

PROSTOROVĚ - ČASOVÁ REKONSTRUKCE VÝSKYTU BLOKOVABAHENNÍCH PROUDŮ (PŘÍKLADOVÁ STUDIE S VYUŽITÍM METOD DENDROGEOMORFOLOGIE)

Karel Šilhán*

* Ostravská univerzita, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie, Chittussiho 10, Ostrava-Slezská Ostrava 710 00, karel.silhan@osu.cz

Spatio-temporal reconstruction of debris flows (case study using the methods of dendrogeomorphology)

It is important to know the history of occurrence of debris flows, especially with respect to the potential prediction of their origins in future under the changed climate conditions. The temporal occurrence of debris flows in some localities in the Moravskoslezské Beskydy Mts is known. Nevertheless, it is necessary to replenish these data. Debris flows were dated using the dendrogeomorphic methods in the valley of the Bučací potok Brook on the northern slope of the Smrk Mt. Increment cores and cross sections from 35 predominantly broad-leaf trees growing near the debris flow track were used for dating. Eleven debris flow events from the last 70 years were identified. The reconstructed frequency of debris flows makes it obvious that activity has increased since the mid-1980s. Origins of all debris flows are connected with the occurrence of extreme short-term precipitation totals (often more than 200 mm/day). This study should contribute to the knowledge of debris flow chronology in the Moravskoslezské Beskydy Mts.

Key words: debris flows, dendrogeomorphology, debris fan, the Moravskoslezské Beskydy Mts., the Bučací potok Brook

ÚVOD

Vývoj reliéfu ve vysokých pohořích je silně spjat s erozním i akumulacním působením nebezpečných blokovabahenních proudů (Bollschweiler a Stoffel 2010b). S tímto typem procesu se dnes ale můžeme setkat i ve středně vysokých pohořích. Velikost proudů zde nedosahuje takových rozměrů (Pilous 1973, Kotarba 1989, Malik a Owczarek 2009, Šilhán a Pánek 2010), ovšem za potenciální změny environmentálních podmínek může dojít k dramatické změně i v jejich velikosti i četnosti (Stoffel 2010). Tato v současnosti velmi aktuální problematika je řešena zejména ve vysokých pohořích celého světa (Bollschweiler a Stoffel 2010b). Jedná se o velmi rizikový geomorfologický proces, zejména s ohledem na lidské životy, proto je velmi vhodná a potřebná predikce jeho časového výskytu v budoucím, měnícím se globálním klimatu. Předpokládáme-li jeho silnou vazbu na klimatické podmínky (Guzzetti et al. 2008), je pro odhad budoucího vývoje nutné znát výskyt blokovabahenních proudů v minulosti. Tato data jsou cennější, pokud jsou známy i meteorologické příčiny, případně globálnější klimatické charakteristiky v době jejich vzniku.

Nejpřesnější datovací metodou historické aktivity blokovabahenních proudů představují dendrogeomorfologické přístupy (Alestalo 1971). Tyto metody, vycházející z datování specifické reakce stromů na své ovlivnění geomorfologickým procesem (Schweingruber 1996), umožňují datovat široké spektrum procesů s roční, za příznivých podmínek dokonce i se sezónní přesností.

Moravskoslezské Beskydy představují středně vysoké pohoří, kde vznikaly a stále vznikají blokobahenní proudy různých velikostí (Šilhán a Pánek 2010). Jejich výskyt je zde téměř výhradně vázán na morfometricky nejexponovanější kulminační partie. V současnosti vznikající proudy dosahují řádově stovky m³ a často představují pouze lokální reaktivaci materiálu uloženého mnohem většími staršími proudy (potenciálně až pleistocenními; Šilhán a Pánek 2010). Ačkoliv je odtud již částečně známa chronologie proudů, jedná se prozatím o jednotlivé izolované lokality. Přesto a i právě proto je nutné dále znalosti o časovém výskytu těchto závažných procesů doplňovat a rozšiřovat.

V souladu se současnými vysoce aktuálními aspekty blokobahenních proudů lze cíle této studie shrnout do následujících bodů:

- sestavit na vybrané lokalitě maximálně dlouhou řadu výskytu blokobahenních proudů,
- zrekonstruovat prostorový rozsah jednotlivých událostí,
- zjistit meteorologické události vedoucí ke vzniku proudů.

