

# MORFOLOGICKÉ A GEOFYZIKÁLNÍ PROJEVY EXTENZE VE VRCHOLOVÉ PARTII SMRKU (1276 M) V MORAVSKOSLEZSKÝCH BESKYDECH

Morphological and geophysical expressions of extension on the ridge of the Smrk Mt. (1276 m) in the Moravskoslezské Beskydy Mts.

Jan Hradecký<sup>1</sup>, Tomáš Pánek<sup>1</sup>, Roman Duras<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Katedra fyzické geografie a geoekologie, Přírodovědecká fakulta Ostravské univerzity v Ostravě; e-mail: jan.hradecky@osu.cz, tomas.panek@osu.cz

<sup>2</sup>Geotest Brno, a. s., geofyzikální skupina Ostrava, 28. října 287, 709 00 Ostrava; e-mail: duras@geotest.cz

(25-24 Turzovka)

**Key words:** *Silesian Unit, deep seated gravitational slope deformations, lateral spreading, geophysics, geomorphology, digital elevation model*

## Abstract

*Culmination part of the Moravskoslezské Beskydy Mts in the area of outcrops of rocks of the Silesian unit is marked with vast gravitational disintegration connected with the rise of trenches, counter slope scarps and the following development of landslides, debris flows and rock avalanches. In the culmination part of Smrk Mt (1276 m) cross-asymmetrical trench was identified having the direction correspondent with topolineaments identified by means of digital elevation model. Geophysical sounding using the methods of symmetric resistivity sounding, vertical electric sounding and shallow seismic refraction proved the existence of a zone of reduced concentration in the depth of minimum 40 m. The rise of the trench indicates probably lateral spreading of the whole massif of Smrk Mt which induced the presence of tectonic faults, erosion unloading at the development of deep fault gap valleys of Čeladenka and Ostravice Rivers and sinking of rigid sandstone of middle member of Godula formation into plastic layers of slightly rhythmical flysch of lower member of Godula formation.*

## Úvod

Gravitační rozpad horských hřbetů, spojený s vývojem hlubokých svahových deformací, je charakteristickým procesem mladých orogenních oblastí (Agliardi et al. 2001, Dikau et al. 1996, Dramis et al. 1995, Kellog 2001, Krejčí et al. 2004, Di Luzio et al. 2003, Martino et al. 2004, Němčok 1972, Rohn et al. 2004, Tibaldi et al. 2004). Podle dosavadních výzkumů lze rozsáhlý gravitační „spreading“, který je typický pro hřbety vrásových a příkrovových pohoří, vysvětlit extenzí v podmínkách pozdně orogenního vývoje pohoří za situace, kdy tektonické výzdvihy převyšují hodnotu erozně denudačních procesů (Krejčí et al. 2004).

Pasuto – Soldati (1996) rozlišují na základě strukturální predispozice, morfologie a mechanismu pohybu dva základní typy gravitačního rozpadu horských hřbetů: „lateral spreading“ a „rock flow“ (sackung).

Lateral spreading je proces extenze převážně rigidních hornin, které leží na plastických horninách (viz např. Rohn et al. 2004). Mechanismus je spojený většinou s rozšiřováním tektonických diskontinuit v horninovém masivu a následném zabořování nadložních bloků do plastického podloží (Pašek – Košťák 1977, Pašek 1974) doprovázený bulgingem a vznikem údolních antiklinál. Finálním sukcesním stádiem „lateral spreadingu“ bývají rychlejší procesy ze skupiny sesouvání a stékání (skalní laviny, suťové proudy, blokovo bahenní proudy atd.) (Di Luzio et al. 2003, Bisci et al. 1996).

