

## Vybrané metody sledování současných geomorfologických procesů

Filip Hartvich

*hartvich@irms.cas.cz*

*Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, V Holešovičkách 41, Praha 8, 18209*

**Filip Hartvich:** *Selected methods of monitoring of the current geomorphological processes.* The current geomorphological processes actively change the shape of the relief. In this article, the most active processes in the environment of central European mid-mountains are described on the example of the Šumava Mts. The factors, influencing the activity of the current processes are described, as well as the means of their influence. Major part concerns and describes selected methods, used for the research of the current processes, particularly various possibilities and techniques of mapping, sediment analyses and monitoring.

**Key words:** current processes, research methods, slope processes, floods, monitoring, Šumava Mts.

### 1 Úvod

Současný tvar reliéfu je výsledkem dlouhého vývoje, na kterém se v průběhu geologické historie spolupodílely endogenní i exogenní procesy. Tento tvar ovšem není stabilní, geomorfologické procesy, které probíhají v současnosti, jej neustále mění.

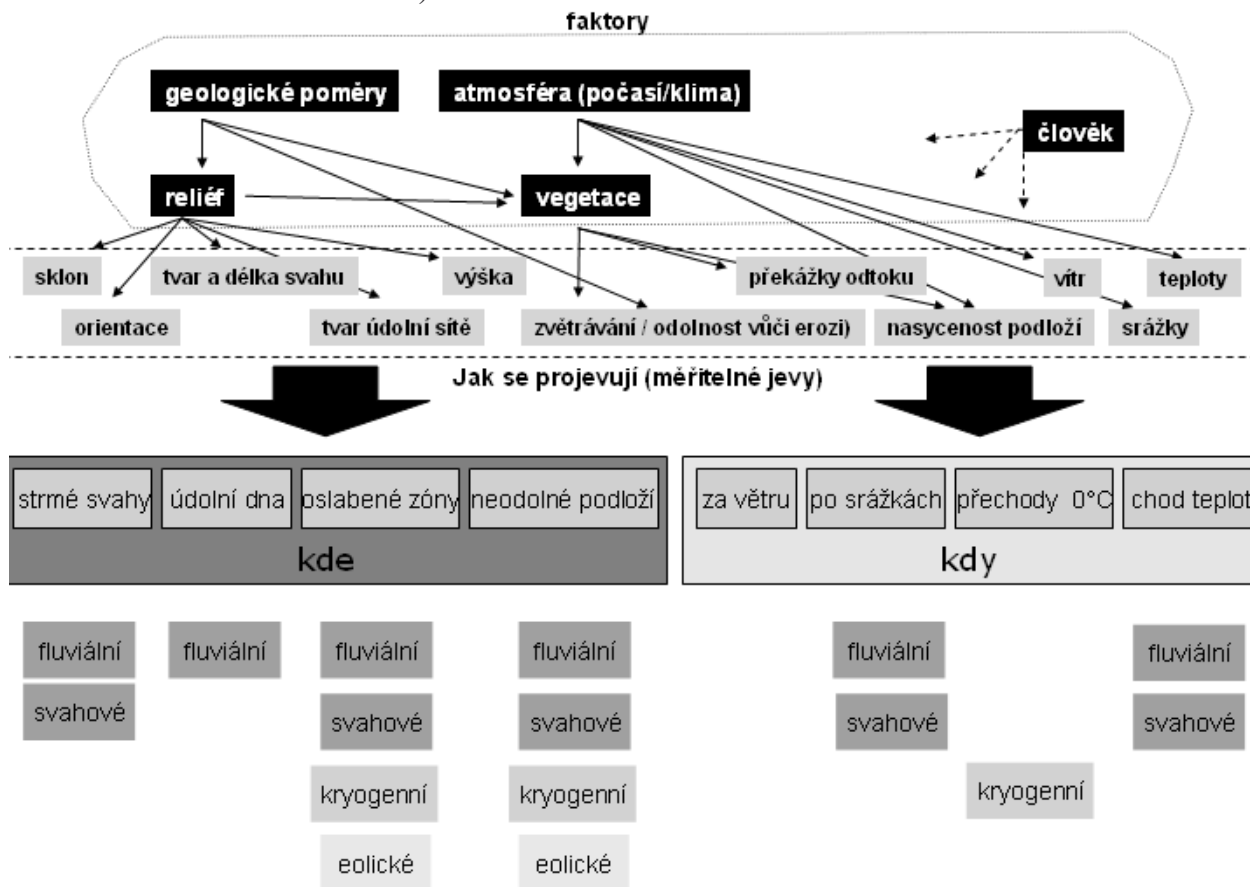
Velkou výhodou při výzkumu těchto současných procesů oproti paleoprocesům (tj. takovým, které sice přispěly k vývoji současného reliéfu, ale nyní neprobíhají vůbec nebo jen minimálně) je možnost sledování jejich činnosti a v některých případech i tuto činnost objektivně měřit, protože je možné porovnávat podobu reliéfu v různých časových horizontech.

