

Seismický roj na hronovsko-poříčském zlomu v lednu 2008

Jiří Málek (1), Vladimír Stejskal (1), Jan Zedník (2)

(1) Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v.v.i.

(2) Geofyzikální ústav AV ČR, v.v.i.

Abstrakt

Nová etapa výzkumu zemětřesení na hronovsko-poříčském zlomu začala v říjnu 2005, kdy byla instalována velmi citlivá skupinová seismická stanice Ostaš (OSTA) a rozeběhlo se sledování hladiny podzemních vod a obsahu CO₂. V lednu 2008 zaznamenala skupinová stanice 189 mikrozemětřesení, které tvořily seismický roj. V článku jsou shrnuty základní informace o tomto roji.

Úvod

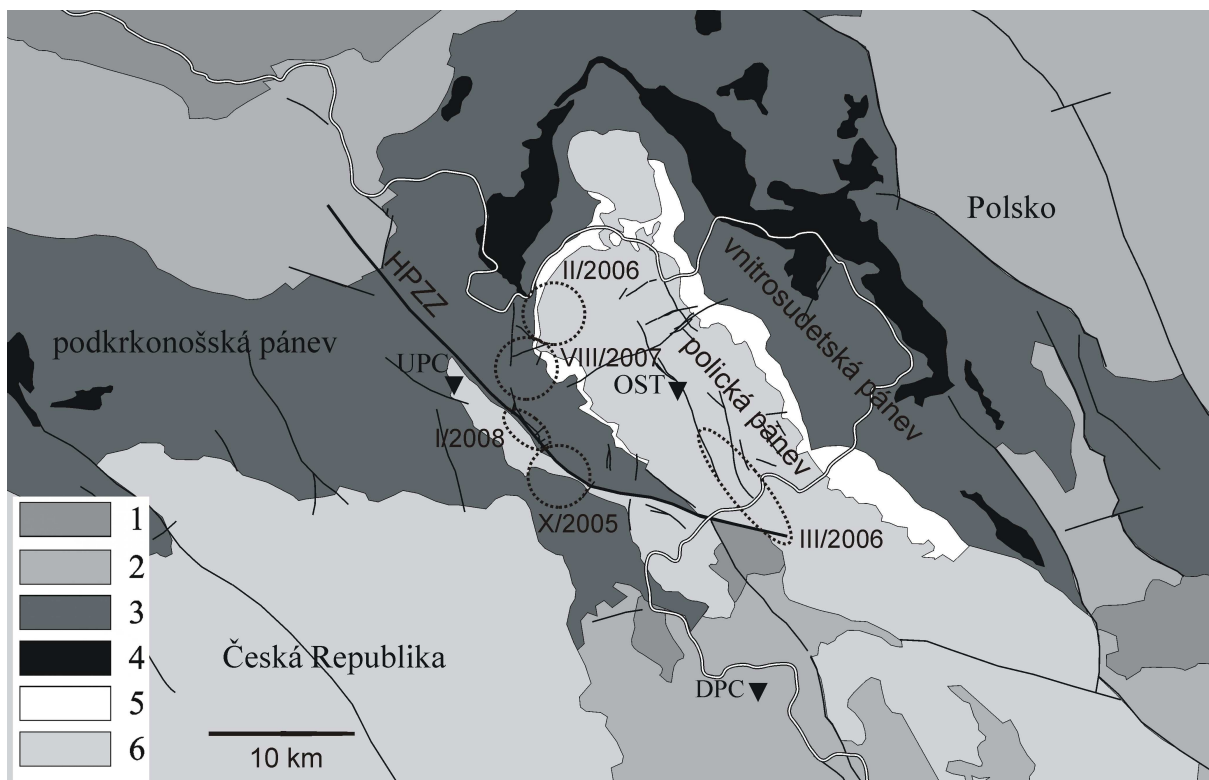
Většina zemětřesení na Zemi se vyskytuje na okrajích velkých litosférických desek. Vědomosti, které byly během výzkumu zemětřesení celosvětově získány, se týkají převážně právě těchto zemětřesení. Silná zemětřesení v určité oblasti na okraji litosférické desky se opakují v nepravidelných intervalech s délkou obvykle desítek až stovek let. Seismická aktivita spojená s hronovsko-poříčskou zlomovou zónou (HPZZ) se však odehrává uvnitř Euroasijské litosférické desky a tím je pro seismology velmi zajímavá. Oblasti uvnitř desek totiž v některých případech mohou být rovněž postiženy silným zemětřesením, avšak interval mezi dvěma silnými zemětřeseními je velmi dlouhý, tisíce nebo dokonce desetitisíce let. Pro stanovení seismického ohrožení ve vnitrodeskových oblastech mají historicky dochovaná pozorování jen omezený význam, protože se vztahují pouze k několika posledním staletím. Jejich extrapolace pro delší časová období představuje pouze velmi nepřesný odhad. V poslední době se proto stále častěji provádějí tzv. paleoseismické výzkumy, při kterých se nacházejí svědectví o silných zemětřeseních za poslední statisíce let z geologických pozorování. Jinou metodou, jak poznat seismický režim vnitrodeskové oblasti, je monitorování velmi slabých zemětřesení, která nejsou obvykle pocítěna místními obyvateli, ale která je možno zaznamenat pomocí citlivých seismografů.

