

Zpřesnění lokalizace seismických jevů v OKR

Improvement of the Seismic Events Localization in Ostrava-Karviná Coal Basin

J. HOLEČKO

Green Gas DPB, a.s., Paskov, Czech Republic

Abstract

From halves year 2006 proceed solving project research and development No. 44-06 of Czech bureau of mines intent on solving problems „Protection staff before rockbursts in coal mines in long working and determine measures at inquest hazardous state at lead and running mining ordnance with the aim of hamper rockbursts". Main solvable of these project is Institute of geonics ASCR, v.v.i. in cooperation with Green Gas DPB, Inc. The stage No. 5 conten of Project No. 44-06 is „Proposition of system and interpretation of seismological monitoring for precisng of valuation height localization of seismic event foci". Within framework of solving the stage No. 5 was evaluated the present level of seismologigal networks in the Karviná part of OKR from viewpoint of detection possibility and localization accuracy and summary of possibility, how to improve localization accuracy especially in vertical direction (coordinate „ Z"). For areas with seismic active with possibility of occurrence rockbursts with foci in high hanging wall were prepared the proposition of adjustment seismological monitoring, to achieve better three dimensional localization of seismic events foci and better determination range with increasing stress concentration. Adjustment in monitoring and software issue from current apparatus and programming support in mines OKD, Inc. and at guarantee compatibility with at the present time used seismological monitoring in OKR. For conditions of Karviná part of OKR were prepared the data set and was tried out software for three - dimensional (3D) display localization of seismic event foci. The display in 3D areas makes it possible to better diagnosis of areas of seismic event foci and more accurate determination position, in which is needfulness locate the active resources of rockbursts prevention.

Úvod

Řešení etapy č. 5 probíhalo v období od července 2006 do března 2008, navázalo na dřívější práce výzkumu a vývoje ČBÚ zaměřené na řešení problematiky důlních otřesů v OKR (KONEČNÝ ET AL. 2001) a (KONEČNÝ ET AL. 2004). Na řešení zpřesnění lokalizace ohnisek seismických jevů s ohniskem v nadloží a realizaci navržených opatření na dolech OKD, a.s. se budou práce pokračovat i v dalším období bez ohledu na ukončení etapy č. 5 Projektu č. 44-06. V počáteční fázi byla provedena rešerše

dostupných údajů ve vztahu ke zpřesnění interpretace seismologického monitorování se zaměřením na stav v OKR, v dalších seismologických sítích v České republice a zejména v polské části hornoslezské pánve, ze kterých bylo možno čerpat podklady a údaje v dalším průběhu řešení (TRÁVNÍČEK & HOLEČKO & KNOTEK 1992; TRÁVNÍČEK & KNOTEK & HOLEČKO 1995; HOLEČKO J. & PTÁČEK 1995; HOLEČKO & PTÁČEK 1999; HOLEČKO ET AL. 1999; TAKLA ET AL. 2005). Detailně jsou výsledky těchto prací shrnuty v závěrečné zprávě o řešení etapy č. 1 „Vstupní informace a získání základních údajů“, která byla ukončena ve 3. čtvrtletí 2007.

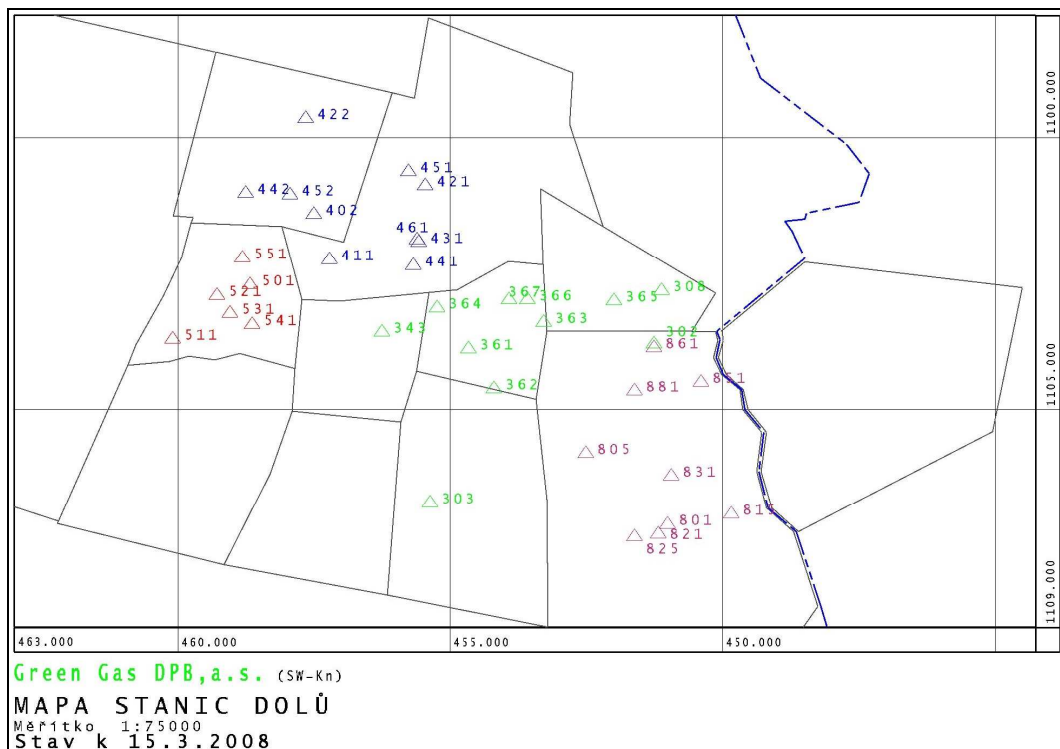
Seismické sítě v OKR

V současné době jsou v OKR provozovány seismické stanice:

- lokální síť (stanice dolů provozované v dobývacích prostorech v karvinské části OKR),
- regionální síť - Seismický polygon Green Gas DPB, a.s.,
- stanice při Báňské měřické základně v Ostravě-Krásném Poli.

Stanice při Báňské měřické základně v Ostravě-Krásném Poli byla uvedena do provozu v letech 1979-80. Seismometry byly později přemístěny do štol Seismického polygon (viz Obr. 2, označení BMZ). Stanice rutinně poskytovala informace pro potřeby OKD, a.s. od r. 1983 do roku 1994, v současnosti pracuje v národní síti Geofyzikálního ústavu AV ČR (ZEDNÍK & PLEŠINGER & PAZDÍRKOVÁ 2004).

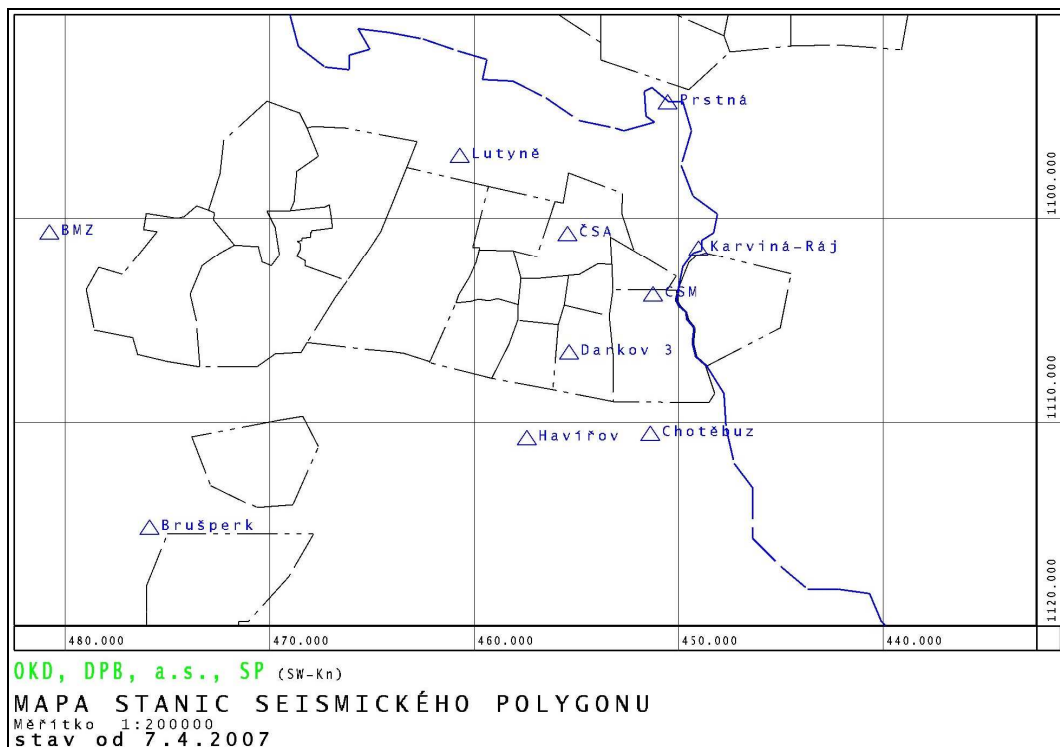
Současný stav rozmístění stanic lokální sítě, tj. stanic provozovaných jednotlivými doly pro sledování vlastních dobývacích prostorů, je uveden na Obr. 1. V devíti dobývacích prostorech tří dolů je nyní provozováno 35 stanic, z nich je 33 podzemních. Stanice byly budovány od roku 1979, v první polovině 90. let minulého století byly vybaveny digitálními aparaturami UGA-SL (VVUÚ Ostrava-Radvanice), a vertikálními seismometry SM-3. Vyhodnocování dat společně se stanicemi Seismického polygonu probíhá od r. 2002 ve vyhodnocovacím centru na Green Gas DPB, a.s. v Paskově. Během řešení Projektu č. 44-06 byl odinstalovány stanice v dobývacím prostoru Dukla po ukončení hornické činnosti. Naopak nové stanice byly postaveny na dolech Darkov a ČSM (na stejném pilíři jako stanice SP přemístěná z dobývacího prostoru Dukla – viz dále), nová stanice byla instalována na Dole ČSA v dobývacím poli Jan-Karel ve 3. kře a jedna stanice na Dole ČSA v dobývacím poli Doubrava byla přemístěna (dvě stanice se k přemístění připravují v současné době). Lokalizační schopnost lokální sítě se nyní pohybuje v rozmezí energií od 2×10^1 J do 1×10^2 J, lokalizační přesnost v oblastech dobře pokrytých stanicemi je cca 100 m jak v horizontální složce tak v určení hloubky. V oblastech méně pokrytých stanicemi však přesnost lokalizace klesá a lokalizační chyba může dosahovat i hodnoty 200 m.



