



KONTINUÁLNÍ ON-LINE EXPEDIČNÍ MONITORING TECHNICKÉ SEISMICITY

LONG-TERM ON-LINE EXPEDITION MONITORING OF TECHNICAL SEISMICITY

Brož Milan¹, Štrunc Jaroslav²

Abstrakt

V souladu se současnými technickými možnostmi měřicích zařízení jsou často vyžadovány výsledky měření v co nejkratší době po seismické události. Při měření mobilními aparaturami přímo v lokalitě je to běžná praxe, která však vyžaduje přítomnost měřiče. Pro mnohé aplikace technické seismicity, zejména takové, které probíhají ad-hoc a v maximální míře využívají nejkratší lhůty dané horním zákonem, není často možné personálně zajistit přítomnost odpovědné osoby. Optimálním řešením pak je osazení trvalého seismického monitoringu s dálkovým přenosem naměřených dat. V závislosti na lokálních možnostech lze zajistit přenos dat buď pevným internetovým připojením, nebo mnohdy operativnějším GSM/LTE modemem. Pro běžné aplikace je možné za příznivé náklady, řádově 10 až 20 EUR měsíčně, zajistit každodenní přenos dat na dedikovaný datový server. V příspěvku ukážeme několik takovýchto realizací jak s využitím dlouhodobého monitoringu mobilními aparaturami, tak i stacionárními monitorovacími stanicemi.

Abstract

There are many requirements to provide immediate measuring evaluation as soon as possible after seismic event occurrence reflecting the cutting-edge technology. This approach becomes typical for induced seismicity, especially regarding quarry blasting. The classic style, using mobile seismic instruments operated by a qualified person seems to be more and more unsustainable. Many customers want to shorten the length of field works to meet the limits stated by Mining Act to achieve blasting in almost ad-hoc regime. In such situations it's impossible to ensure responsible person presence. The optimal solution brings permanent seismic monitoring with telemetry. Depending on local conditions it can be fetched as a direct Internet connection or as more flexible GSM-LTE link. The most common implementations can be driven by rather cheap tariff of about 10 to 20 € per month. It can manage data transfer to the dedicated server every day and enables remote data evaluation from several sites by just one operator. We are going to present some examples of long-term monitoring using mobile and permanent seismic stations. Attempts to use geophysical methods to monitor slope failures first occurred some time ago. The first

paper on the topic was written in 1975, and other soon followed. In the Czech Republic, the first geoelectrical monitoring was realized in 1977. The first origins of geoelectrical monitoring in the Soviet Union was the same. No article from Anglo-Americans areas can be found from that time. It is only in the past two decades that articles on geophysical monitoring started showing up. Thanks to the school of R. Supper in Vienna, they predominantly concern geoelectrical monitoring, more specifically the usage of repeated electrical resistance tomography. What is important is that the first attempt to establish alert states have already occurred.

Klíčová slova

Seismický monitoring, mobilní stanice, bezdrátový přenos dat, indukovaná seismicita.

Keywords

Seismic monitoring, mobile station, wireless data transfer, induced seismicity.

1 Úvod

V praxi se často setkáváme s požadavkem operativního nasazení seismických stanic. Ten vychází z potřeby monitoringu přirozené seismicity pro projekci inženýrských staveb, dále z požadavků na servisní měření indukované seismicity při těžebních odpalech nebo účinků technické seismicity při inženýrských stavbách prováděných trhacími pracemi či těžkou vibrační technologií.

Tyto požadavky jsou splnitelné dvěma způsoby. Zaprvé polními seismickými stanicemi typu BRS32, které je možné operativně použít jak přímo v terénu, tak i pro archivní měření na vybraných stanovištích v blízkosti prováděných prací. Druhou možností je instalace kontinuálních registračních stanic s okamžitým přenosem údajů o seismických jevech a s následným přenosem kompletního datového balíku za celý 24 hodinový registrační interval

2 Polní seismické aparatury typu BRS32

Po mnohaletých zkušenostech měření s přístroji typu BR1 a BR3 byl v roce 2012 firmou ARE-NAL, s.r.o ve spolupráci s firmou Tedia spol., s r.o. vyroben seismický záznamník BRS32, který splňuje náročné technické a provozní podmínky terénního nasazení i průběžného monitoringu s vnějším akumulátorem, nebo síťovým napájením. Tyto přístroje jsou již dlouhodobě používány pro mnoho aplikací. V současné době je v provozu v České republice, na Slovensku a v Německu již 53, těchto aparatur. Jejich sestava a příklady využití byly popsány v Brož a kol. (Brož a kol. 2017, Brož a kol. 2014, Brož Boušková 2018, Duda a kol. 2017, Brož, 2000, Brož a kol. 2008, Brož Štrunc 2017)] a tak v tomto článku prezentujeme jen zajímavé výsledky měření, které jsou inspirující pro další použití těchto aparatur.

