

ČASOPIS
STUDIA OECOLOGICA
Ročník VI
Číslo 2/2012

Redakční rada:

doc. Ing. Pavel Janoš, CSc. – šéfredaktor
doc. Ing. Miroslav Farský, CSc. – výkonný redaktor
prof. RNDr. Olga Kontrišová, CSc.
doc. RNDr. Juraj Lesný, Ph.D.
Ing. Martin Neruda, Ph.D.
doc. MVDr. Pavel Novák, CSc.
prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc.

Technický redaktor:

Mgr. Ing. Petr Novák

Recenzenti:

Ing. Zuzana Balounová, Ph.D., ZF Jihočeské univerzity, České Budějovice
Bc. Jaroslav Bažant, Oblastní muzeum, Most
Ing. Zdeněk Bažant, ŽPSV a.s., Litice nad Orlicí
Mgr. Jiří Bělohoubek, AOPK ČR, Ústí nad Labem
doc. RNDr. Miroslava Blažková, Ph.D., FŽP Univerzity J. E. Purkyně, Ústí nad Labem
RNDr. Ivan Farský, CSc., PřF Univerzity J. E. Purkyně, Ústí nad Labem
doc. RNDr. Jaromír Hajer, CSc., PřF Univerzity J. E. Purkyně, Ústí nad Labem
Ing. Marcela Holečková, CSc., FSE Univerzity J. E. Purkyně, Ústí nad Labem
doc. PhDr. Václav Houžvička, Ph.D., FSE Univerzity J. E. Purkyně, Ústí nad Labem
RNDr. Petr Chvátal, AOPK ČR, Ústí nad Labem
doc. RNDr. Jiří Ježek, Ph.D., FEK Západočeské univerzity, Plzeň
RNDr. Jan Klimeš, Ph.D., Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, Praha
RNDr. Iva Machová, Ph.D., FŽP Univerzity J. E. Purkyně, Ústí nad Labem
Pavel Moravec, Správa CHKO České středohoří, Litoměřice
Ing. Čestmír Ondráček, Oblastní muzeum, Chomutov
doc. Ing. Josef Rajchard, Ph.D., ZF Jihočeské univerzity, České Budějovice
Mgr. Pavel Raška, Ph.D., PřF Univerzity J. E. Purkyně, Ústí nad Labem
Ing. Jaroslava Šamsová, Ústí nad Labem
Fraňo Travěnek, Česká speleologická společnost, Olomouc
Ing. Vladimír Vopat, Povodí Ohře, státní podnik, Chomutov

Foto obálky:

Mgr. Jiří Riezner, Ph.D.

Vydává: FŽP UJEP v Ústí nad Labem

Tisk: Tiskárna L.V. Printt

Toto číslo bylo dáno do tisku v prosinci 2012

ISSN 1802-212X

MK ČR E 17061



Obr. 3 Průchodní jeskyně



Obr. 4 Jeskyně V rokli

SESUV V KAOLINOVÉM LOMU NEPOMYŠL (2003–2004): KINEMATIKA POVRCHU A DISKUSE PŘÍČINNÝCH FAKTORŮ

LANDSLIDE IN THE KAOLINE QUARRY NEPOMYŠL (2003– 2004): SURFACE KINEMATICS AND DISCUSSION OF INDUCING FACTORS

Martin RAŠKA¹, Pavel RAŠKA²

¹ Ing. Karel Turčín - Geodetická a důlněměřická kancelář, Na Kopečku 3, 360 05 Karlovy Vary; Katedra speciální geodézie, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Thákurova 7, 166 29 Praha 6; raska.m@seznam.cz

² Katedra geografie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, České mládeže 8, 400 96 Ústí nad Labem, pavel.raska@ujep.cz

Abstrakt

Předložená studie představuje příspěvek k výzkumu vlivu těžby nerostných surovin na stabilitu svahů. V textu je charakterizován sesuv na jz. svahu kaolinového lomu poblíž města Nepomyšl (Z Čechy), který byl aktivní v letech 2003–2004. Studie je založena na přesných geodetických měřeních, ukazujících změny v pozici 23 kontrolních bodů. Tato data byla analyzována pomocí spline interpolace za účelem získání kinematických parametrů povrchu sesuvu. Analýza příčinných faktorů vzniku sesuvu naznačila nízkou korelaci mezi aktivitou sesuvu a kumulovanými předchozími srážkovými úhrny, které byly významným přímým spouštěcím faktorem pouze při první akceleraci vývoje sesuvu. Podmínky dlouhodobé aktivity sesuvu byly dány dominantně antropogenními zásahy na patě svahu vlivem těžby a vyústily ve změnu morfometrických a stabilitních parametrů.

