

Seismicita v oblasti západních a severních Čech a projekt na zpřístupnění Goetheho štol ve vulkánu Komorní hůrka

Ing. Milan Brož, CSc., p.g. Alena Boušková

Geofyzikální ústav AV ČR, v.v.i., Praha; milanbrogy@seznam.cz, ab@ig.cas.cz

Přijato: 30. 1. 2018, recenzováno: 7. 2. a 5. 4. 2018

Abstrakt

V tomto článku popisujeme charakter seismické aktivity v západočeské oblasti a seismicitu v oblasti severočeských uhelných ložisek. Dále se zabýváme geodynamicky významnými projevy podzemních fluid - vývěry minerálních vod a kysličníku uhličitého a jejich spojitostí s výskytem zemětřesení. V závěru pak přiblížíme projekt na zpřístupnění Goetheho štol ve vulkánu Komorní hůrka. Výzkum západočeské oblasti je na GFÚ AV ČR, v.v.i. umožněn i díky podpoře v rámci projektů CzechGeo, Strategie 21 a Regionálního projektu AV ČR č. R100121621.

Seismicity in the Western and Northern Bohemia, the project to open up the Goethe Gallery in volcano Komorní hůrka

The nature of seismic activity of West Bohemian region and seismicity in the region of North Bohemian coal mines are described. The connection of earthquakes occurrence with significant geodynamic impact of ground fluid - mineral water and carbon dioxide were analysed. The project for accessing of Goethe's gallery in the volcano Komorní hůrka is described in the last part of paper. The research of West Bohemian region was supported by the projects of CzechGeo, Strategies 21 and Regional project CAS n. R100121621.

Die Seismizität im Nordwestböhmen und das Projekt zum Wiederherstellen eines Zugangs zum Goethe-Stollen im Vulkan Kammerbühl

Im Beitrag wird der Charakter der seismischen Aktivitäten in Westböhmen sowie die Seismik der nordböhmenischen Kohlelagerstätten beschrieben. Ferner werden geodynamisch bedeutende, unterirdische Flüssigkeiten, wie Austritte von Mineralwasser und Kohlendioxid sowie die Zusammenhänge zwischen ihnen und dem Vorkommen des Erdbebens dargestellt. Schließlich wird ein Projekt vorgestellt, das den Goethestollen am Vulkan Kammerbühl wieder begehbar machen will. Die Forschung des Geophysikalischen Institutes und der Akademie der Wissenschaften der Tschechischen Republik wird durch Förderung seitens CzechGeo, Strategie 21 und des Regionalprojektes AWTR Nr. R100121621 möglich.

Klíčová slova: zemětřesení, intenzita, seismické normy, minerální prameny, Komorní hůrka, Goetheho štola.

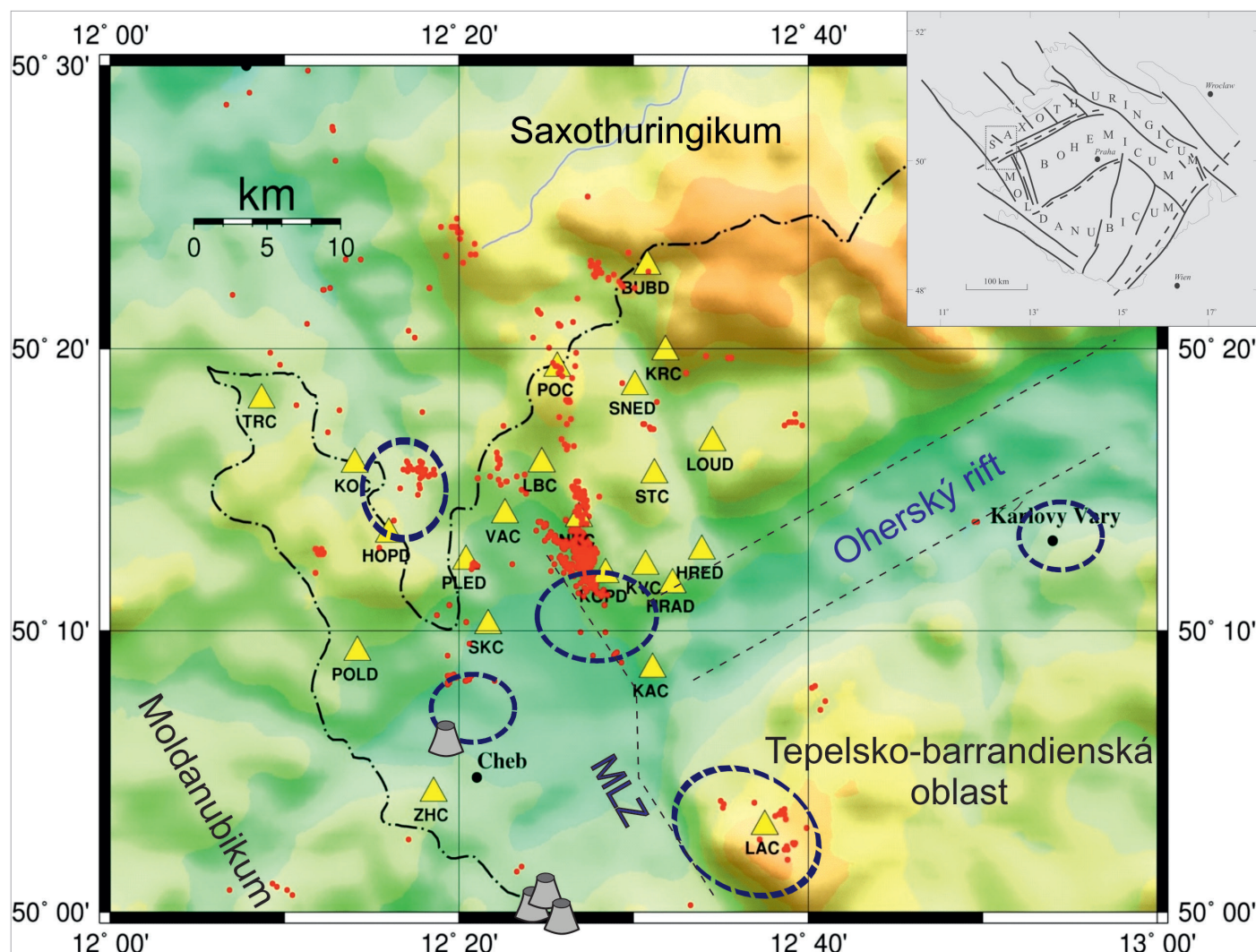
Keywords: earthquake, seismic intensity, seismic standards, mineral sources, Komorní hůrka hill, Goethe's gallery.

1 Úvod

Oblast severozápadních Čech spolu se sousedními částmi území Německa je tektonicky predisponovaná neklidná část zemské kůry, která se projevuje vývěry proplyněných minerálních vod, výrony suchého kysličníku uhličitého, který je díky obsahu izotopu $\delta^{13}\text{C}$ a vysokému poměru izotopů $^3\text{He}/^4\text{He}$ prokazatelně hlubinného (plášťového) původu [4,19,33], a výskytem slabých zemětřesení. Tyto jevy souvisí s minulou, z hlediska geologie nedávnou čtvrtohorní vulkanickou činností. Jejimi pozůstatky jsou soustředěny v mladší sopky-Komorníhůrka u Chebu a Železná hůrka u obce Mýtina pod Dylení, spolu s geofyzikálně ověřenými maary (propadlými sopouchy explozivních sopek) poblíž Železné hůrky a německých lázní Neualbenreuth [26,30]. Z hlediska všech těchto jevů je možné západočeskou oblast prohlásit za unikátní přírodní laboratoř, která je stále v centru zájmu našich i zahraničních vědců. Tento zájem trvá již od počátku 19. století, kdy nechal hrabě K. M. Sternberg vykopat průzkumnou štolu do nitra Komorní hůrky, i na přání J. W. Goetha, jednoho z účastníků tehdejšího vědeckého sporu neptunistů a plutonistů o její původ.

