

**Vladimír NEHYBKA<sup>1</sup>**

**MĚŘENÍ SÍTĚ KRASNET 1991 – 2008 – ZÁVĚREČNÉ SHRNUTÍ**

**KRASNET NETWORK MEASUREMENTS 1991 – 2008 – SUMMARY**

**Abstrakt**

Príspevok popisuje mčrení síť Krasnet v letech 1991 – 2008 v oblasti západní Čechy - Vogtland-Oberpfalz. Příspěvek shrnuje všechny aktivity spojené s měřením a interpretací Krasnetu s obsáhlým seznamem publikovaných prací.

**Abstract**

This contribution describes the measurements of the Krasnet network in years 1991 – 2008 in area West Bohemia-Vogtland-Oberpfalz. The content is the summary of all activities with Krasnet measurements and result with the numerous citations to earlier publications.

**Úvod**

Měření síť Krasnet probíhalo od dubna 1991 do září 2008. Popudem k instalaci síť byl požadavek Ústředního ústavu geologického v Praze na měření seismické aktivity v oblasti západní Čechy - Vogtland - Oberpfalz. Projekt ÚUG Praha „Geologický model západních Čech ve vztahu k vrtu KTB v Německu“, jehož bylo měření síť v letech 1991 – 1994 součástí, byl napojen na aktivity geofyziků a geologů v SRN v souvislosti s hloubením hlubokého vrtu KTB – 1. Projekt skončil v roce 1994 a výsledky měření síť Krasnet v rámci tohoto projektu byly opublikovány v závěrečné zprávě Nehybka,Skácelová,1993 a dále v Nehybka,Skácelová,1995,1997 a Vrána et al.,1997. V dalších letech probíhalo měření v režii Ústavu fyziky Země. V letech 1999-2001 a 2002-2004 se měřilo společně s GFÚ AV ČR Praha v rámci grantových úkolů GA ČR č. 205/99/0907 „Recentní geodynamika západních Čech ve vztahu ke stavbě zemské kůry (unikátní přírodní laboratoř) (Horálek et al.,2000,Geissler et al.,2000) a č. 205/02/0381 „Komplexní geofyzikální výzkum seismogenní západní části ČM“ (Horálek et al.,2003, Chlupáčová et al., 2003 a Geissler et al.,2005). K 30.9.2008 bylo měření síť Krasnet ukončeno pro nedostatek finančních prostředků.

V průběhu osmnácti let bylo zaregistrováno více než 15000 lokálních zemětřesení, z toho bylo lokalizováno 7021 silnějších s magnitudem v rozmezí hodnot -0,8 až +3,2. Seismická aktivita se vyskytovala ve čtyřech oblastech na českém území a pěti oblastech na německém území. Časové rozdělení aktivity je nerovnoměrné, projevuje se rojový charakter oblastí. Jednalo se o dva silné a řadu menších rojů.

---

<sup>1</sup> RNDr. Vladimír Nehybka, Brno, Bakalovo nábřeží 5, e-mail: [nehybka@ipe.muni.cz](mailto:nehybka@ipe.muni.cz)

Tento článek má charakter informativního shrnutí za celých osmnáct let měření a zpracování sítě Krasnet. Jednotlivá témata nejsou detailně rozváděna, spíše je kladen důraz na citaci všech prací, které byly v souvislosti s Krasnetem opublikovány.

### **Měřicí síť Krasnet**

Oblast západní Čechy je známa seismickou aktivitou již z historických dob. Shrnutí seismické aktivity oblasti lze najít např. v Procházková et al., 1987, Bormann, 1989, Grünthal et al., 1990. Síť byla umístěna na základě polohy epicentra posledního zemětřeseného roje z let 1985/86. Na lokalitě v roce 1991 měřily čtyři analogové stanice v Sasku (BDE,BBD,SBG,WRG) a jedna analogová (SKC) a jedna digitální (NKC) stanice GFÚ ČSAV z Prahy. Stanice sítě Krasnet byly rozmístěny tak, aby obklopovaly epicentrum zemětřesení z roku 1985/86 s tím, že pátá stanice byla umístěna poblíž epicentra. Síť se skládala z pěti stanic vybavených digitálním seismologickým systémem pro sběr dat Lennartz 5800 pracujícím v triggrovaném režimu s koincidencí seismických dat na subcentru. Každá z pěti stanic byla vybavena tříslůžkovým snímačem WDS ( $f_0=2\text{Hz}$ ), umístěným v šestimetrovém zapaženém vrtu. Signál byl zesílen a digitalizován v encoderu LE 5800. Zároveň bylo provedeno zjištění, zda se jedná o signál seismické události nebo šum. Pro určení výskytu seismické události byl prováděn výpočet algoritmem STA/LTA. V případě seismické události byl digitální signál obohacen o jeden jednotkový bit, signalizující výskyt seismické události. Výsledný signál byl kontinuálně radiovou cestou přenášen na subcentrum Zelená Hora, kde bylo prováděno další zpracování seismického signálu. Mixer LE5800 v subcentru sbíral signál všech patnácti seismických kanálů a porovnával výskyt seismické události na jednotlivých stanovištích. Při výskytu seismické události na třech z pěti stanic byla spouštěna registrace seismického signálu. Zpoždovací digitální paměť přitom zajišťovala nahrání kompletního vlnového obrazu. V letech 1991 – 2000 byl zápis prováděn na digitální magnetofon Nagra, od roku 2000 na harddisk počítače. Od roku 2002 byl zprovozněn přenos seismických dat do Brna přes Internet.