Abstract

The present paper represents a contribution to studies focused on effects of extraction of raw materials on stability of slopes. We characterize the landslide that affected southwestern slope of kaoline quarry near the town of Nepomyšl (W Czechia), which was active in 2003–2004. The study is based on precise data of geodetic monitoring, showing the changes in position of 23 checkpoints. The dataset was analysed using spline interpolation in order to obtain kinematic parameters of the landslide. The analyses of landslide-inducing factors showed low correlation between landslide activity and cumulative preceding rainfall, which was significant inducing factor only during the first acceleration of landslide activity, while the preconditions and long-term activity of the landslide was influenced dominantly by anthropogenic impacts at the footslope due to mining and has caused modification of morphometric and stability parameters.

Klíčová slova: sesuv, lom, geodetický monitoring, srážky

Key words: landslide, quarry, geodetic monitoring, rainfall

Úvod

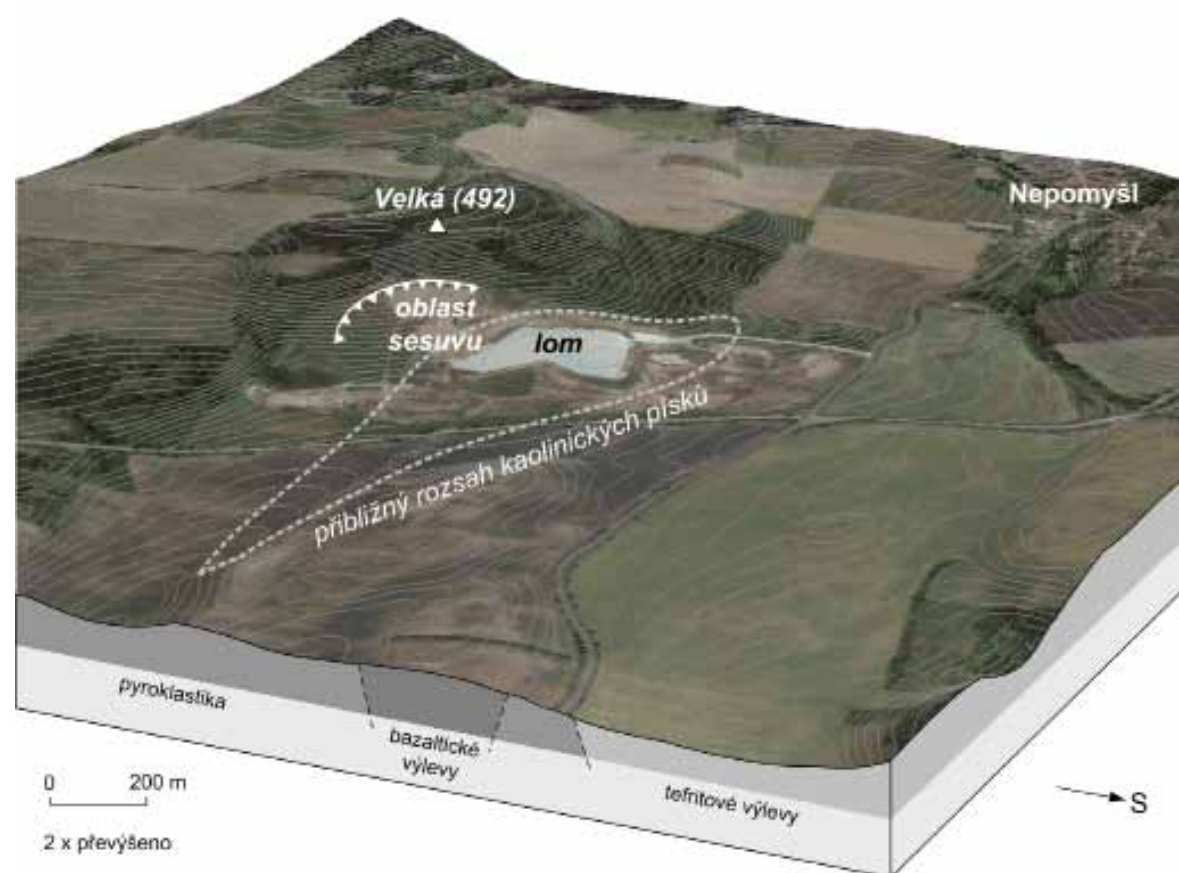
Svahové pohyby patří k významným efektům povrchové těžby nerostných surovin v reliéfu, přičemž mohou vznikat přímým vlivem těžby nebo nepřímým, tj. ovlivněním původních geomorfologických procesů v těženém území a jeho okolí. Přes výše uvedené vychází velká část poznatků, zabývajících se spouštěcími faktory, kinematikou a chronologií svahových pohybů, z výzkumů v antropogenně méně ovlivněném prostředí (Záruba, Mencl 1987; Cruden, Varnes 1996). V Česku bylo v posledních letech publikováno nepříliš prací k tomuto tématu (např. Rybář 1997; Hánek et al. 2005; Košťák et al. 2006; Burda 2011), což do jisté míry vychází z limitovaného přístupu do dobývacích prostor. Stu-