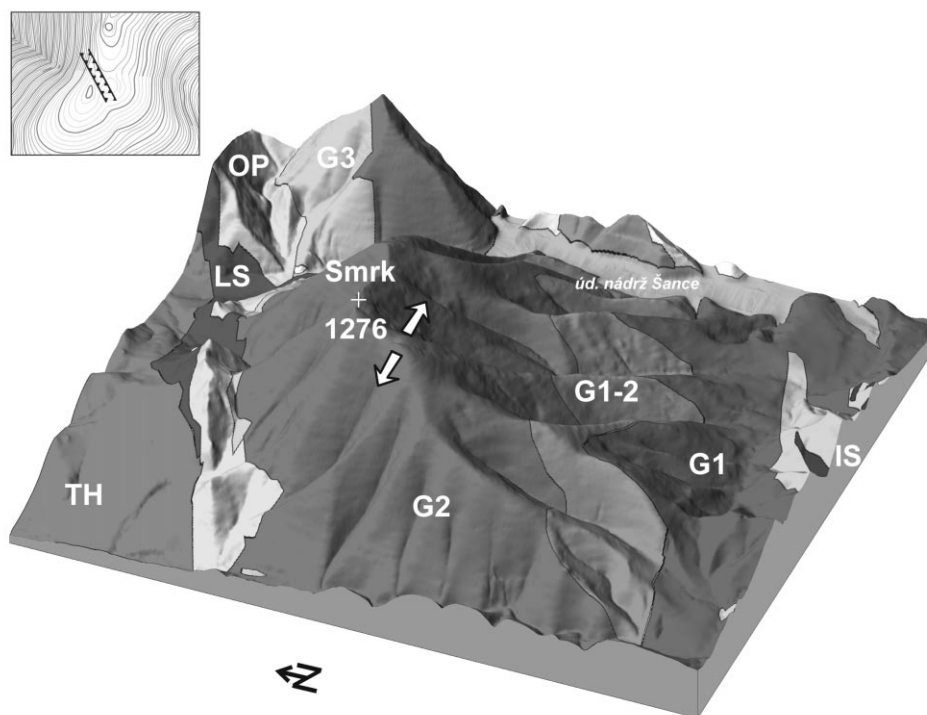
Projevy spojené s rozpadem typu „sackung“ jsou vyvolané obvykle odlehčením svahů v důsledku

tektonických výzdvihů, hloubkové nebo boční eroze a deglaciace (Bisci et al. 1996). Na rozdíl od „lateral spreadingu“ nemusí existovat strukturální predispozice v podobě podložní plastické vrstvy a odlišný je i mechanismus chování připovrchové a hluboké části deformace. Zatímco připovrchová část se chová křehce a vznikají diskontinuity s morfologickými projevy (příkopy, „counter slope scarps“), podloží se chová plasticky (Zischinsky 1966). Podobně jako „lateral spreading“ se může i „sackung“ po překročení mezních podmínek transformovat v rychlejší typy svahových procesů.

Příspěvek se zabývá geomorfologickou a geofyzikální identifikací projevů gravitační extenze typu „lateral spreading“ ve vrcholové partii Smrku (1276 m) situovaného v čelní partii godulského příkrovu slezské jednotky.

## Geologická stavba a morfologické projevy extenze

Masivní hřbet Smrku (1276 m), který je situovaný mezi hluboká údolí Ostravice a Čeladenky, nebyl dosud podroben detailní analýze z hlediska výskytu a morfologických projevů hlubokých svahových deformací. Geomorfologické mapování bylo provedeno Hradeckým a Pánkem (2000). Na svazích masivu chybí typické gravitační projevy, které byly mapovány v rozsahu obou sousedních elevací (Kněhyně – Čertův mlýn a Lysá hora), a které jsou typické pro celou kulminační oblast slezské jednotky. Masiv Smrku je z větší části budován mocnými komplexy hrubě rytmičského flyše středního oddílu godulského souvrství (Menčík et al. 1983), pouze na



