Jak souvisí seismicita s rychlostí postupu porubu v otřesových slojích?

What is the relationship between seismicity and rate of advance in the shock coal seams?

L.TRÁVNÍČEK[1], M.MEKIŇA[2]

[1] *DUKAN, s.r.o. Havířov*
[2] *Důl ČSA, a.s. Karviná*

Abstract

The connection between the genesis of rockburst and the intensity of the mining activity is generally known. The more intensively the deposit is mined, the greater is the risk of rockburst. Undoubtedly, a fast face advance generates a sudden and rapid change of the rock massif stress state and, consequently, a greater danger of the rockburst rise. Stopping mining, enabling an accumulation of potential energy necessary for the rise of the dynamic seismic event (rockburst), may be often accompanied by an intensive seismic event rise. The present – day software enables continuous observation of the seismicity of the service area in the existing seismological system in the OKR mine information system for needs of a continual rockburst rise prediction. The software also makes it possible to provide parameters two of which are most significant for the solution of the given problem. These two significant parametr are: daily seisismicity values´ inerease and daily fast face advance apparent from Benioff´s summary graph. However, these computer date outputs provide us only with a quantitative viewpoint concerning these corelations. This paper documents an attempt to quantify these corelations, regardless of the contemporary software´s disability to make this attempt possible.

Úvod

Seismicita, jako pojem, vyjadřující počet, intenzitu (energii) a charakter dynamických jevů včetně určení jejich ohnisek v časové posloupnosti, je bezesporu objektivním kriteriem, posuzujícím otřesovost ložiska, významným parametrem průběžné prognózy důlních otřesů v OKR. Souvislost vzniku důlních otřesů s intenzitou hornické činnosti je všeobecně známá - čím je otřesové ložisko razantněji dobýváno, tím je riziko vzniku otřesů vyšší. Odpověď na otázku, uvedenou v názvu přednášky, není rozhodně jednoduchá. Je nepochybné, že rychlý postup porubu vytváří náhlou a rychlou změnu napěťového stavu horského masivu a tedy větší nebezpečí vzniku otřesů. Jistěže tomu tak není vždy, protože stejně tak lze říci, že nebezpečí vzniku otřesů je vysoké

u nepravidelného postupu porubu, případně jeho zastavení, umožňujícím kumulaci potenciální energie, nutné pro vznik dynamického seismického jevu (důlního otřesu).

Ze statistických údajů o počtu důlních otřesů za období 12 let (1993 – 5/2005) – v (KONEČNÝ P. ET AL. 2001, BIELIK M. ET AL. 2005) vyplynulo, že:

- cca 60 % otřesů vzniklo při aktivní hornické činnosti (dobývání, ražení, trhací práce, odlehčovací vrtání, přesun porubních sekcí),
- cca 27 % otřesů vzniklo ve směnách bez aktivního zásahu do uhelné sloje (údržba, instalační práce, příprava, doprava a zajišťování výztuže),
- cca 10 % ve směnách neobsazených (při střídání směn),
- cca 3 % při neprovozování důlního díla.

Tyto statistické údaje, s významným počtem otřesů mimo aktivní hornickou činnost, do značné míry zkreslují platnost obecně známých souvislostí intenzity exploatace se vznikem otřesů, protože neobsahují údaje o ohniscích otřesů, jejich vzdálenosti od konkrétního důlního díla a nezohledňují reologické chování masivu (retardačního porušování).

Seismicita při dobývání porubů č. 4 4061 a 1 4066

I když oba poruby byly vedeny ve sloji č. 40 (Prokop), nacházejí se v jiných dobývacích krách (i závodech), a tedy i v jiných geologických a hornicko-geomechanických podmínkách. Uvádíme zde pouze nejstručnější popis, bez mapových podkladů, poněvadž je nepovažujeme, vzhledem k charakteru příspěvku, za podstatné.

Geologické a hornické podmínky – porub č. 4 4061

Sloj č. 40 ve 4. kře je na východě omezena poruchovým pásmem Hlubinské poruchy (cca 75°/5 m), na jižní straně poruchovým pásmem Centrálního přesmyku (amplituda až 36 m) s několika jeho průvodními větvemi zasahujícími do 4. kry. Západní omezení je dáno ochranným pilířem centrálních jam resp. překopů 9. patra. Severní hranici tvoří Eleonorská porucha (70 – 80°/30 m). Porub č. 4 4061 je situován v centrální části 4. kry a je druhým dobývaným porubem.