Obr. 1. Seismické stanice lokální sítě (stav v březnu 2008)
 Fig. 1. Seismic stations of the local area network (state on March 2008)

Současný stav regionální sítě – aktuální rozmístění stanic Seismického polygonu dokumentuje Obr. 2. Seismický polygon byl do trvalého provozu uveden k 1. 1. 1992. Zahrnuje celkem deset stanic vybavených třísložkovými snímači se seismometri WDS-2Hz a digitální aparaturou Lennartz Electronic. Šest povrchových stanic je se snímači v mělkých vrtech z povrchu pro snížení poměru signál/šum, sedmá je ve štole při Báňské měřické základně v Ostravě Krásném Poli. Tři důlní referenční stanice pro navázání sítě SP na lokální síť stanic jsou v podzemí dolů karvinské části OKR - viz také (HOLEČKO & MOŘKOVSKÁ & SUCHANEK 2007).

V roce 2007 byla přemístěna jedna podzemní stanice v souvislosti s uzavřením dobývacího prostoru Dukla – s ohledem na očekávaný útlum hornické činnosti na západě karvinské části OKR byla přemístěna na rozhraní Dolu Darkov (PZ závodu 2 – Darkov) s Dolem ČSM (dobývací prostor závodu Sever). Praktické zkušenosti ukazují, že i po přemístění důlní stanice z dobývacího prostoru Dukla na demarkaci dolů ČSM a Darkov je v současnosti lokalizační schopnost sítě SP v hodnotě seismické energie v rozmezí od 2×10^2 J (centrální oblast karvinské části OKR) do 2×10^3 J (u oblastí hůře pokrytých stanicemi na okrajích karvinské části OKR). Mnohdy jsou stanicemi zaznamenány i jevy slabší bez možnosti spolehlivé lokalizace. Lokalizační přesnost sítě SP je cca 250 m jak horizontálně, tak v určení hloubky ohniska.



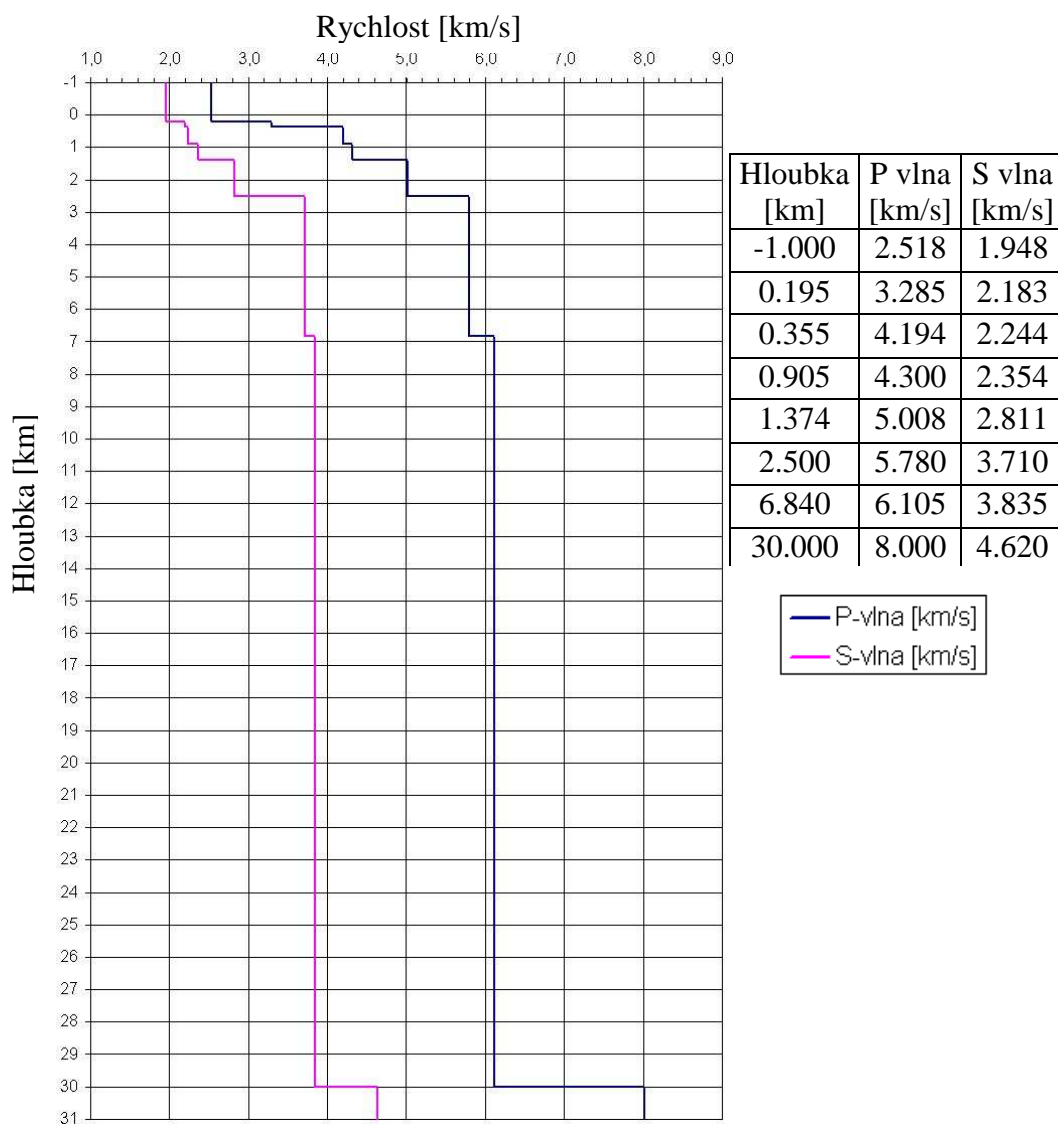
Obr. 2. Rozmístění stanic SP (stav v březnu 2008)

Fig. 2. Seismic stations of the regional network Seismic polygon (state on March 2008)

Rychlostní model prostředí

Z důvodů dále uvedených se zmíníme pouze o rychlostním modelu prostředí používaném ve vyhodnocovacích programech Seismického polygonu.

V současnosti je pro lokalizaci stanicemi SP používán model s označením „model 07“, který je uveden na obrázku 3. Tento rychlostní model prostředí předpokládá prostředí složené ze sedmi homogenních vrstev na poloprostoru a skokový nárůst rychlostí šíření P a S vln s hloubkou.



Obr. 3. Rychlostní model prostředí používaný SP
 Fig. 3. Seismic waves velocity – the model used in SP

Možnosti úpravy systému seismického monitorování

Zejména změny v rozložení povrchových stanic Seismického polygonu se vzhledem k odhadovaným finančním nákladům na technické řešení (investice v řádu desítek milionů) ukazují jako nereálné.

Protože rozložení stanic lokální sítě se ukázalo, že není všude optimální, a to jak z hlediska jejich počtu, tak z hlediska jejich prostorového rozmístění, byla situování seismologických stanic v karvinské části OKR v průběhu řešení etapy č. 5 věnována hlavní pozornost. Protože lokalizace seismických jevů probíhá centrálně v centru na SP v Paskově, řešili jsme zejména tento komplexní pohled, ale snažili jsme se postihnout i možnosti úprav pro zlepšení lokalizační přesnosti sítě v rámci jednotlivých dolů.

Při výběru lokalit pro změny v rozmístění stanic, které by vedly k co nejspolehlivější registraci a nejpresnější lokalizaci seismických jevů, jsme realizovali:

- geomechanickou analýzu oblastí předpokládané hornické činnosti v dalším období (v časovém horizontu několika nejbližších let),
- určili oblasti bez hornické činnosti, resp. oblasti s hornickou činností v částech horského masivu bez nebezpečí výskytu otřesů (ve smyslu platné legislativy),
- vytipovali oblasti, ve kterých při dalším vedení důlních děl lze očekávat (s vysokou pravděpodobností) největší nebezpečí otřesů z vyššího nadloží.

Pro vytipování částí horského masivu (části ker či dobývacího prostoru) při vedení důlních děl nejnebezpečnějších (s vysokou pravděpodobností) vznikem důlních otřesů z vyššího nadloží jsme dále provedli analýzy z hlediska seismologického sledování:

- výběr ohniskových oblastí největší seismické aktivity (musí navazovat na analýzu geomechanickou),
- výběr oblastí s výskytem energeticky nejsilnějších seismických jevů s ohniskem vysokém nadloží.

Zaměřit SL sledování a zajistit co nejpresnější lokalizaci ohnisek seismických jevů z nadloží je nutno zejména u geomechanicky nejsložitějších oblastí, jako např. jsou oblasti na styku dvou dobývacích prostorů (ker), oblasti výchozích prorážek podél výrazných tektonických poruch, oblasti ochranných pilířů jam, překopů a základů (dále jen OCHP) apod. – lze předpokládat dosažení analogicky vysoké úrovně seismické aktivity v oblastech, které jsou stejně nebezpečně predisponované z hlediska výskytu otřesů.

Na druhou stranu vybrané lokality seismologických stanic musí být vhodné i z hlediska možností výstavby (vedení a dostupnost důlních děl v dané oblasti, složitost důlních podmínek a z toho plynoucí omezené prostorové možnosti rozmístění stanovišť) i technické realizace stanice, dostupnost napojení na seismickou kabeláž atd. Rovněž nutno zohlednit, že sledované oblasti hornických prací budou samy zdrojem rušení, a že je nutno minimální vzdálenost stanovišť od vedených důlních děl volit tak, aby na záznamech bylo možno na pozadí seismického šumu seismické jevy identifikovat. Podle našich, ale i polských zkušeností, z hlediska přesnosti lokalizace jsou lepší stanoviště i o několik set metrů od ohniska vzdálenější, než stanoviště blízká ohnisku, ale s výrazně horším poměrem (signál/šum). Zejména v případě potřeby registrovat i slabé SL jevy s možností jejich dostatečně přesné lokalizaci je nutno zvolit stanoviště s nízkým šumem.

Technické možnosti úpravy lokální sítě

Byl zpracován přehled o stavu a možnostech využití stávajícího technického SL zařízení jednotlivých dolů pro rozšíření počtu seismických stanic nebo pro přemístění některých stávajících seismických stanovišť. Tento přehled byl zaměřen na počty instalovaných a z toho počtu volných kanálů jiskrově bezpečných bariér, sběrných částí aparatury UGA-SL (A/D převodníků) a seismometrů SM-3. V průběhu řešení Projektu

č. 44-06 v souvislosti s úplnou obměnou původních SL aparatur lokální sítě, kterou na dolech OKD, a.s. provádí Green Gas DPB, a.s., došlo k zásadním úpravám registračního zařízení – nahrazení celé sběrné části novým zařízením. V této souvislosti nutno uvést, že aparatury UGA-SL od svého vzniku jak po stránce HW, tak SW (operační systém DOS a programové vybavení vytvořené pro tento OS) zastaraly, muselo dojít k jejich inovaci. Nejprve probíhala obměna jednotlivých částí HW, od roku 2006 pak probíhal vývoj inovované verze SL aparatury již s operačním systémem Windows XP. Sběrné části aparatur (s novým 16-bitovým A/D převodníkem, GPS modulem pro získávání přesného času, programovým vybavením pod Windows XP) byly na doly OKD, a.s. instalovány v průběhu roku 2007 – viz Tab. 1. Vývoj programového vybavení vyhodnocovací části SL aparatury (její inovace po stránce HW již byla postupně realizována) probíhá nyní: nové programové vybavení pod OS Windows XP bude ukončeno a jeho instalace proběhne v roce 2008. Programové vybavení pro sběr prvotních dat (vlnových obrazů) a jejich přenos do centra SP, stejně jako zpětný přenos výsledků vyhodnocování (denní databáze SL jevů) na seismická pracoviště dolů v síti OKD-NET, je již rovněž instalováno a provozně využíváno. Současný stav instalovaného a dostupného technického vybavení jednotlivých dolů je v Tab. 1.