ÚZEMÍ

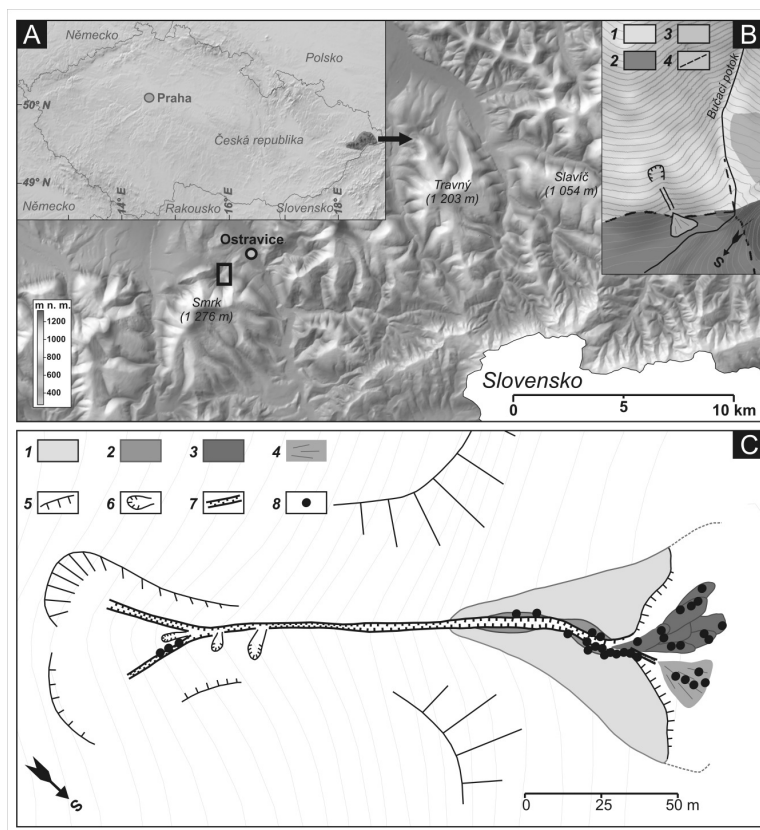
Moravskoslezské Beskydy představují středně vysoké terciérní pohoří s prokázaným výskytem blokobahenních proudů. Vhodné podmínky pro vznik proudů představují zejména velmi strmé dlouhé svahy s mocnými vrstvami zvětralin a výrazné klimatické podmínky s četnými výskyty vysokých krátkodobých srážkových úhrnů (i více jak 200 mm/24h).

Studovaná lokalita leží na pravém břehu Bučacího potoka v severní části hory Smrk – 1 276 m (obr. 1a, b). Jedná se o typicky vyvinutý kužel s četnými známkami výskytu blokobahenních proudů jako jsou podélné valy, erozní koryta a lalokovité akumulace. Zdrojová zóna proudů leží ve výšce 690 m n. m. a celkové převýšení až k čelu kuželu je 120 m. Vlastní zdrojová zóna má dvě samostatné části, přičemž morfologicky výraznější je část jižnější. Vyšší aktivita je ale patrna v části severnější. Kužel lze rozdělit do dvou odlišných partií. Horní dvě třetiny kuželu představuje zachovaný povrch již stabilního starého kuželu, který je pouze ve své střední části proříznutý erozním korytem pohybujících se proudů. Ve spodní části se povrch starého kuželu nezachoval. Tato partie je tvořena čerstvými lalokovitými akumulacemi blokobahenních proudů v jižní části a mělkými pokryvy jemnějšího uloženého materiálu v části severní (obr. 1c). Celková délka kuželu je ~100 m a šířka ~80 m. Lokalita je orientována SZ směrem. Zdrojová a transportní zóna proudů se zařezává do lavicovitých pískovců a slepenců středního oddílu godulských vrstev. Vlastní kužel leží na jílovcích lhoteckých vrstev.

METODY

Terénní postupy

Každému dendrogeomorfologickému výzkumu musí předcházet podrobné geomorfologické mapování. Analyzovaná lokalita byla zmapována v měřítku 1:500 se zaměřením na erozní a akumulací tvary spojené s aktivitou blokobahenních proudů. Do mapy byly navíc zaneseny pozice všech vzorkovaných stromů.