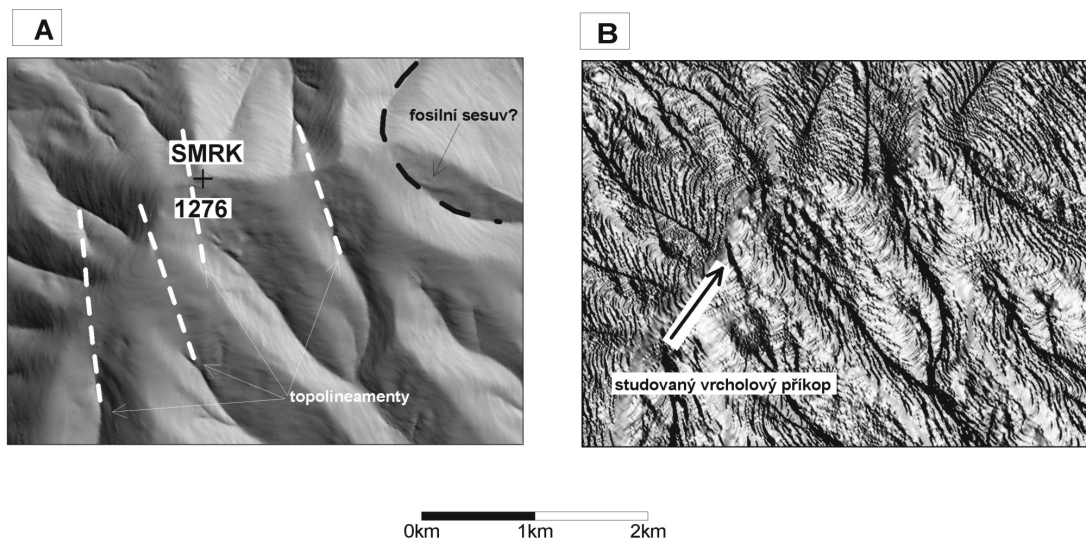
Obr. 1 – 3D model masivu Smrku a jeho geologická stavba: TH – těšínsko hradištské souvrství, LS – lhotecké souvrství, OP – ostravický pískovec, G3 – spodní oddíl godulského souvrství, G2 – střední oddíl godulského souvrství. G1-2 – přechodné pásmo mezi středním a svrchním oddílem godulského souvrství, G1 – svrchní oddíl godulského souvrství, IS – istebňanské souvrství. V levém horním rohu je zobrazena topografická pozice studovaného příkopu.

Fig. 1 – 3D model of the Smrk Mt Range and its geological situation: TH – Těšín – Hradiště Formation, LS – Lhoty Formation, OP – Ostravice sandstones, G3 – Lower Godula Member, G2 – Middle Godula Member, G1-2 – transition zone between Middle and Upper Godula Member, G1 – Upper Godula Member, IS – Istebná Formation. The topography of the studied area is situated in the upper left corner.

severních a jižních okrajích vystupují převážně drobně rytmické členy spodního a svrchního oddílu godulského souvrství (obr. 1). Godulské souvrství má v prostoru Smrku monoklinální úklon v rozmezí 15°–25° směrem k jihu až jihovýchodu.

