

---

# Posouzení dopadu provozu GTE v Tanvaldu na nedaleké hráze

Připraveno pro společnost **Entergeo, SE**  
Podnikatelská 267  
190 11, Praha 9 – Běchovice  
Česká republika

**Seismik s.r.o.**  
V Holešovičkách 94/41  
182 00, Praha 8  
Česká republika  
Vypracovala **RNDr. Zuzana Jechumtálová, Ph.D.**

2014

24. dubna,

---



**Seismik**

---

## Posouzení dopadu provozu geotermální elektrárny v Tanvaldu na hráze přehrady v Souši

---

V této studii jsme shrnuli dostupné informace o možnosti poškození přehrady Souš na řece Černé Desné, neboť se vyskytly obavy, zda by provoz geotermální elektrárny v Tanvaldu nemohl způsobit protržení hráze této přehrady, obdobně jako se protrhla hráz na řece Bílé Desné na počátku 20. století. Zároveň jsme odhadli možné seismické ohrožení této hráze, které by mohl vyvolat provoz geotermální elektrárny.

Vodní díla – jak na Bílé, tak na Černé Desné – se stavěla souběžně před první světovou válkou jako součást systému retenčních nádrží chránících předhůří Jizerských hor před povodněmi. Přehrady byly budovány jako zemní sypané hráze v jihovýchodní části Jizerských hor, severně od měst Desná a Tanvald. Obě přehrady spojovala štola umožňující převedení vody z jedné přehrady do druhé. Jejich výstavba probíhala současně v letech 1912 až 1915. Během stavby však oblast postihly intenzivní deště, které budované dílo poškodily, a navíc začala první světová válka, jež si vynutila úsporná opatření, která se promítla do kvality stavby. Základy přehrad byly založeny do hloubky až 5 metrů. Na výstavbu vlastní sypané hráze se používala zemina získaná ze zemníků v plánovaném zátopném území. Do místa hráze se zemina ukládala po čtyřicetimetových vrstvách a následně se zhutňovala třítunovým válcem. U návodního svahu byl vybudován těsnicí plášť s kamennou dlažbou na povrchu. Korunu hráze a vzdušní líc zpevňovalo zatravnění.

### Protržení přehrady na Bílé Desné

Za deset měsíců po kolaudaci přehrady na Bílé Desné začal 18. září 1916 vytékat z tělesa hráze pramínek vody. Pramen nabíral na intenzitě a po 70-ti minutách se celá hráz přehrady protrhla a z nádrže se vyvalila nashromážděná voda. Ta ničila domy v údolí pod přehradou a vyžádala si i oběti na lidských životech. Katastrofa si vyžádala celkem 62 lidských životů, 33 zničených a 69 poškozených domů; 307 osob zůstalo bez přístřeší. Z protržené přehrady se dochovala šoupátková věž spolu se štolou k Soušské přehradě. Za příčinu neštěstí se považoval nevhodně zvolený materiál tělesa hráze spolu s jeho nedostatečným hutněním. Studie zpracovaná roku 1996 společností Stavební geologie – Geotechnika, a. s (Rozsypal, 2006) tyto příčiny vyloučila a jako příčinu protržení hráze označila erozi v podloží hráze či na kontaktu hráze s podložím, a také erozi vlastní hráze a výpustní štoly. Hutnění materiálu sice nebylo zcela dokonalé, avšak sedání hráze o 40 až 80 milimetrů nebylo pro hráz kritické. Z dnešního pohledu byly tedy příčinou havárie hráze na Bílé Desné absence řádného geotechnického průzkumu a z toho vyplývající také elementární chyba projektu, který nevzal v úvahu velkou mocnost stlačujících se vrstev pod tělesem hráze a jejich nepříjemnou propustnost a příliš velký hydraulický gradient vody. V žádném případě však nelze spojovat protržení hráze se středně silným zemětřesením z počátku 20. století, které vzniklo 11 let před začátkem výstavby přehrad.

