

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geografie



Tereza Raschová

**MURY JAKO DŮSLEDEK ENVIRONMENTÁLNÍCH ZMĚN VE
STŘEDOHORÁCH STŘEDNÍ EVROPY NA PŘÍKLADU
HRUBÉHO JESENÍKU**

**DEBRIS FLOWS AS A RESULT OF ENVIRONMENTAL CHANGES
IN MIDMOUNTAINS OF THE CENTRAL EUROPE, CASE STUDY
IN THE HRUBÝ JESENÍK MTS.**

Bakalářská práce

Vedoucí závěrečné práce/Školitel: RNDr. Marek Křížek, Ph.D.

Praha, 2011

Zadání bakalářské práce

Téma práce

Mury jako důsledek environmentálních změn ve středohorách střední Evropy na příkladu Hrubého Jeseníku

Cíle práce

Cílem práce je na základě literatury vytvořit genetickou typologii mur, určit jejich morfologické charakteristiky a stanovit podmínky nutné pro jejich vznik a určit období jejich vzniku v kontextu environmentálních změn v rámci střední Evropy. Dílčím úkolem je na základě rešerše se zaměřit na mury Hrubého Jeseníku popsané Gábou (1992) a postavit je do kontextu podobných tvarů v rámci střední Evropy.

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

Použité pracovní metody: rešerše odborné literatury, morfometrické analýzy v GIS

1. krok – definování a klasifikace mur dle geneze na základě rešerše literatury (definování vzniku a vývoje pro každý typ, určení procesů, kterými vznikají), určení jejich základních morfologických charakteristik a vztah k reliéfu.
2. krok – vytvoření časové chronologie vzniku mur v jednotlivých pohořích střední Evropy a stanovení příčin a faktorů, které ovlivnily jejich vznik.
3. krok – na základě DMÚ a morfologických a polohových informací získaných z Gáby (1992) provést jednoduchou polohovou analýzu a získané informace konfrontovat s literaturou.

Zájmové území: Hrubý Jeseník.

Jméno studenta: Tereza Raschová

Podpis studenta:

Jméno vedoucího práce: RNDr. Marek Křížek, Ph.D.

Podpis vedoucího práce:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 22. srpna 2011

.....

Tereza Raschová

Poděkování

Děkuji vedoucímu své bakalářské práce RNDr. Marku Křížkovi, Ph.D. za poskytnuté informace a panu M. B. za projevenou podporu.

Abstrakt:

Tato práce stanovuje na základě literatury podle svých cílů definici mur, přehled jejich dělení a popis vzniku a morfologie. Mury jsou blokovobahenní proudy značné rychlosti, způsobené atmosférickými podmínkami (přívalové srážky, tání sněhu) nebo geomorfologickými událostmi (náhlý odtok vodních kapes, protržení morénou nebo ledem hrazených jezer) v horských oblastech, které se pohybují dolů do údolí přívalovými koryty nebo po spádnici, a strhávají vše, co jim přijde do cesty. Dělí se na strukturní a turbulentní. U strukturních je voda vázaná na povrchu částic. Jejich geneze je podmíněna přesycením zvětraliny vodou a pohyb vzniká gravitací. Turbulentní mury vznikají, pokud se voda nestačí vsakovat a dochází k smývání zvětraliny ze svahů a v kanálech. Materiál je pak unášen v suspenzi. Ze srovnání mur z různých pohoří vyplývá, že je složité stanovit konkrétní hodnoty faktorů, které vedou ke vzniku mur. Strukturní mury mnou zkoumané vznikly převážně na horninách s vysokým obsahem slíd nebo na pískovcích, turbulentní na granitoidech. Srážky by měly mít větší intenzitu než 20 mm/hod. Práce také poskytuje příklady murových událostí z pohoří střední Evropy a zabývá se problémem klimatických změn.

Klíčová slova: mury, svahové procesy, Hrubý Jeseník

Abstract:

This work determines on the basis of literature according to its objectives the definition of the debris flows, an overview of their types and description of the genesis and morphology. Debris flows are mass movements with high rate of speed, caused by atmospheric conditions (intense precipitation, melting snow) or geomorphological events (sudden burst of water pockets, burst of moraine or ice dammed lakes) in mountainous areas that move down the valley along torrential channels or along slopes and pull down everything in their path. We distinguish between structural and turbulent debris flows. In case of structural ones the water is creating an envelope of the debris. Their genesis is conditioned by supersaturation of weathered soil with water and the movement is created by gravity. The turbulent debris flow are formed by water which is not able to be absorbed and the water pulls down the debris on slopes and in the channels. Material is transported in suspension. I compared some debris flows from different mountains and it is quite complex to define specific values of parameters that cause debris flows. Structural debris flow in this study originated on rocks with a high content of micas or on sandstones. Turbulent debris flows originated on granitoids. Precipitation should have higher intensity than 20 mm/h. This work also contains examples of debris flow events in the mountains of Central Europe and looks into the problem of climatic changes.

Key words: debris flow, slope processes, the Hrubý Jeseník Mts.

Obsah

Seznam obrázků	7
Seznam grafů.....	9
Seznam tabulek	10
Seznam příloh	10
1. Úvod.....	11
2. Fyzicko-geografické poměry Hrubého Jeseníku.....	12
2.1. Geologie.....	12
2.2. Srážky.....	13
3. Mury.....	15
3.1. Definice.....	15
3.2. Dělení.....	17
3.3. Geneze a morfologie	20
3.3.1. Strukturní mury	24
3.3.2. Turbulentní mury	25
3.3.3. Morfologie	25
3.4. Murové události v pohořích střední Evropy.....	28
3.4.1. Datování	28
3.4.2. Příklady murových událostí ve střední Evropě	33
3.4.3. Klimatické změny	52
4. Mury v Hrubém Jeseníku	57
4.1. Polohová analýza	61
5. Diskuse.....	67
6. Závěr	70
Zdroje:.....	71
Přílohy.....	75

Seznam obrázků

Obrázek 1	Nákres mury s charakteristickým čelním valem, za nímž se pohybuje voda.....	17
Obrázek 2	Typy suťových pohybů na základě poměru mezi vodou a hrubými a jemnými úlomky.....	19
Obrázek 3	Tři základní části mury na příkladu severního svahu kopce Hrubý v Tatrách.....	26
Obrázek 4	Příčné profily základními morfologickými variantami jednotlivých zón strukturních mur.....	27
Obrázek 5	Důsledek mury v Alpách v obydlené oblasti.....	28
Obrázek 6	Koncept „proces-akce – reakce“.....	30
Obrázek 7	Reakce stromů zasažených murou.....	30
Obrázek 8	Odpověď letokruhů na různé reakce.....	30
Obrázek 9	Chronologie ukládání materiálu na kuželu v Ritigrabenu mezi roky 1902 a 1934.....	34
Obrázek 10	(A) studovaná lokalita Grosse Grabe nedaleko St. Niklaus; (B) poloha nánosového kužele.....	37
Obrázek 11	Mapa Obřího dolu a okolí s vyznačenými murovými dráhami (šipky).....	39
Obrázek 12	Lokalizace blokovobahenních akumulací (šedé tečky) v Moravskoslezských Beskydech.....	40
Obrázek 13	Výskyt blokovobahenních proudů na severním svahu Javorového vrchu.....	42
Obrázek 14	Výskyt blokovobahenních proudů na severním svahu masivu Ostrý.....	42
Obrázek 15	Výskyt blokovobahenních proudů na severním svahu masivu Slavíč.....	42
Obrázek 16	Výskyt blokovobahenních proudů v horské skupině Lysé hory.....	43
Obrázek 17	Výskyt blokovobahenních proudů v masivu Smrk.....	43
Obrázek 18	Studovaná oblast na Slovensku – Veľická dolina a Dolina Zeleného plesa.....	44
Obrázek 19	Změny v murové činnosti v okolí Veľického plesa v letech 2002 až 2006.....	45
Obrázek 20	Chronologie mur v části Veľické doliny v letech 1986 až 2006.....	45
Obrázek 21	Změny v murové činnosti v okolí Zeleného plesa mezi roky 1973 a 2006.....	46
Obrázek 22	stínovaná část reliéfu Tater, ukazující studovanou oblast Hlinské doliny a její profil.....	47
Obrázek 23	Hlinská dolina s vyznačenými murami a určením zdrojové (světle šedá) a akumulační (tmavě šedá) zóny.....	47

Obrázek 24	Studovaná oblast.....	48
Obrázek 25	Murová dráha s bočním valem na Babí hoře.....	48
Obrázek 26	Nákres murové dráhy na Babí hoře s jednotlivými zónami.....	49
Obrázek 27	Model skutečné a nejpravděpodobnější murové citlivosti ve Slovinsku.....	50
Obrázek 28	Horní část Doliny Suhej Wody s vyznačenou studovanou oblastí.....	51
Obrázek 29	Západní svah hory Žólta Turnia s oblastmi datovanými lichenometricky.....	51
Obrázek 30	Svahové sesuvy pod Vřesovou studánkou 1. 6. 1921.....	58
Obrázek 31	Dobová fotografie situace po muře pod Vřesovou studánkou v roce 1921.....	58
Obrázek 32	Murové rýhy na Červené hoře po intenzivních srážkách v roce 1921.....	59
Obrázek 33	Murové dráhy na svahu Keprníku po událostech 1. června 1921.....	59
Obrázek 34	Východní svah Červené hory.....	60
Obrázek 35	Oblasti výskytu mur s vyznačenými známými murovými dráhami a roky.....	62
Obrázek 36	Srážky z 1. 6. 1921.....	63
Obrázek 37	Červená hora a okolí s vyznačeným horninovým podložím a murovými dráhami.....	65
Obrázek 38	Pravděpodobné oblasti výskytu mur pod Keprníkem s vyznačenou známou murovou dráhou a horninovým podkladem.....	66

Seznam grafů

Graf 1	Množství srážek zaznamenané v srpnových a zářijových třídenních intervalech v Grächenu mezi roky 1966 a 1994.....	21
Graf 2	Frekvence mur v Geisstriftbach torrent ve švýcarských Alpách.....	32
Graf 3	Chronologie mur v údolí Ritigrabenu mezi lety 1566 a 2005.....	33
Graf 4	Dekadická frekvence mur v údolí Zermatt mezi roky 1850 a 2009, znázorněná jako odchylka od průměru (18,6 událostí za 10 let).....	35
Graf 5	Historické záznamy mur v oblasti Schipfenbach a Illbach ve 20. století.....	35
Graf 6	(A) rekonstruovaná murová frekvence v Reuse de Saleinaz s 39 událostmi mezi roky 1743 a 2003; (B) 30 událostí v Torrent de la Fouley mezi roky 1862 a 2003.....	36
Graf 7	Rekonstruovaná frekvence mur v Bruchji torrent mezi roky 1867 a 2005.....	36
Graf 8	Murová aktivita na kuželu Birbach (nedaleko obce Blatten) mezi roky 1750 a 2000.....	37
Graf 9	Minimální murová frekvence v Grosse Grabe torrent mezi roky 1782 a 2005.....	38
Graf 10	Murová frekvence pro několik povodí ve Valiských Alpách.....	38
Graf 11	Časový výskyt a četnost blokovobahenních proudů ve stržích masivu Smrk a Ostrý.....	41
Graf 12	Murová frekvence znázorněná odchylkou od dekadické četnosti mezi roky 1566 a 2005.....	53
Graf 13	Sezonalita murových událostí mezi lety 1600 a 1999.....	54
Graf 14	Sezónní posunu ve výskytu silných srážek ve švýcarských Alpách.....	54
Graf 15	Extrémní srážkové události v Grächenu mezi roky 1966 a 1994.....	55
Graf 16	Dekadická frekvence mur v Zermattu mezi lety 1850 a 2009.....	55
Graf 17	Povětrnostní situace v ČR mezi roky 2001 a 2007, vyjádřená jako průměrný počet dnů za rok.....	64

Seznam tabulek

Tabulka 1	Data, kdy došlo k překročení hodnoty 4σ během tří následujících dnů a data murových událostí.....	22
Tabulka 2	Hydrometeorologické podmínky pozorované během murových událostí v Ritigrabenu od roku 1864.....	23
Tabulka 3	Rozdíly v morfologii strukturních a turbulentních mur.....	27
Tabulka 4	Velké murové události v oblasti Ritigrabenu během 20. století.....	34
Tabulka 5	Murové události ve Švýcarsku 22. – 23. srpna 2005.....	35
Tabulka 6	Mury v Krkonoších a podíl lokalit na počtu a ploše.....	40
Tabulka 7	Příčinné srážky vybraných proudů.....	41
Tabulka 8	Litologie a hydrogeologická funkce litostrafigrafických členů.....	44
Tabulka 9	Mury v Rakousku.....	52
Tabulka 10	Údaje o největší muře na severním svahu Keprníku z července 1991.....	60
Tabulka 11	Srážky v okolí Keprníku 4. 7. 1991.....	63
Tabulka 12	Srovnání faktorů murových drah v pohořích střední Evropy.....	67

Seznam příloh

Příloha 1	Srovnání faktorů murových drah v pohořích střední Evropy.....	75
Příloha 2	Výsledky dendrochronologického datování murové a lavinové aktivity na svahu Červená hora a hlavní srážky a povodně, které se vyskytly ve východní části Sudet.....	76
Příloha 3	Morfologický nákres a profily studované murové / lavinové dráhy.....	77

1. Úvod

Tato práce vzniká vzhledem k absenci modernější literatury věnované murám na našem území. Jedná se však o velmi rychlé procesy svahové modelace, které ve svých důsledcích mohou ovlivnit reliéf celého údolí i říční nivu a mít katastrofální následky. V Česku jsou mury popsány z Krkonoš (např. Pilous, 1973, 1975, 1977), Hrubého Jeseníku (např. Sokol, 1959; Gába, 1991; Polách a Gába, 1998), v posledních letech se velmi rozvíjí výzkum v Moravskoslezských Beskydech (např. Šilhán a Pánek, 2008). V zahraniční literatuře se často objevují články věnované murám v alpských zemích, které se většinou týkají případových studií, a většinou chybí teoretická část problému. Vzhledem k rozvoji turismu, horských středisek i infrastruktury zde dochází k přímému ohrožení lidských životů a vznikají snahy o vytváření varovných systémů. Sami autoři upozorňují na potřebu rozsáhlejšího výzkumu a vytváření databází pro srovnávání regionů mezi sebou.

Cílem této práce tedy je, na základě literatury, definovat a klasifikovat mury, stanovit podmínky jejich vzniku i morfologii. Dále uvést příklady murových událostí z pohoří střední Evropy, zjistit co nejvíce o Hrubém Jeseníku a porovnat výsledky mezi sebou.

Vzhledem k větší rozsáhlosti práce zde stručně naznačím strukturu a obsah jednotlivých kapitol. Základní rozdělení je následující: úvod, fyzicko-geografické poměry Hrubého Jeseníku, mury z komplexního hlediska, mury v Hrubém Jeseníku, diskuse a závěr. Kapitola týkající se fyzicko-geografických poměrů (2) je zaměřena na geologii (2.1.) a srážky (2.2.), protože právě tyto jsou hlavními faktory ovlivňujícími vznik mur. Kapitola o murách (3) se zabývá stručným popsáním literatury, podkapitoly jsou zaměřeny na definici (3.1.), dělení (3.2.) a genezi a morfologii (3.3.) dvou typů mur – strukturních a turbulentních. Další podkapitola, věnovaná pohořím ve střední Evropě (3.4.), nejprve opodstatňuje zdejší výzkum. Nižší celky jsou zaměřeny na metody datování (3.4.1.), hlavně radiometrii, dendrochronologii a metodu optické luminiscence, dále na konkrétní události (3.4.2.), hlavně ve Švýcarsku, Česku a Slovensku. Další podkapitola (3.4.3) se zaměřuje na výzkum klimatických změn v horské oblasti a jejich vliv vznik mur. Kapitola o Hrubém Jeseníku (4) nejprve představuje dostupnou použitou literaturu a dále se zabývá chronologií mur v Hrubém Jeseníku. Následuje jednoduchá polohová analýza a faktor vedoucí ke vzniku zdejších mur (4.1.). Diskuse (5) je zaměřena na srovnání faktorů jesenických mur a mur z dalších pohoří. Závěr (6) shrnuje dosažené cíle a výsledky práce.

2. Fyzicko-geografické poměry Hrubého Jeseníku

Hrubý Jeseník je druhé nejvyšší pohoří České republiky, nacházející se na severní Moravě. Jeho zařazení v rámci geomorfologických jednotek je následující: provincie Česká vysočina, subprovincie Krkonošsko-Jesenická (Sudety) a Jesenická oblast (východní Sudety). Hornatina má přibližně oválný tvar se třemi hlavními hřebeny, které se táhnou od středu na severozápad (Keprnická hornatina), severovýchod (Medvěďská hornatina) a jih (Pradědská hornatina) a jsou odděleny Červenohorským sedlem a sedlem Vidly. Mapa oblasti Hrubého Jeseníku je v příloze 1.

Nejvyšším vrcholem je Praděd, vysoký 1491 m n. m., který je současně nejvyšším vrcholem Moravy a Slezska a pátým nejvyšším vrcholem Česka. Podle autorů serveru „tisícovky Čech, Moravy a Slezska“ je v Jeseníku dalších 55 hlavních vrcholů vyšších než 1000 m n. m. Jsou to například Vysoká hole (1465 m n. m.), Petrovy kameny (1446 m n. m.) nebo Keprník (1423 m n. m.)

Jeseníky byly převážně vyvrásněny během variského vrásnění v prvohorách, které velmi ovlivnilo jejich dnešní geologickou strukturu i metamorfózu hornin. V druhohorách probíhala výrazná denudace, která vytvořila ve výšce kolem 850 m n. m. téměř rovinu. Během alpínského vrásnění došlo k dalším zdvihům podél zlomových linií, vrcholové partie však stále naznačují zarovnaný povrch, ve třetihorách pak opět k poklesům, výzdvihům a denudaci. Saxonská tektonika se projevila pouze v Jeseníku Nízkém, kde vytvořila asi dvacet osamocených stratovulkánů. Pro čtvrtohory je charakteristické zvětrávání a vznik půd a rašelin.

2.1. Geologie

Hrubý Jeseník patří do oblasti Silesika (Jesenického krystalinika). Silesikum je severomoravská regionální jednotka (slezský blok) tvořená starým krystalinickým jádrem se slaběji metamorfovaným paleozoickým pokryvem (Petránek, 1993). Je tedy tvořen krystalinickým komplexem silně přeměněných hornin – ortorul a pararul. Pohoří je rozděleno na dvě části Červenohorským hlubinným zlomem. Obě části mají antiklinální tvar a jsou tvořeny migmatity,

v místě zlomu vystupují přeměněné krystalické břidlice, tedy metamorfované horniny, které mají břidličnatou dělitelnost. Ruly a ortoruly se vyskytují v místech porušeného povrchu.

Pokud se zaměříme konkrétně na Keprnickou hornatinu, protože právě zde se nacházejí zkoumané mury, tak její vrcholové části jsou podle Gáby (1992) tvořeny horninami s vysokým obsahem slíd – svory a svorovými rulami, na rozdíl od Pradědské hornatiny, kde se téměř nevyskytují, stejně jako murové události.

Pro vznik mur uvádějí Sokol (1958) i Pilous (1977) jako nejvhodnější podloží tvořené fylity, svory nebo rulami s vysokým podílem slíd. Ovšem v Krkonoších jich celá řada vznikla i na žulovém podkladu (Gába, 1992). Baeza a Coromina (2001) prováděli výzkum ve španělských Pyrenejích a uvádějí, že se většina sesuvů vyvinula na rendzinách, jílovitých formacích a zvláště na svazích s koluviální pokrývkou. Zde se ale jedná o mury jiného typu, než v českých pohořích.

2.2. Srážky

Hrubý Jeseník patří s Jizerskými horami a Moravskoslezskými Beskydami k nejdeštivějším oblastem Česka a průměrné roční úhrny srážek zde dosahují kolem 1000 mm (Ondryáš, 2007). Stejně jako u jiných vyšších pohoří má vliv na rozdělení srážek v Hrubém Jeseníku zejména nadmořská výška a návětrnost a závětrnost svahů. Průměrné množství srážek za rok zde stoupá od 950 mm v Lipové-lázních (500 m n. m.), přes 1110 mm na Ramzovském sedle (759 m n. m.) a 1400 mm na sedle Vidly (770 m n. m.), až po 1474 mm na Pradědu (1491 m n. m.), kde se zásadně projevuje návětrná poloha k západnímu proudění. Je zde v průměru 211 dnů se srážkami. Na východním závětrném podhůří jsou srážky zhruba o 20 % nižší. Pokud budeme sledovat srážky odvozené, tedy bez místních vlivů, zjistíme, že ve vyšších polohách Hrubého Jeseníku jsou srážkové úhrny vyšší o 30 až 60 %. Oblast Moravy a Slezska patří z hlediska ročního chodu srážek ke kontinentálnímu typu. Maxima je tedy dosahováno v letních měsících, převážně v červenci (nad 140 mm podle Tolasze at al., 2007), a minima v zimě (únor: 50-60 mm, v nejvyšších polohách do 80 mm). Projevují se zde ale i vlivy oceánského klimatu.

Rozdíly mezi jednotlivými roky a měsíci, dokonce i dny, jsou poměrně značné. Roční úhrny na Moravě kolísají ve srovnání se stoletým průměrem 1881 až 1980 mezi 73 a 137 % (Demek a Novák, 1992). Měsíce s největší proměnlivostí jsou únor, září a říjen. I maximální denní úhrny srážek jsou extrémní. Stanice Stará černá voda na severní návětrné straně Hrubého Jeseníku naměřila 9.7.1903 240,8 mm srážek, což je 177 % měsíčního normálu (Demek a Novák, 1992).

Nejvyšší denní úhrn srážek na Pradědu byl mezi lety 1947-1990 podle Gáby (1992) 104,8 mm, což je poměrně málo ve srovnání se stanicemi Hučivý potok – 217,7 mm (9. 7. 1903) nebo Červená hora – 196,5 mm (1. 6. 1921) v oblasti Keprníku. Vyšší intenzitu srážek v této oblasti vysvětluje Gába (1992) orientací horských hřbetů při východním a severovýchodním proudění a tzv. nálevkovitým efektem zintenzivňujícím srážky právě na hlavním hřbetu Keprnické hornatiny. Extrémní srážky jsou totiž podle tohoto autora na Severní Moravě a ve Slezsku zapříčiněny převážně povětrnostními situacemi NEc, C, B, Ec, přičemž srážky přicházejí od východu, severovýchodu až severu.

S prudkými dešti souvisí i bouřky, jejichž počet vzrůstá s nadmořskou výškou až na 33 za rok. Téměř všechny se vyskytují v teplé části roku, s maximem v červenci a červnu.

3. Mury

Pojem mura (v anglicky psané literatuře debris flow) není veřejností všeobecně známý a používaný, ale přitom, jak tvrdí Pilous (1973), jde o jevy geomorfologicky velmi významné, a v některých částech pohoří tak hojné, že mají výrazný podíl na vývoji reliéfu, zvláště na modelaci údolních svahů a niv. Navíc v důsledku rostoucího tlaku socioekonomických oblastí v horských regionech rostou obavy z konfliktů mezi murovými proudy (přívally) a infrastrukturou (Bollschweiler a Stoffel, 2010).

Z českých autorů se murami velmi objektivně zabývá Pilous (1973), který předkládá přehled jak české literatury, tak i zahraniční. Uvádí, že naši autoři věnovali murám nepatrnou pozornost, proto dochází k tomu, že nejsou většinou vůbec respektovány jako samostatný jev, ale jsou zaměňovány s nejrůznějšími jinými typy gravitačních pohybů zvětralin (nejčastěji sesuvy). Pojetí mur odpovídá pouze turbulentním murám, které se ale vyskytují v pohořích vyšších, než jsou Krkonoše nebo Hrubý Jeseník. A právě z těchto jsou u nás mury pozorovány a popsány.

Podstatně lépe hodnotí Pilous (1973) německou literaturu a za nejvýstižnější považuje tehdejší sovětské autory. V obou případech jsou uváděny dva základní typy mur, pouze jinak nazývané, a další dělení.

Současná zahraniční literatura se zabývá převážně konkrétními případy ve studovaných vysokohorských oblastech, datováním a předpověďmi, zatímco teorie a dělení v podstatě chybí.

