

KAREL ŠILHÁN, TOMÁŠ PÁNEK

## REGISTRACE POHYBU SKALNÍCH BLOKŮ DENDROGEOMORFOLOGICKÝMI METODAMI: NOVÝ METODICKÝ PŘÍSTUP NA PŘÍKLADU LOKALIT V MORAVSKOSLEZSKÝCH BESKYDECH

**ŠILHÁN, K., PÁNEK, T. (2014): Registration of rock blocks movements using dendrogeomorphic methods: new methodical approach in a case of localities in the Moravskoslezské Beskydy Mts. *Geografie*, 119, No. 1, pp. 50–66.** – This study proposes a new systematic procedure for the dendrochronologic dating of the movement (esp. lateral spreading, backward rotation and toppling) of large boulders with precision to seasons. The methodology is based on the dendrogeomorphic analysis of trees which have been deformed by tilting blocks. Based on the research carried out in four localities within the Moravskoslezské Beskydy Mts, we have identified 22 event years revealing deformations caused by blocks. The interaction between tree stems and tilting blocks is represented by various macroscopic changes as well as growth disturbances within tree-ring series. These most frequently involve tangential rows of traumatic resin ducts and abrupt growth suppression/release. An analysis of meteorological characteristics identifies potential triggers of movements featuring especially summer heavy rainfalls.

**KEY WORDS:** dendrogeomorphology – rock blocks – growth reactions – the Moravskoslezské Beskydy Mts.

Článek byl připraven s finanční podporou Grantové Agentury České republiky grantem č. P209/10/0309 „Vliv historických klimatických a hydrometeorologických extrémů na svahové a fluvialní procesy v oblasti Západních Beskyd a jejich předpolí“.

### 1. Úvod

Vývoj reliéfu horských oblastí je spojen se svahovými deformacemi. Mezi jejich základní morfologické projevy patří příkré odlučné stěny (často s výstupy skalního podloží), zpětně rotované plošiny, tahové trhliny spojené s rozvolněním horních partií svahu, výtlačné valy v čele deformace a jiné (Dikau a kol. 1996). Zajímavým fenoménem jsou obnažené skalní bloky. Takové tvary mohou být relativně stabilní, často však vykazují různě velké pohyby, většinou spojené s rotací. Dynamika jejich pohybu je závislá na mnoha faktorech. V obecné rovině to mohou být například stabilita podloží a morfometrie svahů. Z řídicích a iniciačních faktorů to pak jsou klimatické podmínky (zejména extrémní srážkové události; Corominas, Moya 1999), seismická aktivita (Carrara, O'Neill 2003; Nicoletti 2005), degradace permafrostu (Geertsema a kol. 2006), ale i antropogenní aktivita (Van Den Eeckhaut a kol. 2007). Pro účely dlouhodobého monitoringu pohybu obnažených skalních bloků existuje množství metod jako pravidelné GPS zaměřování (Gili, Corominas, Rius 2000; Malet, Maquaire,

Calais 2002), fotogrammetrické metody (Prokešová, Kardoš, Medvedřová 2010), instalace extenzometrů (Corominas a kol. 2000) atd. Jejich velkým omezením je právě nutnost dlouhé monitorovací doby (i několik let).

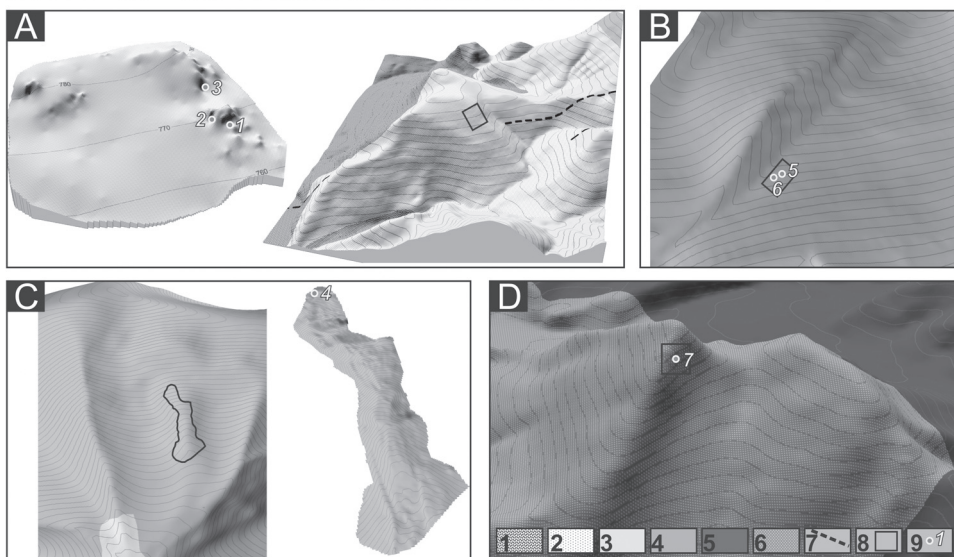
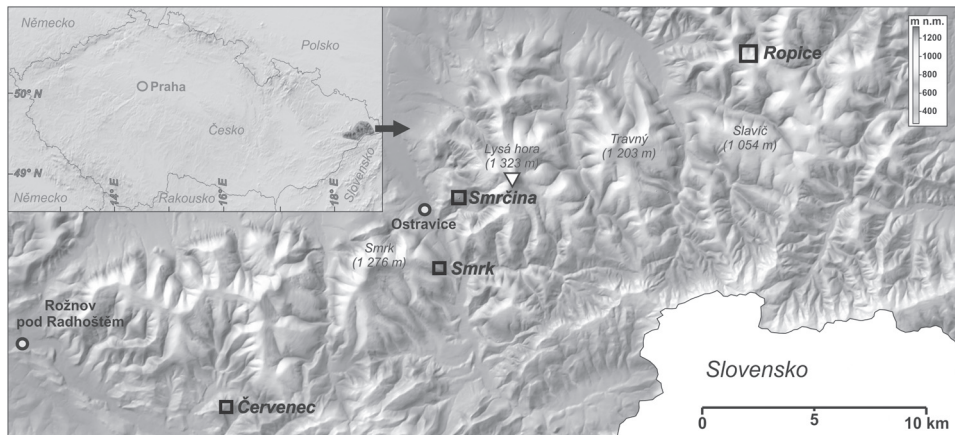
V příspěvku přinášíme novou možnost zpětné identifikace pohybu dílčích částí svahových deformací pomocí dendrogeomorfologických metod. Dendrogeomorfologie (zkoumající geomorfologické procesy pomocí dendrochronologických metod) je dnes běžným přístupem při studiu různých typů svahových deformací. Vybrané studie využívající tyto metody pro studium jednotlivých geomorfologických procesů jsou následující: blokovobahenní proudy (Santilli, Pelfini 2002; Bollschweiler a kol. 2007; Stoffel, Bollschweiler 2009; Šilhán, Pánek 2010), skalní řízení (Stoffel a kol. 2005a; Perret, Stoffel, Kienholz 2006; Schneuwly, Stoffel 2008; Šilhán a kol. 2011; Šilhán, Pánek, Hradecký 2012), eroze (Vandekerckhove a kol. 2001, Gärtner 2007, Malik 2008), povodně (Hrádek, Malik 2007; Zielonka, Holeksa, Ciapała 2008; Šilhán 2012b), sesuvy (Corominas, Moya 1999; Fantucci, Sorriso-Valvo 1999; Carrara, O'Neill 2003; Burda 2011; Pánek a kol. 2011; Šilhán 2012a). Většina dendrogeomorfologických studií, zabývajících se různými typy sesuvných pohybů, je založena na identifikaci růstových disturbancí stromů vlivem jejich naklonění při deformaci povrchu svahu sesuvným pohybem (Fantucci, Sorriso-Valvo 1999) a jejich datováním. Je tak možná analýza desítek i stovek let staré sesuvné aktivity s roční (nebo dokonce i intrasezónní) přesností, a to bez nutnosti dlouhodobého monitoringu. Stefanini (2004) použila 24 dubů cerů (*Quercus cerris* L.) pro časově-prostorovou analýzu aktivity sesuvu v severních Apeninách pro časové období více než 70 let. V tomto příspěvku však přinášíme zcela nový přístup ze skupiny dendrogeomorfologických metod. Jedná se v podstatě o datování pohybu skalních bloků prostřednictvím analýzy růstových disturbancí stromů, které rostou v jejich blízkosti a do jejichž kmenu se skalní blok zabořuje.