Obr. 1. Pozice, geologické a geomorfologické poměry lokality

A) lokalizace zájmového území v rámci ČR a MS Beskyd, B) bližší náhled na geologické poměry lokality (1 – střední oddíl godulského souvrství, 2 – lhotecké vrstvy, 3 – spodní oddíl godulského souvrství, 4 – zlom), C) podrobná geomorfologická mapa zájmové lokality (1 – stabilizovaný povrch starého kuželu, 2 – boční valy, 3 – akumulace laloky blokovobahenních proudů, 4 – plochý kužel, 5 – výrazný stupeň, 6 – čerstvé svahové nátrže, 7 – transportní zóna blokovobahenních proudů, 8 – pozice vzorkovaného stromu)

V dalším kroku byly vzorkovány stromy, které vykazovaly své ovlivnění aktivitou blokovobahenních proudů (pohřbení báze kmene, poškození kmene nebo kořenů, případně naklonění kmene). Stromy byly vzorkovány pomocí Presslerova přírůstového nebozazu (max. $0,5 \times 40$ cm). Z každého stromu byla odebrána dvě vrtná jádra: jedno ve směru působení procesu a druhé z opačné strany. Výška odběru byla buď v místě poškození kmene, nebo co nejbližší k zemi pro získání co nejdelšího časového záznamu. Z kořenů byly odebrány příčné řezy ruční pilkou v místě poškození kořenu. Pro zjištění „normálních“ přírůstových podmínek na dané lokalitě bylo navíc odebráno 30 vrtných jader z 15 stromů neovlivněných aktivitou proudů, z nichž byla sestavena referenční chronologie.

Laboratorní postupy

Laboratorní zpracování bylo provedeno podle standardní procedury, kterou popsali např. Stoffel a Bollschweiler (2009). Základní kroky zahrnují sušení vzorků, jejich lepení do stabilizačních drážek, broušení, leštění, počítání letokruhů a měření jejich šířek na měřicím stole TimeTable pomocí software PAST4. Pro odhalení falešných nebo chybějících letokruhů byl každý vzorek křížově datován (cross-dating) s křivkou referenční chronologie.

Při stanovení roku vzniku proudu si bylo v letokruhových sériích všimáno několika základních projevů: náhlé zúžení šířky letokruhů (výsledek pohřbení báze kmenu, nebo poškození kmenu), náhlé rozšíření šířek letokruhů (výsledek usmrcení sousedního kmene a snížení kompetičních podmínek), přítomnost traumatických pryskyřičných kanálek (TRD) a kalus – hojivé pletivo (výsledek poškození kmenu nebo kořenu a jeho zajizvení).

Existují dva základní přístupy rekonstrukce blokovahenních proudů: kvantitativní – založen na minimálním počtu stromů, vykazujících růstové reakce na aktivitu blokovahenních proudů, a semikvantitativní – na základě prostorových vztahů těchto afektovaných stromů (Bollschweiler a Stoffel 2010b). V této studii se používá tzv. „event – response index“ I_t definovaný jako:

$$I_t = \left(\sum R_t \right) / \left(\sum A_t \right) * 100,$$

kde R_t je počet růstových disturbancí datovaných v jeden rok (max. 1 pro 1 strom), A_t je počet stromů žijících v roce t (Shroder 1978). Zjištěné události blokovahenních proudů byly porovnány se srážkovými údaji ze stanice Lysá hora, vzdálené ~5,5 km na SV.

VÝSLEDKY

Počet stromů, vzorků a zjištěných růstových disturbancí

Na zkoumané lokalitě byly vzorkovány všechny stromy, které vykazovaly známky ovlivnění svého růstu aktivitou blokovahenních proudů. Celkem bylo ovzorkováno 35 stromů, z toho 32 v transportní a akumulaci zóně na kuželu a 3 v severnější aktivní části zdrojové zóny (obr. 1c). Ze všech stromů bylo odebráno 60 vzorků (50 vrtných jader a 10 příčných řezů). Téměř jednu polovinu (49 %) všech stromů tvořily buky lesní (*Fagus sylvatica*), 31 % javor klen (*Acer pseudoplatanus*) a smrk ztepilý (*Picea abies*) byl zastoupen 20 % (tab. 1). Nejstarší vzorkovaný strom vykazoval 105 letokruhů, zatímco nejmladší byl 35 let starý. Průměrné stáří všech vzorkovaných stromů bylo 60,2 let. Prostorová distribuce stáří stromů byla na celé lokalitě náhodná, bez výraznějších známek k lokálním shlukům, nebo celkovému trendu.

Vyhodnocením všech analyzovaných vzorků bylo identifikováno a datováno 61 růstových disturbancí spojených s aktivitou blokovahenních proudů. Nejčastější reakcí bylo náhlé zúžení šířek letokruhů (41 %), následovala přítomnost hojivého pletiva – kalusu (37 %), dále náhlé zvýšení šířek letokruhů (18 %) a TRD byly identifikovány pouze ve 4 % případů (tab. 2).