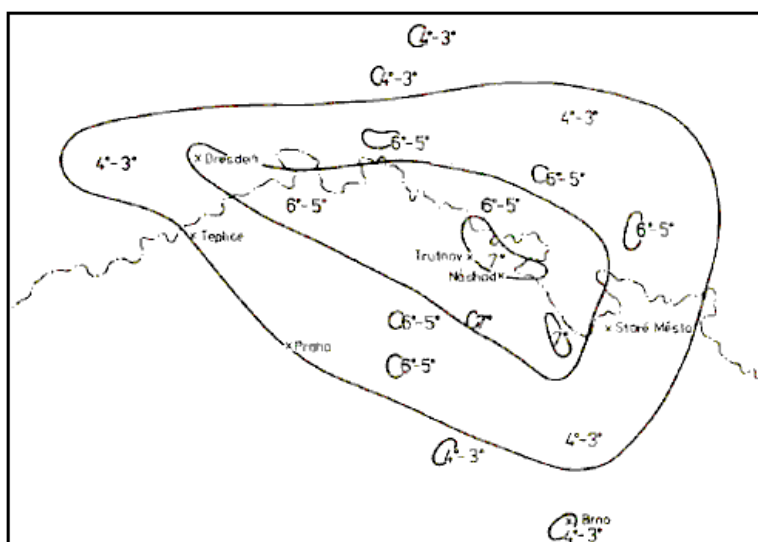
Po konci první světové války došlo kvůli obavám z opakování katastrofy k vypuštění Soušské přehrady, jejíž stavba probíhala stejným způsobem. Zhodnotil se stav vypuštěného vodního díla a prověřovalo se i jeho podloží. Provedla se rekonstrukce přehrady v letech 1924 až 1927, během níž se zvýšila těsnost zemního tělesa i podloží a zvětšil se také objem nádrže pro účinnější zachycování povodní. Nyní má přehrada Souš zemní

sypanou hráz 23 m vysokou, dlouhou v koruně 364 m. Vodní plocha měří 102 ha, maximální hloubka 20,5 m, stálý objem nádrže 5,16 mil. m<sup>3</sup>. Nádrž je využita pro vodárenství, dodávku vody průmyslu a pro ochranu před velkými vodami (Kestřánek *et al.*, 1984).

## Seismicita v okolí Tanvaldu na počátku 20. století

Nejsilnější zemětřesení, které vzniklo na území České republiky ve 20. století, bylo pocíteno i v okolí Tanvaldu. Jedná se o tektonické zemětřesení z 10. ledna 1901, 02:30 GMT, jehož epicentrum leželo na hronovsko-poříčském zlomu v severovýchodních Čechách (50.5°N, 16.1°E) a jehož magnitudo určené z makroseismických pozorování bylo  $M_I=4.7$ . Tento otřes byl pocíten na velkém území Čech (Kárník *et al.*, 1957). Mapa isoseist, tj. území, na kterém byly pocíteny stejné makroseismické účinky zemětřesení, je na Obrázku 1. Nejvyšší intenzita 7° byla pozorována podél řeky Úpy a Metuje (obdobně jako při zemětřesení z 31. ledna 1983) a lokálně při horním toku Orlice. Intenzita 7° je definována následovně: „Většina lidí je vystrašena a vybíhá ven. Nábytek se posouvá. Předměty padají z polic ve velkém množství. Mnohé dobře postavené běžné budovy utrpí střední škody: malé trhliny ve zdech, opadá omítka, padají části komínů; ve stěnách starších budov jsou velké trhliny a příčky jsou zřícené.“

Všechny isoseisty mají podobu úzkých elips ( $r_{NW} = 200$  km,  $r_{NO} = 100$  km), jejichž delší osa leží paralelně se směrem zlomových linií. V některých místech bylo zemětřesení doprovázeno zvukovými efekty. Toto zemětřesení přecházela série 13 předtřesů, počínaje 8. lednem 1901 21:00 až po poslední předtřes krátce po půlnoci 10. ledna 1901.