2 Západočeská zemětřesení

Západní okraj Českého masivu je geologicky velice různorodý. Setkávají se zde tři významné tektonické jednotky – saxothuringikum, moldanubikum a tepelsko-barrandienský blok [1]. Na křížení dvou morfologicky výrazných zlomových systémů, oherského riftu a mariánskolázeňského zlomu, leží terciární chebská pánev. Ta je centrem současné seismické aktivity (obrázek č. 1). Více než 95 % seismické energie se v posledních letech uvolňuje v epicentrální oblasti Nový Kostel na východním okraji chebské pánve, na zlomové ploše téměř S-J směru, která je součástí dalšího zlomového systému [2]. Celá seismoaktivní oblast, která zahrnuje území severozápadních Čech, severovýchodního Bavorska a jihovýchodního Saska, je známá výskytem zemětřesených rojů. Pro ně je charakteristické, že se energie nahromaděná v zemské kůře neuvolní najednou, ale větším množstvím slabých otřesů bez výrazně silnějšího hlavního otřesu, v relativně malé oblasti a v krátkém časovém intervalu - maximálně po dobu několika měsíců. Tento způsob uvolňování seismické energie souvisí především s tektonickým porušením oblasti, kde nedochází ke kumulaci deformační energie v okolí jednoho velkého zlomu.



Obr. 1: Průběh hlavních zlomových systémů (MLZ - mariánsko-lázeňský zlom), ohniska zemětřesení v oblasti (červeně), stanice sítě WEBNET (žluté trojúhelníky), hlavní oblasti výstupů CO₂ (modré elipsy) a čtvrtohorní sopky (šedé kužely).

Již v minulosti zde byly popsány silné zemětřesné roje v letech 1824, 1896/97, 1900, 1903, 1908 (nejméně silný roj ve 20. století) a 1936/37 [12]. Termín zemětřesný roj (Erdbeben-schwarm) byl poprvé použit právě k popisu zdejší seismické aktivity lázeňskými inženýry, kteří byli pověřeni i shromažďováním hlášení obyvatel o pocítených otřesech [10,25]. Silnější otřesy zaznamenával i seismické stanice Moxa a Cheb, instalované počátkem 20. století. Novodobá seismická měření v oblasti rojů začala během zemětřesného roje v roce 1962, avšak lokální seismické stanice Geofyzikálního ústavu a Hornického ústavu AV ČR měřily pouze po aktivní období roje (září–listopad 1962) [9,20]. Trvalá lokální seismická síť „Vogtland“ byla ale vybudována v sousedním Sasku [27]. Následný zájem o západočeskou oblast byl vyvolán dalším silným rojem, který se objevil na konci roku 1985. Zemětřesení ze dne 21. 12. 1985 s magnitudou $M_L = 4.6$ je dosud nejsilnější přístrojově zaznamenané zemětřesení v západočeské oblasti. Jeho maximální intenzita byla $I_0 = 6.5$ (podle 12ti stupňové evropské makroseismické stupnice EMS 98 [16], tab. 1). Toto zemětřesení bylo pocíteno do vzdálenosti i přes 200 km – např. v Praze, Ústí nad Labem nebo Českých Budějovicích. Další významné roje pak proběhly v letech 1997, 2000, 2008; 2011, 2014 (po 29-ti letech další silný zemětřesný roj, nejsilnější otřes měl lokální

magnitudo $M_L = 4.5$) a 2017. Z časové distribuce seismických rojů v oblasti Nového Kostela vynikají v posledních dvaceti letech tříleté intervaly opakování. Ty by bylo možné hodnotit jako časové úseky, ve kterých na této zlomové ploše dochází ke kritickému nahromadění napětí, které se následně uvolní.



Obr. 2: Základní stanice seismické sítě EBNET - Nový Kostel (NKC). Foto: A.Boušková



Obr. 3: Mapa seismických oblastí ČR.

Avšak pro předpověď další seismické aktivity je naše pozorovací řada příliš krátká a znalost dalších faktorů, které mohou k uvolnění napětí přispět, ještě nedostatečná.

Následně po seismickém roji z přelomu let 1985/86 byl již v prosinci roku 1986 uspořádán speciální seminář za účasti našich i zahraničních seismologů a byl vydán sborník přednesených referátů a katalog seismických jevů [34]. Geofyzikální ústav AV ČR, v.v.i. vybudoval v roce 1986 stanici Nový Kostel (NKC), základ dnešní lokální seismické sítě WEBNET. Další stanice následovaly ve spolupráci s Ústavem struktury a mechaniky hornin AV ČR [14,18]. Dnes síť WEBNET, s parametry stanic speciálně nastavenými pro registraci blízkých zemětřesení, zahrnuje 20 stanic. Umožňuje zaznamenávat blízké otřesy v širokém rozmezí magnitud ($-2 \leq M \leq 6$), s vysokou přesností stanovit charakteristiky seismických kmitů (příchod jednotlivých fází, frekvence a amplitudy kmitání) a následně určovat epicentra, hloubku a magnitudo jevů, mechanismy vzniku a další parametry silnějších otřesů. Stanice Nový Kostel (NKC, obrázek č. 2) je v rámci projektu CzechGeo zařazena i do České regionální seismické sítě [37].

Díky dlouhodobému sledování seismicity v západočeské oblasti byla „vymapována“ aktivní zlomová plocha v neaktivnější oblasti Nový Kostel [12]. Kromě ojedinělých otřesů prakticky v celém sledovaném území známe i další seismoaktivní „podoblasti“: Jindřichovice-Kraslice-Klingenthal, Plesná-Františkovy Lázně, Bad Brambach-Schöneck v Sasku, v ašském výběžku a konečně poblíž osady Lazy ve Slavkovském lese. Byla zaregistrována i vzdálenější mikrozemětřesení - v okolí Karlových Varů, v oblasti dolu Vintířov v Sokolovské pánvi (zde nejsilnější otřes 28.10.1995 měl magnitudo $M_L = 1$), otřesy v okolí Plauen v Sasku nebo Marktredwitz v Bavorsku. Většina zaznamenaných zemětřesení probíhá v hloubkách mezi 6 až 12 km, směrem k SZ jsou i hlouběji - až v 15 km.

3 Hodnocení seismicity

Ocenění síly zemětřesení je prováděno na základě dvou rozdílných přístupů. Jednak stanovujeme účinky zemětřesení na povrchu (ve stupních intenzity) a jednak je velikost zemětřesení určována na základě přístrojových údajů, nejčastěji se jedná o stanovení magnitudy zemětřesení. Základní rozdíl spočívá

Tab. 1: Makroseismická stupnice intenzit EMS - 98.

Stupeň	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
Účinky (název)	silné	mírně ničivé	ničivé	těžce ničivé	destruktivní	velmi destruktivní	devastující	úplně devastující
Zrychlení [cm/s ²]	12 - 25	25 - 50	50 - 100	100 - 200	200 - 400	400 - 800	~ 1000	≥ 1000
<i>g</i> [10 m/s ²]	0,012 - 0,025 g	0,025 - 0,05 g	0,05 - 0,1 g	0,1 - 0,2 g	0,2 - 0,4 g	0,4 - 0,8 g	~ g	≥ g

v tom, že magnitudo souvisí s energií vyzářenou v ohnisku zemětřesení (pro všechna místa pozorování je hodnota magnituda stejná), zatímco intenzita zemětřesení se zmenšuje se vzdáleností místa pozorování od ohniska. Kromě energie seismického jevu a vzdálenosti pozorovatele od epicentra se ještě projevuje hloubka ohniska, geologické podmínky, kvalita staveb aj. K hodnotám intenzitních stupňů, které určujeme na základě hlášení obyvatel, lze na základě empirických vztahů přiřadit hodnoty zrychlení pohybu zemské kůry v daném místě pozorování (tab. 1).

Pro region Českého masívu byly pro přepočet maximálních intenzit na magnituda použity vztahy [21,22]:

$$a) M = 0.63 I_0 + 0.5 \rightarrow I_0 = (M - 0.5) / 0.63$$

V případech, kdy je známa hloubka ohniska h [km], bylo použito vztahu:

$$b) M = 0.55 I_0 + 0.93 \log h + 0.14 \rightarrow I_0 = (M - 0.93 \log h - 0.14) / 0.55$$

Na základě těchto vztahů lze např. pro nejsilnější zemětřesení roje 1985/86 s magnitudem $M_L = 4.6$ a hloubkou 10 km stanovit epicentrální intenzitu I_0