Sloj č. 40 je v ploše 4. kry subhorizontálního uložení s průměrným úklonem 7° severovýchodním až východním směrem a průměrnou mocností 5,4 m, přičemž je postižena částečnou erozí směru S – J projevující se snížením mocnosti sloje až na 2,4 m. V bezprostředním nadloží sloje č. 40 je lokálně zaznamenán výskyt sloje Prokůpek, který dosahuje mocnosti až 1 m a je od sloje č. 40 vzdálen 0,2 – 2,5 m. Nadloží sloje č. 40 je dále tvořeno 1,5 – 2,0 m mocným prachovcem, následují mocné lavice slepence a pískovce s 2 až 3 m polohami písčitého prachovce. Celková vzdálenost sloje č. 40 od sloje č. 39 se pohybuje od 45 m do 60 m. Podloží sloje č. 40 je tvořeno taktéž prachovcem o mocnosti 1,5 – 2,0 m, následují polohy písčitého prachovce až prachovce a to až po ostravské souvrství.

Výchozí prorážka porubu č. 4 4061 se nachází cca 10 – 50 m od stopy Hlubinské poruchy ve sloji č. 40. Jižně od tohoto porubu byl v letech 2002 – 2004 vydobyt porub č. 4 4059.

V nadložní sloji č. 39 byly vydobyty 2 poruby v letech 1997 - 2002. Nad ní byly v přímém nadloží porubu č. 4 4061 vydobyty ve 37.sloji 3 poruby na plnou mocnost a 1 porub ve spodní lávce. Všechny tyto výruby ve sloji č. 37 jsou starší než 5 let, tedy bez ochranného účinku.Výše položené nadložní sloje č. 34b a 32b byly vydobyty nepravidelně.

Geologické a hornické podmínky – porub č. 1 4066

Porub č. 1 4066 ve sloji č. 40 se nachází v západní části 1. a 2. kry důlního pole Doubrava. Porub je vymezen na západě pozicí porubu č. 1 4064, na severu průběhem poruchy Doubravský zlom, na východě Hlubinskou poruchou .

Bezprostřední nadloží 40. sloje je tvořeno vrstvou prachovce mocnou až 800 cm, nad níž se nachází nebilanční sloj Prokůpek a dále vrstvy různorodých pískovců až slepenců o průměrné mocnosti cca 45 m. Následuje 39. sloj, která je částečně vydobyta, dále cca 20 m až 40 m mocná poloha pískovců a následuje vydobytá 37. sloj.

Podloží 40. sloje je tvořeno kořenovým prachovcem s vysokým podílem křemene, bezprostředně pod slojí č. 40. Níže pak pokračují prachovce až písčité prachovce. Ve vlastní 40. sloji se místy vyskytuje proplástek o mocnosti 0 cm až 60 cm. Sloj č. 40 je uložení subhorizontálního s úklonem 5°-10° k severu.

Porub č. 1 4066 je třetím dobývaným porubem v 1. kře, ve sloji č. 40. Výchozí prorážka se nachází cca 5 – 70 m od poruchového pásma Hlubinského zlomu ve sloji č. 40. Západně od porubu č. 1 4066 byl v letech 11/2005 – 3/2007 vydobyt porub č. 1 4062.

V nadložní sloji č. 39, vzdálené cca 50 m, byly vydobyty 4 poruby v letech 2002 až 2003. Další nadložní sloj č. 37 byla v přímém nadloží porubu č. 1 4066 dobývána 4 poruby v letech 1992 až 2000. Poměrně čisté vydobytí těchto porubů s méně významnými zbytkovými pilíři má ochranný účinek na dobývání porubu č. 1 4066. Výše položené nadložní sloje č. 34b a 33a byly vydobyty nepravidelně.

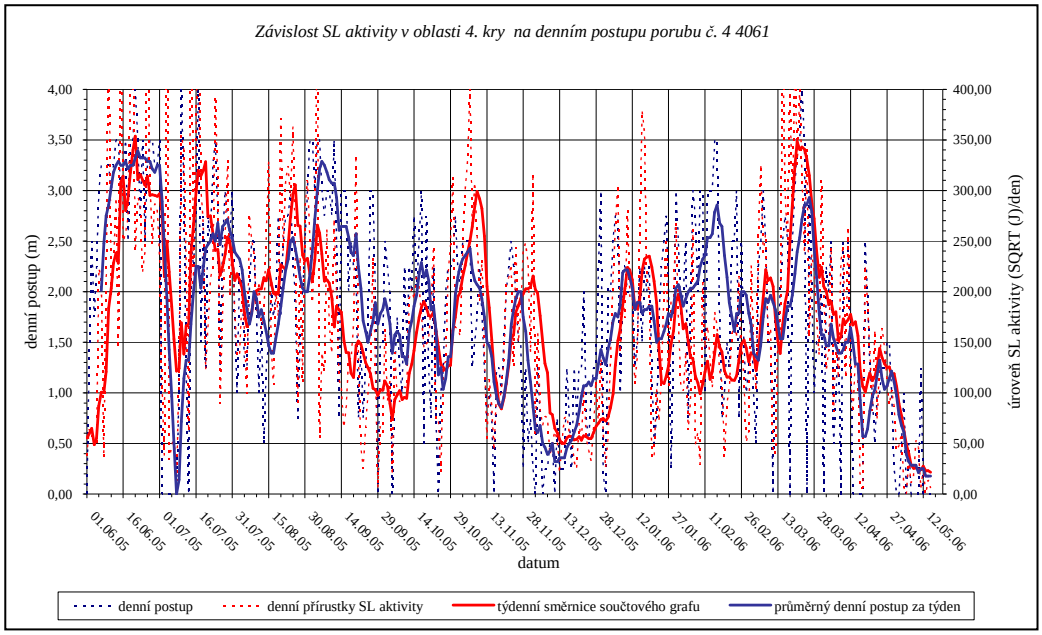
Porovnáme-li geologické a hornicko-geomechanické podmínky dobývání uvedených porubů, jejich odlišnost ve stavbě a vlastnostech horského masivu, existenci zbytkových pilířů v nadloží, existenci ochranného účinku vydobytých slojí v nadloží, docházíme nutně k prognóznímu závěru, že vyšší seismicitu a tedy větší závažnost ohrožení otřesy lze očekávat při dobývání porubu č. 4 4061.

