



VYUŽITÍ POLNÍCH APARATUR BRS 32 PRO STANOVENÍ PARAMETRŮ PROSTŘEDÍ PŘI SEISMICKÉM PROFILOVÁNÍ

USING MULTI-PURPOSE INSTRUMENTS BRS 32 FOR ENVIRONMENT ATTRIBUTES DETERMINATION ON SEISMIC PROFILES

Milan Brož¹, Jaroslav Štrunc², Oldřich Levý³, Radka Haislová⁴

Abstrakt

Mikroseizmický monitoring prováděný pro SÚRAO v oblasti Čertovka, potenciálního umístění podzemního úložiště radioaktivního odpadu, umožňuje zlepšit lokální model seismických rychlostí. Takováto zpřesnění byla již v minulosti realizována mezinárodními refrakčními experimenty Celebration 2000 a ALP 2002 [3]. Nejdůležitějšími částmi byly v té době odpaly v lomech používané jako přesně lokalizované seismické zdroje, od kterých linie vedly mj. i přes Doupovské hory. Během našeho měření byly realizovány dva mohutné odpaly v lomu Mladotice blízko zájmové oblasti Čertovka. Během těchto odpalů jsme rozmístili deset mobilních seismických aparatur, které doplnily čtyři permanentní stanice. Mobilní stanice musely být z principu umístěny velmi blízko zdroje (<10km), proto na ně byly vysoké požadavky zejm. na robustnost, spolehlivost, vysokou vzorkovací frekvenci, jemné rozlišení signálu a přesné časové synchronizace. Očekávaná intenzita jevů byla aspoň $M = -1$ s frekvenčním obsahem 0.5 až 80 Hz. Ideální volbou byl záznamník BRS 32 kombinující moderní technologie a rozumnou cenu. V příspěvku diskutujeme dosažený rychlostní model s použitím všech 14-cti seismogramů.

Abstract

Microseismic monitoring, performed for SURAO on site Čertovka regarding possible underground radioactive-waste deposit deployment, enables us to improve local seismological velocity model. Such improvements were done within several refraction projects, Celebration 2000, ALP 2002, in the past [3]. The most important sections of those projects were quarry blasts used as seismic sources – profiles across near Doupov stratovolcano were lined that time. There were two huge blasts in Mladotice quarry near Čertovka site during our measurement. Beside our four permanent stations we deployed ten mobile apparatus across the area of interest. They must be generally

placed closely to the event (<10 km) that means they have to be robust, reliable, extremely fast in sampling, fine in resolution and accurate in time. Expected magnitudes are from $M = -1$ and in frequency band 0.5 Hz to 80 Hz. The ideal logger was type BRS 32 combining cutting-edge technology and reasonable price. We discuss here achieved velocity model using measurements from all 14 stations.

Klíčová slova

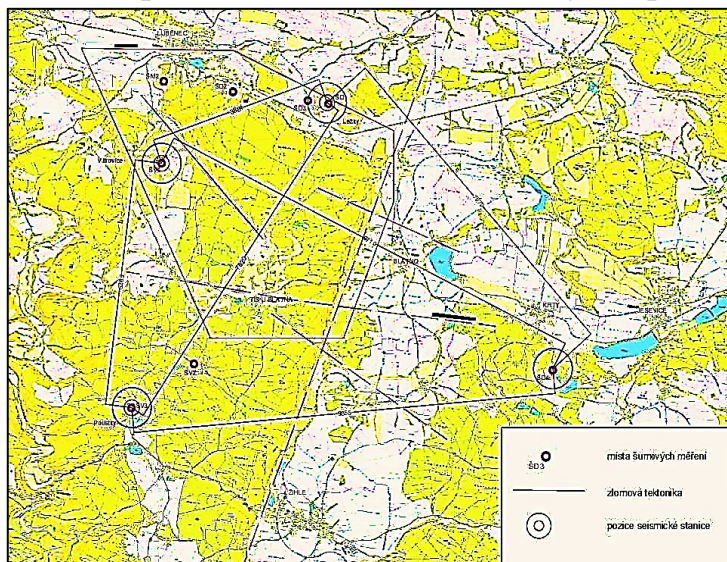
zeměměření, seismická síť, seismické profily, odpal, seismické aparatury

Keywords

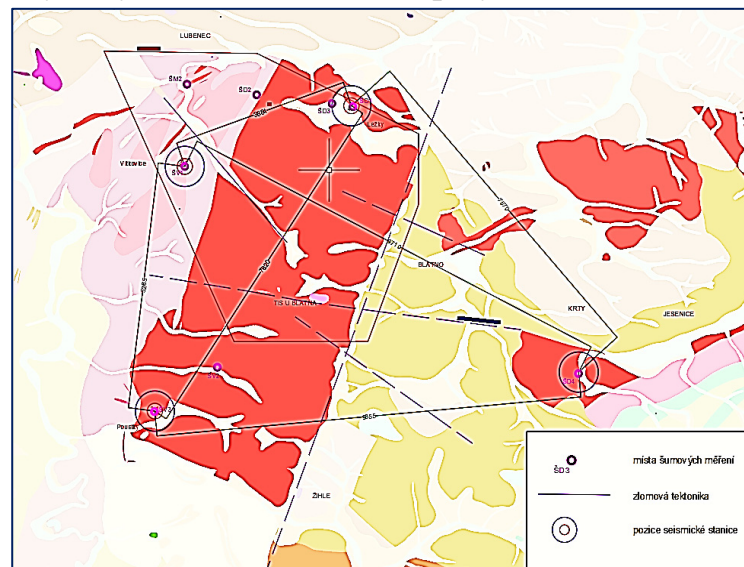
earthquake, seismic network, seismic profile, blast, seismograph

1 Úvod

K upřesnění rychlostního modelu, který má v této lokalitě Čertovka, [1], sloužit pro analýzu seismických dějů a jejich lokaci, byla realizována dvě seismická profilová měření. Jako zdroje impaktu byly využity těžební clonové odpaly v blízkém kamenolomu Mladotice.



Obr. 1 Rozmístění seismických stanic Ležky, Vítkovice, Krty a Poustky oblasti Čertovka s udáním vzdálenosti mezi nimi.