3.1. Definice

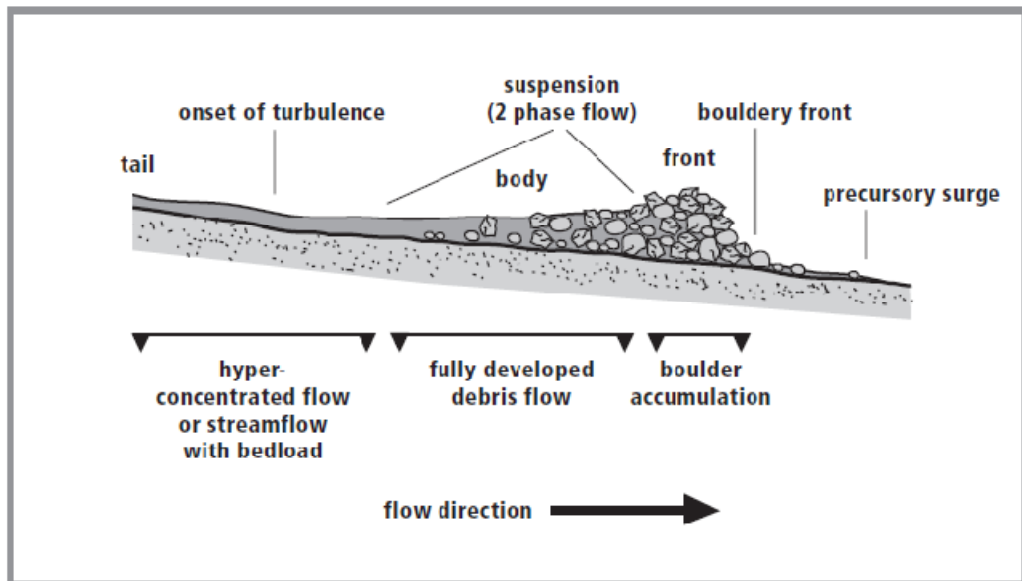
Definice mur není ujednocena a téměř každý autor, který o nich píše, vytváří svou vlastní. Ve starší literatuře se často o těchto jevech neuvažuje z komplexního hlediska, ale pouze jako o místních událostech. Teprve v posledních letech, z důvodu velkého nebezpečí v horských regionech, vznikají snahy o vytváření databází a srovnávání mur z jednotlivých oblastí mezi sebou. Proto se starší zmínky o murách většinou omezují jen na konstatování faktu, že došlo ke svahovému sesuvu nebo definici vyplývající pouze z místních podmínek. Novější literatura už ale vytváří i definice založené na komplexním sledování těchto gravitačních svahových pohybů.

Uvádím zde tedy několik definic:

- Blokovobahenní proudy, které vysokou rychlostí stékají ze svahů, přičemž strhují zvětralínu a balvany, stromy a vše co jim přijde do cesty; vznikají za přívalových srážek na příkrých svazích hor (Gába, 1992).
- Rychlý průtok trosek, často v důsledku dodatečných povrchových vod dodaných do úlomkové laviny, v němž se směs stává extrémně tekutá a pohybuje se na velké vzdálenosti (Whittow, 1984).
- Toky sedimentů a vody, které se pohybují dolů ke dnu údolí podél tradičních vodních cest (přívalová koryta) nebo po spádu prostřednictvím nových tras. Tento typ události, který se vyvíjí po náhlém přílivu velkého množství vody na volné půdě, je zvláště častý ve vysokohorských oblastech. (Panizza, 1996)
- Pohyby hmot zahrnující rychlý transport vody a nasycených materiálů strmými stísněnými kanály (VanDine a Bovis, 2002; In Bollsweiler a Stoffel, 2010).
- Fairbridge (1968) zařazuje mury mezi bahnotoky: bahnotok je proudění hmoty převážně jemnozrnného materiálu, který má vysoký stupeň plynulosti při pohybu. Pokud je více než polovina pevné frakce takové materiálové hmoty větší než velikost písku, je vhodnější termín "mura" (Sharp a Nobles, 1953; Varnes, 1958; In Fairbridge, 1968).

Gábova definice (1992) je založena na pozorování mur v Hrubém Jeseníku, a proto v ní zřejmě není uvedena další možnost vzniku, tedy tání sněhu. Ve své práci dále uvádí, že slovem mury by se, přísně vzato, měly označovat jen blokovobahenní proudy v pohybu a pozůstatky po nich by se měly označovat murové rýhy a murové dráhy.

Jednotná definice by podle mého názoru měla zahrnovat materiál, příčiny vzniku i důsledky a obsahovat oba typy mur (viz kapitola 3.2. Dělení). Na základě literatury a uvedených definic tedy stanovuji vlastní: blokovobahenní proudy značné rychlosti, způsobené atmosférickými podmínkami (přívalové srážky, tání sněhu) nebo geomorfologickými událostmi (náhlý odtok vodních kapes, protržení morénou nebo ledem hrazených jezer) v horských oblastech, které se pohybují dolů do údolí přívalovými koryty nebo po spádnici, a strhávají vše, co jim přijde do cesty. Obrázek 1 znázorňuje nákres mury.



Obrázek 1: Nákres mury s charakteristickým čelním valem, za nímž se pohybuje voda.
Zdroj: Hübl et al. (2002, podle Piercon, 1986)

3.2. Dělení

Stejně jako u definice, tak i dělením a hlubší problematikou mur se z českých autorů nejvíce zabýval Pilous (1973). Podrobuje navíc kritice i dosavadní literaturu a tvrdí, že naši autoři věnovali murám pouze nepatrnou pozornost, nerespektují je jako samostatný jev a zaměňují je s jinými typy gravitačních pohybů zvětralin. Pokud jsou mury respektovány, jsou chápány pouze jako turbulentní. Tento typ se ale, podle jejich definice, v Hrubém Jeseníku nebo Krkonoších vůbec nevyskytuje a je znám pouze z vyšších pohoří.

Nejstarší literatura je podle Pilouse (1973) německy psaná, založená na pozorování jevů v Alpách. Jako příklad uvádí J. Stineho (1910), který vyčleňuje mury v systému transportů mas podmíněných gravitací a mury dále dělí: základní kategorie jsou suché (trockene Mure) a mokré nebo tekoucí (nase Mure). Terminologie sice plně neodpovídá charakteru mur, ale obsahově je jasná.

Stručný přehled mur stanovený tímto autorem (z Pilouse, 1973):

- I. ledové
- II. sopečné
- III. bažinné
- IV. suťové (úlomkové)
 - 1) na mladých zvětralinách
 - 2) na starých zvětralinách
 - a) se suchou odlučnou plochou
 - b) s podmáčenou odlučnou plochou
 - 3) smíšené mury
 - 4) zvláštní murové proudy

Za nejdůležitější považuje Pilous (1973) dělení sovětských autorů, které má podle něj všeobecnou platnost. Pro mury se používá termín „selja“ nebo „selevyj potok“. Dělí se do dvou základních kategorií – strukturní a turbulentní, což odpovídá suchým a mokřým, ale lépe vystihuje charakter suťového proudu. Navíc používají ještě další dělení.

Strukturní mury definují autoři jako takové, na jejichž vzniku se podílí malé množství vody, která je vázána s jemně disperzní, pevnou bází (Pilous, 1973). Dělí se na:

- bahnité: jemnozemě vázaná vodou
- bahnitokamenité: bahnitá masa transportuje větší úlomky zvětralin
- kamenitobahnité: skalní úlomky smíšené s bahnem.

Turbulentní mury jsou takové, v nichž množství vody účastné na vzniku, převyšuje vaznou schopnost zeminy. Dělí se na:

- vodokamenné: hrubé úlomky horniny s vodou
- vodopísčité: voda a písek
- vodohlinité: hlinité a prachové částice unášené vodou.

V celé své práci dodržuje Pilous (1973) toto dělení i terminologii.

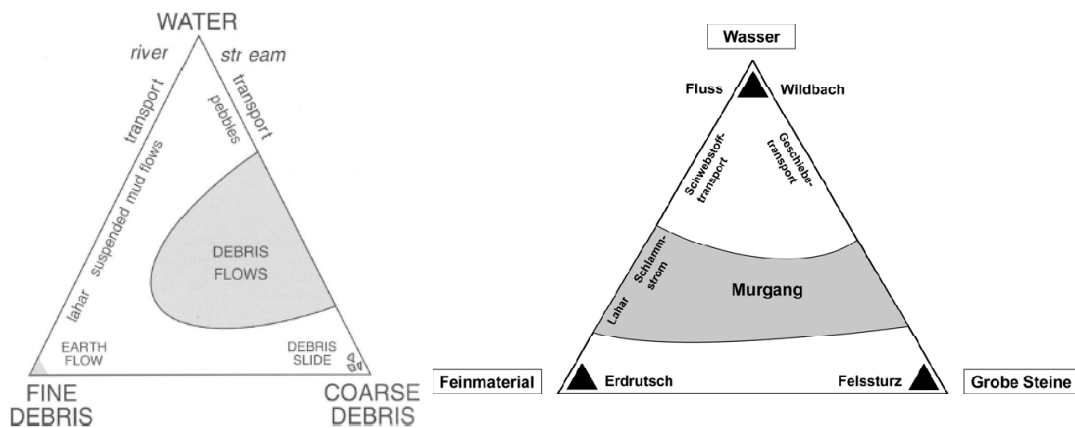
Nyní se zaměřím na zahraniční literaturu. John B. Whittow (1984) nepoužívá termín mura (debris flow), ale vyčleňuje bahnotoky (mudflows) klimatické a vulkanické – lahary. Nadřazenou skupinou jim jsou přenosové procesy (translational slides) a ještě vyšší sesuvy půd (landslides). Klimatické bahnotoky jsou nazvány podle toho, že k jejich vzniku je zapotřebí klima, které střídá podmínky pro vznik zemin a suti s poskytováním hojného přísunu vody.

Vulkanické bahnotoky, neboli lahary, se vyskytují v souvislosti s explozivní erupcí a vycházejí z náhlého přesycení velkého množství sopečného popelu a prachu (Whittow, 1984).

Panizza (1996) uvádí seznam nebezpečných jevů, hrozcích v horách. Mezi nimi jsou i mury, rozdělené podle vzniku:

- způsobené protržením přehradního ledu
- způsobené protržením ledového okraje jezera
- vyplývající z protržení morénou hrazených jezer
- vyplývající z protržení subglaciálních a englaciálních vodních kapes
- způsobené krátkými a intenzivními srážkami na glaciální nánosy nebo svahové suti
- lahary

Toto je pouze výběr z výčtu nebezpečných jevů v horském prostředí a není proto jasné, zda se v této publikaci lahary řadí mezi mury. Nicméně v kapitole věnované přímo murám je trojúhelník (obrázek 2) zobrazující typy pohybů sutin na základě poměru vody a trosek. Z něj vyplývá, že v murách převažují hrubé úlomky a voda, doplněné jemnějším materiálem, zatímco lahary jsou zvlášť, tvořeny jemnozrnným materiálem a vodou, které je méně. Jiný trojúhelníkový diagram (obrázek 2) naopak lahary mezi mury začleňuje. Na základě dříve uvedených definic bychom asi lahary mezi mury zařadit mohli.



Obrázek 2: Typy suťových pohybů na základě poměru mezi vodou a hrubými a jemnými úlomky. Zdroj: (A) upraveno Panizzou (1996) podle Haerberli a Naef (1988); (B) podle Phillips a Davies (1991; In Rickenmann, 2001)

Ruské dělení je tedy založené na složení mur, zatímco italské na události, která je jejich příčinou. První je více propracované, teoretické a zabývá se i vznikem, proto se ho dále budu držet.

3.3. Geneze a morfologie

Vznik turbulentních a strukturních mur je zcela odlišný. Pohyb strukturních mur je způsoben gravitací a menší množství vody je vázáno na povrchu částic zeminy. Tyto hydrátní blanky spojují sousední částice, na jejichž kontaktu dochází k pohybu (Pilous, 1973). Curtis (1954) navrhl, že v bahnotoku „každý namazaný fragment, tak jako kuličkové ložisko v kole, pomáhá mobilizovat hmotu a může být považován za část tekutiny“ (In Fairbridge, 1968). U turbulentních mur je poměr vody a zvětralin okolo 50 % a materiál je transportován v suspenzi.

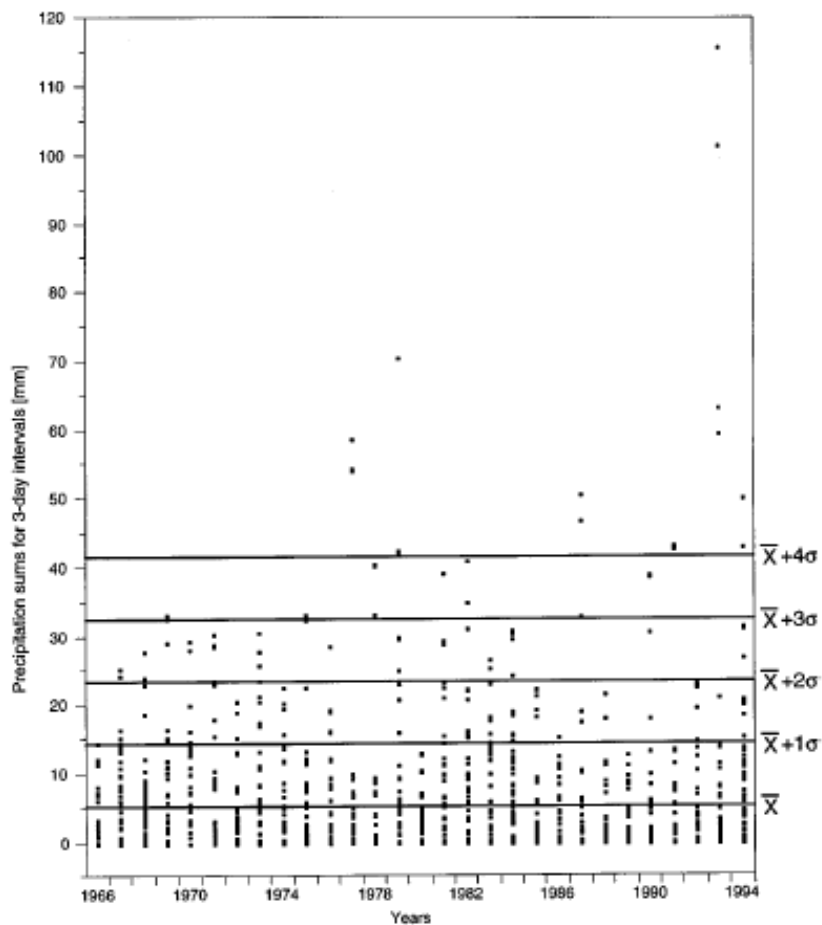
Panizza (1996) spatřuje úlohu vody hlavně v nárůstu tlaku v pórech, díky změně hladiny podzemní vody. Opakování těchto změn způsobuje oslabení vnitřních vazeb svahového materiálu. Pokud je rychlost vsaku nízká, předpokládá se, že rozhodující význam pro spuštění murové události má doba trvání deště; naopak v půdě vyznačující se vysokou hydraulickou vodivostí se stává prvořadou intenzita.

Několik autorů se snažilo zjistit hodnoty srážek, které vedou ke vzniku mury. Tyto údaje jsou označovány například jako prahové hodnoty srážek nebo pluviometrická mez. Definice množství srážek pro spuštění mur je vysoce závislá na místě a nezdá se možné definovat pevné srážkové hodnoty pro určitý region (Bollsweiler a Stoffel, 2010). Mury vyskytující se pouze v jednom proudu jsou pravděpodobně důsledkem lokálních (konvektivních) srážek, velmi intenzivního tání sněhu nebo náhlého přísunu vody (protržení jezera nebo interglaciální kapsy), zatímco advektivní srážky způsobují mury v celém regionu, vyskytující se téměř současně.

U strukturních mur je důležité předchozí nasycení zvětralin a během intenzivních srážek je pak kritická hodnota nasycení pouze překročena (Pilous, 1973). Předchozí však většinou způsobí následné uvolnění zvětralin do větší hloubky, případně až na skalní podloží. Po prozkoumání krkonošských mur Pilous (1977) ale uvádí, že předchozí podmáčení zvětralin je zde bezpředmětné, protože mury vznikly po vlhkých i suchých obdobích. Při vzniku turbulentních mur je intenzita deště (mm/s) alespoň chvílemi ještě podstatně větší než u turbulentních, protože voda se nestačí vsakovat (Pilous, 1973).

U turbulentních mur nejprve dochází ke stružkovému ronu, ze kterého se pak stává bystřina, která strhává zvětralinu. Turbulentní mury jsou tedy vázány na zářezy a svahové deprese, které se většinou sbíhají. Naopak strukturní mury vznikají na jakémkoliv místě příkrého svahu. Jejich dráha pak může náhodně vyústit do zářezu, ve kterém během silných srážek dochází ke vzniku bystřiny, proto se pak mura stává spíše turbulentní.

Cílem pozorování Rebeteze et al. (1997) bylo zjistit na základě statistických pozorování vazby mezi meteorologickými a klimatickými faktory a vznikem mury, a také zda příznivé podmínky pro vznik rostou nebo klesají. Jejich studovaná oblast – Ritigraben torrent, se nachází v Alpách v kantonu Valais na jihozápadě Švýcarska, na svahu velkého údolí Mattertal. V blízkosti Ritigrabenu se nacházejí dvě vesnice – Grächen a Sankt Niklaus a s nimi spojené silnice, mosty a železnice. Seznam zdejších murových událostí převzali z Mani (1994) a Schnydrig (1952) (viz tabulka 4) a srovnávali ho se srážkovými údaji okolních meteorologických stanic. Výsledky ukázaly „že ve všech případech, pokud nemělo vliv tání sněhu, jsou podmínkou vzniku mury srážky přesahující hodnotu čtyř směrodatných odchylek ve třech po sobě následujících dnech“ (Rebetez et al., 1997).



Graf 1: Množství srážek zaznamenané v srpnových a zářijových třídenních intervalech v Grächenu mezi roky 1966 a 1994.

Zdroj: Rebetez et al. (1997)

Během pozorování srážek v Grächenu (1966 až 1994) nedošlo k žádné murové události, pokud srážky nedosáhly této hranice, pokud se ovšem na jejich vzniku nepodílel tající sníh. Graf 1 znázorňuje srážky v oblasti Grächenu a tabulka 1 jejich srovnání s murovými událostmi. V roce 1979, kdy byly srážky druhé největší, k vyvolání mury nedošlo, a to pravděpodobně z důvodu

nedostatečného množství sedimentů, které byly odneseny o dva roky dříve. Tato událost zdůrazňuje důležitost dostupnosti sedimentů jako zásadní faktor pro vznik mur (Rebetez et al., 1997). V roce 1994 opět nedošlo ke vzniku mury, ale silné srážky způsobily rozsáhlou zpětnou erozi permafrostu, který byl odhalen při katastrofální události o rok dříve a dostal se tak na povrch a docházelo k jeho degradaci. Mura vznikla téhož roku na konci září, a to v důsledku tání sněhu.

Dates of periods with a sum of precipitation $> +4\sigma$	Day of maximum precipitation	Sum of precipitation during the 3 days	Dates of debris flows
27–29 August 1977	29 August 1977	54.3 mm	29–30 August 1977
28–30 August 1977	29 August 1977	58.6 mm	29–30 August 1977
29–31 August 1977	29 August 1977	53.7 mm	29–30 August 1977
16–18 August 1979	18 August 1979	70.5 mm	None
17–19 August 1979	18 August 1979	42.4 mm	None
18–20 August 1979	18 August 1979	42.2 mm	None
22–24 August 1987	24 August 1987	46.9 mm	24–25 August 1987
23–25 August 1987	24 August 1987	50.7 mm	24–25 August 1987
6–8 August 1991	8 August 1991	43.3 mm	8–9 August 1991
7–9 August 1991	8 August 1991	43.3 mm	8–9 August 1991
8–10 August 1991	8 August 1991	43.1 mm	8–9 August 1991
21–23 September 1993	23 Sept. 1993	59.4 mm	24 September 1993
22–24 September 1993	24 Sept. 1993	115.8 mm	24 September 1993
23–25 September 1993	24 Sept. 1993	101.4 mm	24 September 1993
24–26 September 1993	24 Sept. 1993	63.1 mm	24 September 1993
5–7 August 1994	6 August 1994	43 mm	None
6–8 August 1994	6 August 1994	50 mm	None

Tabulka 1: Data, kdy došlo k překročení hodnoty 4σ během tří následujících dnů a data murových událostí.

Zdroj: Rebetez et al. (1997)

Stoffel et al. (nepublikované údaje; In Bollschweiler a Stoffel, 2010) se snažili stanovit množství srážek spouštějících mury v Ritigraben torrent za posledních 150 let. Hodnoty se pohybovaly od 10 do 179 mm, průměrně 40,1 mm. Tabulka 2 ukazuje určitou závislost objemu mur na velikosti srážek. Je zřejmé, že prahové hodnoty potřebné pro uvolnění událostí narůstají během murové sezóny a záleží na stavu hornino-ledové masy (tj. aktivní vrstvy z permafrostu), nacházející se v pramenné oblasti mury (Bollschweiler a Stoffel, 2010).

Characteristics	S	M	L	XL
Precipitation type	convective	convective	adv./conv.	Advective
Precipitation totals (mean)	26 mm	27 mm	51 mm	88 mm
Precipitation totals (min)	10 mm	12 mm	21 mm	49 mm
Precipitation totals (max)	52 mm	50 mm	179 mm	116 mm
Duration of rainfall event	<24 h	<24h	<24–96 h	48–72 h
Seasonality	JAS	JJAS	JJAS	AS
Particle sizes (\varnothing)	< 0.5 m	0.5–1 m	0.5–1 m	1–2 m
Magnitude (m^3)	10^2 – 10^3	10^3 – 5×10^3	5×10^3 – 10^4	10^4 – 5×10^4

Tabulka 2: Hydrometeorologické podmínky pozorované během murových událostí v Ritigrabenu od roku 1864. JJAS jsou značky pro červen, červenec, srpen, září; zvýraznění znamená vrchol aktivity.

Zdroj: Bollsweiler a Stoffel (2010)

Szymczak et al. (2010; In Bollsweiler a Stoffel, 2010) identifikovali ve švýcarských Alpách v povodí bez permafrostu spouště novějších událostí založené na letokruhových a meteorologických údajích. Srážky, které spustily mury, se vyskytovaly nejčastěji v červnu a červenci, v srpnu a září byly vzácné. Největší srážkový úhrn byl 48 mm za den a největší pozorovaná intenzita činila 12 mm za hodinu.

Baeza a Corominas (2000), kteří prováděli výzkum v Pyrenejích, uvádějí (s odkazem na Novoa, 1984), že obvykle srážky dosahují více než 200 mm/24 hodin. Během extrémních událostí v roce 1940 byly srážky přes 700 mm/den. K silným dešťům zde dochází hlavně během podzimu, kdy teplé a vlhké vzduchové hmoty proudí přes Pyreneje, kde se střetávají s chladným vzduchem a dochází ke kondenzaci.

Gába (1992) uvádí minimální intenzitu srážek pro vznik strukturních mur nejméně 20 mm/hod. Stejně tak Pilous (1973) konstatuje, že pro vznik strukturních mur musí přesáhnout srážky po dobu jedné až dvou hodin 20 mm, spíše však více.

Co se týče sklonu, Pilous (1973) s odkazem na Flejšmana (1964) a Tomaszewskiho (1967) uvádí pro strukturní mury následující svahové poměry. 30–40° i více pro odlučnou zónu, 10–30° pro tranzitní a 5–6° pro akumulární zónu. Jeho výzkum v Krkonoších ukazuje, že většina těchto murových drah má odlučnou zónu na svahu se sklonem 27–37°, i více, nikdy však pod 20°.

Podle Fairbridge (1968) se rychlost proudů pohybuje od 0,5 m/s do 25 m/s, podle Panizy (1996) až 30–40 m/s a dolů údolím se masa pohybuje ve vlnách různých intervalů od sekund až po několik hodin. Nánosy na dně údolí mají laločnatý tvar, částice jsou uloženy chaoticky, nemají téměř žádné třídění ani orientaci. Tyto sedimenty mohou být zdrojem velkého nebezpečí, pokud přehradí vodní tok a dojde ke vzduť, které se pak může protrhnout. Tento jev je poměrně častý u soutoků, kde množství přenášených trosek náhle ztratí energii a je uloženo (Panniza, 1996).

3.3.1. Strukturní mury

Pohyb strukturních mur je podmíněn gravitací, protože voda se zde nachází v menším množství než u turbulentních a vázaná, jak už bylo popsáno výše. Na tekutosti materiálu závisí rychlost mury. Na počátku murové události je zvětrávání materiálu, podmíněné zejména regelací. Atmosférické podmínky pak způsobují rozrušování částic a tvoří se frakce od nejmenších koloidních částic až po balvany o obrovské váze. Za normálních poměrů je masa stabilní vlivem kohese, adheze, poměru obsahu vody a koloidů a dalších faktorů (Pilous, 1973). Pokud dojde k většímu přísunu vody, zmenší se vnitřní tření. K pohybu pak dochází, pokud síla odporu vnitřních tření začne být menší než gravitace. Protože k tomuto procesu nedojde všude současně, ale na počátku vzniká ohnisko pohybu a okrajová oblast, dochází k režimu pohybu, který se nazývá strukturní. Podle toho se označuje i tento typ mur. Na základě poměru mezi jemně disperzní a hrubou úlomkovitou frakcí se mury dělí na bahnité a bahnitokamenité, kde převažuje jemná frakce a kamenitobahnité, kde převládá hrubě úlomkovitá frakce.

Když se tedy bahnitá nebo bahnitokamenitá mura dává do pohybu, jedná se spíše o plížení a režim jejího pohybu je strukturní. Postupně se i okrajová gradientní oblast zrychluje a ohnisko zaniká. Nastává pohyb viskózní, laminární nebo turbulentní. Rychlost mur v této fázi je veliká, podle Pilouse 3-7 m/s, čímž značně převyšuje maximální rychlost nutnou pro zachování struktury (řádově cm/s), a proto bahnité mury mají za pohybu rozrušenou strukturu. Na konci pohybu se masa zpomaluje a pohyb je opět strukturní.