Sledované parametry seismicity (seismologické aktivity)

Současný software umožňuje v existující optimální seismologické síti OKR a jejím informačním systému sledovat průběžně seismicitu zájmové oblasti pro potřeby průběžné prognózy a zjišťovat řadu parametrů, z nichž jsou pro řešení daného problému nejvýznamnější denní přírůstky seismicity**,** případně změny směrnic součtového grafu v závislosti na průměrném denním postupu porubu. Příklady počítačových výstupů při dobývání 40.sloje v různých dobývacích krách – 4. a 1. jsou uvedeny na obr. 1. a 2. Oba výstupy jsou schopny podat pouze kvalitativní pohled na tyto souvislosti seismicity s intenzitou dobývání.

Oba uváděné příklady jsou přitom principiálně odlišné. Seismicita porubu 4 4061 – obr. 1. vykazuje zvýšené hodnoty až 370 $J^{1/2}$ a až na nepatrné výjimky stagnace seismicity dokládá soulad s rychlostí postupu porubní fronty. Tato přímá závislost je

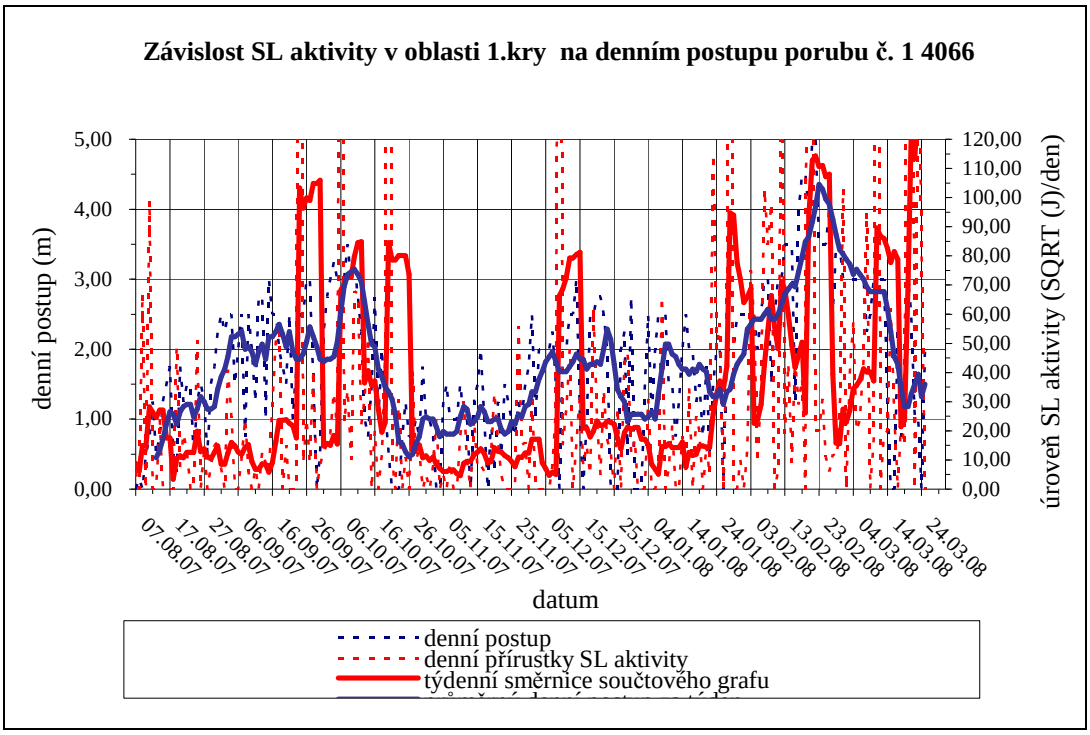
více než zřejmá a odpovídá teoretickému předpokladu, že intenzivnější dobývání (rychlejší postup porubu) vytváří náhlou a rychlou změnu napěťového stavu masivu a tedy intenzivnější porušování a tím i větší nebezpečí vzniku intenzivních seismických jevů (otřesů) a naopak.