Kardinálním problémem současné seismologie je krátkodobá předpověď silných zemětřesení ve výhledu dnů až měsíců, která by mohla zachránit v jednadvacátém století miliony lidských životů. Přes značné mnohaleté úsilí seismologů na celém světě zůstává tento problém nevyřešen. V minulosti bylo zkoumáno mnoho jevů, které nastávají před zemětřesením a které by mohly být pro krátkodobou předpověď využity, tzv. předzvěsti zemětřesení. Přes částečné úspěchy se dosud nepodařilo nalézt dostatečně spolehlivou předzvěst. Jednou ze zkoumaných možností je kolísání hladiny podzemních vod před zemětřesením.

Seismologický výzkum v okolí HPZZ se proto v poslední době zaměřuje zvláště na hledání souvislosti mezi výskytem zemětřesení a režimem podzemních vod. V říjnu 2005 byla vybudována velmi citlivá skupinová seismická stanice OSTA na úpatí hory Ostaš (obr. 1). Zároveň začalo monitorování časových změn hladiny podzemní vody v několika hlubokých hydrologických vrtech a měření koncentrace oxidu uhličitého v minerálním pramenu Třtice. Nová pozorování jsou při zpracování kombinována se staršími seismologickými a hydrologickými údaji.

Nejsilnější spolehlivě popsané zemětřesení proběhlo 10. ledna 1901 (Woldřich, 1901). Dosáhlo intenzity v epicentru 7° MSK, takže došlo k poškození některých budov, avšak nikdo nebyl zraněn (Kárník, 1996). V této době ještě nepracovaly v oblasti žádné seismografy, takže není možné stanovit přesně magnitudo zemětřesení, které se určuje z maximální amplitudy elastických vln zaregistrovaných na seismických stanicích. Přepočtem z maximální intenzity se odhaduje, že zemětřesení mělo magnitudo 4.7 na Richterově stupnici. Zemětřesení bylo pocítěno v rozsáhlé oblasti, která je protažená ve směru sz.-jv podél HPZZ. Hlášení o zemětřesení pocházejí dokonce až z Drážďan ve vzdálenosti přibližně 170 km od epicentra. Od roku 1900 bylo obyvateli pocítěno v okolí HPZZ 18 zemětřesení. Poslední z nich s magnitudem 3.3 se vyskytlo 25. října 2005.

V posledních 20 letech je oblast monitorována pomocí stanic České regionální seismické sítě, zejména stanic Dobruška/Polom (DPC) a Úpice (UPC), Obr. 1, (Zedník et al., 2001). V osmdesátých letech byla provozována podnikem Geofyzika Brno n.p. lokální seismická síť v severozápadní části HPZZ (Málek a Peňáz, 1988).



Obr. 1 Geologie a tektonická stavba studované oblasti (podle Biely et al., 1968, Cymerman, 2004). 1 – hlubinné vyvřeliny (granity, granodiority), 2 – krystalinikum (ruly, svory, migmatity, granulity), 3 – permokarbonské sedimenty, 4 – permské vulkanity, 5 – triasové sedimenty, 6 – svrchní křída. Dále jsou vyznačeny seismické stanice (trojúhelníčky) a oblasti, kde došlo k zemětřesení s příslušným rokem a měsícem (tečkované kruhy a elipsy) v období od instalace stanice OSTA v říjnu 2005. Podle Mála et al. (2008).

