
- DVORSKY P., KONICEK P. (2005): Systems of Rock Blasting as a Rock Burst Measure in the Czech Part of Upper Silesian Coal Basin. In Proceedings of the Sixth International Symposium on Rockburst and Seismicity in Mines, Perth, Western Australia, 9-11 March 2005, Australian Centre of Geomechanics.
- GRYGAR R., WACLAWIK P., JELINEK J., PTACEK J., KONICEK P. (2004): Easternmost Thrust Tectonic of Czech Part of Upper Silesian Coal Basin, Geolines, Vol.17, p 36-38, Proceedings of the 9th Meeting of Czech Tectonic Group, 2th Meeting of the Central European Tectonic Group, Lucenec, Slovakia
- KNOTEK S. AT AL. (1983, 1985): Výzkum geomechanického hodnocení horninového masivu geofyzikálními metodami, Dílčí a závěrečná zpráva výzkumného úkolu SP ZV II-6-1/2.09 11 381, VVUÚ Ostrava Radvanice.
- KNOTEK S. AT AL. (1997-2002): Seismologická aktivita OKR. Nепublikované zprávy, OKD, DPB, a.s
- KONEČNÝ P. (1988): Mining Induced Seismicity (rock burst) in the Ostrava Karviná Coal Basin, Czechoslovakia. Gerlands Beitr, Geophysik, leipzig, No. 986, pp. 525-547.
- KONEČNÝ, P., VELIČKA, V., ŠŇUPÁREK, R., TAKLA, G. AND PTÁČEK, J. (2003): Rockbursts in the Period of Mining Activity Reduction in Ostrava – Karviná Coalfield. ISRM 2003 – Technology Roadmap for Rock Mechanics, South African Institute of Mining and Metallurgy.
- GREEN GAS DPB, A. S. (2005A): Metodický postup GF/05/SL – Kontinuální seismologické sledování v průběžné prognóze vzniku důlních otřesů na dolech OKR
- GREEN GAS DPB, A. S. (2005B): Metodický postup GF/05/SA – Kontinuální seismoakustické sledování v průběžné prognóze vzniku důlních otřesů na dolech OKR
- GREEN GAS DPB, A. S. (2005C): Metodický postup GM/05/TP – Trhací práce
- ORTLEPP W.D. (2005): RaSiM Comes of Age – A review of the Contribution to the understanding and Control of Mine Rockbursts, In Proceedings of the Sixth International Symposium on Rockburst and Seismicity in Mines, Perth, Western Australia, 9-11 March 2005, Australian Centre of Geomechanics.
- PELNAŘ A. (1951): Uhlí: základní surovina, Průmyslové vydavatelství, Praha
- PĚTUCHOV I. M. & ZAMARSKI B. (1990): Boj proti horským otřesům v uhelných dolech, SNTL, Praha
- PRZECZEK A., DVORSKY P., KONICEK P. (2005): System of rock blasting in boreholes diameter more than 100 mm as a rockburst measure. In Proceedings of the 12th International scientific-technical conference Rockbursts 2004, Ustron, 21-24 November 2005, Central mining institute in Katowice.
- STRAUBE R. A KOL (1972): Důlní otřesy v karbonském pohoří, SNTL, Praha

Odborné posouzení Ing. Jiří Ptáček, PhD.