

# Aktivita sesuvu u obce Kozárovce (okres Levice, Slovensko)

Landslide activity by the Kozárovce village (Levice district, Slovakia)

KAREL ŠILHÁN<sup>1</sup> – IVAN RUŽEK<sup>2</sup> – LIBOR BURIAN<sup>2</sup> –  
RENÉ PUTIŠKA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Katedra fyzické geografie a geoekologie, Přírodovědecká fakulta,  
Ostravská univerzita, Chittussiho 10, 710 00 Ostrava;  
karel.silhan@osu.cz

<sup>2</sup> Katedra fyzickej geografie a geoekológie, Prírodovedecká fakulta,  
Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina,  
842 15 Bratislava 4, Slovensko

<sup>3</sup> Katedra aplikovej a environmentálnej geofyziky, Prírodovedecká  
fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina,  
842 15 Bratislava 4, Slovensko

**Key words:** landslide, dendrogeomorphology, electrical resistivity tomography, loess, Kozárovce, Slovakia

**Summary:** The present-day complex landslide research requires application of a broad spectrum of methodical approaches. Only multidisciplinary analysis can successfully resolve all actual questions regarding landslide predisposition, triggers, inner structure or recent activity. We used combination of two methods for determination of inner structure and historical activity of landslide

occurring close to the Kozárovce village. The landslide is of a rotation type, being ca 40 m long and ca 50 m wide, and is developed in loess accumulation covering volcanic (andesite) bedrock. Geo-electrical method ERT (electrical resistivity tomography) was applied in two profiles running along and across the landslide area. The "Wenner-Schlumberger" array with 1 m electrode spacing was used. The landslide body generally shows very low values of resistivity in comparison with volcanic bedrock or loess material lying outside the landslide area. That is why the landslide body is quite well visible in the ERT record. Based on the ERT record the landslide depth was established at 10–11 m, and rotation character of landslide movement was verified. The historical chronology of landslide reactivations was reconstructed using dendrogeomorphic methods. Twenty two increment cores were extracted from the disturbed (tilted or bended stems) individuals of *Robinia pseudoacacia* L. growing on the landslide. The identification of landslide signal within the tree ring series was realized using analysis of tree ring eccentricity (as tree reaction to stem tilting). Altogether 14 years of landslide activity was reconstructed with the oldest one in 1965. The main time period with recorded reactivation lasted from 1978 to 2003. The strongest landslide signal within tree ring series was identified in 1965, 1983, 1997, and 2002.

Dnes nejčastěji skloňované otázky ohledně výzkumu sesuvů jsou predispozice, spouštěče, vnitřní struktura nebo historická aktivita. Je jasné, že pro jejich zodpovězení je nutná aplikace širšího spektra výzkumných metod. Multidisciplinární pojetí výzkumu se tak v současnosti stává zcela samozřejmým nástrojem komplexní analýzy sesuvů. Kromě finančně, časově i technicky náročných vrtných prací je velmi efektivním nástrojem poznání vnitřní struktury sesuvů aplikací geofyzikálních metod. Data o historické aktivitě jsou velmi vzácná a archivní záznamy – pokud vůbec existují – jsou většinou velmi nekompletní (Raška et al. 2015). V tomto ohledu se jako velmi perspektivní jeví dendrogeomorfologické metody, které umožňují rekonstrukci sesuvních pohybů až několik stovek let starých (Alestalo 1971). Navíc, chronologická data o sesuvních reaktivacích jsou nezbytná pro potenciální prediktivní modelování vývoje sesuvné aktivity.