Časová řada blokovobahenních proudů

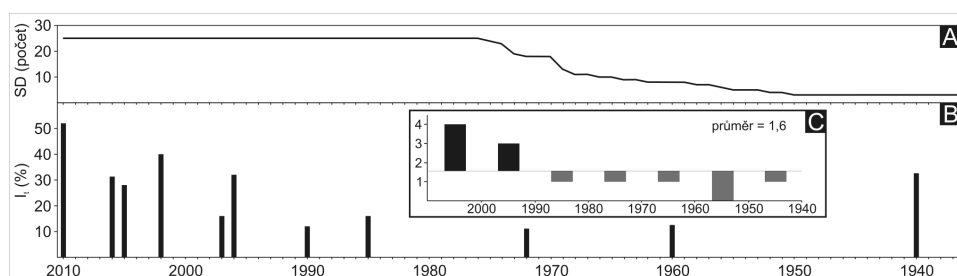
Vyhodnocením všech datovaných růstových disturbancí bylo identifikováno celkem 11 roků se vznikem blokovobahenního proudu (obr. 2b). Výskyt proudů je však silně nevyrovnaný a je jasně patrný výrazný nárůst aktivity od poloviny 80. let 20. století. Tento trend potvrzuje i grafické vyjádření dekadního výskytu proudů (obr. 2c). Do této doby byly datovány pouze tři proudy. Nejstarší je z roku 1940. Další dva jsou z let 1960 a 1972. Proudů v první dekádě 21. století se navíc vykazují i výrazně vyššími hodnotami I_t indexu. Ovlivnily tedy větší podíl rostoucích stromů než proudy starší. Průměrná doba opakování výskytu proudů je od prvního datovaného proudu (1940) 6,3 roku. Od 80. let do současnosti to je však pouze 3,1 roku, a od roku 1940 do 1985 je to 14,6 let. Je tedy patrný výrazně čtenější výskyt proudů za posledních 25 let.

Tab. 1. Počet a druh vzorků, odebraných z jednotlivých druhů stromů

Druh stromu	Počet stromů	Vrty z kmenů	Příčné řezy z kořenů	Celkový počet vzorků
<i>Picea abies</i>	7	10	2	12
<i>Fagus sylvatica</i>	17	24	5	29
<i>Acer pseudoplatanus</i>	11	16	3	19
Celkem	35	50	10	60

Tab. 2. Růstové disturbance použité k datování jednotlivých blokovobahenních proudů

Rok	Zúžení letokruhů	Rozšíření letokruhů	TRD	Hojivé pletivo
2010	6	1		6
2006	3	2		3
2005	2			5
2002	6	2		2
1997	1	1		2
1996	1	3	1	3
1990	2	1		
1985	1		1	2
1972	2			
1960		1		
1940	1			
Celkem	25	11	2	23

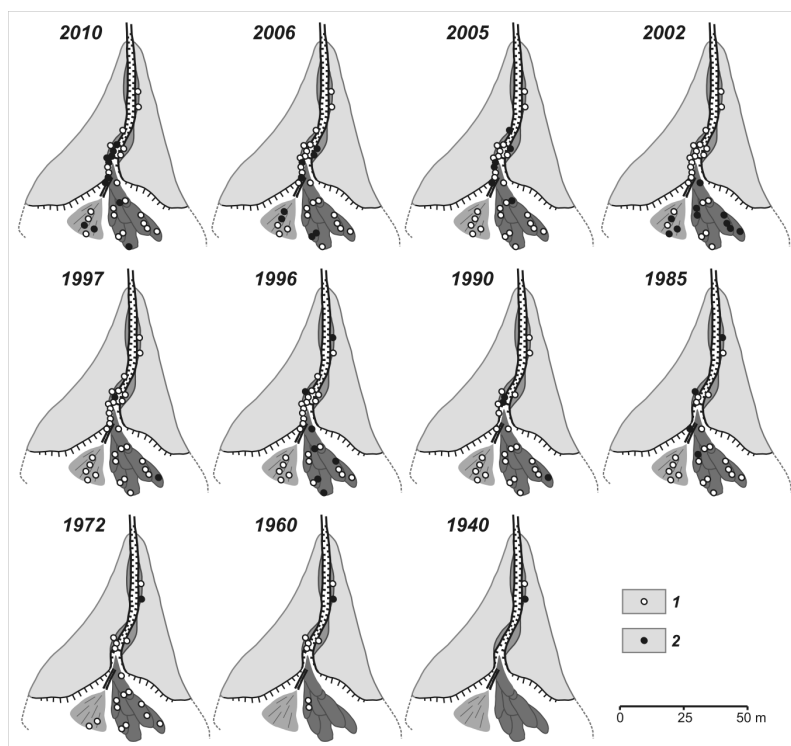
**Obr. 2. Chronologie blokovobahenních proudů**

