

DETEKCE NAPĚŤOVÝCH VLN VE STŘEDNÍ EVROPĚ

DETECTION OF THE STRESS WAVES IN THE CENTRAL EUROPE

Pavel Kalenda¹, Libor Neumann², Július Kvetko³, Andrij Nazarevych, Olga Boborykina,

Abstrakt

Dne 26. 8. 2013 byl na dole Slovmag a.s. Lubeník zaznamenán zával komor spolu se zvýšenou seismickou aktivitou. Měření náklonů na opačné straně ložiska v Lubeníku a dokonce i v Beregovu (Ukrajina) ukázalo, že zával měl širší souvislosti. Významný byl téměř synchronní chod náklonů šibíku v Lubeníku a komory v Beregovu, vzdálené od sebe téměř 200 km. Anomální náklony byly pozorovány i ve středních Čechách. Analýza hydrometeorologických podmínek ve střední Evropě ukázala, že lokální projevy v Lubeníku byly s největší pravděpodobností odrazem vpádu arktického vzduchu do celého prostoru střední Evropy, spojené se srážkovou aktivitou. Méně pravděpodobné bylo spuštění seismické aktivity a deformací vlivem napěťové nebo deformační vlny, přicházející do střední Evropy obvykle z jihovýchodu (indonéský směr) nebo ze severu (kurilský směr).

Abstract

The collapse of the chambers roof and the increasing of seismic activity were observed in chambers at Slovmag a.s. Lubeník mine on August 26, 2013. The tilt measurement at the opposite side of the mining area in Lubeník and in Beregovu (Ukraine), which are almost 200 km each other, showed that this fall of roof had wider consequences. The most important was nearly synchronous development of the tilt of shaft in Lubeník mine and chamber in Beregovu. The analysis of the meteorological conditions in Central Europe confirmed that the local collapses in Lubeník were with high probability reaction of the massif on the invasion of Arctic air into the area of Central Europe, coupled with a precipitation. The seismic activity and the deformation were probably not triggered by the stress or deformation waves, which are usually coming to the Central Europe from southeast (Indonesia direction) or from north (Kurily direction).

Klíčová slova

Zával komor, seismická, deformace, atmosférika

Keywords

Collapse of chamber roof, seismicity, deformations, atmospheric

1 Úvod

Od roku 2007 je ve střední Evropě budována podzemní síť vertikálních statických kyvadel, které umožňují měřit velice malé náklony od cca 20 - 50 nRad (Neumann and Kalenda 2010) (viz obr. 1). Tato síť má za úkol detekci anomálních napět'ových a deformačních vln, které vznikají v okolí ohnisek velkých zemětřesení (Kalenda and Neumann 2010). Od roku 2009 se měření náklonů doplňuje o podpovrchové i povrchové měření teplot (Kalenda et al. 2013b).



Obr. 1 Síť vertikálních statických kyvadel – stav v roce 2013

2 Detekce anomální napět'ové vlny v srpnu 2013

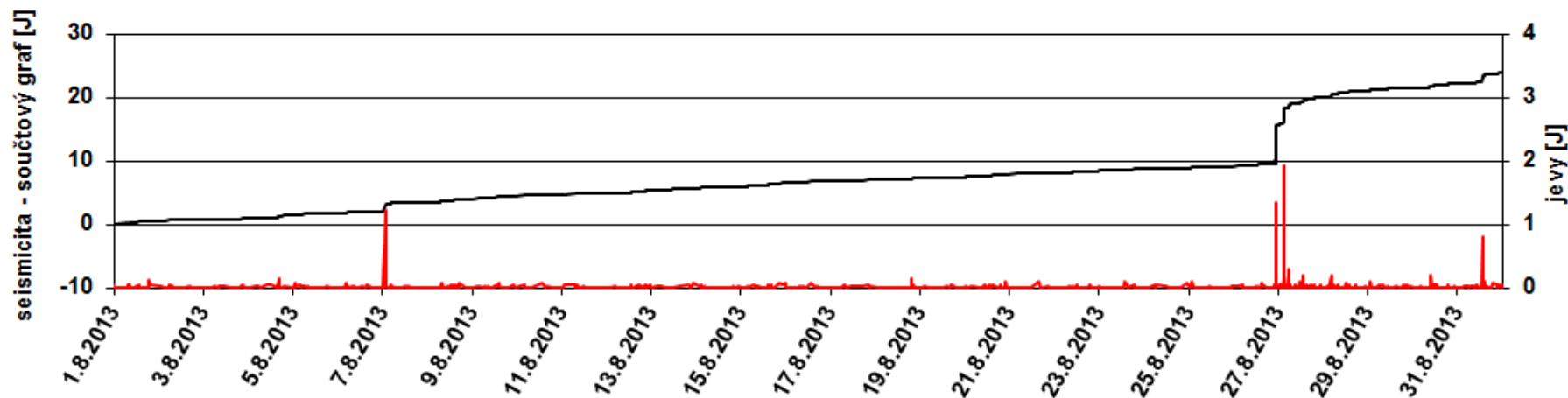
Dne 26.8.2013 okolo 22:50 byl na dole Slovmag a.s., Lubeník zaznamenán zával komor K-101, K-102 a K-103 na X. obzoru. Tento zával byl doprovázen zvýšenou seismickou aktivitou v oblasti komor K-101 až K-105, zejména u komory K-102 (viz obr. 2). U komor K-103 a K-104 byla v průběhu roku 2013 úroveň seismicity přibližně na stejné úrovni.