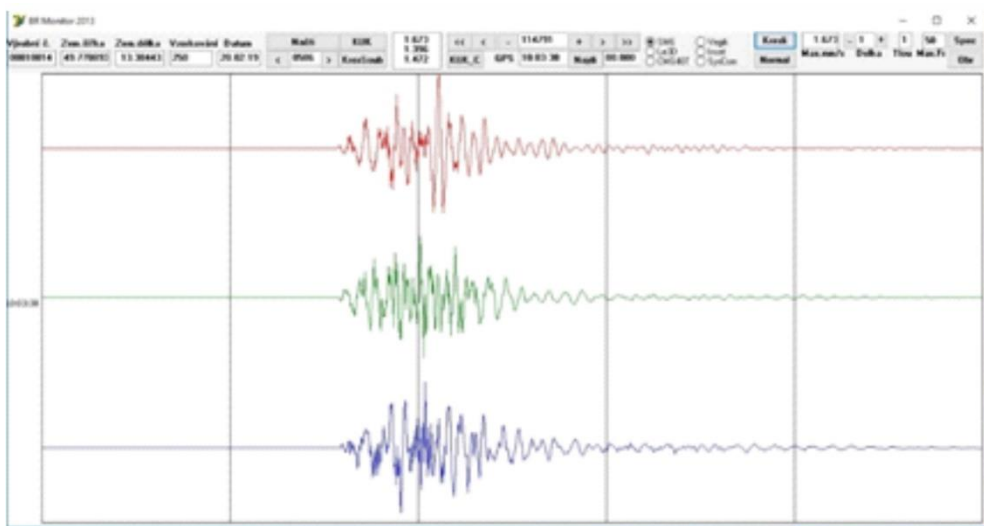


Obr. 1 Polní seismická aparatura typu BRS32 s interním nebo externím tříšložkovým seismickým snímačem rychlosti kmitání typu SM6-3D

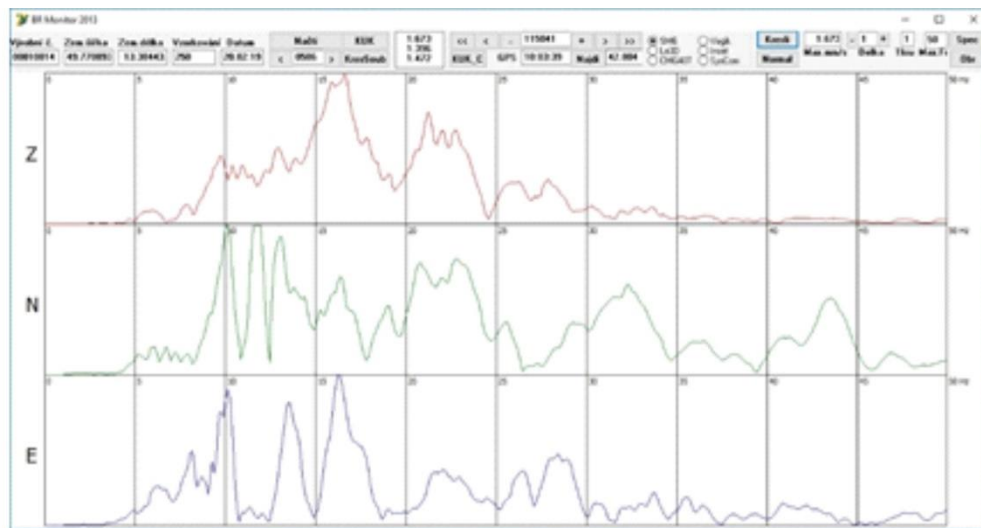
Na obr. 1 je uvedeno konstrukční provedení aparatury, která může být provozována s interním nebo externím snímačem na 15 m kabelu. Výhodou je variabilní umístění GPS antény, a to až do vzdálenosti 50 m, což je nutné při měření ve sklepních a podzemních prostorech. GPS modul primárně zajišťuje přesnou časovou synchronizaci, sekundárně pak polohu měřidla. Při klasickém režimu může aparatura pracovat na interní akumulátor až 48 hod. a při možnosti připojení na síťové napájení, je pak možné realizovat bezobslužný seismický monitoring po dobu až 6 měsíců. Dále uvádíme příklady situací a příslušné výsledky měření se stručným komentářem. Vyhodnocování záznamů je prováděno různými softwarovými nástroji, vždy se specifickými funkcemi pro požadovanou aktivitu. Mnoho nástrojů jsou proprietární, vytvořené v rámci Akademie věd, nebo spol. Arenal, s.r.o.