A) vývoj počtu stromů dostupných pro analýzu, B) aktivita blokovobahenních proudů vyjádřená pomocí I_t indexu, C – dekadní výskyt počtu blokovobahenních proudů

Prostorové aspekty blokovobahenních proudů

Podrobné zaznamenání pozice všech vzorkovaných stromů v kombinaci s datováním projevů blokovobahenních proudů je významným přínosem dendrogeomorfologie, protože velmi dobře umožňuje zrekonstruovat prostorový rozsah jednotlivých událostí (Bollschweiler a Stoffel 2010b). Pozici postižených stromů během jednotlivých událostí blokovobahenních proudů na analyzované lokalitě ukazuje obr. 3. Při nejstarších eventech došlo pouze k ovlivnění stromů rostoucích v horní části kuželu vlivem materiálu vytlačeného bočního valu (1940, 1960 a 1972). Nejpostiženější je však střední transportní část kuželu, kde je dnes koryto pohybujících se proudů nejhlubší a rychle zde přechází v akumulaci zónu. Tato část byla postižena od roku 1985 během každé události (nejvíce v letech 2005, 2006 a 2010) s výjimkou roku 2002.

Naopak, roky, kdy byla nejvíce postižena akumulaci část kuželu jsou 1996, 2002, 2006 a 2010. Největší plošný rozsah měl proud v roce 2002. Od tohoto roku se zároveň objevila první postižení stromů rostoucích v severní části akumulaci zóny, která má podobu plochého kuželu tvořeného jemnozrnnějším materiálem.



Obr. 3. Prostorová distribuce postižených stromů během jednotlivých událostí blokovobahenních proudů (1 – stromy bez známek aktivity, 2 – stromy vykazující aktivity proudu, geomorfologické prvky shodné s obr. 1)

DISKUSE

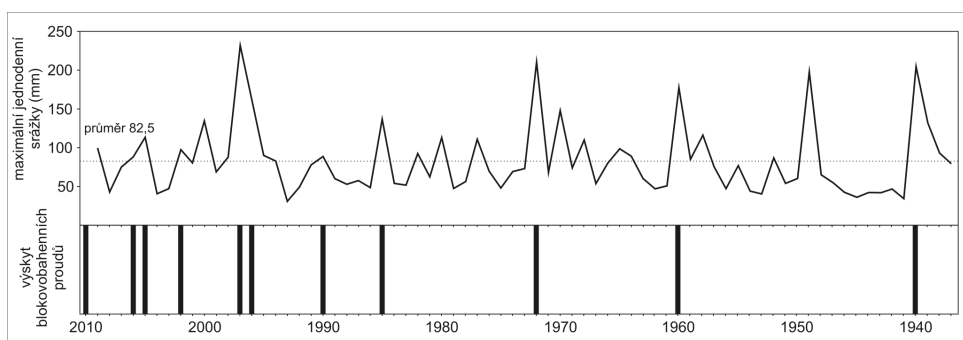
Poznání chronologie blokovobahenních proudů v Moravskoslezských Beskydech, ale i v celé Karpatské soustavě je důležité s ohledem na predikci budoucího výskytu tohoto nebezpečného procesu. Na vybrané lokalitě v Moravskoslezských Beskydech bylo pomocí metod dendrogeomorfologie zjištěno 11 událostí proudů za posledních 70 let.

Ve většině dřívějších dendrogeomorfologických studiích zabývajících se blokovobahenními proudy bylo využito výhradně jehličnatých druhů (Strunk 1997, Pelfini a Santilli 2008 a Stoffel 2010). Teprve v poslední době je poukázováno na fakt pozitivního efektu využití i listnatých druhů stromů (Arbellay et al. 2010). Osmdesátiprocentní zastoupení listnatých druhů v této studii tyto názory zcela potvrzuje. Zásadní rozdíl v reakcích obou skupin na působení blokovobahenních proudů je tvorba traumatických pryskyřičných kanálků (TRD) u jehličnanů. Z vyhodnocení vzorků tvořily pouze 4 %, ačkoliv jejich výskyt může tvořit i více jak polovinu všech zjištěných disturbancí (Bollschweiler et al. 2008). Ve struktuře datovaných projevů se však zcela projevil pozitivní vliv listnatých druhů, a to 37 % zastoupení hojivého pletiva (podle Arbellay et al. 2010 se jedná o jejich dominantní reakci na poškození blokovobahenním proudem). Vysoký podíl této růstové reakce rovněž potvrzuje destruktivní charakter proudů a prakticky vylučuje jiný typ procesu (na lokalitě navíc projevy jiného typu procesu – jako skalní řícení nebo sněhové laviny – nebyly zjištěny). Je tedy možné konstatovat, že dendrogeomorfologický přístup v této studii umožnil získat objektivní data pro další zpracování.