Centrální oblast ložiska (oblast instalace vertikálního statického kyvadla) vykazuje trvale zvýšenou seismickou aktivitu s ojedinělým výskytem výraznějších jevů i východně od centrální oblasti. Když srovnáme vývoj seismicity s vývojem deformace v Lubeníku, nejbližší stanicí v Beregovu (Zakarpatská Ukrajina) a Sevastopolu (viz obr. 1 a 3), tak můžeme zjistit, že seismická aktivita byla důsledkem vývoje napětí v celé širší oblasti a náklony v Beregovu měly stejný trend vývoje jako náklony v Lubeníku. Můžeme pozorovat výrazné změny

Od roku 2008 byly zaznamenány anomální napět'ové vlny, vznikající před zemětřeseními (Kalenda et al. 2009, Kalenda and Neumann 2010, 2011a, 2011b, Kalenda et al. 2011a, Ouzounov et al. 2011, Nazarevych et al. 2011). Měření ukázalo, že rychlost deformace je také svázána s postzemětřesnými procesy, které často vedou až k vulkanické aktivitě (Kalenda and Neumann 2012) nebo excitaci mikroseismů (Kalenda et al. 2013).

O tom, že rozsáhlé tlakové níže dokáží vyvolat seismickou aktivitu nebo excitovat mikroseismy, bylo už referováno v mnohých případech (Holub et al. 2008, 2009). V tomto příspěvku se budeme zabývat detekcí napět'ových vln ve střední Evropě v srpnu 2013 a jejich možnou příčinou.

Seismicita okolo zavalení komor v Lubeníku dne 26.8.2013 - Benioffův graf



Obr. 2 Vývoj seismicity na ložisku Lubeník v srpnu 2013. Černě – Benioffův součt. graf, červeně – seismická energie jednotlivých jevů