Tab. 1. Počet dostupných kanálů SL aparatur a seismometrů lokální sítě (stav březen 2008)

Tab. 1. SL apparatus and seismometers in local area network (state on March 2008)

Důl	Počet kanálů				Seismometry		Poznámky – provedené úpravy
	Jiskrově bezpečná bariéra		Sběrné části aparatury UGA-SL		SM-3		
	typ JBB/ počet kanálů	volných	typ A/D převodníku/ počet kanálů	volných	Počet (počet stanic)	volných	
Darkov	CIA-1D/ 16	5	16-bit/ 16	5	11	3	nasazení nové sběrné aparatury od 11/2007
Lazy	CIA-1K/ 16	10	16-bit/ 16	10	6	3	nasazení nové sběrné aparatury od 6/2007
ČSA	CIA-1D/ 11	2	16-bit/ 11	2	10 (9 důlních)	2	po sloučení SL stanic Doubrava a Jan-Karel do jediné sítě, úpravy HW a nasazení nové sběrné aparatury od 12/2008
ČSM	SLGT-1 povrchový demodulátor/ 2x5 kanálů	1	16-bit/ 16	6	9 SLGT-1 důlní modulátor 9x1 kanál	1	nasazení nové sběrné aparatury od 9/2007, telefonní přenos

Obdobně byl zpracován přehled rozvodů seismické kabeláže. Na Dolech Darkov (oba závody), Lazy a ČSA (oba dobývací prostory) jsou pro kontinuální SL a SA sledování používány oddělené rozvody důlní kabeláže – samostatné sdělovací kabely, které jsou vyčleněny výhradně pro sdružená měření aparaturami geofyzikálními

aparaturami, tj. aparaturou UGA-SL (lokální seismologická síť), aparaturou UGA-SA (seismoakustická kontinuální sledování porubů) a aparaturou L5800 (seismický polygon). Na Dole ČSM je pro účely kontinuálního SL (rovněž pro SA) sledování využíván standardní telefonní důlní rozvod s využitím důlních modulátorů SLGT-1, ke kterým jsou v dole připojeny jednotlivé snímače SM 3 (8x1 kanál). Na povrchu jsou signály z dolu přivedeny do povrchové části SLGT-1 s demodulátory (2x5 kanálů) a dále do sběrné části aparatury UGA-SL. Z hlediska zapojení další seismologické stanice do sítě Dolu ČSM je tedy řešení technicky poměrně jednoduché jak v současnosti tak v budoucnu jsou na tomto dole hlavním limitujícím faktorem rozvoje SL sítě počty kanálů důlních modulátorů, resp. povrchových demodulátorů.

Na počátku řešení Projektu č. 44-06 bylo rozhodnuto, že jako modelová oblast pro zlepšení lokalizační schopnosti a lokalizační přesnosti bude zvolena oblast celého Dolu ČSA, v té době se samostatnými sítěmi v dobývacích polích Doubrava a Jan-Karel. Oblast dolu ČSA – a to obě jeho dobývací pole Doubrava i Jan-Karel, patří historicky k oblastem se zvýšeným výskytem energeticky významných seismických jevů z vyššího nadloží a výskytem důlních otřesů s největšími následky jak z hlediska projevů v důlních dílech, tak podle počtu smrtelných a závažných úrazů. Cílem bylo, aby SL stanice obou dobývacích polí utvořily jedinou seismologickou síť s lepší lokalizační schopností a lokalizační přesností než u dvou menších oddělených sítí.

V průběhu řešení bylo technicky nejprve řešeno sloučení stanic dobývacího pole Doubrava a stanic dobývacího pole Jan-Karel do společné sběrné části aparatury UGA-SL na seismickém pracovišti Jan-Karel Dolu ČSA. K tomu byly vytvořeny předpoklady natažením důlního sdělovacího kabelu Doubrava – Jan-Karel a připojením obou zatím samostatných sběrných částí aparatur na nové přenosové trasy ve společném seismickém centru Dolu ČSA (v říjnu 2007). Koncem roku 2007 byly na seismickém pracovišti Jan-Karel Dolu ČSA provedeny technické úpravy aparatury UGA-SL a jiskrově bezpečných bariér – samostatné sběrné části aparatury UGA-SL byly nahrazeny společnou sběrnou částí nového typu s dostatečnou kapacitou kanálů pro stanice z obou dobývacích prostorů (viz předchozí kapitola).

Po instalování nového HW i programového vybavení aparatury UGA-SL na seismickém pracovišti Jan-Karel stanice z obou dobývacích prostorů utvořily společnou jedinou seismologickou síť, čímž byly vytvořeny základní předpoklady pro zpřesnění lokalizace ohnisek SL jevů z obou dobývacích prostorů.

Analýza oblastí předpokládané hornické činnosti

Výběr oblastí předpokládané hornické činnosti byl na začátku řešení Projektu č. 44-06 proveden z materiálů dostupných v roce 2006 z hlediska výhledu těžby a dlouhodobých koncepcí hornické činnosti jednotlivých dolů a byl zpracován v časovém horizontu pro období od roku 2007 cca do roku 2015. Pro karvinskou část OKR byla sestavena mapa ploch slojí plánovaných k vydobytí.

Podle uvedených materiálů měla hornická činnost v karvinské části OKR probíhat déle v její východní části. Až do roku 2015 měly být v lokalitě Gabriela závodu 2 na Dole Darkov dobývány už jen sloje sedlových vrstev. Ve stejném období měly být dobývány sloje spodních sušských a sedlových vrstev v lokalitě Darkov závodu 2 na Dole Darkov. Ve východní části OKR měla být nejdříve utlumena hornická činnost závodu 3 – 9. květen na Dole Darkov (poslední budou uzavírány postupně 5., 4. a 2. kra

vydobytím slojí sedlových vrstev). V dobývacím prostoru závodů Sever a Jih na Dole ČSM podle původního výhledu do roku 2015 měly být dobývány převážně sloje spodních sušských a sedlových vrstev.

V západní části OKR měl být nejdéle provozován Důl Lazy – v jeho dobývacím prostoru se předpokládala hornická činnost ve slojích sedlových vrstev ještě až do roku 2015 (s výjimkou 1., 3., 5. a 6. kry). V 1. kře, ve které již byl vydobyt první porub, a také ve 3. kře budou připraveny k dobývání další poruby ze sloje porubského souvrství. Ukončení hornické činnosti v převážné části dobývacího prostoru Doubrava na Dole ČSA se předpokládalo do roku 2012, výjimkou bylo dobývání ochranného pilíře Doubravských jam (dobývání slojí sedlových vrstev). Nejasný byl výhled dobývání slojí spodních sušských vrstev v části dobývacího prostoru severně za Doubravským zlomem. V dobývacím prostoru Jan-Karel na Dole ČSA mělo být ukončeno dobývání slojí sedlového souvrství do roku 2012, na období let 2008-2012 bylo plánováno připravit dobývání slojí porubských vrstev.

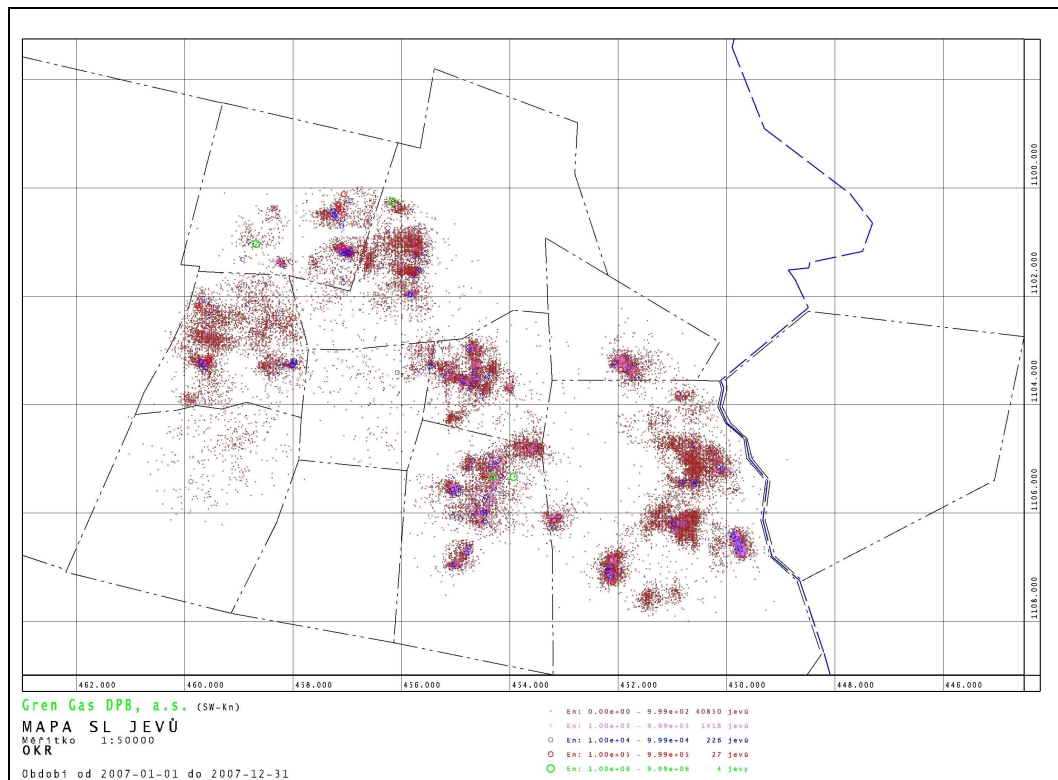
Nové vstupy, které ovlivní rozmístění SL stanic lokální sítě zejména ve vzdálenější budoucnosti, vyplynuly v roce 2007 z rozhodnutí vedení OKD a.s. o provozování dolů ve výhledu až do roku 2018, resp. 2028. Situování nových ploch porubů v karvinské části OKR zejména v okrajových částech dobývacích prostorů, resp. plánované dobývání ve krách, které byly dosud bez hornické činnosti, i předpokládaný postup dobývání i do větších hloubek (ostravské sloje), znamenají, že této situaci bude nutno v budoucnu přizpůsobit rozmístění SL stanic lokální sítě.