Časovou rekonstrukcí výskytu proudů byl zjištěn nápadný nárůst jejich počtu od poloviny 80. let 20. století. Není nutné považovat toto zjištění za výsledek probíhajících globálních klimatických změn. V první řadě je potřeba přihlídnout k množství stromů vstupujících do analýzy. Jejich počet (sample depth – SD) je konstantní zhruba do poloviny 70. let (obr. 2a). Poté ale následuje výrazný pokles jejich počtu, což významně ovlivňuje i použitý I_t index. Za významné období bez výskytu proudů tak lze jednoznačně považovat pouze to mezi roky 1972 a 1985. Použitý I_t index však zohledňuje počet stromů žijících v daném roce, a proto ani starší prodlevy mezi výskyty jednotlivých proudů nelze zcela zanedbat.

Důležitým aspektem aktivity blokovobahenních proudů jsou příčiny jejich vzniku. V Moravskoslezských Beskydech, ale i celé karpatské soustavě to jsou extrémní srážkové úhrny (Kirchner a Krejčí 1998, Šilhán a Pánek 2010). Pro vyhodnocení srážkových událostí, které potenciálně způsobily vznik datovaných proudů byly sestaveny maximální denní srážkové úhrny za jednotlivé roky, pokrývající celou dobu dosahu datování (obr. 4). Z výsledků je patrné, že všechny proudy vznikly při vysokých jednodenních srážkových úhrnech (i více jak 200 mm/den). Nejvýraznější jsou roky 1940, 1972, 1996 a 1997. Při porovnání výskytu proudů s velikostí extrémních srážkových úhrnů je možné vysledovat, že starší události proudů (1940, 1960 a 1972) vznikly při velmi vysokém jednodenním srážkovém úhrnu – vždy přesahujícím min. 150 mm/den, zatímco mladší proudy (od roku 1985) vznikaly i při menších srážkových událostech (výjimečně i pod 100 mm/den). V první řadě je potřeba upozornit na relevantnost použitých meteorologických dat. Stanice, ze které byla použita, se nachází ve vyšší nadmořské výšce a je několik km vzdálená od zkoumané lokality. Udá-

losti způsobující vznik proudů proto nemusely být na stanici vůbec zaznamenány (nebo mohly být zaznamenány s jinou intenzitou), na což upozorňuje např. i Szymczak et al. 2010. Jinou možností je, že velikost srážkového úhrnu přímo pozitivně ovlivnila i velikost proudu (Stoffel 2010). Je tak možné, že proudy vznikaly i před rokem 1985 ve stejné nebo podobné frekvenci, ale při menších srážkových úhrnech nedosahovaly dostatečné velikosti, aby vystoupily z koryta a ovlivnily více stromů. Navíc podle vývoje SD rostl na kuželu menší počet stromů než dnes. K tomuto zjištění dospěli i v Alpách (např. Stoffel et al. 2006). Důležitou poznámkou je navíc skutečnost, že na vznik blokovo bahenních proudů mají výraznější vliv spíše hodinové úhrny než celodenní (Bollschweiler a Stoffel 2010b). Je tak možné, že i při relativně nízkém denním úhrnu (méně než 100 mm) spadla většina srážek jen v několikaminutovém intervalu a proudy tak mohly vzniknout.



Obr. 4. Vazba vzniku blokovo bahenních proudů a výskytu extrémních srážkových úhrnů

Z širšího pohledu je zajímavý nárůst počtu proudů v poslední dekádě. Je to trend, který předpokládá např. Fowler a Hennessy (1995) nebo Easterling et al. (2000). Naopak Jomelli et al. (2007) nebo Bollschweiler a Stoffel (2010a) zjistili výrazný pokles počtu proudů v tomto období ve francouzských resp. švýcarských Alpách.

Kombinací geomorfologického mapování a dendrochronologického datování proudů bylo možné zjistit rozsah jednotlivých událostí. Vlivem omezeného počtu využitelných stromů nebylo vždy možné zrekonstruovat přesný rozsah postiženého území. Získaná data nám však dávají představu o minimální rozsah jednotlivých událostí. S ohledem na morfologii povrchu kuželu se zdá být velmi významný rok 2002. Pravděpodobně došlo k prvnímu rozdělení pohybující se hmoty těsně pod vyústěním z transportního koryta a vytvoření nové dráhy, která během následujících událostí dovovala materiálem severní část akumulací zóny. Stromy v této části totiž do té doby nevykazovaly žádné známky existence blokovo bahenních proudů. O čerstvosti této části svědčí i její samotná morfologie.