2.1 Měření seismických účinků těžebních clonových odpalů (obr. 2, 3)

Jedná se o relativně silný jev vzhledem k okolnímu šumu, který je jednoznačně identifikovatelný. Odpaly se provádějí mimo obydlennou oblast K měření dochází v koordinaci s technickým zabezpečením odstřelu a za dodržení přísných bezpečnostních podmínek (Brož 2000)



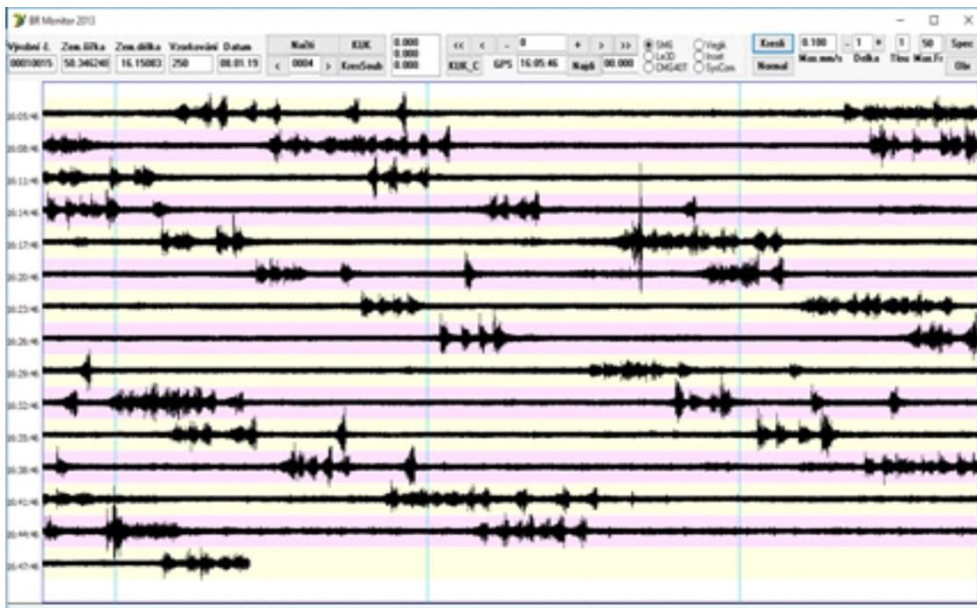
Obr. 2 Tříšložkový seismogram účinků clonového odpalu dne 20.2.2019 v kamenolomu Čenkov u Prahy $Z=1,673$ mm/s, $N=1,399$ mm/s a $E=1,472$ mm/s



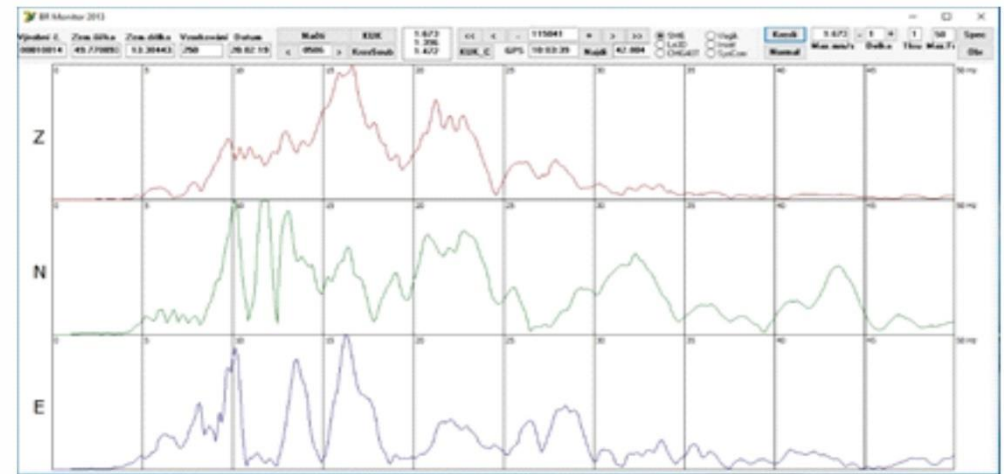
Obr. 3 Frekvenční spektrum účinků clonového odpalu dne 20.2.2019 v kamenolomu Čenkov u Prahy, maxima na frekvencích $Z=16,8$ Hz, $N=12,1$ Hz a $E=16,6$ Hz