### 2 Faktory ovlivňující současné geomorfologické procesy

Charakter, intenzita a plošná distribuce probíhajících geomorfologických procesů závisí na několika faktorech. Při určitém zjednodušení lze říci, že se jedná o zejména morfologii terénu a klimatické poměry, dále záleží na geologických a strukturních podmínkách, vegetačním krytu a rovněž stále více i na antropogenní činnosti (MONTGOMERY 1997). Předběžný návrh schématu působení těchto faktorů je na obr. 1.

Vliv morfologie terénu je zřejmý, jiné procesy (nebo s jinou intenzitou) probíhají v nížinách nebo na plošinách než ve velehorách nebo středohorách. Při hodnocení současných procesů je tedy třeba brát v vždy úvahu typologii reliéfu, v případě ČR například podle morfografického členění (BALATKA 2003). Konkrétně záleží zejména na členitosti reliéfu (tedy strmosti a délky svahů), expozici (např. orografický efekt) a uspořádání údolní sítě (například pro intenzitu povodní).

Klimatické poměry vychází jednak z morfologie terénu, konkrétně vlivem nadmořské výšky (vertikální pásmovitost), jednak z globálního rozložení vzduchových hmot a jeho změn. Zejména tyto změny jsou v poslední době velmi diskutovány, ale je třeba si uvědomit, že klima není a nikdy nebylo stálé, jedná se mimořádně dynamický, nestabilní a proměnlivý systém (DUPLESSY et al. 2005, EVANS & CLAGUE 1994).



**Obr. 1: Návrh schématu působení jednotlivých faktorů na lokalizaci současných procesů v prostoru i v čase**

Neustálé proměny stavu atmosféry (počasí) mají velký vliv zejména na změny intenzity geomorfologických procesů v čase, protože hlavní procesy probíhající v podmínkách většiny střední Evropy v současnosti, fluviální a svahové, jsou úzce vázané na množství a distribuci vody, ať již jako unášecího média (fluviální) nebo jako média snižujícího tření a stabilitu u procesů svahových (RYBÁŘ 1999).

Geologické poměry jsou významné pro lokalizaci aktivity geomorfologických procesů, neboť predisponují odolnost podloží vůči působení těchto procesů a také často ovlivňují morfologii: tvar údolní sítě, tvar a strmost svahů (SELBY 1993, MONTGOMERY 1997).

Vegetační kryt je významným stabilizačním faktorem, jehož účinnost záleží na typu vegetace, její hustotě a dokonce i kondici. Vegetace většinou brání erozi, zejména plošné a stružkové, někdy ji však může i vyvolávat (vývraty, překážky v korytě).