Analýzy výskytu ohnisek energeticky nejsilnějších seismických jevů

Analýzy výskytu ohnisek energeticky nejsilnějších seismických jevů vycházely z lokalizačních map sestavených na základě výsledků dlouhodobých SL sledování prováděných Green Gas DPB, a.s. (KOLEKTIV OKD, DPB, A.S. 1993- 2008). Ukazuje se, že je-li hornická činnost v oblasti dále vedena v analogických podmínkách jako při předchozím vedení důlních děl, je ve sledované oblasti i obdobná úroveň seismicity. Na základě této analýzy tedy byly vytipovány části horského masivu, na které bude nutno SL sledování v dalším období zaměřit – i když si uvědomujeme, že budoucí skutečná seismicita v těchto oblastech bude nejvíce ovlivněna aktuálně prováděnou hornickou činností, zejména rozsahem a intenzitou dobývání (dobýváním v jedné nebo více slojích, počtem aktuálně dobývaných porubů, rychlostí jejich postupu atd.). Úroveň seismické aktivity bude pochopitelně ovlivněna i rozsahem dřívější hornické činnosti v dané oblasti horninového masivu.

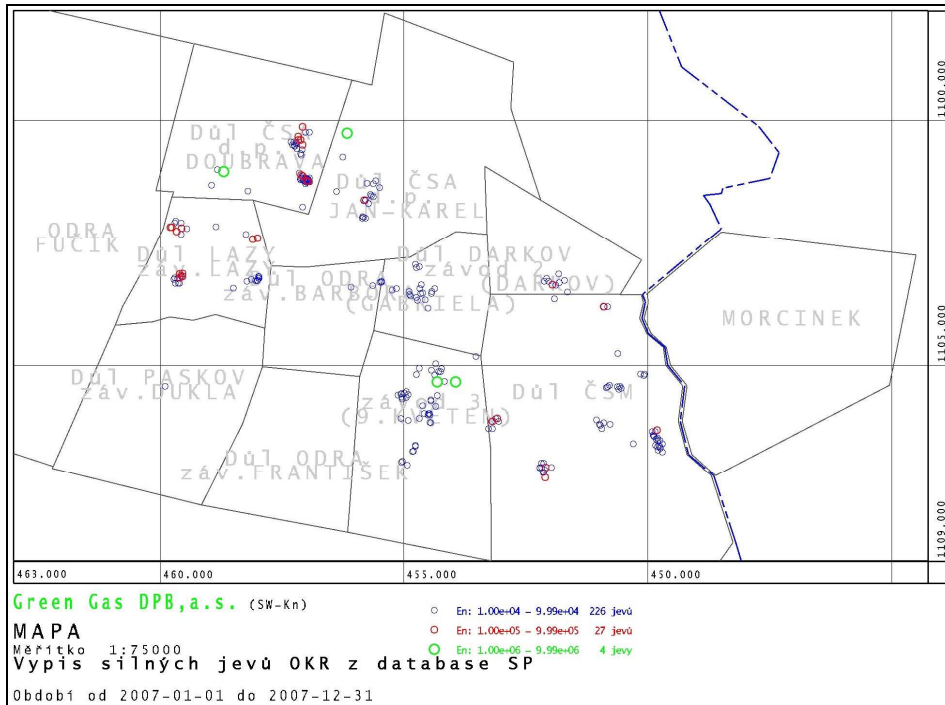
Uvedené závěry platí jak pro seskupení ohnisek všech seismických jevů, tak pro lokalizace energeticky významných SL jevů (od energie 1×10^4 J):

- seismické jevy se prakticky nevyskytují v oblastech mimo aktivní hornickou činnost (i když po určitou dobu se vyskytují i v oblastech s ukončenou hornickou činností),
- jsou oblasti, které se i při intenzivním dobývání projevují výskytem pouze slabých a středně silných jevů (tj. seismická energie do řádu 10^3 J včetně),
- naopak jsou oblasti, ve kterých při vedení důlních děl zastoupení energeticky silných jevů bylo vždy výrazně větší.

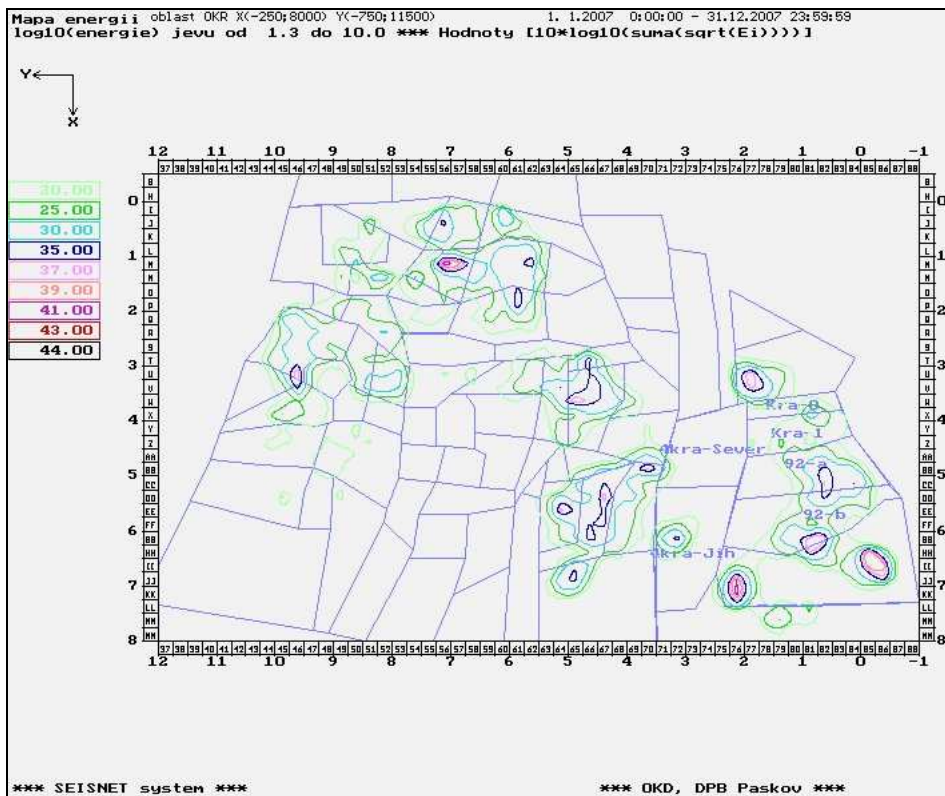


Obr. 4. Výskyt seismických jevů v jednotlivých dobývacích prostorech v roce 2007
 Fig. 4. Localization of foci of seismic events in mine workplaces in year 2007

Příklady map lokalizací ohnisek seismologických jevů jsou na Obr. 4 a Obr. 5, příklad mapy izolinií vyzářené seismické energie za rok 2007 je na Obr. 6. Uvedené mapy nejlépe vystihují seismicky nejaktivnější oblasti a především oblasti výskytu energeticky nejsilnějších (od energií 1×10^6 J výše) SL jevů z nadloží.



Obr. 5. Výskyt energeticky významných SL jevů v roce 2007
Fig. 5. Localization of foci of strong seismic events in year 2007



Obr. 6. Mapa izolinií vyzáření seismické energie všech SL jevů za rok 2007
Fig. 6. Map of isolines of all seismic events de-excitation of seismic energy in year 2007

Doporučení a navržené úpravy lokální sítě

Podle zjednodušených základních pravidel optimalizace seismologických sítí stanovených např. polskými odborníky (např. KIJKO 1983; DRZEŻLA 1992; Dubiński & Konopko 2000) mají seismologické stanice splňovat následující požadavky na rozmístění stanovišť vůči předpokládaným oblastem ohnisek seismických jevů:

- stanoviště seismometrů mají být vně (obklopovat) sledované oblasti,
- rozdíl azimutů k ohnisku u dvou sousedních stanovišť nesmí překročit 180°, tj. ohnisko se musí nacházet uvnitř mnohoúhelníku.

Rovněž fakt, že stanice se většinou nacházejí jen v málo odlišných hloubkách, se projevuje větší nepřesností lokalizace ve vertikálním směru, tj. větší chybou určení zejména souřadnice Z seismických jevů.

Na základě předchozích závěrů (lokality s očekávanou SL aktivitou a výskytem energeticky silných jevů z nadloží, výhled dobývání na nejbližší období, dostupnost technických prostředků atd.) vyplynula doporučení na změny ve stávajícím rozmístění seismických stanic (doplnění novými stanovišti nebo přemístění některých stanovišť):

- na Dole Lazy – vybudovat novou stanicí v jižní části 3. kry ve směru po překopu 910 nebo 951,
- na Dole Lazy – pro pokrytí SZ části dobývacího prostoru (2. kra) postavit novou stanicí, výstavba se v současné době jeví jako nereálná,
- na Dole ČSM – zvážit posunutí (přemístění) stanice 805 více na západ na stejné výškové úrovni (např. překop 4404),
- na Dole Darkov závod 3 - 9. květen – ve 2. kře k demarkaci lokality Gabriela postavit novou stanicí (využít průzkumné ražby vedené ve směru SZ),
- na Dole Darkov závod 2 – v lokalitách Darkov a Gabriela výstavbu nových stanic za současné situace nelze v nejbližším období realizovat, v budoucnu s postupem do hlubších slojí úpravy nutno provést,
- na Dole ČSA – v severní části dobývacího pole Jan-Karel vybudovat novou stanicí ve směru ze severního překopu 1950 na východ (za poruchové pásmo Olše) nebo na západ (za severní větví Doubravského zlomu) – lze využít zařízení z povrchové stanice,
- na Dole ČSA – v západní části dobývacího pole Doubrava vybudovat novou stanicí v oblasti dobývaného ochranného pilíře jam Do I, Do II a VJ 2 - Eleonora,
- na Dole ČSA – v dobývacím poli Doubrava zvážit umístění stanice na severu směrem k jámě Do III .

V některých případech seismologické stanice zaznamenávají i relativně slabé jevy, avšak bez možnosti spolehlivé lokalizace. To je dáno zejména zvýšenou úrovní seismického neklidu (šumu) v místech některých stanic. V případech výrazného navýšení úrovně šumu na stanici nutno přistoupit k jejímu přemístění.