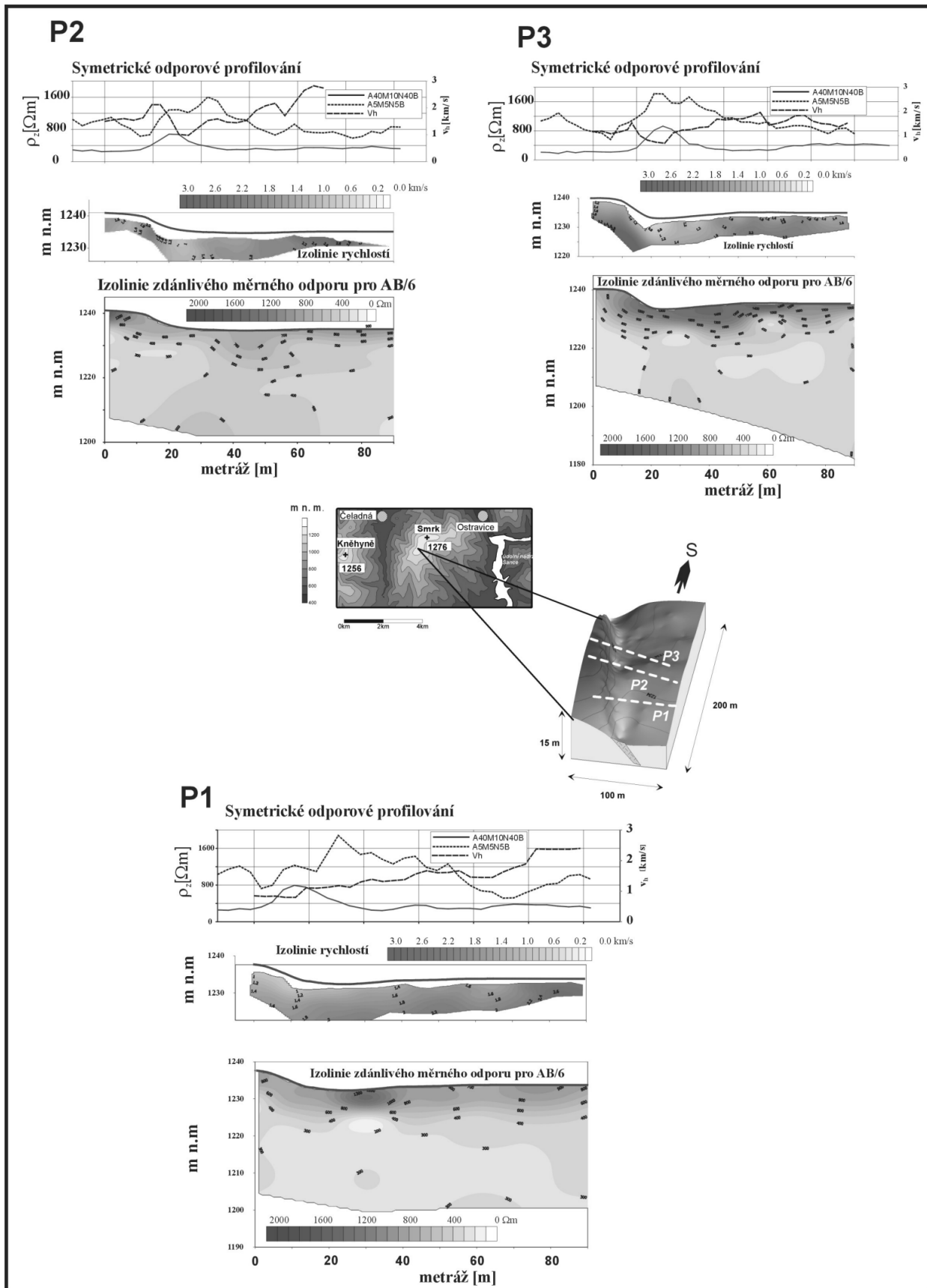
Anomální morfologický projev je však spojený s přítomností asymetrického příkopu, který je situovaný

cca 750 m jihozápadně od vrcholu. Asymetrický příkop probíhá napříč hřbetem ve směru SZ–JV a dosahuje délky asi 250 m. Od typických vrcholových příkopů, které jsou situovány v jiných částech flyšových Karpat, se liší pozicí vzhledem k průběhu hřbetnice (za normálních okolností probíhají příkopy souhlasně nebo diagonálně), absencí výchozů skalního podloží a velkým stupněm asymetrie, kdy



Obr. 2 – Topolineamenty protínající hřbet Smrku (A – topolineamenty naložené na stínovaný model reliéfu, B – stínovaný model první směrové derivace ve směru Z–V s patrnými poruchami směru SSZ–JJV až S–J).

Fig. 2 – Topolineaments intersecting the ridge of Smrk Mt (A – topolineaments overlaying shaded relief, B – shaded relief of the first directional derivative of W–E direction with distinct faults of NNW–SSE up to N–S direction).



Obr. 3 – Výsledky geofyzikálního profilování asymetrického příkopu ve vrcholové partii Smrku.  
Fig. 3 – Results of geophysical soundings of asymmetrical trench in the summit part of Smrk Mt.

příkřejší svah orientovaný k SV dosahuje sklonů 15–35°, zatímco mírnější a delší protilehlý svah dosahuje sklonu max. 12°. Minimálně již z těchto znaků je zřejmé, že příkop není predisponován čistě gravitačně, ale souvisí s tektonickými diskontinuitami ve skalním podloží. Tuto hypotézu potvrzuje vizuální analýza digitálního modelu reliéfu širšího okolí hřbetu Smrku, kde lze identifikovat 4 topolineamenty protínající hřbet souhlasně s hlubokými údolními Ostravice a Čeladenky (obr. 2). Uvedené struktury není možné mapovat přímo v terénu, jsou ale dobře patrné v topografii na první směrové derivaci pole nadmořských výšek digitálního modelu reliéfu (obr. 2). Přesto, že nebyly uvedené příčné poruchy dříve geologicky mapovány, jejich geneze může být spojená s podobnými severojižními poruchami zjištěnými v prostoru sousední elevace Kněhyně (1257 m) a Čertova Mlýna (1206 m) (Kirchner – Krejčí 2002).