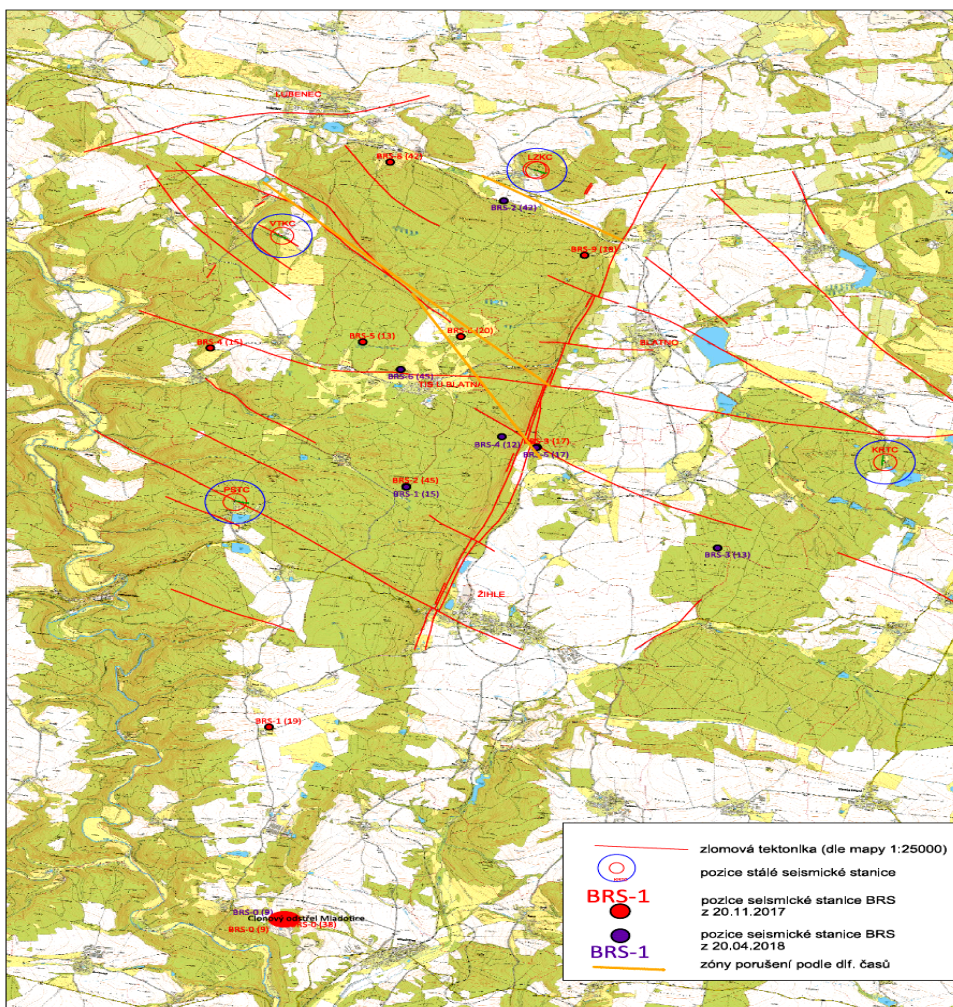
Obr. 2 Pozice seismických stanic ve zjednodušené geologické mapě – cihlově zbarvené oblasti je granit (podrobný geologický popis je v „Geologické mapě ČR“ 1 : 50), viz [4].

Kromě čtyř stacionárních monitorovacích stanic (Vítkovice, Ležky, Krty, Poustky) bylo použito dalších osm až deset přenosných seismických aparatur BRS 32, viz [2], jejichž umístění bylo navrženo tak, aby mohla být prováděna lokace i v okrajových částech masivu. Získané seismogramy těchto odpalů ukazují amplitudovou variabilitu zejména mezi západními a východními stanicemi. To odpovídá i známým geologickým poměrům a ukazuje na složitější rychlostní seismický model této lokality, která je popisována v geologických mapách jako Tiský masiv. Výsledky měření poukazují na to, že pro návrh těchto seismických sítí v následných lokalitách je vhodné už při jejich projektu upřesnit výběr měřicích stanovišť podle rychlostního a útlumového modelu lokality. Tato úloha je řešitelná způsobem detailnější analýzy seismické odezvy uměle buzených zdrojů. Metodika těchto měření je založená na přesné identifikaci času v ohnisku odpalu a na všech stanicích těchto profilů. Přesná identifikace času odpalu je zajištěna jednou ze stanic seismické sítě, která je umístěna nejbližší k ohnisku. I když se jedná o clonový odpal, jehož inicializace probíhá v čase kolem 0,3 sec a to v prostorově umístěných až 30 – ti vrtech, je možné počátek seismického jevu velmi dobře identifikovat, pokud se použije aparatura s vysokou dynamikou měření. Těmto požadavkům vyhovují aparatury BRS32, které byly pro měření použity.