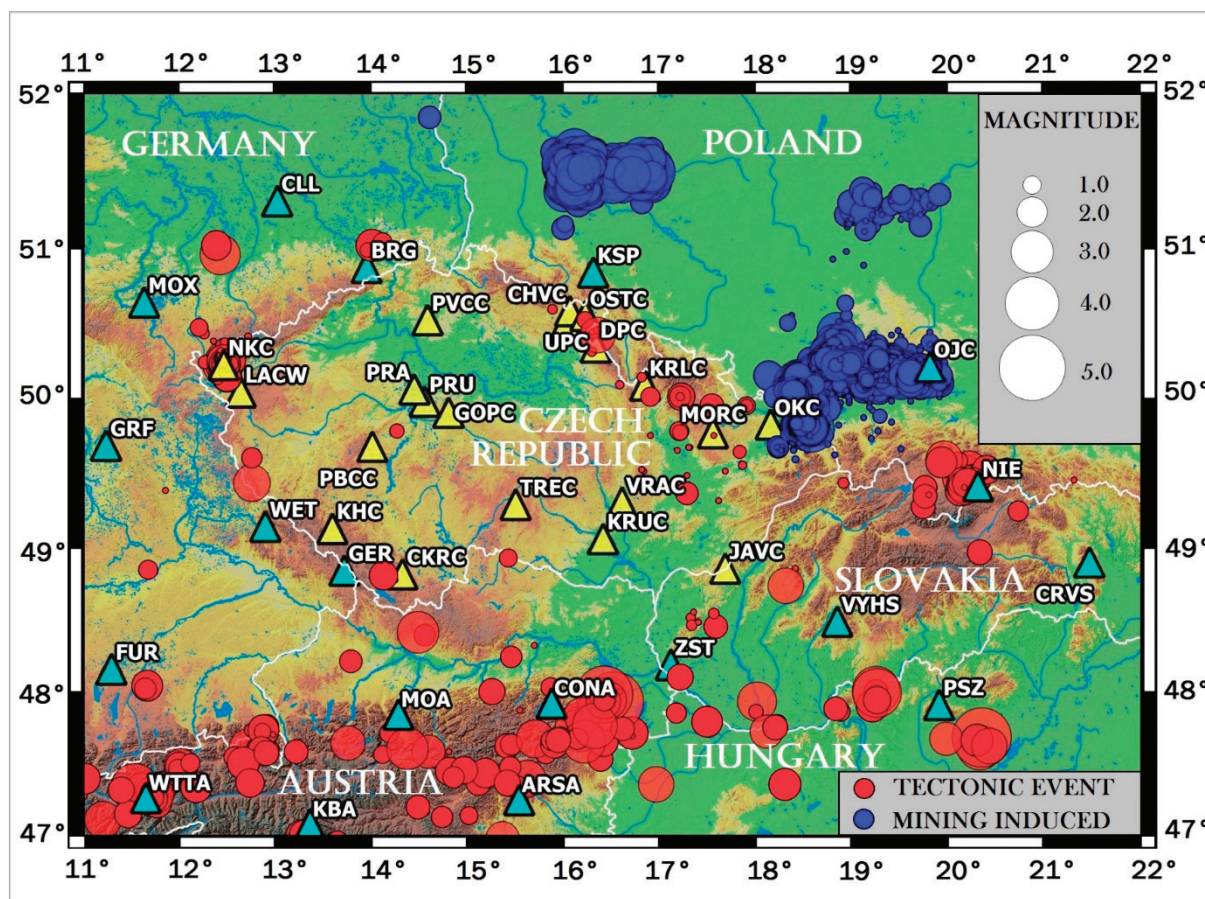
$$I_0 = (4.6 - 0.5) / 0.63 = 6.5$$

$$I_0 = (4.6 - 0.93 \cdot \log 10 - 0.14) / 0.55 = 6.4$$

Takto stanovená intenzita odpovídá i skutečně pozorovaným účinkům tohoto zemětřesení.

Jedním z nejdůležitějších úkolů současného seismického výzkumu je ocenění seismického ohrožení lokalit, kde se nacházejí důležité průmyslové stavby (jaderné elektrárny, úložiště jaderných odpadů, chemické továrny, výškové stavby, tunely, podzemní zásobníky apod.), historické stavby nebo významné přírodní oblasti (např. zdroje minerálních vod, geotermální zdroje). Seismické ohrožení může být způsobeno přirozenou seismicitou, indukovanými seismickými ději (u nás zejména důlními otřesy) i technickými zdroji, především většími trhačmi pracemi. České země patří do oblasti tzv. mírné seismicity, která je podle současných evropských i českých norem charakterizována Mapou seismických oblastí, uvedenou na obrázku č. 3. V Čechách je seismicky nejaktivnější oblast západních Čech, hronovsko-poříčský zlom na Náchodsku a Ostravsko.

Mapa seismických oblastí ČR je uvedena v Národní příloze Eurokódu 8 – část 1 [35]. V normě jsou u ní vypsány ohrožené okresy podle velikosti referenčního špičkového zrychlení podloží (které se v návrhu konkrétní stavby násobí součinitelem významu stavby a součinitelem podloží). Ve sporných případech o jeho velikosti rozhoduje odborné geofyzikální pracoviště. Těmi jsou v ČR podle rozhodnutí Ministerstva spravedlnosti: GFÚ AV ČR, v.v.i., ÚSMH AV ČR, v.v.i., MFF UK a MU Brno. Kromě této normy se pro posouzení účinků technické seismicity používá doporučení české normy, která zohledňuje jak dosažené amplitudy rychlosti kmitání na daných frekvencích, tak i charakter podloží a kvalitu stavebních objektů [36].



Obr. 4: Stanice národní seismické sítě ČR (žluté trojúhelníky), ohniska přirozených seismických jevů (červená kolečka) a ohniska důlních otřesů (modrá kolečka) zaznamenané v roce 2016.

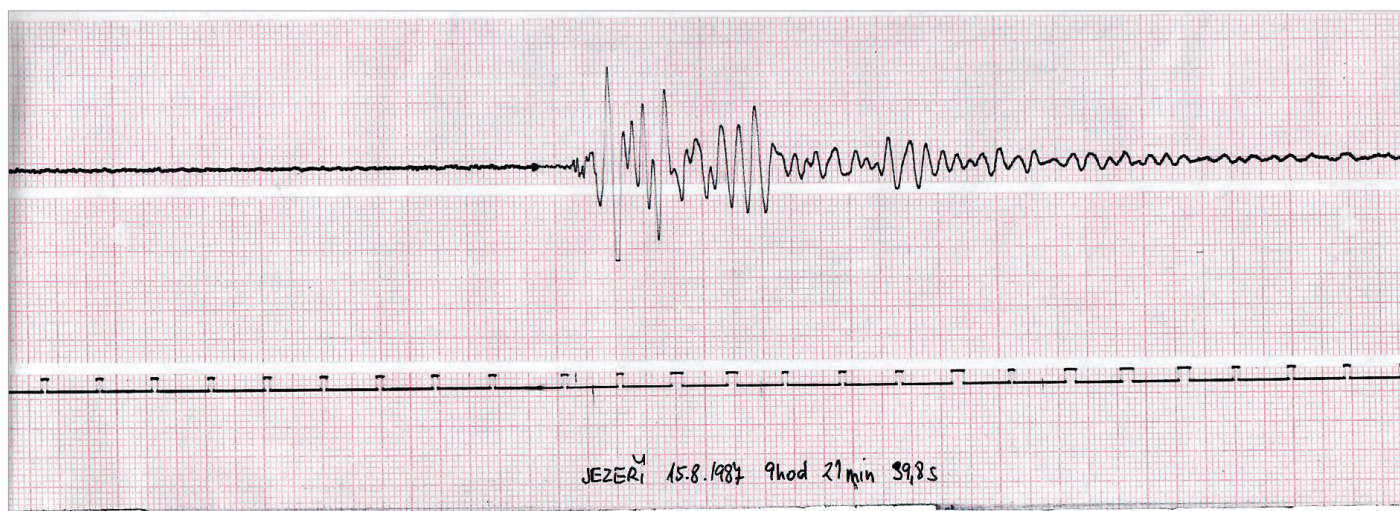
Situaci seismického ohrožení území ČR podle této mapy lze shrnout takto:

- oblasti se seismicitou větší než malou, v nichž je návrhové zrychlení větší než 0,08 g a kde by se tedy mělo počítat podle této normy, zahrnují 10 okresů (např. Cheb, Ostrava, Náchod, Tachov...);
- oblasti s malou seismicitou, se zrychlením 0,04 až 0,08 g, kde lze seismicitu řešit zjednodušeně, zasahují 30 dalších