Příspěvek je zaměřen na chronologické stanovení pohybu obnažených výchozů skalních bloků, které se postupně zabořují do kmenů stromů, rostoucích v jejich blízkosti. Jedná se zejména o představení tohoto nového přístupu, který nebyl dosud nikdy aplikován. Cílem této studie je 1) otestovat možnost datování pohybu skalních bloků na vybraných lokalitách v Moravskoslezských Beskydech, 2) zrekonstruovat chronologii pohybů vybraných skalních bloků se sezónní přesností a 3) zhodnotit potenciální příčinné faktory vedoucí k pohybu bloků.

## 2. Studované lokality

Moravskoslezské Beskydy jsou součástí mladého terciérního pohoří Vnějších Západních Karpat tvořeného flyšovými sedimentárními komplexy (Menčík a kol. 1983). Vyznačují se velkým plošným zastoupením svahových deformací různých typů (Hradecký, Pánek 2008). Výskyt skalních stěn a obnažených skalních bloků zde však není příliš velký (Šilhán a kol. 2011). Jejich význam spočívá ve zvyšování geodiverzity a zároveň představují i ekologicky hodnotná místa. V rámci Moravskoslezských Beskyd byly analyzovány čtyři lokality (obr. 1) s vhodnými podmínkami (tj. kontakt kmene stromů se skalními bloky).

Lokalita *Smrčina* (49°32,3' S / 18°24,9' V) se nachází v nadmořské výšce 780 m n. m. a její svah je orientován jižním směrem. Skalní bloky zde



Obr. 1 – Pozice a geologická situace studovaných lokalit (bílý trojúhelník – meteorologická stanice): A – Smrčina, B – Smrk, C – Ropice, D – Červenec. 1 – lhotecké vrstvy, 2 – ostravický pískovec, 3 – spodní vrstvy godulské, 4 – střední vrstvy godulské, 5 – svrchní vrstvy godulské, 6 – istebňanské vrstvy, 7 – geologický zlom, 8 – pozice studovaných lokalit, 9 – pozice a ID vzorkovaných stromů.

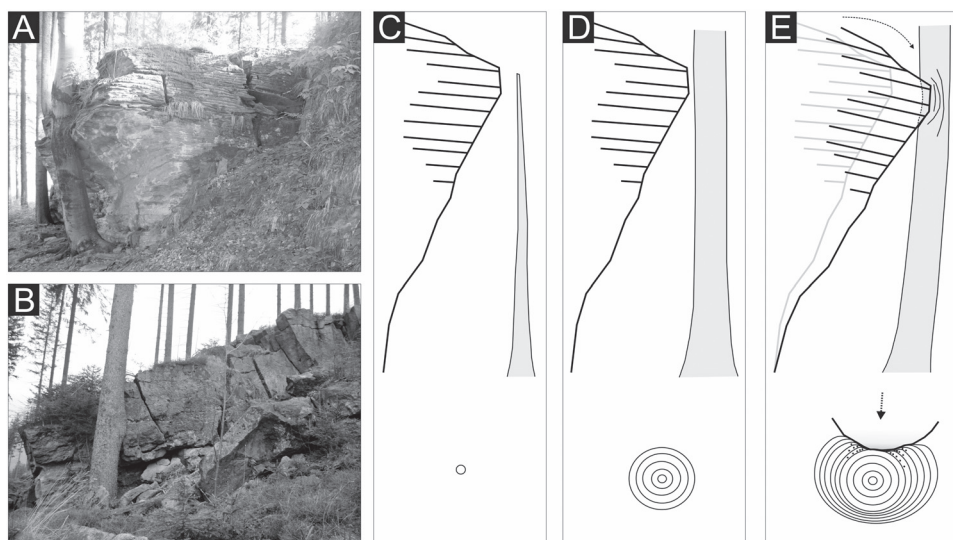
představují odlišnou část rozsáhlejšího sesuvného území. Bloky jsou tvořeny mocnými vrstvami ostravického pískovce (součást godulského souvrství; Menčík, Tyráček 1985). Lokalita *Ropice* ( $49^{\circ}36,1' S / 18^{\circ}35' V$ ) leží v nadmořské výšce 830 m n. m. a její svah je orientován severním směrem. Obnažený skalní blok představuje odsedající část skalnaté dílčí odlišné hrany rozsáhlejšího sesuvného území (Pánek a kol. 2009). Litologicky je tvořen masivními pískovci středního oddílu godulských vrstev (Menčík, Tyráček 1985). Lokalita *Smrk* ( $49^{\circ}30,5' S / 18^{\circ}24,5' V$ ) se nachází na východním okraji stejnojmenného masivu v nadmořské výšce 740 m n. m. Obnažený skalní blok je v podstatě

destabilizovaná část strukturně predisponovaného skalního žebra, tvořeného hrubě rytmičnými pískovci středního oddílu godulských vrstev (Menčík, Tyráček 1985). Lokalita Červenec (49°26,8' S / 18°17' V) leží na severním okraji vrcholu Červenec v nadmořské výšce 750 m n. m. Jedná se o lokální výchoz skalního podloží s příkrrou skalní stěnou tvořenou pískovci a slepenci istebňanského souvrství (Menčík, Tyráček 1985).

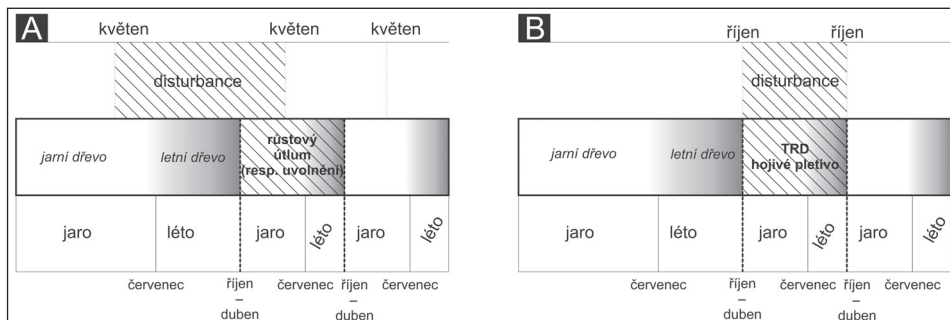
### 3. Metody

Na každé lokalitě se v těsné blízkosti pohybujícího se skalního bloku vyskytoval jeden strom, který byl v evidentním kontaktu se skalním blokem (obr. 2). Pouze na lokalitě Smrčina se vyskytovaly tři poškozené stromy v různých částech svahu a na lokalitě Smrk dva stromy. Jejich pozice byla zaměřena pomocí GPS a vynesena do mapy. Další základní procedura na všech lokalitách představovala změření obvodu stromů ve výšce odběru vzorků, změření výšky kontaktu bloku s kmenem nad zemí a změření velikosti vychýlení kmenu z původní vertikální pozice. Velmi pečlivou inspekci povrchu stromu a jeho okolí byly vyloučeny jiné vlivy na vznik jejich poškození než pohyb bloku.

Všechny lokality se nacházejí na chráněném území CHKO Beskydy, což znemožňovalo vzorkování všech stromů realizací příčných řezů. Jeden příčný řez bylo možné odebrat pouze z jednoho stromu na lokalitě Smrčina, který byl ve výšce ~4 m nad zemí přelomený, a byl již mrtev. Příčný řez byl odebrán v místě největšího rozsahu poškození kmenu vlivem zabořujícího se bloku ve výšce 2,5 m. Z ostatních stromů byla odebrána vrtná jádra ( $\varnothing$  0,5 mm, délka



Obr. 2 – Projevy zabořování skalního bloku do kmenu stromu: A – poškozený kmen stromu na lokalitě Smrk; B – poškozený kmen stromu na lokalitě Smrčina; C – výška stromu v době, kdy již mohlo dojít ke kontaktu; D – neovlivněný strom rostoucí v blízkosti skalního bloku; E – efekt pohybu skalního bloku na růst stromu.