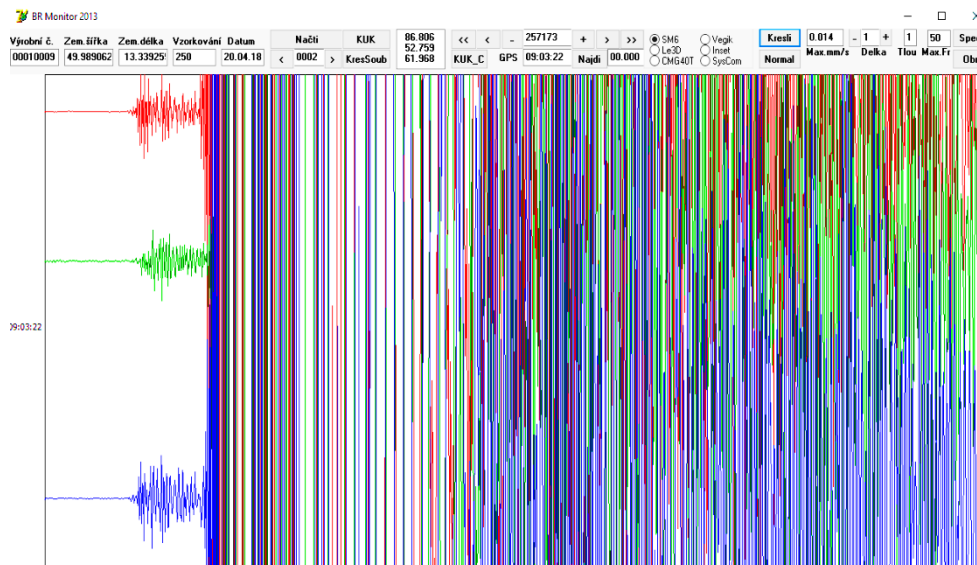
2 Realizace seismického měření

Seismická síť Čertovka je tvořena čtyřmi stacionárními stanicemi (obr. 1, 2). Pro profilová měření byla tato základní síť doplněna 9 aparaturami BRS32 pro první měření (I.) a šesti aparaturami pro druhé měření (II.). Stanoviště těchto měření jsou pro obě měření uvedena na obr. 3. První měření (I.) se uskutečnilo dne 20. 11. 2017 a v kamenolomu Mladotice, kdy bylo odpáleno celkem 6750kg trhaviny v 59 stupních s maximální náloží na stupeň 140 kg. Druhé měření (II.) bylo provedeno dne 20. 4. 2018 a to v tomtéž kamenolomu, kde bylo odpáleno 7735 Kg trhaviny v 31 stupních s maximální náloží na stupeň 270 kg. Rozmístění jednotlivých měřicích stanovišť zohledňuje jednotlivé polohy zdrojových bodů směrem k místu odpalu i geologii území. Přibližná vzájemná vzdálenost mezi jednotlivými stanovišti je cca 3 km. Pro seismická měření je v tomto případě nejdůležitější stanovení přesného času (orig - time) odpalu. Realizace je provedena tak, že seismická aparatura je po dohodě se střelmistrem umístěna do těsné blízkosti místa odpalu tak aby nedošlo k jejímu poškození. Jedná se zpravidla o vzdálenost 10m – 30m. Na následném obr. 4 je detailní seismogram z místa odpalu dne 20. 4. 2018. Při vysoké dynamice záznamu je zobrazeno prvních 319 ms, ve kterých probíhá inicializace náloží a následně pak seismická odezva masivu. Standartní průběh seismogramu s odečtem přesného času odpalu je uveden na následném obr. 5. Na všech seismických záznamech – seismogramech je rozložení seismických průběhů, první stopa Vertikální „Z“, druhá stopa horizontální „N“, ve směru sever – jih, třetí stopa horizontální „E“ ve směru východ – západ.

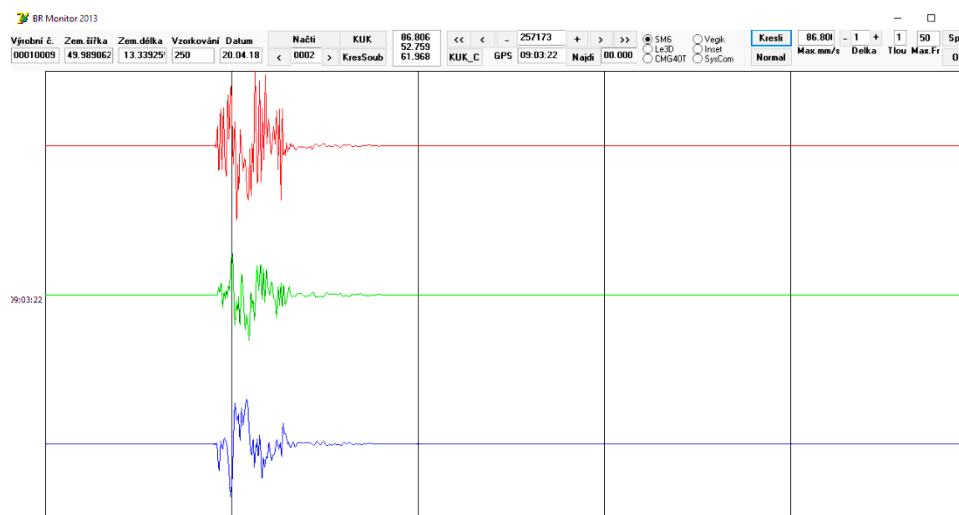
Na následných obrázcích, obr. 6 a obr. 7, je uvedena ukázka umístění seismických aparatur BRS 32 v terénu. Tyto seismické aparatury jsou časově synchronizovány satelitním přijímačem Garmin s využitím přesných vteřinových impulsů a kromě toho jsou do každého datového souboru zapisovány i geodetické souřadnice umístění přístroje. Třísložkové seismické měření na profilech probíhalo se vzorkovací frekvencí 500 Hz.



Obr. 3 Rozmístění seismických stanic při měření odpalu (I.) – 20. 11. 2018 (červený popis) a odpalu (II.) 20. 4. 2018 (modrý popis). Zakroužkovaná stanoviště jsou stacionární seismické stanice. Stanoviště BRS-0 které je označeno červeným oválem je místo provedení clonového odpalu v kamenolomu Mladotice.



Obr. 4 Detail seismické odezvy počínu clonového odpalu



Obr. 5 Odečet přesného času odpalu dne 20. 4. 2018 v kamenolomu Mladotice; $T_0 = 09:03:21,924$ hod

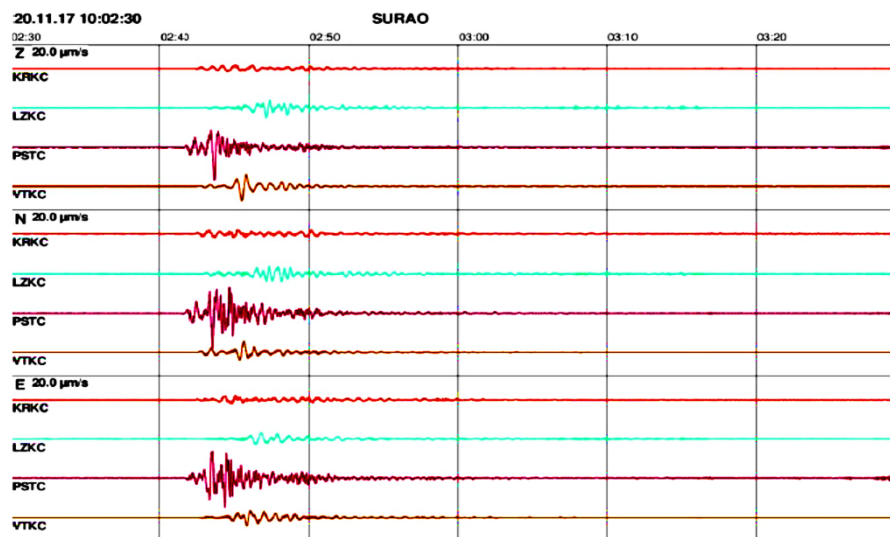
3 Seismické záznamy



Obr. 6 Stanoviště „Viklan“ u lokality Poustky. Na obr. 3 je to pro měření I. BRS 45 a pro měření II. BRS 15.