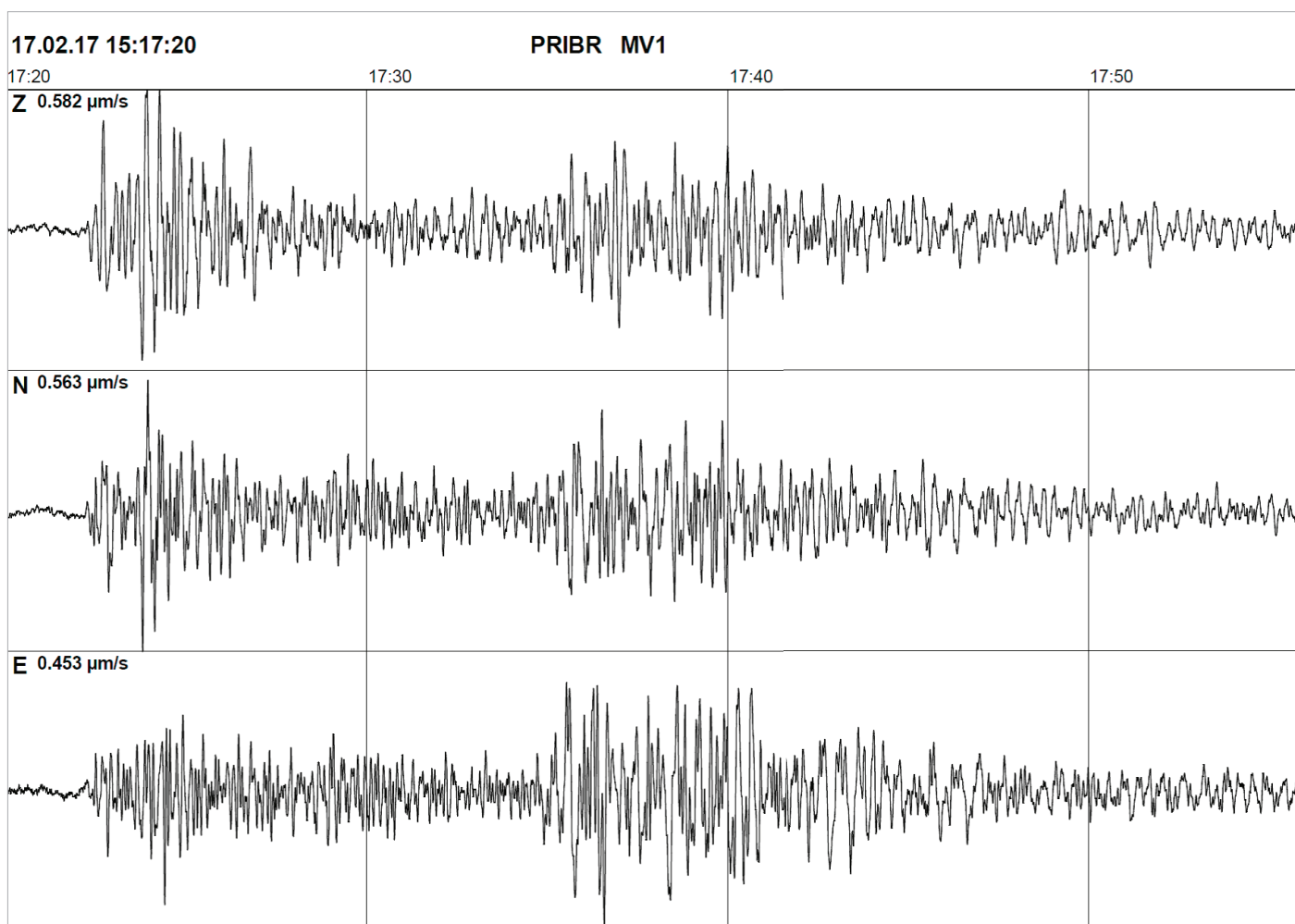
okresů podle seznamu, který je uveden v Národní příloze k ČSN EN 1998-1 [35];

- na zbytku ČR, asi na 50 % území včetně Prahy, Brna a Olomouce, se seismicita v normálních případech neuvazuje.

Na území České republiky se kromě přirozených zemětřesení (s epicentry ležícími i mimo území ČR) projevují účinky i indukovaných seismických jevů, které vznikají např. při



Obr. 5: Zápis vertikální složky seismických účinků těžebního odpalu ze dne 15.8.1987, špičková hodnota rychlosti kmitání $V = 3,5$



Obr. 6: Seismogram těžebního odpalu na dole Bílina dne 17.2. 2017. Archiv Innogy Gas Storage, s.r.o.

hlubinné těžbě mědi v Polsku (Lubin u Wroclavi) a při těžbě uhlí v oblasti hornoslezské pánve. Otřesy zaregistrované Českou národní seismickou sítí v roce 2016 jsou na obrázku č. 4 [37].

Stanice České národní seismické sítě jsou od roku 2011 zahrnuty do projektu CzechGeo, který je součástí evropského projektu geofyzikálního monitoringu „EPOS“. Kromě stanic základní seismické sítě ČR a sítě WEBNET jsou v některých lokalitách západních a severních Čech rozmístěny další stanice pro sledování místní seismicity. Jsou zaměřeny převážně na sledování seismických účinků těžebních odpadů, na identifikaci lokálních mikrozemětřesení pro potřebu ochrany přírodních fenoménů nebo pro výzkumné projekty. Takové stanice jsou například ve Slavkovském lese v Krásně v rámci ochrany rašelináře Čistá a ve zpřístupněném středověkém dole Jeroným, u karlovarského Vřídla ke sledování seismických účinků odpadů ze Sokolovské uhelné pánve, v Jáchymově v podzemí dolu Svornost pro sledování seismicity v okolí termálních pramenů a úložiště SÚRAO ve štolě Bratrství. Současně je v provozu i pilotní seismická síť v oblasti Blatenského masivu u Lubence ke sledování mikroseismicity granitového masivu pro hlubinné úložiště jaderného odpadu [7]. Dalšími významnými lokálními seismickými sítěmi v ČR jsou síť kolem jaderných elektráren (Temelín, Dukovany), u podzemního zásobníku plynu u Příbrami [6] a v oblasti OKR. V oblasti severních Čech jsou kromě stanice Hora Svaté Kateřiny (HSK), která patří do základní sítě ČR, instalovány stanice lokální sítě GFÚ CoalNet, a to na hradě Hněvín v Mostě, v Duchcově, na vrchu Hazmburk a na hoře Říp. Ke sledování seismicity a eventuálních seismických účinků podzemního tepelného výměníku slouží seismické stanice u připravovaných geotermálních vrtů v okolí Litoměřic [8].

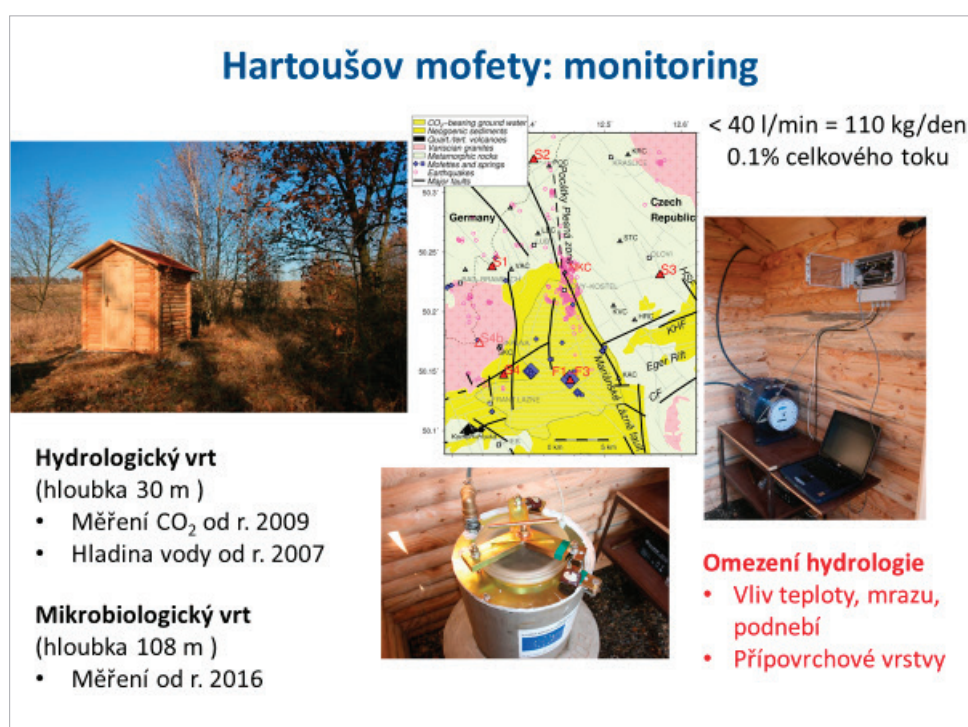
V oblasti hnědouhelných dolů na Mostecku a Teplicku byly instalovány seismické stanice již v posledních desetiletích

minulého století, a to jednak ke sledování indukované seismicity po důlním neštěstí na dole Pluto a následně i pro monitorování oblastí ohrožených sesuvy krušnohorských svahů. Seismické stanice byly umístěny na zámku Jezeří a ve štolách Jezerka a Jezeří. Na obrázku č. 5 je záznam přímopíšího seismografu, který byl instalován ve štolě Jezeří.