### **Metodika zpracování**

Seismická data byla převedena do formátu css3.0 zobrazitelného a zpracovatelného na počítačích ÚFZ. K zobrazení a zpracování dat byl používán program Geotool (Coyne,1995) k lokalizaci program HYPO3D (Firbas,1988). Pro lokalizaci jsme používali vlastní rychlostní model, sestavený jednak na základě známých geologických a geofyzikálních údajů, jednak na základě profilových seismických měření provedených na lokalitě v letech 1990 – 1991 (Dvořák, Sýkorová,1993). Výsledkem je třírozměrný blokový model (Nehybka, Skácelová,1993, Vrána et al. 1997) používaný po celou dobu měření k lokalizaci lokálních zemětřesení. Pro výpočet lokální magnitudy jsme používali vzorec:

$$ML = \log(u*2800/0,6325)+0,1+1,4*\log(s)$$

kde  $u$  je maximální výchylka půdy v mm a  $s$  je hypocentrální vzdálenost v km (Scherbaum, Stoll, 1983).

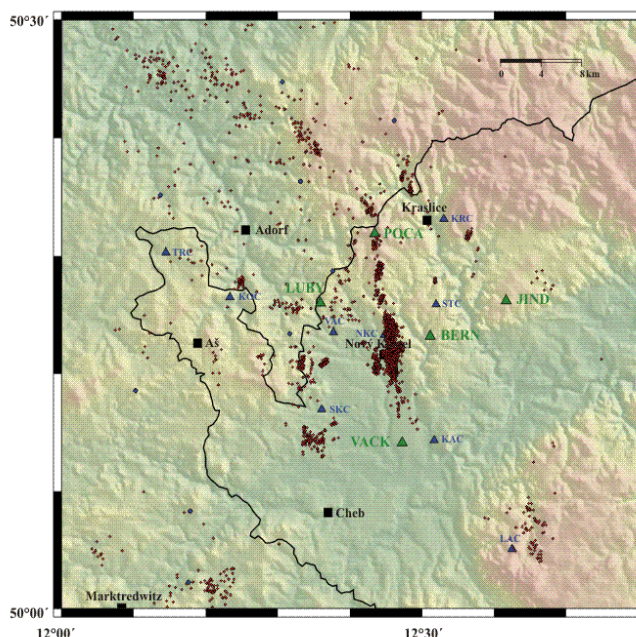
### **Výstupy**

Výsledky měření byly ročně sestavovány ve formě seznamů a bulletinů zemětřesení. Seznamy obsahují základní informaci o lokalizovaném zemětřesení (čas