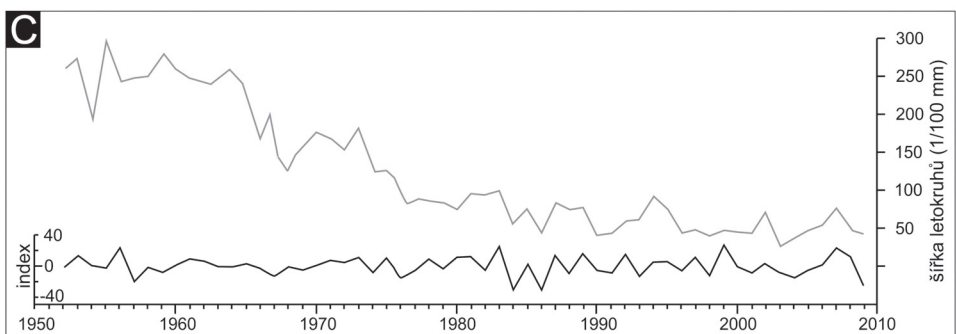
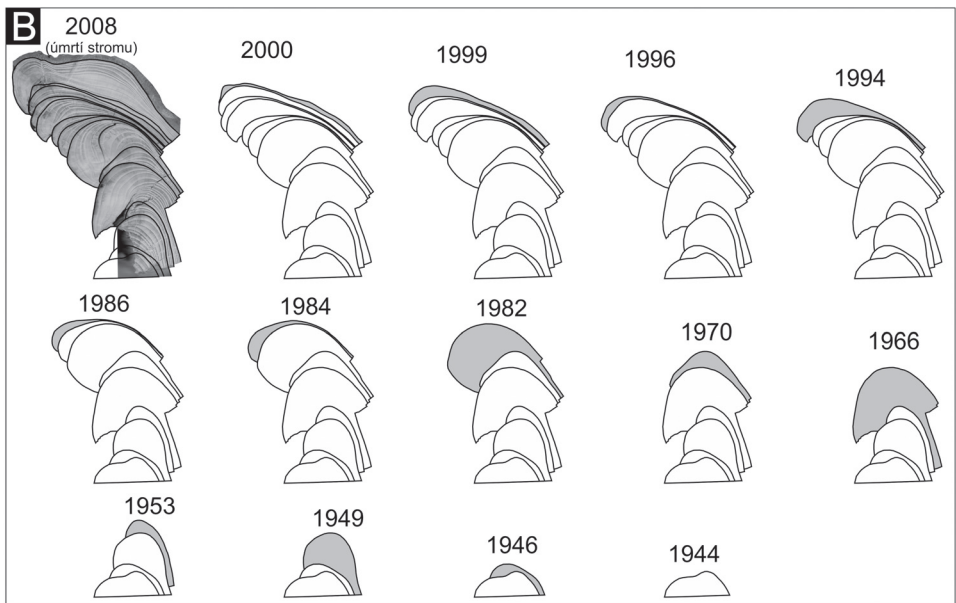
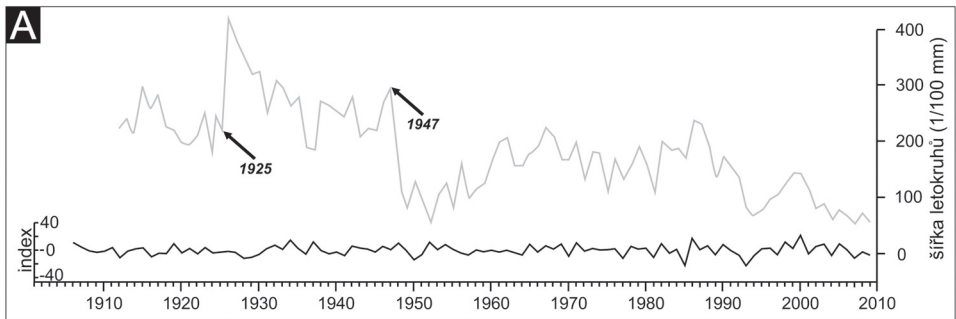


Obr. 3 – Princip intrasezónního datování geomorfologických disturbancí: A – určení okamžiku vzniku procesu projevujícího se náhlým růstovým útlumem nebo rozšířením letokruhů, B – určení okamžiku vzniku procesu projevujícího se výskytem hojivého pletiva a TRD.

max. 40 cm) pomocí Presslerova přírůstového nebozezu. Jádra byla odebrána ve výšce největšího poškození kmene vlivem zabořujícího se bloku. Jedno jádro bylo odebráno z opačné strany než byl směr poškození a další jádro kolmo k němu. Navíc byla odebrána vrtná jádra z 15 stromů každého druhu (smrk tepilý a buk lesní), rostoucích na stabilním místě mimo sesuvné území, pro konstrukci referenční chronologie.

Vzorky byly zpracovány standardní metodikou, kterou popsal Stoffel a Bollschweiler (2008). Spočívala v sušení, lepení jader do dřevěných drážek, broušení počítání letokruhů, měření jejich šírek pomocí zařízení *TimeTable* a zpracování pomocí dendrosoftware P.A.S.T4 (V.I.A.S. 2005). Každý vzorek byl křížově datován s referenční chronologií pro určení chybějících nebo falešných letokruhů. V případě příčného řezu z mrtvého stromu na lokalitě Smrčina bylo křížové datování s referenční chronologií využito pro stanovení roku úmrtí stromu.

Na příčném řezu byly určeny roky pohybu bloků pomocí datování jizev, které vznikly po poškození kmenu povrchem bloku (obr. 4b). U všech jizev bylo možné navíc určit i období vzniku jizvy, a to podle pozice hojivého pletiva (kalus, strom jím zaceluje své poškození) a traumatických pryskyřičných kanálek (TRD – odezva stromu na své poškození) v rámci jednoho letokruhu se sezónní přesností na jarní (duben – červenec), letní (červenec – říjen) a období růstového klidu (říjen – duben; Schweingruber a kol. 1990; Stoffel a kol. 2005b). Podobnější přehled o aplikovaném principu intrasezónního datování udává obrázek 3. Vrtná jádra byla podrobena vizuální inspekci jejich povrchu. Byla zjišťována a datována přítomnost TRD a reakčního dřeva (tlakové dřevo u jehličnanů, jímž stromy kompenzují naklonění kmenu vlivem externích zásahů (Schweingruber 1996). Přírůstové křivky byly porovnány s referenční chronologií, s cílem určit výrazné náhlé odchylky (zúžení nebo rozšíření letokruhů jako reakce stromu na poškození kmenu (Schweingruber 1996; obr. 4a, c). Výsledky byly znázorněny pomocí skeletonových grafů (Schweingruber a kol. 1990). Jako rok, kdy došlo k poškození stromu pohybujícím se blokem, byl určen ten, kdy se na jednom stromě vyskytly alespoň 2 indicie (jizvy, kompresní dřevo, TRD nebo přírůstové anomálie v případě *P. abies*, a přírůstové anomálie v případě *F. sylvatica*). Zároveň byl jako rok s výskytem pohybu bloku označen pouze ten, kdy došlo k iniciálnímu výskytu růstové disturbance, což bylo nutné kvůli



Obr. 4 – Ukázky konkrétních datovaných projevů pohybu skalních bloků na vybraných vzorcích: A – přírůstová křivka s projevy růstových útlumů a náhlého rozšíření letokruhů; B – vývoj zabořování skalního bloku do kmenu, zaznamenaný sérií zarostlých jizev odhalených v příčném řezu kmenem; C – přírůstová křivka stromu, který je v kontaktu se skalním blokem, ale nevykazuje žádné růstové reakce na zabořování bloku (lokality Červenec).

odfiltrování vlivu potenciální setrvačnosti výskytu např. TRD nebo reakčního dřeva (Tumajer, Tremel 2013).