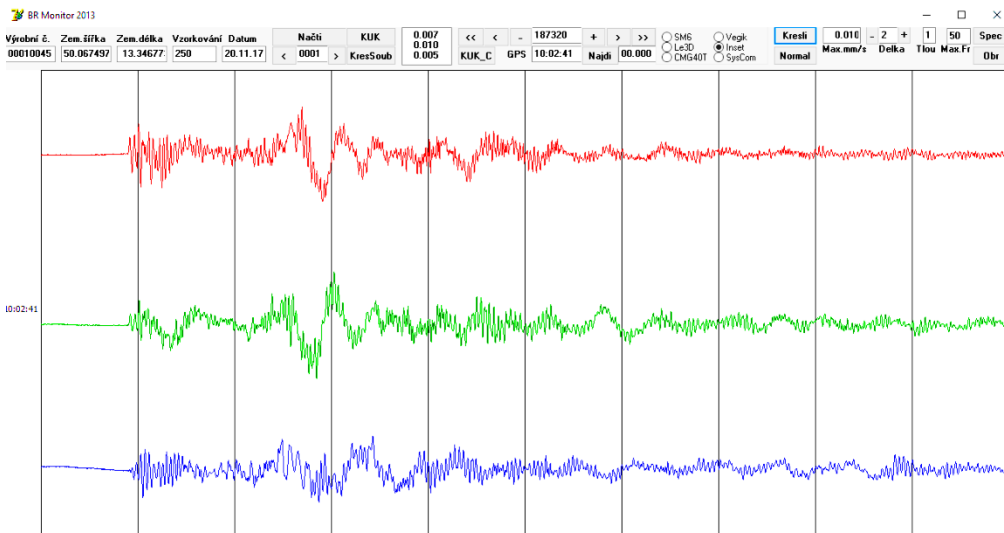
Obr. 7 Stanoviště „Pastuchovice“ které je uvedené na obr. 3. Je to pro měření I. aparatura BRS 17 a pro měření II. aparatura BRS 12.



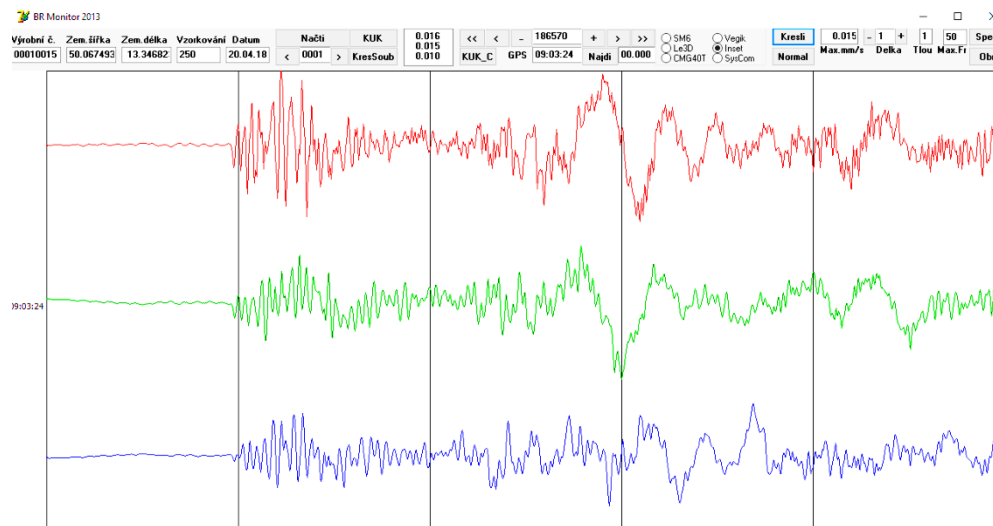
Obr. 8 Seismogramy stanic RUP seismické sítě Čertovka dne 20. 11. 2017

Na měřicích stanovištích byly zaregistrovány seismické odezvy clonových odpalů a to jednak na čtyřech stacionárních stanicích typu RUP (1) a jednak na přenosných stanicích typu BRS32 (2). Na všech těchto stanicích byly pro registraci použity snímače rychlosti kmitání s vlastní frekvencí 1 Hz s citlivostí 400 mV/mm/s (resp.300mV/mm/s). Jako příklad uvádíme na obr. 8 tříšložkový seismogram odpalu (I.) ze dne 20. 11. 2017 jak byl zaregistrován na stacionárních seismických stanicích sítě „Čertovka“. Na následných obr. 9. až obr. 16 jsou uvedeny příklady seismogramů a průběhů frekvenčního FFT spektra z aparatur BRS 32 a to vždy na shodném stanovišti při odpalu (I.) a (II.).

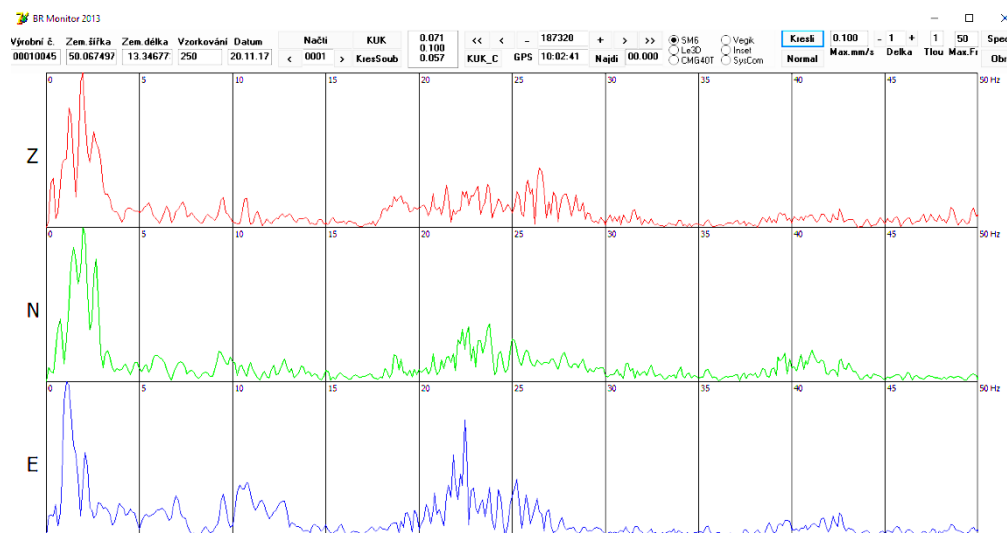
Stanoviště „Viklan“ je vzdálené od ohniska odpalu (I.) 8 727 m a nachází se v jižní části lokality žulového masivu, na kterém se provádí mikroseismologický průzkum. Jednotlivé nasazení fáze seismických vln P (podélné vlny) a S (střížné vlny) jsou na seismogramu, (obr. 9), zcela zřetelné



