

**Pavel KADLEČÍK¹, Vladimír SCHENK², Urs WEGMÜLLER³,
Zdenka SCHENKOVÁ⁴, Zuzana SEIDLOVÁ⁵**

**VYUŽITÍ RADAROVÉ INTERFEROMETRIE V PODDOLOVANÉM ÚZEMÍ NA
PŘÍKLADU OSTRAVSKA**

**APPLICATION OF INTERFEROMETRY SAR IN THE UNDERMINED
AREA – OSTRAVA REGION**

Abstrakt

Interferometrie SAR je metoda dálkového snímání umožňující studovat deformace povrchu ve velkém rozsah. Výsledky dosažené vna Ostravsku byly získány v rámci projektu GMES/TerraFirma. Minimální vyvolané sedání povrchu s hodnotami několik centimetrů ročně bylo identifikováno technikou PSI, a to především na území Ostravy. Metodou DISAR je možno detekovat pouze vertikální pohyby s velikostí desítek cm za rok, jako bylo ověřeno v oblasti mezi Ostravou a Karvinou.

Abstract

Interferometry SAR (InSAR) is a remote sensing method allowing surface deformation of large area to be investigated. The InSAR results achieved for the Ostrava region were carried out in the GMES/TerraFirma project. The mining induced subsidence was identified by PSI technique up to few centimetres per year, mainly in the Ostrava town. Using DInSAR technique could be even detected the vertical movement in tens of centimetres per year, like it was found in the area between towns of Ostrava and Karviná.

Úvod

Novým způsobem k zjišťování změn zemského povrchu se stává radarová interferometrie. Její rozvoj souvisí s vypuštěním prvních družic s aparaturou Synthetic Aperture Radar (SAR) na začátku 90. let 20. století. Interferometrické zpracování pořízených snímků v různých časových horizontech je hlavním principem radarové

¹ Mgr. Pavel Kadlečík, Ústav struktury a mechaniky hornin AVČR, v.v.i.,
V Holešovičkách 41, 182 09 Praha 8, e-mail: kadlecik@irsm.cas.cz.

² RNDr. Vladimír Schenk, DrSc., Ústav struktury a mechaniky hornin AVČR, v.v.i.,
V Holešovičkách 41, 182 09 Praha 8, e-mail: schenk@irsm.cas.cz.

³ Dr. Urs Wegmüller, GAMMA Remote Sensing Research and Consulting AG,
Worbstrasse 225, CH-3073 Gümlingen, Switzerland, wegmuller@gamma-rs.ch.

⁴ RNDr. Zdenka Schenková, CSc., Ústav struktury a mechaniky hornin AVČR, v.v.i.,
V Holešovičkách 41, 182 09 Praha 8, e-mail: zdschenk@irsm.cas.cz.

⁵ Bc. Zuzana Seidlová, Ústav struktury a mechaniky hornin AVČR, v.v.i.,
V Holešovičkách 41, 182 09 Praha 8.

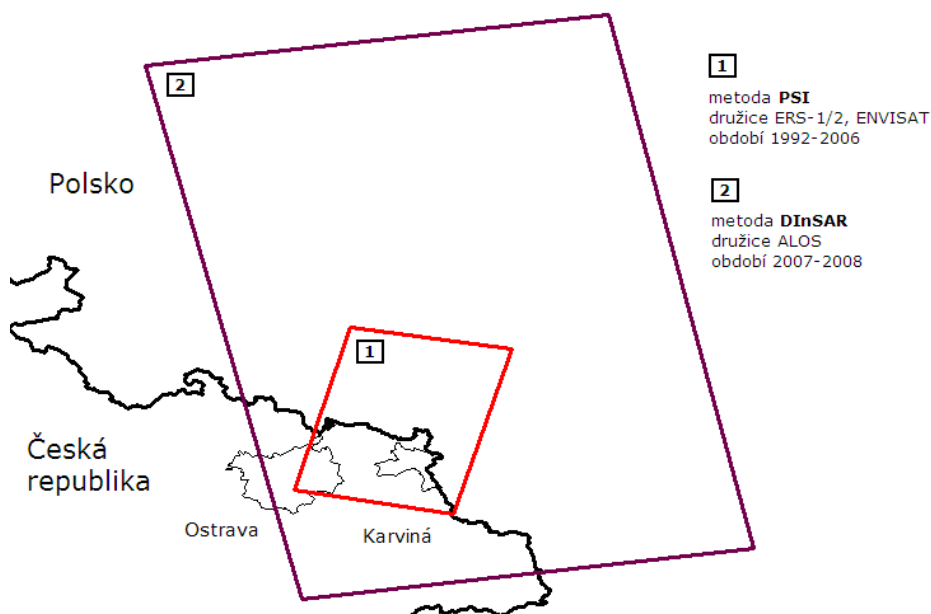
interferometrie (InSAR). Výsledkem jsou informace o deformaci terénu za zvolené časové období.