Meteorologická data pro analýzu potenciálních událostí vedoucích k iniciaci pohybu skalních bloků byla použita ze stanice Lysá hora (1323 m). Stanice poskytuje nejdelší kontinuální řadu denního měření srážek a všechny lokality se nacházejí do vzdálenosti 15 km od ní. Pozornost byla zaměřena na celkové roční úhrny srážek, maximální denní úhrny srážek a průměrné roční teploty. Teplotní extrémny nebyly analyzovány z důvodu předpokládaných vysokých odlišností mikroklimatických podmínek, panujících na různě orientovaných studovaných lokalitách a meteorologické stanici.

## 4. Výsledky

### 4.1. Stromy: tloušťka, vyklonění, výška, poškození, stáří, druh

Na všech čtyřech lokalitách bylo vzorkováno celkem sedm stromů (1–7). Z nich bylo šest v přímém kontaktu se skalním blokem. Pouze na lokalitě Smrk byl vzorkován navíc jeden strom (6), který rostl přímo na bloku a mohl tak zaznamenat jeho pohyby ve své letokruhové sérii v podobě reakčního dřeva. Bylo vzorkováno šest zástupců smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) Karst.) a jeden buk lesní (*Fagus sylvatica* L.). Z analyzovaných stromů bylo odebráno celkem 12 přírůstových jader a jeden příčný řez. Podrobnější informace o pozici vzorkovaných stromů udává tabulka 1.

Skalní bloky byly v kontaktu s kmeny stromů v průměrné výšce 2,7 m nad zemí (maximálně 4,7 m; minimálně 1,2 m). Ze stromů, které byly v kontaktu s blokem bylo pouze pět vychýlených z vertikální pozice. Bez vychýlení kmenu byl pouze jeden strom na lokalitě Červenec, a jeden strom na lokalitě Smrk, který ovšem rostl na bloku. Průměrné naklonění kmenu vlivem tlaku skalního bloku bylo 6,4°. Průměr kmenu všech stromů byl 38,9 cm (maximální 62,4 cm; minimální 19,8 cm). Průměrné stáří stromů ve výšce odběru vzorků bylo 105,1

Tab. 1 – Druhy odebraných vzorků a pozice vzorkovaných stromů

Strom ID	Druh	Lokalita	Přírůstová jádra	Příčné řezy	Pozice bloku	Mechanismus pohybu
1	<i>Picea abies</i>	Smrčina	2	0	vrcholová část – nejvýše	boční rozvolňování
2	<i>Picea abies</i>	Smrčina	2	0	vrcholová část – prostřední	odsedání
3	<i>Picea abies</i>	Smrčina	0	1	vrcholová část – nejnižší	odsedání
4	<i>Picea abies</i>	Ropice	2	0	odlučná stěna	odsedání
5	<i>Fagus sylvatica</i>	Smrk	2	0	hřeben	rotace
6	<i>Picea abies</i>	Smrk	2	0	hřeben	rotace
7	<i>Picea abies</i>	Červenec	2	0	vrcholová část	boční rozvolňování

Tab. 2 – Morfometrické a dendrometrické projevy kontaktu stromů a skalních bloků

Lokalita	Strom ID	Druh	Výška kontaktu (m)	Vychýlení kmenu ve výšce kontaktu (m)	Průměr kmenu (cm)	Stáří (roky)	Roční přírůstek (mm/rok)	Sklon kmenu
Smrčina	1	<i>Picea abies</i>	3,4	0,31	35,4	108	3,2	5,2
	2	<i>Picea abies</i>	2,3	0,28	32,0	102	3,1	6,9
	3	<i>Picea abies</i>	1,2	0,12	34,5	116	3,0	5,7
Ropice	4	<i>Picea abies</i>	1,9	0,19	61,0	106	5,7	5,7
Smrk	5	<i>Fagus sylvatica</i>	2,8	0,42	62,4	122	5,1	8,5
	6	<i>Picea abies</i>	—	0	27,3	115	2,4	
Červenec	7	<i>Picea abies</i>	4,7	0	19,8	67	2,9	

roků (maximální 122 let; minimální 67 let). Kompletní informace o dendrometrických projevech kontaktu stromů a skalních bloků udává tabulka 2.

Dendrometrické a morfometrické parametry stromů byly vzájemně korelovány. Počet zaznamenaných eventů pozitivně koreluje se stářím stromů ( $r = 0,48$ ). Výška kontaktu kmenu s blokem nemá vliv na velikost naklonění kmenu ( $r = 0,17$ ) a množství eventů neovlivňuje průměrný roční tloušťkový přírůstek stromu ( $r = -0,04$ ).

#### 4.2. Datování pohybu bloků

V odebraných vrtných jádrech a příčném řezu bylo identifikováno celkem 54 potenciálních projevů zaboření bloku do stromu (růstových disturbancí). Nejčastějším projevem byl náhlý růstový útlum nebo rozšíření letokruhů (31 %). Naopak nejméně častým projevem byl výskyt reakčního dřeva (15 %). Kompletní přehled o počtu a zastoupení jednotlivých datovaných růstových disturbancí udává tabulka 3.

Pomocí datování těchto projevů bylo určeno 22 roků, kdy došlo k pohybu alespoň jednoho bloku za posledních téměř 100 let (obr. 5). Na lokalitě *Smrčina* byl první pohyb bloku datován do roku 1925, čímž začíná první ze čtyř výraznějších shluků let s pohybem bloku. Až do roku 1953 došlo k 9 zaznamenaným pohybům. K dalším pohybům došlo až v letech 1966, 1968 a 1970 po 13letém období klidu. Po těchto pohybech následuje další období klidu až do roku 1982, od kdy došlo v rozmezí 5 let (do roku 1986) ke 4 pohybům. Poslední období pohybů bylo mezi roky 1994 až 2000 se čtyřmi datovanými pohyby. Pohyb nejdříve situovaného bloku je omezen pouze na období 1925 až 1947 se

Tab. 3 – Identifikované růstové disturbance

	Jizvy	TRD	Růstový útlum nebo rozšíření letokruhů	Reakční dřevo	Celkem	Počet zrekonstruovaných roků s pohyby
Počet	13	16	17	8	54	22
Procent	24	30	31	15	100	100

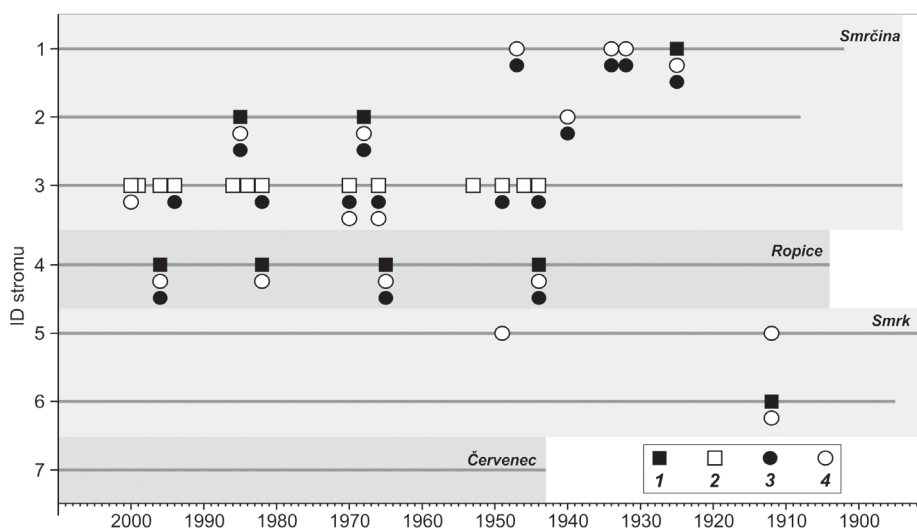


Tab. 4 – Počet a frekvence datovaných pohybů skalních bloků

Lokalita	Eventů pohybů	Frekvence (roky)	Průměrná frekvence (roky)
Smrčina	4	27,0	5,1
	3	34,0	
	13	8,9	
Ropice	4	26,5	26,5
Smrk	3	40,7	23,0
	2	57,5	
Červenec	0	—	—

čtyřmi pohyby. Pohyby prostředního bloku se vyskytovaly s delšími časovými pauzami v letech 1940, 1968 a 1985. Nejníže situovaný blok se pohyboval od roku 1944 do roku 2000. U tohoto bloku bylo rovněž možné provést datování s intrasezonální přesností. Ke 12 ze 13 datovaných pohybů tohoto bloku došlo v rozmezí měsíců duben–červenec (tj. růstová disturbance se vyskytla v mladší části letokruhu s jarním dřevem), a pouze v jednom případě (2000) došlo k pohybu mezi červencem a říjnem (tj. růstová disturbance se vyskytla ve starší části letokruhu s výskytem letního dřeva). Žádný z intrasezonálně datovaných pohybů bloků se nevyskytnul v období růstového klidu. Průměrná doba opakování pohybů skalních bloků je za celé časově pokryté období 5,1 roků.