V této studii jsme se zaměřili na sesuv v blízkosti obce Kozárovce ( $48^{\circ} 18' 35,75''$  s. š.;  $18^{\circ} 32' 29,13''$  v. d.; viz obr. 1). Jde o menší sesuv ležící na pravém svahu, západní orientace, při vyústění cca 150 m dlouhé strže. Na strž nazavazuje plochý náplavový kužel, nasedající na údolní nivu levého břehu Hronu. Sesuv je cca 40 m dlouhý a cca 50 m široký. Odlučná oblast je až 5 m vysoká a pod ní se vyskytuje několik výraznějších zrotovaných bloků. Z jižní strany sesuvné těleso ohraničuje zmíněná cca 7 m hluboká strž. Sesuv je vyvinutý ve sprášových pokryvech, v podloži

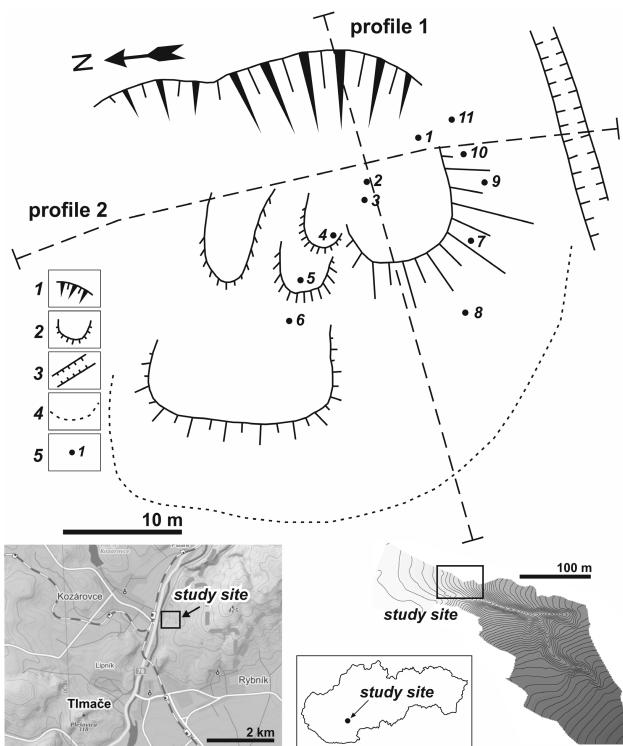
s vulkanity andezitového typu. Současnou sesuvnou aktivitu naznačují deformované kmeny stromů, rostoucích na jeho povrchu. Stromy jsou nakloněny jak po svahu, tak i proti svahu.

Cílem tohoto příspěvku je, v souladu s multidisciplinárním pojetím výzkumu, představit vnitřní strukturu sesuvu, analyzovanou geofyzikální metodou elektrické odporové tomografie (ERT), a zrekonstruovat chronologii sesuvních pohybů pomocí dendrogeomorfologických metod.

## Metody

Vnitřní struktura a hloubka sesuvu a mocnost pokryvných útvarů byly analyzovány pomocí geoelektrické metody ERT. Dnes jde o jednu z nejpoužívanějších geofyzikálních metod při výzkumu sesuvů (Perrone et al. 2014), spočívající v aplikaci elektrického proudu do podloží dvojicí elektrod a měření měrného odporu druhou dvojicí elektrod. Materiál sesuvu často tvoří horniny, které se při nasycení vodou stávají nestabilní a v odporovém poli se projevují jako vodivá anomálie s nízkými hodnotami odporu. Je tak možné odhadnout nejen mocnost sesuvného tělesa, ale i geometrii jeho smykové plochy.

V této studii bylo zvoleno uspořádání elektrod „Dipól-Dipól“, které je vhodné pro detekci izometrických těles (Dahlin – Zhou 2004). Pro detailní záznam v odporovém