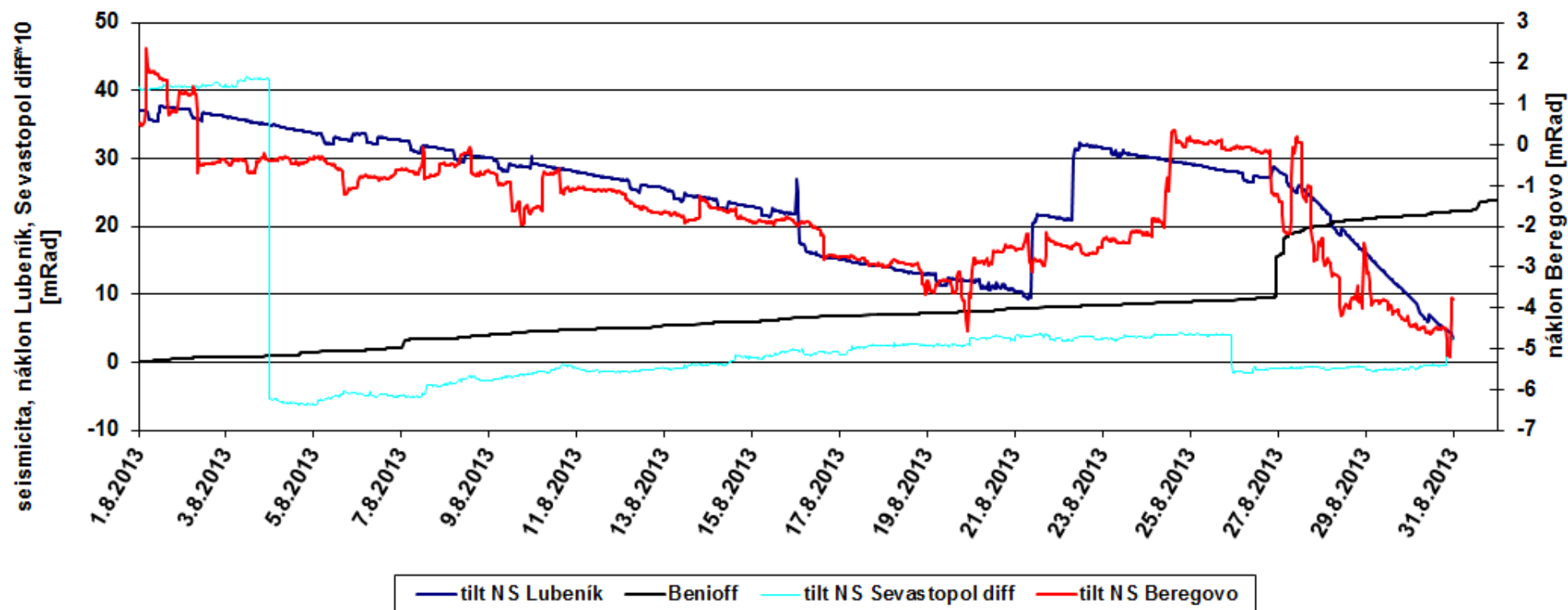
v chodu náklonu od 16. 8. a zejména po 19. 8., kdy se zcela změnil směr náklonu z jihozápadního na severovýchodní. K náhlému obratu zpět do původního směru došlo právě v době závalu komor, tedy 26. 8. po 22:50 (LT). Na obou stanovištích je vidět zvýšená rychlost náklonu masívu po 26.8. Na kyvadle v Sevastopolu je vidět pouze skok v náklonech 25. 8. avšak charakter trendu náklonu se po tomto skoku nijak nezměnil.

Co bylo tedy příčinou změny napětí na ložisku Lubeník a v Beregovu od 16. 8. do 26. 8. 2013? Byla to napěťová vlna tektonického původu, přicházející jako obvykle od severu, východu nebo jihovýchodu, nebo to byla jiná příčina, která vedla k deformacím masívu a seismické aktivitě v Lubeníku nebo to byl důsledek samotné těžby na ložisku?

V Lubeníku bylo pozorované tlakové namáhání masívu na hranici ložiska (dobývaná čočka magnezitu) s nadložními dolomity. Vizualně se toto namáhání nejvýrazněji projevilo v oblasti činné komory K-104. Podobně na tom byla i komora K-105, která však byla teprve v úvodním stádiu dobývání. Nárůst seismické aktivity v této oblasti a zjevné porušování mezikomorového pilíře MKP-104-105 zejména ze strany komory K-104 vedlo v první polovině roku 2013 k odstavení komory K-105.