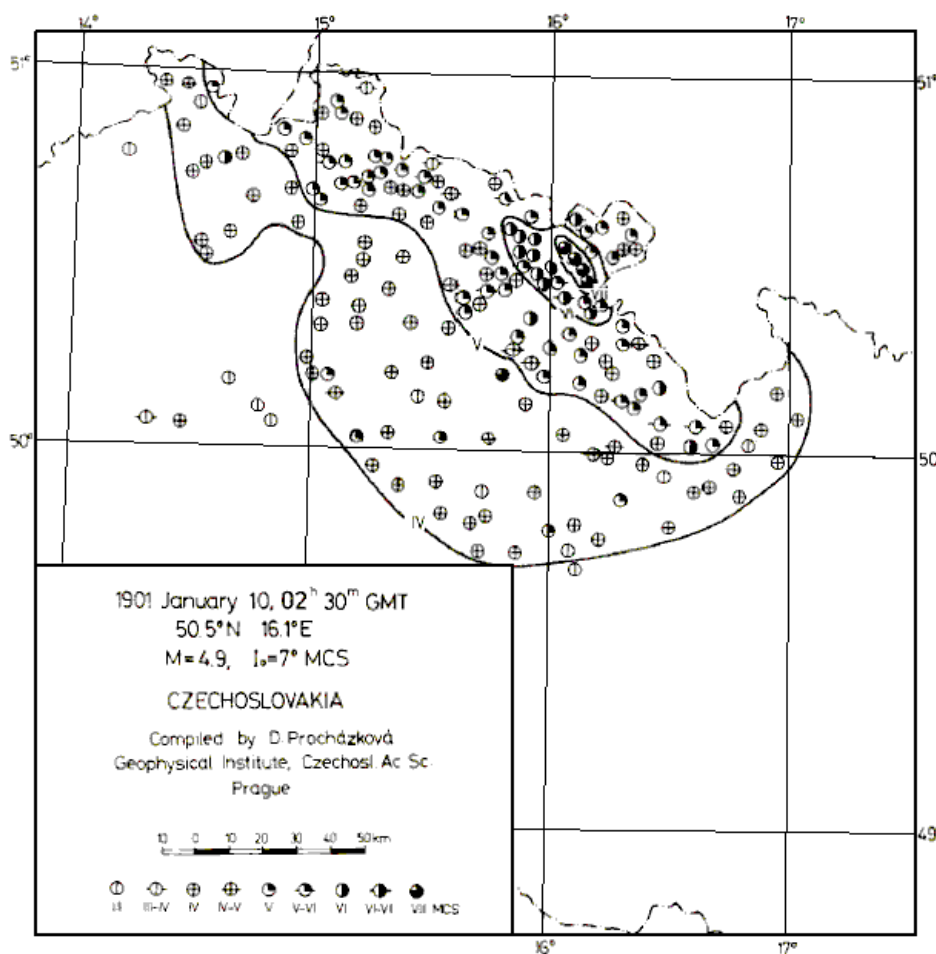


**Obrázek 1.** Mapa isoseist zemětřesení v severovýchodních Čechách ze dne 10. ledna 1901 sestavená J.N. Woldřichem roku 1901 v Praze (Procházková a Kárník, 1978).

Epicentrum tohoto zemětřesení se nacházelo 62 km od Tanvaldu. Existují hlášení makroseismických pozorování z jeho okolí:

- intenzita  $I=5.5^\circ$  v Rokytnici nad Jizerou,
- intenzita  $I=5^\circ$  v obcích Desná, Polubný a Jablonec nad Nisou,
- intenzita  $I=4.5^\circ$  v obcích Šumburk nad Desnou, Bílý Potok a Smržovka.

Definice intenzity  $5^\circ$  zní následovně: „Uvnitř budov cítí otřesy většina lidí, venku někteří. Mnozí spící se probudí. Někteří jsou vystrašení. Budovy vibrují. Visící objekty se značně houpají. Malé předměty se posouvají. Dveře a okna se otvírají a zavírají.“ Mapa isoseist byla v roce 1978 reinterpretována Geofyzikálním ústavem ČSAV a je na Obrázku 2.



**Obrázek 2.** Mapa isoseist zemětřesení v severovýchodních Čechách ze dne 10. ledna 1901 sestavená roku 1978 D. Procházkovou (Procházková a Kárník, 1978).

Jediné zemětřesení, které bylo pocíteno lidmi v období stavby a existence přehrady (1912-1916) na Bílé Desné, bylo 7. března 1915, 01:15 GMT. Mělo epicentrum u Lázní Libverda ( $50.9^\circ\text{N}$ ,  $15.2^\circ\text{E}$ ), tj. přibližně 20 km od Tanvaldu. Existují makroseismická pozorování (Kárník *et al.*, 1957) z obcí Bílý Potok a Hejnice odpovídající intenzitě  $I=3^\circ$ , tj. „Pocíteno uvnitř budov některými osobami. Lidé v klidu pocítují jako houpání nebo lehké chvění.“ Toto zemětřesení nemohlo poškodit hráz, která se tou dobou ještě stavěla a způsobit její protržení o rok a půl později.