Tyto bahnité masy jsou schopny pasivně transportovat i velké úlomky. Některé bahnotoky, ne více než 4 stopy vysoké, transportovaly bloky o rozměrech 9x11x16 stop a větší bahnotoky přepravily horninové masivy o rozměrech nejméně 20x30x40 stop (Fairbridge, 1968).

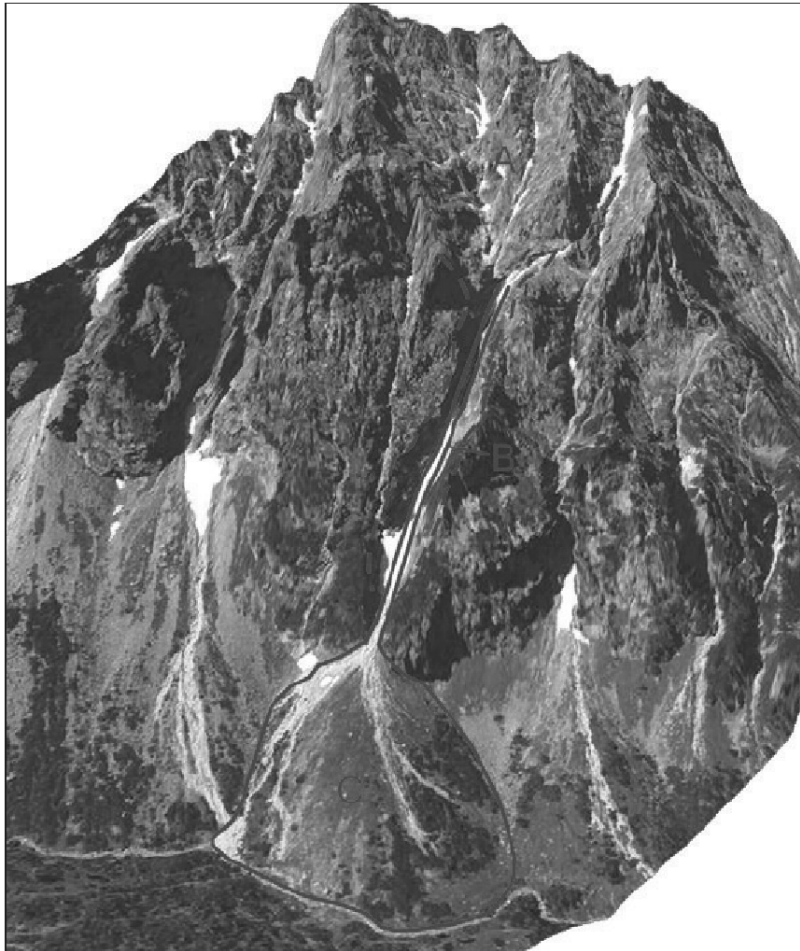
Kamenitobahnitá mura má více hrubě úlomkovitého materiálu a bahnitá složka zmenšuje tření mezi velkými kameny, takže nejsou pouze pasivně transportovány, ale přímo se účastní pohybu. Viskózní pohyb strukturních mur je nerovnoměrný a i zde se lze setkat s turbulentními jevy, pokud je rychlost pohybu vysoká. Rychlost různých částí téže mury je rozdílná nejen v příčném, ale i podélném profilu a průřez murou se za pohybu rychle mění do šířky i výšky (Pilous, 1973). Akumulace materiálu jsou pak na dně horských zářezů a sledují reliéf podloží.

3.3.2. Turbulentní mury

U turbulentních mur je množství vody přibližně stejné jako množství unášeného materiálu. Vzniku těchto mur předchází lineární pohyb sutě ve žlabech a zářezech, formovaný průběžně a dlouhodobě srážkami a gravitací (Pilous, 1973). Pokud pak dojde k velmi intenzivnímu přísunu vody, povrchový odtok smývá zvětralínu z jednotlivých zářezů a jejich spojováním mura narůstá. Množství unášeného materiálu je závislé na rychlosti proudu a tvaru koryta, proto se mění během pohybu, zatímco množství vody zůstává stejné. Pohyb částic v turbulentní muře je analogické s unášením materiálu ve vodních tocích.

3.3.3. Morfologie

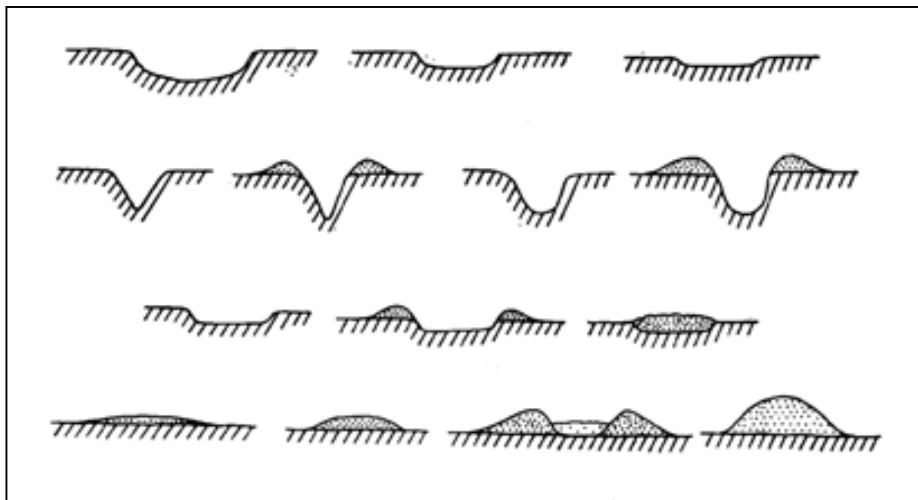
Podélný profil mur lze rozdělit do tří částí. Zóna, kde mura vzniká, se označuje jako odlučná. Druhá část bývá nejdelší a dochází v ní k přesunu materiálu, proto se nazývá tranzitní. V nejnižší zóně se materiál hromadí a jedná se tedy o akumulaci zónu. Obrázek 3 znázorňuje jednotlivé části mury a tabulka 3 zobrazuje rozdíly v morfologii jednotlivých zón. Na dalším obrázku (4) jsou příčné profily jednotlivých částí strukturních mur z Krkonoš.



Obrázek 3: Tři základní části mury na příkladu severního svahu kopce Hrubý v Tatrách. (A) odlučná zóna, (B) tranzitní zóna (C), akumulací zóna. Zdroj: Kotarba a Długosz (2010)

ROZDÍLY MORFOLOGII	V	strukturní mury	turbulentní mury
odlučná zóna		amfiteátrově ohraničená a zahlobená, má vzhled plošného sesuvu	stružkový ron vějířovitě se sbíhající ze zářezů
strhávání vegetačního krytu		v odlučné zóně	následně, vlivem transportu masy
tranzitní zóna		závislá díky tekutosti na reliéfu svahu; podobná v pásmu skal – žlabovitě stružkovitý ráz	
akumulace		tvary jazykovité, bočníkovité nebo valovité (kombinovaný); pokud se zastaví v tranzitní zóně, tak ne v zářezu, ale ve svahu pod ním	na úpatních kuželech a osypech, kde se paprskovitě rozbíhá; na dně doliny – velká plocha; pokud se zastaví v zářezu – suťový val

Tabulka 3: Rozdíly v morfologii strukturních a turbulentních mur.
Zdroj: vytvořeno autorem na základě informací z Pilouse (1973)



Obrázek 4: Příčné profily základními morfologickými variantami jednotlivých zón strukturních mur. Horní řada představuje varianty odlučné zóny, prostřední dvě zóny tranzitní a spodní řada zóny akumulací. Tečkovaně je vyznačen akumulovaný materiál.

Zdroj: upraveno na základě Pilous (1973)

Pilous (1973) dále uvádí i shodné znaky mur: rychlý pohyb a průběh, velká kinetická energie, úderové působení, velký sklon svahů, netřídnost materiálu, silný krátký hřmot a hluk.

Lewin a Warburton (1994) uvádí jako shodné znaky strmé svahy, sypký materiál a vodu (Rebetez et al., 1997).

3.4. Murové události v pohořích střední Evropy

Rebetez et al. (1997) uvádějí, že „alpské populace si byly vždy vědomé ohrožení svých vesnic, jaké představují katastrofické geomorfologické procesy“ a s odkazem na Neininger a Haerberli (1992) uvádějí, že svědectví o těchto znalostech poskytují staré legendy. Během 20. století ale významně roste rozvoj cestovního ruchu i horských středisek a infrastruktury, které často vyrůstají v těsné blízkosti murových rýh a náplavových kuželů, případně je kříží. Proto by, navíc v kombinaci s klimatickými změnami, mohly být sociální a ekonomické důsledky v budoucnosti mnohem závažnější než dosud. Důsledky murového přívalu v Alpách naznačuje obrázek 5. Proto jsou snahy o určení prahových hodnot, společných znaků mur a vývoj varovných systémů velmi opodstatněné. Tomu předchází identifikace murových událostí.



Obrázek 5: Důsledek mury v Alpách v obydlené oblasti.

Zdroj: faculty.gg.uwo.edu

3.4.1. Datování

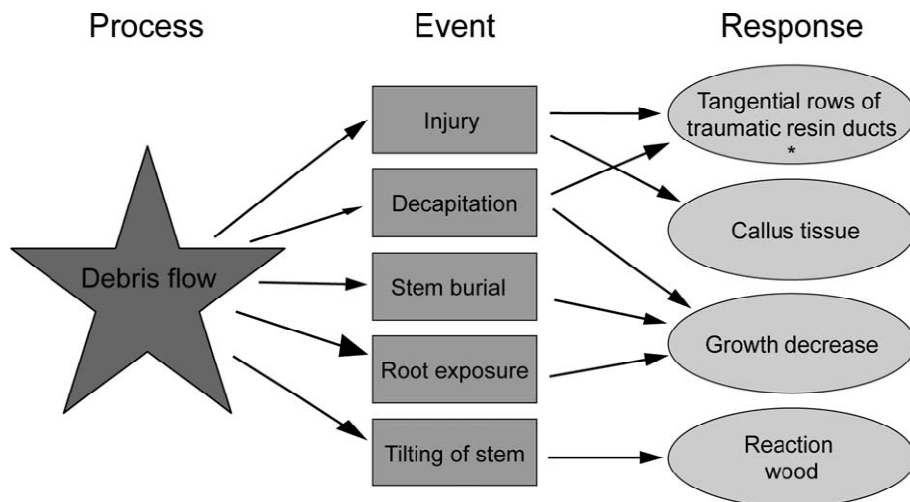
Vzhledem k tomu, že bylo prokázáno, že „mnoho gravitačních jevů (asi 90 %), a to i velkých rozměrů, má tendenci probíhat prostřednictvím reaktivace procesů v oblastech, které již byly zapojeny do podobných akcí v minulosti“ (Pasuto a Silvano, 1987; Govi, 1988; In Panizza,

1996), je retrospektivní výzkum zásadní pro vyhodnocení budoucích rizik. Ve většině případů chybí archivní záznamy a je nutné datovat události na základě nánosů nebo zasažených stromů. Dále se využívají srážkové záznamy nebo údaje o povodních.

Metody datování jsou radiometrická (obvykle ^{14}C), dendrochronologická, lichenologická. Rychle se také rozvíjí novější analytické technologie, jako urychlovač částic (AMS – Accelerator Mass Spectrometry), tepelně ionizovaná hmotnostní spektrometrie (TIMS) a laserová fúze i další datovací metody – optická luminiscence (OSL – Optically Stimulated Luminescence) a „alpha recoil dating“. Výhoda těchto metod spočívá ve využití pro neorganický materiál, například metoda OSL je založena na osvitě minerálních zrn denním světlem, alpha recoil dating na hromadění jaderných částic, uvolňovaných přirozenou radioaktivitou. Dále uvádím základní principy nejpoužívanějších metod.

Radiokarbonová metoda datování je založena na měření rozpadu radioaktivního izotopu uhlíku ^{14}C (případně argonu a uranu) a porovnání se stabilním ^{12}C . Uhlík ^{14}C vzniká v atmosféře z dusíku účinkem kosmického záření (právě dusík má atomovou váhu 14) (Houser, 2002). Během života se ^{14}C dostává do organismů z atmosféry (fotosyntézou) a po smrti se příjem přeruší a dochází k postupnému rozpadu. Poměr mezi uhlíkem ^{12}C a ^{14}C pak určuje čas smrti organismu. Poločas rozpadu ^{14}C je asi 5730 let. Pokud by tedy rostlina datovaná v roce 2010 obsahovala 50 % ^{14}C , znamená to, že k jejímu úhynu došlo v roce 3720 př.n.l. Nepřesnost této metody je působena nejistým poločasem rozpadu (uvádějí se hodnoty mezi 5500 a 5800 lety). U starých nálezů vycházejí i opakovaná měření rozdílně, směrem do současnosti přesnost stoupá. Proto je vhodné použít současně i jinou metodu.

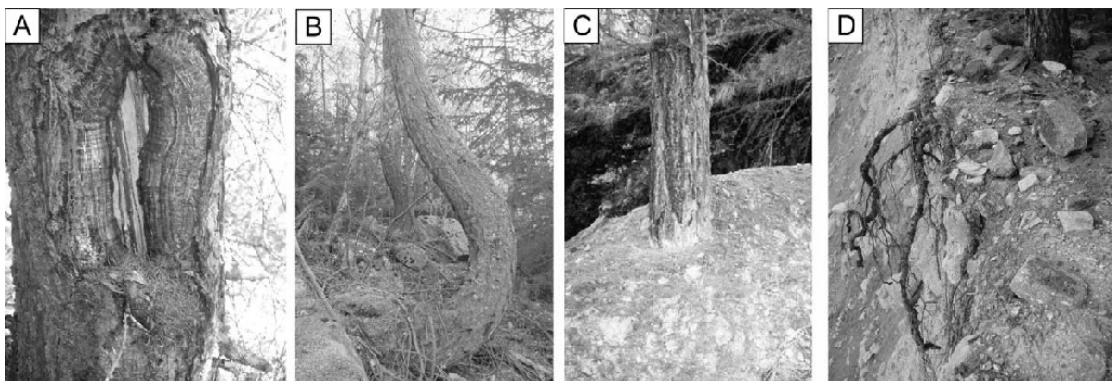
Dendrochronologie je metoda datování založená na přírůstu letokruhů stromů, která dosahuje roční až sezónní přesnosti, jsou i snahy o měsíční rozlišení. Základem je u stromů v mírných šířkách víceméně pravidelný meziroční přírůst, ovlivňovaný abiotickými (například světlo, teplota, živiny, voda) a biotickými faktory (genetika, stárnutí). Abiotické faktory jsou tedy společné pro stromy rostoucí na konkrétním místě a výkyvy (teplotní a srážkové) budou zaznamenány v jejich letokruhových sériích. Dále stromy reagují na mechanické poruchy. Letokruhová analýza geomorfologických událostí – známá jako dendrogeomorfologie (Alesto, 1971) – je obvykle založena na konceptu „proces – akce – reakce“ (obrázek 6), jak je definován v Shroder (1978) (Bollschweiler a Stoffel, 2010). Obrázek 8 znázorňuje jednotlivé reakce na různá poškození (obrázek 7) způsobená murou. Stromy mohou být zraněny unášeným materiálem, nakloněny, částečně zavaleny nebo dojde k odkrytí kořenů.



Obrázek 6: Koncept „proces – akce – reakce“

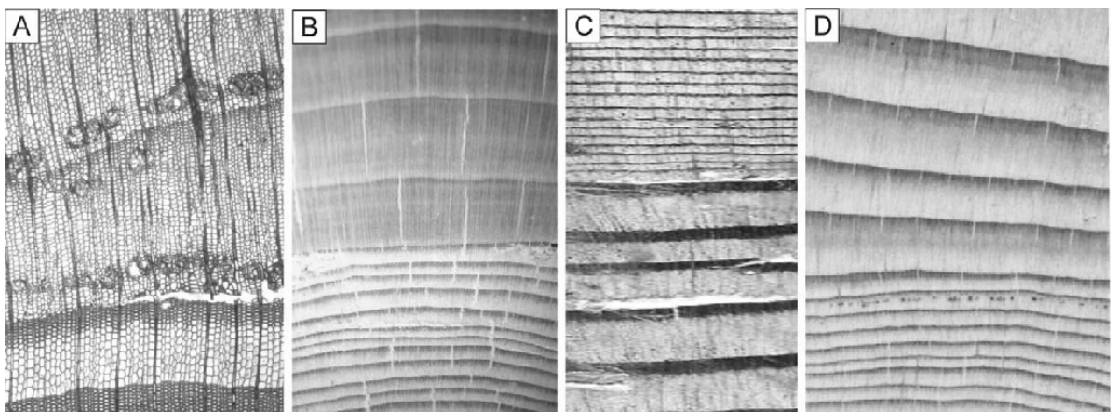
Jeden z klíčových konceptů dendrogeomorfologického výzkumu, poprvé popsany Shroderem (1980); *pouze některé jehličnaté druhy reagují vznikem řady traumatických pryskyřičných kanálků

Zdroj: Bollschweiler a Stoffel (2010)



Obrázek 7: Reakce stromů zasažených murou. Stromy mohou být zraněny unášeným materiálem (A), nakloněny (B), jejich kmen může být zavalen (C) nebo může dojít k odhalení kořenů (D)

Zdroj: Bollschweiler a Stoffel (2010)



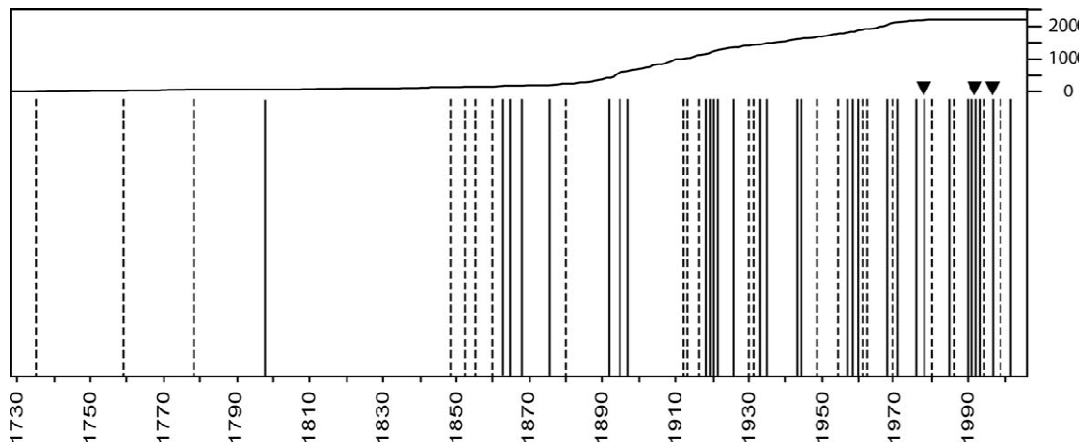
Obrázek 8: Odpověď letokruhů na jednotlivé reakce. Po obou stranách zranění dojde k vytvoření kalusu, případně řady traumatických pryskyřičných kanálků (A). Po naklonění stromu dojde k vytváření reakčního dřeva na jedné straně kmene (B). Pokud je kmen zavalen nebo dojde k odhalení kořenů, růst se velmi omezí díky nedostatku živin a vody (C). Ke zlepšení podmínek růstu (D) dojde v případě, že okolní stromy jsou strženy.

Zdroj: Bollschweiler a Stoffel (2010)

Šetření na místě probíhá následovně: je nutné zaznamenat polohu poškozených stromů a vyloučit stromy zasažené jinou geomorfologickou událostí, aby nedošlo k chybě v datování. Dále se odeberou vzorky ze stromů, většinou přírůstovým (Presslerovým) nebo zezem, případně řezem a v laboratoři probíhá jejich analýza. V případě zranění u jehličnatého stromu dojde k vytvoření hojivého pletiva (kalusu) patrného v letokruzích po obou stranách zranění, někdy se vytvoří i řady traumatických pryskyřičných kanálků (kolmé k dřevným paprskům) k ochraně odkryté části. U nakloněného stromu dochází k tvorbě reakčního dřeva, které se projevuje výraznou excentricitou a zvětšením šířky letního dřeva na spodní straně kmene (tlakové dřevo). U listnatých stromů dochází k přírůstku na straně přikloněné ke svahu, takzvané tahové dřevo. Pokud dojde k částečnému pohřbení kmene nebo naopak odhalení kořenů, dojde v důsledku nedostatku vody a živin k náhlému poklesu růstu letokruhů. Některé stromy mohou reagovat i zvýšeným růstem, a to v případě, že okolní stromy byly odstraněny a strom získá lepší podmínky růstu.

Z výsledných dat lze zjišťovat časovou frekvenci, prostorový rozsah, objem událostí a v kombinaci s meteorologickými záznamy i prahové hodnoty srážek. Průkopníkem zjišťování časové frekvence minulých mur byl podle Bollschweiler a Stoffela (2010) Hupp (1984), který dokumentoval výskyt mur na svazích Mount Shasta v Kalifornii. V současnosti je výzkum zaměřen hlavně na Alpy, většinou švýcarské. Například Bollschweiler a Stoffel (2010) rekonstruovali minulé události pro více než 30 přívalových koryt. Graf 2 znázorňuje murovou frekvenci v Geisstriftbach torrentu ve švýcarských Alpách (Sorg et al., 2010 a Stoffel et al., 2010; In Bollschweiler a Stoffel, 2010). Rekonstrukce událostí probíhala na základě 252 porušených *Larix decidua* (modřín opadavý) a *Picea abies* (smrk ztepilý). Mezi lety 1736 a 2008 určili 53 murových událostí. Plnou čarou je znázorněno 31 událostí identifikovaných velkým množstvím růstových poruch a přerušovanou 22 událostí, u kterých je dobrý důkaz existence události, ale malý počet stromů znemožňoval stejnou přesnost. Nad frekvencemi je linie znázorňující hloubku vzorku. Trojúhelníky indikují události uvedené v místních archiváliích (1973, 1993 a 1997). Je vidět, že dendrochronologie odhalí několikanásobné množství událostí.

V současné době se vědci snaží o využití letokruhů pro datování s měsíční přesností, za předpokladu, že k události došlo během vegetačního období.



Graf 2: Frekvence mur v Geisstriftbach torrent ve švýcarských Alpách.

Zdroj: Bollschweiler a Stoffel (2010)

Prostorový rozsah událostí lze určit na základě podrobných geomorfologických map s předešlou murovou aktivitou a výsledků dendrogeomorfologie. Prostorová analýza stromů postižených murovou událostí umožňuje identifikaci ohniska a místa sedimentace na konci svahu (Stoffel et al., 2008, Mayer et al., 2010 a Sorg et al., 2010 In Bollschweiler a Stoffel, 2010). Objem murových událostí lze určit z rozmístění stromů vykazujících narušení konkrétní murou, výšky závad na kmenech a z datování sedimentů. Podle Huppa (1984) mají menší události větší frekvenci opakování než velké (Bollschweiler a Stoffel, 2010).

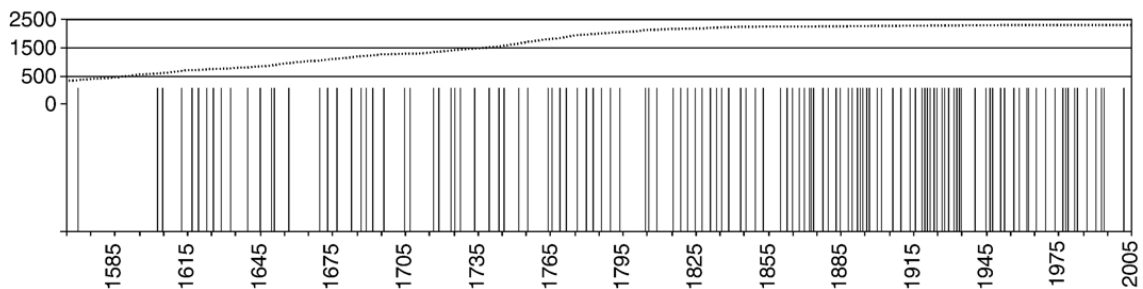
Omezení dendrochronologického datování je způsobeno dostupností stromů v místě mury a jejich maximálním stářím.

Metoda opticky stimulované luminiscence je založena na zjištění, kdy na objekt naposledy dopadlo světlo. Radioaktivní záření, vyzařované každým objektem, uvolňuje elektrony z materiálu, a ty se hromadí v defektech krystalické mřížky. Při odběru se nesmí vzorky dostat na světlo, protože při ozáření viditelným světlem se elektrony vrací zpět do elektronového obalu atomu a přitom dochází k vyzáření fotonů. Podle množství této energie se určuje stáří objektu. Čím déle je objekt vystaven radioaktivnímu záření, tím je luminiscence silnější a objekt je tedy starší. Je nutné uvažovat míru radioaktivity okolního prostředí.

3.4.2. Příklady murových událostí ve střední Evropě

Šetření provedené Brundsenem a Ibsenem (1994) ukázalo, že většina zemí Evropy má rozsáhlé historické prameny vysoké hodnoty pro posuzování vlastností geomorfologických procesů (Panizza, 1996). Jedná se o vědecké práce, letecké snímky, literatury a mapy, ale i malbu, grafiky, noviny, kroniky a technické zprávy. Podle Panizzy (1996) je však obtížné provádět analýzu z těchto zdrojů, protože nejsou obvykle shromažďovány pro vědecké účely a jsou nesouvislé v prostoru i čase. Podle Bollschweiler a Stoffela (2010) je pro pochopení výskytu mur a jejich spouští nutné provádět více výzkumů chronologie mur a ty pak porovnávat mezi regiony.

