

SEISMICKÝ ZÁZNAMNÍK NOVÉ GENERACE BRS32-USB (28BIT & GPS) A JEHO VYUŽITÍ PŘI MĚŘENÍ INDUKOVANÉ SEISMICITY

NEW GENERATION SEISMOLOGICAL DATALOGGER BRS32-USB AND ITS APPLICATION IN INDUCED SEISMICITY MONITORING

Milan Brož¹, Jaroslav Štrunc², Jiří Málek³ a Martin Linda⁴

Abstrakt

Pro řešení výzkumných úkolů a pro specifická měření technické seismicity byl zkonstruován seismický datalogger, jehož použití se ukázalo velice přínosné jak z hlediska technických parametrů, tak jednoduchosti obsluhy. V tomto příspěvku se budeme zabývat metodikou seismických měření a způsobem jejich vyhodnocení. Kromě klasického využití při měření seismických účinků těžebních odpalů na občanskou zástavbu je hlavní využití zaměřeno na úlohy seismických průzkumů. Popíšeme aplikace při řešení mnohokanálového mikro-seismického rajónování pro stanovení parametrů prostředí z hlediska monitoringu přirozené seismicity. To je důležitý faktor pro stavbu povrchových inženýrských staveb a také pro podzemní produktová i odpadová úložiště.

Abstract

Measuring of induced and technical seismicity requires robust and user-friendly instruments. In the framework of the project ‘Research on Thermally Loaded Rock – Perspectives of Underground Thermal Energy Storage’ such kind of instrument called BRS32 was developed and successfully employed. The main advantage of the BR32 apparatus is high dynamic range, which is useful for both technical and scientific measurements. It can operate as handy instrument with built-in geophones or with external seismograph. It enables rather broad spectra of utilization – from the measuring of effects caused by blasting in quarries to the high range refraction seismology. In this text we deal with seismological measurement methodology with emphasis on blasting effect and its influence on the civil buildings. Multi-channel micro-seismic monitoring of natural seismicity is also mentioned related to environmental hazard for a safety of civil-engineering buildings and underground facilities.

Klíčová slova

záznamník, indikovaná seismicita, přesné měření času, odpal, podzemí, akustická emise

Keywords

datalogger, induced seismicity, precise time, basting, underground, acoustic emission

1 Úvod

Potřeba terénních měření při stanovení přirozené seismicity pro mikroseismické rajónování a operativní nasazení při servisních měření indukované seismicity, jak při těžebních odpalech, tak i při realizaci inženýrských podzemních staveb prováděných trhačskými pracemi nebo těžkou vibrační technologií, vyžaduje jednoduchý, přesný a levný seismický přístroj pro instalaci na několika stanovištích.

Po mnohaletých zkušenostech měření s přístroji typu BR1 a BR3 byl na našem pracovišti, seismotektonickém oddělení ÚSMH AVČR ve spolupráci s firmami ARENAL a TEDIA, vyroben přístroj BRS32, který splňuje náročné technické a provozní podmínky terénního nasazení. Jedná se o bateriový přístroj s třísložkovým seismickým geofonem a záznamem na interní flash paměť o kapacitě až 32 GB (pro kontinuální záznam je obsah paměti na jedno spuštění až čtyři měsíce), stahování dat a další parametry jsou nastavitelné přes USB rozhraní, obr. 1 Místo měření a čas záznamu je automaticky identifikován příjmem GPS signálu. Programové vybavení umožňuje i provedení odložených startů přístroje.

2 Technické parametry

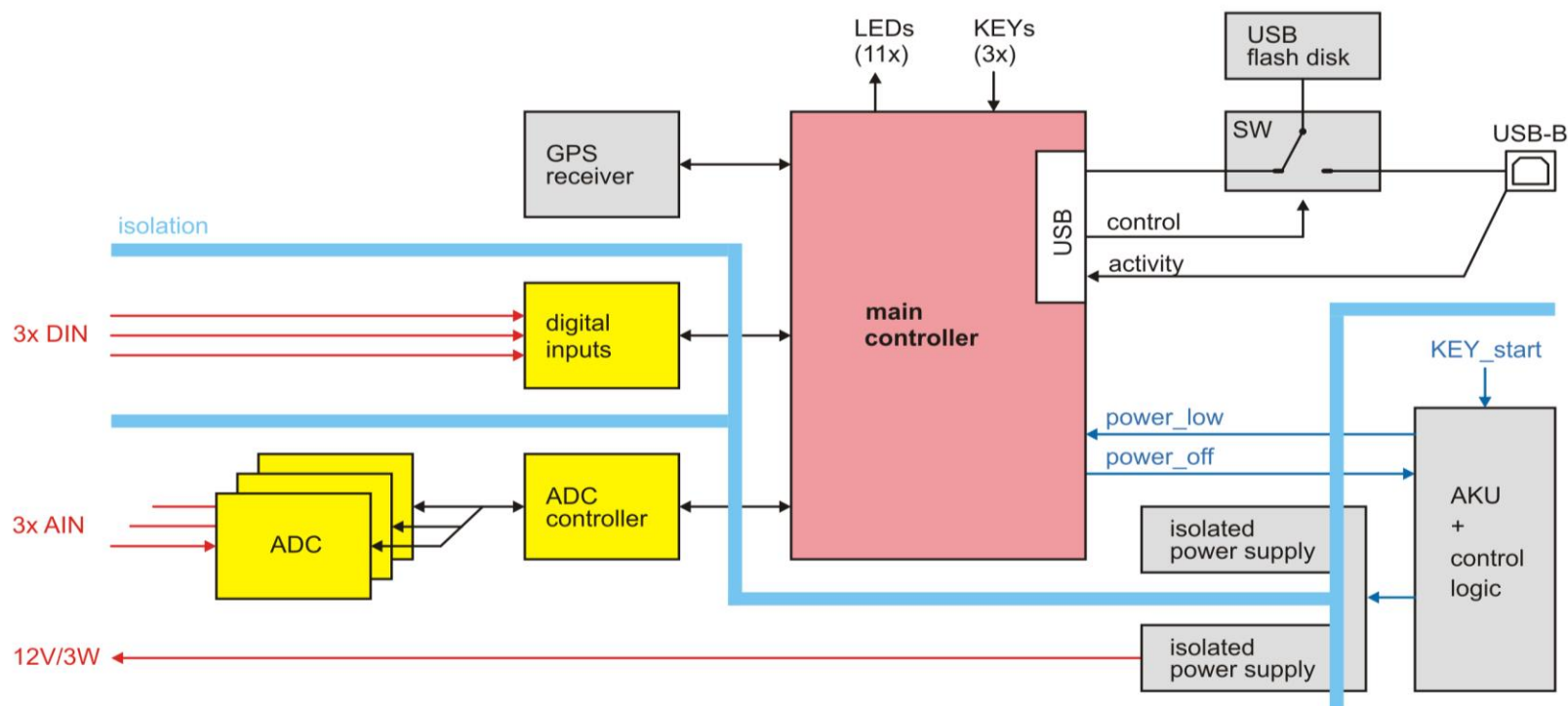
Frekvenční rozsah a dynamický rozsah je závislý na instalovaném interním geofonu a pohybuje se od 0,5 Hz do 80 Hz při dynamice až 120 dB. Samotný záznamník má vstupní dynamický rozsah vyšší než 144 dB ($MSB/LSB = 2,5V/0,018626\mu V$). Přístroj se po zapnutí automaticky připojí k signálu GPS, který zajistí časovou synchronizaci dat s vysokou přesností (v závislosti na volbě vzorkovací frekvence) a uloží i souřadnice měření.