Na lokalitě *Ropice* byly určeny čtyři roky s pohybem bloku. Mezi všemi je vždy minimálně 13leté období klidu. Všechny čtyři roky (1944, 1965, 1982, 1996) však spadají do jednotlivých shluků let s pohyby bloků prokázanými na lokalitě *Smrčina*. Doba opakování pohybů je na této lokalitě 26,5 let.



Obr. 5 – Chronologie datovaných událostí pohybů skalních bloků na jednotlivých lokalitách (délka horizontálních linií – stáří analyzovaných stromů ve výšce odběru vzorku). 1 – reakční dřevo, 2 – jizva, 3 – TRD, 4 – náhlé růstové zúžení/rozšíření.

Dva stromy bylo možno použít k datování na lokalitě *Smrk*. Aktivita bloku byla prokázána v roce 1912. V úvahu přichází i rok 1949 kdy na obou stromech byla zjištěna jedna indicie. Navíc v tomto roce došlo k pohybu i na lokalitě *Smrčina*. Doba opakování pohybů na této lokalitě je 23 let.

Na lokalitě *Červenec* byl analyzován jeden strom. Z jeho přírůstových křivek (obr. 4c) ani z vizuální inspekce upraveného povrchu přírůstových jader nebylo možné identifikovat žádnou růstovou disturbanci, která by byla způsobena zabořováním skalního bloku do jeho kmenu.

Podrobné informace o počtu zrekonstruovaných eventů a jejich frekvenci na jednotlivých lokalitách udává tabulka 4.

#### 4.3. Analýza potenciálních řídicích faktorů pohybu skalních bloků

Průměrné roční teploty v letech, kdy došlo k pohybu skalních bloků, nevykazují žádnou statisticky významnou odchylku od průměrných teplot v letech, kdy k pohybům nedošlo. Naproti tomu průměrné roční sumy srážek v letech s pohybem bloků jsou vyšší (1 492 mm) ve srovnání s ostatními roky (1 449 mm). Ani tyto průměry však nejsou statisticky významné. Nejvýraznější je odchylka maximálních jednodenních srážek v letech s pohybem (průměrně 93 mm) a letech bez pohybu (průměrně 82 mm). Nicméně, ani tyto hodnoty nejsou statisticky významné. Podrobnější informace o provedených analýzách a jejich významnosti udává tabulka 5.

### 5. Diskuse

Pohyby sesuvných bloků byly dendrogeomorfologickými metodami zkoumány mnohokrát (Stefanini 2004, Burda 2011, Lopez Saez a kol. 2012, Šilhán 2012a, Šilhán a kol. 2013). Ovšem analýza pohybu skalních bloků, které mohou být součástí většího sesuvného území, s využitím analýzy stromů, které rostou v jejich blízkosti, a do kterých se daný blok zabořuje, je novinkou. Přístup prezentovaný v této studii vychází v podstatě ze dvou dendrogeomorfologických konceptů aplikovaných při studiu skalního řízení a sesuvných pohybů. Pohyb skalních bloků totiž na strom působí tlakem, který způsobuje naklonění kmenu stromu podobně jako sesuvný pohyb (Braam, Weiss, Burrough 1987), přičemž zároveň dochází i k poškození kmene jako u skalního řízení (Stoffel, Perret 2006).

Tab. 5 – Porovnání srážkových a teplotních poměrů v letech s pohybem a bez pohybu

	Maximální jednodenní srážka (mm)	Průměrné roční teploty (°C)	Roční suma srážek (mm)
Průměr (roky s eventy)	93	2,7	1 492
Průměr (roky bez eventů)	82	2,7	1 449
P-hodnota z t-testu	0,133	0,850	0,247

## 5.1. Potenciál metody pro rekonstrukci pohybů

Stejně tak jako u každé dendrogeomorfologické studie, je i v tomto případě základním omezením stáří vzorkovaných stromů. Je zcela běžné, že první jedna až dvě dekády růstu stromu se při chronologických rekonstrukcích neberou v potaz (Stoffel, Bollschweiler 2008), protože stromy jsou v tomto období ještě příliš citlivé na negeomorfologické vlivy (např. tlak sněhové pokrývky). V případě námi prezentovaného konceptu nabývá tento aspekt ještě většího významu. Může totiž trvat mnoho let, než strom doroste do výšky, kde se dostane do kontaktu se skalním blokem. V tomto období ještě strom nemohl zaznamenat pohyb bloku, ačkoliv již žil. I z tohoto důvodu je nutné vycházet ze stáří stromu ve výšce odběru a ne z absolutního stáří stromu. Jakmile strom doroste do výšky kontaktu se skalním blokem je v této výšce stále ještě velmi pružný a nemůže zaznamenat pohyb bloku. Má-li být strom schopný zaznamenat pohyb bloku, je potřeba, aby byl v místě kontaktu dostatečně široký a pevný. V naší studii byl strom široký minimálně 7,4 cm, aby byl schopen zaznamenat pohyb bloku. Jeho stáří ve výšce kontaktu tehdy bylo 23 let.

Kontakt stromu se skalním blokem však nemusí znamenat, že došlo k pohybu skalního bloku. Stromy rostoucí v blízkosti bloku zvyšují se svým stářím i tloušťku kmenu. Kmeny se tak v podstatě neustále přibližují k bloku. Od určitého okamžiku je již kontakt tak intenzivní, že strom začne skalní blok obrůstat. V tomto případě nedochází k vychýlení kmenu ani k jeho významnému poškození. Takový případ nastal u stromu na lokalitě Červenec. Strom, který je v kontaktu se skalním blokem, nevykazoval známky naklonění kmenu (tab. 2), a ani jeho letokruhové série nevykazují žádné růstové disturbance (obr. 4c). Na základě těchto faktů je zřejmé, že na lokalitě Červenec nedochází k pohybu skalního bloku.

Je potřeba zmínit ještě jedno omezení tohoto konceptu, které se však týká prakticky všech dendrogeomorfologických přístupů. Výsledky získané analýzou vrtných jader je potřeba brát pouze jako minimální. Kompletnější představu o způsobu pohybu bloku totiž může poskytnout pouze příčný řez. I v této studii se tak ukázaly omezené možnosti vrtných jader (na lokalitě Smrčina zaznamenaly průměrně 3,5 eventu pohybu) oproti příčným řezům (na stejné lokalitě zaznamenaly 13 eventů pohybu).