#### Geofyzikální důkazy gravitačního rozpadu

Geofyzikální profilování bylo aplikováno za účelem ověření geneze asymetrického příkopu. Byly zvoleny metody, které umožňují detekovat horizontální i vertikální diskontinuity a charakter rozvolnění skalního podloží. Na třech paralelních profilech napříč příkopem bylo provedeno měření metodou vertikálního elektrického sondování (VES), symetrického elektrického profilování a mělké refrakční seismiky (obr. 3). Analýza výsledků všech tří metod verifikuje tektonicko-gravitační model vzniku příkopu. Symetrické odporové profilování prokázalo zvýšené elektrické odpory jak v hloubce 5 m pod povrchem, tak (a mnohem kontrastněji) v hloubce 40 m pod povrchem. Elektrický odpor v hloubce 40 m směrem na obě strany od morfologického projevu diskontinuity kolísá v rozmezí 200–400  $\Omega\text{m}$ , zatímco v zóně poruchy skokově roste na cca 900  $\Omega\text{m}$ . Na přítomnost poměrně úzké rozvolněné zóny o šířce cca 10–20 m ukazuje i průběh rychlosti seismických vln ( $1 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$  oproti cca  $3 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ ) a výrazně snížená rychlost průběhu vln na refrakčním horizontu ( $1 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$  oproti 2–3  $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Vertikální elektrické sondování už není při

interpretaci tak jednoznačné, což zřejmě souvisí s malou hustotou měření. Přesto i zde je patrná zóna mírně zvýšených odporů shodujících se zhruba s podložím úpatí příkřejšího svahu příkopu.

#### Závěr

Geofyzikální a geomorfologické metody aplikované v hřbetní partii Smrku prokázaly existenci velmi hluboké diskontinuity, která se svou reálnou hloubkou blíží nejhlubším zjištěným gravitačním deformacím v kulminační části Moravskoslezských Beskyd. Existence hluboké gravitační deformace v této části Západních Karpat je dalším důkazem přítomnosti geofyzikální anomálie na bázi slezského příkrovu a modelu rozsáhlé gravitační transformace kulminační části Moravskoslezských Beskyd publikované Krejčím et al. (2004). Pravděpodobný přímý důsledek vzniku příkopu je rozšiřování jednoho ze směrů primárních puklinových svazků, které souvisí s uvolňováním napětí při zahlabování údolí Čeladenky a pravděpodobně i Ostravice. Rigidní pískovce tvořící hřbet Smrku se navíc patrně zabořují do podložních plastických jílovců a drobně rytmického flyše spodního oddílu godulského souvrství. Z analýzy lokality vyplývá, že ne vždy jsou hluboké svahové deformace spojené s morfologicky výraznými gravitačními formami reliéfu. Vývoj těchto deformací probíhá ve vhodných strukturně – litologických podmínkách kontinuálně, hluboko v podloží a až po překročení prahových mezních podmínek dochází ke gravitačnímu kolapsu celých svahů či hřbetů a k morfologické odezvě. Tento model vzniku hlubokých gravitačních deformací je odlišný od mechanismu „sackung“, který předpokládá plastické chování hornin ve větších hloubkách. Extenzní struktury na hřbetu Smrku pravděpodobně indikují počáteční sukcesní fázi vzniku masivní svahové deformace. K přesnějšímu určení mechanismu vzniku hluboké svahové deformace bude v nejbližší době nutné provést strukturně geologická měření primárních a sekundárních diskontinuit v nejbližším okolí identifikované struktury.