Konečně činnost člověka může ovlivňovat probíhající geomorfologické procesy nejrůznějšími způsoby nebo dokonce může člověk působit přímo jako geomorfologický činitel. Největšími zásahy, které ovlivňují krajinu a v ní probíhající procesy ve velkém měřítku, jsou vodohospodářské stavby (protipovodňová ochrana, přehrady, jezy), komunikace (silniční a železniční zářezy, mosty), městská zástavba a také zemědělská a lesnická činnost (LANGHAMMER 2007, HAIŠ 2007).

### 3 Současné geomorfologické procesy – příklad Šumavy

Jak bylo uvedeno výše, současné geomorfologické procesy jsou takové, které jsou v dané oblasti v současnosti aktivní a podílí se na přetváření reliéfu. Z definice je zřejmé, soubor aktivních procesů se bude lišit v čase i v prostoru v závislosti na výše uvedených faktorech a jejich změnách.

Jako příkladová studie pro tuto práci bylo vybráno středohorské prostředí pohoří Šumava. Geologicky se jedná se oblast Moldanubika, budovanou převážně metamorfity a granitoidními horninami, s občasným výskytem kvartérních uloženin, zejména v údolích toků a na rašelinistích (KODYM et al. 1961, BABŮREK 2001). Morfologie pohoří Šumava je charakteristická rozsáhlými plochami pozůstatků zarovnaných povrchů (Šumavské Pláně, okolo 1 000 m n. m.), nad které na jihozápadě vystupují nejvyšší partie pohraničního hřebene (nadmořské výšky přes 1 300 m n. m.) a které jsou ze severovýchodu ohraničené strmým okrajem až 700 m vysokého tzv. Šumavského svahu, kde okraj plání, rozčleněný hlubokými údolními toků, postupujících zpětnou erozí směrem do plání, prudce spadá směrem k Pošumaví, úpatní vrchovině (CHÁBERA ET AL. 1985).

Klimatické podmínky na Šumavě jsou vzhledem k značným výškovým rozdílům výrazně ovlivněny vertikální pásmovitostí. S rostoucí nadmořskou výškou klesají teploty a rostou srážky, zejména na návětrných svazích, a snižují se roční výkyvy teplot (ZOUBEK, KUNSKÝ et al. 1968). Určitým specifikem je množství srážek, na hřebenech a pláních Šumavy, dosahují až 1 200–1 400 mm srážek. V Pošumaví je srážkový úhrn je nižší (600 – 700 mm), částečně také proto, že Pošumaví leží zejména v zimních měsících ve srážkovém stínu pohoří (ZOUBEK, KUNSKÝ et al. 1968). Vegetační kryt je tvořen z velké části hospodářsky využívaným kulturním lesem, převážně tvořeným smrkovými, místy smíšenými smrkovo-jedlobukovými porosty. Převaha smrku má přímý vliv na současné procesy, kdy za silného větru dochází k četným vývratům a následné erozi půdy i svahovin.

Závěry z podrobného geomorfologického mapování stejně jako publikované poznatky z této i podobných oblastí (HARTVICH et al. 2007, Hartvich 2007 (in print), HOUSAROVÁ 2007, MENTLÍK 2006, ZVELEBIL AND HARTVICH 2006, MENTLÍK 2005, 2004, VANDENBERGHE AND MADDY 2001, MOL et al. 2000,) vedly k identifikaci v současnosti nejaktivnějších procesů v oblasti pohoří Šumava. Jako nejvýznamnější proces můžeme označit činnost tekoucí vody, a to jak z hlediska přepravovaného materiálu, tak i podle plochy, kterou zasahuje. Pouze fluviaální procesy a tvary (s výjimkou relativně vzácných rychlých svahových procesů, jako je skalní říčení nebo debris flow), které aktuálně působí, jsou v současnosti snadno pozorovatelné v terénu. Dále zde působí svahové procesy, zejména pomalé pohyby