Dále uvádím příklady datování chronologie mur v zemích střední Evropy. Z rešerše literatury jsem došla k závěru, že soudobý výzkum je nejvíce zaměřen na Alpy. Nejvíce vědeckých článků se zabývá Švýcarskem, hlavně oblastí Ritigraben torrent (graf 3, obrázek 9 a tabulka 4). Další příklady jsou například z Geisstriftbach torrent (graf 2) a údolí Zermattu (graf 4). Alpy jsou sice pohoří mnohem vyšší než Hrubý Jeseník, ale uvádím zde tyto příklady, protože výzkum je zde zdaleka nejpokročilejší. Získat informace z ostatních zemí je velmi obtížné.



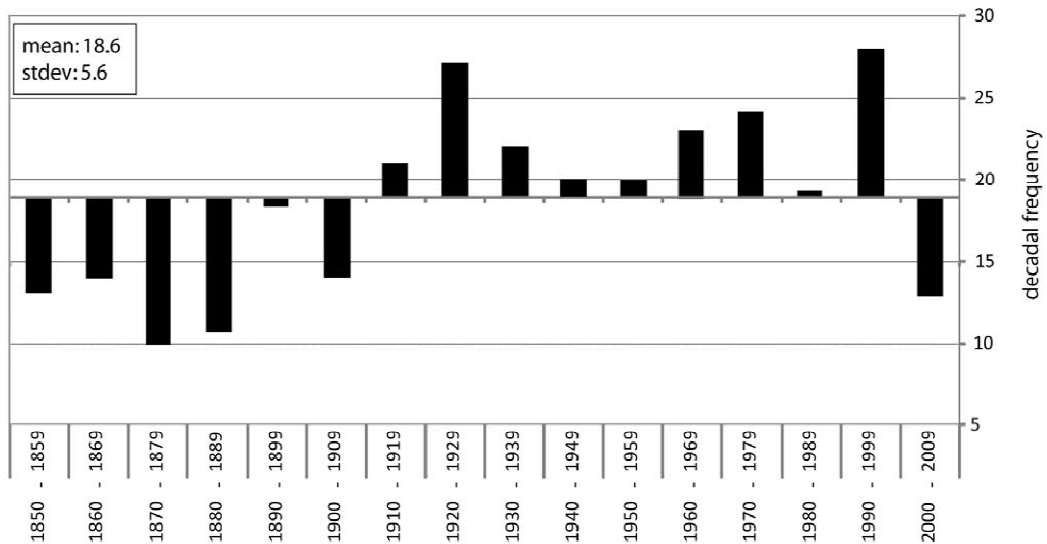
Graf 3: Chronologie mur v údolí Ritigrabenu mezi lety 1566 a 2005. Dendrochronologické datování určilo 123 událostí, tečkovaná čára udává hloubku vzorku (počet jader umožňujících analýzu).
Zdroj: Stoffel et al. (2008)



Obrázek 9: Chronologie ukládání materiálu na kuželu v Ritigrabenu mezi roky 1902 a 1934. Zaznamenány jsou pouze události, jejichž plocha v současnosti přesahuje 600 m³. Zdroj: upraveno podle Stoffel et al. (2008; In Bollschweiler a Stoffel, 2010)

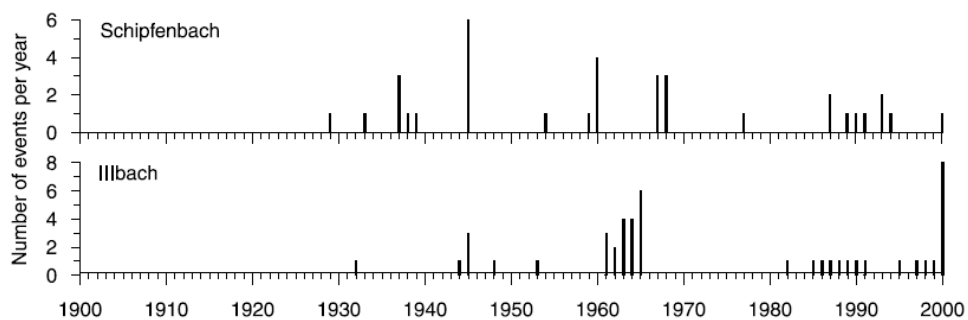
Year	Days
1921/22	Precise date unknown. 1921 according to Schnydrig (1952), 1922 according to Mani (1994)
1948	4 September
1953	23–24 September
1962	End of June
1977	29–30 August
1987	24–25 August
1991	8–9 August
1993	24 September
1994	24 September

Tabulka 4: Velké murové události v oblasti Ritigrabenu během 20. století. Zdroj: Rebetz et al. (1997; podle Mani, 1994 a Schnydrig, 1952)



Graf 4: Dekadická frekvence mur v údolí Zermatt mezi roky 1850 a 2009, znázorněná jako odchylka od průměru (18,6 událostí za 10 let).

Zdroj: Bollschweiler a Stoffel (2010)



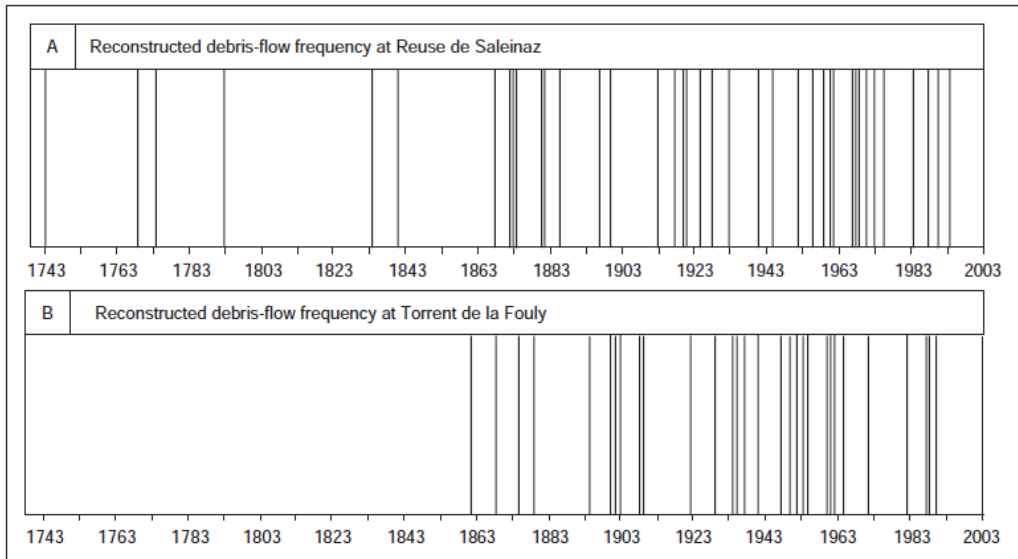
Graf 5: Historické záznamy mur v oblasti Schipfenbach a Illbach ve 20. století. Mury, které nastaly v noci z 14. na 15. října, jsou zobrazeny jako jedna událost.

Zdroj: Hürlimann et al. (2003)

Bachname (Toponym)	Kanton	Datum des Ereignisses	Prozesstyp
Chratzmattigraben	Bern	22.-23. August 2005	Mure
Closegraben	Bern	22.-23. August 2005	Mure
Glattbach	Bern	22.-23. August 2005	Mure
Glyssibach	Bern	22.-23. August 2005	Mure
Goldbach	Bern	22.-23. August 2005.	Mure
Pletschenbächli	Bern	22.-23. August 2005	Mure
Rotlouwibach	Bern	22.-23. August 2005	Mure
Rütigraben	Bern	22.-23. August 2005.	Mure
Schwendibach	Bern	22.-23. August 2005	Mure
Trachtbach	Bern	22.-23. August 2005	Mure
Holdenbach	Uri	22.-23. August 2005.	Mure
Schisstalbach	Uri	22.-23. August 2005.	Mure
Fangtobel	Obwalden	22.-23. August 2005.	Mure

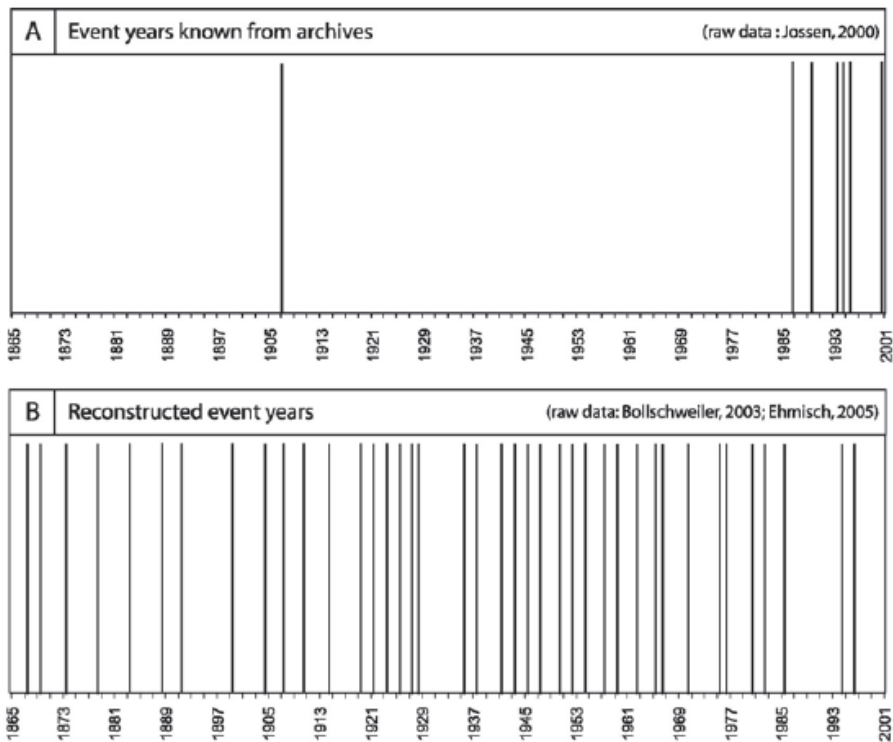
Tabulka 5: Murové události ve Švýcarsku 22. – 23. srpna 2005. Objem murových událostí se pohybuje v rozmezí 10 000 m³ a 500 000 m³. Plocha uloženin je od 2 270 m² do 100 000 m².

Zdroj: Scheidl a Rickenmann (2008)



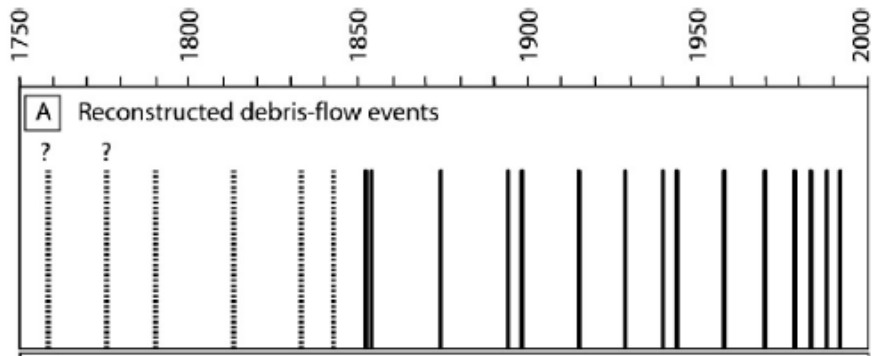
Graf 6: (A) rekonstruovaná murová frekvence v Reuse de Saleinaz s 39 událostmi mezi roky 1743 a 2003; (B) 30 událostí v Torrent de la Fouley mezi roky 1862 a 2003; jihozápadní švýcarské Alpy

Zdroj: Bollschweiler a Stoffel (2007)



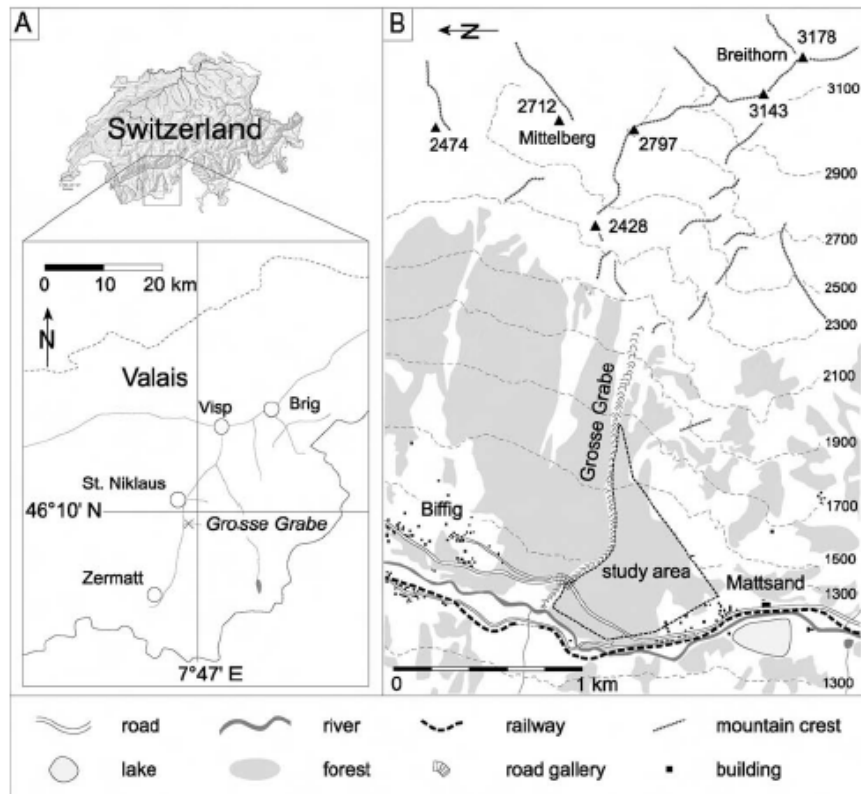
Graf 7: Rekonstruovaná frekvence mur v Bruchji torrent mezi roky 1867 a 2005. (a) archivní data; (b) letokruhové záznamy.

Zdroj: Bollschweiler et al. (2007)



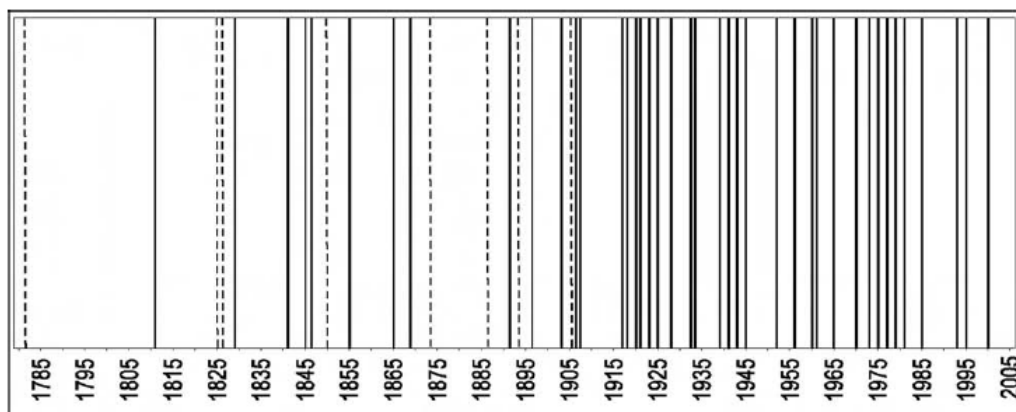
Graf 8: Murová aktivita na kuželu Birbach (nedaleko obce Blatten) mezi roky 1750 a 2000. Tečkovaná čára označuje události určené pouze jedním stromem. U událostí v letech 1756/57 a 1776/77 není jasné, zda se jednalo o mury nebo laviny.

Zdroj: Bollschweiler et al. (2007)

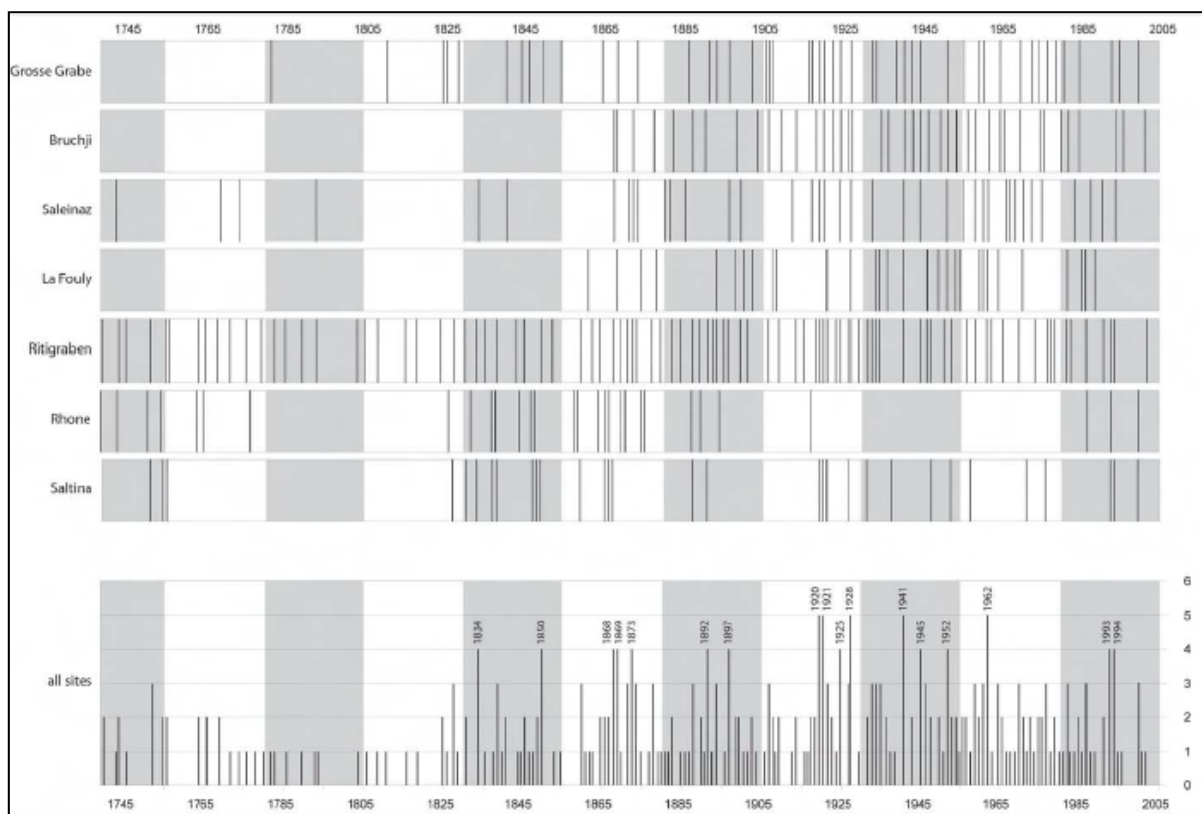


Obrázek 10: (A) studovaná lokalita Grosse Grabe nedaleko St. Niklaus; (B) poloha nánosového kužele.

Zdroj: Bollschweiler et al. (2008)

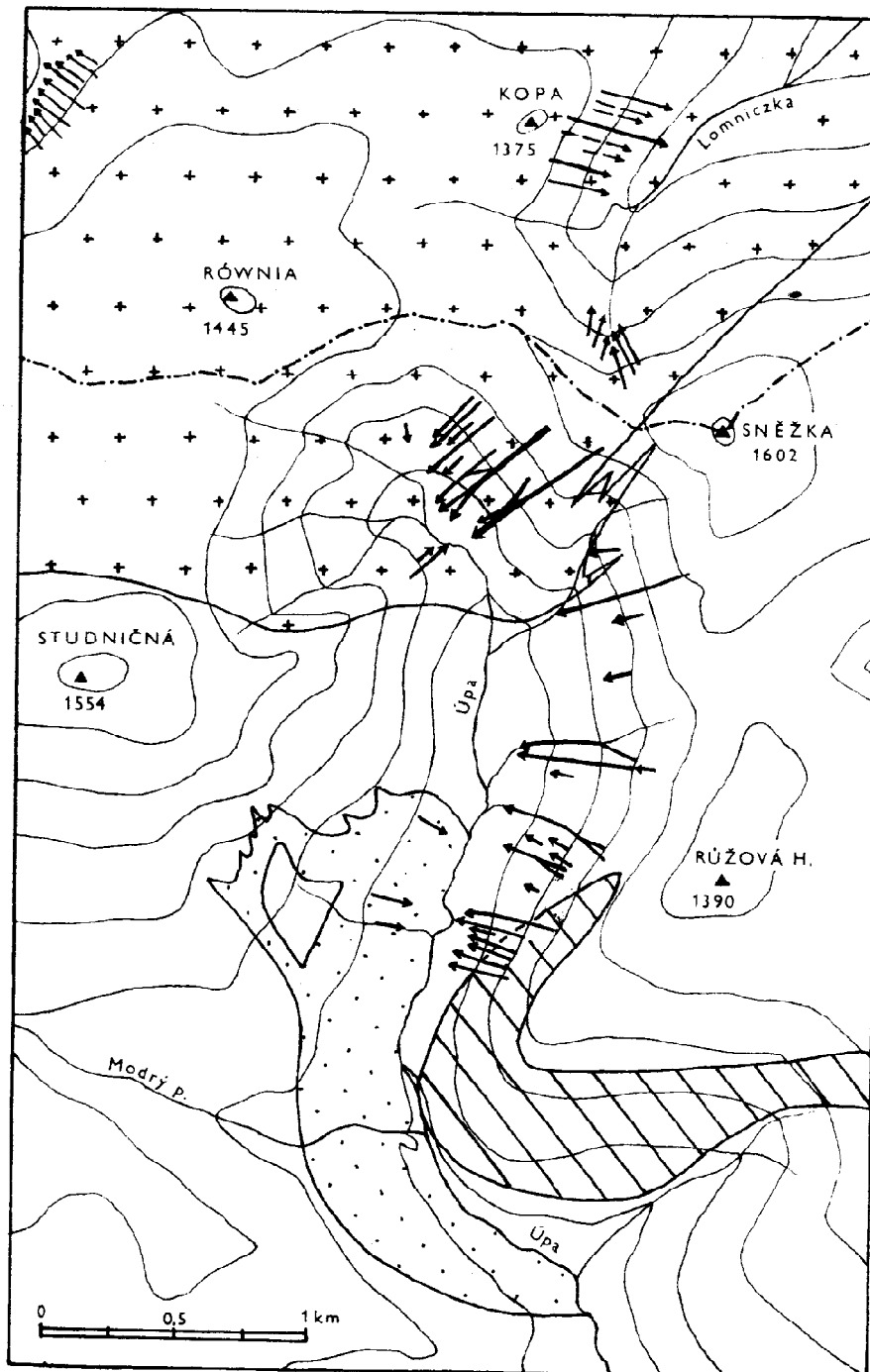


Graf 9: Minimální murová frekvence v Grosse Grabe torrent mezi roky 1782 a 2005. Tečkovaná linie označuje události určené na základě jednoho stromu.
Zdroj: Bollschweiler et al. (2008)



Graf 10: Murová frekvence pro několik povodí ve Valiských Alpách.
Zdroj: Bollschweiler (2007)

V Česku se mury kromě Hrubého Jeseníku vyskytují také v Krkonoších (tabulka 6 a obrázek 11) a Moravskoslezských Beskydech (obrázek 12, graf 11 a obrázky 13, 14, 15, 16 a 17). Krkonošské mury jsou velmi podrobně zmapovány a analyzovány Pilousem (1973, 1975 a 1977). Moravskoslezskými Beskydami se zabývají Šilhán a Pánek (2008) nebo Šilhán (2010), který mapuje mury a zabývá se hlavně podložím, na němž vznikají.