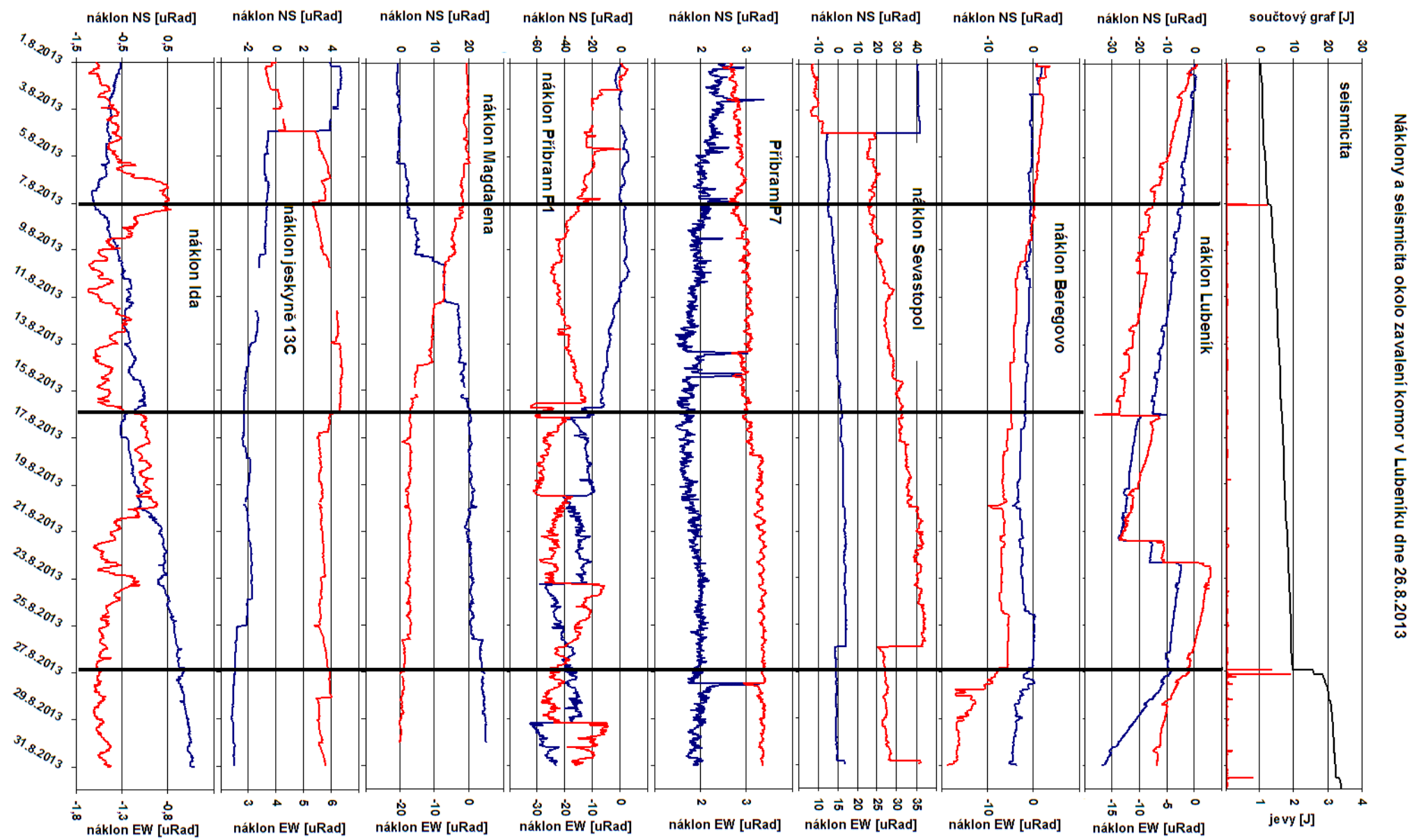
Zával komor K-101 až K-103 na X. obzoru se dal předpokládat, protože se jednalo o zlikvidované komory, u nichž však nedošlo při likvidaci k jejich úplnému zaplnění, jak by mělo být. Zával komor byl provázený zvýšenou seismickou aktivitou zejména u střední komory K-102 (viz obr. 2).

Náklony a seismicita okolo zavalení komor v Lubeníku dne 26.8.2013



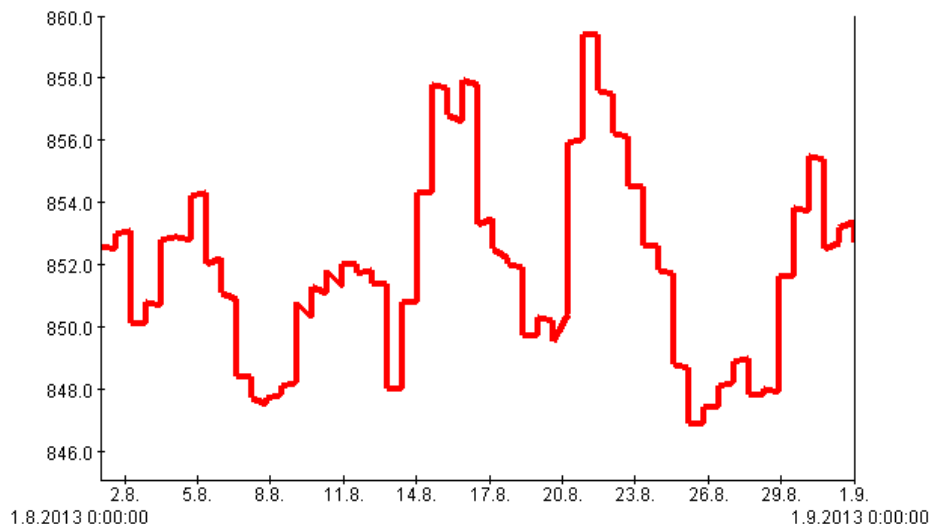
Obr. 3 Vývoj náklonů ve směru S-J v Lubeníku v šibíku POD (modře), ve směru S-J v Beregovu (červeně), ve směru S-J v Sevastopolu (tyrkysově) a srovnání se seismicitou na ložisku v Lubeníku (černě).