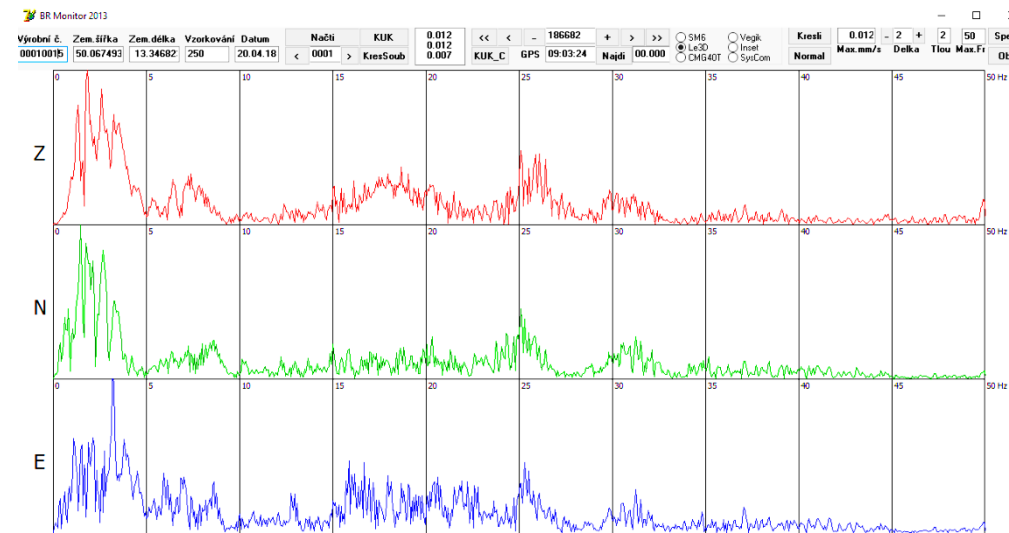
Obr. 9 Seismogram odpalu (I.) na stanoviště „Viklan“ BRS 45 10:02:41,9



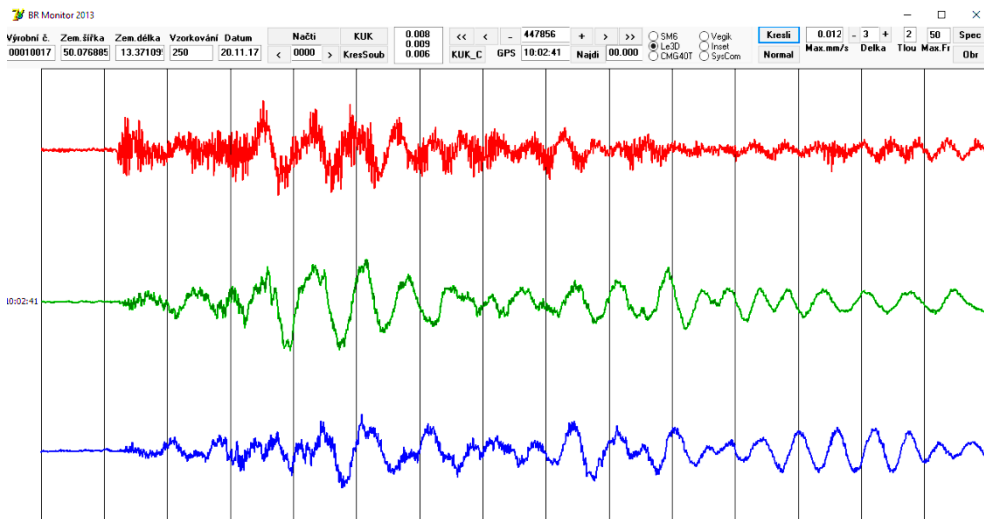
Obr. 10 Seismogram odpalu (II.) na stanoviště „Viklan“ BRS 15 09:03:24,504



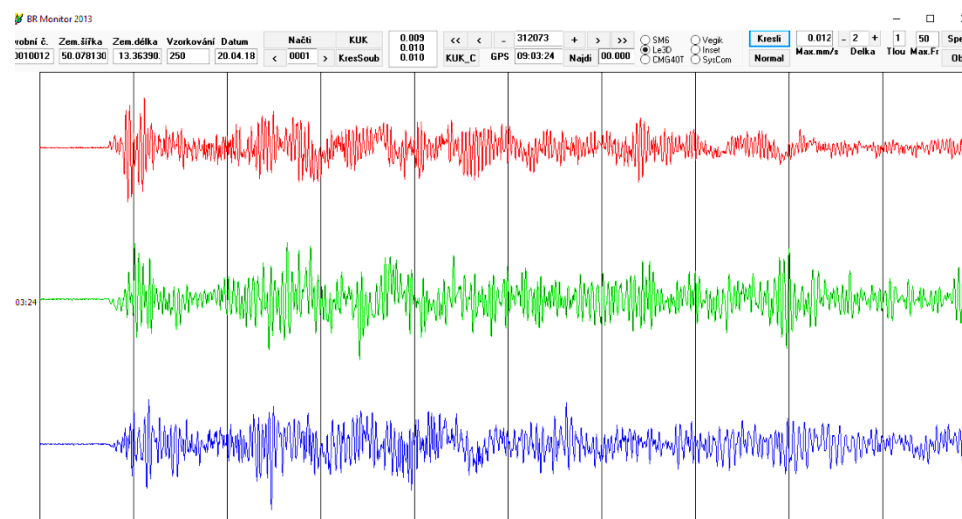
Obr. 11 Frekvenční spektrum odpalu (I.) na stanoviště „Viklan“ BRS 45 10:02:41,9