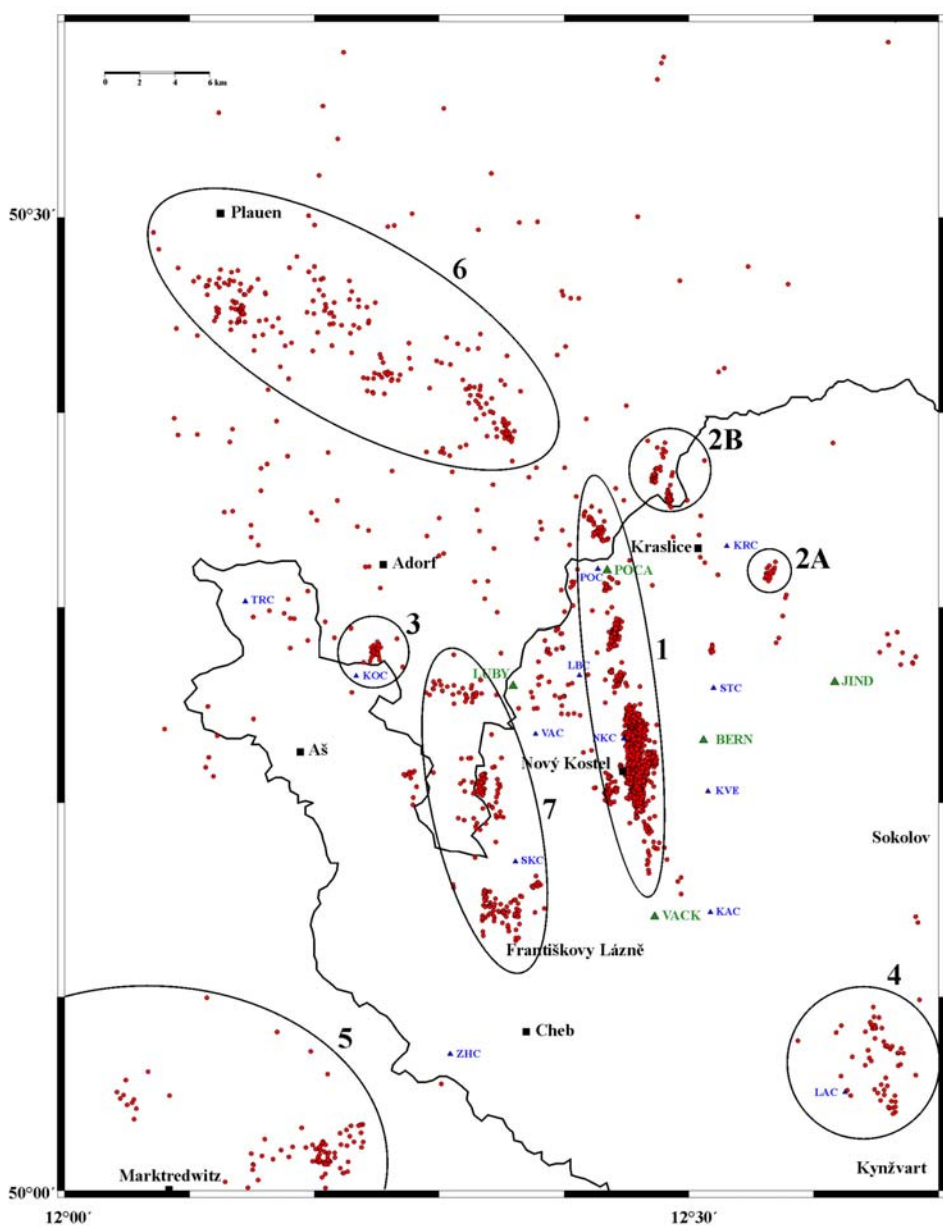
vzniku, souřadnice a hloubku a lokální magnitudo včetně nepřesnosti určení) nebo základní informaci o registraci, pokud zemětřesení bylo příliš slabé pro lokalizaci. Bulletinů obsahují kromě těchto základních informací navíc údaje o časech příchodu, amplitudě a velikosti reziduí na jednotlivých stanicích při lokalizačním výpočtu. Seznamy zemětřesení jsou zveřejněny na webových stránkách ÚFZ Brno ([www.ipe.muni.cz](http://www.ipe.muni.cz); odkaz Síť & stanice; síť Krasnet); bulletinů a data druhé úrovně jsou archivovány na ÚFZ Brno. Protože konfigurace sítě byla po celou dobu měření neměnná stejně jako lokalizační program a vzorec pro magnitudo, tvoří osmnáct let měření síť Krasnet homogenní soubor dat s jednotnou metodikou měření i zpracování.

### Seismická aktivita

Na obr. č. 1 je vyznačena seismická oblast západní Čechy v letech 1991 – 2008. Mapa na obrázku je v zeměpisných souřadnicích a poskytuje základní orientaci na lokalitě západní Čechy včetně reliéfu. Vyznačena jsou hlavní sídla (černé čtverečky), seismologické stanice (trojúhelníčky: zeleně ÚFZ Brno, modře GFÚ Praha) a červeně jsou vyznačena epicentra zemětřesení. Na přiloženém CD jsou obrázky v barevné variantě. Delší průběh měření potvrzuje fakt, že epicentra zemětřesení v západních Čechách mají tendenci shlukovat se v prostoru a čase. Je zřejmé, že hlavní aktivita je soustředěna v oblasti Nový Kostel - Počátky. V této oblasti se odehrávalo nejméně 90% seismické aktivity, jak co do počtu seismických jevů, tak co do množství uvolněné energie. Na obrázku č. 2 je znovu schéma oblasti, zde jsou navíc vyznačeny hlavní oblasti shlukování epicenter zemětřesení. Na území ČR se jedná o oblasti Nový Kostel-Počátky (1), Kraslice-Rotava (2A), Lazy (4) a oblast Františkovy Lázně-Skalná spolu s oblastí Markneukirchen (7). Na území Spolkové republiky Německo jsou to oblasti Adorf - Bad Elster (3), Klingenthal (2B), Marktreutitz (5), Plauen (6) a Markneukirchen (7).