typu creepu, ale na některých exponovaných lokalitách lze doložit i rychlé procesy typu debris flow nebo skalního řízení (MENTLÍK 2005). Kromě těchto hlavních procesů ve vyšších nadmořských výškách, zejména na hlavním hřbetu a v karech probíhají stále kryogenní procesy, jako mrazové rozvolňování skalních výchozů, nivace, kongelifrakce nebo mrazové slézání sutí (MENTLÍK 2006). Rovněž aktivita organismů se podílí na působení na reliéf, a to jak přímo (rašeliniště, vývraty, apod.) tak i nepřímo vlivem vegetačního krytu na odolnost vůči erozi (STRAHLER AND STRAHLER 1999). Speciální kategorií je činnost člověka, která působí na reliéf velmi komplexně a proto není v této práci zahrnuta.

#### **4 Metody výzkumu aktivních procesů**

Pro sledování probíhajících geomorfologických procesů, zejména, jak bylo ukázáno výše, v současnosti nejaktivnějších pochodů fluvialních a svahových, je možné využít širokou škálu metod.

##### **4.1 Mapování a zaměřování**

Geomorfologické mapování je základním způsobem poznání geomorfologických procesů pomocí identifikace jimi vytvořených tvarů (DEMEK 1972). Při speciálním geomorfologickém mapování zaměřeném na současné nebo recentní procesy je identifikace tvarů obvykle jednodušší, protože jsou čerstvé a zřetelné. Problémem může být nedostatečná intenzita procesu, takže tvary mohou být malých rozměrů nebo mocnosti, proto je třeba provádět mapování v dostatečně podrobném měřítku.

Oproti obecnému geomorfologickému mapování se zabýváme jen některými tvary, které vznikají nebo se vyvíjí v současné době, jako jsou svahové deformace, eroze a akumulace v nivě, popř. v údolním dně a v korytě, stržovou a rýhovou erozí, tahovými trhlinami a depresiemi, kamennými proudy, a podobně. Je zřejmé, že mapování založené na identifikaci a ohodnocení forem je omezeno na procesy, které tyto formy vytvářejí, plošně působící procesy je velmi obtížné postihnout.

Výstupem tohoto mapování je mapa současných geomorfologických forem, která vypovídá o prostorovém rozložení, intenzitě a charakteru probíhajících geomorfologických procesů v čase mapování. Vzhledem k tomu, že procesy stále probíhají a tedy mění polohu i vlastnosti forem, je vhodné toto mapování po určitém časovém intervalu opakovat, zejména po mimořádných událostech, jako je například silná povodeň.

Speciálním případem je tematické mapování, zaměřené jen na některý proces. Jako příklad může posloužit mapování následků povodní, které se soustředí pouze na koryto a údolní nivu, kde povodeň působí (LANGHAMMER A KŘÍŽEK 2007).

Geodetické metody jsou při výzkumu probíhajících geomorfologických procesů velmi užitečné, neboť umožňují vnést do mapování přesnost, potřebnou pro zachycení i malých změn, ke kterým dojde v průběhu relativně krátkého období.

Jako součást souboru metod ke studiu současných procesů může být rovněž s velkou výhodou použita letecká nebo pozemní fotogrammetrie, zejména pro zjišťování změn po výrazných obdobích aktivity (povodně). V podmínkách Šumavy je nicméně možnost využití leteckého snímkování značně omezena souvislým lesním porostem. Pozemní fotogrammetrii nebo časosběrné snímkování lze využít, zejména pro sledování rychlých změn v korytě toků nebo opadu na skalních stěnách (mury).