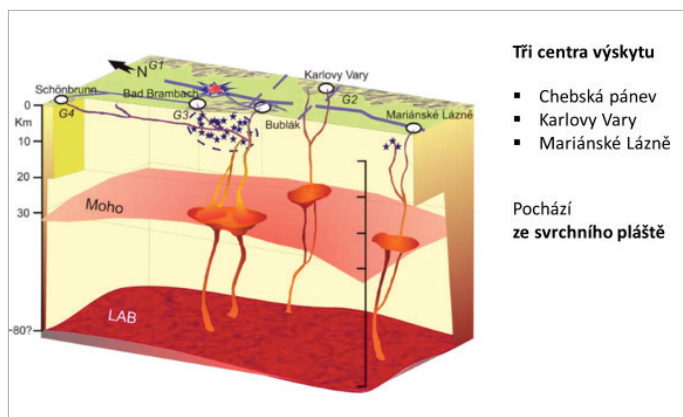
V posledních letech se za odpal s nejvýznamnějšími seismickými účinky z oblasti severních Čech považuje odpal v povrchovém dole Bílina ze dne 17.2. 2017 v 15:17:14 světového času s magnitudem $M_L = 1.1$, který byl seismickými stanicemi zaznamenán prakticky na celém území Čech. Na obrázku č. 6 je seismogram tohoto jevu zaznamenaný na seismické stanici MV1, umístěné ve 150 m vrtu na Příbramsku.

4 Minerální prameny a výrony CO_2

Seismická aktivita je často vázaná k oblastem s výstupy fluid, do kterých spadají minerální vody i suché výrony CO_2 . Indukovaná zemětřesení mohou vznikat i po napuštění přehrad s vysokou hladinou vody, jsou častá v okolí geotermálních vrtů. Spojitost těchto fenoménů je předmětem mnoha studií. V literatuře jsou zejména citovány práce I. G. Kisina a H. K. Gupty [13,23,24]. V západočeské oblasti se pokoušeli najít závislost mezi zemětřesenými roji a vydatností pramenů již lázeňští inženýři [25]. Moderní měření zde započala v roce 1991 [3,5,19], jejich význam podpořilo zejména stanovení mechanismů silnějších otřesů. Na základě významných tahových složek v těchto mechanismech se dá předpokládat, že roje jsou spouštěny přetlakem fluid v ohniskové oblasti [15,32]. Ke sledování projevů změn tektonického napětí byly do monitorovacích hydrogeologických vrtů v oblasti západních Čech instalovány automatické hladinoměry, které ve 3-minutových časových intervalech zapisují výšku hladiny podzemní vody a tlak vzduchu, který ji může významně ovlivnit. Následná korelace se seismicitou již



Obr. 7: Hydrologický průzkumný vrt v Hartoušově.



Obr. 8: Předpokládané cesty výronů CO_2 v západních Čechách. [4,17]

v několika případech ukázala na určité souvislosti, proto v současné době pokračují tyto studie v rámci mezinárodního projektu ICDP (International Continental Drilling Program) [11]. V rámci tohoto projektu bude v Chebské pánvi a jejím okolí vyhloubeno pět pozorovacích vrtů do hloubky až 500 m, které budou osazeny hladinoměry, seismometry i přístroji pro měření množství vystupujícího CO_2 . První z těchto vrtů, hluboký 108 m, je v lokalitě přírodních vývěrů CO_2 u Hartoušova. Poster o tomto vrtu je na obrázku č. 7. Na obrázku č. 8 je znázorněna představa o průniku plynů v oblasti západních Čech ze svrchního pláště [11].

5 Zpřístupnění Goetheho štolý ve vulkánu Komorní hůrka

Komorní hůrka se nachází několik kilometrů od Františkových Lázní a je spravována Městským muzeem. Je součástí Geoparku Egeria, části Česko - Bavorského geoparku. V roce 1951 byla prohlášena národní přírodní památkou, která je dozorována prostřednictvím regionálního pracoviště AOPK ČR - Správou CHKO Slavkovský les. Průzkumné a hornické práce jsou v letech 2016-2018 prováděny v rámci projektu R100121621 „Projekt na otevření a zpřístupnění Goetheho štolý ve vulkánu Komorní hůrka - administrativní, vědecká, odborná a projekční příprava realizace - Charakteristika seismických vlastností vulkánu v oblasti západočeských zemětřesných rojů“, na základě smlouvy mezi AV ČR, v.v.i a městem Františkovy Lázně v rámci „Regionální spolupráce AV ČR s Karlovarským krajem“.

Goetheho štola byla vyražena do nitra jednoho z našich nejmladších čtvrtohorních vulkánů. Pozoruhodná je skutečnost, že myšlenku na vybudování štolý s cílem rozřešit tehdy aktuální spor mezi neptunisty a plutonisty podpořil i věhlasný básník a přírodovědec Johann Wolfgang Goethe (obrázek č. 9).

Za jednu z nejvýznamnějších událostí, která předcházela vyražení štolý, je považováno setkání dne 30. 6. 1822. Této schůzky zobrazené na obrázku č. 10 se účastnili přírodovědec hrabě K. M. Sternberg, Goethův přítel švédský chemik a lékař J. J. Berzelius, chebský policejní rada a mineralog J. S. Grüner, lékař a botanik J. E. Pohl a konečně i básník a nadšený geolog J. W. Goethe [31].

Na této schůzce bylo vysloveno, že desetiletí trvající spor mezi neptunisty, kteří tvrdili, že horniny na zemském povrchu včetně čedičů vznikly usazováním vrstev v mořské

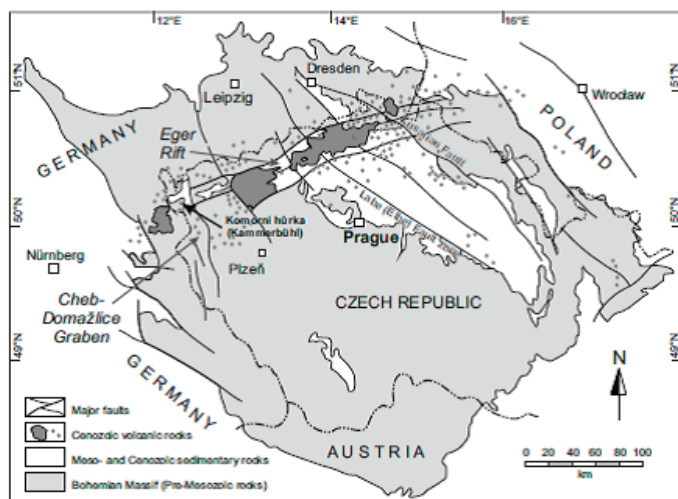


Obr. 9: J. W. Goethe (1749 - 1832) - básník a geolog, podporovatel experimentálního řešení sporu mezi neptunisty a plutonisty [31].

vodě, a plutonisty, kteří zastávali názor, že vznik čedičových hornin souvisí se sopečnou činností, by bylo možné vyřešit vybudováním štolý do nitra vulkánu. Tuto myšlenku podpořil i J. W. Goethe, vyřešení sporu se sám však již nedožil (zemřel 22. 3. 1832). Práce na průzkumu vulkánu začaly až v roce 1834, kdy na základě vyplnění slibu Goethovi začal s budováním štolý jeho přítel hrabě K. M. Sternberg. Tím se zapsal do dějin nejen pro dodržení šlechtického slibu, ale jako jeden z prvních



Obr. 10: Tendenční malba která byla podle dostupných pramenů zobrazena na pohlednici v roce 1822. Přemalba podle originálu v hotelu Komorní Hůrka. Foto: J. Kopicčka



Obr. 11: Pozice Komorní hůrky v rámci Krušnohorského riftu [29].

vědeckých experimentátorů v geologii. Hornické práce, které nebyly zaměřeny na prospekci užitkových nerostů, probíhaly pod vedením švédského chemika J. J. Berzelia na náklady hraběte Sternberga po dobu 3 let. Byly dokončeny v roce 1837 (tedy v roce 2017 to bylo 180 let) a představují až do současnosti ve světě příkladné unikátní řešení vědeckého sporu.