**Obr. 1** Seismická aktivita Západní Čechy 1991 - 2008, měření Krasnet, ÚFZ Brno



**Obr. 2** Oblasti seismické aktivity – Západní Čechy, měření Krasnet, ÚFZ Brno

## Seismické roje

Protože oblast je již z historických dob známa seismicitou rojového charakteru, byl výskyt zemětřesení v čase značně nerovnoměrný. Období klidu se střídala s obdobími zvýšené seismické aktivity. Během měření sítě Krasnet se v oblasti Nového Kostela vyskytly větší seismické roje v letech 1997 a 2000, menší potom v letech 1991, 1993, 1994, 2004 a 2007 (Neunhöfer, Meier, 2004, Neunhöfer, Hemmann, 2005 a Tilšarová, Nehybka, 2006).

Nejsilnější a nejpočetnější byl roj z roku 2000. Trval od srpna do prosince 2000, nejsilnější jev měl lokální magnitudo 3,2. Celkem bylo během roje 2000 sítě Krasnet zaregistrováno více než 5000 jevů, z toho lokalizovaných je 3229 v rozmezí magnitud -0,8 až 3,2. V průběhu roje bylo rozeznatelných osm postupných fází. Blíže se vyhodnocení tohoto roje věnujeme v Nehybka, 2001, 2002 a Nehybka et al., 2003. Podrobnou analýzu geometrie zdrojové oblasti lze nalézt v Fischer, Horálek, 2003.

Druhý nejsilnější roj proběhl v lednu 1997. Doba trvání byla dva týdny, nejsilnější zemětřesení mělo lokální magnitudo 2,6. Celkový počet jevů zaregistrovaných sítě, které byly lokalizovány, byl 483. Jednalo se o první významnější seismický roj po roce 1986. Výsledky našeho zpracování byly opublikovány v Nehybka, 1998, Nehybka, Skácelová, Havíř, 1998, Nehybka, Skácelová, 2000 a Fischer, Horálek, 2000.

Třetí nejvýznamnější roj, co do velikosti hlavního otřesu, proběhl v prosinci 1994, ve dnech 4.-5.12.1994. Z cca 200 zaregistrovaných jevů se podařilo lokalizovat 77. Největší lokální magnitudo bylo 2,2. Společně se silnějšími zemětřeseními z let 1991 – 1993 a po získání dat spolupracujících organizací (AV ČR Praha a Univerzita Jena) se podařilo spočítat na lokalitě první ohniskové mechanismy. Byly opublikovány v Skácelová, Nehybka, 1995 a v Nehybka et al., 1998.

Další významný roj proběhl ve dvou dnech 9. – 10.2. 2007. Jednalo se o několik set lokálních zemětřesení, z nichž 405 bylo lokalizováno. Nejsilnější jev měl lokální magnitudo 1,8. Podrobněji jsme o výsledcích referovali na 8. česko-polském semináři o recentní geodynamice v Kladsku v březnu 2007 a na 17. regionální konferenci v Ostravě v dubnu 2008.