Blokovo bahenní proudy se vyskytují téměř ve všech údolích masivu Smrk (Šilhán a Pánek 2007), avšak jejich chronologie z této oblasti dosud chybí. Nejblíže časová rekonstrukce byla sestavena ve strži na východním svahu Smrku

(Šilhán a Pánek 2008). Zde však byly zjištěny pouze dvě události proudů (1977 a 1997). Tato studie tak přináší výrazné rozšíření znalostí časového výskytu blokovobahenních proudů v této části Moravskoslezských Beskyd.

ZÁVĚR

Pomocí dendrogeomorfologických metod byla zjištěna aktivita blokovobahenních proudů na vybrané lokalitě v údolí Bučacího potoka. K analýze bylo využito 50 vrtných jader a 10 příčných řezů ze stromů a kořenů ovlivněných aktivitou blokovobahenních proudů. Dominantní podíl listnatých stromů v souboru vzorků potvrdil jejich vhodnost při analýze časového výskytu blokovobahenních proudů.

Celkem bylo zjištěno 11 událostí za posledních 70 let s nejstarším datovaným proudem v roce 1940. Z výsledků je patrný výrazný nárůst počtu proudů za posledních 20 let, což lze přisoudit omezenému stáří vzorkovaných stromů, případně menší velikosti proudů v minulosti, které nebylo možné pomocí dendrogeomorfologických metod zjistit. Na základě provedených analýz však nelze vyloučit ani vliv potenciálních klimatických změn na výkyvy v četnosti proudů zejména od 70. let 20. století.

Analýza prostorové distribuce postižených stromů během jednotlivých událostí proudů umožňuje odhadnout minimální rozsah proudů. Z provedené analýzy vyplývá, že nejzásadnější vliv na dnešní morfologii kuželu měl proud v roce 2002, kdy byla téměř zdvojnásobena předešlá akumulací zóna proudů.

Příspěvek vznikl za podpory projektu Grantové Agentury ČR č. P209/10/0309: "Vliv historických klimatických a hydrometeorologických extrémů na svahové a fluvialní procesy v oblasti Západních Beskyd a jejich předpolí".

LITERATURA

- ALESTALO, J. (1971). Dendrochronological interpretation of geomorphic processes. *Fennia*, 105, 1-139.
- ARBELLAY, E., STOFFEL, M., BOLLSCHWEILER, M. (2010). Dendrogeomorphic reconstruction of past debris-flow activity using injured broad-leaved trees. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35, 399-406.
- BOLLSCHWEILER, M., STOFFEL, M. (2010a). Changes and trends in debris-flow frequency since AD 1850: results from the Swiss Alps. *The Holocene*, 20, 907-916.
- BOLLSCHWEILER, M., STOFFEL, M. (2010b). Tree rings and debris flows: recent developments, future directions. *Progress in Physical Geography*, 34, 625-645.
- BOLLSCHWEILER, M., STOFFEL, M., SCHNEUWLY, D. M., BOURQUI, K. (2008). Traumatic resin ducts in *Larix decidua* stems impacted by debris flows. *Tree Physiology*, 28, 255-263.
- EASTERLING, D. R., MEEHL, G. A., PARMESAN, C., CHANGNON, S. A., KARL, T. R., MEARN, L. O. (2000). Climate extremes: observations, modeling, and impacts. *Science*, 289, 2068-2074.
- FOWLER, A. M., HENNESSY, K. J. (1995). Potential impacts of global warming on the frequency and magnitude of heavy precipitation. *Natural Hazards*, 11, 283-303.
- GUZZETTI, F., PERUCCACCI, S., ROSSI, M., STARK, C. P. (2008). The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows: an update. *Landslides*, 5, 3-17.