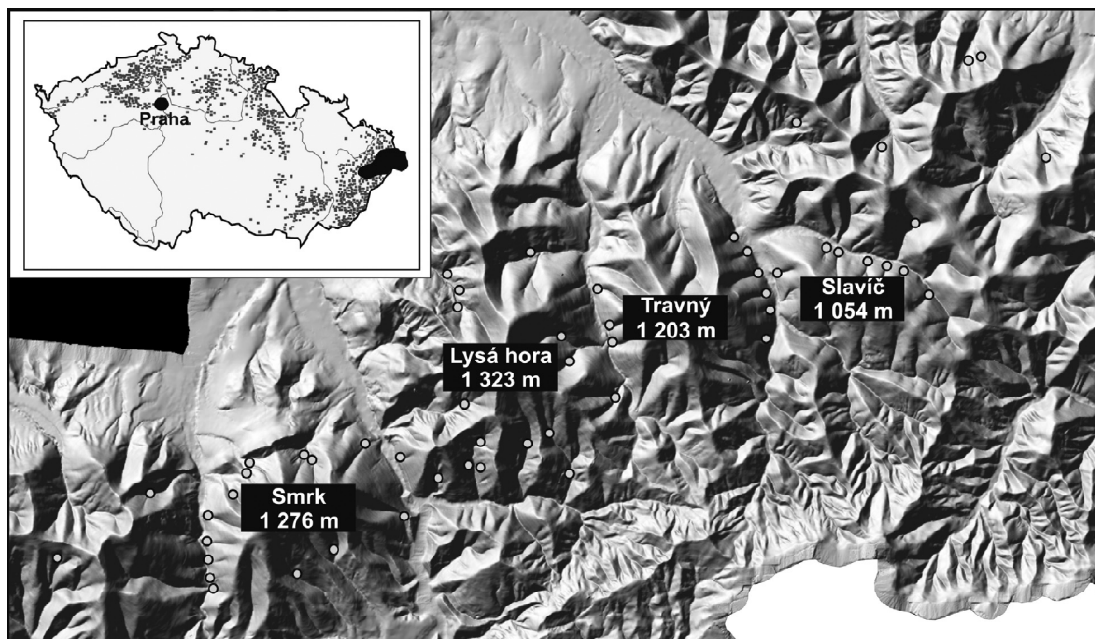


Obrázek 11: Mapa Obřího dolu a okolí s vyznačenými murovými dráhami (šípky).
Zdroj: Pilous (1973)

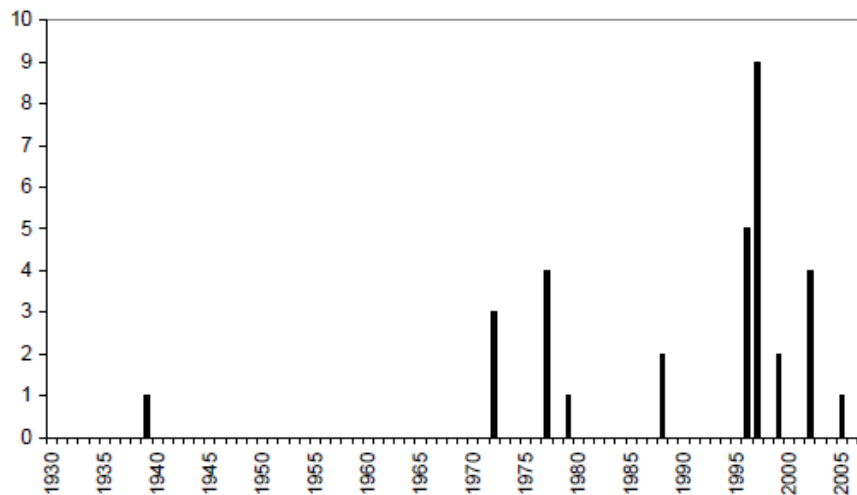
Lokalita	Počet mur	Procento z celkového počtu mur	Plocha v ha	Procento z celkové plochy mur
Obří důl	51	30,0	31,65	51,9
Dlouhý důl	65	38,2	15,45	25,6
Důl Bílého Labe	12	7,0	4,73	7,8
Jelení důl s postranními doly	20	11,8	3,94	6,5
údolí Malé Úpy	9	5,3	1,64	2,7
Zelený důl	2	1,2	0,27	0,5
Růžový důl	3	1,8	0,24	0,4
Čertův důl	3	1,8	0,11	0,2
ostatní	5	2,9	2,66	4,4
celkem	170	100,0	60,69	100,0

Tabulka 6: Mury v Krkonoších a podíl lokalit na počtu a ploše.
Zdroj: Pilous (1977)

Šilhán a Pánek (2008a, 2008b) stanovili dendrochronologicky oblasti vzniku blokovobahenních proudů (obrázek 12) v Moravskoslezských Beskydech a určili oblasti, kde se vyskytovaly opakovaně – severní svah masivu Ostrý, západní svah Travného a východní svah Smrku. Výslednou chronologii znázorňuje graf 11.



Obrázek 12: Lokalizace blokovobahenních akumulací (šedé tečky) v Moravskoslezských Beskydech.
Zdroj: Šilhán, Pánek (2008)



Graf 11: Časový výskyt a četnost blokovobahenních proudů ve stržích masivu Smrk a Ostrý.

Zdroj: Šilhán, Pánek (2008)

Tabulka 7 znázorňuje srážky nad 100 mm, které byly zjištěny v letech vzniku mur. Na základě svého výzkumu konstatují, že je 50% šance na vznik mury, pokud se v daný rok vyskytne alespoň jeden den se srážkami překračujícími 100 mm.

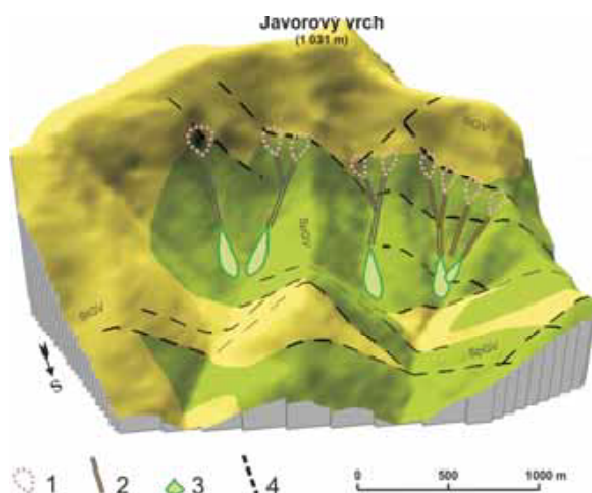
Rok	1939	1972	1977	1996	1997	2006
Datum	26.7.	21.8.	1.8.	7.9.	6.7.	24.8.
Stanice	Lysá hora	Šance	Lysá hora	Šance	Lysá hora	Lysá hora
Množství srážek (mm)	132	214	111,3	182,9	233,8	114,1
Počet proudů	1	3	4	5	10	1

Tab. 1 Příčinné srážky vybraných proudů zjištěných dendrochronologickými metodami (ŠTEKL et al. 2001)

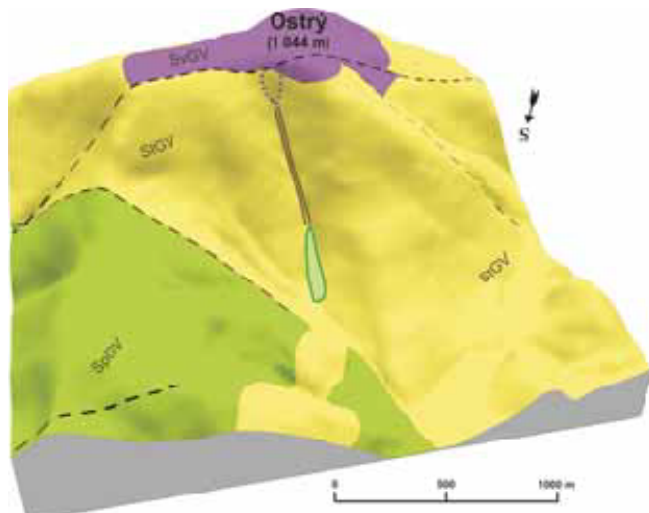
Tabulka 7: Příčinné srážky vybraných proudů.

Zdroj: Šilhán a Pánek (2008)

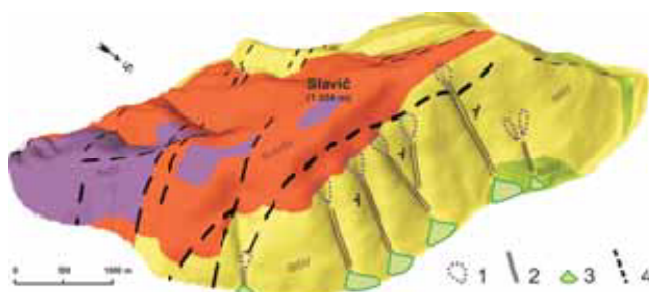
V obrázcích 13 až 17 barvy znázorňují oddíly godulských vrstev (spodní – zelená, střední – žlutá, přechod mezi středním a svrchním – červená, svrchní – fialová) a ostravický pískovec (zelenohnědá) (viz tabulka 8).



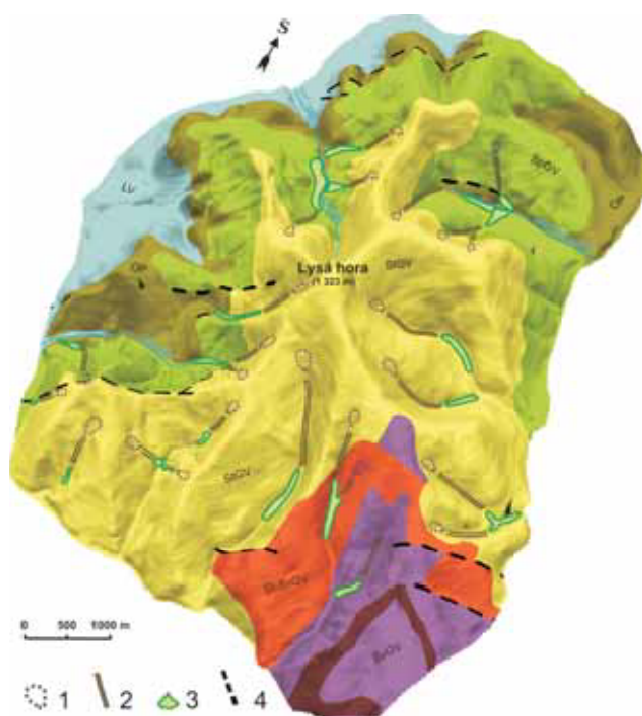
Obrázek 13: Výskyt blokovobahenních proudů na severním svahu Javorového vrchu. (1) zdrojová zóna, (2) transportní zóna, (3) akumulční zóna, (4) zlom
Zdroj: Šilhán (2010)



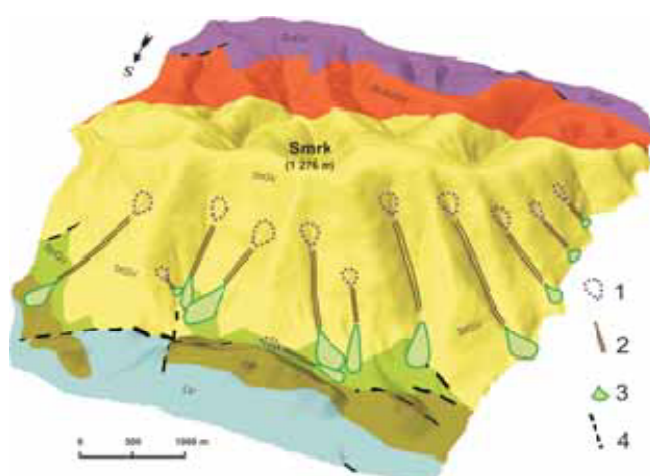
Obrázek 14: Výskyt blokovobahenních proudů na severním svahu masivu Ostrý
Zdroj: Šilhán (2010)



Obrázek 15: Výskyt blokovobahenních proudů na severním svahu masivu Slavič. (1) zdrojová zóna, (2) transportní zóna, (3) akumulční zóna, (4) zlom
Zdroj: Šilhán (2010)



Obrázek 16: Výskyt blokobahenních proudů v horské skupině Lysé hory. (1) zdrojová zóna, (2) transportní zóna, (3) akumulční zóna, (4) zlom
Zdroj: Šilhán (2010)



Obrázek 17: Výskyt blokobahenních proudů v masivu Smrk. (1) zdrojová zóna, (2) transportní zóna, (3) akumulční zóna, (4) zlom
Zdroj: Šilhán (2010)

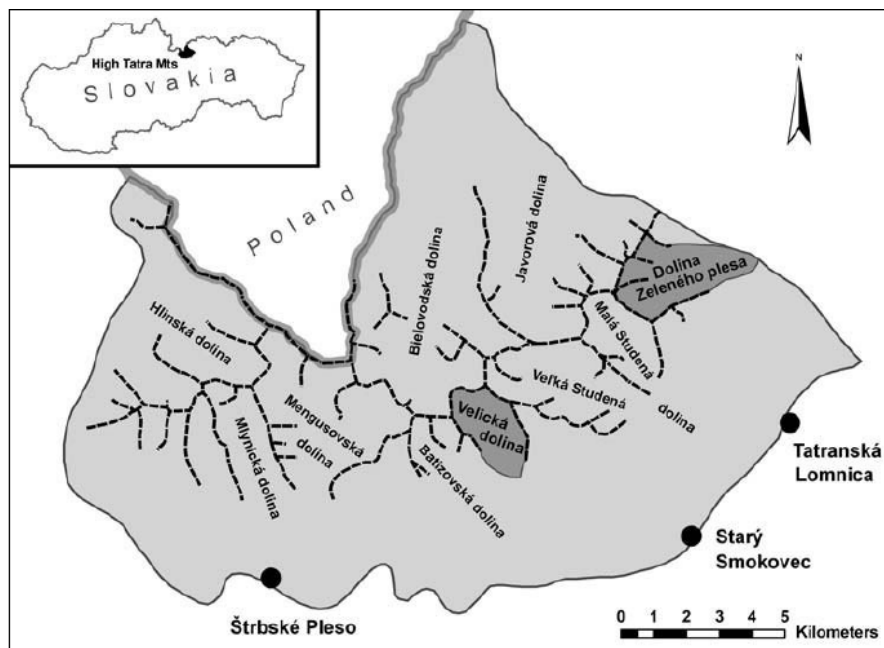
litostratigrafický člen	litologie	hydrogeologická funkce
lhotecké vrstvy	nevápnité jílovce	převážně izolátory
ostravický pískovec	hrubě rytmické slepence a pískovce	kolektor
spodní vrstvy godulské	jemně rytmické jílovité prachovce	proměnlivá funkce
střední vrstvy godulské	silně lavicovité pískovce	převážně kolektory
svrchní vrstvy godulské	jemně rytmické jílovité prachovce	proměnlivá funkce
istebňanské vrstvy	hrubě rytmické slepence a pískovce	převážně kolektory

Tabulka 8: Litologie a hydrogeologická funkce litostratigrafických členů.

Zdroj: upraveno Šilhánem (2010) podle Menčíka et al. (1983)

Z Šilhánovy (2010) analýzy vyplývá, že místa vysoce náchylná ke vzniku mur v zájmovém území jsou ta, kde dochází k přechodu zejména pískovců středního a prachovců spodního oddílu godulských vrstev vzhledem k jejich hydrogeologickým vlastnostem (horniny středního oddílu godulských vrstev se chovají jako relativní kolektor a horniny spodního oddílu godulských vrstev jako relativní izolátor, po němž vytéká voda prosakující středním oddílem).

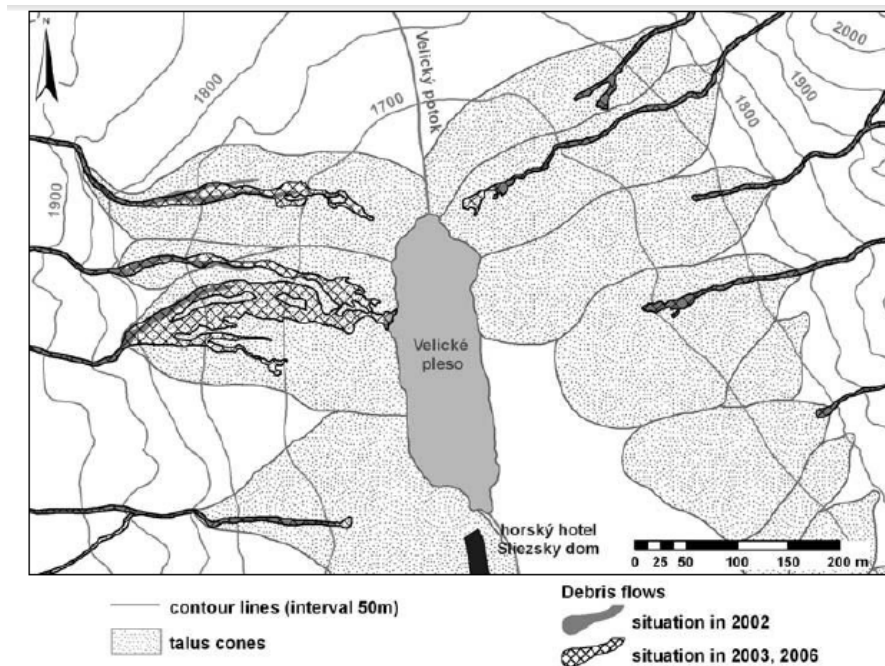
Murami na Slovensku se zabývá například Kapusta et al. (2010) nebo Kotarba a Długosz (2010). Studované oblasti se nacházejí v Tatrách a jsou to Veľická dolina (obrázky 18, 19 a 20), Dolina Zeleného plesa (obrázek 18 a 21) a Hlinská dolina (obrázky 22 a 23).



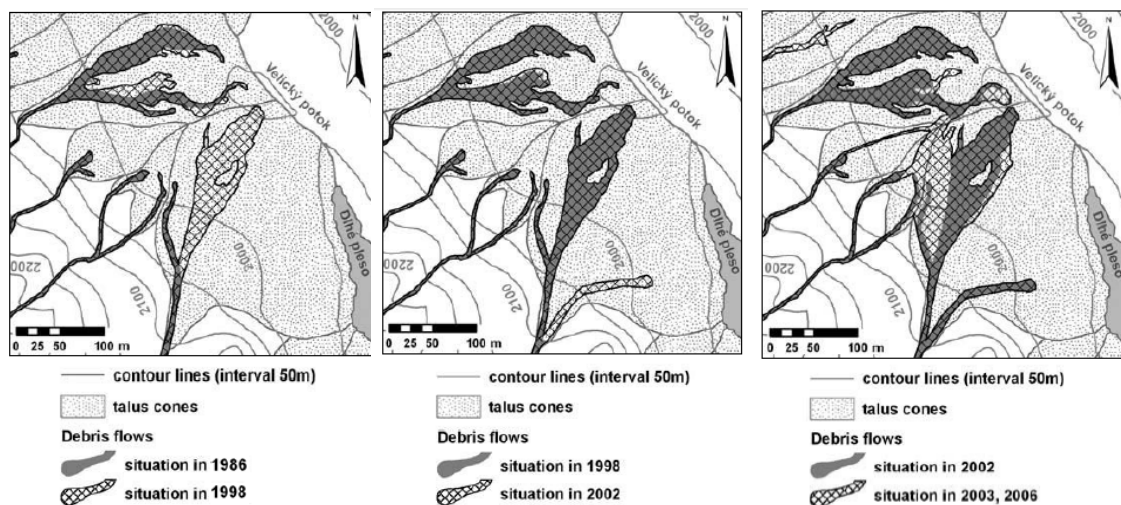
Obrázek 18: Studovaná oblast na Slovensku – Veľická dolina a Dolina Zeleného plesa.

Zdroj: Kapusta et al. (2010)

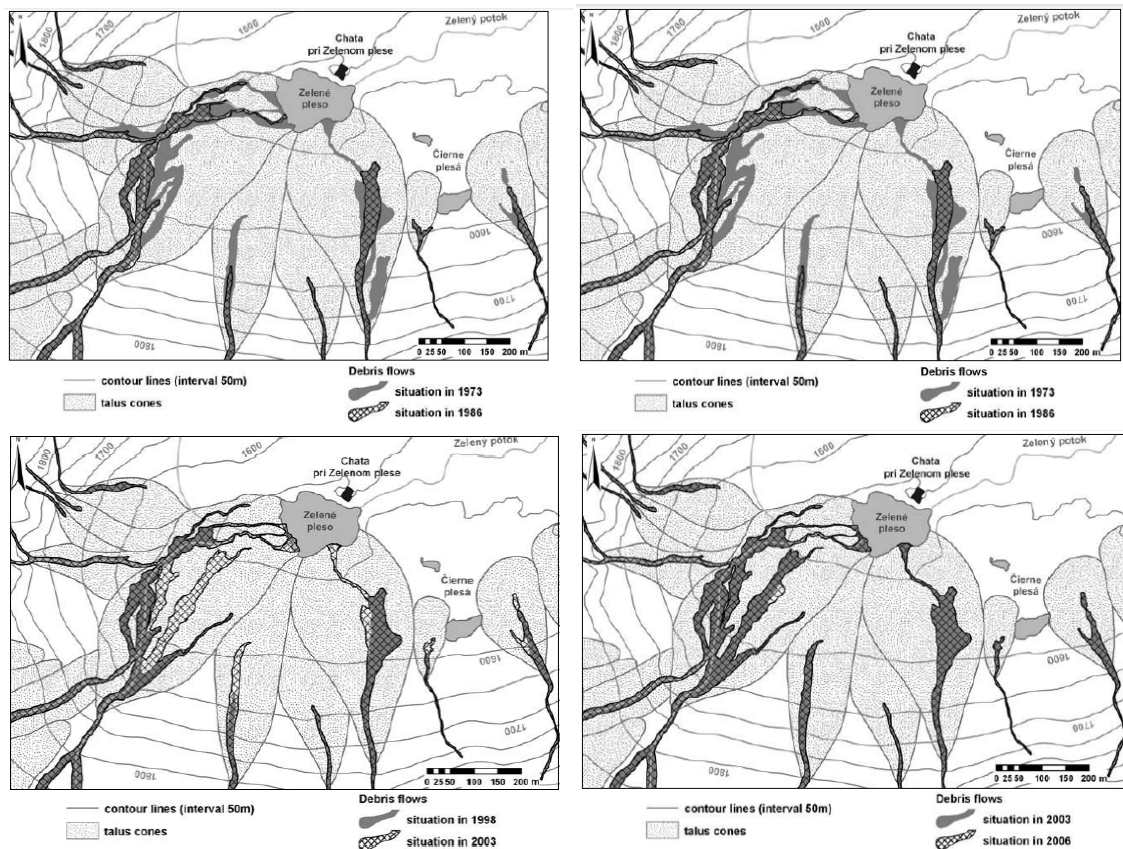
Podle Kapusty et al. (2010) určuje Kotarba (2004, 2007) na základě informací z kronik a historických pramenů z polské i slovenské strany Tater následující roky s extrémními povodněmi a srážkami a předpokládá výskyt mur v těchto letech: 1605, 1617, 1618, 1621, 1650, 1651, 1662, 1699, 1700, 1713, 1724, 1725, 1728, 1735, 1743, 1774, 1800, 1813, 1846, 1854, 1865, 1866, 1867, 1869, 1871, 1882, 1884, 1885, 1893, 1900, 1902, 1903, 1910, 1912, 1934, 1956, 1958, 1960, 1970, 1973, 1980, 1997, 2001 a 2003.



Obrázek 19: Změny v murové činnosti v okolí Velického plesa v letech 2002 až 2006.
Zdroj: Kapusta et al. (2010)



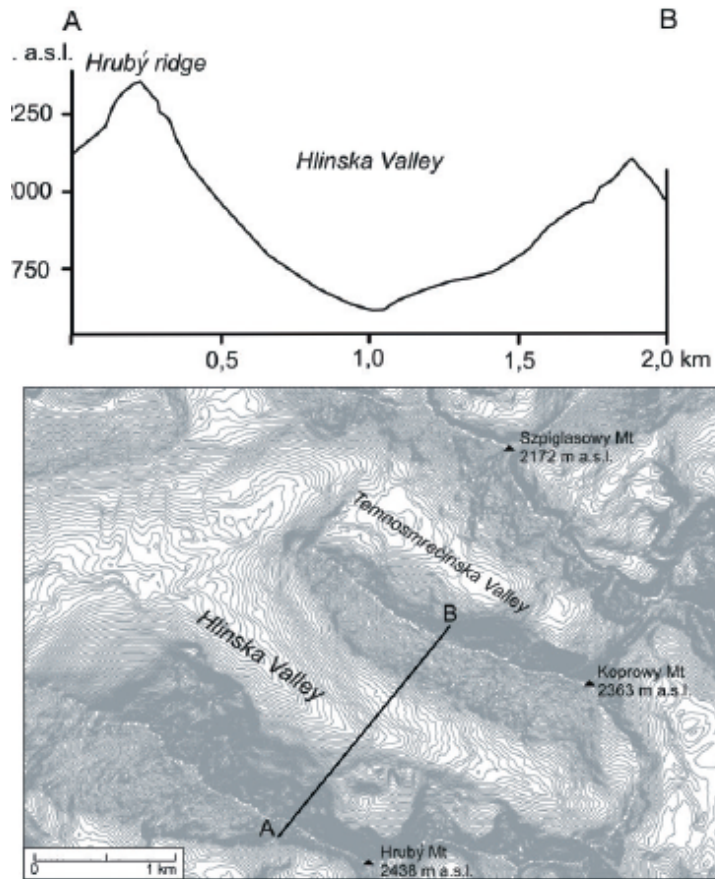
Obrázek 20: Chronologie mur v části Velické doliny v letech 1986 až 2006.
Zdroj: Kapusta et al. (2010)



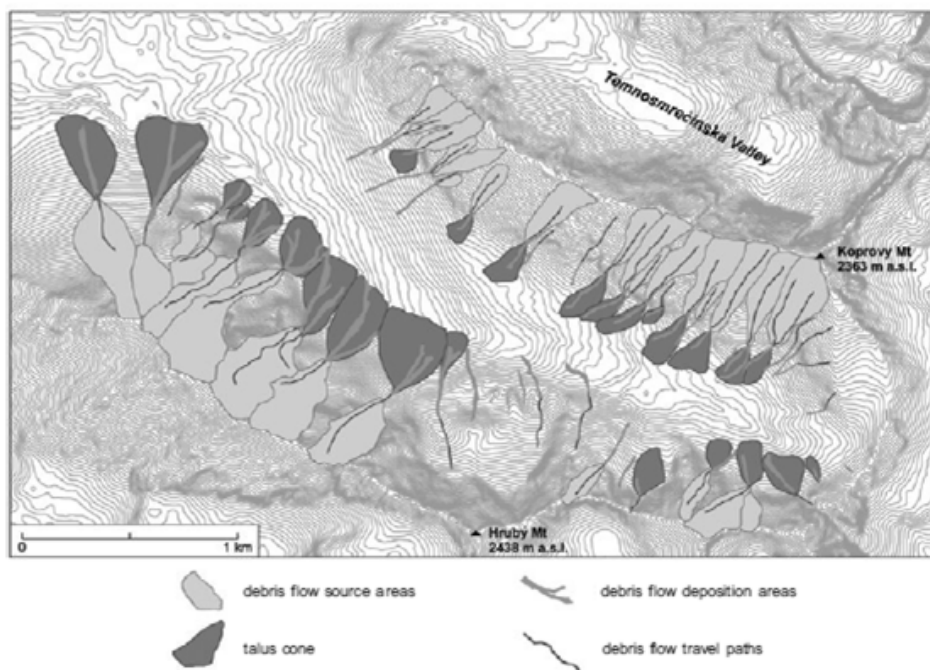
Obrazek 21: Změny v murové činnosti v okolí Zeleného plesa mezi roky 1973 a 2006.