Obr. 1. Seismicita při dobývání porubu č. 4 4061
Fig. 1. Seismicity values – mining of the working face No. 4 4061

Oba uváděné příklady jsou přitom principiálně odlišné. Seismicita porubu 4 4061 – obr. 1 vykazuje zvýšené hodnoty až 370 $J^{1/2}$ a až na nepatrné výjimky stagnace seismicity dokládá soulad s rychlostí postupu porubní fronty. Tato přímá závislost je více než zřejmá a odpovídá teoretickému předpokladu, že intenzivnější dobývání (rychlejší postup porubu) vytváří náhlou a rychlou změnu napěťového stavu masivu a tedy intenzivnější porušování a tím i větší nebezpečí vzniku intenzivních seismických jevů (otřesů) a naopak.

Seismicita porubu 1 4066 – obr.2 vykazuje většinou nízké hodnoty do 120 $J^{1/2}$ a dokumentuje významnější kvalitativní změny v průběhu dobývání, neboť kromě souladu s rychlostí postupu porubu jsou zde období, (konkrétně 3. dekáda září 2007, 2. dekáda října, 1. dekáda prosince, 3. dekáda ledna 2008 a 1.dekáda března), s poměrně vysokými hodnotami seismicity, bez přímé závislosti na vyšší rychlosti postupu porubu.



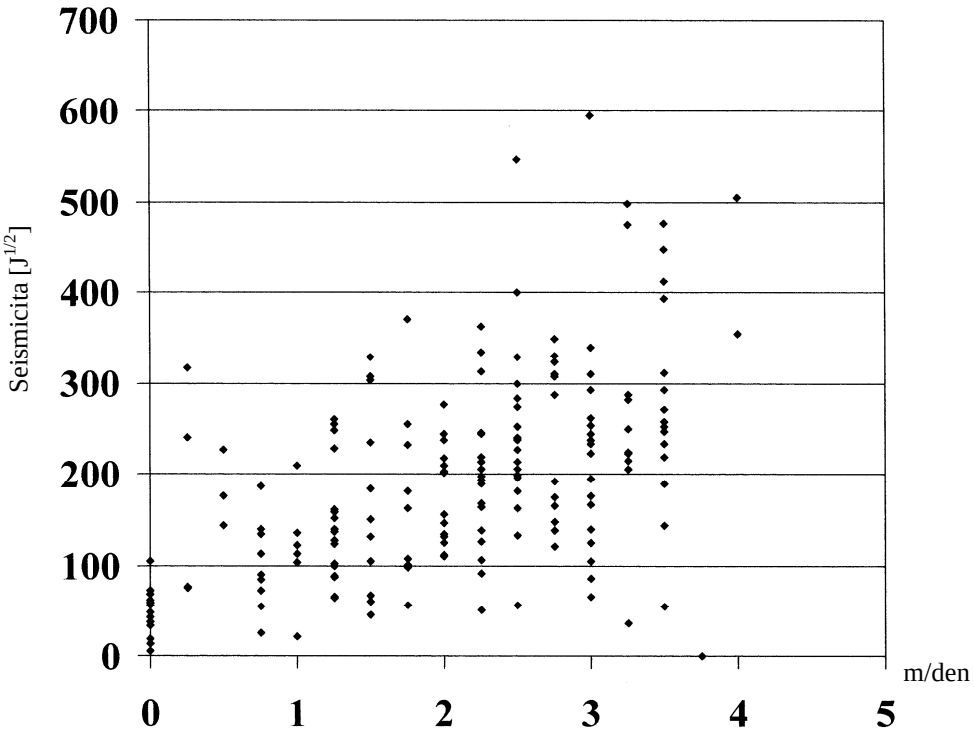
Obr. 2. Seismicita při dobývání porubu č. 1 4066
Fig. 2. Seismicity values – mining of the working face No. 1 4066

Kvantifikovat konkrétněji tyto odlišnosti současný software však nedovoluje. Nový přístup ke kvantifikaci spočívá v následujícím:

a) z počítačových výstupů – tab. 1., ze zadaných údajů geofyzikem-operátorem seismického pracoviště dolu, ručním výpisem parametrů seismicity (denních přírůstků a denních směrnic SL aktivity), se nejdříve zobrazí graficky závislost na rychlosti postupu porubu v bodovém grafu – obr. 4 a.b,