- JOMELLI, V., BRUNSTEIN, D., GRANCHER, D., PECH, P. (2007). Is the response of hill slope debris flows to recent climate change univocal? A case study in the Massif des Ecrins (French Alps). *Climatic Change*, 85, 119-137.
- KIRCHNER, K., KREJČÍ, O. (1998). Slope movements in the Flysch Carpathians of Eastern Moravia (Vsetín District), triggered by extreme rainfalls in 1997. *Moravian Geographical Reports*, 6, 43-52.
- KOTARBA, A. (1989). On the age of debris flows in the Tatra Mountains. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 23, 139-152.
- MALIK, I., OWCZAREK, P. (2009). Dendrochronological records of debris flow and avalanche activity in a min-mountain forest zone (Eastern Sudetes – Central Europe). *Geochronometria*, 34, 57-66.
- PELFINI, M., SANTILLI, M. (2008). Frequency of debris flows and their relation with precipitation: A case study in the Central Alps, Italy. *Geomorphology*, 101, 721-730.
- PILOUS, V. (1973). Strukturní mury v Krkonoších – I. část. *Opera Corcontica*, 10, 15-69.
- SHRODER, J. F. (1978). Dendrogeomorphological analysis of mass movement on Table Cliffs Plateau, Utah. *Quaternary Research*, 9, 168-185.
- SCHWEINGRUBER, F. H. (1996). *Tree rings and environment, dendroecology*. Wien (Haupt Verlag).
- STOFFEL, M. (2010). Magnitude – frequency relationships of debris flows – a case study based on field surveys and tree-ring records. *Geomorphology*, 116, 67-76.
- STOFFEL, M., BOLLSCHWEILER, M., HASSLER, G. R. (2006). Differentiating past events on a cone influenced by debris-flow and snow avalanche activity – a dendrogeomorphological approach. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31, 1424-1437.
- STOFFEL, M., BOLLSCHWEILER, M. (2009). What tree rings can tell about earth-surface processes: teaching the principles of dendrogeomorphology. *Geography Compass*, 3, 1013-1037.
- STRUNK, H. (1997). Dating of geomorphological processes using dendrogeomorphological methods. *Catena*, 31, 137-151.
- SZYMCZAK, S., BOLLSCHWEILER, M., STOFFEL, M., DIKAU, R. (2010). Debris-flow activity and snow avalanches in a steep watershed of the Valais Alps (Switzerland): dendrogeomorphic event reconstruction and identification of triggers. *Geomorphology*, 116, 107-114.
- ŠILHÁN, K., PÁNEK, T. (2007). Blokovo bahenní proudy v masivu Smrku (Moravskoslezské Beskydy; Česká republika). *Geomorphologia Slovaca et Bohemica*, 1, 56-64.
- ŠILHÁN, K., PÁNEK, T. (2008). Historická chronologie blokovobahenních proudů v Moravskoslezských Beskydech. *Geomorphologia Slovaca et Bohemica*, 8, 82-94.
- ŠILHÁN, K., PÁNEK, T. (2010). Fossil and recent debris flows in medium-high mountains (Moravskoslezské Beskydy Mts, Czech Republic). *Geomorphology*, 124, 238-249.

Karel Šilhán

SPATIO - TEMPORAL RECONSTRUCTION OF DEBRIS FLOWS (CASE STUDY USING THE METHODS OF DENDROGEOMORPHOLOGY)

Debris flows represent a highly dangerous type of geomorphic process both in the high- and medium-high mountains. It is essential to know the history of their temporal occurrence with respect to the potential prediction of their origin in future. The chronology of debris flows in some localities in the Moravskoslezské Beskydy Mts. is known.

Nevertheless, it is very important to complement these data permanently. The aims of this paper were: the temporal reconstruction of debris flow occurrences and the determination of their meteorological triggers in a selected locality on the northern slope of the Smrk Mt.

Methods of dendrogeomorphology were used for researching debris flows. Sixty samples (50 increment cores and 10 cross sections) from 35 trees influenced by the activity of a debris flow were taken. Broad-leaf trees dominated (80%) among tree species. All samples were processed according to the standard dendrogeomorphic procedure, and the debris flow activity was expressed by the "event – response index".

Callus tissue production was one of the most often-dated growth disturbances. This find affirms the typical growth reaction of the broad-leaf trees to the debris flow impact. Eleven years with debris flow occurrence were identified in the last 70 years. An abrupt increase of the debris flow frequency from the mid-1980s has been found by means of frequency analysis. This fact can be the result of the decreasing number of trees suitable for the analysis. The small magnitude of older flows, which were not able to leave the transportation channel and to influence the surrounding trees, is another possible cause. An important find is the high debris flow activity in the last decade, which corresponds to the general concept about the effects of climate change on the increased frequency of dangerous geomorphic processes. Older debris flows (before 1985) are connected just with the above-average extreme one-day precipitation totals (even more than 200 mm/day), but younger debris flows originated after a markedly lower precipitation and extreme totals as well. Their magnitudes were probably lower. The minimal extent of each event can be estimated by the spatial analysis of the affected trees. A debris flow from 2002 had the greatest effect on the actual morphology of the fan surface. A new accumulation area in the lower part of the fan was affected during this event.

This paper brings some valuable knowledge about the temporal activity and the spatial aspects of debris flows in the Moravskoslezské Beskydy Mts.