V rámci řešení etapy č. 5 Projektu č. 44-06 byla rovněž provedena analýza vlnových obrazů stanic lokální sítě z hlediska použitých rychlostních modelů pro jednotlivé důlní stanice. Analýza rychlostí šíření byla zaměřena zejména na ty seismické stanice, které byly postaveny teprve v posledním období a nebyly do dřívějších analýz rychlostí šíření

seismických vln zahrnuty. V rámci řešení proto byly analyzovány seismické záznamy některých stanic Dolu Darkov a Dolu ČSM s hloubkou umístění seismického stanoviště větší než - 600 m n. m. se zaměřením na úpravy rychlosti šíření zejména P-vlny. Z omezeného počtu dobře interpretovatelných vlnových obrazů vyplynulo, že pro tyto stanice je vhodné asi o 5 až 10% zvýšit rychlosti vln P, a to pro všechny hodnoty azimutu a všechny tři nastavené intervaly horizontálních vzdáleností.

V rámci prací na novém programovém vybavení vyhodnocovací části inovované SL aparatury UGA-SL (vyhodnocování vlnových obrazů, lokalizace a určení základních parametrů SL jevů) – viz výše, bylo provedeno sjednocení rychlostního modelu pro lokální síť s rychlostním modelem používaným pro stanice Seismického polygonu, v první fázi převzetím současného modelu. V rámci ověřování nových programů jsou také konfrontovány lokalizace ohnisek SL jevů ze stávajícího systému a lokalizace z výstupů nového programového vybavení. Protože postupná modernizace HW a SW vybavení lokální sítě není vázána na řešení projektu P 44-06, nemohly být práce na ověření použitelnosti rychlostního modelu Seismického polygonu v lokálních podmínkách stanic jednotlivých dolů a provedení jeho definitivních úprav dosud ukončeny.

Z dosavadních předběžných závěrů z ověřování nového vyhodnocovacího programu vyplývá, že na rozdíl od převážně povrchových stanic SP situovaných ve větších vzdálenostech od ohniskových oblastí bude v případě podzemních stanic lokální sítě instalovaných v dobývacích prostorech dolů nutno zvýšit hodnoty rychlosti vln P a S ve hlubších středních vrstvách rychlostního modelu. Zatím se jeví potřebné také zavést do modelu další přípovrchovou vrstvu nižších rychlostí. Závěry k rychlostním modelům budou nadále ověřovány a případně zapracovány do definitivního rychlostního modelu pro lokální síť.

V budoucnu při další výstavbě stanic navrhujeme v místech, kde není možno pro výstavbu seismického stanoviště využít již vyražená důlní díla, nebo při otvirkách nových částí důlního pole, zvážit možnost realizovat ražby krátkých důlních děl, která by byla určena výhradně pro seismická stanoviště. Tato krátká důlní díla by mohla mít menší profil a pouze nezbytné vybavení zajišťující možnost realizovat instalaci a provoz seismické stanice. Takto vybraná a vybudovaná stanoviště by dlouhodobě zaručovala v místě stanice dostatečný odstup signál/šum a vhodné prostorové situování z hlediska potřeb důlní sítě. Naopak krátkodobým řešením pro zlepšení lokalizační přesnosti mohou být i dočasná seismická stanoviště s životností jeden až tři roky umístěná v blízkém vyraženém díle v sousedství porubu připraveného k dobývání, v oblastech OCHP (překopy a společné základny porubů) atd. v dosahu seismické kabeláže – společným problémem takto zvolených lokalit zůstává velikost seismického šumu.

Náročnost na budování seismického pilíře a jeho „ochranu“ by bylo možno snížit snímači nových typů, menších rozměrů a novým způsobem osazování.

Ve vybraných případech lze pro snížení lokalizační chyby v sítích dolů využít kontinuální seismoakustické sledování v předpolí porubů, které se realizuje u porubů vedených zpravidla ve 3. stupni nebezpečí otřesů, vždy však u porubů ve vyjmenovaných krátech. V těchto případech, kdy seismický jev je spolehlivě zaznamenán jako seismologický jev a současně jako seismoakustický impuls, lze horizontální chybu lokalizace ohniska snížit až na cca 10 m převzetím souřadnic ohniska z SA sledování. Zpřesnění hloubky ohniska (určení výšky jevu nad dobývanou slojí) však je možné

zpravidla v řádu desítek metrů a pouze u některých SL jevů s dobře prokresleným SA záznamem. To znamená, že to není možné u úplně slabých jevů, které jsou na SA záznamu ovlivněny šumem, ale ani u příliš silných jevů, u kterých SA záznam je zkreslený (v případě blízkého silného jevu signál vybuzený SA snímačem může přesáhnout dynamický rozsah aparatury, resp. jevem jsou v místě snímače vyvolány kmity větší než je měřitelný rozsah samotných SA snímačů), a záznam tedy nemusí být interpretovatelný. V případech silných seismických jevů včetně důlních otřesů je nutno lokalizaci vždy hodnotit komplexně z SL i SA záznamů, z výše specifikovaných důvodů však ne vždy lze takto zpřesnit hloubku ohniska (výšku ohniska nad slojí).

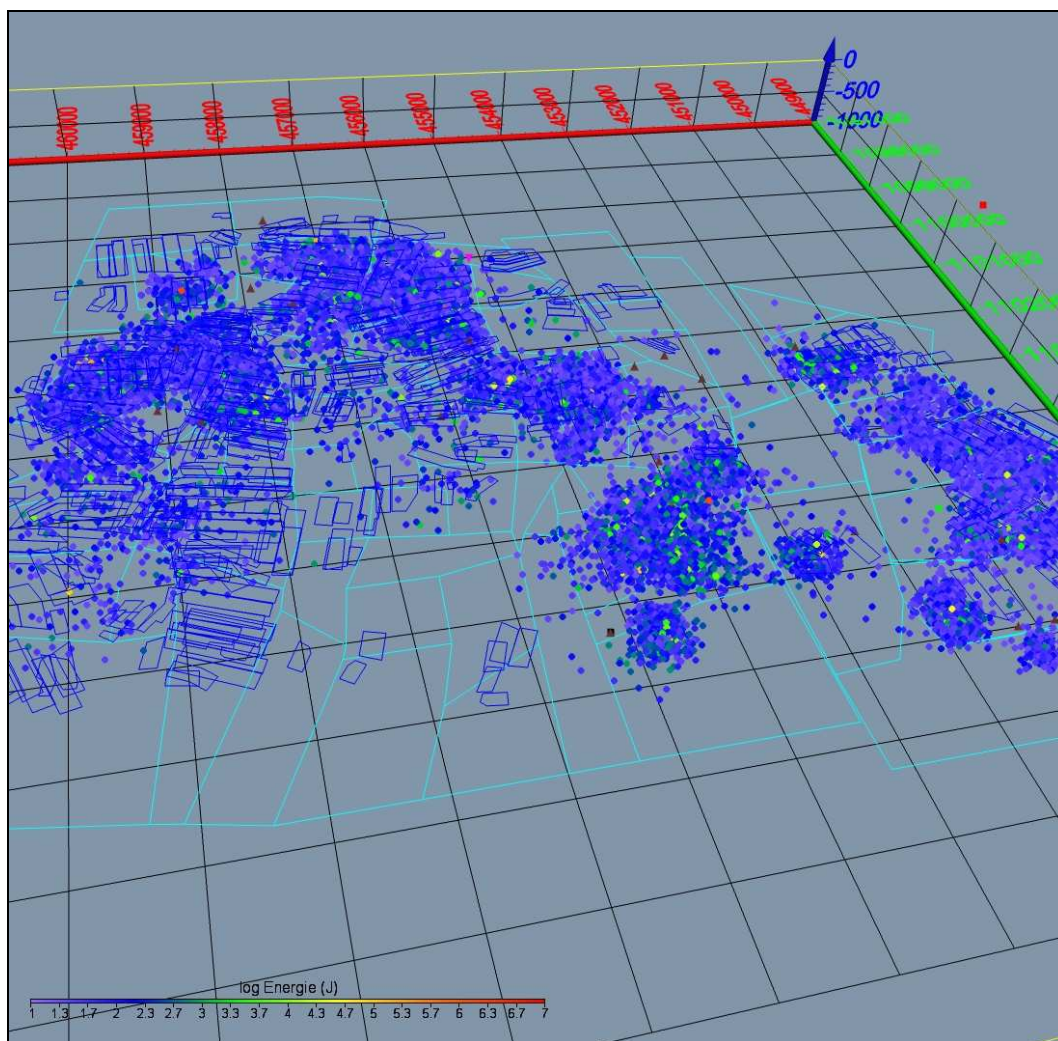
Využití zobrazování lokalizací ohnisek ve 3D prostředí

V rámci řešení Projektu č. 44-06 bylo odzkoušeno zcela nové programové vybavení (program VOXLER, ver. 1.1, Golden Software, Inc.) ve vyhodnocovacím centru SP - interpretační software, který umožňuje zobrazování veličin ve 3D prostoru. Pro podmínky karvinské části OKR byly připraveny nezbytné datové soubory a program byl odzkoušen pro prostorové (3D) zobrazení lokalizací ohnisek seismických jevů. Snahou bylo také co nejlepší přiblížení reálného prostředí s hornickou činností (základní geologická stavba, situování důlních děl).

V prostředí 3D programového vybavení se podařilo úspěšně odzkoušet:

- prostorové vymezení sledovaných oblastí – dobývacích prostorů, ker a vybraných důlních děl (porubů, popř. i ražeb, vedených ve 3. stupni nebezpečí otřesů) v reálných souřadnicích S-JTSK (Křovákovy souřadnice XYZ),
- načítání dat SL jevů z databáze - jevy za vybraný časový interval z oblasti zadané souřadnicemi (X,Y,Z) a podle velikosti seismické energie E_s ,
- zobrazování ohnisek SL jevů ve 3D prostoru – zobrazovaná veličina $\log(E_s)$ v barevné škále,
- zobrazování prostorových prvků – rozmístění libovolných objektů zadaných souřadnicemi (X,Y,Z), např. situování seismologických stanic, ohnisek důlních otřesů (odděleně od SL jevů), vývrtů pro bezvýmlové trhací práce a jiných prostorových útvarů a objektů,
- využití zabudovaných algoritmů (matematického aparátu) pro zobrazení a sledování různých parametrů v prostoru prostorových změn (velikost vyzářené energie, četnost SL jevů apod.),
- možnost implementace mapových podkladů (libovolný grafický formát se zadanými souřadnicemi okrajů mapy nebo ve formátu *.tif).

Data seismologicky sledovaných oblastí lze načítat z databáze vyhodnocovacího centra Seismického polygonu do formátu sešitu Microsoft EXCEL (*.XLS) a dále převádět do formátu Open Inventor (*.IV). Důlní díla lze pak prostorově znázornit lomenou čarou (chodby, překopy) nebo uzavřenou lomenou čarou (ohraničení plochy porubu). Pro historicky i aktuálně seismologicky sledované poruby byly připraveny datové soubory s možností zobrazení porubů v celé karvinské části OKR nebo v rámci jednotlivých dolů, resp. dobývacích prostorů – viz příklady na Obr. 7 až 11.