Na jedno nabití interního akumulátoru pracuje více než 48 hodin. Vzhledem k celkové velikosti a jednoduchosti obsluhy je použití aparatury vhodné pro veškeré aplikace měření indukované i přirozené seismicity. Procesorové vybavení přístroje umožňuje i synchronní seismické měření s GPS identifikací času v podzemních prostorách při zasynchronizování časového kanálu před vstupem do podzemí a opětovou synchronizaci při výstupu z podzemí a zachycení GPS na volném prostoru.



Obr. 1 Provedení přístroje s integrovaným snímačem LE3D (Lennartz Electronic), GPS a akumulátorem (12V/7Ah)

Přístroj je sériově vyráběn v ČR. Interní senzorické vybavení je možné zvolit, podle charakteru měření bud s interními geofony SM6b holandské výroby (4,5 až 100 Hz) nebo s 1Hz snímači LE3D od německé firmy Lennartz (1 až 80 Hz), případně připojit i jiný externí snímač.



Obr. 2 Blokové schéma přístroje

3 Postup měření a praktické realizace

3.1 Postup operátora měření

- Start, zachycení GPS času a souřadnic měření – max. 1 až 2 min;
- Automatické kontinuální měření, až 48 hodin kontinuálního záznamu 3 složek se vzorkováním 250 Hz;
- Přerušení měření pro kontrolu popř. stažení dat, nebo konec měření, Stop nebo Stop & Off;
- Ukončení měření a přesun dat k vyhodnocení, připojení k PC přes USB – Start;
- BRMon.exe, okamžité vyhodnocení amplitud rychlosti na třech složkách Z N E;
- Archivace vyhodnocení, pro určení frekvenčních spekter a další analýzy vlnového průběhu seismogramů.

3.2 Zkušenosti s použitím aparatury při realizaci měření jsou prezentovány na následujících příkladech

- Měření seismických účinků těžebních odstřelů (kamenolomy a uhelné doly) – Krásno, Radotín, Jablonné n/O, Prosetín, Těžkov, Dobkovičky, Litice a další – pracovní rozsah měření amplitud rychlosti kmitání $v = 0,01 \text{ mm/s}$ až 86 mm/s , frekvenční rozsah $2 \text{ Hz} - 80 \text{ Hz}$.
- Mikroseismické rajónování – snímač Lennartz LE3D ($0,5 \text{ Hz} - 80 \text{ Hz}$), geotermální zdroj Litoměřice, Maximální citlivost měření $v = 0,0001 \text{ mm/s}$, frekvenční rozsah $0,5 \text{ Hz} - 80 \text{ Hz}$.
- Výběr lokalit pro úložiště RA odpadů, monitoring při podzemních experimentech.
- Sledování účinků stavebních prací u inženýrských staveb i s použitím trhacích prací při průmyslových odpalech, tunely Blanka – Praha, IV. železniční koridor Votice, stavební jáma Metro Národní, Chrám sv. Víta.
- Dopravní a stavební vibrace – průjezdy těžké techniky a vlaků, vibrační válce, strojovny výtahů, kmity zvonů, vlastní kmity estakády dálnice D8.
- Studium struktury podloží a zemské kůry – seismický profil Doupovské hory, seismická tomografie – Malé Karpaty, Slovensko, studium rotačních seismických složek, obr. 3.