## 5.2. Vliv pohybu skalního bloku na růst stromu

Odlišný charakter pohybu oproti klasickému skalnímu řízení nebo sesuvným pohybům se projevil i ve specifických projevech na stromech. Efekt kontaktu bloku s kmenem není tak agresivní jako náraz úlomku při skalním řízení, což se projevilo menším zastoupením hojivého pletiva v datovaných růstových disturbancích. Na fyzický stres vyvolaný blokem naopak strom reaguje dominantně změnou tloušťkového přírůstku a tvorbou TRD (tab. 3). Náhlé rozšíření letokruhů tak zřejmě není výsledkem výskytu reakčního dřeva nebo ztrátou kompetičního tlaku, ale zvýšenou excentricitou růstu v místě kontaktu kmenu se skalním blokem. Zajímavé je velmi malé zastoupení reakčního (kompresního) dřeva. Jedná se totiž o dominantní reakci stromů na své naklonění (Shroder

1978). Vzhledem k tomu, že příčina naklonění při kontaktu se skalním blokem trvá, není strom schopen své naklonění vyrovnat, a tak je i tvorba reakčního dřeva značně utlumena.

Je nutno zdůraznit, že veškeré analýzy anatomických změn a letokruhových anomálií byly provedeny v místě kontaktu kmenu se skalním blokem, tedy v místě předpokládaných nejvýraznějších růstových projevů. Růstové disturbance se však mohou projevit i v jiných částech kmene než přímo v místě kontaktu (Gärtner, Heinrich 2009; Tumajer, Treml 2013).

Jak však prokázal např. Schneuwly a kol. (2009) v případě TRD, intenzita projevů se s rostoucí vzdáleností od místa poškození snižuje. Analýzu vrtných jader (resp. příčných řezů) je tak možné doporučit i pro místa na kmeni více vzdálená od kontaktu se skalním blokem. V takových případech je již velmi obtížné (případně nemožné) dosáhnout intrasezónní přesnosti datování (Bollschweiler a kol. 2008). V případě výše zmíněného reakčního dřeva je možné očekávat jeho výraznější výskyt v místě nad kontaktem s blokem. V tomto místě již není pozice kmenu fixována blokem a strom se může navrátit do své původní vertikální pozice.

Zjištěná pozitivní vazba počtu eventů a stáří stromů je relativně běžným faktem i u jiných typů dendrogeomorfologických studií (Stoffel, Perret 2006; Šilhán, Pánek, Hradecký 2012). Specifikum vlivu pohybu bloků na růst stromů se může projevit ve vazbě počtu zaznamenaných eventů a průměrném tloušťkovém přírůstku. Na rozdíl od skalního řícení, kde byla několikrát zjištěna silná nepřímá úměra (Stoffel, Perret 2006; Šilhán 2010), se tento vztah u pohybu bloků jeví jako zanedbatelný. Je však potřeba zdůraznit malý statistický vzorek zkoumaných stromů a pro potvrzení tohoto předpokladu uskutečnit další výzkumy. V případě potvrzení by příčinou mohla být absence ztráty vzrůstového vrcholu vlivem pohybu bloků. K čemuž naopak často dochází v případě skalního řícení (Stoffel, Perret 2006).

### 5.3. Potenciální řídicí faktory pohybu bloků

Prezentovaná analýza potenciálních řídicích faktorů vzniku pohybu skalních bloků, představuje pouhý náhled do složitější problematiky, která ovšem není přímým objektem této studie. Ačkoliv žádný ze sledovaných ukazatelů nevykazoval statisticky významnou vazbu, je možné vysledovat alespoň náznaky vůdčích řídicích faktorů. Nejvýraznější vliv vykazovaly extrémní krátkodobé srážkové úhrny. Skutečnost, že se může jednat o iniciační faktor, naznačuje i intrasezónní datování pohybu bloků, kdy maximální denní srážkový úhrn za rok se vyskytnul vždy v období, kdy došlo k pohybu bloku (obr. 6). Předpokládáme, že dlouhodobé srážkové úhrny tento vliv doplňují. Ačkoliv nebyl prokázán vliv dlouhodobých teplot na pohyb bloků, nelze jej teoreticky vyloučit, neboť mikroklimatické podmínky v místě bloků se liší od podmínek, zaznamenaných na několik kilometrů vzdálené meteorologické stanici. Celkový vliv na pohyb bloků je však pravděpodobně výsledkem složitější kombinace několika faktorů, mezi něž by v prostředí Moravskoslezských Beskyd bylo možné zahrnout i výkyvy v průměrných měsíčních teplotách (Brázdil a kol. 2012) nebo počty regulačních cyklů (Šilhán a kol. 2011).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2000							35,3 ●					
1999						68,6 ●						
1996								158,8 ●				
1994			82,8 ●									
1986							48,3 ●					
1984				53,7 ●								
1982						92 ●						
1970							148 ●					
1966					80 ●							
1953							40 ●					
1949							200 ●					
1946						32,7 ●						
1944							82,5 ●					

Obr. 6 – Porovnání výskytu intrasezónně datovaných pohybů skalních bloků a výskytu dnů s nejvyšším srážkovým úhrnem v daný rok (šedá pole – období výskytu pohybu skalního bloku).

Jako potenciální řídicí faktor však nelze vyloučit, a v případné další analýze řídicích faktorů by bylo vhodné zvážit, i projevy seismicity, zaznamenané v předpolí Moravskoslezských Beskyd, případně uvolňování napětí v horninovém masívu s ohledem na vzdálenost lokalit od destruovaného čela flyšového příkrovu. Je důležité podotknout, že pokud by byly řídicí faktory pohybu bloků na všech lokalitách stejné, mohl by se výsledek jejich působení projevit odlišně v závislosti na rozdílném geomorfologickém vývoji studovaných lokalit.

## 6. Závěr

Výzkum pohybu skalních bloků analýzou stromů, do kterých se tyto bloky zabořují je zcela nový dendrogeomorfologický přístup. Jeho relevance byla testována na čtyřech lokalitách v Moravskoslezských Beskydech. Analýzou sedmi stromů, rostoucích v blízkosti skalních bloků, bylo určeno 22 let, kdy došlo k pohybům skalních bloků za posledních přibližně 100 let.

Ukázalo se, že pohyb skalních bloků je specifickým procesem, na který stromy reagují odlišným způsobem než na jiné geomorfologické procesy (zejména skalní řízení a sesuvné pohyby). Stromy postižené zabořováním skalního bloku neprodukují příliš hojivého pletiva, ale dominantně reagují tvorbou traumatických pryskyřičných kanálků a změnou šířek letokruhů. Navíc byla zjištěna unikátní reakce, kdy stromy na své naklonění vlivem tlaku skalního bloku produkují jen velmi málo reakčního dřeva.

Analýza meteorologických dat naznačila potenciální řídicí faktory ovlivňující vznik pohybu bloků, ačkoliv žádný z nich nebyl statisticky významný. Z analyzovaných faktorů se jako nejvýznamnější jeví extrémní krátkodobé srážky, což potvrdilo i intrasezónální datování pohybu skalních bloků.