## Odhad maximálních účinků jevů vyvolaných provozem geotermální elektrárny Tanvald

Analýza mnoha zemětřesných sekvencí vyvolaných injektážemi kapalin ukazuje, že maximální magnitudo vyvolaných seismických jevů je závislé na celkovém objemu vstříkované kapaliny (Halló *et al.*, 2014; McGarr, 2014). Toto maximální magnitudo může být stanoveno za pomoci Gutenberg-Richterova zákona a odhadu celkového uvolněného seismického momentu, který je úměrný objemu injektované kapaliny. Předložený vztah je platný pouze pro vyvolanou (ne pro spouštěnou) seismicitu, protože celkový seismický moment spouštěné seismicity není vázán na objem injektovaných kapalin. Zde bychom rádi poukázali na rozdíl mezi spouštěným (triggered) a vyvolaným (induced) zemětřesením. První jmenované je lidskou činností pouze spuštěno, nikoli vyvoláno. Vyskytuje se v oblastech se seismicky aktivními zlomy, na nichž dochází ke kumulování energie, která se dříve či později uvolní. Lidská činnost pak může tento proces urychlit a 'spustit' zemětřesení. Nikdo však není sto určit, za jak dlouhý časový úsek by došlo k zemětřesení samovolným uvolněním nashromážděné energie. Na rozdíl od toho je vyvolané zemětřesení přímým důsledkem lidské činnosti. Dostupná pozorování z různých lokalit, kde byly injektáže prováděny, jsou v souladu se vztahy odvozenými ve výše jmenovaných článcích.

Představíme zde metody pro odhad maximální magnituda (Halló *et al.*, 2014; McGarr, 2014) možného vyvolaného zemětřesení na příkladu geotermálního systému v Soultz-sous-Forêts (Alsasko). Jedná se pouze o analogii, protože dosud není k dispozici projekt podzemního výměníku pro GTE Tanvald. Při jeho zpracování doporučujeme vycházet i ze zkušeností v Soultz-sous-Forêts. Toto místo se nachází ve Francii, v nejteplejší geotermální povrchové anomálii prolomu Horního Rýna, asi 5 km od jeho západního okraje. Během posledních 20 let zde je prováděn široký vědecký průzkum, jehož součástí je i spuštění geotermální elektrárny. Vrtly jsou zde zapouzdřeny do hloubky asi 4400 m a otevřeny v hloubce mezi 4400 m a 5000 m. V Tabulce 1 jsou shrnuty údaje ze čtyř injektáž (Dorbath *et al.*, 2009), které zde byly provedeny v letech 2000 až 2005. Zde můžeme porovnat velikost injektovaného objemu s počtem vyvolaných jevů, jejich maximálním magnitudem a odhadem tohoto magnituda pomocí metody publikované Halló *et al.* (2014). Je vidět, že tato metoda poskytuje praxí potvrzený horní odhad maximální magnituda. Druhá metoda, vyvinutá pracovníky US Geological Survey (McGarr, 2014), odhaduje maximální magnitudo vyvolaného seismického jevu během nejsilnější injektáže v Soultz-sous-Forêts v roce 2003 na hodnotu 2.9.

Injektáž	Celkový injektovaný objem (m <sup>3</sup> )	Maximální injektážní tlak (MPa)	Počet lokovaných seismických jevů	Počet jevů s M > 1	Maximální magnitudo	Odhad maximálního magnituda
2000	22680	14.5	7215	718	2.2	2.7-3.2
2003	37300	16	3253	240	2.5	2.6-3.1
2004	9300	17	494	43	2.1	2.6-3.1
2005	12300	14	847	85	2.4	2.6-3.1

**Tabulka 1.** Celkový injektovaný objem, maximální injektážní tlak, počet zaznamenaných seismických jevů, maximální pozorované magnitudo a odhad maximálního magnituda pomocí metody (Halló *et al.*, 2014) pro čtyři různé injektáže v Soultz-sous-Forêts.