Zdroj: Kapusta et al. (2010)

Závěry průzkumu Kotarby a Długosze (2010) jsou následující. Severní svah prodělává méně regulace a změn reliéfu v důsledku drsnějšího klimatu. Je zde tedy méně generací velkozrnného zvětralého materiálu a menší poškození svahu lavinami a murami. Jižní svah má plynulejší a menší sklon (pod 32°) díky častějším lavinám a murám. Ve studii jsou informace o délce a výšce všech 92 mur.

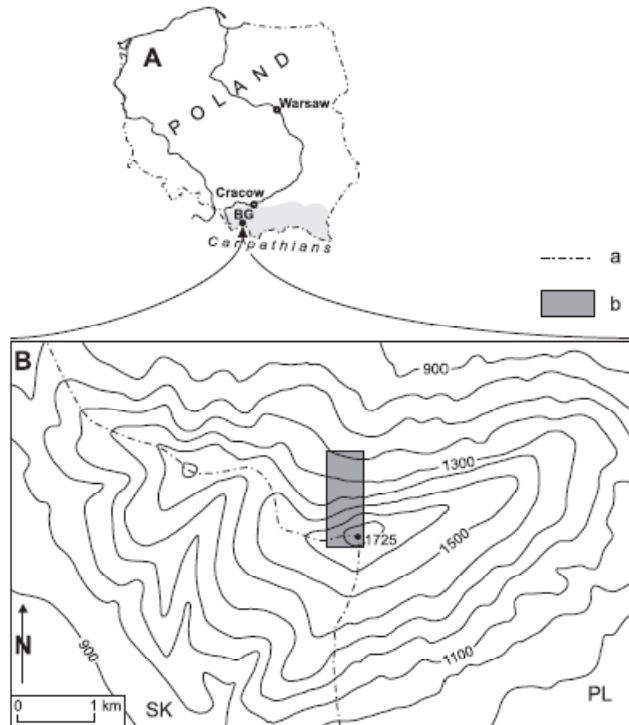


Obrázek 22: Stínovaná část reliéfu Tater, ukazující studovanou oblast Hlinské doliny a její profil.
Zdroj: Kotarba a Długosz (2010)



Obrázek 23: Hlinská dolina s vyznačenými mury a určením zdrojové (světle šedá) a akumulací (tmavě šedá) zóny.
Zdroj: Kotarba a Długosz (2010)

Dalším výzkumem se na lokalitě Babia Góra (Babí hora) na hranicích Slovenska a Polska (obrázek 24) zabývali Łajczak a Migoń (2010). Podrobně prozkoumali murovou dráhu na severním svahu (obrázek 25), která vznikla v létě roku 2002.



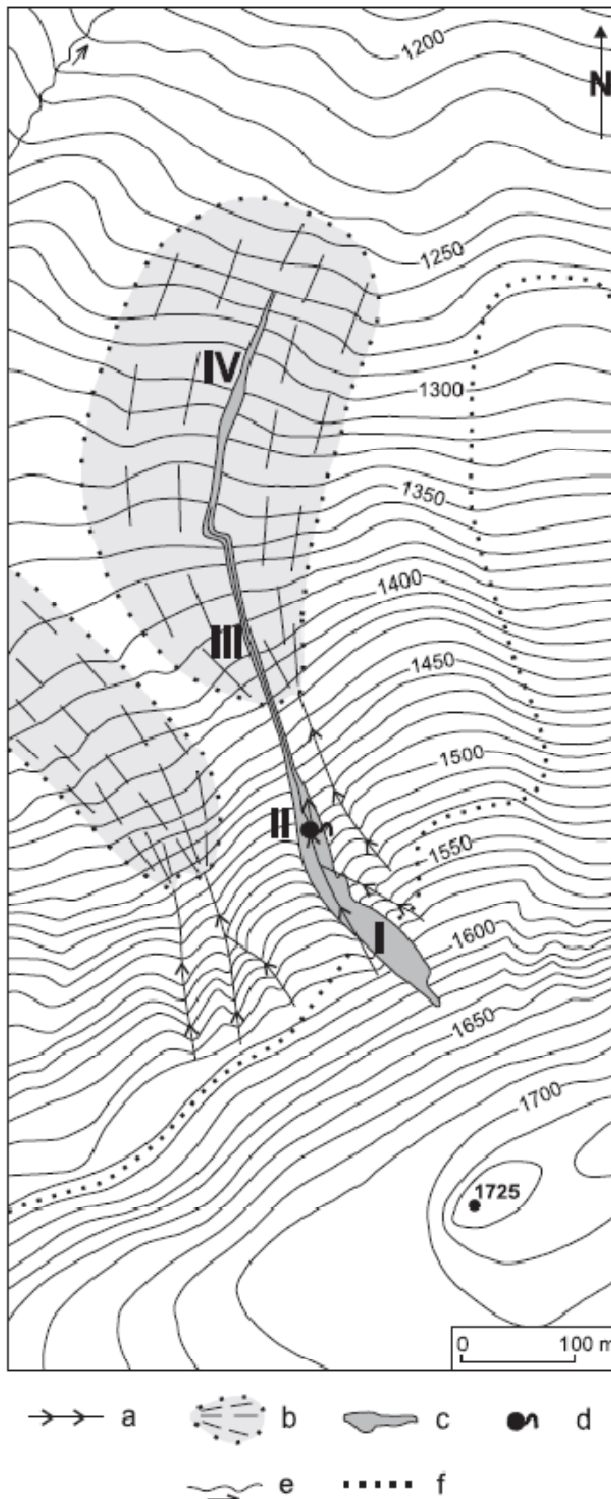
Obrázek 24: Studovaná oblast. (A) lokace Babí hory, (B) topografická mapa Babí hory. (a) státní hranice, (b) oblast průzkumu.

Zdroj: Łajczak a Migoń (2010)



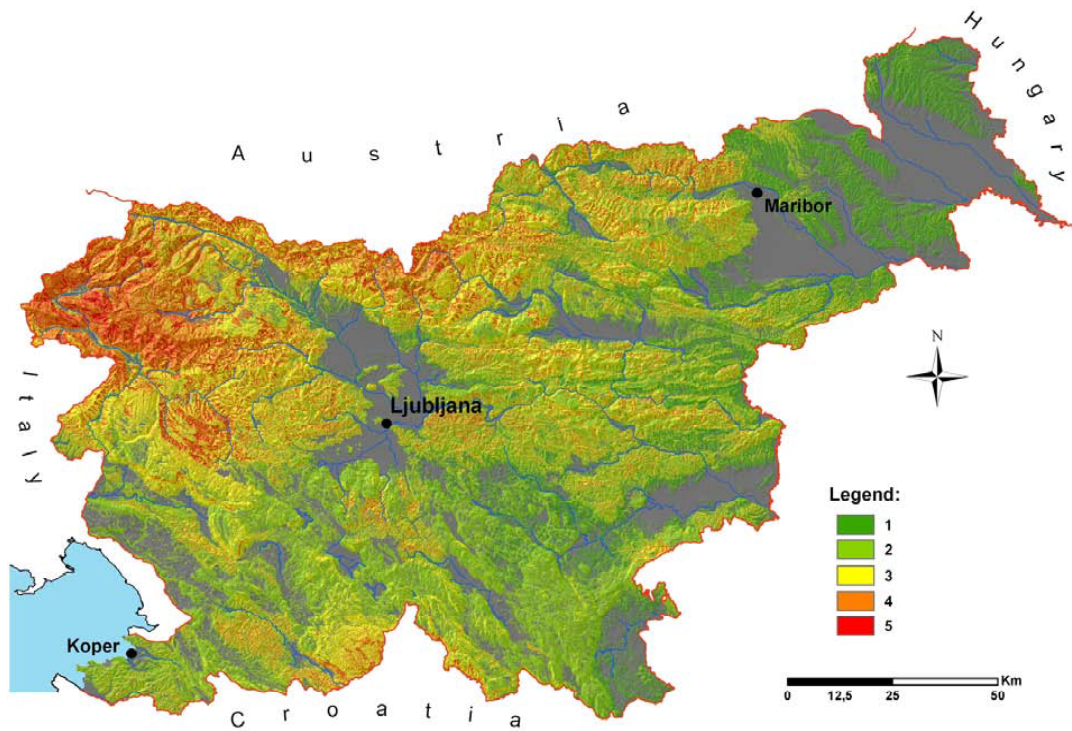
Obrázek 25: Murová dráha s bočním valem na Babí hoře.

Zdroj: Łajczak a Migoń (2010)



Obrázek 26: Náskres murové dráhy na Babí hoře s jednotlivými zónami. (a) stráž, (b) kužele se starými nánosy, (c) mura z roku 2002, (d) pramen, (e) potok, (f) dolní rozsah aktivního blokového pole
Zdroj: Łajczak a Migoń (2010)

Mura na Babí hoře vznikla na podloží tvořeném magurským pískovcem. Sklon odlučné zóny je 34° , expozice svahu je severovýchodní, stejně jako povětrnost v době vzniku mury. Srážky nelze přesně určit, protože meteorologická stanice o mnoho níže než vrchol Babí hory.



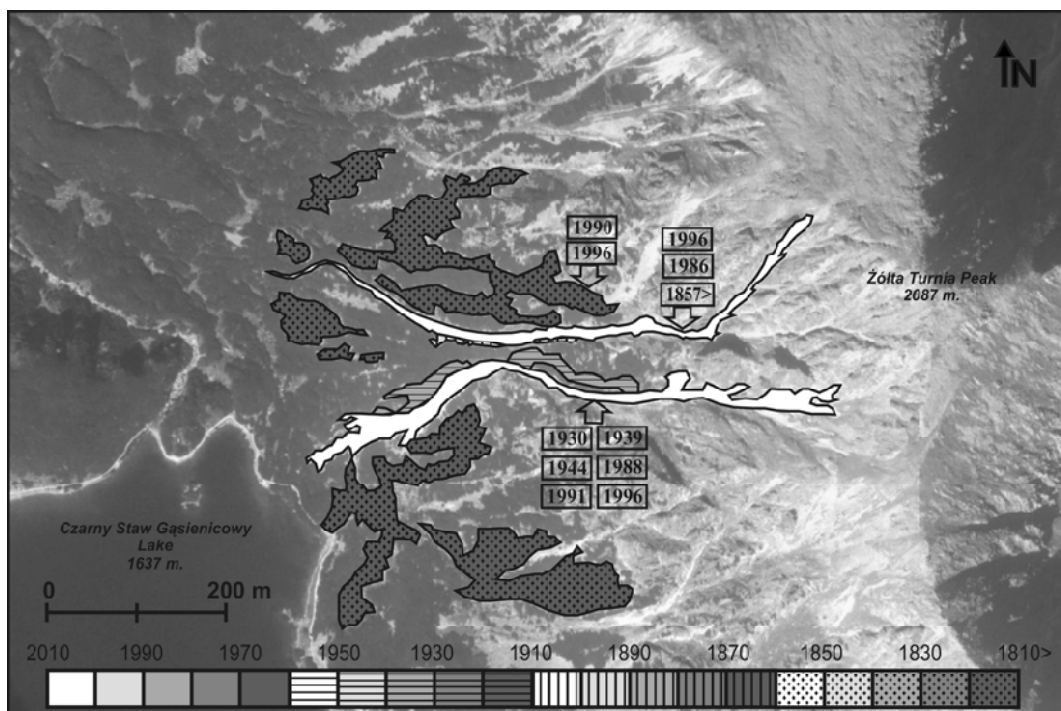
Obrázek 27: Model skutečné a nejpravděpodobnější murové citlivosti ve Slovinsku. (1) nepatrná, (2) nízká, (3) střední, (4) vysoká, (5) velmi vysoká.
Zdroj: Komac et al. (2009)

Pro Slovinsko byla pomocí geoinformačních systémů vytvořena mapa citlivosti reliéfu na mury (obrázek 27). Vstupními daty byla například geologie, srážky za 48 hodin, digitální model terénu, energetický potenciál.

Datování v Polsku (obrázky 28 a 29) probíhalo lichenometricky a na základě leteckých snímků. Jedná se o západní svah kopce Žolta Turnia (2087 m n. m.) v horní části Doliny Sucheje Wody.



Obrázek 28: Horní část Doliny Suhej Wody s vyznačenou studovanou oblastí.
Zdroj: Kędzia (2010)



Obrázek 29: Západní svah hory Žółta Turnia s oblastmi datovanými lichenometricky. Časový rozsah je vyznačen ve spodní části obrázku. Data v obdélnících označují místa, kde datum materiálu je odlišné od data povrchu.
Zdroj: Kędzia (2010)

Scheidl a Rickenmann (2008) vytvořili soupis relevantně popsáných mur a murám podobných událostí v Rakousku a Švýcarsku (tabulky 9 a 5), za účelem lepšího popsání a pochopení nánosových kuželů, protože ty ohrožují obyvatelstvo i infrastrukturu, a zlepšení rozlišování mur mezi ostatními procesy.

Bachname (Toponym)	Bundesland	Datum des Ereignisses	Prozesstyp
Frallefrunertobel	Vorarlberg	21. Mai 1999	Mure
Enterbach	Tirol	26. Juli 1967	Mure
Danielastobel	Tirol	22. August 2005	Mure
Gridlontobel	Tirol	30. Juni 1965	Mure
Wartschenbach	Tirol	6. August 1995	Mure
Wartschenbach	Tirol	16. August 1997	Mure
Wartschenbach	Tirol	6. September 1997	Mure
Dornbach	Kärnten	6. Juli 2004	Mure
Gerlamooserbach	Kärnten	20. Juli 1993	Mure
Edelgraben	Steiermark	3. Juli 1987	Mure
Fuchsgraben/Rachaubach	Steiermark	--	Mure
Steinbach	Steiermark	--	Mure
Bardielbach	Vorarlberg	22. August 2005	murartig
Dürrenbach	Vorarlberg	1987	murartig
Partellstobel	Vorarlberg	1983	murartig
Rauzbach	Vorarlberg	2005	murartig
Öxelbach/Schlitters	Tirol	20. August 1974	murartig
Niedersiller Mühlbach	Salzburg	7. August 1970	murartig
Niedersiller Mühlbach	Salzburg	28. Juli 1971	murartig
Eisbachgraben	Steiermark	3. August 1981	murartig
Gumpenbach	Steiermark	26. Juni 1965	murartig
Moschergraben	Steiermark	17. Juni 1997	murartig

Tabulka 9: Mury v Rakousku.

Zdroj: Scheidl a Rickenmann (2008)

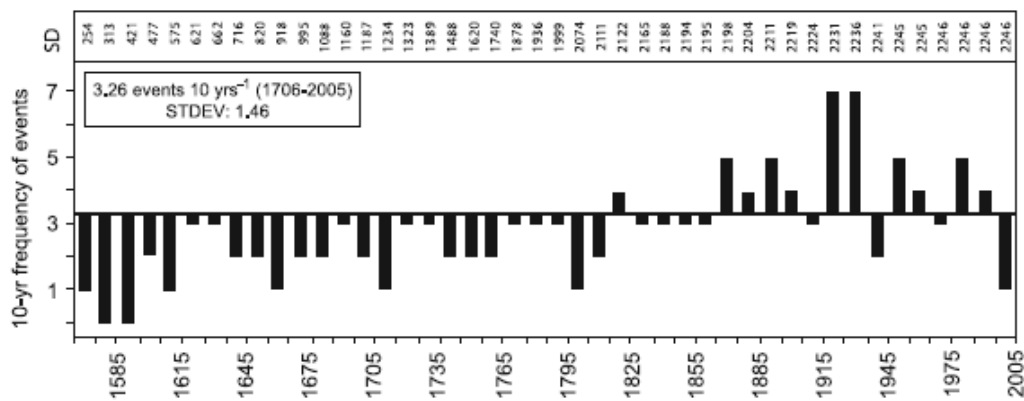
3.4.3. Klimatické změny

Autoři odborných článků se neshodují, zda se změnami teplot bude mur přibývat nebo ubývat. Jejich argumenty jsou však založeny na konkrétních podmínkách a pozorováních v relativně malé oblasti výzkumu.

Pro příklad nastíním situaci v Ritigraben torrentu ve švýcarských Alpách.

Ritigraben: 123 murových událostí mezi roky 1566 a 2005. Graf 12 zobrazuje po 10 letech odchylky pro průměrnou dekadickou hodnotu četnosti mur mezi lety 1706 a 2005 (průměrně 3,26 událostí za deset let). Z výsledků je vidět velmi nízkou podprůměrnou frekvenci téměř během celého trvání malé doby ledové. Od 60. let 18. století je výskyt mur většinou nadprůměrný. Největší aktivita byla mezi lety 1916 a 1935, kdy došlo k sedmi událostem, po té následovalo prudké snížení. V posledních 10 letech studie (1996 až 2005) byla zaznamenána pouze jedna mura, a to 27. srpna 1922. Spolu s obdobím 1706-1715 a 1796-1805, vykazuje

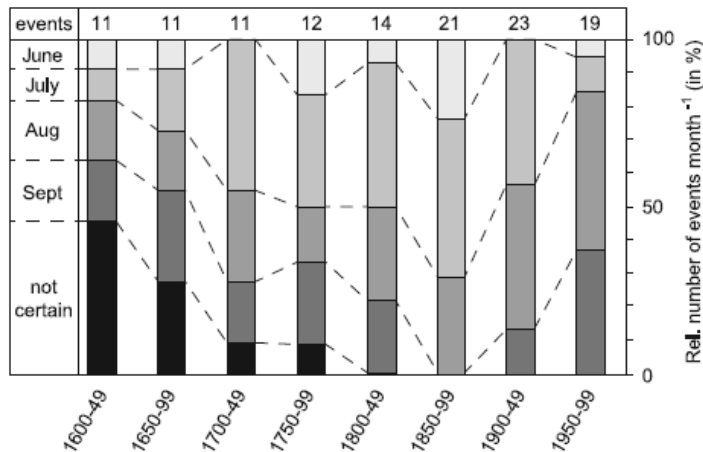
posledních deset let studie nejnižší murovou činnost za posledních 300 let (Stoffel a Beniston, 2006). Nízká frekvence mur mezi lety 1570 až 1860 by tedy mohla být zapříčiněna chladnějšími léty a častějším letním sněžením v odlučné zóně, na rozdíl od let 1864 až 1895, kdy jsou srážky v létě a na podzim vyšší a počet událostí nadprůměrný. Stejně tak rozšířená murová činnost rekonstruovaná v letech 1916 až 1935 odráží teplé a vlhké podmínky, převládající ve švýcarských Alpách během daného období minulého století.



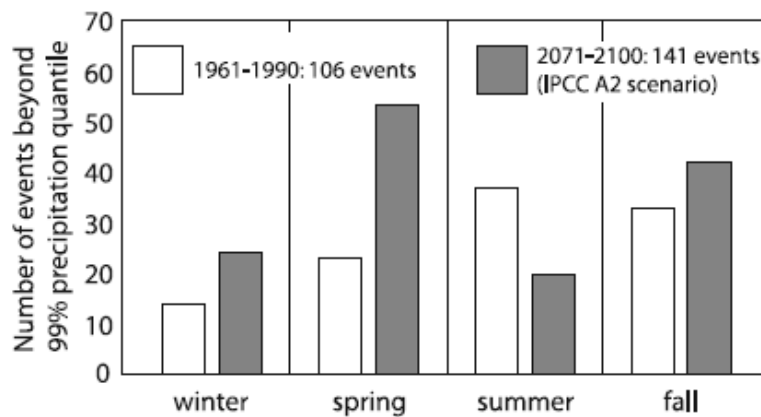
Graf 12: Murová frekvence znázorněná odchylkou od dekadické četnosti mezi roky 1566 a 2005. SD (sample depth) udává počet vzorků, které byly k dispozici a začátku každého desetiletého období.

Zdroj: Stoffel a Beniston (2006)

S oteplováním by tedy mohlo docházet ke zvýšení murové činnosti, ale pokud se podíváme na sezonalitu minulých mur, zjistíme, že se události před rokem 1900 vyskytovaly v létě dříve. Z grafu 13 vyplývá, že v období 1850 až 1899 došlo k 70 % událostí v červnu a červenci a v září k žádné. Během 20. století se murová činnost posunuje čím dál více do srpna a září. V období 1950 až 1999 došlo v těchto měsících k 85 % událostí. Graf 14 znázorňuje sezónní posun výskytu silných srážek ve švýcarských Alpách pro současné klima (referenční období 1961 až 1990) a skleníkové klima (2071 až 2100), na základě scénáře IPCC A2 emisí skleníkových plynů (Mezivládní panel pro změny klimatu, 2000) (Stoffel a Beniston, 2006).



Graf 13: Sezonálnost murových událostí mezi lety 1600 a 1999.
Zdroj: Stoffel a Beniston (2006)

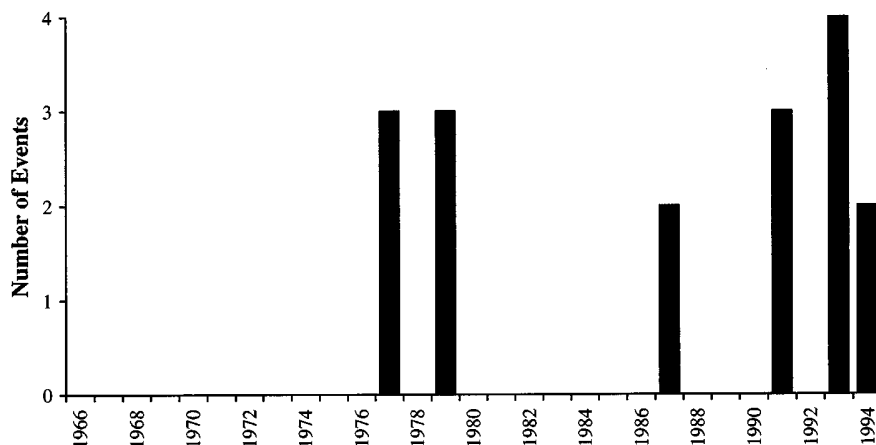


Graf 14: Sezónní posunu ve výskytu silných srážek ve švýcarských Alpách pro současné a skleníkové klima na základě IPCC A2 scénáře emisí skleníkových plynů (Mezivládní panel pro změny klimatu, 2000).
Zdroj: Stoffel a Beniston (2006)

Předpokládá se tedy celkové zvýšení extrémních srážek, ale posunou se více do jara a podzimu. Stoffel a Beniston (2006) dále uvádějí, že dopady budoucích srážek mohou být nižší než dnes, protože se předpokládá, že jarní a podzimní teploty budou ve skleníkovém klimatu o 4-7°C nižší než dnešní letní teploty (Beniston, 2006), a ty by mohly, společně s vyrovnávacím účinkem sněhu, pravděpodobně snížit riziko vzniku mur. I když letních srážek by mělo být méně, mohly by ale mít větší intenzitu, a to by způsobovalo méně akcí, ale s větším rozsahem.