Výsledkem tohoto experimentu bylo nalezení ohraničeného vertikálního čedičového tělesa, závěr byl tedy jednoznačný. Komorní hůrka je vyhaslá sopka, což už v r. 1773 tvrdil např. plutonista hrabě Kinský. Přesto se však nejednalo, jak by se na první pohled mohlo zdát, o triumf plutonismu. Během souvisejících výzkumů se totiž prokázalo, že se Komorní hůrka

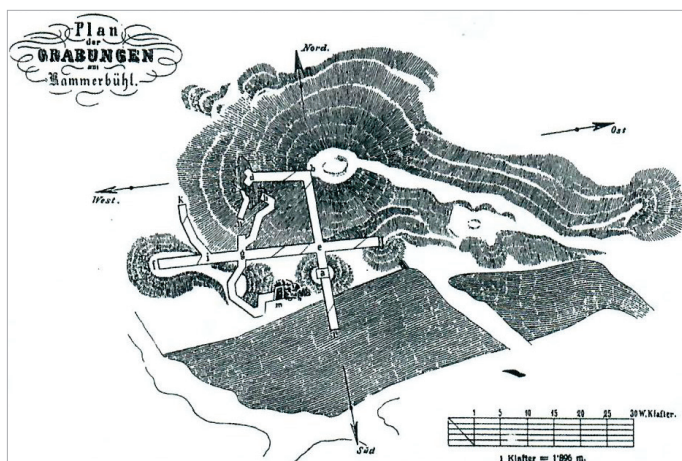
nachází v oblasti usazenin třetihorního jezera. Jestliže se její původ prokázal jako nepochybně sopečný, pak to nutně muselo znamenat, že na utváření zemského povrchu se podílely oba geologické procesy (vulkanismus i sedimentace). Tím došlo ke smíření a propojení obou do té doby protichůdných hypotéz.

V současné době už je geneze této kvartérní sopky plně objasněna [29]; v dobách aktivity se jednalo o vulkán strombolského typu s monogenetickou formou násypového kužele, u něhož došlo v závěru aktivity k výlevu lávového proudu, který vyplnil sopouch a překryl i struskový povrch. V usazených tufech na úbočí sopky lze pozorovat nejen sopečné bomby, ale také výrazně tepelně postižené xenolity, vyrvané z okolního pláště metamorfítů a granitů. Vzácně lze objevit i přepálené jíly – porcelanity a také čisté železo. Tektonická situace a pozice Komorní hůrky jsou na obrázku č. 11, na následném obrázku č. 12 je současný pohled na sopku. Podrobné geologické informace jsou obsaženy i v článku Petra Rojíka, který je uveřejněn v tomto čísle časopisu.

Geofyzikální ústav AV ČR, který za podpory města Františkovy Lázně a dalších účastníků a sponzorů sestavil projekt na opětovné zpřístupnění Goetheho štolý, se de facto stává pokračovatelem historického vědeckého experimentu, ovšem již na úrovni vědy 21. století. Projekt je významný i tím, že využívá vědecké poznatky k popularizaci vědecky, společensky a turisticky atraktivní lokality. Realizací tohoto projektu chceme představit naší i zahraniční veřejnosti nejen tento nenápadný vrch mezi Chebem a Františkovými Lázněmi a jeho nitro, ale i odvěkou touhu lidí po poznání, která vedla až k realizaci rozsáhlého vědeckého experimentu.



Obr. 12: Letecký pohled na Komorní hůrku - zalesněný vrch s vytěženým povrchovým lomem na pravém okraji, v blízkosti nová občanská zástavba a hotel Komorní Hůrka.



Obr. 13: Historické schéma podzemí v publikaci A.A. Palliardiho z r. 1848.

5.1 Historické záznamy o štole

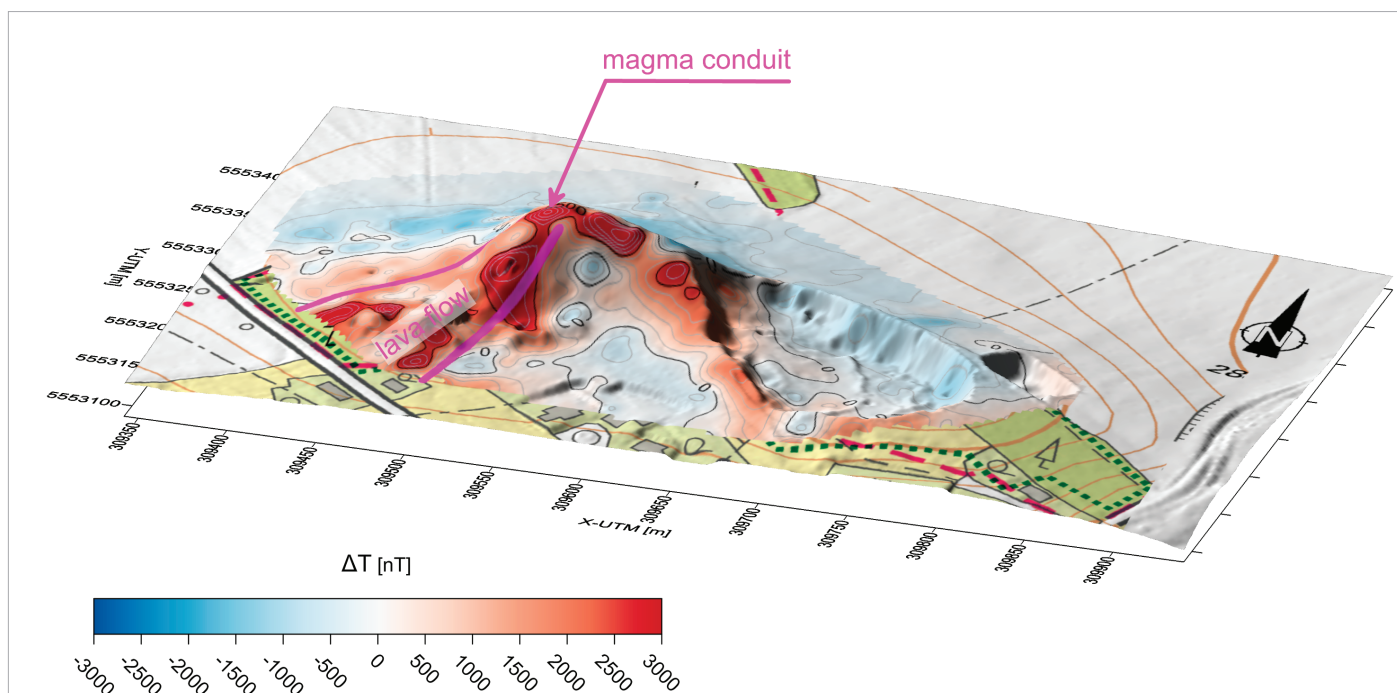
O postupu prací provedených v letech 1834-37 existují podrobné záznamy. Práce na průzkumné štole započaly svislou šachtou v blízkosti čedičového proudu. V hloubce 19 metrů ji však zaplavila spodní voda, kterou nebylo možné odčerpát. Proto se vodorovné štoly razily v hloubce 17 metrů, v několika směrech v celkové délce téměř 300 metrů (obrázek č. 13). Schéma důlních prací i s měřítkem bylo uveřejněno např. v práci Palliardiho [28] i v dalších článcích.

Hlavní tajemství Komorní hůrky tedy bylo odhaleno již v první polovině 19. století, což ovšem neznamená, že by o ni od té doby vědecký svět ztratil zájem. Do současnosti se dochovalo ústí zavalené přístupové chodby Goetheho štoly s portálem, nově opraveným v rámci projektu v roce 2017 (obrázek č. 14). Úvodní svážná chodba byla přibližně 3 m od svého ústí zazděna. Z historických pramenů víme, že za úvodní vyzdívku přístupové chodby došlo v 19. století k propadu

a přerušení přístupové cesty a posléze k jejímu zásypu, stejně jako tomu bylo v případech původní svislé šachty.



Obr. 14: Nově opravený vstupní portál do Goetheho štoly, který nechal v roce 1837 osadit hrabě K. M. Sternberg nápisem „Věnováno přátelům přírody“. Foto: M. Brož



Obr. 15: Znázornění magnetometricky ověřených lávových proudů na tělese vulkánu [29].