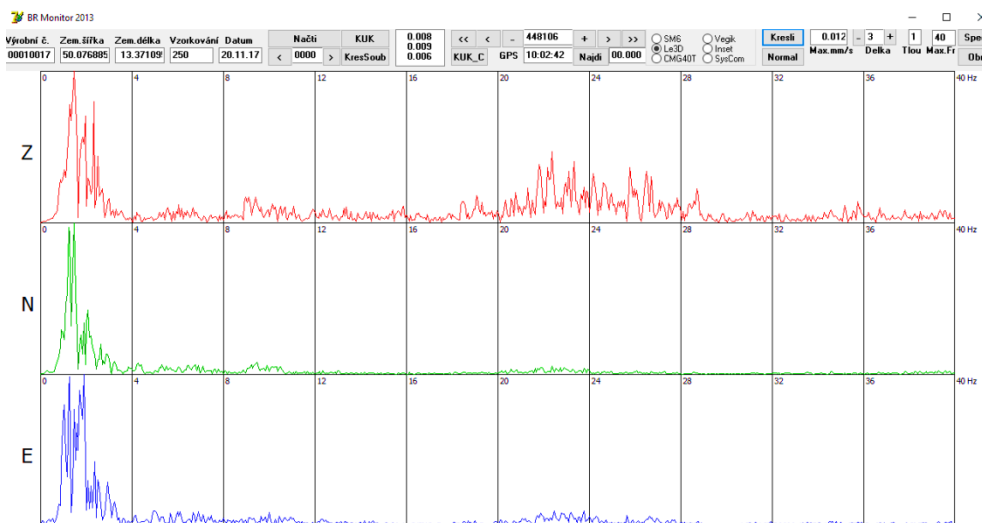
Obr. 12 Frekvenční spektrum odpalu (II.) na stanoviště „Viklan“ BRS 15 09:03:24,504



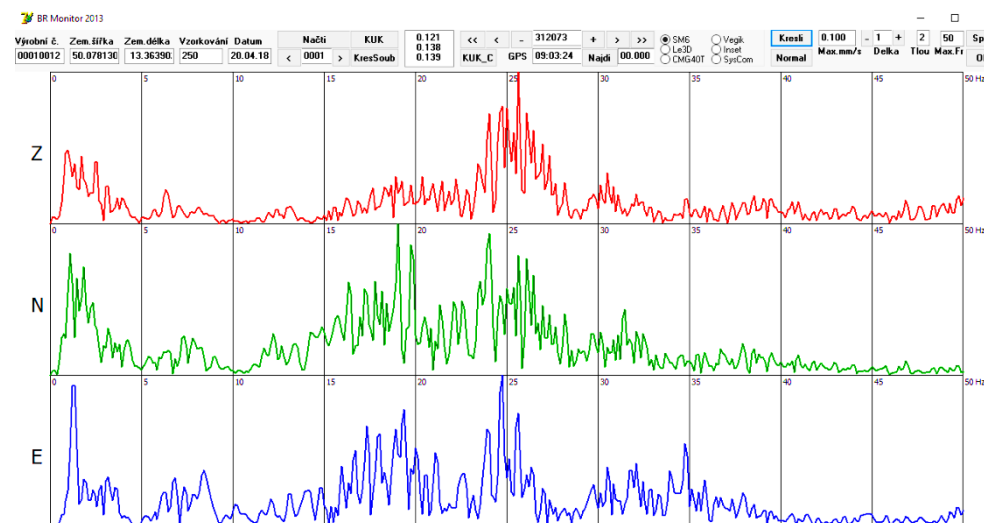
Obr. 13 Seismogram odpalu (I.) na stanoviště 3 „Pastuchovice“ BRS 17 10:02:42,2



Obr. 14 Seismogram odpalu (II.) na stanoviště 3 „Pastuchovice“ RS 12 09:03:24,728



Obr. 15 Frekvenční spektrum odpalu (I.) na stanoviště 3 „Pastuchovice“ BRS 17 10:02:42,2



Obr. 16 Frekvenční spektrum odpalu (II.) na stanoviště 3 „Pastuchovice“ BRS 17 09:03:24,728

Tab. 1 Výsledky měření odpalu I. 20. 11. 2017

20.11.2017											
Ozn. pozice	Stanice	Kde	První nasazení P vlny (UTC)	První nasazení S vlny (UTC)	vzdálenost od BRS9 (m)	čas příchodu GPS	diferenční čas Vp (s)	rychlost šíření Vp (km/s)	diferenční čas Vs (s)	rychlost šíření Vs (km/s)	
0	BRS 9	lom	10:02:40.304		0	10:02:40.304	0.000	0.000	40.304	0.000	
0	BRS 38	lom	10:02:40.312		0	10:02:40.312	0.008	0.000		0.000	
1	BRS 19	Hluboká	10:02:40.984	10:02:41.564	3 810	10:02:40.984	0.680	5.603	1.260	3.024	
2	BRS 45	Viklan u Sklárny	10:02:41.900	10:02:43.484	8 727	10:02:41.900	1.596	5.468	3.180	2.744	
3	BRS 17	Pastuchovice	10:02:42.200	10:02:43.628	10 012	10:02:42.200	1.896	5.281	3.324	3.012	
4	BRS 15	Balková	10:02:42.380	10:02:43.344	11 302	10:02:42.380	2.076	5.444	3.040	3.718	
5	BRS 13	U krav	10:02:42.368	10:02:43.752	11 455	10:02:42.368	2.064	5.550	3.448	3.322	
6	BRS 20	Mokřady	10:02:42.540	10:02:43.720	11 784	10:02:42.540	2.236	5.270	3.416	3.450	
8	BRS 42	Lubenec	10:02:42.980	10:02:45.776	15 003	10:02:42.980	2.676	5.606	5.472	2.742	
9	BRS 18	Malměřice	10:02:42.992	10:02:44.012	13 796	10:02:42.992	2.688	5.133	3.708	3.721	
P	PSTC	Poustky	10:02:41.824	10:02:43.252	8 244	10:02:41.824	1.428	5.773	2.948	2.796	
V	VTKC	Vítkovice	10:02:42.688	10:02:44.704	13 463	10:02:42.688	2.384	5.647	4.400	3.060	
L	LZKC	Ležky	10:02:43.120	10:02:46.252	15 208	10:02:43.120	2.816	5.401	5.948	2.557	
K	KRTC	Krty	10:02:42.472	10:02:44.860	12 551	10:02:42.472	2.168	5.789	4.556	2.755	
					Celková dráha	135 355	Celkový čas	24.708	5.478	44.700	3.028