## 4.2 Analýzy sedimentů

Fluviální a biogenní sedimenty nebo svahoviny představují užitečný zdroj informace při analýze probíhajících nebo subrecentních procesů v reliéfu, a to dvěma způsoby: jednak jejich vlastnosti, jako je tvar a opracování klastu, zrnitostní složení, materiál, členění do charakteristických vrstev i vzájemné vztahy těchto vrstev vypovídají o zdrojové oblasti, způsobu a délce transportu a sedimentačních poměrech, za jakých ke vzniku sedimentu došlo. Je tak možné odhalit záznam o mimořádných situacích, například povodních, přívalových proudech, debris flow nebo rekonstruovat vývoj koryta, sedimentační prostředí (MONTGOMERY 1997, STARKEL 1995, STARKEL 1985). Za druhé, sedimentární záznam může obsahovat materiál, jako jsou různé úlomky a předměty antropogenního původu, organické zbytky, které je možné datovat pomocí radiokarbonových metod, pro časové zařazení vzniku sedimentu a také rychlosti transportu sedimentu (LANCASTER AND CASEBEER 2007).

Odběr sedimentů se provádí buď pomocí kopaných sond (případně vpichovaných), nebo na přirozených či umělých odkryvech v zářezech cest, ve výkopech staveb nebo břehovou erozí obnaženém akumulacním tělese, apod. (RŮŽIČKOVÁ et al. 2001). Hrubé klasty, například materiál kamenných moří nebo fluviálních štěrků a balvanů je možné analyzovat jednotlivě měřením jejich rozměrů, orientace klastů a stupně opracování v profilech, plochách nebo bodově (BUNTE AND ABT 2001).

## 4.3 Monitoring

Na rozdíl od předchozích dvou skupin metod, které jsou využívány obecně při geomorfologickém výzkumu i starších procesů, monitorování a měření je možné uplatnit pouze při studiu v současnosti aktivních procesů. Existuje celá řada monitorovacích či sledovacích systémů, které se uplatňují zejména při měření pomalých svahových procesů, průtoků vodních toků, obsahu sedimentů v tocích nebo dokonce tektonických pohybů (např. ZVELEBIL AND HARTVICH 2006, STEMBERK et al. 2003).

Nejjednodušším způsobem sledování pohybů skalních bloků (obvykle následkem svahových procesů) je dilatometrický monitoring. Pomocí příložného tyčového dilatometru je možné opakovaným měřením vzdálenosti mezi instalovanými body s relativně vysokou přesností (<0,05 mm) sledovat relativní pohyby mezi skalními bloky. Tento typ měření je vhodný zejména pro sledování velmi pomalých gravitačních nebo mrazových rozpadů skalních výchozů, například topplingu skalních věží nebo slézání bloků (ONDRÁŠIK A RYBÁŘ 1991). Určitým omezením metody je jednak potřeba pravidelného odečtu (obvykle 1x za měsíc až dva), jednak přesný rozměr vzdálenosti obou bloků (50–75 cm).

Podobnou metodou, s poněkud menší přesností (<0,5 mm) je použití pásmového extenzometru. Je tvořen kovovým pásmem a přístrojem se stupnicí, kde se pásmo napíná na předepsaný tah, což zaručuje stejné podmínky při měření. Také tento přístroj měří relativní vzdálenost mezi předem nainstalovanými kovovými oky, výhodou je velký rozsah efektivního rozpětí měření (obvykle 1–25 m). Opět je třeba měření pravidelně opakovat. Tento typ monitoringu je vhodný pro sledování pomalých pohybů na svahu, otvírání tahových puklin (ONDRÁŠIK A RYBÁŘ 1991) a

slézání kamenných moří, případně soliflukčních posunů balvanů ve vysokých nadmořských výškách.

Relativně nákladný a složitý je automatizovaný monitoring probíhajících procesů. Existuje celá řada systémů, často jsou používány zejména automatické extenzometry a různé typy hladinoměřů. Automatický extenzometr pracuje obvykle na principu elektroindukce a dosahuje vysoké přesnosti (<0,001 mm). Využití je podobné jako u tyčového dilatometru, ovšem na rozdíl od něj je flexibilnější ke vzdálenosti měřených bloků (0,4–3 m). Přístroj zároveň často obsahuje digitální teploměr pro opravy tepelné roztažnosti (HARTVICH et al. 2006).