5.2 Způsob zpřístupnění štol, rozsah a časový sled plánovaných prací

V rámci úvodních prací na projektu byly v roce 2016 ověřeny geofyzikálními metodami historické nákresy podzemních štol, které se nacházejí v hloubce 17 m. Významným přínosem pro poznání vulkánu bylo podrobné magnetometrické měření, kterým byly lokalizovány lávové proudy na kuželu vulkánu, viz obrázek č. 15 [29]. Tak bylo možné ověřit směry průzkumných chodeb na historických schématech, neboť je zřejmé, že při jejich hloubení se horníci vyhýbali tvrdým čedičovým lávovým polím. Následně došlo k vyčištění vstupu, opravě vstupního portálu, osazení mříží a k sanaci přístupové chodby ke štole.

Ve druhé etapě prací, která se uskutečnila v roce 2017, pokračovalo hloubení štol k předpokládané úrovni -17 m, kde se má nacházet hlavní podzemní chodba důlního díla. Jedná se o těžbu zásypu v úpadnici. Po vyčištění přístupové chodby do podzemí jsme dosáhli úrovně cca -5 m hloubením malým bagrem (na základě povolení výjimky zásahu do NPP od AOPK). Průběžně byla úpadní štola kontrolována a případně zajišťována dočasnou dřevěnou výztuží, která byla následně v prvních 3 m již nahrazena kovovou výztuží typu „Pražská výztuž“ se 100% zátahem stropu a boků. Provedení prvního úseku nově vyhloubené původní přístupové chodby ke štole je na obrázku č. 16, osazení podzemní chodby je na obrázku č. 17.

Následné důlní práce v roce 2018 a 2019 zodpoví základní otázku o původním, dodatečném nebo neexistujícím propojení průzkumných chodeb, původně realizovaných z úvodní hloubené šachty, úpadnicí. K existenci úpadní štol pro



Obr. 17: První úsek podzemní chodby osazený pražskou výztuží. Foto: M. Brož

pohodlnější přístup do podzemí přispívají i informace, že ještě v počátku 20. století zde byly provozovány prohlídky pro laickou veřejnost. Záznamy jsou i o dřívější návštěvě obrozenců za účasti Boženy Němcové.

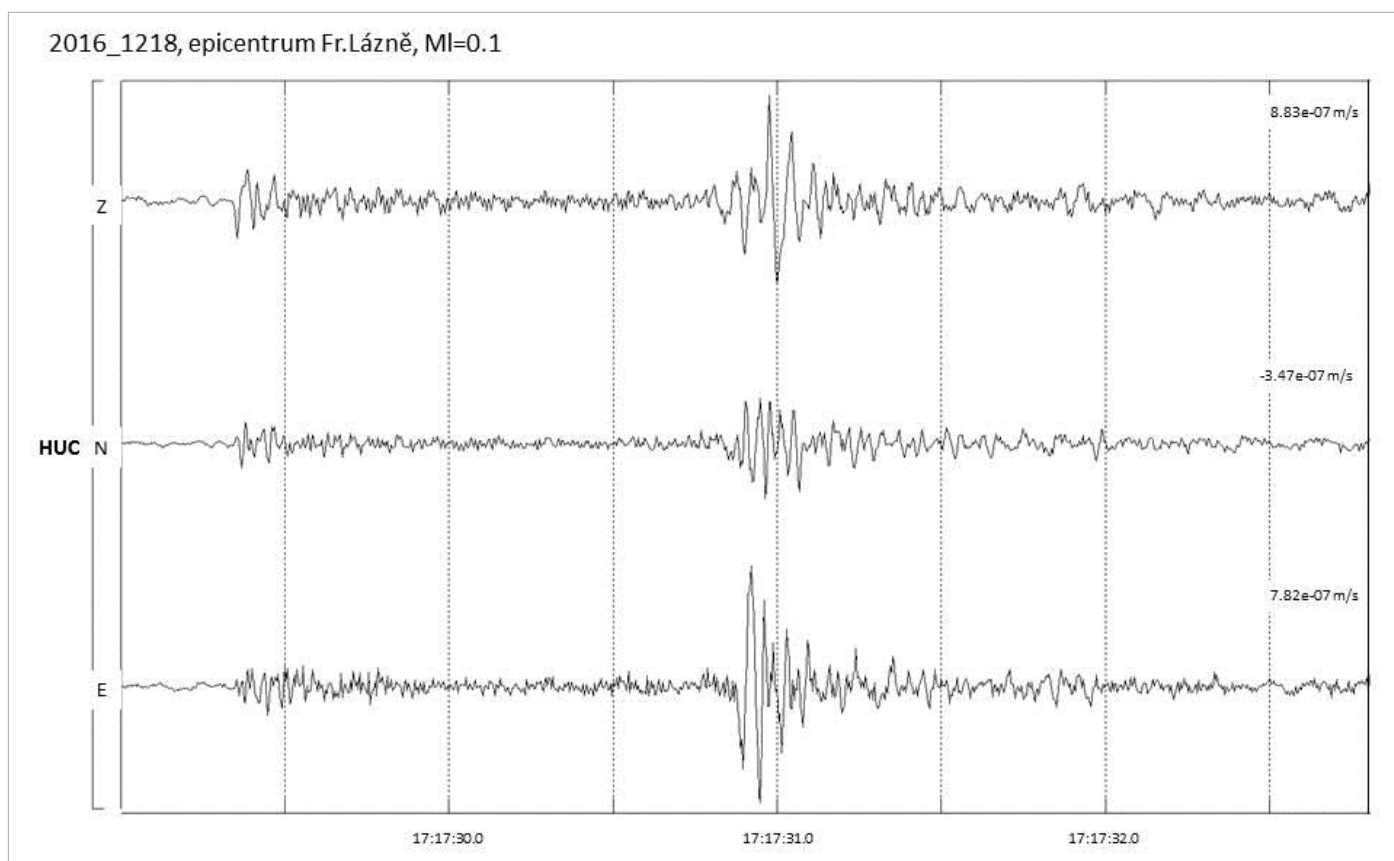
Práce na zpřístupnění tohoto historického důlního díla jsou velmi náročné na kooperaci s AOPK, OBU Sokolov, městem Františkovy Lázně, Českým inspektorátem lázní a Archeologickou památkovou péčí. V roce 2017 se do realizačního týmu připojila i Česká geologická služba, která provede vulkanologické analýzy a geologické datování. Za jeden z významných výsledků projektu, který by měl toto významné dílo nejen připomenout veřejnosti, ale i umožnit jeho další výzkum, je zahrnutí této lokality do přeshraničního projektu INTEREG. V tomto společném projektu České republiky a Svobodného státu Bavorsko s názvem „Cesta do hloubi země“, který byl přijat v prosinci 2017, je kromě Goetheho štol a dalších významných přírodních lokalit začleněno i zpřístupnění historických dolů na železo ve městě Fichtelberg. Pro projekt Komorní hůrka, který je i v roce 2018 finančně podporován AV ČR, v.v.i a městem Františkovy Lázně, přibude v dalších letech i významná pomoc v částce 74 000 €.

6 Závěr

Jak studium zemětřesených rojů v západních Čechách, tak i zpřístupnění štol do podzemí vulkánu Komorní hůrka prokazují skutečnost, že západočeská oblast je unikátní geofyzikální laboratoří. Dlouhodobá seismologická pozorování i připravované průzkumné vrty dále rozšíří vědeckou činnost AV ČR, v.v.i v tomto regionu. Ta byla v roce 30. výročí silného zemětřeseného roje z roku 1985/86 představena i otevřením Geofyzikálního muzea ve Skalně v rámci projektu „Strategie AV21“. Od roku 2015 registruje pohyby země seismická stanice Komorní hůrka (HUC), součást lokální seismické sítě WEBNET. Díky umístění na tvrdé čedičové skalce je vhodná k záznamu lokálních otřesů v celé seismoaktivní oblasti i slabých mikrozemětřesení v širším okolí Františkových Lázní (obrázek č. 18).



Obr. 16: Sanovaná vstupní chodba do podzemí Komorní hůrky (září 2017). Foto: M. Brož



Obr. 18: Seismogram mikrozemětřesení s epicentrem severně od Františkových Lázní zaznamenaného na stanici Komorní hůrka (HUC), která je součástí seismické sítě WEBNET. Datový archiv Geofyzikálního ústavu AV ČR.