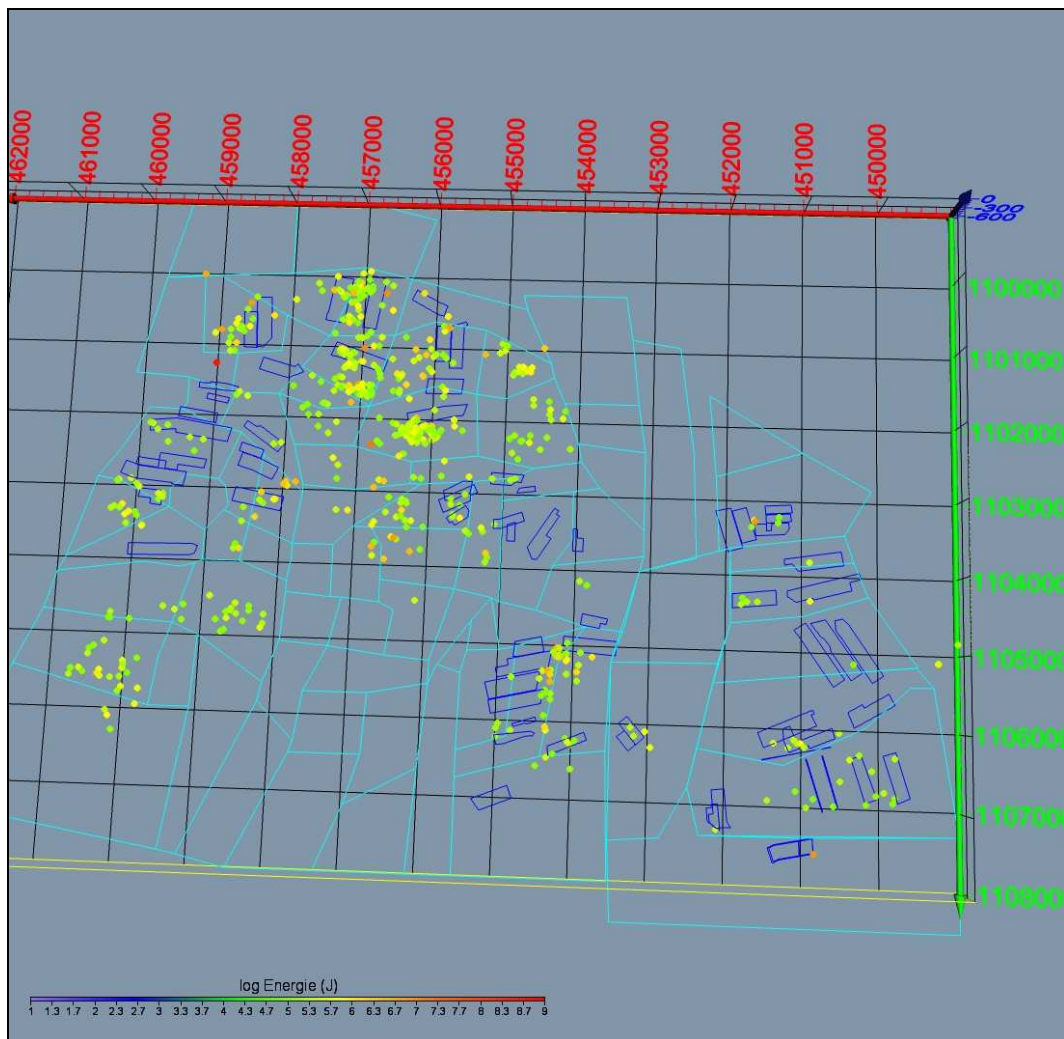


Obr. 7. Zobrazení dobývacích prostorů, ker a porubů a seismologických jevů všech energií v roce 2007

Fig. 7. Display mine workplaces, coal faces and the seismic events of all energy in the year 2007

Načítání souřadnic ohnisek SL jevů z databáze vyhodnocovacího centra SP bylo vyřešeno importem parametrů seismologických jevů z databázového serveru PostgreSQL do sešitu Microsoft EXCEL (*.XLS) a úpravou formátu údajů. Pro zjednodušení získání dat byl v sešitu EXCEL vytvořen formulář, který pomocí maker a jazyka VBA vybere data v požadovaném rozsahu. Načtení SL jevů z databáze lze volit podle vybraného časového intervalu, z oblasti zadané mezemi souřadnic (X,Y,Z) a podle velikosti energie (od – do). Lokalizaci ohniska (X,Y,Z) SL jevu lze zobrazit v 3D prostoru pomocí zvoleného symbolu, jeho velikost lze měnit ve třech úrovních. Velikost energie SL jevu se osvědčilo vyjádřit v logaritmickém měřítku a zobrazit změnou barvy (lze použít řady přednastavených barevných stupnic).

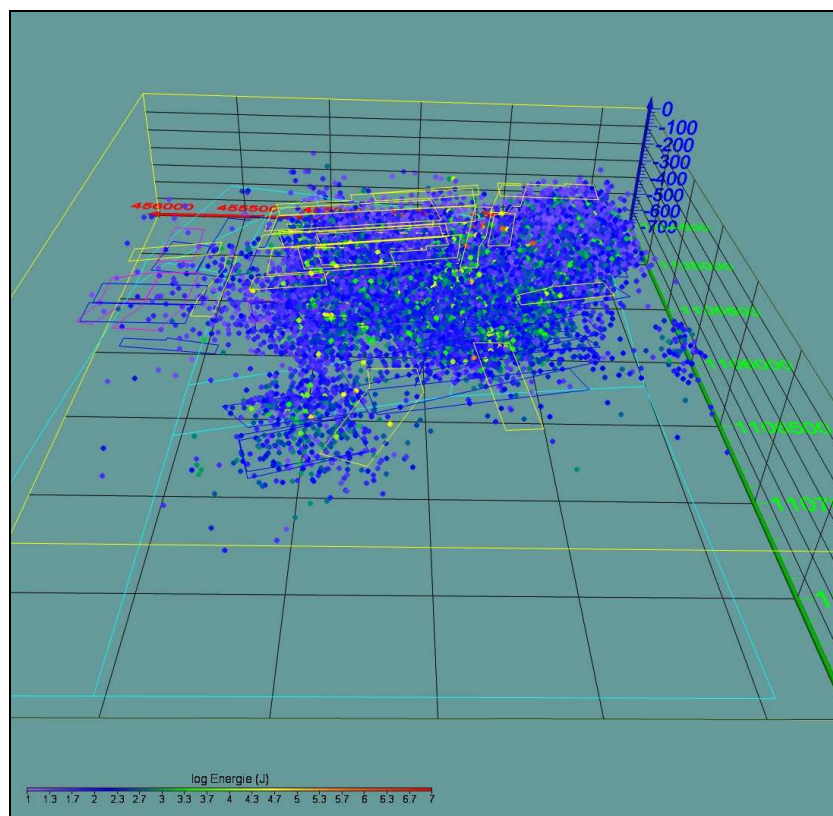
Prakticky bylo ověřeno, že lze zobrazovat i velmi rozsáhlé soubory seismologických jevů za libovolné období od počátku databáze SL jevů OKR, tj. od 1.4.1988.



Obr. 8. Zobrazení seismologických jevů energie řádu 10^5 až 10^8 J v období 1988 - 2007 (poruby sledované v roce 2007)

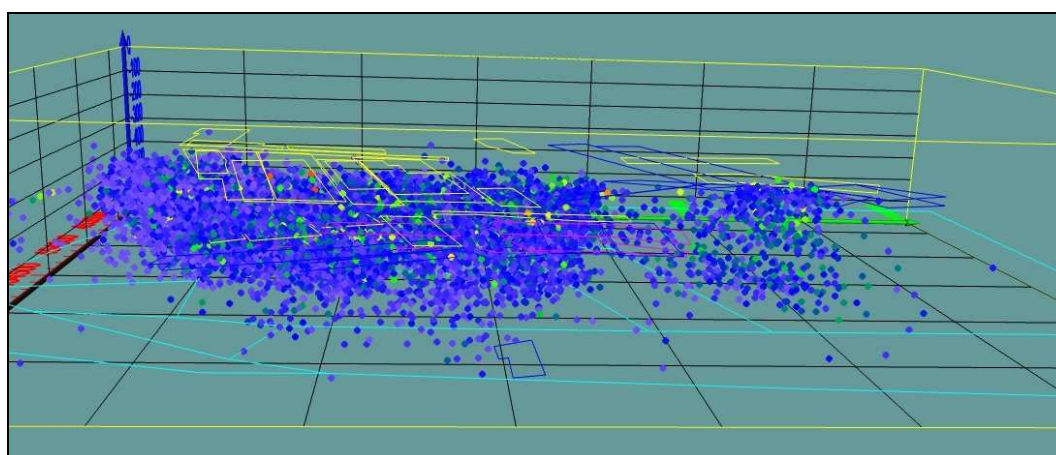
Fig. 8. Display of strong seismological events (seismic energy 10^5 až 10^8 J) in years 1988 – 2007 (with coal faces monitored in the year 2007)

Zobrazení ve 3D prostoru umožňuje lepší poznání ohniskových oblastí seismologických jevů a přesnější vymezení míst, na která je nutno zaměřit prostředky protiotřesové prevence. Pro příklad jsme si vybrali oblast s dlouhodobě vysokou úrovní SL aktivity na závodu 3 - 9. květen Dolu Darkov (2., 3., 4. a 5. kra), která zahrnuje také ochranný pilř překopu a základěn (dále jen OCHP) na rozhraní 2. a 4. dobývací kry. V hodnoceném období od 1.1.2005 do 15.11.2007 hornická činnost probíhala ve 4. a 5. kře ve sloji č. 40, ve 2. kře ve slojích č. 38, 39 a 40. V roce 2005 byly z této oblasti zaznamenány první dva důlní otřesy, v roce 2006 dalších šest, vždy při dobývání porubů ve sloji č. 40 ze 4. kry. Na Obr. 9 až 11 jsou lokalizace ohnisek seismologických jevů (náhled, pohledy od západu a jihu). Výrubů jednotlivých slojí jsou odlišeny barvou: žlutá – nadložní sloje po sloj č. 38, růžová – sloj č. 39, modrá – sloj č. 40. Koncentrací ohnisek a velikostí energie jevů se vymezují výrazně přitížené oblasti ve vlivu hran nevýrubů nadložních slojí, zejména pak oblast OCHP na rozhraní 2. a 4. dobývací kry.