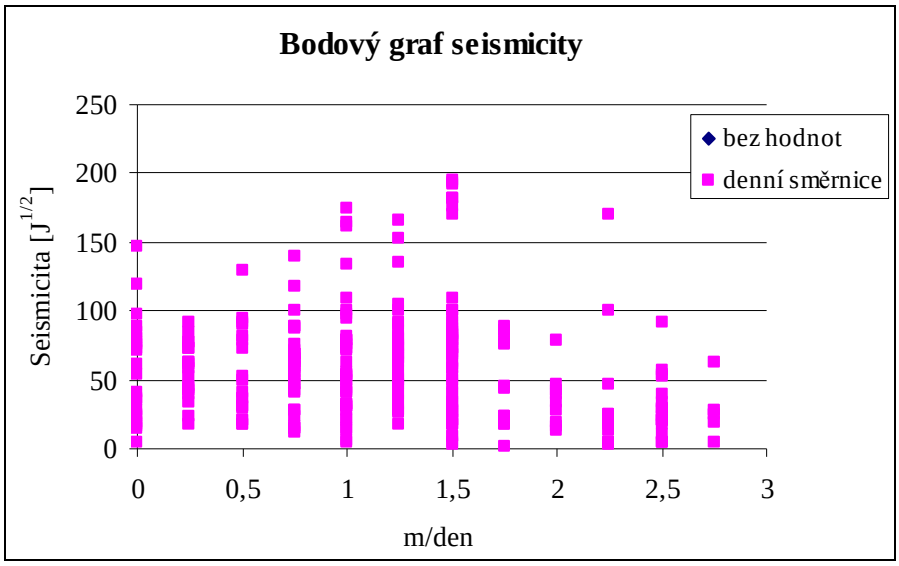
Tab. 1. Příklad počítačového výstupu
Tab. 1. Example of the computer data output

Denní postupy R-1 4066 Doubrava					
Datum	**Stan. úvod**	**Stan. výduch**	**Prům. postup**	**Denní přírůstky**	**Směrnice**
07.08.07	737,30	738,00	0,00	6,00	8,9
08.08.07	737,00	738,00	0,15	0,00	6,1
09.08.07	737,00	738,00	0,00	67,00	14,9
10.08.07	736,50	737,50	0,50	0,00	14,9
11.08.07	735,50	737,50	0,75	99,00	28,2



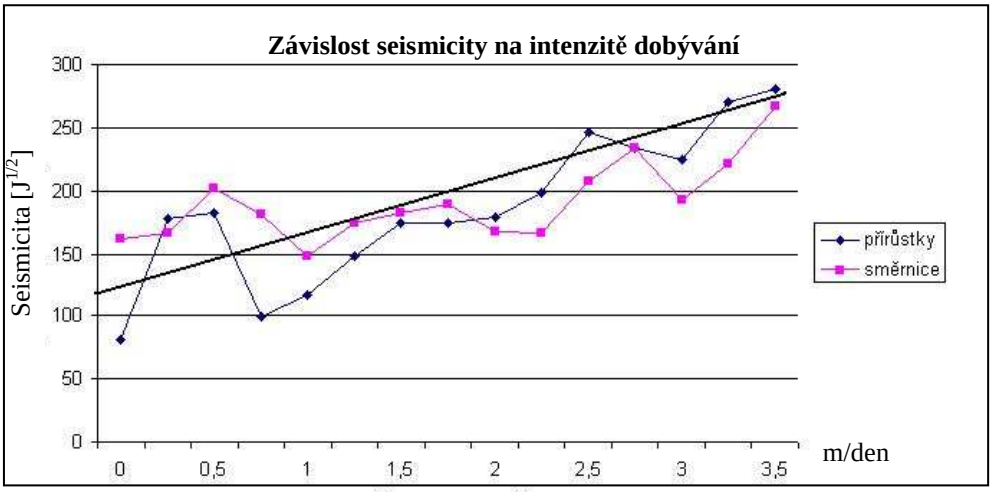
Obr. 4a) Denní přírůstky SL aktivity ($J^{1/2}$) v závislosti na denním postupu porubu č. 4 4061
Fig. 4a) Daily increases in value of SL activity (J½) in dependence on daily rate of the face advance No. 4 4061

Tato závislost, zpracovaná v bodovém grafu, naznačuje na první pohled, že hodnoty této vzájemné závislosti vykazují zřejmý trend růstu seismicity s rychlostí postupu porubu v denním přírůstku - obr. 4a (málo zřetelný je u denních směrnic – obr. 4b), i když body vykazují v obou parametrech poměrně velký rozptyl. Např. hodnoty 70 až 600 $J^{1/2}$ při rychlosti postupu 3 m za den, nebo naopak při malém postupu porubu dosahuje seismicita hodnot 0 – 320 $J^{1/2}$. To je jen důkazem toho, že k uvolňování vyšších energií formou intenzivnějších seismických jevů (zde jevy s energií až 1.10^5 J) dochází i mimo vlastní dobývání, bez aktivního zásahu do uhelné sloje (údržba, příprava, instalační práce, střídání směn apod.), zřejmě z důvodu reologického chování masivu a retardace uvolňování seismické energie.