Důkazem anomálního napětí v masívu v oblasti K-104 byly také výrazné seismické účinky vyvolávané standardními těžebními trhačími pracemi v K-104. Tyto projevy byly registrovány i ve vzdálenějších obcích, což nebývá obvyklé při použití podobného množství trhavin. Není tedy vyloučené, že napěťová vlna (buď tektonická, nebo mající jiný původ) mohla představovat v tomto případě onen spouštěč (trigger) seismických jevů v masívu, který byl již tlakovým namáháním na samé hranici stability. Od listopadu 2013 následně seismická aktivita v této oblasti postupně klesala.



Obr. 4 Srovnání vývoje náklonů měřených kyvadly ve střední Evropě a seismicity na ložisku Lubeník

Holštejn: tlak vzduchu

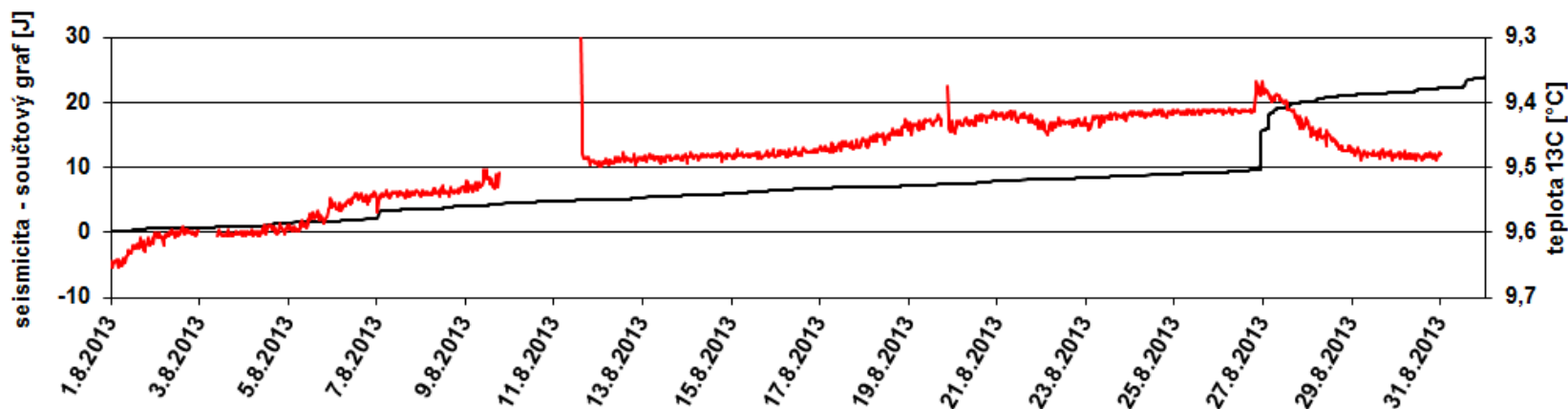


Obr. 5 Vývoj tlaku vzduchu [hPa] v Holštejně (Moravský kras) v srpnu 2013 (systém ALA 2013).

Když srovnáme všechna měření náklonů pomocí vertikálních statických kyvadel ve střední Evropě, tak je možno zjistit, že 16. 8. byly pozorovány změny náklonů kromě Lubeníka také v Příbrami na kyvadle P1, v jeskyni 13C v Moravském krasu a částečně v Idě ve východních Čechách u Malých Svatoňovic (viz obr. 4). Nepatrná změna rychlosti náklonů byla pozorována i v Magdaleně jamě ve Slovinsku, ale tato změna nebyla významná. V Sevastopolu v té době nebylo pozorováno nic významného (viz obr. 3). Takže můžeme vyloučit, že by tato napěťová vlna měla širší než regionální souvislost. K čemu tedy došlo v době od 16. 8. do 26. 8. ve střední Evropě?