Klasická diferenciální interferometrie (DInSAR) zjišťuje deformace mezi pořízením dvou konkrétních snímků. Tato doba se pohybuje od několika dnů do několika měsíců, záleží na výběru družice, která se hodí pro zájmové území a studovaný jev. Pro poddolovaná území v různých místech světa (např. [1], [2], [3]) byly zpracovávány snímky převážně z družic ERS-1 a JERS-1, které jsou k dispozici již od roku 1991, respektive 1992. Později se přidaly další družice (ERS-2, ENVISAT). Krátká vlnová délka vysílaného záření byla a je hlavní překážkou ve zjišťování úhrné míry deformace v centimetrech až decimetrech, které se na poddolovaném území vyskytují. Na začátku roku 2006 byla vypuštěna japonská družice ALOS s aparaturou PALSAR, která díky delší vlnové délce a době opakování 46 dní nabízí řešení pro poddolovaná území [4].

Menší míru pohybu, ale zato se značnou přesností (méně než milimetr) lze dosáhnout pomocí metody interferometrie „permanentních odražečů“ (Persistent Scatterer Interferometry - PSI). Využívá se při ní odražečů na zemském povrchu, které v delším časovém období nemění vlastnosti vůči přijímanému záření. Vyskytují se zejména v městských oblastech, v přírodě je představují např. skalní výchozy. Udává se, že ke zpracování je potřeba alespoň 10-15 snímků, pomocí kterých je zjišťována průměrná míra deformace za určité období, nejčastěji za rok. Předností metody PSI oproti metodě DInSAR je odstranění vlivu atmosféry při interferometrickém zpracování. Zjištěné vertikální pohyby se však vztahují pouze pro bodové odražeče, nikoli na celé zpracované území.

ÚSMH AV ČR, v.v.i., je od roku 2006 jedním z řešitelských pracovišť projektu ESA Terrafirma (www.terrafirma.eu.com), jehož cílem je zjišťování změn zemského povrchu pomocí družicových dat. Hlavním nástrojem aplikovaným v projektu je zmiňovaná metoda PSI. V projektu Terrafirma byl formulován česko-polský přeshraniční projekt na interferometrické zpracování území části hornoslezské pánve (obr. 1). Polským partnerem je Państwowy Instytut Geologiczny ve Varšavě. Zpracovatelem dat byla švýcarská firma GAMMA Remote Sensing.