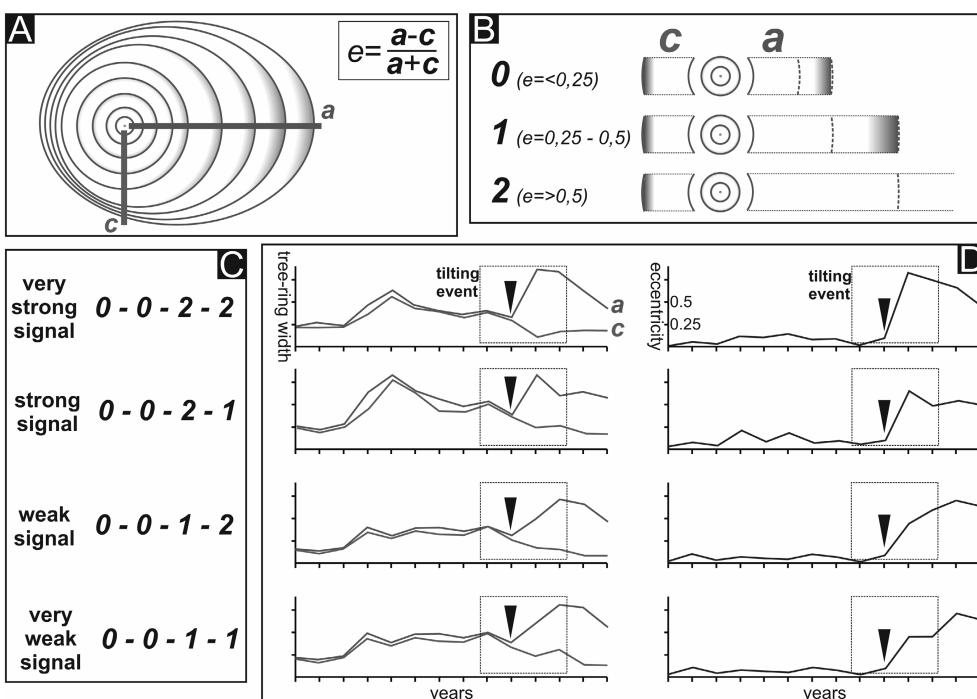


Obr. 1. Geomorfologická mapa studovaného sesuvu s vyznačením průběhu ERT profilů. 1 – hlavní odlučná oblast, 2 – dílčí blok, 3 – strž, 4 – spodní hranice sesuvu, 5 – pozice vzorkovaných stromů / Fig. 1. Geomorphic sketch map of the studied landslide with marked positon of ERT profiles. 1 – major scarp, 2 – partial landslide block, 3 – gully, 4 – lower landslide border, 5 – position of sampled trees.

řezu byl zvolen velmi jemný rozestup elektrod (1 m). Inverzní modelování umožňuje vytvořit blokový model horninového prostředí na základě údajů měřených na povrchu.

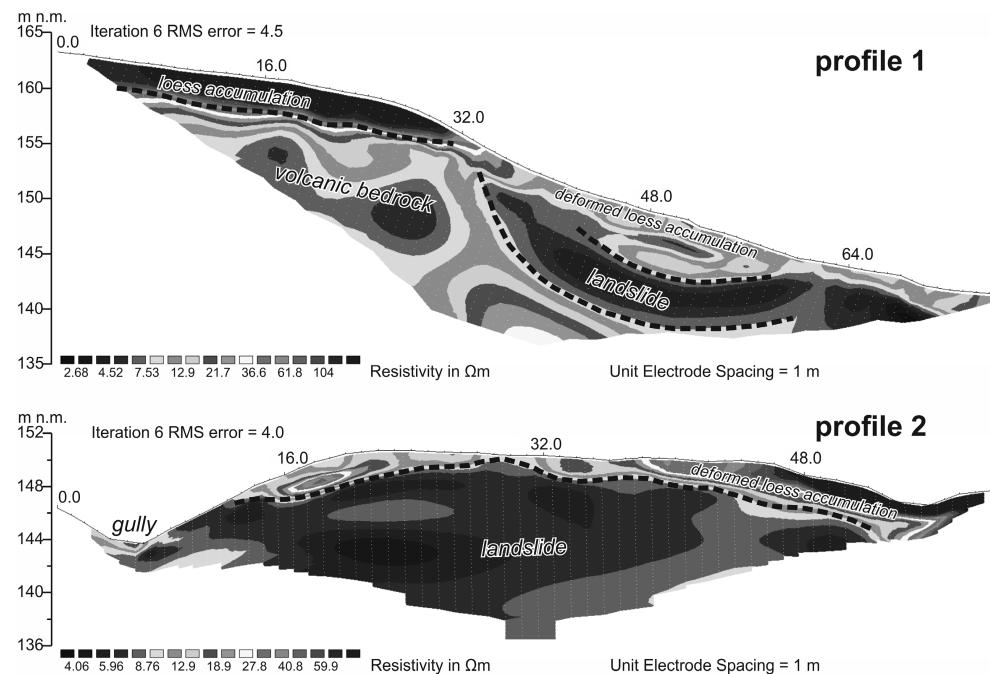
Pro inverzní výpočet údajů z přímého modelování byl použit program Res2DInv (Loke – Barker 1996). V inverzním procesu byla použita L1 norma se standardním horizontálním a vertikálním „roughness“ filtrem.