Na základě statistických analýz (Schenk a Schenková, 1981) různých vztahů mezi velikostí zemětřesení, hypocentrální vzdáleností a maximálním zrychlením nebo rychlostí částic povrchu půdy jsme použili následující rovnice pro určení hodnot maximálního zrychlení a rychlosti:

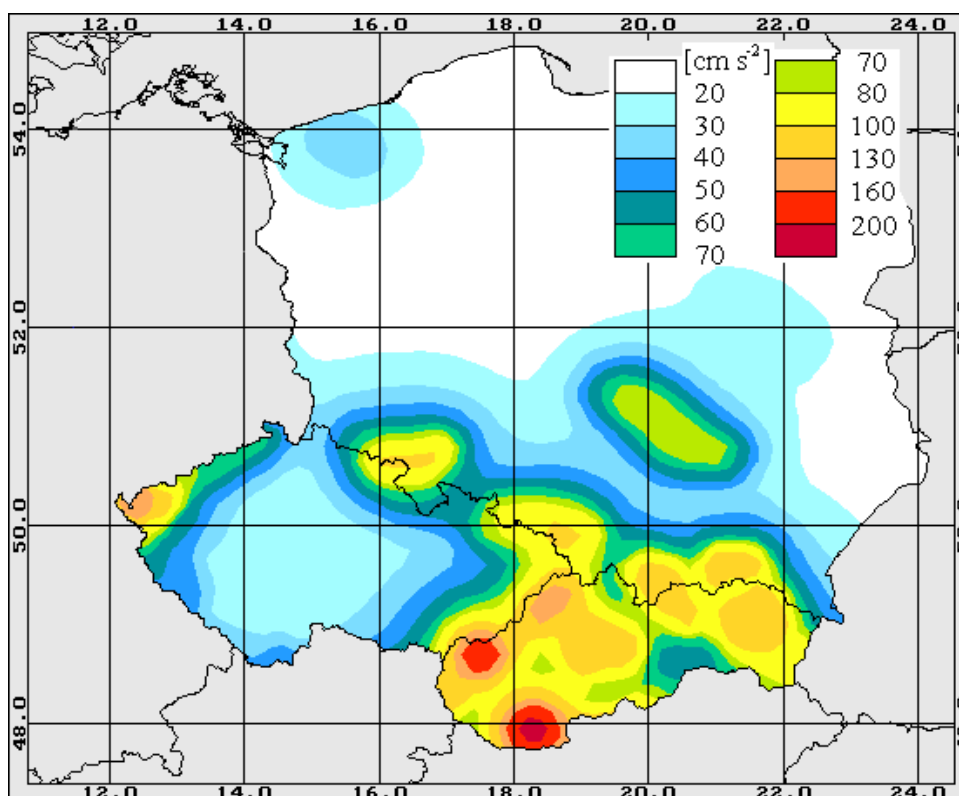
$$\log A = 0.336 M - 0.728 \log R + 0.969$$

a

$$\log V = 0.443 M - 1.510 \log R + 0.455$$

kde  $M$  je magnitudo,  $R$  je hypocentrální vzdálenost (km),  $A$  a  $V$  je maximální zrychlení ( $\text{cm/s}^2$ ) a rychlost ( $\text{cm/s}$ ) částic prostředí ve vzdálenosti  $R$ . Budeme-li předpokládat přibližně stejnou vyvolanou seismicitu, jaká byla v Soutz-sous-Forêts, tak by hodnoty maximálního zrychlení částic prostředí v okolí přehrady Souš dosáhly přibližně  $14.8 \text{ cm/s}^2$  a maximální rychlost hodnoty  $1.7 \text{ cm/s}$ . Tyto hodnoty odpovídají intenzitě zemětřesení  $I = 2^\circ\text{-}3^\circ$  (Schenk a Schenková, 1981). Účinky těchto intenzit člověk prakticky nepocítí.

Město Tanvald leží v oblasti s velmi nízkou seismicitou, u které se nepředpokládá možnost výskytu středního ani většího zemětřesení. Na mapě seismického ohrožení vypracované pro Českou republiku, Slovensko a Polsko (Obrázek 3) je vidět, že v okolí Tanvaldu dosahuje maximální horizontální zrychlení částic horninového prostředí hodnot  $0.3\text{-}0.4 \text{ m/s}^2$ , což je výrazně nižší hodnota, než v okolí ostatních často zmiňovaných míst využívajících geotermální energii k výrobě elektrické energie: Soutz-sous-Forêts ( $0.8 \text{ m/s}^2$ ) a Basel ( $1.4 \text{ m/s}^2$ ).