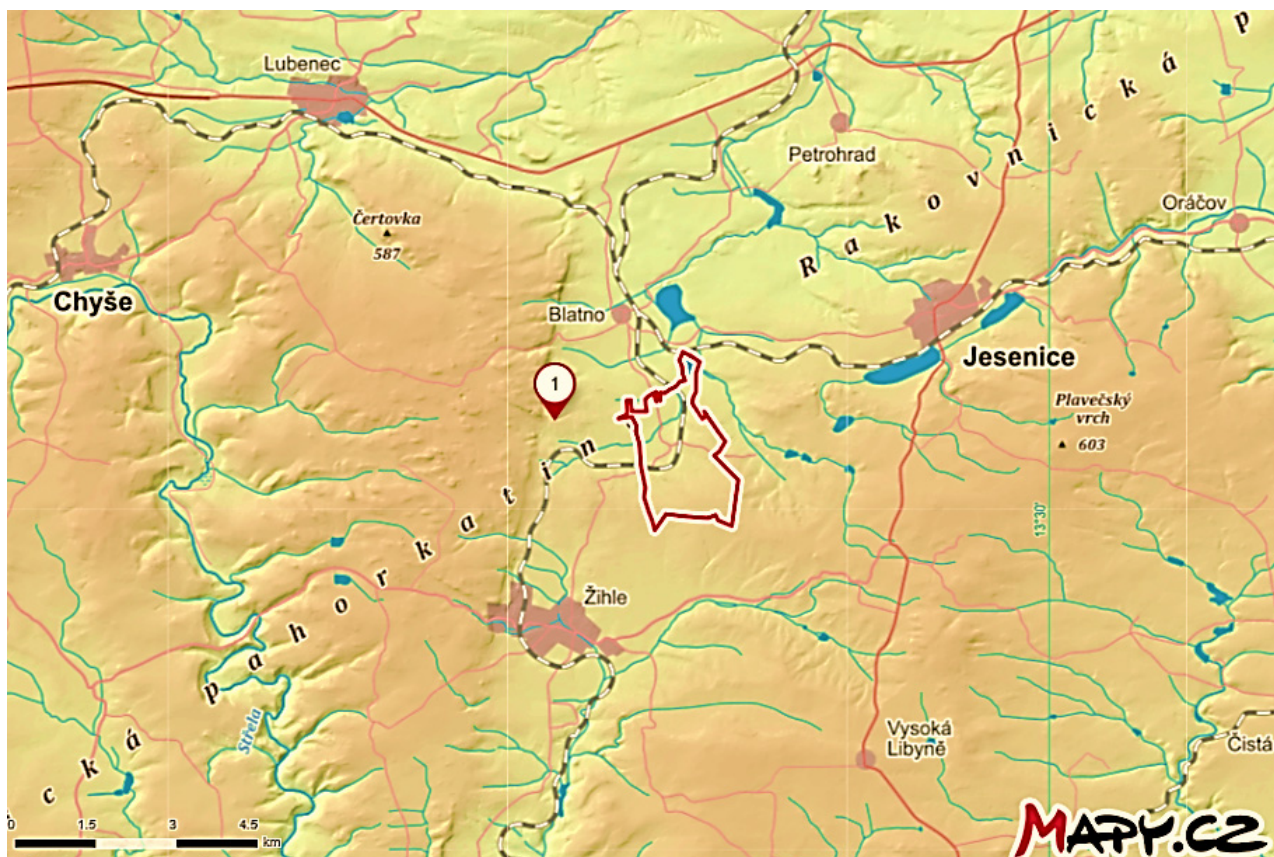
Tab. 2 Výsledky měření odpalu II. 20. 04. 2018

20.04.2018											
Ozn. pozice	Stanice	Kde	První nasazení P vlny (UTC)	První nasazení S vlny (UTC)	vzdálenost od BRS9 (m)	čas příchodu GPS	diferenční čas Vp (s)	rychlost šíření Vp (km/s)	diferenční čas Vs (s)	rychlost šíření Vs (km/s)	
0	BRS 09	lom	09:03:22.9		0	09:03:22.9	0.000	0.000	22.900		
2	BRS 15	Viklan u Sklárny	09:03:24.504	09:03:26.112	8 720	09:03:24.504	1.604	5.436	3.212	2.715	
12	BRS 42	Ležky žel.st.	09:03:25.480	09:03:28.504	14 518	09:03:25.480	2.580	5.627	5.604	2.591	
13	BRS 13	CER01A/13000	09:03:24.668	09:03:26.084	9 671	09:03:24.668	1.768	5.470	3.184	3.037	
14	BRS 12	Pastuchovice	09:03:24.728	09:03:26.176	10 042	09:03:24.728	1.828	5.493	3.276	3.065	
16	BRS 45	Jánský vrch	09:03:24.896	09:03:26.424	10 976	09:03:24.896	1.996	5.499	3.524	3.115	
P	PSTC	Poustky	09:03:24,453	09:03: 25,652	8 240	09:03:24,453	1.553	5.306	2.752	2.994	
V	VTKC	Vítkovice	09:03:25,294	09:03:26,940	13 460	09:03:25,294	2.394	5.622	4.040	3.332	
L	LZKC	Ležky	09:03:25,624	09:03:27,542	15 200	09:03:25,624	2.724	5.580	4.642	3.274	
K	KRTC	Krty	09:03:25,145	09:03:26.540	12 550	09:03:25,145	2.245	5.590	3.640	3.448	
					Celková dráha	103 377	Celkový čas	18.692	5.531	33.874	3.052

a odečty časů jejich nasazení jsou uvedeny v tab. 1. Na následném obr. 10 je seismogram zaregistrovaný od odpalu (II.), kde vzdálenost od odpalu byla téměř shodná 8 720 m. Nasazení jednotlivých fází seismického signálu je v tomto případě mnohem výraznější a to pravděpodobně v závislosti na maximální velikosti dílčích náloží, které u tohoto druhého odpalu byly 270 kg ve srovnání s maximálními velikostmi dílčích náloží prvního odpalu, což bylo jen 140 Kg. Průběhy frekvenčního spektra seismických signálů jsou uvedeny na obr. 11 a obr. 12 a mají prakticky shodná maxima frekvencí v oblasti kolem 2 Hz.