2.2 Měření seismických účinků dopravy v občanské zástavbě (obr. 4, 5)

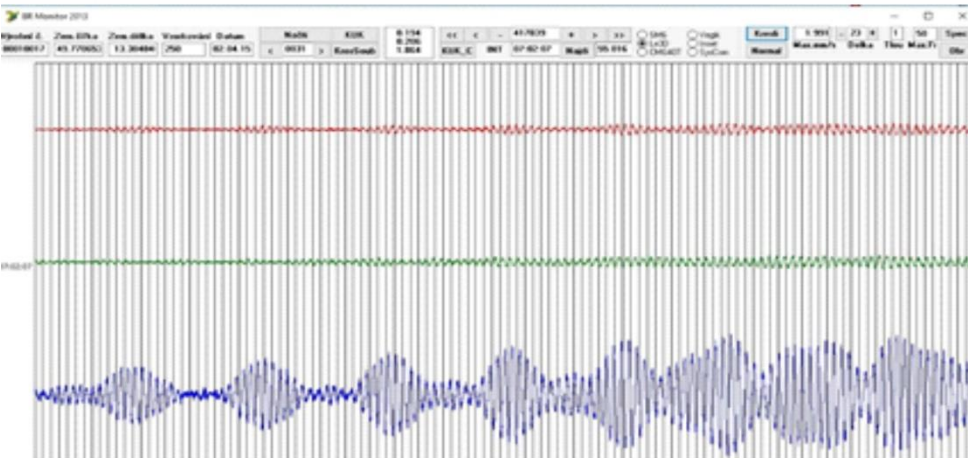
Účinky dopravy charakterizuje dlouhodobý vliv, a tedy objektivně kontinuální monitoring. Při zpracování jsou výrazné výkyvy denního a nočního režimu stejně tak i vysoký okolní šum obydlené oblasti.



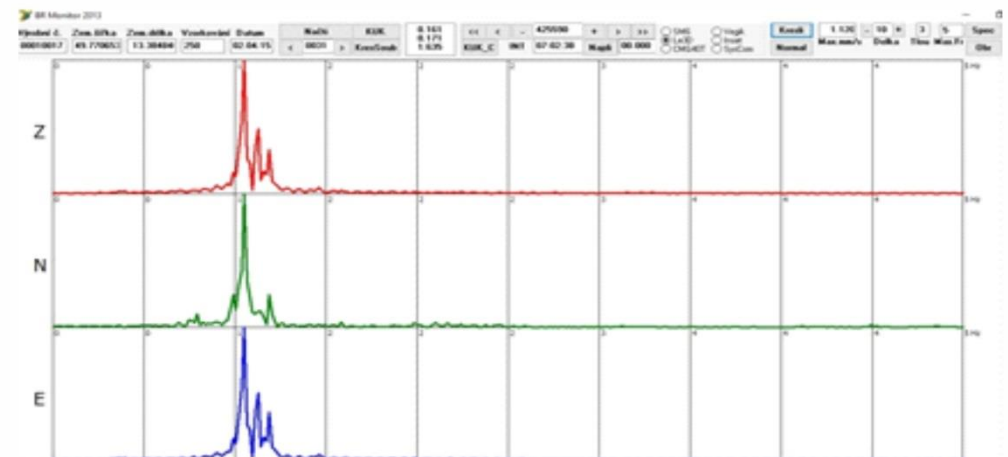
Obr. 4 Snímek seismické odezvy osobní dopravy v historické části Nového Města nad Metují. Amplitudy rychlosti kmitání při průjezdu aut dosahují na vertikální Z složce až $Z=0,2$ mm/s



Obr. 5 Třísložkový seismogram průjezdu auta v uvedené lokalitě. Amplituda rychlosti kmitání je maximální na Z složce $Z=0,323$ mm/s



Obr. 6 Průběh seismické odezvy 115 m vysoké věže Katedrály sv. Bartoloměje v Plzni způsobené zvoněním 5ti kostelních zvonů. Doba trvání 6 minut. Maximální hodnota amplitudy rychlosti kmitání 1,864 mm/s



Obr. 7 Frekvenční spektrum odezvy věže katedrály na zvonění. $F_{max} = 1,6$ Hz na všech seismických složkách.

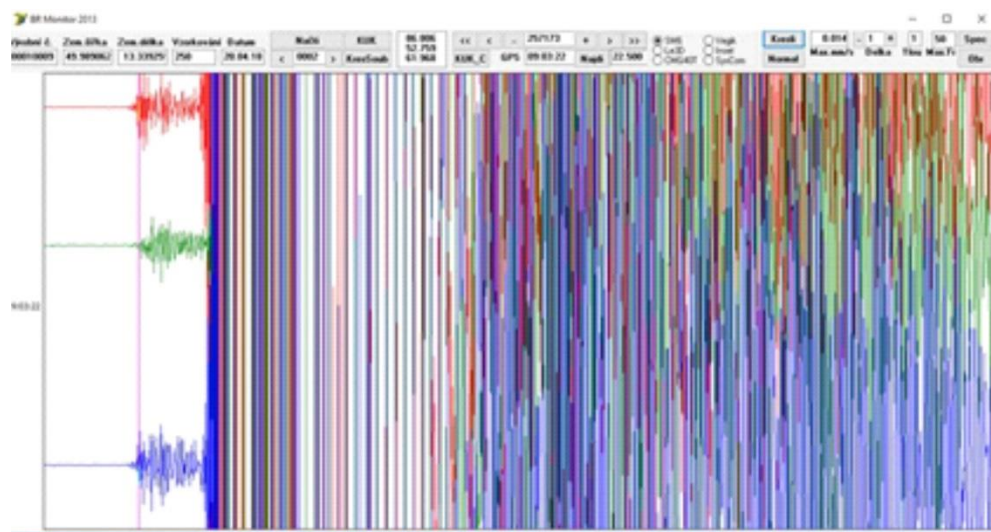
2.3 Monitoring přirozené a indukované seismicity stanovení odezvy působící na stavby (obr. 6, 7)