Hlavními výhodami automatických monitorovacích systémů jsou jejich nezávislost (tj. pracují stále bez potřeby cesty do terénu, s výjimkou občasné výměny baterií, případně odečtu dataloggerů), možnost velmi častého opakování měření (což vede ke získání dostatečných datových souborů pro statistické zpracování a detailnímu poznání chování systému) a konečně možnost bezdrátového přenosu dat, takže je lze stahovat ze speciálních serverů (HARTVICH et al. 2006). Důsledkem tohoto přenosu je i možnost vyvolání alarmu v případě náhlého zrychlení pohybu.

## **5 Závěr**

Sledování současných geomorfologických procesů je podskupinou geomorfologického výzkumu, která se zabývá procesy, které aktuálně přetvářejí reliéf. Na příkladu středohorského reliéfu pohoří Šumava jsou popsány hlavní faktory, které se podílejí na prostorové i časové lokalizaci současných geomorfologických procesů, z nichž největší význam mají v současné době procesy fluviální, pomalé svahové procesy a ve vyšších částech pohoří i kryogenní a nivační.

K jejich výzkumu je možné použít širokou škálu metod, založených zejména na podrobném mapování, které identifikací a lokalizací geomorfologických forem umožňuje poznat procesy, které se v daném místě odehrávají. Dále je vhodné doplnit výzkum o studium sedimentárních záznamů, a to jak in situ, tak pomocí laboratorních metod. Tímto způsobem je možné získat informace o recentním vývoji dané lokality a také případně datovat jednotlivé eventy. Konečně monitoring a geodetické metody přináší potřebnou přesnost při sledování obvykle relativně pomalých procesů, kdy změny jsou jinak těžko zaznamenatelné.

## **Poděkování:**

Autor oceňuje podporu projektu GA AV ČR B300460501, v rámci kterého vznikla tato práce.

## **Literatura:**

- BABŮREK, J. (2001): Geological map 1: 25 000, sheet 22-332 Kašperské Hory. Ms, Czech Geological Survey, 2001
- BALATKA, B. (2003): Podrobné geomorfologické členění reliéfu Čech. MS KFGG, PřFUK Praha, 54 s.

- BUNTE, K., ABT, S. R. (2001): Sampling Surface and Subsurface Particle-Size Distributions in Wadable Gravel- and Cobble-Bed Streams for Analyses in Sediment Transport, Hydraulics, and Streambed Monitoring. USDA, Fort Collins, 428 pp.
- DEMEK, J. ed. (1972): Manual of detailed geomorphological mapping. Academia, Praha, 344 str.
- DUPLESSY, J.-C., CORTIJO, E., MASSON-DELMOTTE, V. AND PAILLARD, D. (2005): Reconstructing the variability of the climate system: Facts and theories. *Comptes Rendus Geosciences*, Volume 337, Issues 10-11, August 2005, Pages 888-896
- EVANS, S. G. AND CLAGUE, J. J. (1994): Recent climatic change and catastrophic geomorphic processes in mountain environments. *Geomorphology* 10 (1994), pages 107-128
- HAIŠ, M. (2007): Vliv odlesnění a odumírání horských smrčín na teploty krajinného pokryvu a možné důsledky pro formování odtoku v oblasti centrální Šumavy. In: Langhammer, J. (ed.): *Povodně a změny v krajině*. KFGG, PřF UK, Praha, 2007 s. 333-342
- HARTVICH, F. (2007): Character and dynamics of the floodplain of the Losenice River, Šumava Mts. Silva Gabreta, NP Šumava Authority, Vimperk. (v tisku).
- HARTVICH, F., LANGHAMMER, J. AND VILÍMEK, V., (2007): The 2002 flood consequences in the catchment of Otava River, Czech Republic. *Vodnyje resursy (Water resources)*, Moscow, Russian Federation, submitted in March 2004.