dium svahových pohybů v těžbou ovlivněných lokalitách přitom již z podstaty lokace nabízí možnost využití detailních dat průběžného monitoringu, která pro jiné lokality mnohdy dostupná nejsou.

V tomto příspěvku prezentujeme nové výsledky modelování kinematiky povrchu a diskuse vybraných spouštěcích faktorů sesuvu v kaolinovém lomu Nepomyšl, k němuž došlo v průběhu let 2003 až 2004. První výsledky geodetického monitoringu sesuvu byly uvedeny v práci Pospíšila a Rašky (2006). Tato vstupní data byla nově využita pro matematické modelování kinematiky povrchu sesuvu (rychlost, parametry trajektorie monitorovacích bodů). Na datovém souboru byl dále analyzován vztah k možným spouštěcím faktorům, z nichž byly jako relevantní uvažovány antropogenní činnost v lomu a srážkové úhrny, přičemž otázkou byla zejména kauzalita srážkových úhrnů pro aktivaci a následnou aktivitu v těžbou ovlivněném území.

Studované území a metody

Studovaná lokalita kaolinového lomu se nachází přibližně jeden kilometr východně od centra obce Nepomyšl na Podbořansku, v mírně zvlněném terénu východního předpolí Doupovských hor (Obr. 1). Pozice území v blízkosti vulkanického komplexu Doupovských hor se projevuje v jeho geologické stavbě, na níž se podílejí starší pyroklastika a relativně mladší bazaltové a tefritové lávové výlevy. Z podloží těchto hornin díky intenzivní postvulkanické denudaci vystupují na povrch kaolinické písky (Cajz et al. 2005), které jsou předmětem těžby. Samotný lom je situován pod vrcholem Velká (492 m), na jehož sv. svahu, který má směrem k dobývacímu prostoru prudší spád, došlo na jaře roku 2003 k aktivaci studovaného sesuvu.



Obr. 1 Situační model studované lokality kaolinového lomu Nepomyšl

Vzhledem ke skutečnosti, že se sesuvná plocha nachází v těsné blízkosti dobývacího prostoru, byl v rámci zajištění důlněměřických prací hned v době aktivace sesuvu zahájen geodetický monitoring zasaženého svahu, a to až do úplného zničení monitorovacích bodů během odlehčování svahu na

počátku června 2004 (Turčín 2003–2004). Celkem bylo stabilizováno 22 monitorovacích bodů v zasaženém území i v jeho blízkém okolí a dále jeden bod důlního bodového pole. Monitoring byl prováděn ve 13 etapách (včetně nulté vstupní etapy, tj. 1+12) s periodou cca dvou týdnů (24. 3.–27. 10.), po nichž následovaly dvě kontrolní etapy (13. 2. a 2. 6. 2004). Finální souřadnice monitorovacích bodů byly výsledkem výpočtu prostorové geodetické sítě (vyrovnáním metodou nejmenších čtverců jako tzv. vázaná síť). Údaje o změnách polohy monitorovacích bodů byly následně interpolovány pomocí spline funkcí za účelem zjištění kinematiky povrchu sesuvu (sumy posunů, okamžité rychlosti, zakřivení trajektorie bodu; srv. např. Pytharouli et al. 2007). Matematický model je podrobněji popsán v práci (Raška, Pospíšil 2011). Nejpodstatnější charakteristiku kinematiky povrchu sesuvu, tj. délku trajektorie bodu l v libovolném časovém intervalu t_A a t_B , lze vyjádřit jako:

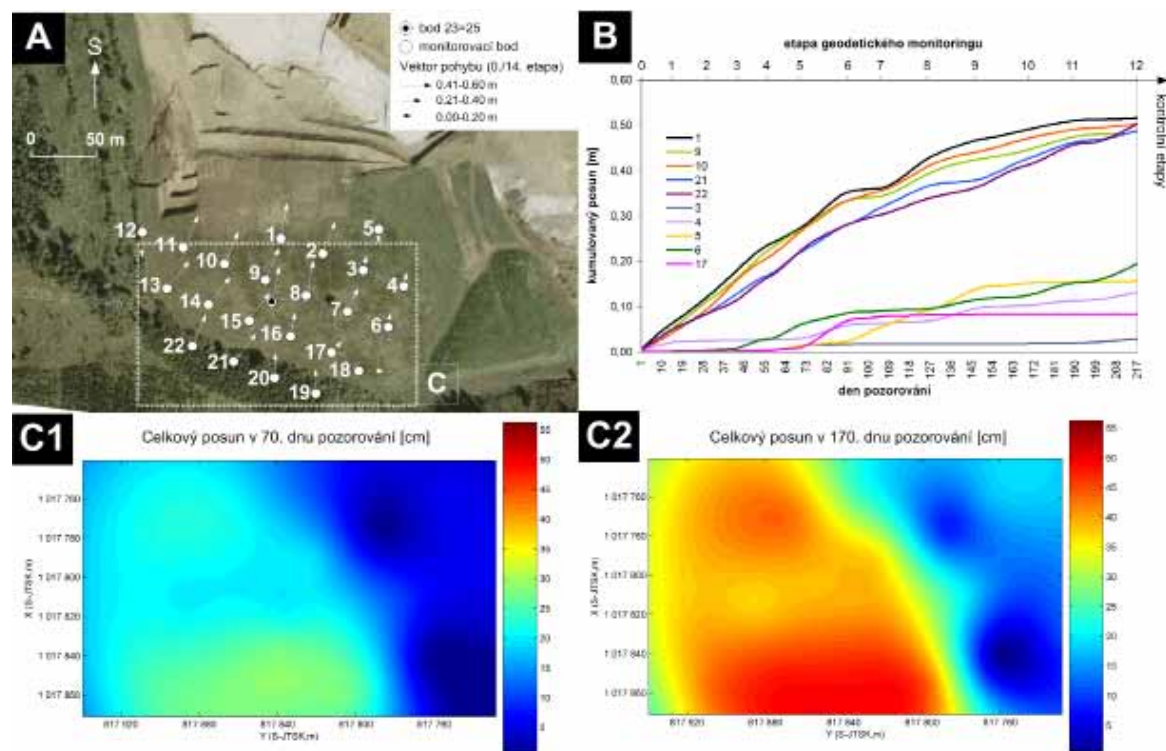
$$l(t) = \int_{t_A}^{t_B} \sqrt{\left(\frac{dS_x(t)}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dS_y(t)}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dS_z(t)}{dt}\right)^2} dt \quad (1)$$

Jako hlavní příčinné faktory sesuvu ve studované lokalitě přicházely v úvahu antropogenní zásahy způsobené těžbou, atmosférické srážky a kolísání hladiny podpovrchových vod. Aby bylo možné význam těchto faktorů rozklíčovat, bylo využito důlněměřické dokumentace a dále dat ČHMÚ (Český hydrometeorologický úřad) k denním srážkovým úhrnům ve stanici Mašťov, která je vzdálena cca 5,5 km ssz. od lokality lomu. Západo-východní srážkový gradient na východním předpolí Doupovských hor, jehož výsledkem je zhruba severo-jihní průběh izohyet, dovoluje využít datovou řadu ze stanice Mašťov bez nutnosti dalších korekcí. Datová řada denních srážkových úhrnů byla dále statisticky zpracovávána ve vztahu k naměřeným a interpolovaným posunům monitorovacích bodů sesuvu. Vzhledem k omezeným možnostem monitoringu v dobývacím prostoru nebylo možné provádět sledování kolísání hladiny podpovrchové vody, v diskusi je tento faktor uvažován alespoň nepřímo ve vztahu k srážkovým úhrnům.