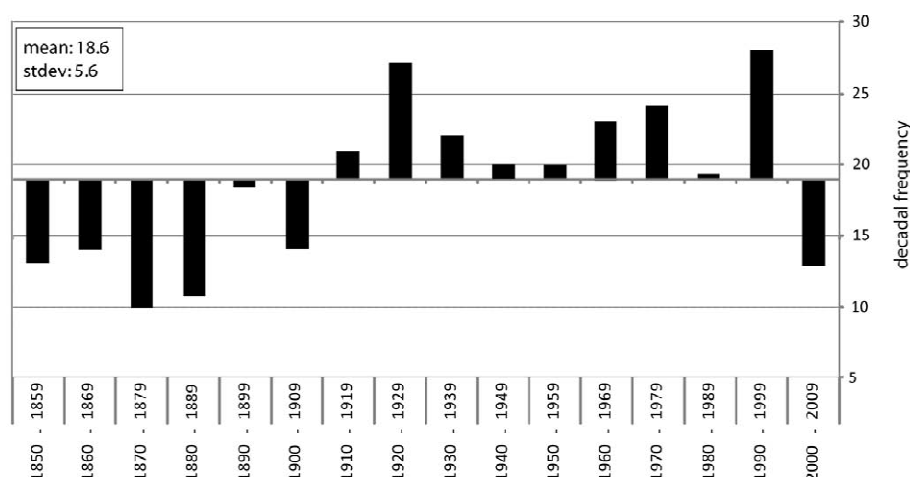
Jiná studie z Ritigrabenu naopak předpokládá zvýšení murových událostí. Rebetz et al. (1997) s odkazem na Zimmermann (1990), Zimmermann a Haeberli (1992), Haeberli (1990, 1994) a Haeberli et al. (1990, 1993) uvádějí, že oteplování klimatu v průběhu 19. a 20. století mělo nepřímý vliv na tvorbu mur ve švýcarských Alpách. Ústup ledovce od roku 1850 a degradace permafrostu poskytují velké množství sypkého materiálu, který se později stává součástí mur. Autoři se také zabývali trendem srážek v oblasti a upozorňují (s odkazem na Caine, 1980 a

Innes, 1983, 1985), že spouštění mur nesouvisí s průměrnými srážkami, ale mimořádnými. Připouštějí, že celkový trend průměrných srážek může být klesající (s odkazem na Rebetz, 1996), ale situace s extrémními srážkami může být zcela odlišná. Graf 15, vycházející z dat Grächenu mezi roky 1966 a 1994, zobrazuje, že srážkové události, které jsou schopné vyvolat mury, mají zvyšující se frekvenci. Stejný trend vykazuje většina jiných analyzovaných míst s delší časovou řadou (Lugano, Basel, Bern, Neuchâtel, Zurich, Davos). Výjimkou je pouze měření v Altdorfu, kde ale došlo v průběhu pozorování ke změně umístění srážkoměru.



Graf 15: Extrémní srážkové události v Grächenu mezi roky 1966 a 1994. Množství srážek, které překročilo hodnotu 4σ během tří následujících dnů
Zdroj: Rebetz et al. (1997)

Stejně tak analýza murových událostí v údolí Zermattu (graf 16), publikovaná Bollswailer a Stoffelem (2010), ukazuje nárůst po skončení malé doby ledové po roce 1900.



Graf 16: Dekadická frekvence mur v Zermattu mezi lety 1850 a 2009.
Zdroj: Bollschweiler a Stoffel (2010)

Co se týká vzniku materiálu, který se pak stává součástí mur, také Panizza (1996) upozorňuje na konstantní ústup ledovcových čel, který odhaluje rozsáhlé plochy v současnosti pokryté velkým množstvím úlomků, dosud nezpevněných vegetací a ležících často na obroušených kamenech. Na stejném povrchu je podle tohoto autora říční síť, pramenící z ledovců, s extrémně variabilními a nepředvídatelnými průtoky.

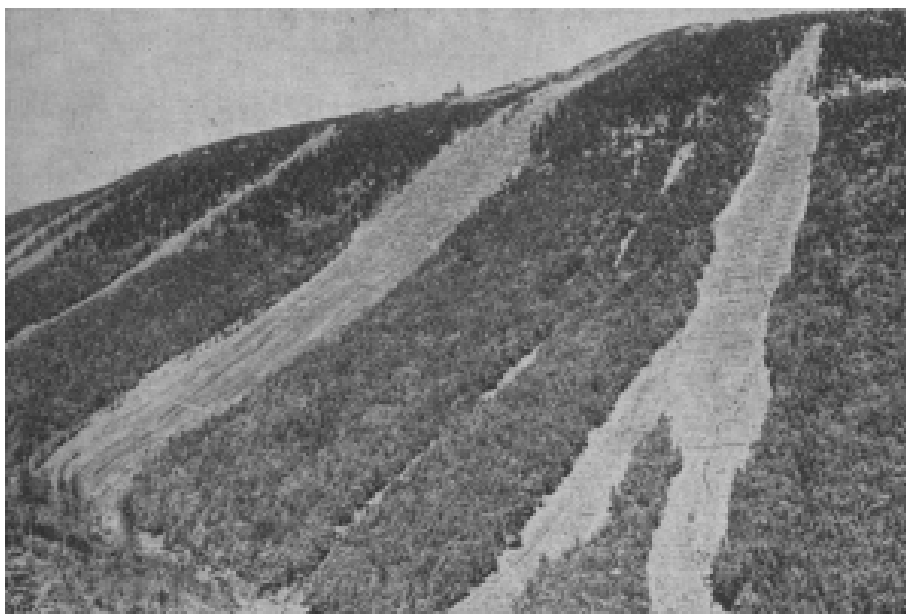
Ve Vysokých Tatrách se aktivitou mur v malé době ledové i po ní zabýval Kotarba (2004, 2007; In Kapusta et al., 2010). Jeho výsledky, založené na datování nánosových kuželů a jezerních sedimentů, případně lichenometrii, ukazují zvýšenou frekvenci i velikost mezi lety 1400 a 1860. V závěrečné části malé doby ledové byla intenzita o něco nižší. Následovalo klidnější období do roku 1970, ale v posledních desetiletích byla zaznamenána opět zvýšená aktivita (Kotarba, 2004, 2007; In Kapusta et al., 2010).

Rozpory v názorech jednotlivých autorů i rozdílné výsledky z různých pohoří nedovolují jednoznačně stanovit vliv klimatických změn na vznik mur.

4. Mury v Hrubém Jeseníku

O murách v Hrubém Jeseníku neexistuje novější souvislá práce, jako například o krkonošských (Pilous, 1973, 1975, 1977). Proto se snažím na základě literatury vytvořit chronologii tamějších mur a jejich polohovou analýzu a porovnat je s murami v jiných pohořích. Vycházím z dendrochronologického výzkumu mur a lavin pod Červenou horou, provedeného Malikem a Owczarkem (2009), z informací od Gáby (1992) a Polácha a Gáby (1998), jejichž práce se týkají především Keprníku, a Sokola (1959), který píše o povodních ve Vysokém Jeseníku.

Podle Polácha a Gáby (1998) došlo 5. a 6. 8. 1880 na moravské i slezské straně Jeseníků k povodním, které se opakovaly i po průtrži mračen 12. 8. V horách způsobila voda silnou erozi a v oblasti Keprníku došlo k sesuvům murového typu. Sokol (1959) pro toto období uvádí rozsáhlé svahové sesuvy mezi Šerákem a Keprníkem v povodí Branné (Sokol (1959) používá termín svahové sesuvy, ale z popisu událostí vyplývá, že se jedná o mury). O množství srážek nejsou záznamy, protože v horské oblasti nebyly v té době srážkoměry. K dalším murovým sesuvům došlo podle Polácha a Gáby (1998) v povodí Vražedného potoka v druhé červencové dekádě roku 1907 a k obrovským sesuvům murového charakteru došlo na Červené hoře pod Vřesovou studánkou v roce 1921, kde bylo strženo 16 ha plochy (50 000 m³ lesní půdy s porostem). Masa pak zahradila Hučivou Desnou, později se nádrž protrhla a způsobila katastrofální škody v údolí řeky v délce 25 km. Na Hučivé Desné pak byla vybudována dvanáctimetrová retenční přehrážka. Podle Sokola (1959) i na opačné straně Červené hory v povodí Bělé došlo k rozsáhlým sesuvům půdy i s lesním porostem. Obrázky 30, 31 a 32 zobrazují murové rýhy na Červené hoře z tohoto roku, na obrázku 33 jsou murové dráhy pod Keprníkem.



Obrázek 30: Svahové sesuvy pod Vřesovou studánkou 1. 6. 1921.
Zdroj: Sokol (1959)



Obrázek 31: Dobová fotografie situace po muře pod Vřesovou studánkou v roce 1921.
Zdroj: <http://krnovsko.eu/?p=1445>



Obrázek 32: Murové rýhy na Červené hoře po intenzivních srážkách v roce 1921.
Zdroj: Malik a Owczarek (2009)



Obrázek 33: Murové dráhy na svahu Keprníku po událostech 1. června 1921.
Zdroj:http://mfuhrer.rajce.idnes.cz/Pohlednice_povodne_z_1.6.1921/

Další mury zmiňují Polách a Gába (1998), stejně jako Sokol (1959) po prudkých deštích 5. 8. 1951 v povodí Keprnického potoka. V roce 1971 podle Polácha a Gáby (1998) „přšlo na půdu již silně nasycenou vodou a vznikly velké erozní jevy mimo toky a na malých tocích“.

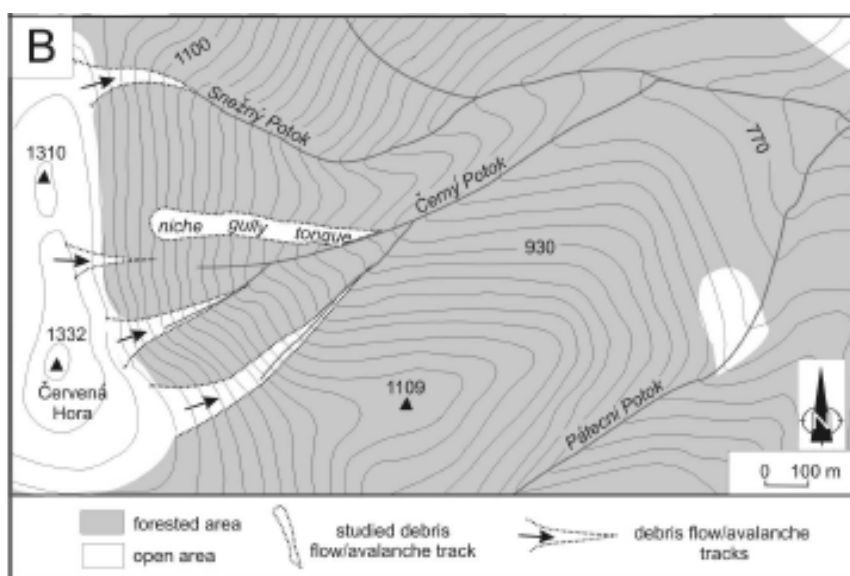
Gába uvádí, že podle Sokola (1965) se mury v Hrubém Jeseníku vytvořily v letech 1880 (8. -9. 8), 1893 (27. 7.), 1903 (9. 7.), 1951 (5. 8.) a 1965, že Hošek nadto uvádí léta 1813, 1904 a Schön (1938) se zmiňuje o vzniku mur i v roce 1770.

Mury ze 4. července 1991 charakterizuje Gába (1992) jako největší od roku 1921. V povodí Branné podle něj bylo zjištěno sedm velkých mur a 13 krátkých odtrží a v povodí Bělé vzniklo několik menších mur a dvě velké mury. Jedna z těch dvou byla největší z těch, které se toho dne vytvořily, a autor ji podrobněji prozkoumal. Jeho poznatky jsou shrnuty v tabulce 10.

délka	900 m	
výškový rozdíl	300 m	
střední sklon dráhy	19°	
odlučná oblast	1275 m n. m.	
horní část (neprotékaná potokem)	délka	350 m
	šířka	12-18 m
	střední sklon	25° (místy větší)
	eroze	1 m, zřídka nad 1,5 m
spodní část (využívá koryta potoka)	délka	550
	šířka	5-14 m
	eroze	1-3 m, výjimečně až 5 m
konec dráhy	975 m n. m.	

Tabulka 10: Údaje o největší muře na severním svahu Keprníku z července 1991.
Zdroj: vytvořeno autorem na základě Gáby (1992)

Obrázek 34 zobrazuje studovanou oblast Malika a Owczarka (2009) na východním svahu Červené hory a okolní murové dráhy (znázorněné šipkami).

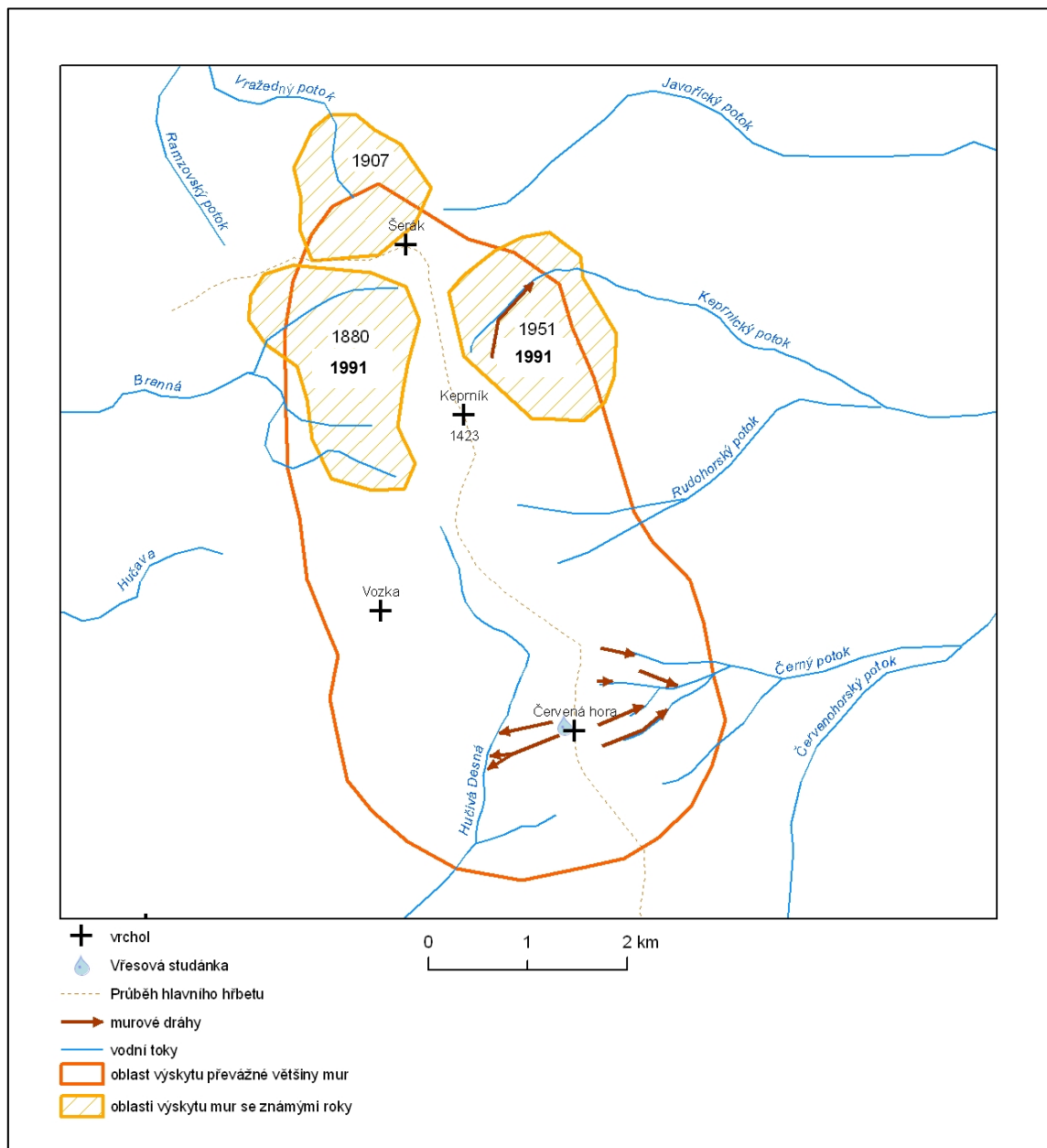


Obrázek 34: Východní svah Červené hory.
Zdroj: Malik a Owczarek (2009)

Výsledky dendrochronologického výzkumu Malika a Owczarka (2009) jsou následující. Murová / lavinová dráha vznikla, nebo pravděpodobněji byla rozšířena, během mimořádných srážek v roce 1921. Poté stromy zarůstaly okraj dráhy do roku 1968, kdy byla v letokruzích zaznamenána mura. Poté docházelo při intenzivních srážkách k častým murovým událostem. Příloha 2 zobrazuje výsledky výzkumu a mury v letech 1968, 1971-1972, 1977?, 1991 a 1997. V letech 1994 a 2004 došlo k lavinám nebo jarním murám při tání sněhu. V příloze 3 je náčrt studované oblasti s profily jednotlivých částí.

4.1. Polohová analýza

Na základě uvedené literatury jsem vytvořila v programu ArcGIS obrázky 35, 37 a 38. Údaje z databáze ArcGIS jsem ještě doplnila údaji z turistické mapy Hrubého Jeseníku (1996). Murových drah, jež by bylo možno přesně zakreslit, není mnoho. Proto by bylo potřeba provést podrobnější výzkum v terénu a teprve poté určovat faktory vzniku mur v Hrubém Jeseníku. Navíc dendrochronologický výzkum nedosahuje denní přesnosti a nelze tak zjišťovat například srážky a povětrnost v době vzniku mur. Přesto se pokusím shrnout faktory, které vedly ke vzniku uvedených mur.



Obrázek 35: Oblasti výskytu mur s vyznačenými známými murovými dráhami a roky.

Zdroje: Gába (1991), Polách a Gába (1998), Sokol (1959), Hrubý Jeseník (mapa Klubu českých turistů, 1996), databáze ArcGIS

Srážky a povětrnostní situace

Srážky jsou velmi důležitým faktorem vzniku mur, protože intenzivní deště způsobí rychlé a silné nasáknutí zvětraliny, díky němuž dojde k následnému odtržení mas. Výskyt tak intenzivních lijáků není v našich podmínkách častý – obvykle přicházejí jednou za řadu let – a tím je dána i frekvence vzniku mur (Pilous, 1977).

Pro dny 9. -10. 7. 1903 uvádí Gába (1992) povětrnostní situaci C a pro 26. -28. 8. 1813 severovýchodní proudění. Dále říká, že povětrnostní situace při vzniku ostatních mur není známa.

Polách a Gába (1998) uvádějí 1. 6. 1921 na Červenohorském sedle 134 mm srážek za dvě hodiny (z toho 80 mm za jednu hodinu), což potvrzuje obrázek 36. Sokol (1959) uvádí od 19:30 do 21:30 hodin 180 mm srážek v prostoru Keprník – Vozka – Červená hora – Švýčárna. Povětrnostní situaci se mi bohužel nepodařilo zjistit.

218		1921		Povodí: Dunaj.	
4. Význačné deště podle ombrografických pozorování. Ze spolehlivých a správných ombrogramů byla sestavena tab. IV. a), b), c). Vydatnější deště a jejich význačné fáze jsou v těchto tabulkách vyčísleny podle výšky, doby trvání a intenzity.					
Největší intenzity v roce 1921 pro trvání deště od 10 min. do 4 hod. byly pozorovány za mimořádně vydatného lijáku, který se snesl dne 1. června na západních svazích Jeseníků v okolí Praděda, zejména pak při prameništích horské bystřiny Děsné. Podle ombrografického záznamu v Červené Hoře (1011 m nad mořem) trval tento déšť asi 17 hodin, za kteroužto dobu napršelo 199 mm vody. Největší vydatnosti dostupil po 18 ^h 30 min.; v této hlavní fázi deště bylo naměřeno za 3 hod. 48 min. 173 mm, t. j. průměrně 45·5 mm za 1 hodinu.					
Za tohoto deště byly zjištěny tyto největší intenzity:					
pro trvání	5 minut	výška	15 mm,	t. j. intenzita	3:0 mm za 1 min.
" "	10	" "	23	" "	2:3 " " 1 "
" "	20	" "	36	" "	1:8 " " 1 "
" "	30	" "	49	" "	1:6 " " 1 "
" "	45	" "	65	" "	1:4 " " 1 "
" "	1 hod.	" "	80	" "	1:3 " " 1 "
" "	1 " 30	" "	119·8	" "	1:3 " " 1 "
" "	2 " "	" "	134	" "	1:1 " " 1 "
" "	4 " "	" "	178·5	" "	0:7 " " 1 "

Tyto intenzity znamenají maximální hodnoty, zjištěné v r. 1921 pro uvedené doby trvání v povodí Moravy vůbec;

Obrázek 36: Srážky z 1. 6. 1921.

Zdroj: http://mfuhrer.rajce.idnes.cz/19210601/#cervenohorske_sedlo.jpg

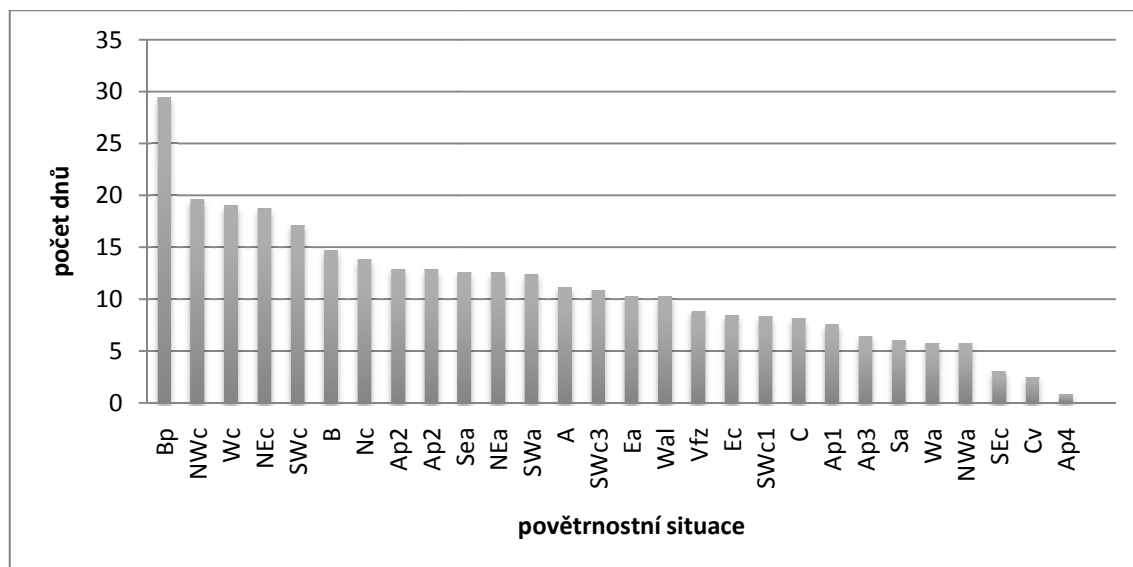
Pro rok 1991 odhaduje Gába (1992) množství srážek v oblasti Keprníku na 100 mm nebo i více. Hodnoty naměřené v okolních meteorologických stanicích (tabulka 11) dokládají, že se jednalo o vysloveně místní prudký déšť. Podle očitých svědků během dne mrholilo a intenzivní déšť nastal kolem jednadvacáté hodiny a trval asi hodinu.

Praděd (12,8 km)	15,0 mm
Jeseník (8,2 km)	5,8 mm
Ramzová (4,4 km)	3,7 mm
Branná (8,3 km)	59,6 mm
Šumperk (25,6)	6,7 mm
Velké Losiny (14,7 km)	9,0 mm

Tabulka 11: Srážky v okolí Keprníku 4. 7. 1991. V závorkách je uvedena vzdálenost od vrcholu Keprníku

Zdroj: Gába (1992)

Povětrnostní situace 3. a 4. července 1991 byla Ec, tedy východní cyklonální. Tato situace je u nás méně častá, mezi lety 2001 a 2007 se vyskytla průměrně jen v osmi dnech v roce (viz graf 17).



Graf 17: Povětrnostní situace v ČR mezi roky 2001 a 2007, vyjádřená jako průměrný počet dnů za rok. Vstupní data: Český hydrometeorologický ústav

Horninový podklad

Jak znázorňují obrázky 32 a 33, horninový podklad pěti mur na Červené hoře je tvořen rulou a svorem, dvě vznikly na fylitech. V oblastech mur na Keprníku se jedná nejvíce o rulu nebo erlán. Jsou to horniny (resp. jejich zvětraliny) s vysokým obsahem slíd. Slídy umožňují sjetí zvětraliny stejnoměrnou orientací svých šupinek na plochách břidličnatosti a zvláště tím, že při silném navlhčení se stávají plastické a působí jako mazadlo, jež zmenšuje koeficient tření, který udržuje svahovou masu ve stabilním svahu (Pilous, 1977).

Sklon a směr vrstev pravděpodobně na vznik mur nemají vliv. Mura pod Keprníkem má sice sklon břidličnatosti shodný se sklonem svahu (Gába, 1992), ale západní svah Červené hory má sklon vrstev opačný a přesto zde vznikly velké mury.