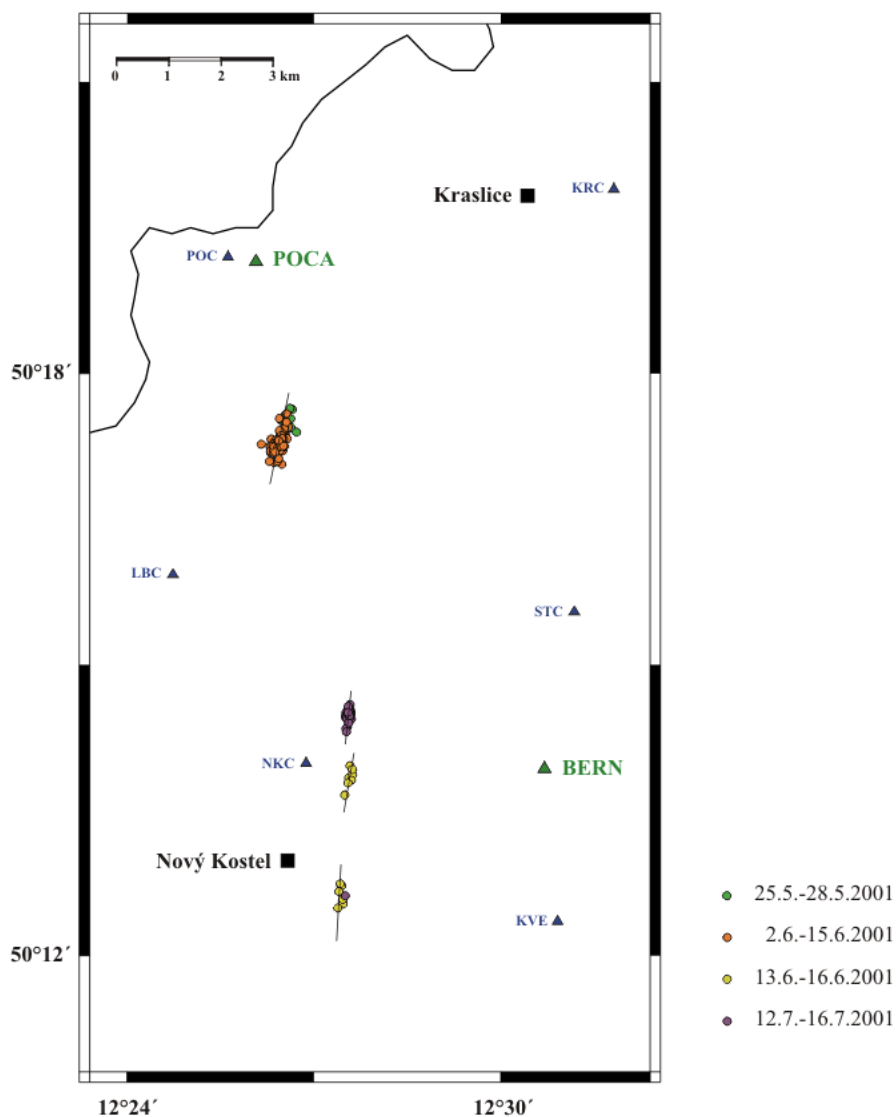
Mezi 22. a 23.2.2004 proběhl na Novém Kostele další významnější roj s celkovým počtem 35 lokalizovaných jevů a maximálním magnitudem 1,2. Vyhodnocení tohoto roje bylo opublikováno v Nehybka, Tilšarová, 2004 a 2007.

V letech 1991 a 1993 se bylo na Novém Kostele několik menších seismických rojů, jejichž označení „seismický roj“ je možná diskutabilní. Ve dnech 1. – 10.1991 to bylo 56 zemětřesení lokalizovaných do okolí Nového Kostela. Největší magnitudo za těchto osm dní bylo 1,2. Ve dnech 17. – 24.9.1993 se jednalo o 46 jevů lokalizovaných do blízkosti Nového Kostela s maximálním magnitudem 1,1. (Nehybka, Skácelová 1993, 1994, 1995, Skácelová 1995).