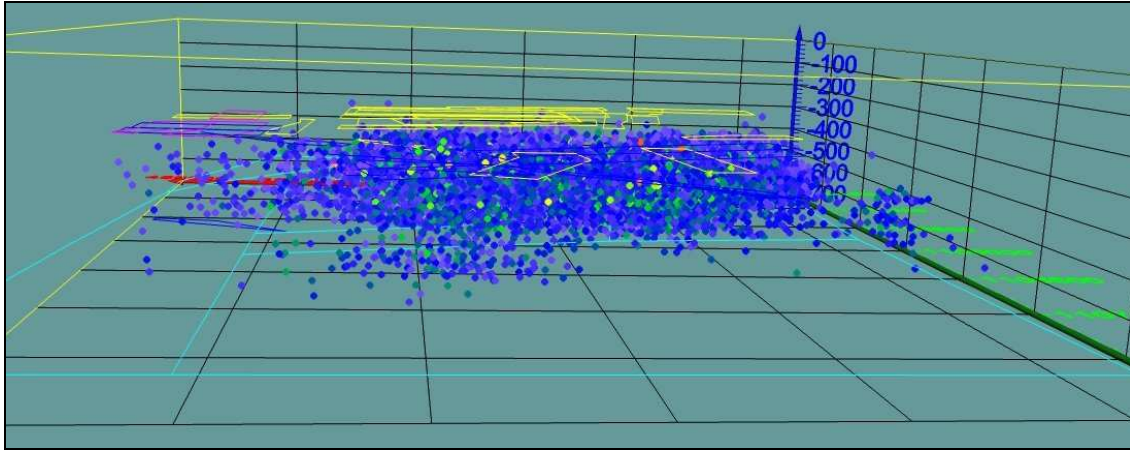
Obr. 9. Lokalizace ohnisek seismologických jevů z d.p. 9. květen Dolu Darkov v období 1.1.2005 až 15.11.2007 (náhled)

Fig. 9. Location of foci of seismic events in the mining area 9. květen of Mine Darkov in period 1.1.2005-15.11.2007 (top view)



Obr. 10. Lokalizace ohnisek seismologických jevů z d.p. 9. květen Dolu Darkov v období 1.1.2005 až 15.11.2007 (pohled od západu)

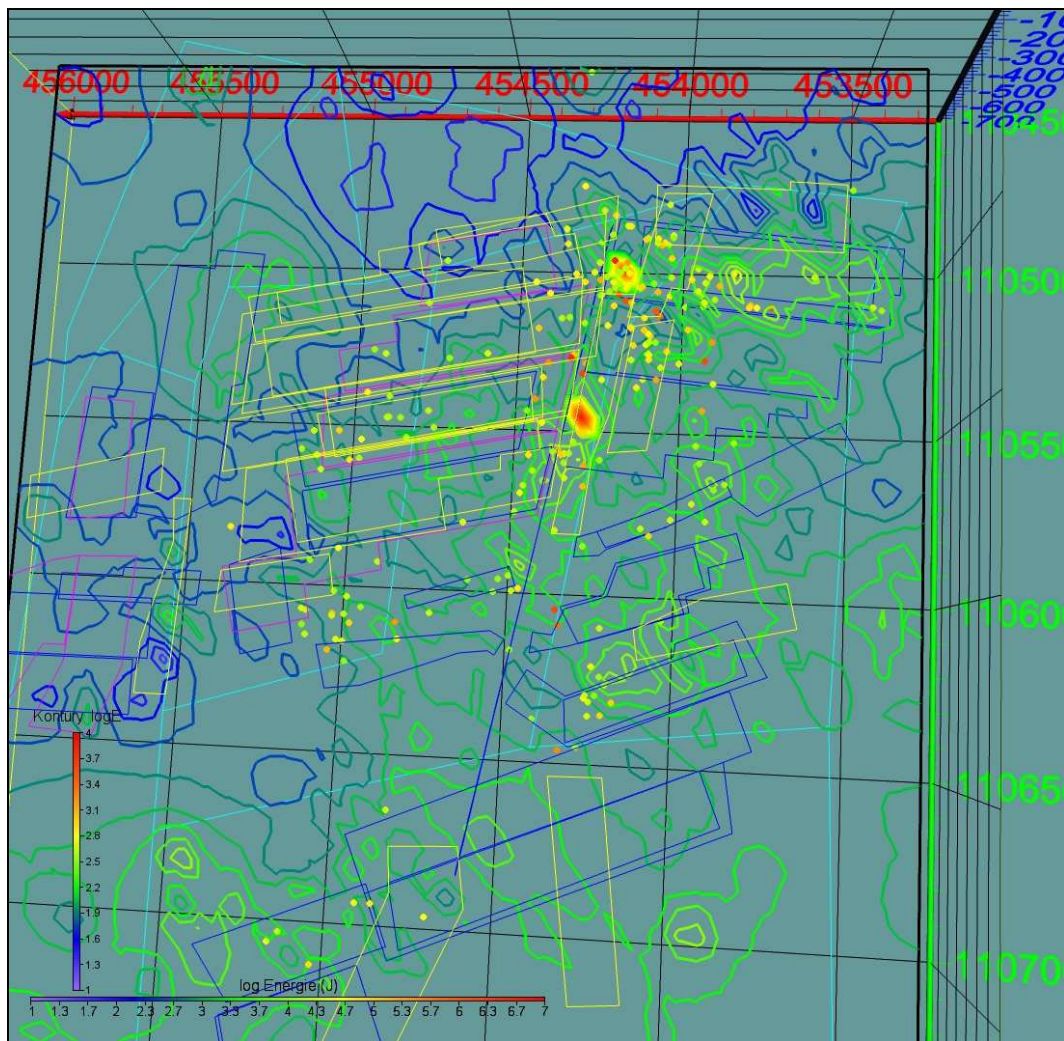
Fig. 10. Location of foci of seismic events in the mining area 9. květen of Mine Darkov in period 1.1.2005-15.11.2007 (look from west)



Obr. 11. Lokalizace ohnisek seismologických jevů z d.p. 9. květen Dolu Darkov v období 1.1.2005 až 15.11.2007 (pohled od jihu)

Fig. 11. Location of foci of seismic events in the mining area 9. květen of Mine Darkov in period 1.1.2005-15.11.2007 (look from south)

V uvedené oblasti (na ploše cca 2,5x2,5 km) bylo za uvedené období zaregistrováno cca 20 tisíc seismologických jevů. Vysoká četnost výskytu jevů v oblasti umožnila využít zabudovaných matematických procedur (algoritmů) pro sledování prostorových změn vyzařování seismické energie. Provedli jsme „gridování“, tj. rozdělení sledované oblasti podle jakési prostorové mřížky na dílčí oblasti – krychle 50x50 m, a každé dílčí krychli byla přiřazena hodnota logaritmu seismické energie pro jevy uvnitř. Na celou oblast jsme dále aplikovali modul konturování s vykreslením izolinií hodnot logaritmu seismické energie. Ve třech na sebe kolmých rovinách pak můžeme sledovat změny v prostorovém rozložení logaritmu seismické energie v jednotlivých částech sledované oblasti. Posunem rovin se zvoleným krokem (např. 50 m) v jednotlivých směrech lze prostorově vysledovat polohy s největšími hodnotami logaritmu seismické energie. Pro větší přehlednost dokumentujeme izolinie (tj. kontury v řezu příslušnou rovinou) samostatně vždy pro jednu zvolenou rovinu (horizontální – XY, vertikální sever-jih – S-J, vertikální východ-západ – V-Z) – viz Obr. 12 až 14.

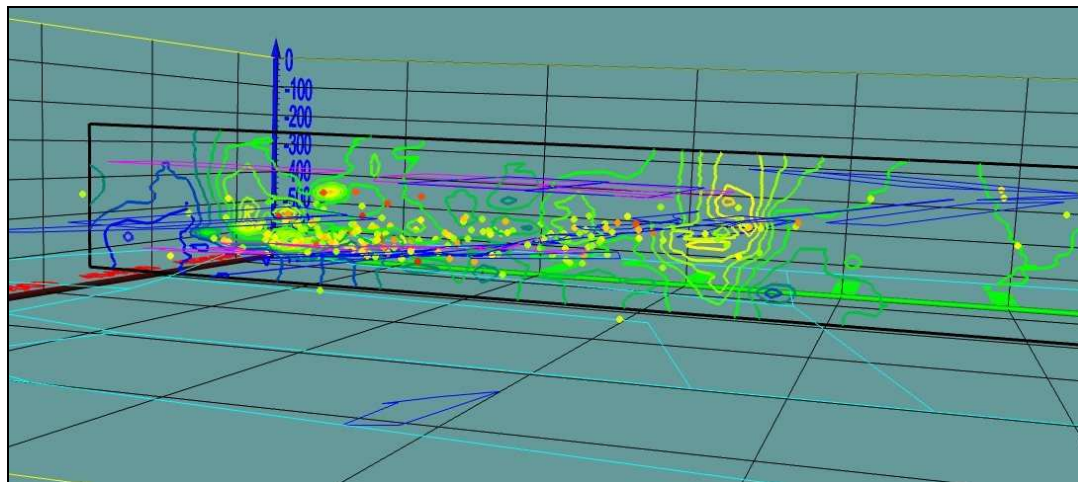


Obr. 12. Řez rovinou XY cca 100 m až 150 m nad slojí č. 40 s lokalizací silných SL jevů (dobývací prostor 9. květen Dolu Darkov)

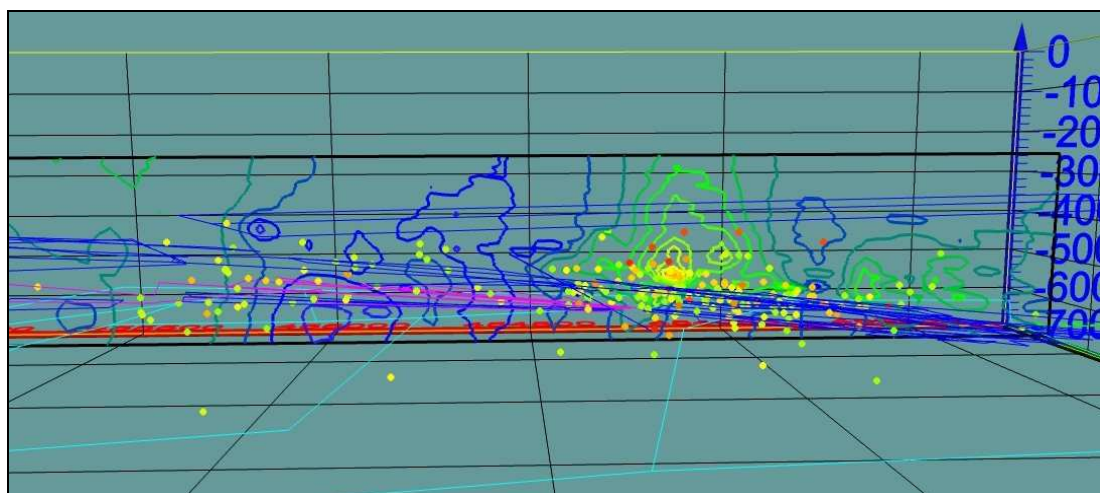
Fig. 12. Horizontal cut (plains XY) up on high c. 100 m as far as 150 m above seam No. 40 with localization of strong seismic events (the mining area 9. květen of Mine Darkov)