V tomto případě se jedná o specifické zadání, např. kmitání výškových budov při konkrétní aktivitě – zvonění zvonů na věži (obr. 6), blízké průlety letadel, působení silného větru atp. Zde je velmi důležité vyhodnotit frekvenční spektrum, protože často dochází ke kmitům v oblasti jednotek Hz, což je oblast pro stavby velmi kritická (Brož a kol. 2008).

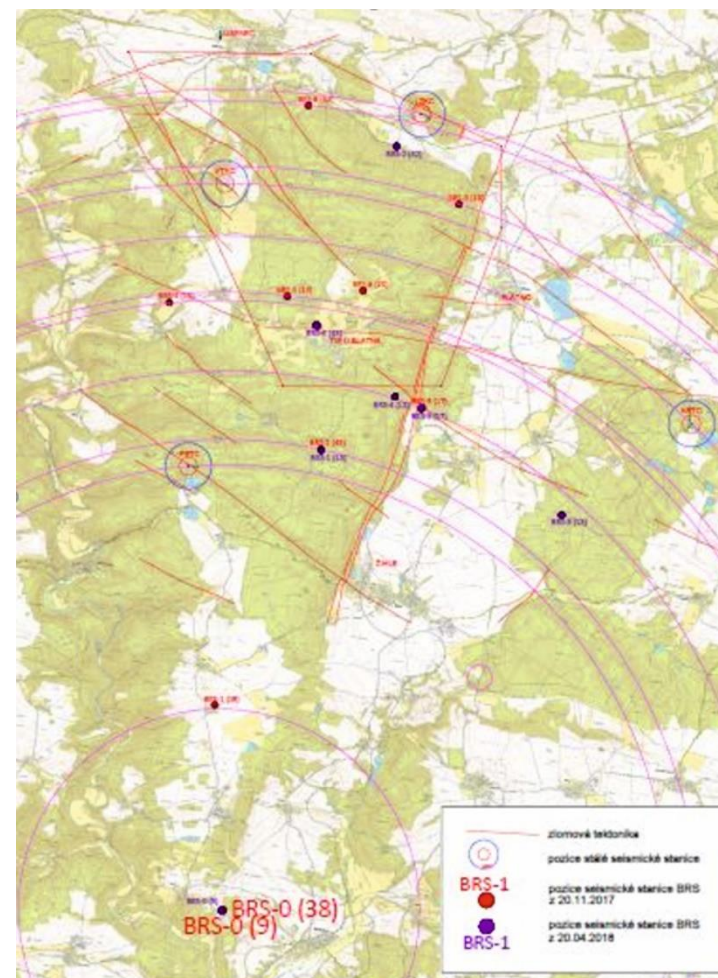
2.4 Seismické profilování (obr. 8, 9)

Aparatury BRS32 lze výhodně využít pro seismické profilování a pro stanovení rychlostí šíření seismických vln které určují kvalitu horninového prostředí v určitých hloubkách v závislosti na délce seismického profilu (obr. 8).

Umístění aparatury se provádí do těsné blízkosti odpalu. Vysoká dynamika seismogramu dovoluje znázornit první desítky milisekund děje, odpovídající časování jednotlivých náloží, 0 až 300ms, (obr. 9).



Obr. 9. Seismogram stanovení přesného času odpalu (Origin Time) CO Mladotice – 20.04.2018 09:03:21,96.



Obr. 8 Rozložení seismických aparatur BRS32 pro stanovení rychlostí šíření seismických vln vyvolaných clonovým odpalem kamenolomu Mladotice u Plzně. Délka seismických profilů byla až 16 km.

3. Stacionární seismické aparatury typu RUP-SEIS

Zejména pro dlouhodobé bezobslužné seismické monitorování jsou již několik desetiletí využívány stacionární seismické aparatury typu RUP-SEIS [9], které zajišťují s vysokou dynamikou a vysokou přesností stanovení časové informace záznamu seismických jevů. Do této kategorie seismických stanic patří jak solitérní seismické stanice (např. Podzemní zásobník plynu ve Štramberku, obr. 10 až 12), tak zejména seismické sítě, ve kterých jsou instalovány až desítky těchto seismických stanic. Příkladem je seismická síť Podzemního zásobníku plynu na Příbrami s 9 stanicemi, seismická síť OKD Ostrava s 15 stanicemi a dvě seismické sítě na Slovensku s celkem 25 stanicemi, monitorující oblasti JE Jaslovské Bohunice a JE Mochovce.