V první fázi přeshraničního projektu byla zpracována oblast Rybník-Ostrava o celkové rozloze zhruba 1200 km². Na české straně zaujímá studované území východní polovinu města Ostravy, město Karviná a prostor mezi těmito dvěma městy, tzn. velkou část ostravsko-karvinského revíru. Metodou PSI bylo zpracováno období 1995-2000, později doplněné o další analýzy z období mezi roky 1992 a 2006. Výsledkem zpracování je průměrný roční vertikální pohyb pro jednotlivé bodové odražeče, kterých se na české straně nachází přibližně 36 tisíc. Při zpracování bylo využito radarových snímků z družic ESA (ERS-1/2, ENVISAT). Maximální rozsah zjistitelných vertikálních pohybů je několik centimetrů za rok, a proto z dat PSI nelze zachytit všechny změny reliéfu v poddolovaných oblastech. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto rozšířit stávající data o výsledky diferenciální radarové interferometrie (DInSAR). Byly zpracovány mapy vertikálních deformací pro rok 2007 a část roku 2008 ze snímků japonské družice ALOS. Vlnová délka její radarové aparatury je 4x delší než u satelitů ESA, což umožňuje zjistit vertikální pohyby až desítky centimetrů za rok. Zvolené území zabírá celkovou plochu zhruba 11 000 km², z čehož jedna osmina se nachází na české straně (obr. 1).



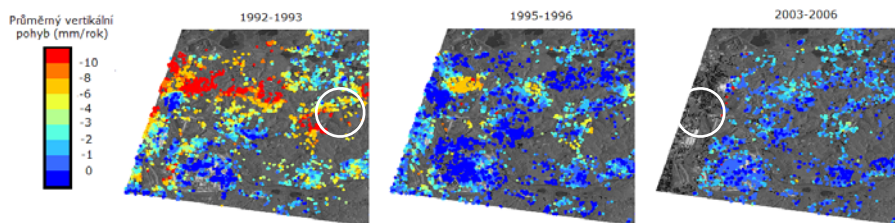
Obr. 1. Studovaná území

Celé sledované území na české straně bylo pro interpretaci výsledků radarové interferometrie rozděleno na 3 části: město Ostrava, město Karviná a území mezi Ostravou a Karvinou, kde v současné době stále probíhá těžba.

Na území města Ostravy se těžilo uhlí ještě počátkem 90. let 20. století. Vládou vyhlášeným útlumem těžby se postupně začaly doly zavírat. Výsledky PSI analýzy jasně ukazují na doznívání poklesů povrchu v poddolovaných lokalitách ve městě Ostravě, i když ta je zachycena na použitých radarových snímcích pouze na východ od řeky Ostravice. U některých dolů (např. důl Heřmanice, důl Ludvík v Radvanicích, obr. 3) nelze z analýzy PSI přesně určit rozsah poklesů pro nedostatek bodových odražečů nalézajících se na povrchu poddolovaného území.

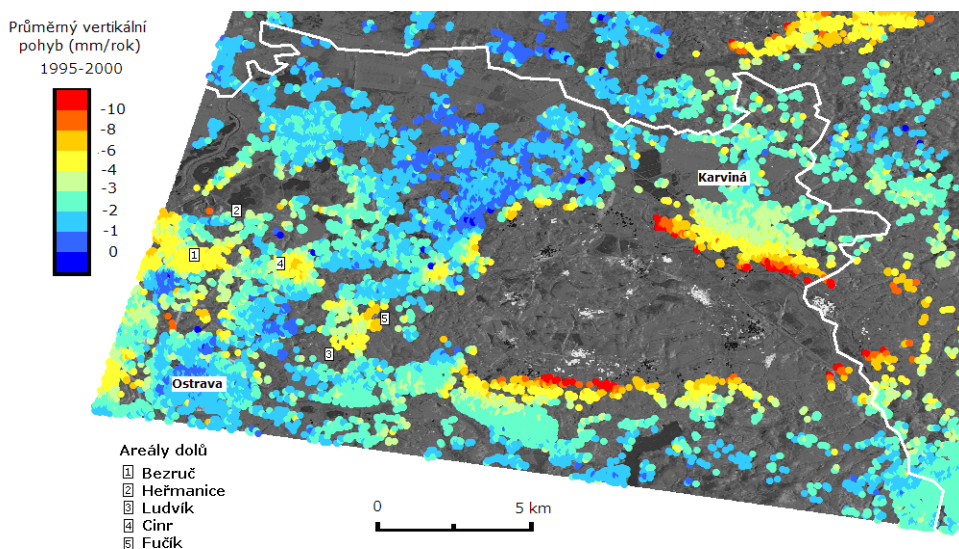
Dvouroční analýza PSI 1992-1993 z období, kdy některé doly stále těžily, zachytila maximální roční vertikální pokles 3,8 cm/rok. U některých dolů (např. důl Cingr, obr. 2) výsledky detekují, že střed poklesové kotliny klesal ještě mnohem rychleji. Pokles přes 3 cm/rok je patrný i u dolu Bezruč a dolu Fučík v Petřvaldě.