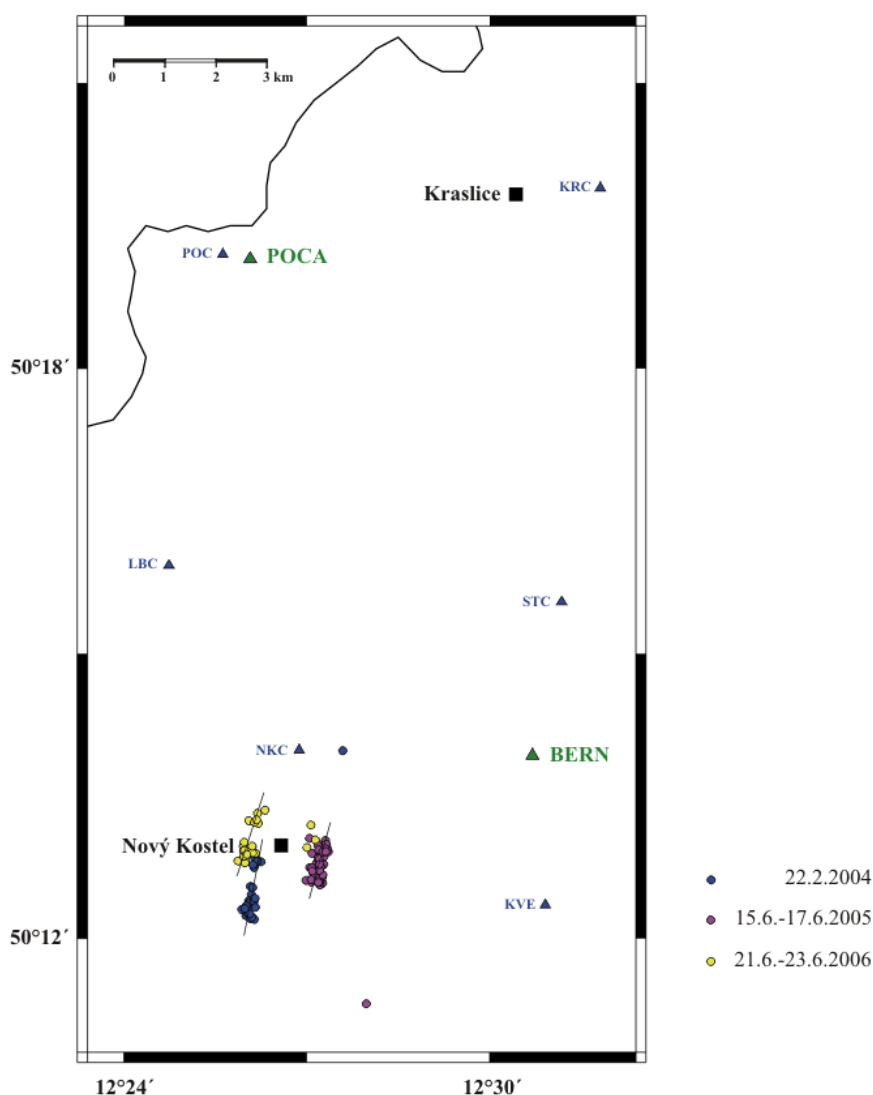
## Řazení epicenter u slabších jevů

Většina epicenter v oblasti Nový Kostel – Počátky měla tendenci shlukovat se podél linie s azimutem cca 350° a sledovat tak směr paralelní k mariánsko-lázeňskému zlomu. Analýzou zemětřesení vyskytujících se v oblasti Nový Kostel-Počátky mimo roje vyjmenované v předchozí kapitole jsme zjistili, že část jevů má tendenci řadit se k linii kosé k tomuto směru s odchylkou 20° – 30° k východu, takže výsledný azimut je cca 20°. Příslušné analýzy byly zveřejněny v Nehybka, Skácelová 1993, 1994, 1995 pro

roky 1991 – 1993 a v Nehybka, Tilšarová, 2007 pro roky 2001 – 2006. Na následujících obrázcích č. 3 a 4 je příslušná situace v letech 2001 – 2006 vyznačena včetně příslušných předpokládaných směrů řazení.



**Obr. 3** Řazení epicenter v roce 2001, měření Krasnet, ÚFZ Brno



**Obr. 4** Řazení epicenter v letech 2004 – 2006, měření Krasnet, ÚFZ Brno

### Poděkování

V průběhu osmnácti let registrace sítě Krasnet vystřídal řada pracovníků. Všem jim patří dík za jejich díl práce, kterým přispěli k bezproblémovému chodu a zpracování měření sítě v západních Čechách. Z řad technických pracovníků je to skupina ing. Brady z dřívější Geofyziky Brno, dále M.Krmíček, J.Otruba, J.Šrajt, V.Jeřábek, T.Kratochvíl a V.Mudra. V oblasti zpracování a interpretace seismologických dat to jsou P.Firbas, V.Dvořák, Z.Sýkorová, Z.Nakládalová, J.Haviř, Z.Skácelová, L.Bulíčková, I.Matušová, P.Špaček, K.Zachovalová a R. Tilšarová.

## Závěr

Měření sítě Krasnet přispělo k poznání zemětřesných rojů v západních Čechách. V prvních letech 1991 – 1994 byla síť Krasnet hlavním seismologickým měřením v oblasti, od roku 1995 potom vhodně doplňovala aktivity sítě Webnet a aktivity seismologů z německých univerzit. Celkem byly za roky 1991 – 2008 sestaveny a úspěšně oponovány tři zprávy o měření a výsledcích sítě Krasnet, v časopisech a sbornících bylo opublikováno dvacet článků.