Celou oblast střední Evropy zasáhly dva protichůdné meteorologické jevy. Na začátku srpna zasahoval do celého prostoru střední Evropy výběžek tlakové výše, související s přílivem teplého vzduchu od jihu a ten byl vystřídán od 18. 8. do 25. 8. vpádem arktického vzduchu od severu a tlakovou níží s minimem tlaku vzduchu 847 hPa (viz obr. 5). V dobách minim tlaku vzduchu se taky přidaly na většině území střední Evropy srážky s maximem až 20 mm/12 hodin.

Benioffův součtový graf a teplota v jeskyni 13C okolo zavalení komor v Lubeníku dne 26.8.2013



Obr. 6 Vývoj teploty v jeskyni 13C v Moravském krasu, měřený v hloubce 20 m pod povrchem (červeně) a srovnání s vývojem seismicity v Lubeníku (černě).

Vliv meteorologických jevů na teplotu v jeskyni 13C je patrný na obr. 5. Je patrné, že zvýšené srážky na povrchu spolu s tlakovou níží a poklesem teplot od 34,4°C v Holštejně v odpoledních hodinách 7. 8. na 4,1°C v ranních hodinách 16. 8. měly vliv i na průběh teplot v jeskyni 13C. Paradoxně teploty v jeskyni 13C po 16. 8. nejprve vzrostly tak, jak byl teplejší vzduch vytlačován z níže položených prostor v hloubce 60 m pod povrchem, aby 26. 8. došlo nejprve ke skokovému nárůstu teplot poté, co byly níže položené prostory zaplaveny vodou a následně došlo k celkovému poklesu teplot (viz obr. 6). Podpůrným argumentem pro tvrzení, že na seismicitu na ložisku Lubeník měly atmosférické vlivy je také to, že ke zvýšení seismické aktivity (i když bez makroskopických projevů) došlo už 6. 8., kdy došlo k poklesu tlaku vzduchu až na 848 hPa v Holštejně (viz obr. 5).

3 Diskuze

Analýza širších souvislostí deformací ve střední Evropě a seismicity na ložisku Lubeník ukázala, že napěťové (deformační) vlny měly omezený regionální charakter a nebylo je možno jednoznačně korelovat v celém prostoru od Krymu na východě, Slovinsko na jihu a východní Čechy na severu sledovaného území. Korelační analýza s meteorologickými jevy ukázala, že tyto regionální deformace ve střední Evropě mohly souviset s vývojem tlaku vzduchu, teplot a srážkami v tomto prostoru. Po dlouhém období sucha od počátku července přišly první srážky spolu s výrazným poklesem teplot z tropických teplot nad 30°C až na menší než 5° C nad ránem. Myslíme si však, že největší roli sehrály opakované výkyvy tlaku vzduchu a srážková aktivita v průběhu několika dnů od 21. 8. 2013. Jak ukázala už analýza mikro-seismů a s nimi spojených deformačních pohybů (Holub et al. 2013) rozsáhlé poklesy tlaku vzduchu zejména nad Skandinávií, vyvolávají pohyby na subvertikálních zlomech V-Z až SZ-JV zlomech a s nimi spojených mikro-seismů.

3 Závěr

Zaregistrované výrazné změny na statickém vertikálním kyvadle instalovaném v Lubeníku v průběhu 08/2013 úzce souvisely s nárůstem seismicity na ložisku. Nárůst seismicity do oblasti K-104 a K-105 byl registrovaný už od konce roku 2012 jako důsledek přeskupení napětí a tlakového namáhání konstrukčních prvků těchto dobývek.

Úložné poměry na ložisku a s nimi související tlakové projevy v okolí vydobytých resp. zlikvidovaných prostor představují důležitý faktor na stav horninového masívu nacházejícího se na hranici stability. Tento stav horninového masívu je citlivý na vnější, zdánlivě nesouvisející podněty.

Právě na základě velmi přesné časové synchronizaci meteorologických jevů (tlaku, teploty a zaregistrovaných změn napěťových vln na dole Lubeník a stanici Beregovo) možno doložit souvislost nárůstu seismicity u vydobytých komor K-101 až 103 na dole Lubeník a jejich následným zavalením s náhlým poklesem tlaku vzduchu v celém regionu střední Evropy.