Tyto stanice jsou závislé na síťovém napájení a podle lokálních možností umožňují online přenos kompletních seismických dat do vyhodnocovacích center. Ve všech případech se jedná o přenos dat s vysokou vzorkovací frekvencí (od 100 do 2000 Hz), dynamikou nad 140 dB a přesností identifikace času v jednotkách milisekund. Tyto data následně umožňují zpracování seismických úloh intenzity jevů, lokalizace ohnisek a jejich mechanismů. Z těchto dat jsou zpracovávány

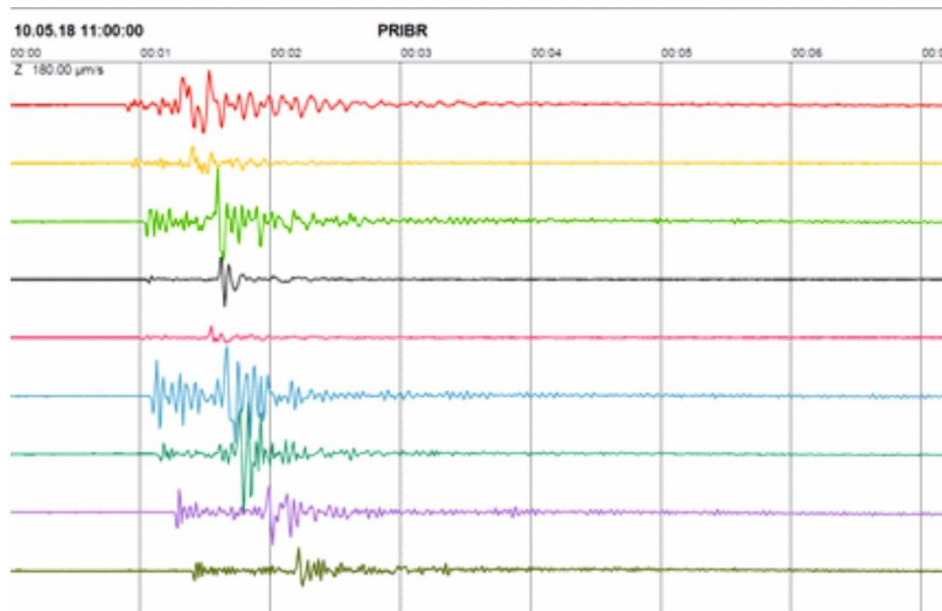
seismické bulletiny, které slouží k zajištění základních informací o seismicitě sledovaných oblastí.

Modifikací těchto stacionárních seismických stanic jsou aparatury typu RUP-SEIS modelového roku 2019, které mají charakter přenosných seismografů.

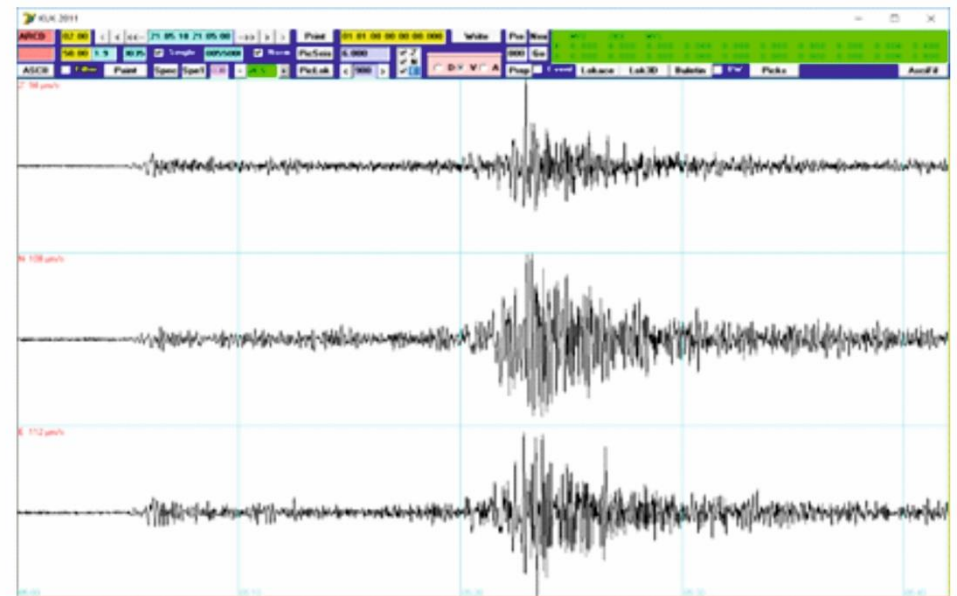
Tato konstrukce je provedena tak, že při zachování všech parametrů a výhod stanic, umožňují jejich jednoduché přemístění a činnost v režimu online (příp. s časovým opožděním 24 hod) bez nároků na připojení na místní internetovou síť. U stanic, které jsou připojeny na síťové napájení, je přenos dat zajištěn přes GSM/LTE datovou síť. Aparatura je kromě GSM modemu na odesílání SMS zpráv o činnosti a zpráv o triggrech (překroční nastaveného kritéria max. amplitudy rychlosti kmitání) vybavena i datovým GSM/LTE modemem, který je trvale připojen k síti. Přenos dat se provádí intervalově, a to po jejich průběžné kompresi až v prvních ranních hodinách následujícího dne. Data jsou přenášena k archivaci na datový server a následně zpracovávána operátorem.