Posunováním např. roviny XY ve vertikálním směru lze vysledovat oblasti největších hodnot logaritmu seismické energie (izolinie s největší hodnotou). Výrazné uvolňování seismické energie bylo zjištěno ve výšce cca 100 až 150 m nad slojí č. 40, a to zejména v severní části OCHP, tj. tam, kde došlo i k výskytu většiny nejsilnějších seismologických jevů a kde se také nacházela důlní díla, která byla postižena všemi dosud zaznamenanými důlními otřesy – viz Obr. 12. V jižní části 4. kry a částečně i 2. kry jsou dílčí zvýšené hodnoty izolinií dány spíše vyšší četností SL jevů s energií řádu 10⁴ až 10⁵ J. Na Obr. 13 a 14 jsou oblasti vyšších hodnot logaritmu seismické energie vysledované v obou kolmých rovinách k rovině XY (svislé řezy vedené ve směru východ-západ a ve směru sever-jih. Obr. 13 a 14 dokumentují zvýšené vyzářování seismické energie z vysokého nadloží nad slojí č. 40 (v severní části OCHP až 300 m nad slojí č. 40), přičemž platí, že v severní části OCHP jsou zvýšené hodnoty

dány výskytem silných jevů energie až 10^6 J, v jižní části 4. kry a částečně i 2. kry jsou dílčí zvýšené hodnoty spíše důsledkem vyšší četností jevů s energií řádu 10^4 až 10^5 J.



Obr. 13. Řez S-J procházející cca středem OCHP (pohled od východu)
Fig. 13. Vertical cut - direction North-South through the centre of protective pillar (look from east)



Obr. 14. Řez V-Z procházející cca výdušnou chodbou porubu č. 40 405 (pohled od jiho-jihozápadu)
Fig. 14. Vertical cut - direction East-West through the air gate of coal face No. 40 405 (look from south)

Nutno připomenout, že uvedenou aplikaci pro 3D zobrazování dat není možno využívat jako prostředek při on-line vyhodnocování vlnových obrazů (tj. ve fázi vlastní lokalizaci SL jevů), protože ji do stávajícího programového vybavením aparatur lokální sítě ani Seismického polygonu není možno implementovat jako další programové aplikace. Program pro 3D zobrazování je však možno využívat pro průběžné hodnocení vývoje seismické aktivity oblastí (porubů, popř. i ražení chodeb) se zaměřením na prostorové zobrazení ohnisek seismických jevů v nadloží a sledování prostorových změn parametrů seismické aktivity (vyzářené energie, četnost apod.). Zobrazení 3D je rovněž přínosem pro detailní analýzy v rámci posudků, hodnocení důlních otřesů apod. Zpětně poznatky z rozborů 3D prostorového rozložení ohnisek přispívají ke zjišťování

a odstraňování např. systematických chyb v lokalizaci. Pomocí 3D programu lze podle Z-tové souřadnice přesněji přiřazovat seismologické jevy do jednotlivých porubů.

Zkušeností z prostorového zobrazování ohnisek při dobývání v konkrétních oblastech bude možno také následně využít pro projektování další hornické činnosti v analogických podmínkách, při volbě aktivních prostředků POP v nadloží a stanovování jejich parametrů (např. délka, výškový dosah nad slojí a rozteč vývrtů pro BTPVR v nadloží) apod.

Geografické informační systémy

V souvislosti s potřebou prostorového zobrazování lokalizací ohnisek SL jevů v reálném horninovém prostředí byla ověřována možnost do 3D programu importovat a prostorově zobrazit:

- horninové prostředí – zejména průběh a vývoj uhelných slojí, výruby v nadloží, ponechané uhelné pilíře, tektonické poruchy atd.,
- vedená důlní díla, se zaměřením zejména na poruby a vybrané ražby.

Proto byla ověřována možnost propojit prostorové zobrazení ohnisek SL jevů s údaji o horninovém prostředí a o důlních dílech z jiných aplikací vytvářených v OKR, tj. z geografických informačních systémů. Z provedené analýzy vyplynulo, že vytvoření 3D modelu prostředí uhelných slojí OKR nebo jeho dílčí části, který by zahrnoval i tektonickou stavbu a současně byl navázán na důlní mapovou dokumentaci (propojení s databází důlních děl), je časově a finančně velmi náročný úkol, který v nejbližším období zřejmě nebude dořešen. Nelze tedy zatím předpokládat, že by v krátkém časovém horizontu došlo k vytvoření 3D modelu prostředí uhelných slojí, který by bylo možno využít k propojení s databází SL jevů a pro zobrazování lokalizací ohnisek seismologických jevů v prostorově reálnějším modelu prostředí dolu než doposud.

Závěr

V rámci řešení etapy č. 5 Projektu č. 44-06 bylo provedeno zhodnocení současného stavu seismologických sítí v karvinské části OKR, tj. lokální sítě (stanice dolů) a regionální sítě Seismického polygonu, z hlediska detekční schopnosti a lokalizační přesnosti. Dále bylo provedeno shrnutí možností, jak zlepšit lokalizační přesnost zejména ve vertikálním směru (souřadnice „Z“). Pro seismicky aktivní oblasti s možností výskytu důlního otřesu s mechanismem vzniku ve vysokém nadloží byly navrženy úpravy seismického monitorování tak, aby bylo dosaženo lepší prostorové lokalizace seismických jevů a přesnějšího stanovení oblasti se zvýšenou koncentrací napětí, do kterých je nutno zaměřit provedení protiotřesových opatření. Navržený systém seismického monitorování je kompromisem požadavků optimalizace a současných možností na dolech OKD a jsme si vědomi, že není „optimální“. Úpravy monitorování i SW vybavení vycházejí ze stávajícího přístrojového a programového vybavení dolů OKD, a.s. při zajištění kompatibility s výstupy současně používaných systémů seismologického sledování v OKR.

Literatura

- DRZEŻLA B. (1992): Teoretyczne i praktyczne zasady oceny błędów lokalizacji ognisk wstrząsów i projektowania sieci sejsmometrów. Materiały III Szkoły Geofizyki Górniczej nt. Emisja sejsmoakustyczna w skałach, śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice.
- Dubiński J. & Konopko W. (2000): Tapania - OCENA, PROGNOZA, ZWALCZANIE. GIG Katowice.
- HOLEČKO J. & PTÁČEK J. (1995): Současné možnosti stanovení pravděpodobných příčin a mechanismů vzniku důlních otřesů. Sbor. Mezinár. věd. konf., sekce 4, VŠB - TU, 111 - 115, Ostrava.
- HOLEČKO J. & PTÁČEK J. (1999): The interrelation between seismicity and structural pattern in the Karviná part of Upper Silesian Coal Basin. Polsko - Czesko - Slowackie Sympozjum Geofizyki Górniczej, Wisla, PUBLS. INST. GEOPHYS. POL. ACAD. SC., M-22 (310), 47-51.
- HOLEČKO J. & PTÁČEK J. & TAKLA G. & KONEČNÝ P. (1999): Rockbursts in the Czech part of the Upper Silesian Coal Basin – Features, theoretical models and conclusions for practice. In Proceedings of the 9th Congress ISRM, Paris, G. Vouille a P. Berest (eds.), A. A. Balkema, 1101-1104.
- HOLEČKO J. & MOŘKOVSKÁ E. & SUCHANEK E. (2007): Indukovaná seismicita v OKR. Sborník Tradiční geomechanické a geofyzikální kolokvium 2007, Ostravice. OKD, DPB, a.s., Paskov.
- KUJKO, A. (1983): Współczesne metody lokalizacji wstrząsów sejsmicznych oraz optima-lizacja sieci stacji sejsmologicznych. Fyzyka i ewolucja wnętrza Ziemi, Cz. 2, PWN, Warszawa.
- KOLEKTIV OKD, DPB, A.S. (1993-2008): Seismologická aktivita OKR za rok 1992 až 2007. Zprávy OKD, DPB, a.s., Paskov.
- KONEČNÝ P. ET AL. (2001): Závěrečná zpráva k řešení projektu č. 2 – Prognóza důlních otřesů, příčiny jejich vzniku a metody prevence. ÚGN AV ČR, Ostrava.
- KONEČNÝ P. ET AL. (2004): Závěrečná zpráva k řešení projektu č. 30/2003 – Analýza aplikací metod protiotřesové prevence v oblastech, kde vznikly otřesy a rozbor jejich účinnosti. ÚGN AV ČR, Ostrava.
- TAKLA G. & PTÁČEK J. & HOLEČKO J. & KONÍČEK P. (2005): Stress State Determination and Prediction in Rock Mass with Rockburst Risk in Ostrava-Karvina Coal Basin. In Proceedings of the International Symposium of the International Society for Rock Mechanics, EUROCK 2005, Brno, Czech Republic, 18-20 May 2005, A. A. Balkema, 625-628.
- TRÁVNÍČEK L. & HOLEČKO J. & KNOTEK S. (1992): Seismický polygon - moderní systém monitorování seismicity OKR. Sborník Nové poznatky vedy, výskumu a praxe v mechanice hornín, VŠT, Košice.
- TRÁVNÍČEK L. & KNOTEK S. & HOLEČKO J. (1995): Seismicita regionu ostravsko-karvinských dolů. Uhlí. Rudy. Geologický průzkum, 4, ZSDNP a MH ČR, Praha.
- Vyhláška ČBÚ v Praze č. 659/2004 Sb. (2005): O bezpečnosti a ochraně zdraví při práci a bezpečnosti provozu v dolech s nebezpečím důlních otřesů. MONTANEX.
- Pokyny (Pracovní pravidla) k Vyhlášce ČBÚ č. 659/2004 Sb. (2005): OKD, DPB, a.s. Paskov.
- Metodický postup GF/05/SL (2005): Kontinuální seismologické sledování v průběžné prognóze vzniku důlních otřesů na dolech v OKR. OKD, DPB, a.s.
- ZEDNÍK J. & PLEŠINGER A. & PAZDÍRKOVÁ J. (2004): Zemětřesení a seismologické observatoře. Čs. čas. fyz., sv. 54, FÚ AV ČR, Praha.

Odborné posouzení Ing. Kamil Souček, PhD.