Literatura

- HOLUB, K., RUŠAJOVÁ, J., SANDEV, M. The January 2007 windstorm and its impact on microseisms observed in the Czech Republic. *Meteorol. Z.*, 2008, 17, No. 1, 047-053, (February 2008).
- HOLUB, K., RUŠAJOVÁ, J., SANDEV, M. A comparison of the features of windstorms Kyrill and Emma based on seismological and meteorological observations. *Meteorol. Z.*, 2009, 18, No. 6, 607-614 (December 2009).
- HOLUB, K., KALENDA, P. and RUŠAJOVÁ, J. Mutual coupling between meteorological parameters and secondary microseisms. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 2013, Vol. 24, No. 6, 933-949.
- KALENDA, P., NEUMANN, L., WANDROL, I. Indirect stress measurement by static vertical pendulum. *Proceedings of 47th Int. Sci. Conf. Experimentální analýza napětí 2009*, 120-128. TU Liberec.
- KALENDA, P., NEUMANN, L. Static vertical pendulum – observations of anomalous tilt before earthquakes (case study). In: *Rock stress and earthquakes* (F.Xie ed.), 2010, 795-803.
- KALENDA, P., NEUMANN, L., KVETKO, J. Indirect stress measurement and earthquake prediction. Sborník referátů ze XV *International Scientific-Technical Symposium Geoinformation Monitoring Of Environment: GPS and GIS Technologies*, September 13-18, 2010, Alushta (Ukraine, Crimea), 57-65.
- KALENDA, P., NEUMANN, L., KVETKO, J. The measurement of the staple shaft in Lubeník mine – the influence of mining technology and tectonic stress changes. *Proc. Of Congress IASPEI Melbourne*, 2011a.
- KALENDA, P., NEUMANN, L. The prediction of earthquakes can be solved by stress measurement. *Proc. Of Congress IASPEI Melbourne*, 2011a.
- KALENDA, P., HOLUB, K., RUŠAJOVÁ, J., NEUMANN, L. Tracing of traveling of stress-deformation waves after Honshu earthquake. *Proc. Of Congress IASPEI Melbourne*, 2011b, poster.
- KALENDA, P., NEUMANN, L. Precursors of Honshu earthquake (M=9) – what was the trigger? *Proc. Of Congress IASPEI Melbourne*, 2011b, poster.
- KALENDA, P. and NEUMANN, L. The relationship between volcanic and seismic activity. *EGU meeting*, Vienna 24.-27.4.2012. poster.
- KALENDA, P., HOLUB, K., RUŠAJOVÁ, J. and NEUMANN, L. Microseisms and spreading of deformation waves around the globe. *NCGT*, Vol. 1, No., 1, March 2013, 38-57.
- NAZAREVYCH, A.V., KALENDA, P., MYTCYK, B.G. Hardware and some results of extensometric and tiltmetric observations in RGS "Beregovo" in Ukrainian Transcarpathians. *Geodinamika*, 2011, vol. 2(11), 213-215.
- NEUMANN, L., KALENDA, P. Static vertical pendulum – apparatus for in-situ relative stress measurement. In: *Rock stress and earthquakes* (F.Xie ed.), 2010, 255-261.
- OUZOUNOV, D., HATTORI, K., KALENDA, P., SHEN, W.-B., BOBROVSKIY, V. and KAFATOS, M. Monitoring mega earthquake disasters by integrating multi-parameter and multi-sensors observation from ground and space. *APSCO Third International Symposium on Earth Quake Monitoring and Early Warning by Using Space Technology*. 13-15 September 2011, Friendship Hotel Beijing, China.
- System ALA. Meteorologický monitoring s GSM přenosem dat, 2013, <http://teranos.ala1.com/index.php>.

Autoři

¹ RNDr. Pavel Kalenda, CSc., IRSM CAS CZ, V Holešovičkách 41, Praha – Holešovice, Czech Republic, pkalenda@irms.cas.cz

² Ing. Libor Neumann, CSc., Anect a.s., Praha, Czech Republic, Libor.Neumann@email.cz

³ RNDr. Július Kvetko, CSc., Slovmag a.s. Lubeník, Slovakia, kvetko.julius@slovmag.sk