Historická aktivita sesuvu byla analyzována prostřednictvím dendrogeomorfologických metod. Všechny stromy rostoucí na sesuvu, vykazující znaky ovlivnění svého růstu sesuvními pohyby (nakloněné nebo ohnuté kmene), byly vzorkovány. Z každého stromu byla extrahována dvě vrtná jádra pomocí Presslerova přírůstového nebozezu v místě největšího ohnutí kmene. Vzhledem k dominantnímu využití listnatých druhů stromů bylo jedno jádro vždycky odebíráno z horní strany kmene, kde lze očekávat výskyt tahového reakčního dřeva (dominantní reakce listnatých stromů na jejich naklonění). Vzorky byly standardně zpracovány (sušeny, lepeny do dřevěných drážek, broušeny). Letokruhy byly počítány a byla měřena jejich šířka pomocí TimeTable a programu PAST4 (VIAS 2005). Přírůstové křivky se následně porovnávaly s referenční chronologií pro identifikaci chybějících nebo falešných letokruhů. Referenční chronologie byla sestavena z deseti vrtných jader ze stromů rostoucích mimo sesuvné území. Křivka byla vypočtena pomocí dvojitě detrendující procedury v programu Arstan (Cook 1985). Sesuvné pohyby v letokruhových sériích byly identifikovány prostřednictvím náhlé změny excentricity letokruhů, jelikož u listnatých stromů není možné klasické makroskopické pozorování reakčního dřeva. Obrázek 2 demonstruje výpočet excentricity letokruhů a extrakci sesuvného signálu z letokruhových sérií. Podle náhlosti změny excentricity je navíc možné stanovit i „sílu“ sesuvného signálu (Šilhán et al. 2014). Pro účely této studie však bylo využito pouze přítomnosti sesuvného signálu. „Intenzita“ sesuvních pohybů byla vyjádřena standardním ukazatelem, tzv.  $I_1$  indexem (Shroder 1978). Index vyjadřuje procentní zastoupení stromů vykazujících



Obr. 2. Schéma výpočtu excentricity letokruhů a extrakce sesuvného signálu / Fig. 2. Scheme of tree ring eccentricity calculation and landslide signal extraction.

Obr. 3. Podélný a příčný ERT profil. Černá pírušovaná čára – výrazná strukturní hranice v odporovém řezu / Fig. 3. Longitudinal and transversal ERT profile. Black dashed line – significant structure border in the resistivity record.



sesuvní signál ze souboru všech vzorkovaných stromů žijících v daný rok. Vzhledem k omezenému počtu vzorkovaných stromů nebyly v této studii použity žádné prahové hodnoty  $I_t$  indexu nebo počtu disturbovaných stromů.