Obr.3 Příklad uložení záznamníku BRS 32 při terénním měření

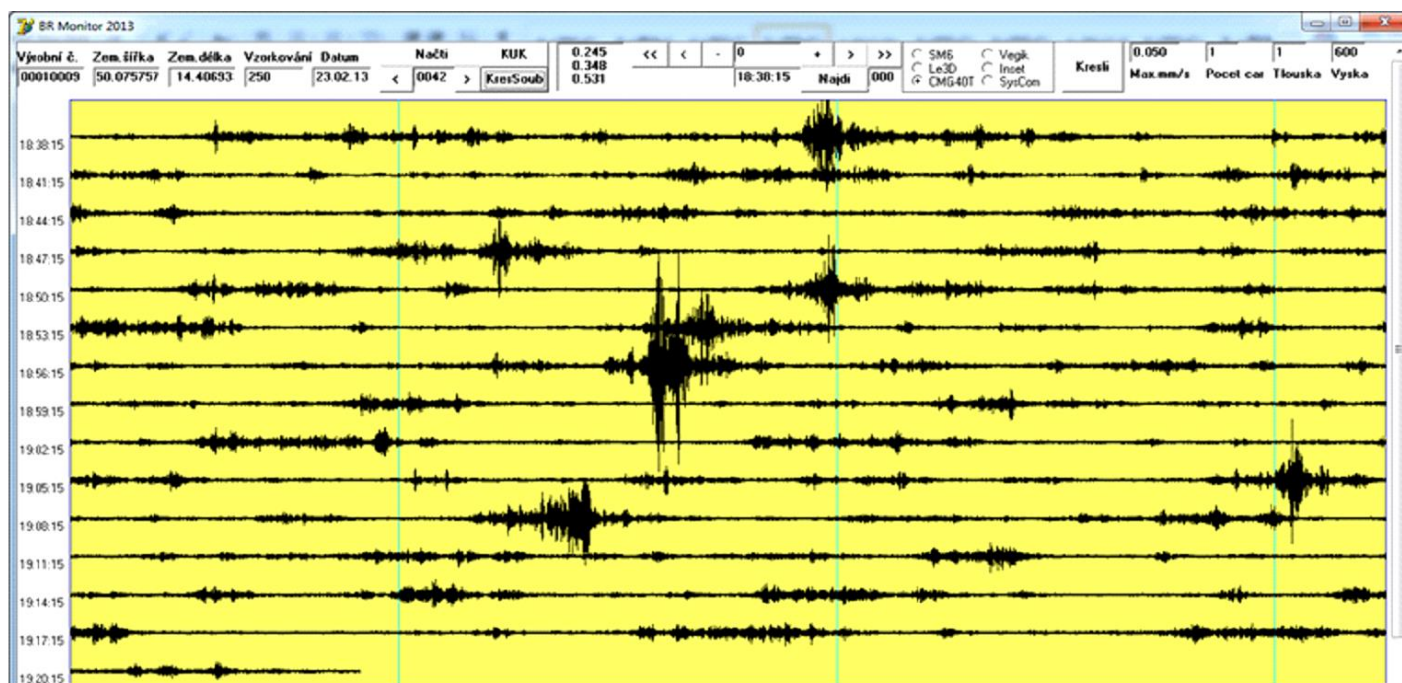
Pro vyhodnocení seismických záznamů užívanými metodikami je formát registrovaných dat převeden na standardní ASCII protokol. Ukázka datového formátu seismického záznamu je uvedena následně. Přenos vyhodnocených dat do standardního formátu ASCII.

```
27.09.12 09:15:34
B01
0          999          6.000
250
0.0404     0.0404     0.0404
1250
576623210 1151803807 686804438
Z          N          E
315964     699384     782318
294046     700444     764094
291250     706914     783992
330922     701744     789094
315994     695280     788940
333692     698652     791834
```

- datum a čas počátku měření/záznamu
- kódové označení stanice
- počet uložených vlnových fází a jejich charakteristika
- vzorkovací frekvence [Hz]
- citlivost kanálu [(nm/s)/count]
- počet vzorků (trojic) v datovém souboru – každá trojice na samostatném řádku
- maxima na složkách v datovém souboru
- označení jednotlivých kanálů
- odtud až do konce souboru jsou naměřené hodnoty [count]

4 Vyhodnocení dat a příklady grafického výstupu seismogramů

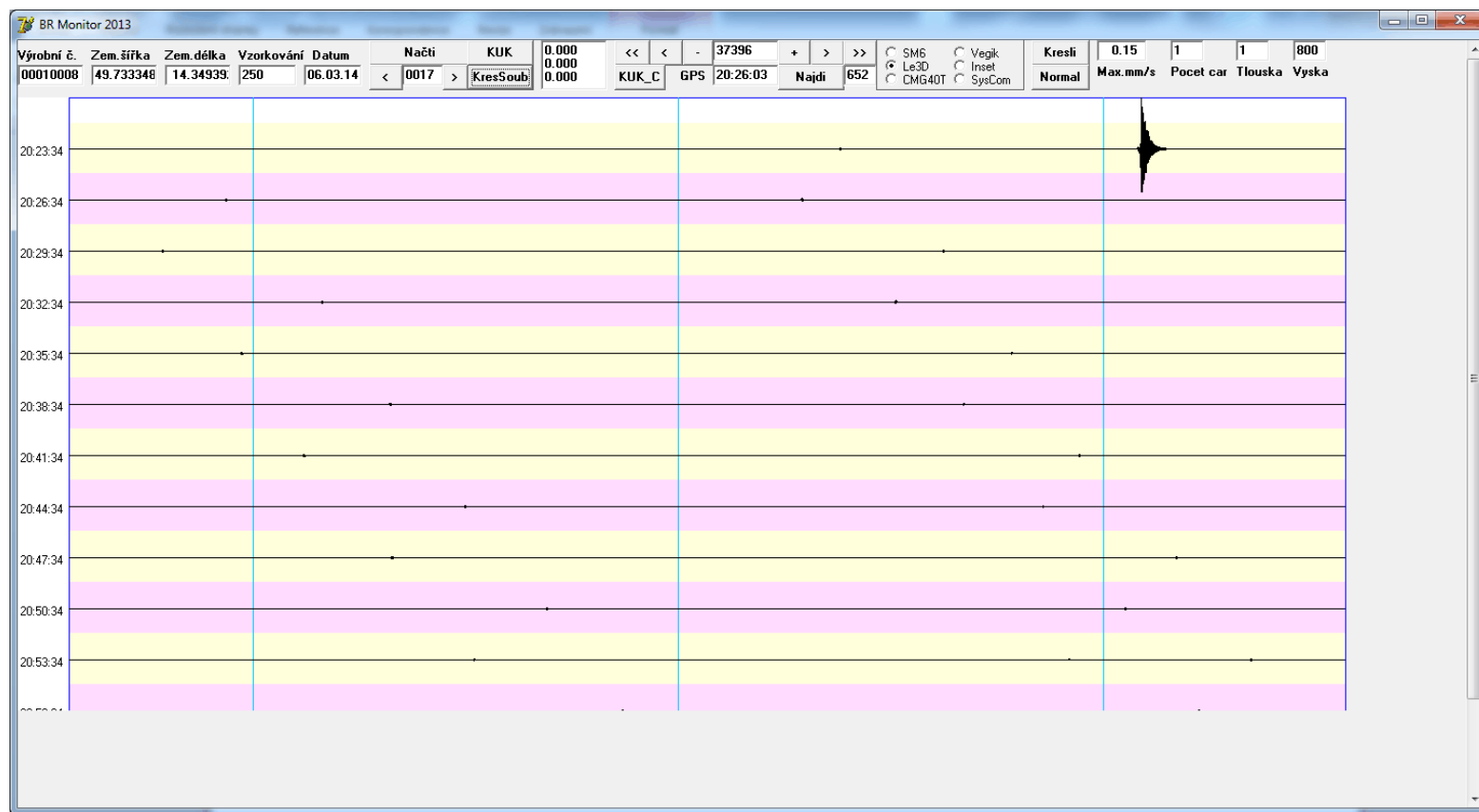
Pro praktické aplikace seismických měření prováděné metodou kontinuálního třísložkového záznamu seismických vlnových průběhů má zásadní důležitost kvalita zpracovatelského SW. Jelikož se při tomto způsobu seismických registrací zaznamenává velký objem dat, je důležité zajistit už v samotném přístroji optimální způsob vytváření datových bloků s přesnou časovou identifikací. Velikost těchto datových bloků je konstantní a časový interval je závislý na zvolené vzorkovací frekvenci. Pro první zpracování se pomocí interpretačního SW nejprve vytvářejí přehledové stránky seismogramů, které zachycují časový interval 40 minut, vzorkování 250 Hz, z kterých se pak následně buď ručně nebo automaticky