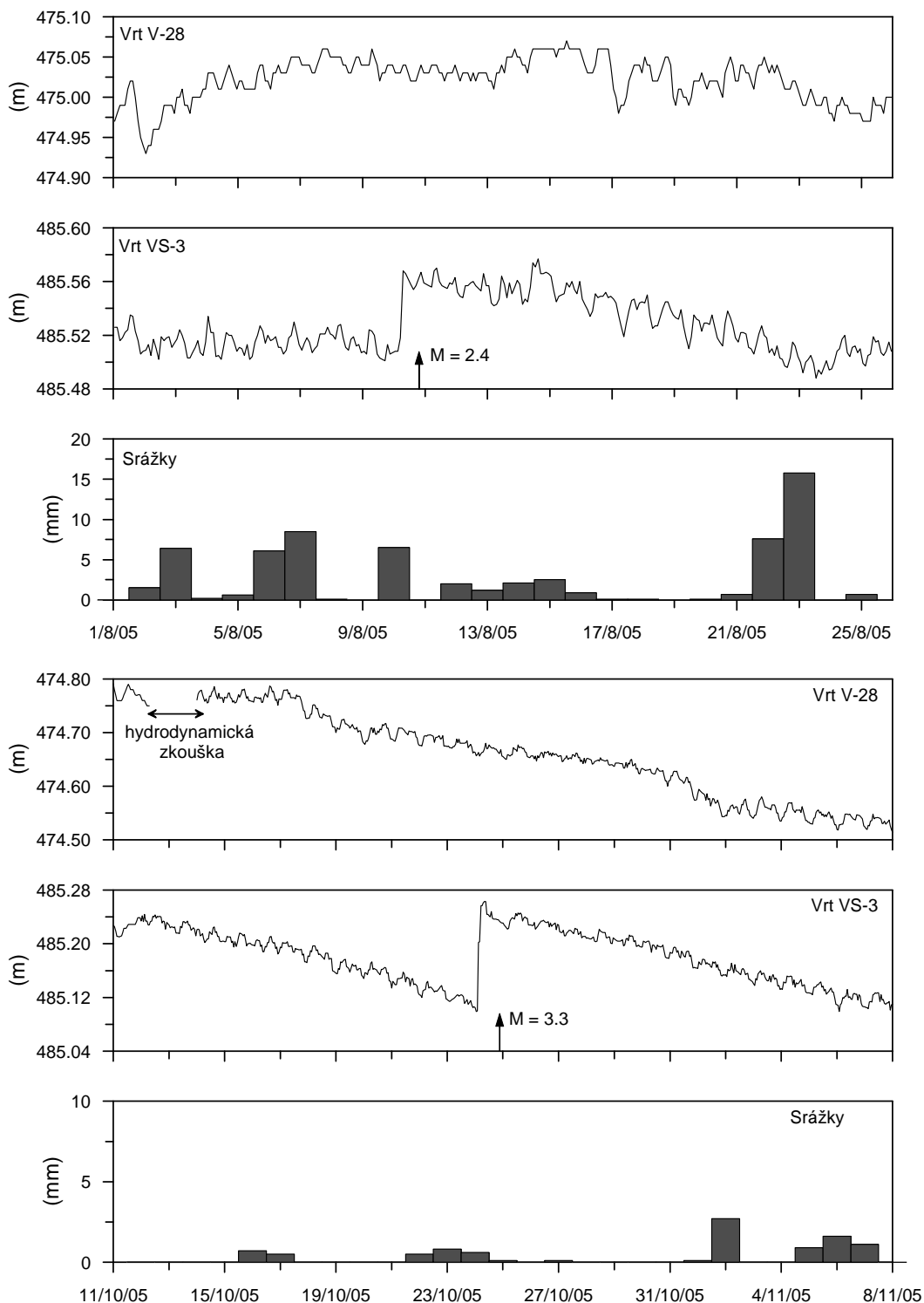
Skupinová seismická stanice OSTA

Stanice je umístěna na úpatí hory Ostaš, přibližně 10 km sv od HPZZ. Skládá se z centrálního širokopásmového tříoskového snímače a ze tří satelitních krátkoperiodických tříoskových stanic, které jsou umístěny ve vrcholech rovnostranného trojúhelníku o straně 50 m. Data ze všech snímačů jsou přenášena po kabelech do registračního počítače, který je umístěn spolu s centrální stanicí v bývalém vojenském bunkru. Použitý registrační systém RUP 2004 vyvinutý v ÚSMH AV ČR popsali Štrunc a Brož (2006). Čas je s velkou přesností měřen pomocí příjmu družicového signálu GPS. Stanice je propojena datovým kanálem s pražským vyhodnocovacím centrem pomocí mobilního telefonu, což umožňuje kontrolu stanice a přenos vybraných jevů. Kontinuální data jsou periodicky přenášena do centra na pevných discích s USB připojením.