Výsledky a diskuse

Výsledky geodetického monitoringu ukazují průměrný posun sledovaných bodů mezi 0. a 12. etapou (tedy před kontrolními etapami) zhruba o 0,34 m, přičemž v kontrolních fázích měření byly zjištěny posuny již jen v rozpětí 0,01 až 0,05 m. Do 12. etapy měření byl maximální posun s hodnotou 0,52 m změřen na monitorovacím bodě č. 1 v nejnižším segmentu sesuvné plochy (viz Obr. 2A), minimální posun s hodnotou 0,03 m byl identifikován na bodě č. 3 ve východním okrajovém segmentu sesuvné plochy. Kumulativní křivky pro pět bodů s maximálním horizontálním a pět bodů s minimálním horizontálním posunem jsou znázorněny na obrázku 2B. Z hlediska vektoru posunu byl u většiny bodů zaznamenán posun směrem dolů po svahu s celkovým poklesem v řádech jednotek cm, pouze v případě okrajových bodů č. 12 a 5 došlo deformací povrchu k pohybu proti svahu. Hodnoty naměřené v rámci geodetického monitoringu umožňují zařadit sesuvnou událost k plošným sesuvům pomalého až velmi pomalého typu (*sensu* Cruden – Varnes 1996).

Jak již bylo naznačeno výše, byly identifikovány významné rozdíly v pohybu bodů na jednotlivých částech sesuvné plochy a tato variabilita se kromě prostorové úrovně projevila také v časovém měřítku. Díky matematickému modelování bylo možné vytvořit sérii interpolovaných prostorových modelů, znázorňující kumulativní horizontální posun sesuvné plochy pro celé období monitoringu. Na obrázku 2C1 a 2C2 jsou zobrazeny dva modely pro 70. a 170. den pozorování. Tyto modely zachycují pohyb na svahu zhruba v první třetině monitorovacího období, kdy došlo k výrazné akceleraci sesuvu a v posledním zaznamenaném období akcelerace sesuvu zhruba na počátku poslední třetiny monitorovacího období. Modely ukazují, že k nejvýraznějším posunům při obdobích akcelerace došlo v horním (tj. jižním) segmentu sesuvné plochy. Dále je patrné, že k nejvýznamnějším posunům došlo ve středním a západním segmentu svahu, zatímco východní segment byl relativně více stabilní a také vektory posunu ukazují částečně na laterální rozvolnění sesuvné plochy (viz též topografii území na obr. 1).



Obr. 2 A – původní poloha a vektory posunu monitorovacích bodů do 12. etapy monitoringu (ortofotosnímek z roku 2003, Geodis a.s.). B – trajektorie posunu monitorovacích bodů v čase pro 5 bodů s maximálním a 5 bodů s minimálním celkovým posunem. C – interpolovaný model kinematiky povrchu sesuvu v 70. a 170. dni pozorování (vlastní měření a výpočty).

Pro vznik a aktivitu sesuvů jsou jako jeden z podstatných spouštěcích faktorů zpravidla uvažovány srážkové úhrny, které ovlivňují kolísání hladiny podzemní vody, a jejich analýza ve vztahu k aktivitě sesuvů je zpravidla založena na analýze časových řad (např. Burda 2011) nebo též na sledování prostorových zákonitostí koincidence sesuvů a abnormálních srážek (např. Pánek et al. 2011). Doposud nepanuje shoda ohledně prahových hodnot srážkových úhrnů, které iniciují sesuvy v různém horninovém prostředí. Je ovšem zřejmé, že význam mají kumulované srážkové úhrny za předchozí období (např. Caine 1980).