Obr. 4 Přehledová stránka seismických jevů

vybírají užitečná seismická data. Na následujících obrázcích jsou uvedeny příklady přehledových seismických stránek v sešitovém formátu dat a z těchto záznamů jsou pak kliknutím myši vybrané záznamy pro detailní vyhodnocení. Tyto jsou jednak detailně vykresleny, převedeny do standardních formátů (ASCII) a po vhodné grafické úpravě jsou vypracovány protokoly o provedeném měření. Ve formě zápisu s přesným časovým a souřadnicovým údajem ve formě identifikovaného souboru jsou uloženy pro další zpracování a zabezpečenou archivaci originálních dat. V následujících příkladech zpracování jsou tyto vybrané soubory přímo v popisu uvedeny i s komentářem lokality a seismického zdroje. Výběr seismických účinků dopravního provozu v nočních hodinách v Praze ukazuje obr. 5. Každý řádek představuje 3 minuty kontinuálního seismického záznamu.

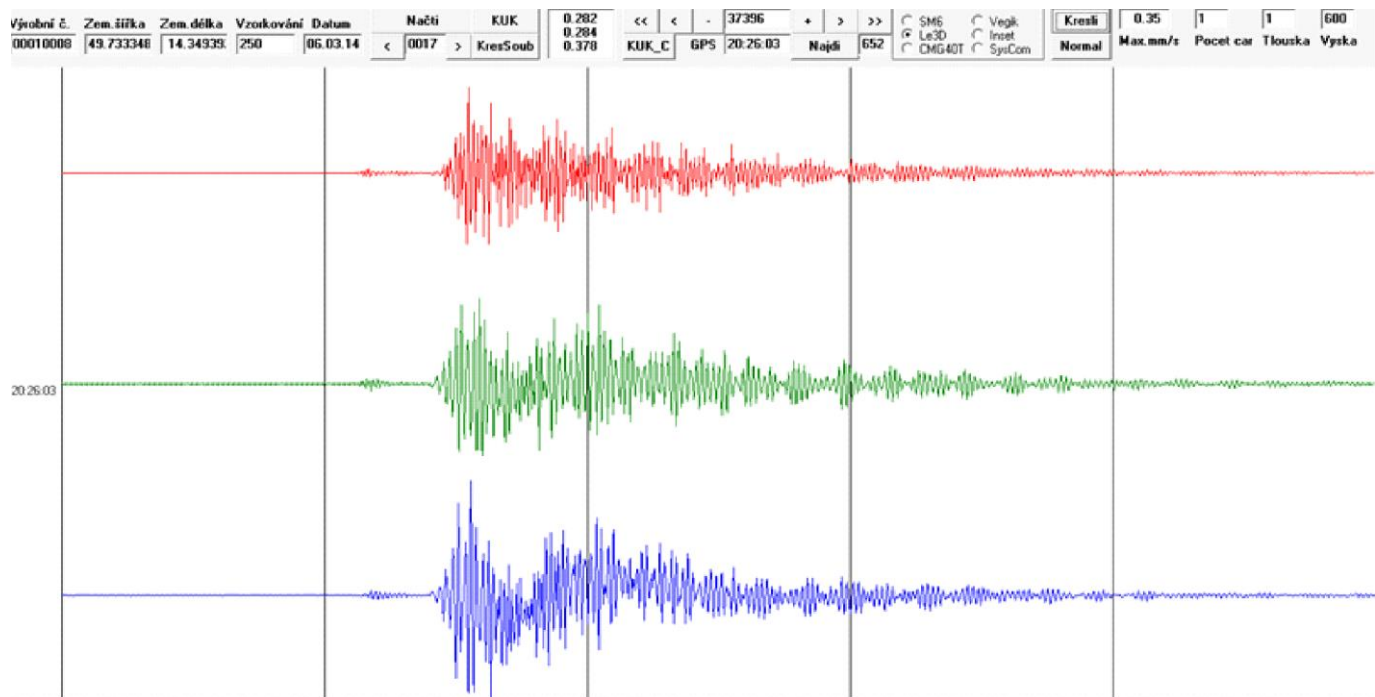
Obr. 5 zobrazuje identifikaci seismických účinků podzemního těžebního odpalu provedeného technologií expanze plynové nálože, Štola Josef, Slapy, v rámci experimentálních prací na výzkumném úkolu MPO ČR.