## Výsledky

Napříč sesuvním tělesem byly proměřeny dva ERT profily. První profil vedl přes odlučnou oblast ve směru spádu, druhý profil přibližně kolmo k prvnímu napříč sesuvním územím (obr. 1). Podélný profil (profil 1) byl dlouhý 76 m a příčný profil (profil 2) 60 m. Pro oba profily jsou typické obecně velmi nízké odporové hodnoty (cca do 200 Ωm). V profilu 1 (obr. 3) je v horní části mezi metráží 0–32 velmi dobře patrná ostře ohrazená zóna zvýšených odporů (více než 100 Ωm). Mocnost této zóny je víceméně konstantní a pohybuje se mezi 2–3 m. Vrstva jde paralelně se svahem a vyklíná se v místě topograficky výrazného poklesu odlučné oblasti sesuvu. Zřejmě jde o vrstvu spraší, nasedajících na vulkanity. Zvýšené hodnoty odporů odráží velmi porézní charakter uložené spraše. V odporovém řezu je dále velmi výrazně vidět samotné tělo sesuvu, ohrazené rotační smykovou plochou. Většina sesuvné hmoty má velmi nízké hodnoty odporu (méně než 5 Ωm). Připovrchové zóny sesuvu v mocnosti cca 5 m mají mírně zvýšené hodnoty odporu. Jde pravděpodobně o sprašový pokryv, shrnutý a zdeformovaný sesuvními pohybami. Tato zóna je patrná i na příčném profilu. Celkovou mocnost sesuvu je možné odhadnout na 10–11 m. Znamená to tedy, že smyková plocha zasahuje až pod dno sousední strže. Profil 2 vedený napříč sesuvem pak – kromě připovrchové zóny mírně zvýšených odporů v deformované spraší – demonstruje především velmi nízké odpory (méně než 5 Ωm) v dominantní části celého sesuvního tělesa.

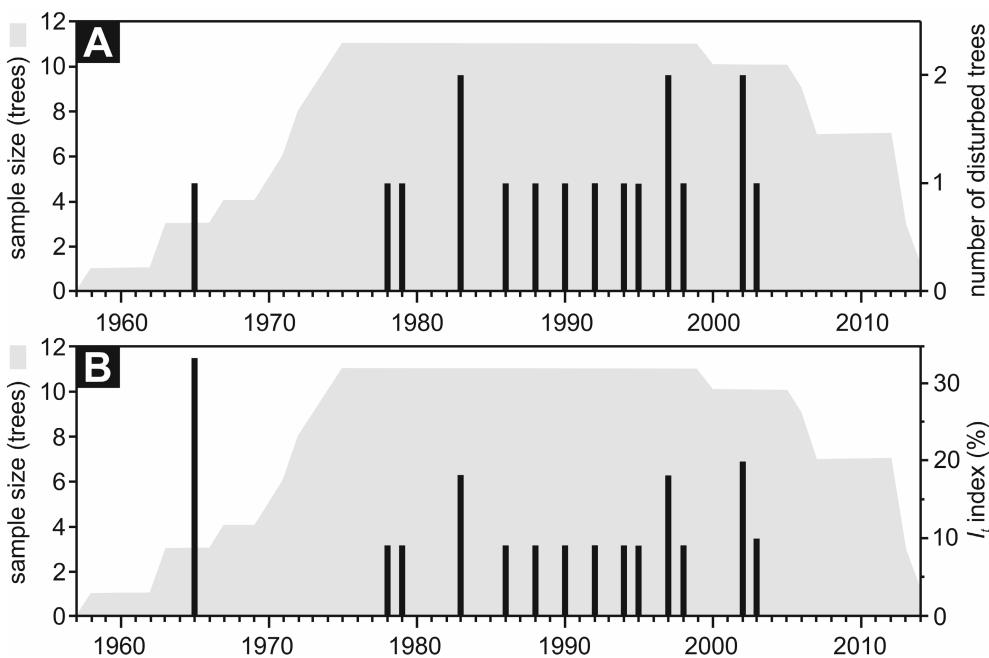
V rámci sesuvního tělesa bylo vzorkováno 11 jedinců tr-