Největší výhodou skupinové seismické stanice oproti klasické jednoduché stanici je možnost rozeznat i velmi slabé jevy, které by jinak zanikly v seismickém šumu. K tomu se využívá koherence seismogramů na všech snímačích. Z časového posunu mezi jednotlivými snímači je možno dále přibližně určit směr k epicentru. Vzdálenost od hypocentra zemětřesení je možno odhadnout z časového intervalu mezi příchodem podélných *P* a příčných *S* vln. Tímto způsobem je tedy možno určit velmi přibližně místo vzniku zemětřesení pouze ze záznamů skupinové seismické stanice. Pro přesnější lokalizaci je však třeba použít též záznamy z dalších stanic v oblasti (UPC a DPC), jejichž citlivost je však nižší a stanice DPC je navíc umístěna ve větší vzdálenosti. Proto bylo možno provést přesnou lokalizaci jen pro některá zemětřesení.

První roky provozu stanice OSTA ukázaly, že v oblasti HPZZ se vyskytují velmi často slabá zemětřesení. Od října 2005 do srpna 2007 bylo zaznamenáno 37 zemětřesení. Seismické jevy se vyskytují v nejméně čtyřech různých lokalitách podél HPZZ (Málek et al., 2008), viz. obr. 1. V lednu 2008 pak došlo k seismickému roji, který je tématem tohoto článku a při kterém bylo zaznamenáno 189 zemětřesení.

Souběžně se seismickými měřeními probíhalo též měření změn hladiny podzemní vody ve vrtech. Nejzajímavějším výsledkem je pozorované prudké zvýšení hladiny podzemní vody ve vrtu VS-3 jeden až dva dny před zemětřesením ve dnech 10.8.2005 a 25. 10. 2005 (obr. 2). Jiné vrty však na zemětřesení nereagovaly. Toto téma je v současnosti předmětem dalšího bádání.



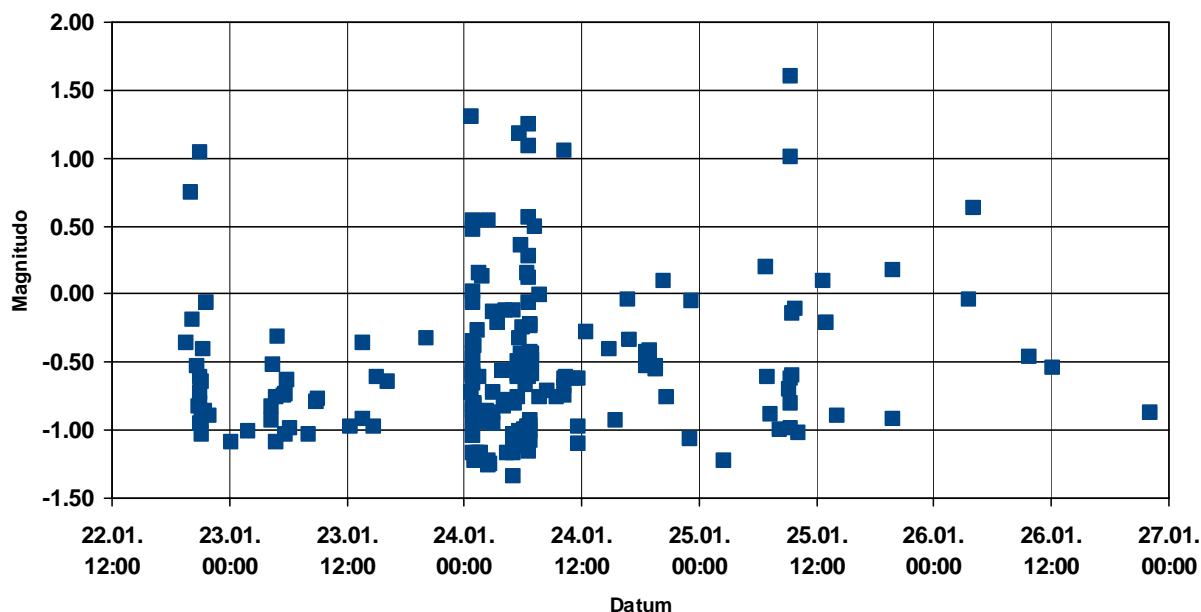
Obr. 2 Pozorované předzvěsti zemětřesení v podobě náhlého zvýšení hladiny vody ve vrtu VS-3. Vrt V-28 na zemětřesení nereagoval. Podle Stejskal et al., 2007.