**Obrázek 3.** Mapa maximálních horizontálních zrychlení částic pro pevná horninová prostředí, která mohou být s 10% pravděpodobností překonána během 50 let (Grünthal et al, 1999; Schenk et al 2000, 2001); hodnoty byly stanoveny pro periodu opakování 475 let.

## Závěr

Na základě poznatků, které jsme zde uvedli, můžeme konstatovat, že protržení přehrady na Bílé Desné 18. září 1916 v žádném případě nebylo způsobené zemětřesením. Budeme-li při provozu geotermální elektrárny v Tanvaldu uvažovat přibližně stejné injektážní objemy jako jsou používány v Soultz-sous-Forêts, pak maximální magnitudo možného vyvolaného zemětřesení nepřesáhne hodnotu 2.9, a to jak na základě naměřených hodnot, tak i hodnot vypočtených. Takovéto možné zemětřesení by se projevilo v okolí přehrady Souš na Černé Desné intenzitou  $I=2^{\circ}$ - $3^{\circ}$ , která nemůže způsobit poškození hráze, jak již bylo ověřeno zemětřesením ze 7. března 1915, které mělo intenzitu  $I=3^{\circ}$ . Je velmi nepravděpodobné, že by provoz GTE v Tanvaldu zapříčinil spouštěné zemětřesení, neboť se nachází v oblasti s nízkou seismickou aktivitou.

## Autorka

Vystudovala obor geofyzika na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy, kde získala akademický titul RNDr. a po obhajobě disertační práce v roce 2001 také vědeckou hodnost Ph.D. Před nástupem do firmy Seismik, s.r.o. pracovala téměř 20 let na Geofyzikálním ústavu AV ČR. Je autorkou či spoluautorkou publikací v mezinárodních odborných recenzovaných časopisech a EU/US patentu.

## Literatura:

- Dorbath L., Cuenot N., Genter A., Frogneux M., 2009. Seismic response of the fractured and faulted granite of Soultz-sous-Forêts (France) to 5 km deep massive water injections. *Geophys. J. Int.*, **177**, 653-675, doi:10.1111/j.1365-246X.2009.04030.x.
- Grünthal G. and GSHAP Region 3 Working Group, 1999. Seismic Hazard Assessment for Central, North and Northwest Europe: GSHAP Region 3, *Annali di Geofisica*, **42**, 999-1011.
- Halló M., Opršal I., Eisner L., Ali M.Y., 2014. Prediction of magnitude of the largest potentially induced seismic event, *J. Seismol.*, doi:10.1007/s10950-014-9417-4.
- Kárník V., Michal E., Molnár A., 1957. Erdbebenkatalog der Tschechoslowakei. *Geofysikální sborník*, **69**, 411-597.
- Kestřánek J., Kříž H., Novotný S., Píše J., Vlček V., 1984. Vodní toky a nádrže, Academia.
- McGarr A., 2014. Maximum magnitude earthquakes induced by fluid injection, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, **119**, doi:10.1002/2013JB010597.

Procházková D., Kárník V. (Editoři), 1978. Atlas of isoseismal maps. Central and Eastern Europe, Geophysical Institute of the Czechoslovak Academy of Sciences, Prague, 270 stran.

Rozsypal A., 2006. Proč se před 90 lety protrhla přehrada na Bílé Desné?, *Časopis Krkonoše - Jizerské hory*, **9**, Správa KRNPu.

Schenk V., Schenková Z., 1981. Relation between intensity and ground motion parameters – review and generalization. *Gerlands Beitr. Geophys.*, **90**, 247-254.

Schenk V., Schenková Z., Kottnauer P., Guterch B., Labák P., 2000, Earthquake Hazard for the Czech Republic, Poland and Slovakia – Contribution to the ILC/IASPEI Global Seismic Hazard Assessment Program. *Natural Hazards*, **21**, Nos. 2-3, 331-345.

Schenk V., Schenková Z., Kottnauer P., Guterch B., Labák P., 2001, Earthquake Hazard for the Czech Republic, Poland and Slovakia. *Acta Geophysica Polonica* **49**, 287-302.