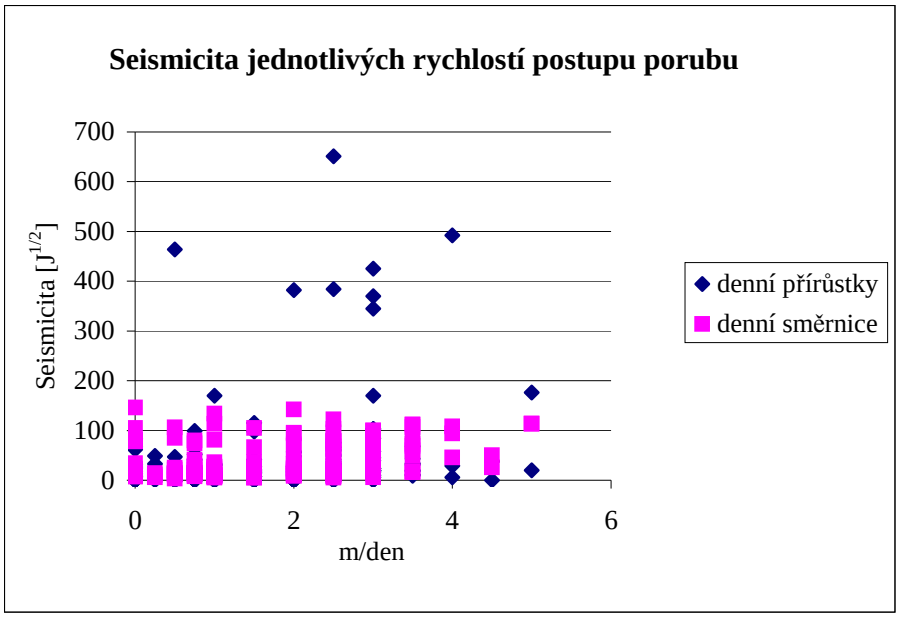
Obr. 4b) Denní směrnice SL aktivity ($J^{1/2}$) v závislosti na denním postupu porubu č. 1 4062
Fig. 4b) Daily slope in value of SL activity (J½) in dependence on daily rate of R-JK face advance No. 1 4062

b) z průměrných hodnot parametrů seismicity pak lépe vynikne trend přímo úměrné její závislosti na rychlosti postupu porubu – viz obr 5. V denních přírůstcích je tato zřejmá lineární závislost vyjádřitelná směrnicí (gradientem) $g_1 = 50\ J^{1/2}.\ m^{-1}$ (platí pouze pro tento konkrétní případ dobývání porubu, v jiných analyzovaných případech byl zjištěn gradient v mezích 20 až 120 $J^{1/2}.m^{-1)}$.



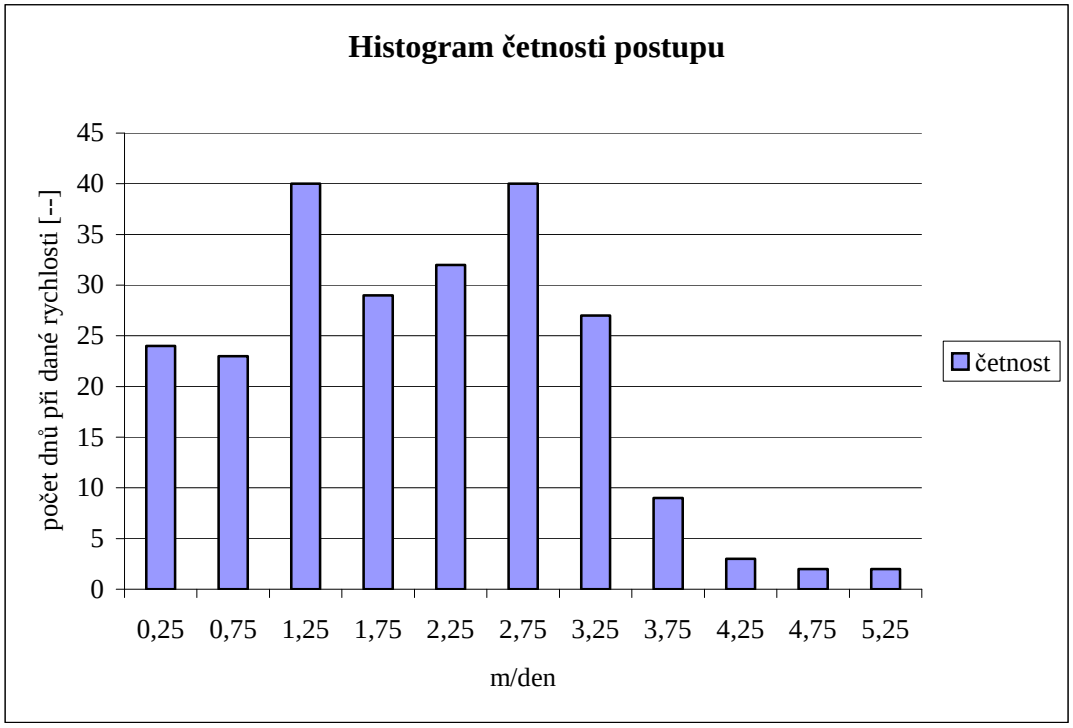
Obr.5. Závislost průměrných hodnot seismicity (denních přírůstků a směrnic /$J^{1/2}$/) na rychlosti denního postupu porubní fronty č. 4 4061. Gradient závislosti 50 $J^{1/2}.m^{-1}$.
Fig.5. Dependence of the seismicity avarage values on rate of daily face advance No. 4 4061. Dependence gradient 50 $J^{1/2}.m^{-1}$.