Seismický roj v lednu 2008

První otřesy byly zaznamenány odpoledne 22. ledna (obr. 3). Během této první fáze byl zaznamenán jeden jev s magnitudem větším než 1. Slabá aktivita pak pokračovala po celý den 23.1. Po půlnoci se značně zvýšila a dopoledne 24.1. bylo zaznamenáno 109 zemětřesení, z nichž 5 jevů přesáhlo magnitudo 1. Poté seismická aktivita opět klesla, avšak následující den 25.1 ráno se opět zvýšila a v 9:19 UTC došlo k nejsilnějšímu jevu s magnitudem 1.6. Slabá seismická aktivita pak trvala až do poledne 27.1, kdy zcela ustala.

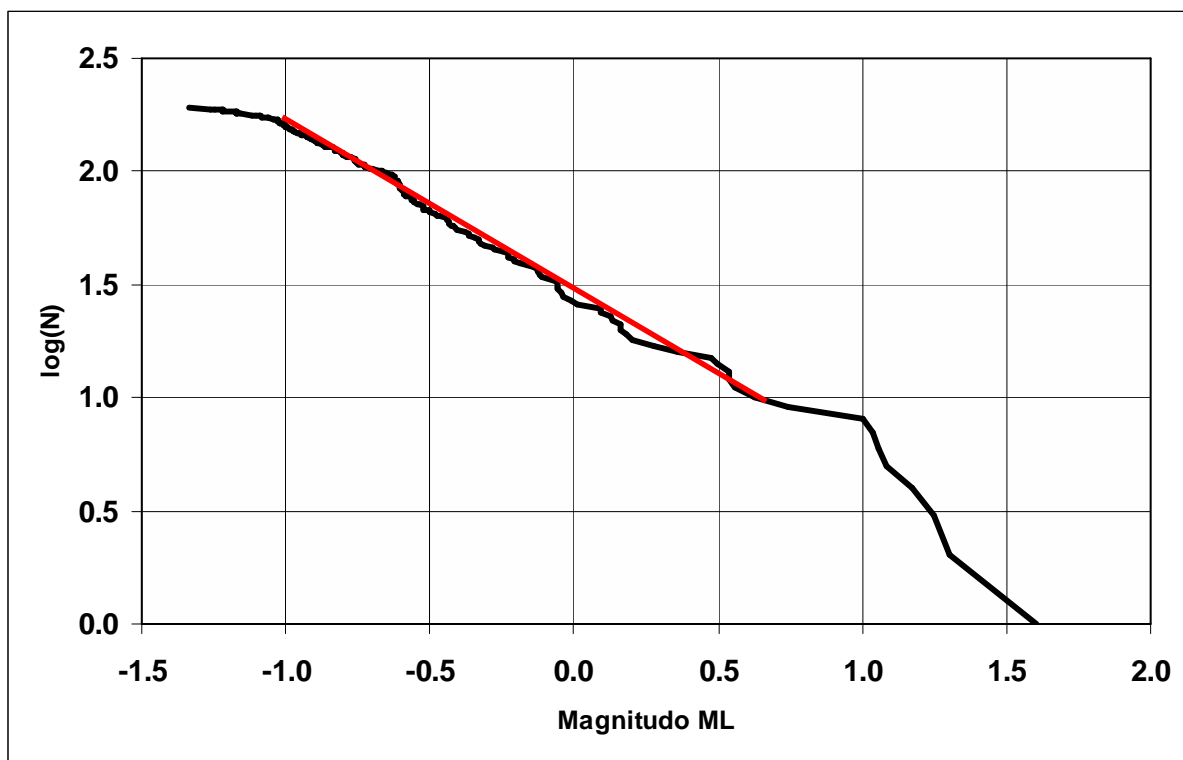
Pozorovaný průběh seismické aktivity se značně liší od většiny světových zemětřesení, při kterých po ojedinělých předtřesech obvykle dojde k nejsilnějšímu hlavnímu otřesu s následnou dotřesovou sekvencí, která

je tvořena velkým množstvím slabých zemětřesení. Námí pozorovaný vývoj seismické aktivity je charakteristický pro seismické roje, které obvykle doprovázejí vulkanickou činnost nebo jiný pohyb kapalin a plynů v zemské kůře nebo jsou indukovány lidskou činností. Seismické roje jsou také charakteristické pro oblast doznívajícího vulkanizmu západních Čech (Chebsko a Kraslicko), kde je tento jev již po několik desetiletí intenzivně zkoumán (např. Fischer a Horálek, 2003).



Obr. 3 Rozložení zemětřesení v čase během seismického roje v lednu 2008.