novníku akátu (*Robinia pseudoacacia L.*) prostřednictvím 22 vrtných jader. Průměrné stáří vzorkovaných stromů bylo 47,9 let. Nejstarší strom byl starý 60 let, nejmladší strom 43 let. Všechny stromy byly vzorkovány v horní, morfologicky výraznější části sesuvného tělesa. Vzhledem k destrukci nejmladších částí letokruhových sérií u několika vzorků během náročného vzorkování je v posledních letech chronologie počet využitelných stromů omezen. Období pokryté letokruhy všech stromů je však delší než 20 let. Celkem bylo identifikováno 17 náhlých změn eccentricity letokruhů, interpretovaných jako důsledek sesuvních pohybů. Na základě tohoto setu disturbancí bylo datováno 14 sesuvních let (obr. 4). Nejstarší je událost z roku 1965, která zároveň vykazuje nejvyšší hodnoty  $I_t$  indexu (33,3 %). Po této události následovalo období 12 let bez datovaných pohybů. Mezi roky 1978 a 2003 se pak vyskytly všechny ostatní sesuvné události. Od roku 2004 již nebyly zaznamenány žádné disturbance spojené se sesuvními pohyby. Kromě roku 1965 byly zvýšené hodnoty  $I_t$  indexu vypočteny ještě v letech 1983 (18,2 %), 1997 (18,2 %) a 2002 (20,0 %).

## Shrnutí a závěr

Pomocí multidisciplinárního přístupu byl analyzován sesuv spraší a andezitového podloží na levém břehu Hronu. Vnitřní struktura sesuvu byla odhalena pomocí geofyzikální metody elektrické odporové tomografie ERT. Celé těleso sesuvu se vyznačovalo velmi nízkými hodnotami měrného odporu, které kontrastovaly se zvýšeným odporom vulkanického podloží a zejména s vysokými hodnotami sprašových akumulací. ERT záznam odhalil rotační strukturu sesuvu s hloubkou smykové plochy cca 10–11 m.

Historická chronologie sesuvních pohybů byla sestavena dendrogeomorfologickými metodami inovativně



Obr. 4. Chronologie sesuvných pohybů. A – počet distúbovaných stromů v jednotlivých letech, B – hodnoty  $I_t$  indexu v jednotlivých letech / Fig. 4. Chronology of landslide movements. A – number of disturbed trees in individual years, B – values of  $I_t$  index in individual years.

analyzujícími listnaté druhy stromů (*R. pseudoacacia*). Letokruhová data z jedenácti distúbovaných jedinců umožnila zrekonstruovat 14 let reaktivací sesuvních pohybů, přičemž k nejčetnější aktivitě docházelo mezi roky 1978 a 2003.

Poděkování. Výzkum byl realizován v rámci projektu Grantové agentury ČR 15-02067S, projektu Agentury na podporu výzkumu a vývoja č. APVV-0625-11 a č. APVV-0129-12 a Slovenské grantové agentury VEGA č. 1/0131/14.

## Literatura

- ALESTALO, J. (1971): Dendrochronological interpretation of geomorphic processes. – Fennia 105, 1–139.  
 COOK, E. R. (1985): A time series analysis approach to tree-ring standardization. PhD. Dissertation. – The University of Arizona, Tucson, USA.  
 DAHLIN, T. – ZHOU, B. (2004): A numerical comparison of 2D resistivity imaging with 10 electrode arrays. – Geophys. Prospect. 52, 379–398.  
 LOKE, M. H. – BARKER, R. D. (1996): Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. – Geophys. Prospect. 44, 131–152.  
 PERRONE, A. – LAPENNA, V. – PISCITELLI, S. (2014): Electrical resistivity tomography technique for landslide investigation: A review. – Earth-Sci. Rev. 135, 65–82.  
 RASKA, P. – KLIMEŠ, J. – DUBIŠAR, J. (2015): Using local archive sources to reconstruct historical landslide occurrence in selected urban region of the Czech Republic: examples from regions with different historical development. – Land Degrad. Develop. 26, 142–157.  
 SHRODER, J. F. (1978): Dendrogeomorphological analysis of mass movement on Table Cliffs Plateau, Utah. – Quat. Res. 9, 168–185.  
 ŠILHÁN, K. – PÁNEK, T. – TURSKÝ, O. – BRÁZDIL, R. – KLIMEŠ, J. – KAŠÍČKOVÁ, L. (2014): Spatio-temporal patterns of recurrent slope instabilities affecting undercut slopes in flysch: a dendrogeomorphic approach using broad-leaved trees. – Geomorphology 213, 240–254.  
 V.I.A.S. (2005): Time Table. Installation and instruction manual. Ver. 2.1, Vienna Inst. Archaeol. Sci. Vienna.