Podobně, s cílem kvantifikace zkoumané závislosti, byly zpracovány údaje o seismicitě při dobývání porubu č. 1 4066. Příklady jsou dokumentovány na obr. 6. a 8.



Obr. 6. Bodový graf záznamu seismicity při dobývání porubu č. 1 4066
Fig. 6. Point graph of a seismicity record-mining of the working face No. 1 4066

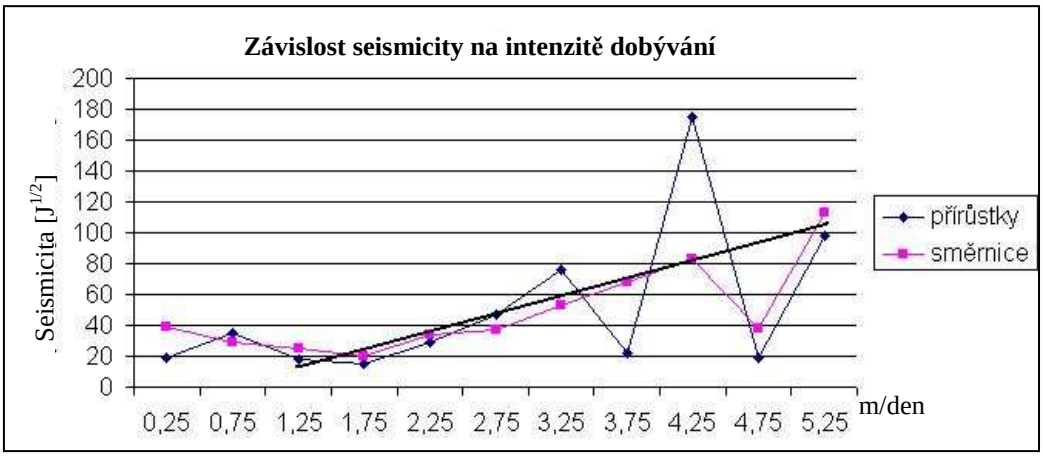
Tento zpracovaný výstup je názorným příkladem seismicity, která naopak (na rozdíl od obr. 4a) nevykazuje v bodovém grafu žádný výrazný trend jejího růstu s vyšší rychlostí postupu porubu. Jevy vyšších energií (zde až $4{,}2.10^5$ J) se vyskytují nahodile i při nižší intenzitě (rychlosti) dobývání a seismicita blízká nule byla zjištěna i při vyšších rychlostech postupu - nad 4m/den. Do této odlišnosti seismicity se promítá kromě rozdílných geologicko-geomechanických podmínek a reologického chování nadloží 40. sloje i vlastní intenzita a technologie dobývání. Jednou z možností její dokumentace představuje histogram četnosti dnů s dobýváním různou rychlostí postupu - obr. 7.



Obr. 7. Počet dnů dobývání porubu č. 1 4066 při rychlostech postupu 0,25 až 5,25 m/den
Fig. 7. The number of days needed by mining of the working face No. 1 4066 - rates of face advance from 0,25 to 5,25 metres per day

I když tento histogram nemá s kvantifikací seismicity přímou souvislost, podává přehled o nejčetnějších rychlostech dobývání (rychlostech postupu porubu). Významný je počet 21 dnů bez dobývání (+3 dny s postupem 0,25 $m.den^{-1}$), což činí přes 9 % z celkové doby vedení porubu. Zanedbatelný je počet dnů intenzivního dobývání s postupem nad 4 $m.den^{-1}$, cca 3%.