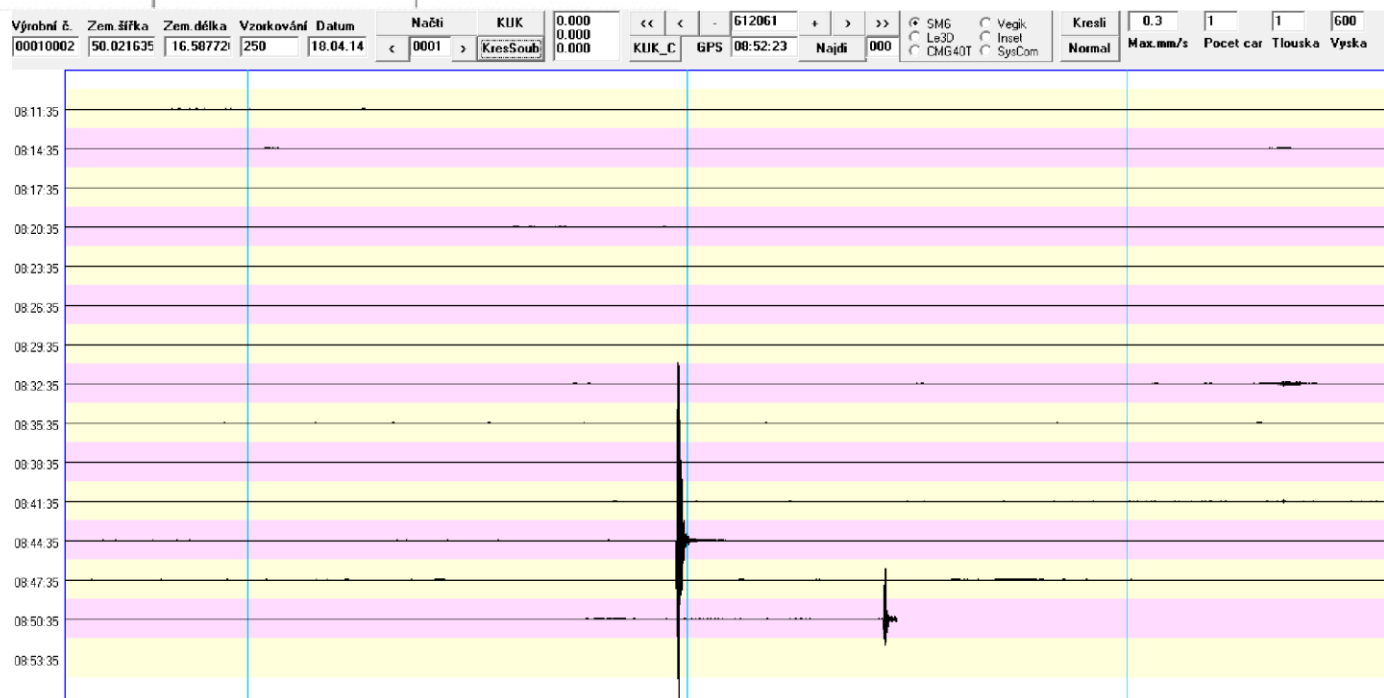
Obr. 5 Přehledová stránka identifikace seismických účinků

Následující obr. 6 pak představuje detail záznamu měření seismických účinků a současný projev tlakové vlny nízkofrekvenčním vlněním ve vzdálenosti cca 200 m od odpalu.

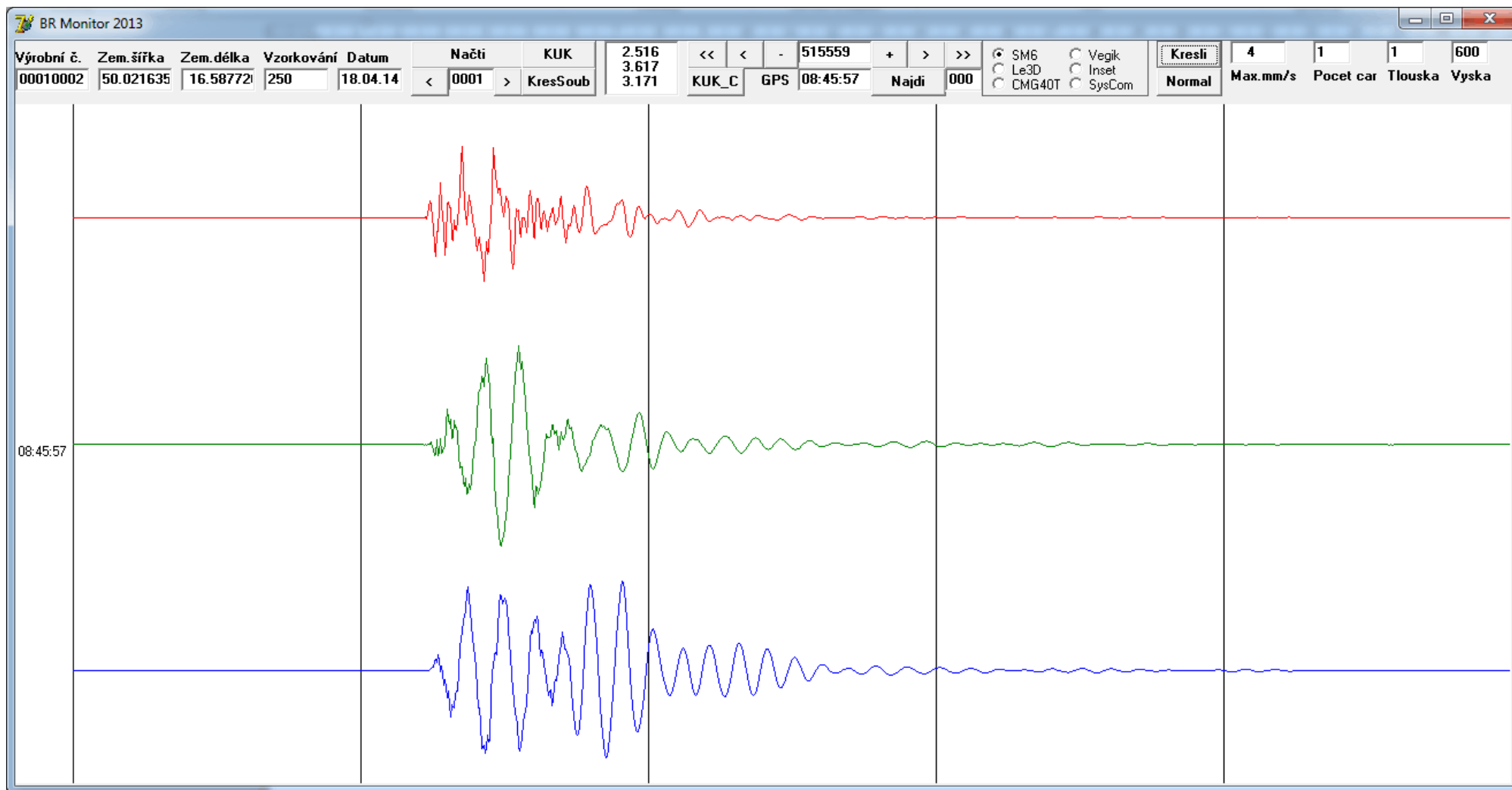
Obr. 7 ukazuje stránku pro identifikaci seismického účinku těžebního odpalu v kamenolomu Mistrovice v Orlických horách. Následuje zobrazující detail tohoto vlnového průběhu zaregistrovaný ve vzdálenosti 230 m od odpalu. Vyhodnocený čas začátku jevu je 8:45:56.228. Maximální amplitudy rychlosti kmitání na složkách Z=2,516 mm/s, N=3,617 mm/s, E=3,171 mm/s. Frekvenční spektrum signálu je pak uvedeno na obr. 9.