## Literatura

- [1] BORMANN, P. (Ed.) Monitoring and Analysis of the Earthquake Swarm 1985/86 in the Region Vogtland/West Bohemia. *Veroeffentlichung des Zentralinstituts fuer Physik der Erde*. 1989, Nr.110. Als Manuskript gedruckt. Potsdam 1989.
- [2] COYNE, J.M. & HENSON, L. *Geotool Sourcebook*. Technical Report C95-1. Teledyne Brown. Huntsville, 1995.
- [3] DVOŘÁK, V. & SÝKOROVÁ, Z. Refrakční profily a širokoúhlé reflexně-seismické měření v západních Čechách. MS Geofyzika Brno, 1993.
- [4] CHLUPÁČOVÁ, M., SKÁCELOVÁ, Z. & NEHYBKA, V. P-wave Anisotropy of Rocks from the Seismic Area in Western Bohemia. *Journal of Geodynamics*. 2003, 35, pp. 45-57.
- [5] FIRBAS, P. & WERL, M. Program HYPO3D pro lokalizaci v třírozměrném prostředí. MS Geofyzika Brno, 1988.
- [6] FISCHER, T. & HORÁLEK, J. Refined Localisations of the Swarm Earthquakes in the Nový Kostel Focal Zone and Spatial Distribution of the January 1997 Swarm in Western Bohemia, Czech Republic. *Studia geoph. et geod.*, 2000, 44, pp. 210 – 226.
- [7] FISCHER, T. & HORÁLEK, J. Space-Time Distribution of Earthquake Swarms in the Principal Focal Zone of the NW Bohemia/Vogtland Seismoactive Region: Period 1985/2001. *Journal of Geodynamics*. 2003, 35, pp. 125 – 144
- [8] GEISSLER, W., PLENEFISCH, T., KIND, R., KLINGE, K., KÄMPF, H., BOUŠKOVÁ, A., NEHYBKA, V., SKÁCELOVÁ, Z. & JACOB, B. The MOHO Structure in the Western Eger Rift: A Receiver Function Experiment. *Studia geoph. et geod.* 2000, 44, pp. 188-194.
- [9] GEISSLER, W.H., KÄMPF, H., KIND, R., BRAEUER, K., KLINGE, K., PLENEFISCH, T., HORÁLEK, J., ZEDNÍK, J. & NEHYBKA, V. Seismic Structure and Location of a CO<sub>2</sub> Source in the Upper Mantle of the Western Eger (Ohře) Rift, Central Europe. *TECTONICS*. 2005, vol. 24, 23.
- [10] GRÜNTAL, G., SCHENK, V., ZEMAN, A. & SCHENKOVÁ, Z. Seismotectonic Model for the Earthquake Swarm of 1985 – 1986 in the Vogtland/West Bohemia Focal Area. *Tectonophysics*. 1990, 174, pp. 369 – 383.
- [11] HORÁLEK, J., FISCHER, T., BOUŠKOVÁ, A. & JEDLIČKA, P. The Western Bohemia-Vogtland Region in the Light of the WEBNET Network. *Studia geoph. et geod.* 2000, 44, 107.
- [12] HORÁLEK J., BROŽ M., NEHYBKA V., NOVOTNÝ, O., ULRYCH, J. & KORKOVÁ, J. Recent Geodynamics of West Bohemia in Relation on the Crustal Structure (Unique Natural Laboratory). *Acta Montana*, IRSM AV ČR, 2003, Series AB No.11 (128), pp. 55 - 74