#### Literatura:

- Agliardi, F. – Crosta, G. – Zanchi, A. (2001): Structural constraints on deep-seated slope deformation kinematics. – *Engineering Geology*, 59, 83–102.
- Bisci, C. – Burattini, F. – Dramis, F. – Leoperdi, S. – Pontoni, F. – Pontoni, F. (1996): The Sant'Agata Feltria landslide (Marche Region, central Italy): a case of recurrent earthflow evolving from a deep-seated gravitational slope deformation. – *Geomorphology*, 15, 351–361.
- Dikau, R. – Brunnsden, D. – Schrott, L. – Ibseb, M.–L. (eds.) (1996): *Landslide recognition, Identification, Movements and Causes*. – John Wiley & Sons, Chichester 1996, 251 pp.
- Di Luzio, E. – Bianchi-Fasani, G. – Esposito, C. – Saroli, M. – Cavinato, G. P. – Scarascia-Mugnozza, G. (2004): Massive rock-slope failure in the Central Apennines (Italy): the case of the Campo di Giove rock avalanche. – *Bull. Eng. Geol. Env.*, 63, 1–12.
- Dramis, F. – Farabollini, P. – Gentili, B. – Pambianchi, G. (1995): Neotectonics and Large-scale Gravitational Phenomena in the Umbria-Marche Apennines, Italy. – In: Slaymaker, O (ed.) "Steepland Geomorphology", John Wiley & Sons, Chichester, 199–217.
- Hradecký, J. – Pánek, T. (2000): Geomorphology of the Mt. Smrk Area in the Moravskoslezské Beskydy Mts. (Czech Republic). – *Moravian Geographical Reports*, Vol. 8, 1/2000, Brno, 45–54.
- Kellog, K. S. (2001): Tectonic control on a large landslide complex: Williams Fork Mountains near Dillon, Colorado. – *Geomorphology*, 41, 355–368.

- Kirchner, K. – Krejčí, O. (2002): Slope deformations and their significance for relief development in the middle part of the Outer Western Carpathians in Moravia. – *Moravian Geographical Reports 2/ Vol. 10, Brno*, s. 10–19.
- Krejčí, O. – Hubatka, F. – Švancara, J. (2004): Gravitational spreading of the elevated mountain ridges in the Moravian–Silesian Beskids. – *Acta. Geodyn. Geomater.* 1, 3, 1–13.
- Martino, S. – Moscatelli, M. – Scarascia–Mugnozza, G. (2004): Quaternary mass movements by a structurally complex setting in the central Apennines (Italy). – *Engineering Geology*, 72, 33–55.
- Menčík, E. et al. (1983): *Geologie Moravskoslezských Beskyd a Podbeskydské pahorkatiny*. – ÚÚG, Praha, 307 pp.
- Němčok, A. (1982): *Zosuvy v slovenských Karpatoch*. – Veda, Bratislava, 320 pp.
- Pasuto, A. – Soldati, M. (1996): Rock spreading. – In: Dikau, R. – Brunnsden, D. – Schrott, L. – Ibseb, M.–L. (eds.): *Landslide recognition, Identification, Movements and Causes*. – John Wiley & Sons, Chichester 1996, 122–136.
- Pašek, J. (1974): Gravitational block–type movements. *Proc. 2nd Int. Congr. IAEG, São Paulo, Brasil, V–PC–1.1–V–PC–1.9*
- Pašek, J. – Košťák, B. (1977): Svahové pohyby blokového typu. – *Rozpravy Československé akademie věd – řada matematických a přírodních věd*, 87, 3, Academia, Praha.
- Rohn, J. – Resch, M. – Schneider, H. – Fernandez–Steege, T. M. – Czurda, K. (2004): Large – scale lateral spreading and related mass movements in the Northern Calcareous Alps. – *Bull. Eng. Geol. Env.*, 63, 71–75.
- Tibaldi, A. – Rovida, A.– Corazzato, C. (2004): A giant deep–seated slope deformation in the Italian Alps studied by paleoseismological and morphometric techniques. – *Geomorphology*, 58, 27–47.
- Zischinsky, U. (1966): On the deformation of high slopes. – *Proc. 1 st Congress of the Int. Soc. Rock Mech.*, Vol. 2, 179–185.