## Literatura:

- BOLLSCHWEILER, M., STOFFEL, M., EHMISCH, M., MONBARON, M. (2007): Reconstructing spatio-temporal patterns of debris-flow activity using dendrogeomorphological methods. *Geomorphology*, 87, č. 4, s. 337–351.
- BOLLSCHWEILER, M., STOFFEL, M., SCHNEUWLY, D.M., BOURQUI, K. (2008): Traumatic resin ducts in *Larix decidua* stems impacted by debris flows. *Tree Physiology*, 28, s. 255–263.
- BRAAM, R. R., WEISS, E. E. J., BURROUGH, P. A. (1987): Spatial and temporal analysis of mass movement using dendrochronology. *Catena*, 14, s. 573–584.
- BRÁZDIL, R., ŠILHÁN, K., PÁNEK, T., DOBROVOLNÝ, P., KAŠIČKOVÁ, L., TOLASZ, R. (2012): Meteorological factors related to rockfall in the Moravskoslezské Beskydy Mts. *Geografie*, 117, č. 1, s. 1–20.
- BURDA, J. (2011): Spatio-temporal activity of mass movements in the Krušné hory Mountains (Czech Republic): dendrogeomorphological case study. *AUC Geographica*, 46, s. 15–30.
- CARRARA, P. E., O'NEILL, J. M. (2003): Tree-ring dated landslide movements and their relationship to seismic events in southwestern Montana, USA. *Quaternary Research*, 59, č. 1, s. 25–35.
- COROMINAS, J., MOYA, J. (1999): Reconstructing recent landslide activity in relation to rainfall in the Llobregat River basin, Eastern Pyrenees, Spain. *Geomorphology*, 30, č. 1–2, s. 79–93.
- COROMINAS, J., MOYA, J., LLORET, A., GILI, J. A., ANGELI, M. G., PASUTO, A., SILVANO, S. (2000): Measurement of landslide displacements using a wire extensometer. *Engineering Geology*, 55, č. 3, s. 149–166.
- DIKAU, R., BRUNSDEN, D., SCHROTT, L., IBSEN, M. L. (1996): *Landslide Recognition: Identification, Movement, and Causes*. Wiley, Chichester, 274 s.
- FANTUCCI, R., SORRISO-VALVO, M. (1999): Dendrogeomorphological analysis of a slope near Lago, Calabria (Italy). *Geomorphology*, 30, č. 1–2, s. 165–174.
- GÄRTNER, H. (2007): Tree roots – Methodological review and new development in dating and quantifying erosive processes. *Geomorphology*, 86, č. 3–4, s. 243–251.
- GÄRTNER, H., HEINRICH, I. (2009): The formation of traumatic rows of resin ducts in *Larix decidua* and *Picea abies* (Pinaceae) as a result of wounding experiments in the dormant season. *IAWA Journal*, 30, č. 2, s. 199–215.
- GEERTSEMA, M., CLAGUE, J. J., SCHWAB, J. W., SCHWAB, S. G. (2006): An overview of recent large catastrophic landslides in northern British Columbia, Canada. *Engineering Geology*, 83, č. 1–3, s. 120–143.
- GILI, J. A., COROMINAS, J., RIUS, J. (2000): Using Global Positioning System techniques in landslide monitoring. *Engineering Geology*, 55, č. 3, s. 167–192.
- HRADECKÝ, J., PÁNEK, T. (2008): Deep-seated gravitational slope deformations and their influence on consequent mass movements (case studies from the highest part of the Czech Carpathians). *Natural Hazards*, 45, s. 235–253.
- HRÁDEK, M., MALIK, I. (2007): Dendrochronological records of the floodplain morphology transformation of Desná river Valley in the last 150 years, The Hrubý Jeseník Mts. (Czech Republic). *Moravian Geographical Reports*, 15, č. 3, s. 2–15.
- LOPEZ SAEZ, J., CORONA, C., STOFFEL, M., ASTRADE, L., BERGER, F., MALET, J. (2012): Dendrogeomorphic reconstruction of past landslide reactivation with seasonal precision: the Bois Noir landslide, southeast French Alps. *Landslides*, 9, s. 189–203.
- MALET, J. P., MAQUAIRE, O., CALAIS, E. (2002): The use of Global Positioning System techniques for the continuous monitoring of landslides: application to the Super-Sauze earthflow (Alpes-de-Haute-Provence, France). *Geomorphology*, 43, č. 1–2, s. 33–54.
- MALIK, I. (2008): Dating of small gully formation and establishing erosion rates in old gullies under forest by means of anatomical changes in exposed tree roots (Southern Poland). *Geomorphology*, 93, č. 3–4, s. 421–436.
- MENČÍK, E., ADAMOVÁ, M., DVORÁK, J., DUDEK, A., JETEL, J., JURKOVÁ, A., HANZLÍKOVÁ, E., HOUŠA, V., PESLOVÁ, H., RYBÁŘOVÁ, L., ŠMÍD, B., ŠEBESTA, J.,

- TYRÁČEK, J., VAŠÍČEK, Z. (1983): Geologie Moravskoslezských Beskyd a Podbeskydské pahorkatiny. Ústřední Ústav Geologický, Praha, 304 s.
- MENČÍK, E., TYRÁČEK, J. (1985): Geologická mapa Moravskoslezských Beskyd a Podbeskydské pahorkatiny 1:100 000. ÚÚG, Praha.
- NICOLETTI, P. G. (2005): Inconsistent patterns of historical seismicity and earthquake-triggered landsliding in southeastern Sicily: an alarm bell? *Geomorphology*, 65, č. 3–4, s. 257–278.
- PÁNEK, T., HRADECKÝ, J., MINÁR, J., HUNGR, O., DUŠEK, R. (2009): Late Holocene catastrophic slope collapse affected by deep-seated gravitational deformation in flysch: Ropice Mountain, Czech Republic. *Geomorphology*, 103, č. 3, s. 414–429.
- PÁNEK, T., ŠILHÁN, K., TÁBORÍK, P., HRADECKÝ, J., SMOLKOVÁ, V., LENÁRT, J., BRÁZDIL, R., KAŠIČKOVÁ, L., PAZDUR, A., (2011): Catastrophic slope failure and its origins: case of the May 2010 Girová Mountain long-runout rockslide (Czech Republic). *Geomorphology*, 130, č. 3–4, s. 352–364.
- PERRET, S., STOFFEL, M., KIENHOLZ, H. (2006): Spatial and temporal rockfall activity in a forest stand in the Swiss Prealps – A dendrogeomorphological case study. *Geomorphology*, 74, č. 1–4, s. 219–231.
- PROKEŠOVÁ, R., KARDOŠ, M., MEDVEĐOVÁ, A. (2010): Landslide dynamics from high-resolution aerial photographs: A case study from the Western Carpathians, Slovakia. *Geomorphology*, 115, č. 1–2, s. 90–101.
- SANTILLI, M., PELFINI, M. (2002): Dendrogeomorphology and dating of debris flows in the Valle del Gallo, Central Alps, Italy. *Dendrochronologia*, 20, č. 3, s. 269–284.
- SHRODER, J. F. (1978): Dendrogeomorphological analysis of mass movement on Table Cliffs Plateau, Utah. *Quaternary Research*, 9, s. 168–185.
- SCHNEUWLY, D., STOFFEL, M. (2008): Tree-ring based reconstruction of the seasonal timing, major events and origin of rockfall on a case-study slope in the Swiss Alps. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, č. 2, s. 203–211.
- SCHNEUWLY, D. M., STOFFEL, M., DORREN, L. K. A., BERGER, F. (2009): Three-dimensional analysis of the anatomical growth response of European conifers to mechanical disturbance. *Tree Physiology*, 29, s. 1247–1257.
- SCHWEINGRUBER, F. H. (1996): *Tree Rings and Environment Dendroecology*. Haupt Verlag, Birmensdorf, 938 s.
- SCHWEINGRUBER, F. H., ECKSTEIN, D., SERRE-BACHET, F., BRÄKER, O. U. (1990): Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronologia*, 8, s. 9–38.
- STEFANINI, M. C. (2004): Spatio-temporal analysis of a complex landslide in the Northern Apennines (Italy) by means of dendrochronology. *Geomorphology*, 63, č. 3–4, s. 191–202.
- STOFFEL, M., BOLLSCHWEILER, M. (2008): Tree-ring analysis in natural hazards research – an overview. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, č. 2, s. 187–202.
- STOFFEL, M., BOLLSCHWEILER, M. (2009): Tree-ring reconstruction of past debris flows based on a small number of samples – possibilities and limitations. *Landslides*, 6, č. 3, s. 225–230.
- STOFFEL, M., BOLLSCHWEILER, M., LIÈVRE, I., DELALOYE, R., MYINT, M., MONBARON, M. (2005a): Analyzing rockfall activity (1600–2002) in a protection forest – a case study using dendrogeomorphology. *Geomorphology*, 68, č. 3–4, s. 224–241.
- STOFFEL, M., LIÈVRE, I., MONBARON, M., PERRET, S. (2005b): Seasonal timing of rockfall activity on a forested slope at Täschgufer (Swiss Alps) – a dendrochronological approach. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 49, č. 1, s. 89–106.
- STOFFEL, M., PERRET, S. (2006): Reconstructing past rockfall activity with tree rings: some methodological considerations. *Dendrochronologia*, 24, č. 1, s. 1–15.
- ŠILHÁN, K. (2010): Dendrogeomorphology of spatio-temporal activity of rockfall in the Flysch Carpathians: A Case study on the western slope of Mt. Smrk, Moravskoslezské Beskydy Mts. (Czech Republic). *Moravian Geographical Reports*, 18, s. 33–42.
- ŠILHÁN, K. (2012a): Dendrogeomorphological analysis of evolution of slope processes on flysch rocks (the Vsetínské vrchy Mts; Czech Republic). *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 7, č. 3, s. 39–49.