- [13] NEHYBKA, V. & SKÁCELOVÁ, Z. Microseismic Array in the Epicentral Area of Kraslice. In: Vrána (editor). *Geological Model of Western Bohemia in Relation to the Deep Borehole KTB-1 in the FRG*. ČGÚ, Praha, 2003.
- [14] NEHYBKA, V. & SKÁCELOVÁ, Z. Microearthquakes in the Western Bohemia. In *Proceedings of XXIV General Assembly of the ESC*, Athens, 1994.
- [15] NEHYBKA, V. & SKÁCELOVÁ, Z. Seismotectonic Analysis of the Seismological Measurements in the Kraslice Network. *Bull. of Czech. Geolog. Survey*. Prague, 1995, 70, 2.
- [16] NEHYBKA, V. & SKÁCELOVÁ, Z. Lokální seismická v oblasti Kraslice. In *Výsledky nových studií v seismologii a inženýrské geofyzice*. Regionální konference s mezinárodní účastí, Ostrava 8.-9. dubna 1997, sborník referátů, 2. díl, editor: Zdeněk Kaláb, ÚGN AVČR.
- [17] NEHYBKA, V. & SKÁCELOVÁ, Z. Seismological Study of the Kraslice – Vogtland - Oberpfalz Region. In Vrána ed. *Geological Model of Western Bohemia in Relation to the Deep Borehole KTB-1 in Germany*. Český geologický ústav, Praha, 1997, pp. 186-190.
- [18] NEHYBKA, V. & SKÁCELOVÁ, Z. Seismická západních Čech v roce 1997. In *Současné směry v seismologii a inženýrské geofyzice*. Regionální konference s mezinárodní účastí, Ostrava 21.-22. dubna 1998, sborník referátů, 1. díl, editor Zdeněk Kaláb, ÚGN AVČR.
- [19] NEHYBKA, V., SKÁCELOVÁ, Z. & HAVÍŘ, J. Seismicity in the Area of the Western Bohemia. *Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment*, 1998, V. 2, pp. 7-15.
- [20] NEHYBKA, V. & SKÁCELOVÁ, Z. Results of Seismological Measurements by the Kraslice Network in the Period 1991-1998. *Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment*. 2000, VII. 1-2, pp. 18-28.
- [21] NEHYBKA, V. Seismická v západních Čechách. In *Seismologie a inženýrská geofyzika – minulost, přítomnost a budoucnost*. Regionální konference s mezinárodní účastí, Ostrava, 3.-4. dubna 2001, sborník referátů, editor: Zdeněk Kaláb. ÚGN AVČR.
- [22] NEHYBKA, V. Seismický roj Nový Kostel 2000. In *Laboratorní a terénní bádání v seismologii a inženýrské geofyzice*. Regionální konference s mezinárodní účastí, Ostrava, 16.-17. dubna 2002, sborník referátů, editor: Zdeněk Kaláb, ÚGN AVČR.
- [23] NEHYBKA, V., TILŠAROVÁ, R. & ŠPAČEK, P. The Nový Kostel Earthquake Swarm 2000 – Krasnet Measurements. *Acta Montana IRSM*. 2003, 22, pp. 21-30.
- [24] NEHYBKA, V. & TILŠAROVÁ, R. Seismické roje v oblasti západní Čechy-Vogtland 1991-2004. In *Sborník 13. regionální konference "Rozvoj seismologie, inženýrské geofyziky a geotechniky"*. Sborník věd. prací VŠB–TU Ostrava , řada stavební, 2004, vol.4, no.2, pp. 211-218.
- [25] NEHYBKA, V. & TILŠAROVÁ, R. Seismic Activity in West Bohemia from 2001-2006. *Acta Geodynam. Geomater*. 2007, Vol. 4, No. 4 (148), pp. 51-57.
- [26] NEUNHÖFER, H. & MEIER, T. Seismicity in the Vogtland/Western Bohemia Earthquake Region Between 1962 and 1998. *Stud. Geophys. Geod*. 2004, 48, pp. 539-562
- [27] NEUNHÖFER, H. & HEMMANN, A. Earthquakes Swarms in the Vogtland/Western Bohemia Region: Spatial Distribution and Magnitude-Frequency Distribution as an Indication of the Genesis of Swarms? *Jour. of Geodyn*. 2005, 39 (2005), pp. 361–385.

- [28] PROCHÁZKOVÁ, D. (Ed.) *Earthquake Swarm 1985/86 in Western Bohemia*. 1987.
- [29] Proceedings of Workshop in Mariánské Lázně, Dec. 1 – 5, 1986
- [30] SCHERBAUM, F. & STOLL, D. Source Parameters and Scaling Laws of the 1978 Swabian Jura (Southwest Germany) Aftershocks. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 1983, 73, pp. 1321-1343.
- [31] SKÁCELOVÁ, Z. & NEHYBKA, V. Seismic Activity of the Mariánské Lázně Deep Fault in Western Bohemia. In *Abstract 11th International Conference on "Basement Tectonics '94"*. July 25-29, 1994, Potsdam.
- [32] SKÁCELOVÁ, Z. & NEHYBKA, V. Earthquake Swarm Nový Kostel 4.-5.12.1994. *Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment*. 1995, II. 1. (1995). ČAAG.
- [33] TILŠAROVÁ, R. & NEHYBKA, V. Západní Čechy 1991-2005 – přehled seismické aktivity podle oblastí. In *Sborník 15.regionální konference "Nové poznatky a měření v seizmologii, inženýrské geofyzice a geotechnice"*. Sborník vědeckých prací VŠB–TU Ostrava , řada stavební, 2006, vol. 6, no. 2, 301-307.
- [34] VRÁNA, S. (Ed.) *Geological Model of Western Bohemia in Relation to the Deep Borehole KTB-1 in the FRG*. Czech Geological Survey, Prague 1997

**Oponentní posudek vypracoval:**

**RNDr. Karel Holub, DrSc., Ústav geoniky AVČR, v.v.i., Ostrava**