Analýza 1995-2000 (obr. 3) a dvouroční analýzy v tomto období dokreslují postupné snižování intenzity poklesů v poddolovaných lokalitách. Poklesy zjištěné při analýze 2003-2006 (obr. 2, vpravo) dosahují maximálních hodnot několika milimetrů za rok a nelze u nich již jednoznačně určit, zda jsou způsobené poddolováním.



Obr. 2. Průměrné vertikální pohyby v Ostravě z období let 1992-2006
(kruhem vyznačen areál dolu Cingr)

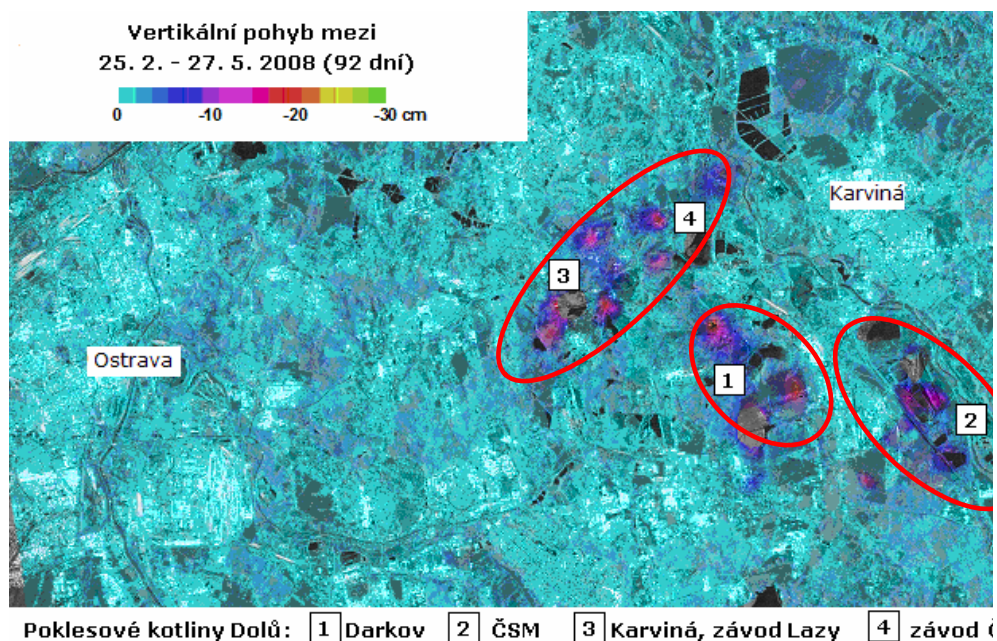
Účinky poddolování se projevují i na zastavěných částech města Karviná. Podle analýzy PSI (1995-2000; obr. 3) se poklesy zvyšují směrem k jihozápadnímu okraji města k maximálním hodnotám 1,5 cm/rok. Z analýzy též plyne, že se zde nalézají objekty s průměrným vertikálním pohybem ještě vyšším (několik centimetrů za rok). V pozdějším období 2003-2006 se zde maximální hodnoty poklesu snížily na úroveň kolem 0,5 cm/rok.



Obr. 3. PSI deformační analýza 1995-2000 (v mapě naznačeny areály dolů v Ostravě zmíněné v textu)

Území s největšími poklesy terénu se rozkládá mezi městy Ostrava a Karviná. Je to oblast těžby černého uhlí po celé sledované období až do současnosti. Několik desítek let poddolování mělo velký vliv na strukturu krajiny i její celkový ráz. V důsledku odlivu obyvatelstva a tudíž úbytku obytných domů je zde výrazně omezeno použití metody PSI pouze na objekty těžbařských společností a objekty na okraji celé oblasti či osamocené usedlosti.