- ŠILHÁN, K. (2012b): Frequency of fast geomorphological processes in high-gradient streams: case study from the Moravskoslezské Beskydy Mts (Czech Republic) using dendrogeomorphic methods. *Geochronometria*, 39, č. 2, s. 122–132.
- ŠILHÁN, K., PÁNEK, T. (2010): Fossil and recent debris flows in medium-high mountains (Moravskoslezské Beskydy Mts, Czech Republic). *Geomorphology*, 124, č. 3–4, s. 238–249.
- ŠILHÁN, K., BRÁZDIL, R., PÁNEK, T., DOBROVOLNÝ, P., KAŠIČKOVÁ, L., TOLASZ, R., TURSKÝ, O., VÁCLAVEK, M. (2011): Evaluation of meteorological controls of reconstructed rockfall activity in the Czech Flysch Carpathians. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36, č. 14, s. 1898–1909.
- ŠILHÁN, K., PÁNEK, T., HRADECKÝ, J. (2012): Tree-ring analysis in the reconstruction of slope instabilities associated with earthquakes and precipitation (the Crimean Mountains, Ukraine). *Geomorphology*, 173–174, s. 174–184.
- ŠILHÁN, K., PÁNEK, T., DUŠEK, R., HAVLŮ, D., BRÁZDIL, R., KAŠIČKOVÁ, L., HRADECKÝ, J. (2013): The dating of bedrock landslide reactivation using dendrogeomorphic techniques: the Mazák landslide, Outer Western Carpathians (Czech Republic). *Catena*, 104, s. 1–13.
- TUMAJER, J., TREML, V. (2013): Meta-analysis of dendrochronological dating of mass movements. *Geochronometria*, 40, č. 1, s. 59–76.
- VANDEKERCKHOVE, L., MUYS, B., POESEN, J., DE WEERDT, B., COPE, N. (2001): A method for dendrochronological assessment of medium-term gully erosion rates. *Catena*, 45, č. 2, s. 123–161.
- VAN DEN EECKHAUT, M., POESEN, J., GOVERS, G., VERSTRAETEN, G., DEMOULIN, A. (2007): Characteristics of the size distribution of recent and historical landslides in a populated hilly region. *Earth and Planetary Science Letters*, 256, č. 3–4, s. 588–603.
- V.I.A.S. (2005): Vienna Institute of Archaeological Science: Time Table. Installation and instruction manual. Ver. 2.1, Vienna.
- ZIELONKA, T., HOLEKSA, J., CIAPAŁA, S. (2008): A reconstruction of flood events using scarred trees in the Tatra Mountains, Poland. *Dendrochronologia*, 26, č. 3, s. 173–183.

## S u m m a r y

### REGISTRATION OF ROCK BLOCKS MOVEMENTS USING DENDROGEOMORPHIC METHODS: NEW METHODOLOGICAL APPROACH IN A CASE OF LOCALITIES IN THE MORAVSKOSLEZSKÉ BESKYDY MTS.

Rock blocks and large boulders are regularly exposed to various types of mass movements, especially if they are nested in areas deformed by bedrock landslides. Monitoring of their movement is possible through a diverse spectrum of techniques involving e.g. repeated geodetic leveling or extensimetric measurements. However, all of these methods require long-term measurements. In this paper, we are presenting a new methodical procedure based on the dendrogeomorphic analysis which enabled the creation of up to 100-years-long time series of rock blocks movements without any application of long-term monitoring. Based on the identification of tree-rings growth disturbances within trees deformed by tilted blocks, we reconstructed the movements of rock blocks and large boulders even with sub-annual precision.

The approach was tested in four localities in the Moravskoslezské Beskydy Mts. (Smrčina, Ropice, Smrk and Červenec) where rock blocks and boulders are sinking into individual trees. We analyzed a total of 7 trees (6× *Picea abies*, 1× *Fagus sylvatica*). The stems of majority of these trees were in direct contact with tilted blocks; in one case the tree was growing on the surface of a rock block. A total of 12 increment cores and one stem disc were sampled. The samples were processed by the means of standard laboratory dendrogeomorphic techniques. With regard to all the tree-ring series, we identified 54 growth disturbances. The majority of them are associated with growth release or suppression, which points to less pronounced influences of tilted blocks on the growth of these trees. The least frequent type of growth disturbance was the occurrence of reaction wood. This is an important finding, which we



interpret as an outcome of unidirectional progressive tilting of blocks preventing trees from coming back to their vertical position. In such situation, trees do not produce abundant reaction wood. The occurrence of reaction can only be expected in the upper part of the stem above the contact with the rock block. For this reason, we recommend more extensive sampling of affected trees in different parts of the stem.

We determined a total of 22 years with the occurrence of rock block movement. Some of these years are identical throughout different localities, which suggests the existence of regional trigger factors. With respect to possible meteorological triggers, daily precipitation totals exhibit the largest positive anomaly in years with block movements. Differences in temperatures are negligible. Potential influence of maximum one-day precipitation totals for the acceleration of rock blocks tilting is supported by the results of intra-seasonal dating, i.e. anomalous high one-day precipitation totals occurred in vegetation periods to which rock block movements were dated.

Fig. 1 – Location and geological settings of studied localities (white triangle – meteorological station): A – Smrčina, B – Smrk, C – Ropice, D – Červenec. 1 – Lhota Formation, 2 – Ostravice Sandstone, 3 – Lower Godula Formation, 4 – Middle Godula Formation, 5 – Upper Godula Formation, 6 – Istebna Formation, 7 – fault, 8 – study sites, 9 – position and ID of sampled trees.

Fig. 2 – Evidence of rock block sinking into a tree stem: A – a disturbed *Fagus sylvatica* stem in the Smrk site, B – disturbed *Picea abies* in the Smrčina site, C – tree height at the time of the onset of the contact between rock block and a tree stem, D – an unaffected tree growing next to the rock block, E – growth of the tree affected by block toppling.

Fig. 3 – Principles of intra-seasonal dendrogeomorphic dating of geomorphic processes: A – determination of an event based on the abrupt growth suppression or release, B – dating of an event by the identification of calus tissues and tangential rows of resin ducts.

Fig. 4 – Tree-ring evidence of selected examples of rock block movements: A – increment curve with indications of growth suppression and release (locality Smrčina), B – progression of toppling and sinking of a block into a tree stem recorded by a series of overgrown scars within the stem disc (locality Smrčina), C – increment curve of a tree that is in contact with a rock block, but growth pattern indicates no reactions of block sinking (Červenec locality).

Fig. 5 – Chronology of dated events of rock block movements in the studied localities (length of the horizontal lines – age of analysed trees at the sampling height; black point – years with the occurrence of rock block movements). 1 – reaction wood, 2 – scar, 3 – TRD, 4 – abrupt growth decrease/increase.

Fig. 6 – Occurrence of rock block movements dated with intra-seasonal accuracy (grey sectors) and days with the highest one-day precipitation totals in given years.

*Pracoviště autorů: Ostravská univerzita, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoeekologie, Chitussiho 10, 710 00 Ostrava; e-mail: karel.silhan@osu.cz, tomas.paneek@osu.cz.*

*Do redakce došlo 18. 1. 2013; do tisku bylo přijato 22. 11. 2013.*

#### **Citační vzor:**

ŠILHÁN, K., PÁNEK, T. (2014): Registrace pohybu skalních bloků dendrogeomorfologickými metodami: nový metodický přístup na příkladu lokalit v Moravskoslezských Beskydech. *Geografie*, 119, č. 1, s. 50–66.