Nejvhodnější způsob kvantifikace řešeného vztahu „seismicita-intenzita dobývání“ je grafické vyjádření závislosti průměrných hodnot seismicity (aritmetických průměrů denních přírůstků a denních směrnic) na jednotlivých rychlostech postupu porubu.Výsledek tohoto zpracování je dokumentován na obr. 8., který může být vhodně konfrontován s výsledky na obr. 5. Kvantifikace řešeného vzájemného vztahu je vyjádřena gradientem přímkové závislosti. Zatímco při dobývání porubu č. 4 4061 činí jeho hodnota 50 $J^{1/2}.m^{-1}$, u porubu č. 1 4066 je podstatně nižší = 22 $J^{1/2}.m^{-1}$, tedy že tento porub je mnohem méně „seismologicky citlivý“ na intenzitu dobývání. Co to v praxi znamená**:** z hlediska bezpečnosti lze příznivějšího seismického vyzařování formou otřesových jevů dosáhnout v porubu č. 4 4061 při nižších rychlostech postupu porubu, zatímco seismicita při dobývání porubu č. 1 4066 je na rychlosti postupu téměř nezávislá. Pro objektivizaci těchto závěrů je zajisté nutno provést komplexní hodnocení geologických, geomechanických i důlně technických podmínek.



Obr. 8. Seismicita při dobývání porubu č. 1 4066 - gradient 22 $J^{1/2}.m^{-1}$
Fig. 8. Seismicity values - mining of the working face No. 1 4066. Gradient 22 $J^{1/2}.m^{-1}$

Dílčí hodnocení

Cílem navrhovaného způsobu statistického zpracování parametrů seismicity ve vztahu k rychlosti postupu porubní fronty bylo potvrdit, případně vyloučit existenci užší souvislosti seismicity s rostoucí intenzitou dobývání. Byla přitom ověřována i možnost kvantitativního ocenění této závislosti. Ke statistické analýze byly z celé řady parametrů seismologické registrace využity hodnoty denních přírůstků a denních směrnic Benioffova součtového grafu uvolňování seismické energie, s jejich dalším ručním zpracováním, jelikož tuto analýzu současný software neumožňuje.

Bodový graf parametrů seismicity při jednotlivých rychlostech postupu porubu je základním obrazem jak existence intenzivních otřesových jevů i za klidového režimu porubu - přerušení dobývání, tak obrazem seismicity u vyšších rychlostí dobývání. Teprve zpracování gradientu změn průměrných hodnot denních směrnic však umožnilo tuto souvislost seismicity a intenzity kvantifikovat.

Pozn.: denní přírůstky vykazují mnohem větší rozptyl v této závislosti, protože se zde promítají jednotlivé intenzivní jevy v průběhu 24 hodin svými vysokými hodnotami.

Závěr

Seismicita a intenzita dobývání představuje jeden z nejvýznamnějších problémů nejen prognostických, ale i technologických. Provedené verifikační analýzy potvrzují správnost nového metodického přístupu k hodnocení těchto souvislostí. Analýza prokázala, že v gradientu průměrných hodnot seismicity se „zrcadlí“ reakce napěťového stavu horského masivu (uhelné sloje) na intenzitu zásahu do sloje. Čím je tento gradient vyšší, tím je tato závislost výraznější, opravňující snížit nebo nezvyšovat rychlost postupu porubu a umožnit tak masivu pozvolné a nenásilné přetváření, s nižším výskytem intenzivnějších dynamických jevů.

Máme za to, že výsledků lze úspěšně využít zejména při znaleckém posuzování vztahu seismicity a intenzity dobývání, s určením optimálního denního postupu každého konkrétního porubu a pro odborné rozhodování o možnostech rychlejšího postupu bez rizika zvýšení otřesového nebezpečí.

Literatura

KONEČNÝ P. ET AL. (2001): Prognóza důlních otřesů, příčiny jejich vzniku a metody prevence. Závěrečná zpráva k řešení projektu č.2. Ústav Geoniky AV ČR Ostrava

BIELIK M. ET AL. (2005): Inovace metod prognózy v systému prevence důlních otřesů v karvinské části OKD. Etapová zpráva k řešení projektu č. 105/04/0926

TRÁVNIČEK L., KNOTEK S., HOLEČKO J., VAJTER Z. (1990): Význam a účinnost informačního seismologického systému v protiotřesovém boji v OKR. Časopis Uhlí, roč. 38, č.8-9 SNTL Praha, s. 350-356

TRÁVNÍČEK L., HOLEČKO J., KNOTEK S. (1992): Seismický polygon - moderní systém monitorování seismicity OKR. Sbor.konf. Nové poznatky v mechanice hornin, VŠT Košice

Metodické postupy protiotřesové prevence v dolech OKR. Geofyzikální metody prognózy otřesů. Báňské předpisy XI, svazek 2. Zpracoval OKD, DPB a.s. Paskov, vydal Montanex, a.s. 1996.

Odborné posouzení Doc. Ing. Petr Konečný, CSc.