Uvažujeme-li o iniciaci sesuvu, je z hlediska topografie povrchu zřejmé, že těžbou došlo k významnému odlehčení paty severovýchodního svahu vrchu Velká. Průběh hlavní smykové plochy nelze přesně rekonstruovat, avšak je jej možné klást na, resp. mírně pod rozhraní polopropustných až silně propustných vrstev kvartérních hlinito-kamenitých sutí a méně propustných terciérních zjilovatělých tufů. Při zvažování výrazného erozního narušení paleopovrchu terciérních hornin a jejich vnitřní litologické proměnlivosti lze hloubku smykové plochy stanovit jen velmi přibližně v rozpětí 5–15 m (Hujsl 2012).

Vliv srážek jsme analyzovali na kumulovaných úhrnech za 1 až 15 dnů a srovnávacím intervalu 25 dnů, neboť – jak bylo uvedeno výše – v území nebyl vzhledem k jeho charakteru prováděn detailní monitoring kolísání hladiny podzemní vody a lze jen předpokládat, že tento parametr je ovlivněn lokálními srážkovými úhrny předchozích dnů. Interval 1 až 15 dnů tedy byly zvoleny proto, že lze v jejich rozpětí předpokládat efekt srážek na kolísání podpovrchové vody v daném litologickém prostředí a geomorfologické situaci (přítomnost těžební fronty na čele sesuvu). Na obr. 3A je kumulativní posun bodů znázorněn spolu s klouzavými 15denními úhrny za období předcházející aktuálnímu pohybu bodů. Samotné iniciaci sesuvu nepředcházely významnější srážky, ty dosáhly jen zhruba 5 mm. Teprve první akcelerace pohybu sesuvu koinciduje s nadnormálními kumulovanými srážkovými úhrny zhruba v období 20. 4.–30. 4. 2003. Další průběh aktivity sesuvu již dle statistických analýz s kumulovanými srážkovými úhrny významněji nekoreluje (Obr. 3C), a to ani pro jeden z analyzovaných parametrů srážkových úhrnů (tj. 1–15denní úhrny). Přesto lze mezi posunem monitorovacích

bodů a srážkovými úhrny jisté vztahy vysledovat (Obr. 3A). Při druhém období s nadnormálními 15denními úhrny za předcházející období (18. 5.–5. 6. 2003) došlo k akceleraci pohybu sesuvu, která je zachycena i na posunu monitorovacích bodů (obr. 2C1). Podobný efekt, byť s jistým zpožděním, je patrný v období srážkových úhrnů 2. 7.–12. 7. 2003, po němž následovala mírná akcelerace pohybu kontrolních bodů. Oproti tomu nadnormální srážkové úhrny v období 25. 7.–5. 8. 2003 a 9. 10.–19. 10. 2003 se v rychlosti pohybu monitorovacích bodů významněji neprojevily, patrná je pouze akcelerace pohybu bodů nejvýše na svahu (bod. č. 22; viz obr. 2B). Kontrolní srovnání pohybu kontrolních bodů s kumulovanými 25denními srážkovými úhrny (Obr. B) zvýraznilo již výše identifikovaná období akcelerace pohybu bodů ve třetí dekádě dubna 2003 a na přelomu května a června 2003. Akcelerace pohybu kontrolních bodů v období 2. 7.–12. 7. 2003 se při srovnání výsledků modelování pro 15denní a 25denní úhrny jeví být ovlivněna dvěma po sobě jdoucími obdobími zvýšených kumulovaných srážkových úhrnů 2. 7.–12. 7. 2003 a 15. 7.–25. 7. 2003 a dále), mezi nimiž kumulované srážky nepoklesly pod průměrnou hodnotu za monitorovací období. Po prvním z těchto období byl svah nasycen vodou, takže již v průběhu druhého z těchto období došlo k akceleraci pohybu kontrolních bodů. Již před koncem celého monitorovacího období a před kontrolními etapami je patrná postupná stabilizace sesuvu vlivem geotechnických úprav, zvláště postupným odtěžováním materiálu na povrchu sesuvu a tím nepřímo odlehčováním při patě svahu, a zřejmě i díky dlouhodobě nízkým srážkovým úhrnům. Výsledně má tedy celý průběh aktivity sesuvu charakter, odpovídající hypotetickému kinematickému modelu aktivity sesuvů (např. Pytharouli et al. 2007).