Obr. 6 Vykreslení detailu seismogramu trhací práce

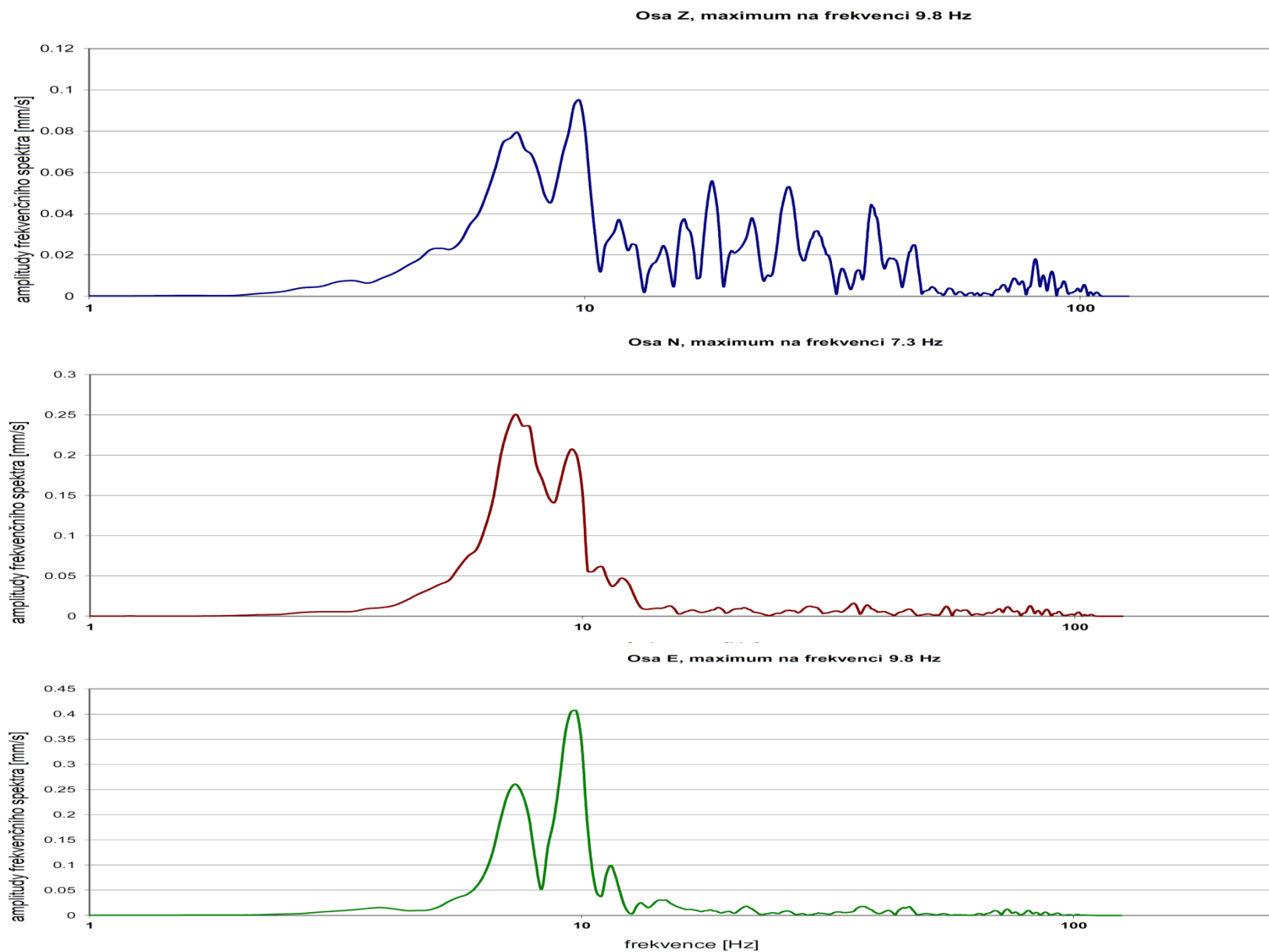


Obr. 7 Přehledová stránka seismického záznamu

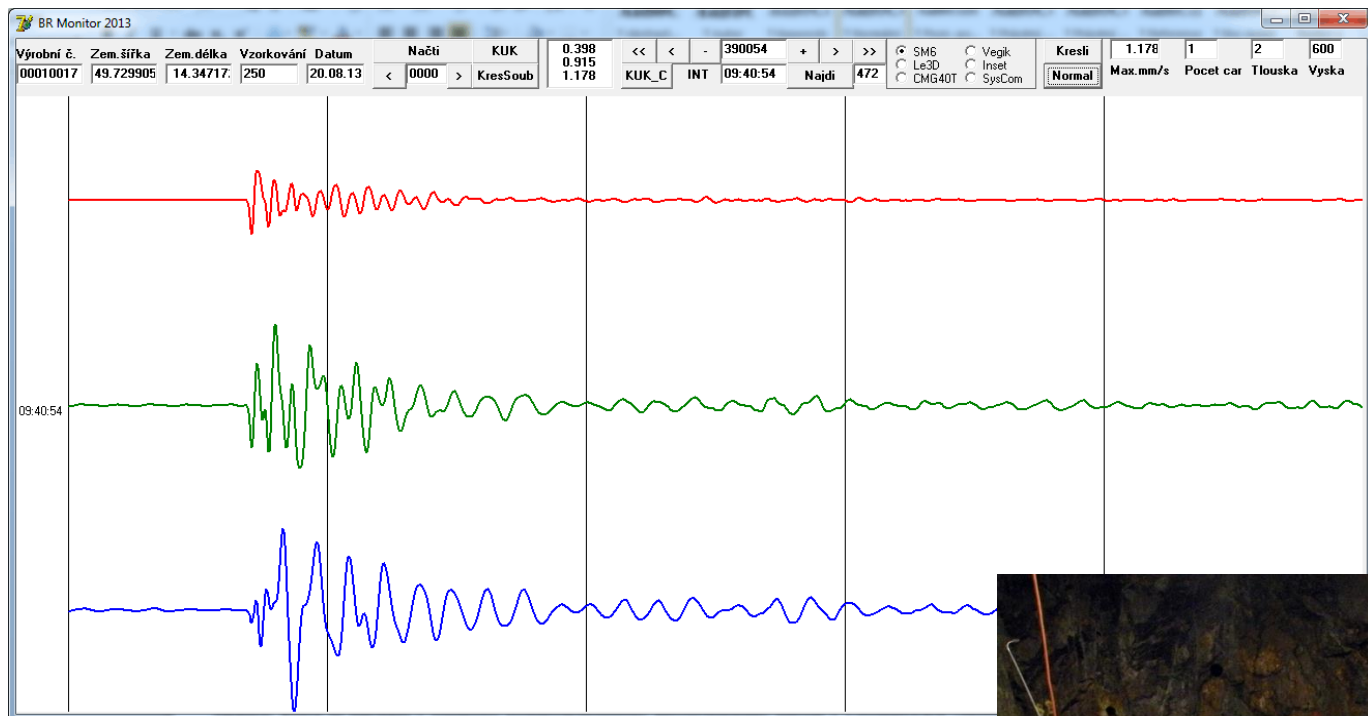


Obr.8 Vykreslení vlnového průběhu tříložkového seismogramu trhací práce

Registrační aparatura BRS32 byla s úspěchem použita také při měření seismických účinků při hydraulickém rozrušování pokusných horninových