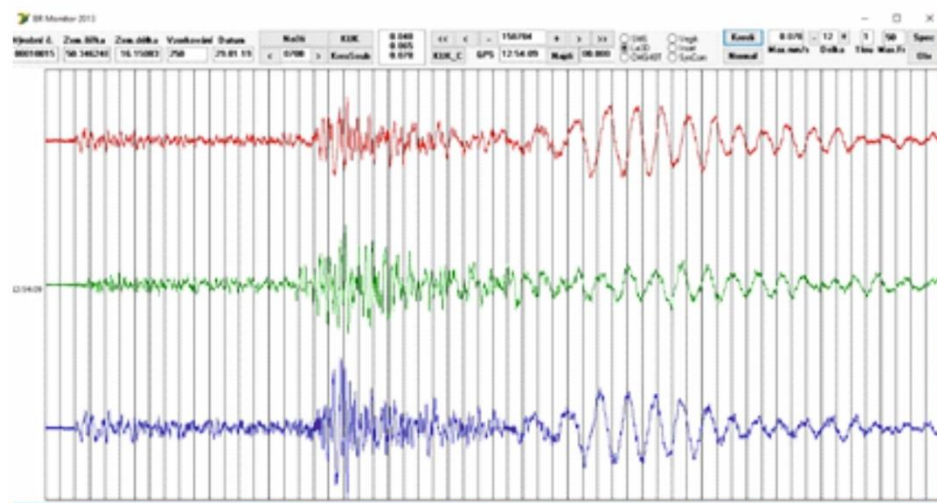
Obr. 10 Instalace solitérní seismické stanice ve venkovním rozvaděči monitorovacího vrtu VT23 na podzemním zásobníku plynu ve Štramberku



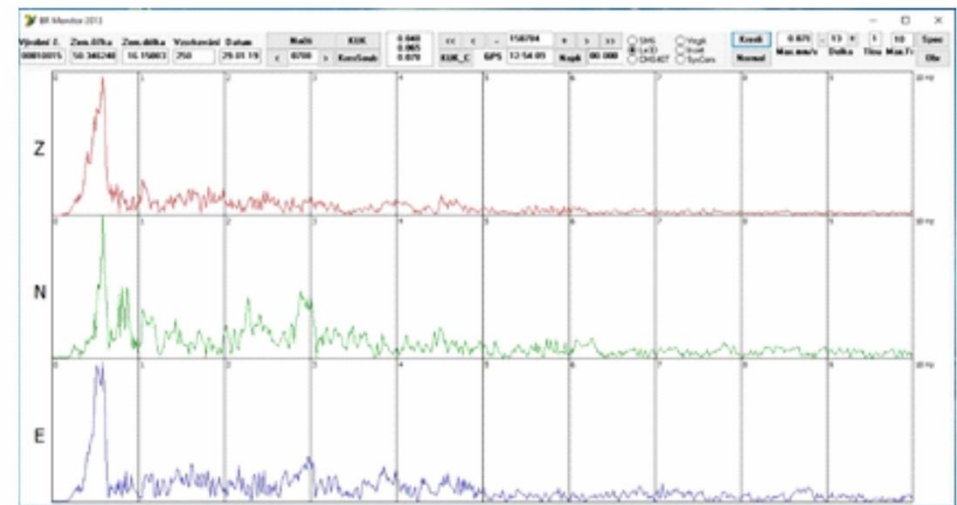
Obr. 11 Seismogram lokálního mikrozemětřesení zaznamenaného na 9ti vertikálních složkách seismických stanic RUP-SEIS na podzemním zásobníku plynu PZP Háje dne 10.05.2018



Obr. 12 Seismogram západočeského přirozeného zemětřesení dne 21.05.2018 ve 21:05 na stanici seismické sítě PZP Háje u Příbrami. $M=3,7$



Obr. 13 Třísložkový seismogram indukovaného zemětřesení vyvolaného důlním otřesem v podzemí měděného dolu v Lubinu v Polsku dne 29.01.2019 ve 12:54:09 SEČ, magnitudo $M=4$.