Literatura

- [1] BABUŠKA, V., PLOMEROVÁ, J., FISCHER, T., Intraplate seismicity in the western Bohemian Massif (central Europe): A possible correlation with a paleo-plate junction. *J. Geodyn.*, 44, pp. 149–159, 2007.
- [2] BANKWITZ, P., SCHNEIDER, G., KÄMPF, H., BANKWITZ, E.: Structural characteristics of epicentral areas in Central Europe: study case Cheb Basin (Czech Republic). *J. Geodyn.*, 35, pp. 5–32, 2003.
- [3] BRÄUER, K., KÄMPF, H., NIEDERMANN, S., STRAUCH, G., TESAŘ, J.: Natural laboratory NW Bohemia: Comprehensive fluid studies between 1992 and 2005 used to trace geodynamic processes, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 9, 2008.
- [4] BRÄUER, K., KÄMPF, H., STRAUCH, G.: Seismically triggered anomalies in the isotope signatures of mantle-derived gases detected at degassing sites along two neighboring faults in NW Bohemia, central Europe. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 119, 2014.
- [5] BROŽ, M., BUBEN, J.: Zkoumání souvislostí mezi výskytem zemětřesení a anomáliemi léčivých pramenů v západních Čechách. *Proc. of conf. seismologist*, Institute of Geonics, pp. 30–47, Ostrava 1993.
- [6] BROŽ, M., ŠTRUNC, J.: Metodika a výsledky dlouhodobého seismického monitoringu na PZP Háje – INNOGY.CZ, EGRSE. *Inter. Journal of Exploration Geophysics Remote Sensing and Environment*, XXIV.1, pp. 1–11, 2017.
- [7] BROŽ, M., LEVÝ, O., ŠTRUNC, J.: Práce probíhající na vzorovém projektu monitoringu pro mikroseismické studie v předpokládaných lokalitách úložišť radioaktivního odpadu-lokalita Čertovka, EGRSE. *Inter. Journal of Exploration Geophysics Remote Sensing and Environment* XXIV.1, pp. 12–21, 2017.
- [8] BROŽ, M., ŠTRUNC, J., MÁLEK, J., TÝM, A.: Seismická monitorovací síť pro geotermální vrt v Litoměřicích, EGRSE. *Inter. Journal of Exploration Geophysics Remote Sensing and Environment* XXI.1, pp. 48–57, 2014.
- [9] BUBEN, J. & RUDAJEV, V.: Über die Untersuchung einer Erdbebenserie im Erzgebirge, September 1962. *Freiberger Forschungshefte C* 174, 1965.
- [10] CREDNER, H.: Das vogtländisch-erzgebirgische Erdbeben vom 23. November 1875. *Z. Ges. Naturwiss.*, 48, pp. 246–269, 1876.
- [11] DAHM, T., HRUBCOVÁ, P., FISCHER, T., HORÁLEK, J., KORN, M., BUSKE, S., WAGNER, D.: Eger Rift ICDP: an observatory for study of non-volcanic, mid-crustal earthquake swarms and accompanying phenomena. *Sci. Dril.*, 16, pp. 93–99, 2013.

- [12] FISCHER, T., & al.: Intra-continental earthquake swarms in West-Bohemia and Vogtland: A review. *Tectonophysics*, 2013.
- [13] GUPTA, H.K.: Reservoir Induced Earthquakes. *Developments in Geotechnical Engineering*, Vol. 64, pp. 382, 1992.
- [14] HORÁLEK, J., BOUŠKOVÁ, A., HAMPL, F., FISCHER, T.: Seismic regime of the West-Bohemian earthquake swarm region: preliminary results. *Stud. Geophys. Geod.* 40, pp. 398–412, 1996.
- [15] HORÁLEK, J. & FISCHER, T.: Role of crustal fluids in triggering the West Bohemia/Vogtland earthquake swarms: just what we know (a review). *Stud. Geophys. Geod.* 52, pp. 455–478, 2008.
- [16] HRUBCOVÁ, P., ŠÍLENÝ, J.: Když se chvěje zem. *Vesmír* 94, 2015.
- [17] HRUBCOVÁ, P., GEISLER, W.H., BRÄUER, K., VAVRYČUK, V., TOMEK, Č., KÄMPF, H.: Active magmatic underplating in western Eger Rift, Central Europe. *Tectonics*, 36, 2017.
- [18] JÍRA T., BROŽ, M.: The study of natural seismicity in the spa region of Western Bohemia. *Acta Montana* 89, IGT CAS Prague, pp. 175 – 181, 1992.
- [19] KÄMPF, H., BRÄUER, K., SCHUMANN, J., HAHNE, K., STRAUCH, G.: CO₂ discharge in an active, non-volcanic continental rift area (Czech Republic): Characterisation ($\delta^{13}\text{C}$, $^3\text{He}/^4\text{He}$) and quantification of diffuse and vent CO₂ emissions. *Chem. Geol.*, 339, pp 71–83, 2013.
- [20] KÁRNÍK, V.: Earthquake Swarms in the Region of Kraslice in 1962, *Studia Geoph. et Geodaet.* 7, pp. 288, 1963.
- [21] KÁRNÍK V., SCHENKOVÁ Z., SCHENK V.: Earthquake activity in the Bohemian Masiv and in the Western Carpathians. *Travaux Geophysiques*, 29, pp. 9-33, 1984.
- [22] KÁRNÍK V.: Seismicity of the European Area, Part 2. D. Reidel publishing company, Dordrecht – Holland, 1971.
- [23] KISSIN, I.G., GRINEVSKY, I.G.: Main features of the hydrogeodynamic earthquake precursors. *Tectonophysics*, 178, pp. 277–286, 1990.
- [24] KISSIN, I.G., BELIKOV, V.M., ISHANKULIEV, G.A.: Short-term groundwater level variations in a seismic region as an indicator of the geodynamic regime. *Tectonophysics*, 265, pp. 313–326, 1996.
- [25] KNETT, J.: Das Erzgebirgische Swarmbeben zu Hartenberg vom 1 Jänner bis Feber 1824. *Sitzungsber. Deutsch. Naturwiss. - med Ver.Böhmen*, Lotos Prag N.F., 19, pp. 167–191, 1899.
- [26] MRLINA, J., KÄMPF, H., KRONER, C., MINGRAM, J., STEBICH, M., BRAUER, A., GEISLER, W.H., KALLMEYER, J., MATTHES, H., SEIDL, M.: Discovery of the first Quaternary maar in the Bohemian Massif, Central Europe, based on combined geophysical and geological surveys. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 182, pp. 97–112, 2009.
- [27] NEUNHÖFER, H., MEIER, T.: Seismicity in the Vogtland/Western Bohemia earthquake region between 1962 and 1998. *Studia Geoph. et Geod.* 48, pp. 539–562, 2004.
- [28] PALLIARDI, A.A.: Der Kammerbuhl, Eger, 1848.
- [29] RAPRICH, V., VALENTA, J., BROŽ, M., KADLECOVÁ, E., WYK DE VRIES, B. VAN, PETRONIS, M.S., ROJIK, P.: A crucial site in the argument between Neptunists and Plutonists: re-opening of the historical adit in the Komorní hůrka (Kammenrbühl) Volcano after 180 years. *Geoheritage*, 2018.
- [30] ROHRMÜLLER, J., KÄMPF, H., GEISS, E., GROSSMANN, J., GRUN, I., MINGRAM, J., MRLINA, J., PLESSSEN, B., STEBICH, M., VERESS, C., WENDT, A., NOWACZYK, N.: Reconnaissance study of an inferred Quaternary maar structure in the western part of the Bohemian Massif near Neualbenreuth, NE-Bavaria (Germany). *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)*, 2017.
- [31] URZIDIL, J.: Goethe v Čechách. Pistorius + Olšanská, Příbram 2009.
- [32] VAVRYČUK, V., HRUBCOVÁ, P.: Seismological evidence of fault weakening due to erosion by fluids from observations of intraplate earthquake swarms. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 122, 2017.
- [33] WEINLICH, F.H., BRÄUER, K., KÄMPF, H., STRAUCH, G., TESAŘ, J., WEISE, S.M.: An active subcontinental mantle volatile system in the western Eger Rift, Central Europe: Gas flux, isotopic (He, C, N) and compositional fingerprints. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 63, pp. 3653–3671, 1999.
- [34] PROCHÁZKOVÁ, D.: Earthquake Swarm 1985/86 in Western Bohemia. *Proceedings of workshop in Mariánské lázně*, Czechoslovak Academy of Sciences, Geophysical Institute Praha, 1987.
- [35] EUROCODE 8, 2011, Desing of structures for earthquake, EN 1998-1 NA, Česká technická norma, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví 89525, Praha ICS 91.120.25
- [36] ČSN 730040 1995, Zatížení stavebních objektů technickou seismicitou a jejich odezva, Český normalizační institut Praha, ICS 91.080.00
- [37] Webové stránky: www.ig.cas.cz