Závěr

Provedený výzkum umožnil za pomoci geodetických metod a matematického modelování přesně analyzovat kinematiku povrchu sesuvu v území ovlivněném těžbou za přibližně půlroční období. Celkový průběh sesuvu s průměrným posunem monitorovacích bodů cca 0,34 m svědčí o prvotním antropogenním podmínění přítomnosti sesuvu kvůli odlehčení paty svahu, což je dokladováno i z většiny dalších těžebních lokalit. Z hlediska dlouhodobého monitoringu bylo poukázáno na variabilní vliv srážek z hlediska jejich koincidence s aktivitou monitorovacích bodů. K postupnému uklidnění sesuvu došlo v dlouhém období nižších srážkových úhrnů, avšak skutečnost, že při dalších nadnormálních srážkách nedošlo k reaktivaci sesuvu lze jednoznačně přičíst geotechnickým úpravám svahu.

Poděkování

Provedený výzkum byl podpořen grantem MŠMT č. MSM 6840770005 „Udržitelná výstavba“.

Literatura

- BURDA, J. (2011): Spatio-temporal activity of mass movements in the Krušné Hory Mountains (Czech Republic): dendrogeomorphological case study. *AUC Geographica* 46, pp. 15–22.
- CAINE, N. (1980): The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows. *Geografiska Annaler* 62A, pp. 23–27.
- CAJZ, V., RAPPRIČH, V., RADOŇ, M. (2005): Vulkanismus v okraji Doupovských hor – vulkanologická studie paleontologické lokality Dětaň. *Zpr. geol. Výzk. v Roce 2005*, pp. 13–16.
- CRUDEN, D. M., VARNES, D. J. (1996): *Landslide types and processes*. In: Landslides, Investigation and Mitigation. Special Report 247, Transportation Research Board, Washington, pp. 36–75.
- HÁNEK, P., JANŽUROVÁ, I., HÁNEK, P. JR. (2005): Geodetická měření pro určení svahových sesuvů v lokální prostorové síti Rabenov. *Stavební obzor* 14, pp. 21–25.
- HUJSL, J. (2012), ústní sdělení RNDr. J. Hujsla (Sedlecký kaolín, a.s.) k průběhu smykové plochy sesuvu.

KOŠTÁK, B., CHÁN, B., RYBÁŘ, J. (2006): Deformation trends in the Jezeří Castle massif, Krušné Hory Mts. *Acta geodynamica et geomaterialia* 2, pp. 39–49.

PÁNEK, T., BRÁZDIL, R., KLIMEŠ, J., SMOLKOVÁ, V., HRADECKÝ, J., ZAHRADNÍČEK, P. (2011): Rainfall-induced landslide event of May 2010 in the eastern part of the Czech Republic. *Landslides* 8, pp. 507–516.

POSPÍŠIL, J., RAŠKA, M. (2006): Sledování svahových sesuvů pomocí geodetických měření. *Stavební obzor* 15, pp. 275–280.