Obr. 14 Průběh frekvenčního spektra zemětřesení ve třech seismických složkách Z, N, E = 0,8 Hz. Maximum je dáno povrchovémi vlnami.

Registrace proběhla v Novém Městě nad Metují. Vzdálenost od ohniska 117 km. Délka časového intervalu 60 s, maximální amplituda na E složce $E=0,078$ mm/s.

Velkou výhodou těchto aparatur je to, že noční přenos dat GSM/LTE modemem je možné realizovat jak v městských lokalitách, tak i při polních měřeních. Další výhodou jsou poměrně nízké finanční náklady. Při přenosech dat pouze seismických účinků clonových odpalů (tj. jednotlivých záznamů seismických jevů) je možné parametry aparatury nastavit tak, že 24 hodinový přenos má velikost řádově desítky až stovky kB. Z toho plyne, že se měsíční přenos dat dá realizovat i za podstatně menší náklady, než bylo zmíněno v úvodu, za cenu okolo pět EUR.

4. Závěr

Prezentované zkušenosti s použitím uvedených sestav seismických aparatur potvrdili jednak jejich špičkové technické parametry (Brož, Štrunc 2011) a zejména vysokou spolehlivost při dlouhodobých měřeních (Štrunc Brož 2011). Důležitým základním parametrem je to že všechny tyto aparatury pracují v přesném časovém režimu, kdy součástí každého záznamu seismického jevu je údaj světového času určený s přesností vyšší, než je chyba vzorkování (např. méně než 4 ms při vzorkování 250 Hz).

Reference:

- BROŽ, M., LEVÝ, O., ŠTRUNC, J. Práce probíhající na vzorovém projektu monitoringu pro mikrosezimické studie v předpokládaných lokalitách úložišť radioaktivního odpadu – Lokalita Čertovka, *EGRSE XXIV*. 1, ISSN 1803-1447, 2017, s. 12–21.
- 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.
- BROŽ, M., BOUŠKOVÁ A. Seismicita v oblasti západních a severních Čech a projekt na zpřístupnění Goetheho štoly ve vulkánu Komorní hůrka, *Zpravodaj hnědé uhlí*, 2, 2018.
- DUDA, R, BROŽ, M, ŠTRUNC, J. Zkušenosti s podzemním seismickým monitoringem při ražbě dálničních tunelů ve Višňové u Žiliny. [Experiences from underground seismic monitoring at the excavation of tunnel Visnove by Zilina.], *Trhacia technika 2017*. Zborník prednášok z 29. medzinárodnej konferencie na počesť 390. výročia prvého použitia výbušnín na svete v podzemí. Banská Bystrica: Slovenská spoločnosť pre trhacie a vŕtacie práce, 2017, s. 13–23. ISBN 978-80-89914-00-5.
- BROŽ, M, ŠTRUNC, J. Metodika a výsledky dlouhodobého seismického Monitoringu na PZP Háje – Innogy.cz. [Methodology and results of long-term seismological monitoring at underground gas storage Háje – Innogy.cz.], *EGRSE*, Roč. 24, č. 1, 2017, s. 1–11 ISSN 1803-1447.
- BROŽ, M, Detection of the Origin Time and Seismic Ground Motion of Quarry Blasts, *Acta Montana*, Publ.Inst. of Rock Struc. And Mech., Czech. Acad. Sc. Series A, No.16 (118), 2000, p. 17–24.
- BROŽ, M, ŠTRUNC, J. BUBEN, J, Stability Monitoring of Unique Historical Buildings in the Czech Republic S43A-15. *2008 AGU Join Assembly Meeting*, 2008, Florida, USA.
- BROŽ M. AND ŠTRUNC J.: A New Generation of Multichannel Seismic Apparatus and its Practical Application in Standalone and Array Monitoring, *Acta Geodyn. Geomater.*, Vol. 8, No. 3 (163), 2011, p. 345–352, ISSN 1214–9705.
- ŠTRUNC J., BROŽ M.: The Detection of Weak Earthquakes in the Western Bohemian Swarm Area through the Deployment of Seismic Arrays, *Acta Geodyn. Geomater.*, Vol. 8, No. 4 (164), 2011, ISSN 1–9, N 1214–9705.

Authors

¹ Ing. Milan Brož, CSc., Geofyzikální ústav AV ČR v.v.i., milanbrogy@seznam.cz,

² Ing. Jaroslav Štrunc, Ph.D., ARENAL, s.r.o. jarda_strunc@seznam.cz