Další základní charakteristikou seismické aktivity je četnostní rozdělení podle magnitud. Pro všechny seismicky aktivní oblasti na Zemi platí, že největší počet pozorovaných zemětřesení je velmi slabých, těsně nad hranicí nejmenšího magnituda, které je schopna příslušná seismická síť zaznamenat. Počet zemětřesení pak klesá s rostoucím magnitudem a to přibližně exponenciálně. Pokud zobrazíme četnost zemětřesení v logaritmickém grafu, dostaneme přibližně přímkou se zápornou směrnici, kterou označujeme jako parametr b . Na obr. 4 je zobrazena kumulativní četnost (počet zemětřesení silnějších než dané magnitudo) pro námí pozorovaný roj. Parametr b má hodnotu 0.74. Tento výsledek je poněkud překvapivý. Podobné hodnoty jsou obvykle pozorovány v dotřesových sekvencích zemětřesení po hlavním otřesu. Pro seismické roje v západních Čechách jsou charakteristické vyšší hodnoty, přesahující hodnotu $b > 1$. Pro tento rozdíl zatím nemáme uspokojivé vysvětlení. Musíme vyčkat na další seismický roj, abychom měli dostatečně velký soubor jevů.

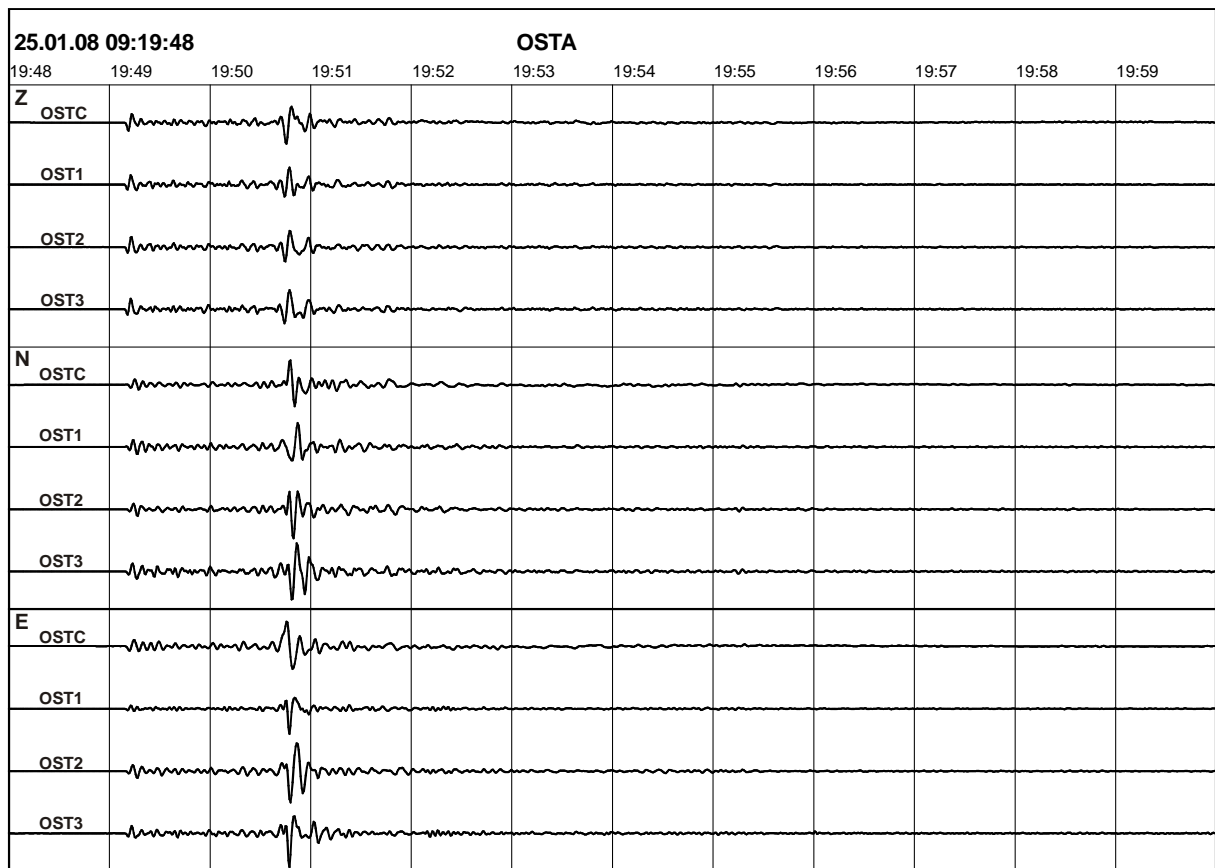


Obr. 4 Kumulativní četnostní rozdělení podle lokálních magnitud ML během seismického roje v lednu 2008. Parametr $b = 0.74$.