DInSAR deformační mapy zpracované ze satelitu ALOS pro českou část území udávají celkový vertikální pohyb za 46, 92 a 138 dní v období let 2007 a 2008 (obr. 4). Všechny zjištěné deformace se nacházejí právě v oblasti mezi Ostravou a Karvinou. Na mapách lze rozeznat zhruba 18-21 poklesových kotlin vzniklých těžbou v areálech Dolů Karviná, Darkov a ČSM (obr. 4). Celkový úhrn vertikálních poklesů v poklesových kotlinách se pohybuje mezi centimetry až desítkami centimetrů za rok.



Obr. 4. Příklad DInSAR deformační mapy pro území mezi Karvinou a Ostravou
(elipsami vyznačena místa největších poklesů)

Závěrem lze říci, že metoda „permanentních“ odražečů (PSI) dokumentuje doznívání poklesů zemského povrchu způsobených těžbou černého uhlí ve městě Ostravě. Maximální měřitelný pokles metodou PSI při analýze dat z let 1995-2000 byl 1,5 cm/rok, na víceletých analýzách z let 1992-2006 3,8 cm/rok. Na místech některých dolů je patrné, že celkový vertikální pokles byl ještě větší. Město Karviná se nachází v blízkosti nedávné těžby, pokles území se pravidelně zvyšoval směrem k JZ, tj. k místům těžby. Metoda PSI je použitelná na Ostravsku v obydlených oblastech, kde je dostatek bodových odražečů a kde nepřesahuje roční vertikální pokles několik centimetrů za rok. Na území mezi Ostravou a Karvinou se naopak uplatnila metoda diferenciální interferometrie (DInSAR), kterou lze detekovat pokles až několika desítek centimetrů za rok na celé ploše sledovaného území.

Dosažené výsledky bude nutno dále porovnat s dalšími typy měření (GPS, nivelace), aby bylo možné lépe určit využitelnost radarové interferometrie pro detekci

změn zemského povrchu. Její přesnost a relativně nízké finanční náklady na zpracování i rozsáhlejších území za několik let jsou velkým příslibem do budoucna.

Toto sdělení je v souladu s výzkumným plánem ÚSMH AV ČR, v.v.i., a VOZ 30460519. Jeho realizace byla podpořena projektem MŠMT č. LN 506, projektem Evropské kosmické agentury GMES/TerraFirma kontrakt č. 19366/05/I-EC a projektem programu cíleného výzkumu AV ČR Č. 1QS300460551.

Literatura

- [1] PERSKI, Z. & JURA, D. ERS SAR Interferometry for the Land Subsidence Detection in Coal Mining Areas. *Earth Observation Quarterly* 63, 1999, pp. 25-29.
- [2] DONG, Y., GE, L. & CHANG, H.C. Mine Subsidence Monitoring by JERS-1 SAR Interferometry. In *The International Symposium on Future Intelligent Earth Observing Satellites*, Beijing, China: 24-26 May 2006.
- [3] LI, C., YUEHUA, Z., JIANGUO, H., GUANG, L., HUANYIN, Y., RUNFENG, W. & LINLIN, G. Coal Mine Land Subsidence Monitoring by Using Spaceborne InSAR Data – A Case Study in Fengfeng, Hebei Province, China. In *Proceedings of ISPRS Congress*. Beijing, China: 3-11 July 2008.
- [4] WEGMÜLLER, U., STROZZI, T., WERNER, C., WIESMANN, A., SPRECKELS, V., BENECKE, N. & WALTER, D. Monitoring of mining induced surface deformation. In *Proceedings of the First Joint PI Symposium of ALOS Data Nodes for ALOS Science Program in Kyoto*. Japan: 19-23 November 2005.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Václav Mikulenka, Ph.D., VŠB – Technická univerzita Ostrava, HGF