Na následných obrázcích, obr. 13 a obr. 14, jsou seismogramy naměřené na stanovišti Pastuchovice. Na tomto stanovišti, které bylo od ohniska odpalu (I.) vzdálené 10 012m a od ohniska odpalu (II.) 10 008m se na průběhu seismických vln projevuje vliv místní tektoniky, neboť toto stanoviště leží v místě tektonického zlomu, jenž zásadně ovlivňuje průběh seismických signálů a to formou výskytu skupiny seismických vln o velmi nízkých frekvencích. Tato skutečnost je zřejmá z průběhu frekvenčních spekter uvedených na obr. 15 a obr. 16. Přesnost odečtu jednotlivých fází seismických signálů to nijak nezkrusuje. Lokalitu měřicího stanoviště „Pastuchovice“ s probíhajícím okrajovým zlomem uvádíme na následném obr. 17.

Na následných obrázcích, obr. 13 a obr. 14, jsou seismogramy naměřené na stanovišti Pastuchovice. Na tomto stanovišti, které bylo od ohniska odpalu (I.) vzdálené 10 012m a od ohniska odpalu (II.) 10 008m se na průběhu seismických vln projevuje vliv místní tektoniky, neboť toto stanoviště leží v místě tektonického zlomu, jenž zásadně ovlivňuje průběh seismických signálů a to formou výskytu skupiny seismických vln o velmi nízkých frekvencích. Tato skutečnost je zřejmá z průběhu frekvenčních spekter uvedených na obr. 15 a obr. 16. Přesnost odečtu jednotlivých fází seismických signálů to nijak nezkrusuje. Lokalitu měřicího stanoviště „Pastuchovice“ s probíhajícím okrajovým zlomem uvádíme na následném obr. 17.



Obr. 17 Měřicí stanoviště „Pastuchovice“ (bod I.) – lokalizace okrajového zlomu

hodnot na jednotlivých stanovištích jak stacionárních registrací RUP, tak i polních stanic BRS32. Na těchto stanovištích byly odečteny jednotlivé fáze seismických vln a po zpracování těchto hodnot byly na základě určených vzdáleností stanoveny rychlosti šíření V_p a V_s seismických vln. Výsledkem tohoto poměrně jednoduchého měření seismické charakteristiky horninového masivu s využitím časové GPS informace pro synchronizaci profilových stanic je, že platí:

- Střední rychlost seismických vln V_p je z odpalu (I) $V_p = 5,478$ km/s, z odpalu (II.) je to $V_p = 5,531$ km/s.
- Střední rychlost seismických vln V_s je z odpalu (I) $V_s = 3,028$ km/s, a z odpalu (II.) je to $V_s = 3,052$ km/s.

Uvedenou metodiku seismických profilových měření je možné poměrně velmi snadno realizovat v mnohých aplikacích, pokud je možné využít bez jakýchkoliv finančních nákladů prováděné clonové odpaly v kamenolomech ale v některých případech i jiné trhací práce při provádění inženýrských staveb. Vyžaduje se však součinnost prováděcích organizací a osazení seismických aparatur v blízkosti ohnisek s vědomím vedoucího trhacích prací. Práce byly provedeny v rámci zakázky Správy úložišť radioaktivních odpadů (SURAO) ČR, se sdružením firem INSET, s.r.o. a ARENAL, s.r.o. Za umožnění těchto měření v lokalitě kamenolomu Mladotice vyslovujeme poděkování těžební organizaci Berger-Bohemia, a.s. V následujících tabulkách jsou pak tyto údaje: v tab. 1 je zpracování odpalu (I.) z 20. 11. 2017 a v následné tabulce, tab. 2, pak zpracování dat odpalu (II.) 20. 4. 2018.

5 Závěr

Provedené seismické měření je ukázkou využití jak polních aparatur BRS32, tak i metodik při profilových měřeních a to s minimálními nároky na administrativní zajištění (vstupy na pozemky) a minimálními nároky na odbornost obsluhy. Vzhledem k sw inteligenci aparatur; ty mohou být na stanoviště ustaveny a případně i zakopány už 40 hodin před provedeným měřením a měření se již provedou zcela automaticky, jak s přesným udáním satelitního času, tak souřadnic stanice. Naměřené hodnoty seismických rychlostí provedené touto metodikou jsou velmi přesné a při zvýšení vzorkovací frekvence na 2kHz zaručují přesnost odečtu vlnových průběhů 1 ms. Proto mohou být použity stejně dobře jak pro velmi malé geologické oblasti, tak i pro inženýrské stavby.

Literatura

- [1] BROŽ, M., LEVÝ, O., ŠTRUNC, J. Práce probíhající na vzorovém projektu monitoringu pro mikroseismické studie v předpokládaných lokalitách úložišť radioaktivního odpadu – Lokalita Čertovka, *EGRSE XXIV. 1, ISSN 1803-1447*, 2017, s. 12 – 21.
- [2] BROŽ, M., ŠTRUNC, J. MÁLEK, J., LINDA, M., Seismický záznamník nové generace BRS32-USB (28bit & GPS) a jeho využití při měření indukované seismicity, *EGRSE XXI. 1, ISSN 1803 – 1447*, 2014, s. 35 – 47.
- [3] MÁLEK, J., BROŽ, M., FISCHER, T., HORÁLEK, J., HRUBCOVÁ, P., JÁNSKÝ, J., NOVOTNÝ, O., RŮŽEK, B., and The CELEBRATION Working Group Seismic measurements along short profiles in western Bohemia during the CELEBRATION 2000 experiment, *Acta Montana, 21, Series A No. 18 (121)*, 2001, p. 15 – 28.
- [4] Geologická mapa ČR 1 : 50, oblast Tiský masiv, WWW geology.cz

Autoři

¹ Ing. Brož Milan, CSc, Geofyzikální ústav AVČR, v. v. i., Boční II, 14000 Praha 4, milanbrogy@seznam.cz

² Ing. Štrunc Jaroslav, Ph.D. ARENAL, s.r.o. Písečná 448, 18200 Praha 8, jarda_strunc@seznam.cz

³ RNDr. Levý Oldřich, Inset, s.r.o. Lucemburská 7, 13000 Praha 3, levy.oldrich@inset.com

⁴ Mgr. Haislová Radka, Inset, s.r.o. Lucemburská 7, 13000 Praha 3 haislova.radka@inset.com