bloků – Experimentální práce na úkolu Technologické agentury ČR, obr. 11. V tomto případě byly použity snímače rychlosti kmitání typu SM6b. Tříložkový seismogram účinků při porušení bloku horniny kapalinou s tlakem 6,43 MPa působícím ve vrtu uprostřed bloku je na obr. 10.



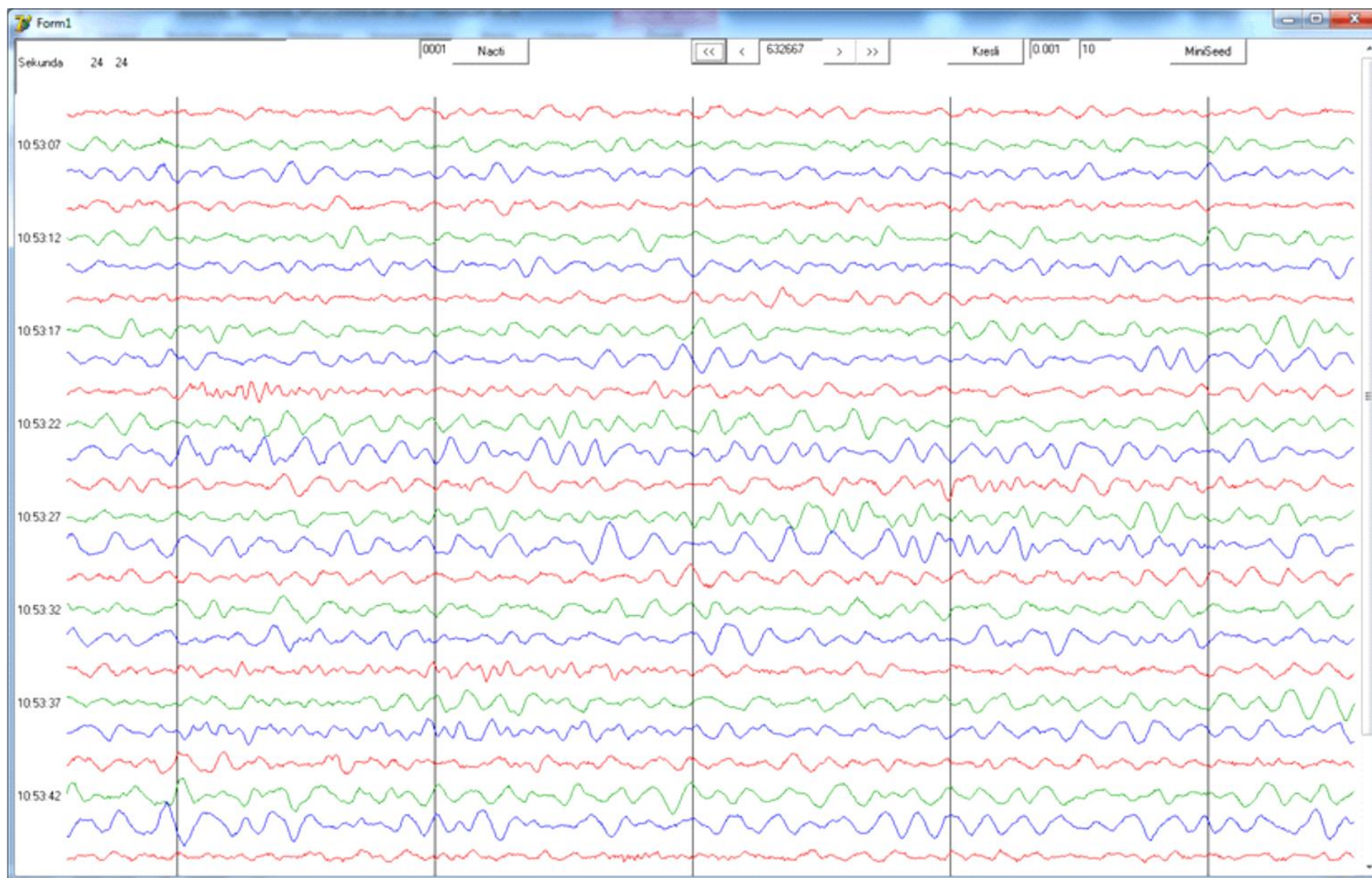
Obr. 9 Průběh frekvenčního spektra těžebního odpalu v Mistrovicích