Na obr. 5 je seismogram nejsilnějšího zemětřesení ($M=1.6$) z celého roje pořízený skupinovou stanicí OSTA. Je patrná výborná koherence seismogramů. Maximální amplituda dosáhla hodnoty $41 \mu\text{m/s}$ na vertikální (Z) složce, což je přibližně tisíckrát více než je amplituda seismického šumu. Na seismogramu je vidět, že nejdříve přichází vlna *P*, která je nejvýraznější na svislé složce (je polarizována vertikálně). První pohyb je orientován dolů, to závisí na mechanismu zemětřesení a na vzájemné poloze ohniska a stanice. Největších amplitud dosahují otřesy na vodorovných složkách ve skupině *S*-vln, které mají horizontální polarizaci. Po skupině *S*-vln obvykle následuje skupina povrchových vln s delšími periodami než vlny *S*. V našem případě však povrchové vlny téměř úplně chybí. To svědčí o tom, že vlnění přichází z hloubky a že je stanice poměrně blízko epicentra, takže se povrchová vlna ještě nemohla zformovat.

Na svislé složce mezi skupinami *P* a *S* je možno si všimnout slabých nasazení konvertovaných vln. Ty vznikají při dopadu *S* vln zespoda na geologická rozhraní mezi zdrojem a stanicí a dále se šíří jako vlny *P*. Jejich přítomnost svědčí o nehomogenním horninovém prostředí v této lokalitě.

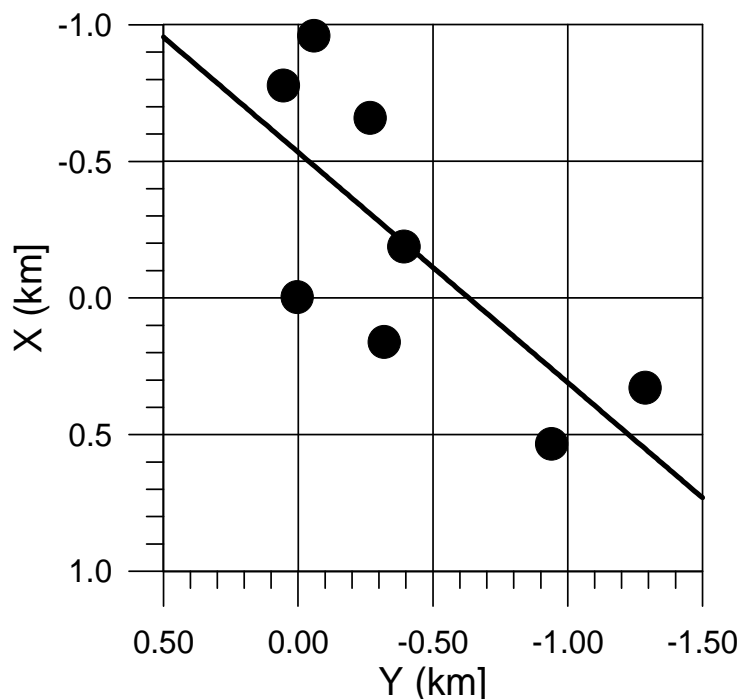
Seismický signál zůstává mnohonásobně vyšší než seismický šum několik desítek sekund po zemětřesení. V těchto pozdních časech přicházejí na stanici seismické vlny rozptýlené v přípoверхové vrstvě (seismická coda). V nich jsou však také obsaženy slabé odrazy od hlubokých rozhraní v zemské kůře a dokonce i ve svrchním pláští. Pro identifikaci těchto odrazů je třeba použít speciálních metod (např. Kampfová et al, 2007) a je velmi výhodné používat data ze skupinové seismické stanice. Toto téma je předmětem našeho dalšího výzkumu.



Obr. 5 Seismogramy nejsilnějšího zemětřesení v roji z ledna 2008 na skupinové seismické stanici OSTA.

Nejsilnější jev z celé série posloužil jako vzorový jev (anglicky master event). Pro tento jev byla provedena lokalizace z dostupných časů příchodů vln na okolní seismické stanice. Výsledek ukázal, že nejsilnější jev roje z ledna 2008 ležel ve střední části hronovsko-poříčského zlomu, asi 2 km SV od Rтынě v Podkrkonoší. Analýza standardní chyby ukázala, že určení epicentra (průmětu ohniska zemětřesení na povrch) je poměrně přesné, standardní odchylka je 1 km. Mnohem horší je přesnost určení hloubky ohniska. Nejpravděpodobnější hloubka je 8 km, standardní chyba je 3 km.