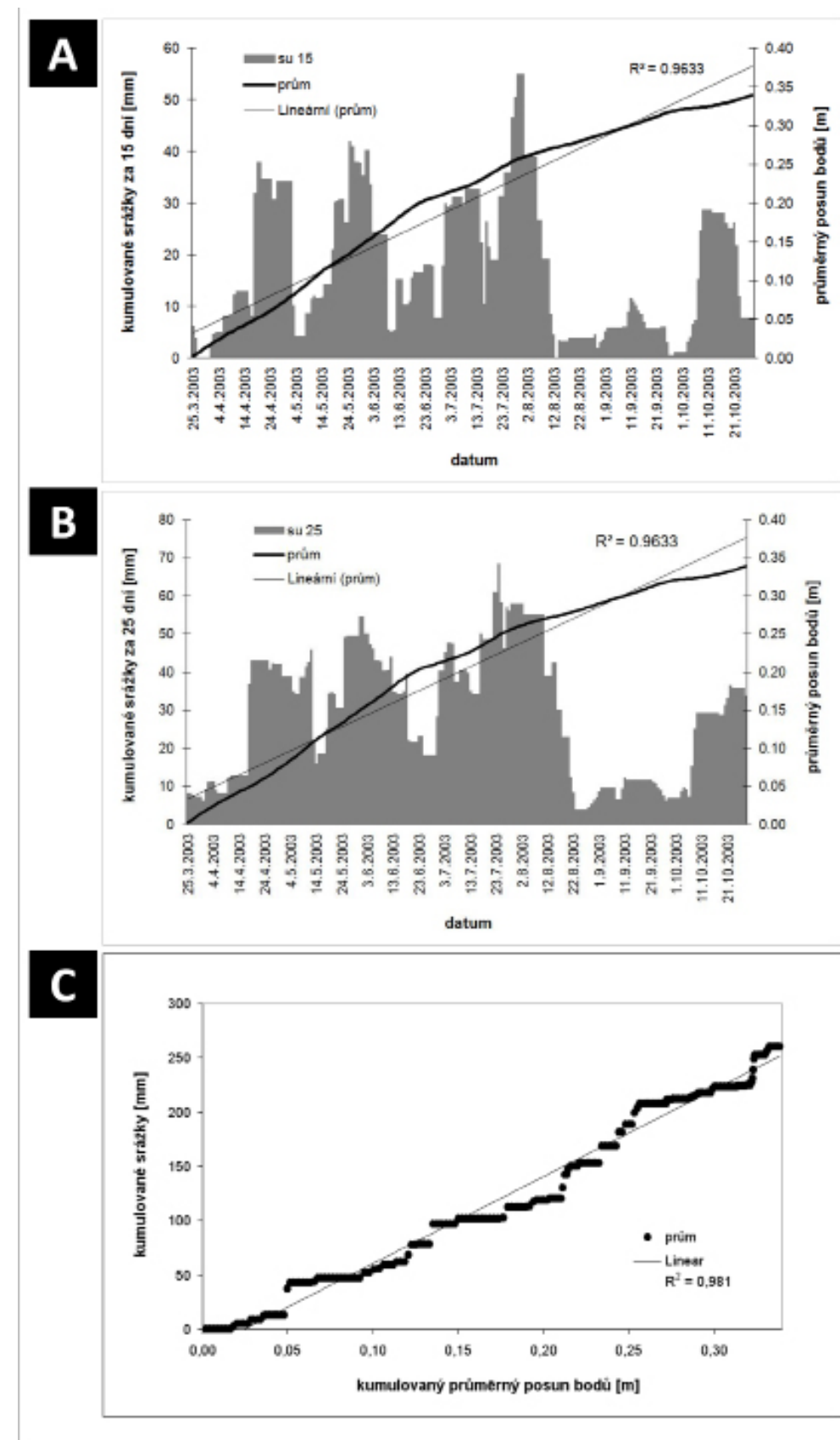
PYTHAROULI, S. I., KONTOGIANNI, V. A., STIROS, S. C. (2007): Kinematics of two deep-seated landslides in Greece. *Geotechnical Engineering* 160, pp. 179–183.

RAŠKA, M., POSPÍŠIL, J. (2011): *Sledování a analýza svahových sesuvů*. In: Přírodní katastrofy (optimalizace ochrany, interakce se stavebními konstrukcemi), 9-16. České vysoké učení technické v Praze, Praha.

RYBÁŘ, J. (1997): *Increasing impact of anthropogenic activities upon natural slope stability*. In: Marinos, P. et al. (eds.): *Engineering Geology and the Environment*, A. A. Balkema, Rotterdam, pp. 1015–1020.

TURČIN, K. (2003–2004): *Důlněměřická dokumentace lomu Nepomyšl, Sedlecký kaolin a. s.* (Ing. Karel Turčín – hlavní důlní měřič, Ing. Martin Raška – měřič).

ZÁRUBA, Q., MENCL, V. (1987): *Sesuvy a zabezpečování svahů*. Academia, Praha.



Obr. 3 Vztah srážkových úhrnů ke kumulovanému průměrnému posunu monitorovaných bodů. **A** – 15denní srážkové úhrny (su 15) a spline interpolace trajektorie průměrného posunu bodů, **B** – 25denní srážkové úhrny (su 25) a spline interpolace trajektorie průměrného posunu bodů (srážkové úhrny – ČHMÚ), **C** – podvojná součtová čára srážkových úhrnů a posunu bodů