Obr. 10 Seismické účinky kapaliny s tlakem 6,43 MPa



Obr. 11 Registrace hydraulického rozrušování



Obr. 12 Záznamu mikroseismického rajónování

Velmi důležitou aplikací záznamníku je tzv. mikroseismické rajónování, tj. stanovení přirozeného seismického šumu, což představuje nepostradatelnou fázi při budování moderní trvalé seismické stanice. V příkladu na obr. 12 je takový záznam pro seismickou stanicí Skalice, která se nachází v blízkosti předpokládaného geotermálního zdroje v Litoměřicích (záznam mikroseismů o frekvenci 6 Hz).

5 Závěr

Praktické zkušenosti použitím seismické aparatury BRS 32, která je atestována ČMI, uznána jako užitný vzor a princip patentově chráněn, ukazují vysokou úroveň přesnosti seismického měření při zachování operativnosti a jednoduchosti použití. V současné době bylo v ověřovací sérii vyrobeno 25 aparatur pro lokální měření a dále 5 aparatur s LAN přenosem seismických dat. Při realizaci podzemního experimentu ve štole Josef u Slapské přehrady se prokázala reálná možnost přesného časového navázání časového kanálu na GPS signál i při práci v podzemí. To má velkou důležitost pro identifikaci dějů při podzemních inženýrských stavbách nebo podzemním dobývání. Významné užití při vědeckých výzkumech, kdy snadné a rychlé terénní rozmístění aparatur jak u zdrojů explozí, tak i na měřicích profilech umožňuje snadné provádění úloh seismické tomografie na profilech až desítek kilometrů.

References

- BROŽ M., ŠTRUNC J., TEŠITEL M. Monitoring of seismic Effects of Blast at Quarries and Mines, *Blasting Technic and Pyrotechnic*, 2006, Czech Association of Scientific and Pyrotechnic, Association for Blasting Technology and Pyrotechnic, Prague - ISBN 80-0103547-6.
- BROŽ M., MÁLEK J., ŽANDA L. Characteristics of the Seismic Waves Generated by Quarry Blasts. *XXVII Gen. As. ESC Lisabon Book of Abstracts and Papers*, SSB-1-08-0, 2000, p.64
- BROŽ M., ČÍŽ R., MÁLEK J., ŽANDA L. Seismic Stations with GSM Telemetry for Registration of quarry blasts, *Acta Montana*, Publ.Inst. of Rock Struc. And Mech., Czech. Acad. Sc. Series A, No.16 (118), 2000, p. 25-32.
- 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. AND BUBEN J. Stability Monitoring of Unique Historical Buildings in the Czech Republic – S43A-15. *2008 AGU Join Assembly Meeting*, 2008, Florida, USA
- BROŽ M., ŠTRUNC J., SVATOŠ J. Monitoring of Seismic Impact on Historical Buildings and Their Damage During Building the Tunnel Blanka – Especially Influence on the Stability of Historical Buildings in the Prague Castle Area. Publ.: *2nd.Traditional International Colloquium Geomechanics and Geophysics*, 2008, ISBN 978-80-86407-36-4
- HORÁLEK J., BROŽ M., NOVOTNÝ O., ŠVANCARA J. AND WEBNET GROUP Complex Geophysical Research of the Seismogenic Western Part of The Bohemian Massif, Grant project of the Grant Agency of the Czech Republic No. 205/02/0381, *Acta Research Reports*, 2006, No. 15, s.57-67, Prague, IRSM ASCR, ISSN 1211-1576
- LOCKNER, D.A., BYERLEE, J.D., KUKSENKO, V., PONOMAREV, A. AND SIROTIN, A. Observations of Quastistatic Fault Growth from Acoustic Emissions, in *Fault Mechanics and Transport Properties of Rocks*, pp. 3-31, eds. Švand B. and Wong t.-F., *Academic Press*, 1992, London
- MÁLEK J. BROŽ M., STEJSKAL V., AND ŠTRUNC J. Local Seismicity and the Hronov-Poříčí Fault, *Acta Geodyn. et Geomat.*, 2008, Vol.5, No2 (150), S.171-175. IRSM CAS, ISSN 1214-9705
- MOGI K. Earthquakes and fractures, *Tectonophysics*, 1967, No 5., Amsterodam 1967, p. 35 - 55.
- RUDAJEV V., BUBEN J., BROŽ M., MÁLEK J., ŠTRUNC J., ŽANDA L., ŽIVOR R. Experimental Determmination of Acceleration Decay of Seismic Vibrations in the Bohemian Massif, *Acta Geodyn. et Geomat.*, 2006, AB No.15, pp.49-56. IRSM CAS Prague
- VINCIGUERRA, S. AND DRESDEN, G. Ultrasonic Velocities, Acoustic Emission Characteristics and Crack Damage of Basalt and Granite, *Pure Appl.Geophys.*, 2006, 163, 974- 993

Autoři

- ¹ Ing. Milan Brož, Ph.D., Institute of Rock Structure and Mechanics ASCR, v.v.i., V Holešovičkách 41, Praha 8; Arenal s.r.o., Gabinova 2, Praha 5, Czech Republic, mbroz@irms.cas.cz
- ² Ing. Jaroslav Štrunc, Ph.D., Institute of Rock Structure and Mechanics ASCR, v.v.i., V Holešovičkách 41, Praha 8, Czech Republic, strunc@irms.cas.cz
- ³ RNDr. Jiří Málek, Ph.D., Institute of Rock Structure and Mechanics ASCR, v.v.i., V Holešovičkách 41, Praha 8, Czech Republic, malek@irms.cas.cz
- ⁴ Ing. Martin Linda, TEDIA spol. s r.o., Zábělská 12, Plzeň, Czech Republic, martim.linda@tedia.cz