Pro lokaci ostatních zemětřesení bylo použito relativní metody, která určuje polohu ohniska vzhledem ke vzorovému zemětřesení. Takto bylo lokalizováno 7 zemětřesení, které měly magnitudo větší než 1 a které byly zaznamenány na třech stanicích OSTA, UPC a DPC. Ohniska v relativních souřadnicích jsou na obr. 6. Shluk získaných epicenter je protažen ve směru sv-jz, tedy podél HPZZ, v délce přibližně 2 km.



Obr. 6 Relativní lokace osmi nejsilnějších jevů ze seismického roje v lednu 2008. Vzorový (nejsilnější jev) má souřadnice (0,0).

Závěr

Na hronovsko-poříčském zlomu došlo ve dnech 22. až 27. ledna 2008 k seismickému roji, který nebyl pocíten obyvateli oblasti, ale byl zaznamenán přístrojově. Celkem bylo rozpoznáno 189 zemětřesení, 8 z nich přesáhlo magnitudo 1. Nejsilnější jev měl magnitudo 1.6 a byl lokalizován do střední části hronovsko-poříčské poruchy sv. od Rтынě v Podkrkonoší. Ostatní jevy jsou lokalizovány blízko nejsilnějšího jevu a tvoří protáhlý shluk ve směru HPZZ o délce asi 2 km.

Literatura

- Biely, A., Buday, T., Dudek, A., Fusán, O., Kodym, O., Kopecný, L., Kuthan, M., Malkovský, M., Matějka, A., Sattran, V. and Svoboda, J., 1968. Tectonic map of the Czechoslovakia, ÚÚG, Prague (in Czech).
- Cymerman, Z., 2004. Tectonic map of the Sudetes and the Fore-Sudetic Block 1:200 000, Polish Geological Institute, Warszawa.
- Fischer T., Horálek J. (2003). Space-time distribution of earthquake swarms in the principal focal zone of the NW Bohemia/Vogtland seismoactive region: period 1985-2001. *J. Geodynamics*, 35, (1), 125-144.
- Kampfová H., Málek J., Novotný O. (2007): Moho reflections from strong near quarry blasts: an example for the Central Ore Mountains, Czech Republic, *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, Vol. 4, No. 3 (147), 11-21
- Kárník V., (1996): Seismicity of Europe and the Mediterranean. Academy of Sciences CR, Geophysical Institute, Praha.
- Málek J., Peňáz J. (1988): Identification and location of microearthquakes in the vicinity of the Hronov-Poříčí fault. Proceedings of the conference on "Induced seismicity and associated phenomena", Liblice, 1988.

- Málek J., Horálek J., Janský J. (2005): One-dimensional qP-Wave Velocity Model of the Upper Crust for the West Bohemia/Vogtland Earthquake Swarm Region. *Studia geophysica et geodaetica*, 49, (4), 501-524.
- Málek et al., 2008
- Stejskal V., Skalský L. and Kašpárek L. (2007): Results of two-years' seismo-hydrological monitoring in the area of the Hronov-Poříčí Fault Zone, Western Sudetes. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, Vol. 4, No. 4 (148), 59-76.
- Špaček, P., Sýkorová, Z., Pazdírková, J., Švancara, J., and Havří, J., 2006. Present-day seismicity of the south-eastern Elbe Fault System (NE Bohemian Massif). *Studia Geophysica et Geodaetica* 50 (2), 233 – 258.
- Štrunc J. and Brož M. (2006): RUP2004 – high definition apparatus for standalone, network and micro-array applications in seismics. *Transactions of the VŠB-Technical University of Ostrava, Civil Engineering Series*, 6, (2), 281-284.
- Woldřich, J. N., 1901. Earthquake in the north-eastern Bohemia on January 10, 1901. *Transactions of the Czech Academy of Sciences*, series II 10 (25), 1 – 33 (in Czech).
- Zedník, J., Pospíšil, J., Růžek, B., Horálek, J., Boušková, A., Jedlička, P., Skácelová, Z., Nehybka, V., Holub, K., Rušajová, J. (2001): Earthquakes in the Czech Republic and Surrounding Regions in 1995-1999. *Studia geoph. et geod.*, 45, (3), 267-282.