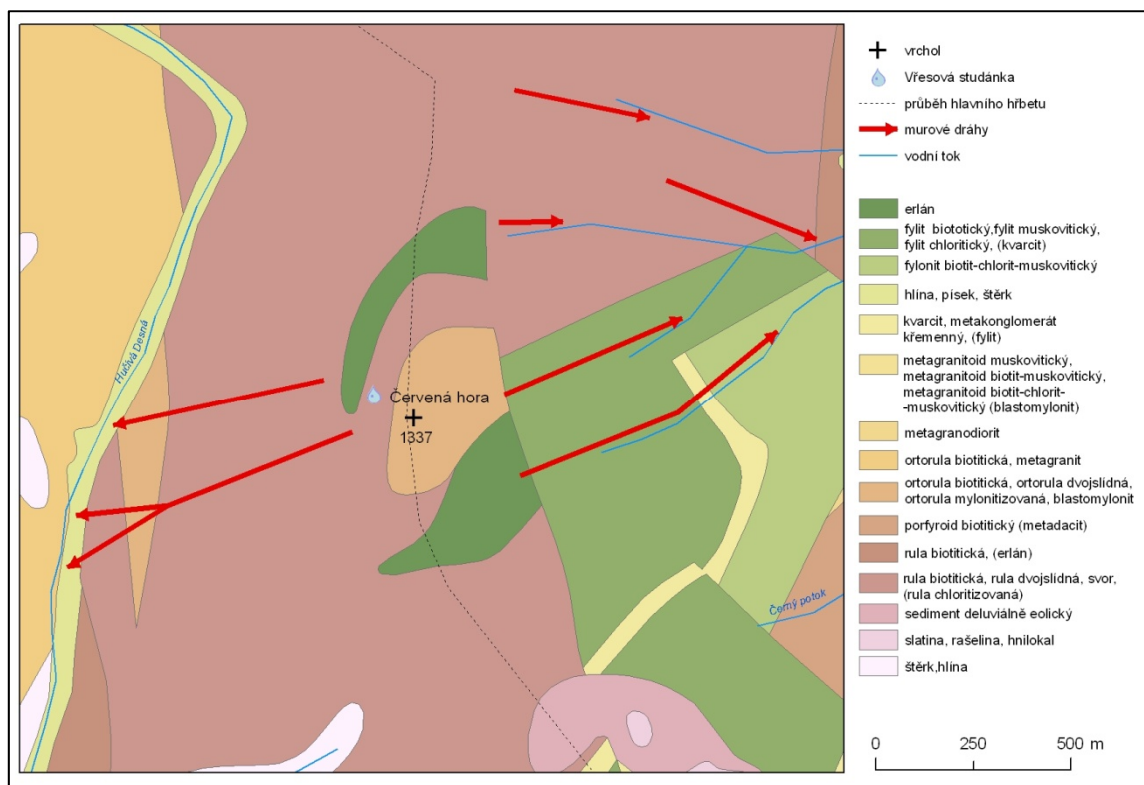
Sklon svahů a expozice

Na základě analýzy v programu ArcGIS (ESRI) bylo zjištěno, že odlučné zóny pěti mur na Červené hoře jsou na severovýchodním svahu se sklonem 20-25° a dalších dvou na opačné straně na svahu se sklonem 27-33°, podle mapy Hrubého Jeseníku (1996) se ale jeví vyšší. Pro muru pod Keprníkem udává Gába (1992) 25°, místy více.

Expozice svahů postižených murami je v západním a východním kvadrantu. Je to dáno směrem hlavního hřbetu Keprnické hornatiny, který podmiňuje výstup vzdušných hmot při výše popsaném severovýchodním a východním proudění. Proto dochází v oblasti Keprníku k velmi intenzívním srážkám a následnému vzniku mur.

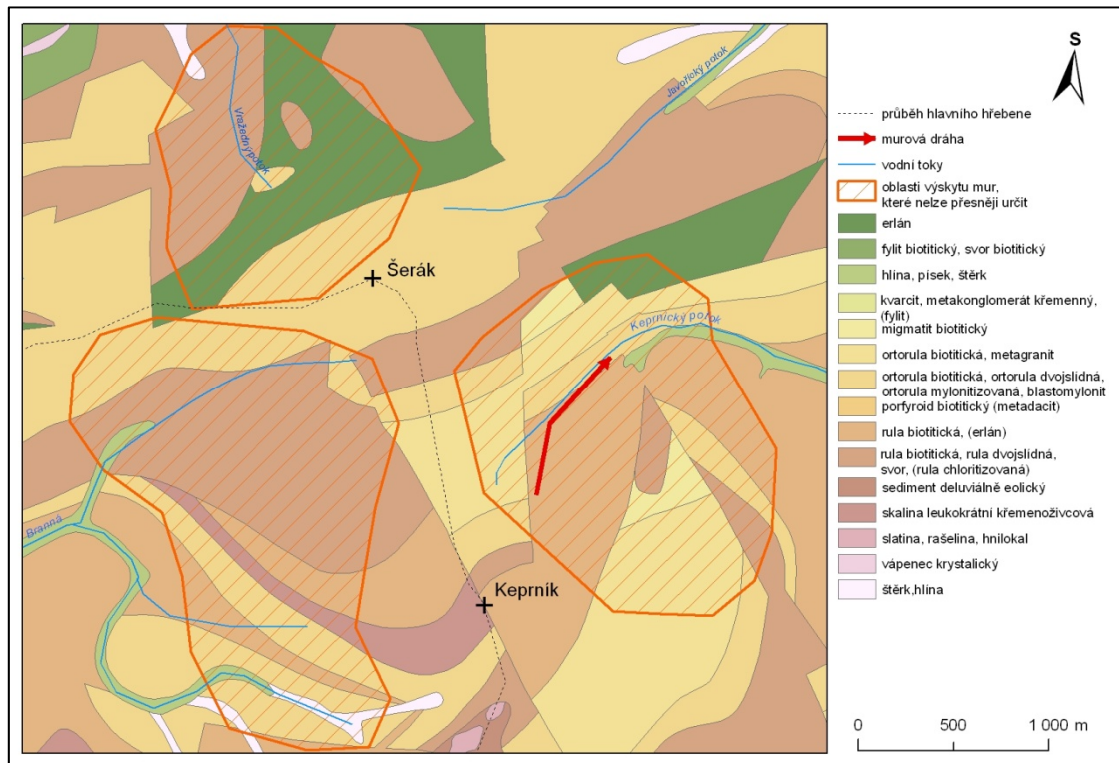
Vegetační kryt

Všechny uvedené mury vznikly ve smrkových porostech, což by mohlo být dáno mělkými kořeny smrku, které nedrží zvětralínu pohromadě tak dobře jako hluboké kořeny listnatých stromů. Při silných větrech navíc dochází k vyvrácení stromů, a to vede na obnažených místech k nadzvedávání půdy i k rychlému vsaku vody.



Obrázek 37: Červená hora a okolí s vyznačeným horninovým podložím a murovými dráhami.

Zdroje: Gába (1991), Polách a Gába (1998), Sokol (1959), Hrubý Jeseník (mapa Klubu českých turistů, 1996), databáze ArcGIS



Obrázek 38: Pravděpodobné oblasti výskytu mur pod Keprníkem s vyznačenou známou murovou dráhou a horninovým podkladem.

Zdroje: Gába (1991), Polách a Gába (1998), Sokol (1959), Hrubý Jeseník (1996), databáze ArcGIS

Podle Gáby (1992) i Pilouse (1977) jsou mury v Hrubém Jeseníku vázány prakticky jen na Keprnickou hornatinu a v Pradědské jsou vzácné. Nadmořské výšky a sklonitost svahů jsou si velmi podobné, ale rozdíl je v horninovém podloží a pravděpodobně i v intenzitě srážek. V Pradědské hornatině se prakticky nevyskytují svory a svorové ruly, které jsou hojné v Keprnické hornatině (Gába, 1992). Doložit i rozdíly v intenzitě srážek není možné díky řídké síti srážkoměrných stanic. Příkladem ale mohou být údaje o množství srážek, uvedené v části týkající se fyzicko-geografických poměrů nebo srážek v době vzniku mur. Stanice na Červené hoře naměřila 1. 6. 1921 178,5 mm srážek během čtyř hodin, zatímco na Pradědu je maximální denní úhrn mezi roky 1947 a 1990 podle Gáby (1992) 104,8 mm, pro tak vysokou polohu (1491 m n. m.) relativně málo.

5. Diskuse

V této části se pokusím porovnat faktory uvedených jesenických mur s podobnými událostmi v pohořích střední Evropy, které byly uvedeny výše. Základní poznatky obsahuje tabulka 12.

Pohoří	Srážky, prahy	Horniny	Sklon odlučných zón, expozice	Stromový porost v odlučné zóně
Hrubý Jeseník	obecně int. min. 20 mm/hod	přeměněné	?	?
Červená hora, 1337 m n. m.	134 mm/2 hod (1. 6. 1921),	rula, svor, fylit	min. 20°-30°, kvadranty W, E	smrk
Keprník, 1424 m n. m.	> 100 mm (4. 7. 1921)*, (povětrnost Ec)	rula, erlán	25°, NE	smrk
Krkonoše	min. 20 mm po dobu 1-2 hod	svor až fylit, krk. žula	27°-37°, hl. kvadrant W	ne nebo smrk
Moravskoslezské Beskydy	přes 100 mm/24 hod	přechody mezi oddíly Godulských vrstev (GV)	?	smrk, buk, olše
Smrk, 12 drah, 1276 m n. m.	?	hl. střední oddíl GV	W a hl. N	?
Lysá hora, 19 drah, 1323 m n. m.	114 mm/ den (srpen 2005)	přechody GV, střední oddíl GV (srpen 2005)	E (srpen 2005), jinak všechny směry	?
Babia Góra , 1725 m n. m. (31. 7. 2002)	> 40 mm/den (stanice ve výšce 697 m)***, (povětrnost NW)	magurský pískovec překrývající flyš	34°, NW,	ne
Tatry	obecně >25 mm/h nebo 80-100 mm/den	granitoidy, tektonicky narušené – klastický materiál	?	?
Kažmerský štít, 2556 m n. m. (15. 7. 1933)	18-20 hod – 48,5 mm, max. int. 26 mm/h**		N-NE	ne
Hlinská dolina	severní svah 1610 mm/rok, jižní svah 1250 mm/rok; (stanice v 1700 m n. m.)	biotický granodiorit	severní svah 45°, jižní svah 32°; (odhad)	?
Žořta Turnia, 2087 m n. m.	24,3 mm/den (20. 6. 1986), 84,6 mm/den (9. 8. 1991), 223,5 mm/den (8. 7. 1997)	granitoidy	W	ne

Tabulka 12: Srovnání faktorů murových drah v pohořích střední Evropy. * podle svědků přes den pouze mrholilo, prudký déšť trval mezi 21 a 22 hodinou; ** intenzita byla pravděpodobně vyšší, měření probíhalo na okraji studované oblasti; *** maxima v 1192 m n. m. na severním svahu jsou pro období 1961 až 1990 1489 mm/rok a 172 mm/den. ? značí neznámý údaj.

Zdroje: viz text

V Hrubém Jeseníku, Krkonoších a Moravskoslezských Beskydech se jedná o mury strukturní, zatímco v Tatrách se vyskytují mury turbulentní. Z obrázků a popisu události na Babí hoře vyplývá, že i zde se jedná o mury strukturní. Podle Pilouse (1973) se strukturní mury vyskytují ještě v Malé a Velké Fatře a Nízkých Tatrách, informace o nich se mi ale nepodařilo získat. Při srovnání uvedených mur je tedy potřeba brát v úvahu rozdíly mezi strukturními a turbulentními murami. Nejdříve se pokusím srovnat mezi sebou faktory strukturních mur a poté k tomu přidat i turbulentní.

Údaje o množství srážek, které vyvolají mury, uváděné z Hrubého Jeseníku i Krkonoš se v podstatě shodují (intenzita 20 mm/hod, po dobu 1-2 hodin, spíše však více), v Moravskoslezských Beskydech probíhal výzkum na základě dendrochronologie a nebylo tudíž možné dohledat konkrétní srážkové úhrny. Ale po porovnání se srážkovými záznamy, v roce stanoveném pro výskyt mury, konstatují (Šilhán a Pánek, 2008) více než 100 mm/den. Na Babí hoře není možné intenzitu ani množství srážek přesně určit, protože stanice se nachází v nadmořské výšce 697 m n. m. Ta naměřila 31. 7. 2002 přes 40 mm/den. Povětrnost toho dne byla NW, tedy severozápadní, stejná jako expozice murové dráhy. Pilous (1977) pro Krkonoše určil nejvíce murových drah s expozicí v západním kvadrantu a převažující proudění ze západního kvadrantu. Z toho vyvozuje, že nejen hlavní, ale i lokální deště přicházejí nejčastěji z těchto směrů. Naznačuje, že podobně by tomu mělo být i v Hrubém Jeseníku. Zde ale prudké srážky přicházejí nejčastěji při povětrnosti NEc, C, B, Ec (Gába, 1992) a díky výšce a směru hlavního hřbetu Keprnické hornatiny vypadávají právě v oblasti Keprníku. Největší murová dráha z roku 1991 se nachází na svahu se severovýchodní expozicí a byla způsobena povětrnostní situací Ec, ale i na opačné straně hřebene došlo ke vzniku sedmi větších mur.

Horniny, resp. jejich zvětralin, na nichž vzniká odlučná zóna murové dráhy se v Jeseníku i Krkonoších dost shodují. Jedná se o horniny původně převážně sedimentární a následně metamorfované, s vysokým obsahem slíd – rulu, svor, fylit a erlán. V Krkonoších řada mur vznikla i na žulovém podkladu. Mury Moravskoslezských Beskyd vznikly na godulských vrstvách, převážně na středním oddílu (silně lavicovité pískovce), což je podle Pánka (2010) pravděpodobně dáno jejich největším rozšířením v nejexponovanějších lokalitách. 30 % mur vzniklo na přechodu spodního (jílovité prachovce) a středního oddílu godulských vrstev. Murová dráha na Babí hoře začíná na magurském pískovci a na svahu se sklonem 34°. V Krkonoších se v místech odlučných zón pohybuje sklon svahu nejčastěji mezi 27° a 37°, nikdy neklesá pod dvacet (Pilous, 1977). V Hrubém Jeseníku je sklon odlučných zón od 20° do 33°.

Stromový porost v Jeseníku i Krkonoších v místě vzniku mur je smrkový. V Moravskoslezských Beskydech se spolu se smrkem vyskytuje v místech průzkumu ještě buk lesní a olše lepkavá. Na Babí hoře stromy nejsou.

Turbulentní mury v Tatrách vznikají na granitoidech, nad horní hranicí lesa, pravděpodobně pouze tehdy, když je v kanálech dostatečné množství úlomků. Intenzita srážek musí být 25 mm/hod (Fussgänger a Jadroň, 2001 nebo Kotarba, 2007; In Kapusta et al., 2010) nebo 80-100 mm/den (Kotarba, 1994; In Kapusta et al., 2010). Srážky, které vyvolaly mury, byly v Polsku 24,3 mm/den, 84,6 mm/den, 223,5 mm/den. Jejich intenzitu však neznám, ani povětrnost pro srovnání s nevětrností svahů.

Zajímavé jsou výsledky výzkumu srážkových prahů v Ritigrabenu (tvořen hlavně svorem) provedené Rebetezem et al. (1997). Jak je uvedeno v části 3.3. (Geneze a morfologie), k velkým murovým událostem nedošlo, pokud množství srážek během tří dnů nepřekročilo hodnotu čtyř směrodatných odchylek, kromě případu, kdy se nestihlo vytvořit dostatečné množství úlomků v kanále. To by napovídalo tomu, že turbulentní mury jsou vyvolány dlouhodobými srážkami, na rozdíl od strukturních. V Tatrách se ale v uvedených studiích udávají srážky v době hodin nebo dnů, podobně jako u strukturních. Navíc, vzhledem k popsanému vzniku turbulentních mur, tedy že voda se nestačí vsakovat, smývá zvětralinu ze svahů a kanálů a unáší materiál v suspenzi, je patrné, že je zapotřebí velmi intenzivních srážek.

Szymczak et al. (2010; In Bollschweiler a Stoffel, 2010) identifikovali ve švýcarských Alpách srážky, které spustily mury. Největší srážkový úhrn byl 48 mm za den a největší pozorovaná intenzita činila 12 mm za hodinu. To je ve srovnání s výše uvedenými údaji poměrně málo.

6. Závěr

Závěrem práce bych chtěla shrnout dosažené výsledky a podnítit další výzkum v oblasti mur, protože tyto svahové procesy mají vliv na modelaci horského reliéfu a při své rychlosti a nepředvídatelnosti mohou mít katastrofální následky. Důležité je také pokračovat ve snahách o vytvoření databáze mur, protože vznikají většinou opakovaně na stejném místě.

Cílem práce bylo definovat a klasifikovat mury, stanovit podmínky jejich vzniku a popsat genezi a morfologii. Dalším úkolem bylo vyhledat události v pohořích střední Evropy a srovnat je s událostmi v Hrubém Jeseníku.

Základním výsledkem je tedy stanovení definice: blokovobahenní proudy značné rychlosti, způsobené atmosférickými podmínkami (přivalové srážky, tání sněhu) nebo geomorfologickými událostmi (náhlý odtok vodních kapes, protržení morénou nebo ledem hrazených jezer) v horských oblastech, které se pohybují dolů do údolí přívalovými koryty nebo po spádnici, a strhávají vše, co jim přijde do cesty. Jako nejměstnější a nejlépe popsán se ukázalo dělení tehdy sovětských autorů, kteří vyčlenili mury strukturní a turbulentní, a jehož se moje práce dále drží. Shánění informací o murách v Hrubém Jeseníku z literatury nebylo snadné a výsledky ukazují nutnost kompletního průzkumu oblasti. Jednoznačně nejměstnější se jeví událost z 1. 6. 1921 na Červené hoře, která je často zmiňována v literatuře a zachycena na dobových fotografiích. Obrovská masa materiálu mury zahradila Hučivou Desnou, později došlo k protržení rezervoáru a voda s troskami napáchala velké škody v celém údolí. Události z pohoří ve střední Evropě jsou příklady, a stanovení chronologie mur v těchto pohořích bude muset být věnována práce většího rozsahu. Faktory vedoucí ke vzniku strukturních mur si byly víceméně podobné, i když stanovit jednotnou mez pro srážky, nebo určit podloží, které je na mury nejnáchylnější se nezdá reálné. Lze říci, že strukturní mury (Krkonoše, Jeseníky, Moravskoslezské Beskydy, Babia Góra) vznikají na horninách (resp. jejich zvětralinách), které mají vysoký obsah slíd nebo na pískovcích. Nejčastěji uváděné srážky jsou: intenzita přes 20 mm/h nebo množství 100 mm/den. Zdá se, že vznik strukturních mur, pokud jsou pod horní hranicí lesa, je podporován smrkovým porostem. Pro turbulentní mury je hlavním faktorem dostatečné množství sedimentů na svazích a kanálech. Údaje o srážkách, vedoucích k jejich vzniku, si často protirečí. Intenzita by pravděpodobně měla být ještě vyšší než v případě strukturních mur, ale jsou statistické důkazy i o době trvání srážek, souvisící s jejich množstvím.

Zdroje:

- BAEZA, C., COROMINAS, J. (2001): Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. *Earth Surface Processes Landforms*, 26, 1251–1263 s.
- BOLLSCHWEILER, M. (2007): *Spatial and temporal occurrence of past debris flows in the Valais Alps - results from tree-ring analysis* [rukopis]. Fribourg, 2007, 182 s.
- BOLLSCHWEILER, M. et al. (2007): Reconstructing spatio-temporal patterns of debris-flow activity using dendrogeomorphological methods [online]. *Geomorphology*, 87, s. 337-351, [cit. 2011-20-07]. Dostupné jako PDF z:
http://www.dendrolab.ch/download/articles/Bollschiweiler_etal_Geomorphology_2007.pdf.
- BOLLSCHWEILER, M. et al. (2008): Dynamics in debris-flow activity on a forested cone — A case study using different dendroecological approaches [online]. *Catena*, roč. 72, s. 67-78, [cit. 2011-20-07]. Dostupné jako PDF z:
http://www.dendrolab.ch/download/articles/Bollschiweiler_etal_Catena_2008.pdf.
- BOLLSCHWEILER, M., STOFFEL, M., (2010): Tree rings and debris flows: Recent developments, future directions. *Progress in Physical Geography*, roč. 34, č. 5, s. 625-645.
- BROCKLEHURST, S., H. (2010): Tectonics and geomorphology. *Progress in Physical Geography*, roč. 34, č. 3, s. 357–383.
- CAINE, N. (1980): The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows. *Geografiska Analer*, 62 A, 1-2, s. 23-27.
- CZUDEK, T. (1997): *Reliéf Moravy a Slezska v kvartéru*. Sursum, Tišnov, 1997. 213 s.
- DEMEK, J., NOVÁK, V. (1992): Vlastivěda moravská, Země a lid, svazek 1: *Neživá příroda*. Muzejní a vlastivědná společnost, Brno, 1992, 242 s.
- FAIRBRIDGE, R. W. (1968): *The Encyclopedia of Geomorphology*. Reinhold book corporation, New York, 1968, 1295 s.
- GÁBA, Z. (1991): *Turistický průvodce ČSFR*. Jeseníky, svazek 39. Olympia, Praha, 1991, 350 s.
- GÁBA, Z. (1992): Mury pod Keprníkem v červenci 1991. *Severní Morava*, svazek 64, 1992, s. 43-50.
- HOUSER, P. (2002): *Uhlík C14: Dva neutrony navíc měří čas* [online]. [cit. 2011-15-07]. Dostupné z: <http://scienceworld.cz/chemie/uhlik-c14-dva-neutrony-navic-meri-cas-4013>.

- HOUSER, P. (2005): *Optická luminiscence a archeologický výzkum ve tmě* [online]. [cit. 2011-15-07]. Dostupné z: <http://scienceworld.cz/chemie/uhlik-c14-dva-neutrony-navic-meri-cas-4013>.
- HRUBÝ JESENÍK (1996): *Soubor turistických map 1 : 50 000*, číslo 55. Klub českých turistů, Praha, 1996.
- HÜBL et al. (2002): *DOMODIS – Documentation of Mountain Disasters*. State of Discussion in the European Mountain Areas [online]. Internationale Forschungsgesellschaft INTERPRAEVENT, Schriftenreihe 1, Handbuch 1, Klagenfurt, 2002, 36 s, [cit. 2011-07-08]. Dostupné jako PDF z: http://mgt08.geomorphology.at/images/Downloads/Publikationen_Lothar/domodis_handbook.pdf
- HÜRLIMANN, M. et al. (2003): Field and monitoring data of debris-flow events in the Swiss Alps [online]. *Canadian Geotechnical Journal*, roč. 40, č. 1, s. 161-175, [cit. 2011-27-07]. Dostupné jako PDF z: <http://webmm.wsl.ch/wsl/info/mitarbeitende/grafc/pdf/5489.pdf>.
- KAPUSTA, J. et al. (2010): Changes in activity and geomorphic effectiveness of debris flow in the High Tatra Mts. within the last six decades (on the example of the Veľická Dolina and Dolina Zeleného plesa Valleys [online]. *Studia geomorphologica Carpatho-balcanica*, roč. XLIV, 2010, s. 5-34, [cit. 2011-28-07]. Dostupné jako PDF z: http://www.igipz.pan.pl/wydaw/studia_geomorphologica/vol/pdf/44_01.pdf.
- KĘDZIA, S. (2010): The age of debris surfaces on the Żółta Turnia Peak (the Polish Tatra Mts.) [online]. *Geomorphologia Slovaca et Bohemica* 10, 2, 2002, s. 29-38, [cit. 2011-28-07]. Dostupné jako PDF z: <http://www.asg.sav.sk/gfsb/v0102/gfsb0100203.pdf>.
- KOMAC, M. et al. (2009): Debris flow susceptibility model of Slovenia at scale 1 : 250,000 [online]. *Geologija*, roč. 52, s. 87-104, [cit. 2011-27-07]. Dostupné jako PDF z: http://www.interpraevent.at/palm-cms/upload_files/Publikationen/Tagungsbeitraege/2010__786.pdf.
- ŁAJCZAK, MIGOŃ (2007): The 2002 debris flow in the Babia Góra massif - Implications for the interpretation of mountainous geomorphic systems [online]. *Studia geomorphologica Carpato-balcanica*, roč. XLI, 2007, s. 97–116, [cit. 2011-16-08]. Dostupné jako PDF z: http://www.igipz.pan.pl/wydaw/studia_geomorphologica/vol/pdf/sgcb_2007_pdf/06-lajczak.pdf.
- MALIK, I., OWCZAREK, P. (2009): Dendrochronological records of debris flow and avalanche activity in a mid-mountain forest zone (Eastern Sudetes – Central Europe) [online]. *Geochronometria*, 34, 2009, s. 57-66, [cit. 2011-08-08]. Dostupné jako PDF z: http://www.geochronometria.pl/pdf/geo_34/geo34_07.pdf.
- ONDRUCH, V. (2008): *Meteorologická stanice Lysá hora* [online]. Poslední aktualizace 02. 05. 2009, [cit. 2011-18-08]. Dostupné z: <http://www.lysahora.cz/encyklopedie/objekty1.phtml?id=107685>

- ONDRYÁŠ, J.: *Geologické poměry Hrubého Jeseníku* [online]. Poslední aktualizace 01. 02. 2005, [cit. 2011-03-07]. Dostupné z:
http://www.43.oblast.cz/encyklopedie/objekty1.phtml?filtr=&druh=&id_obce=&id_obce_2=&id_obce_3=&id_nuts_2=&kraj=&okres=&id=124320&typ=&lng=1.
- ONDRYÁŠ, J. (2007): *Podnebí hrubého Jeseníku* [online]. Poslední aktualizace 28. 12. 2007, [cit. 2011-05-07]. Dostupné z: <http://www.ic-lipova.cz/podnebi-hrubeho-jeseniku/d-1018/p1=1256>.
- PANIZZA, M. (1996): *Environmental geomorphology*. Elsevier, Amsterdam, 1996. s. 35-87.
- PETRÁNEK, J. (1993): *Geologická encyklopedie* [online]. Poslední úpravy 14. 2. 2011, Česká geologická služba, [cit. 2011-19-07]. Dostupné z:
<http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl>.
- PILOUS, V. (1973): Strukturní mury v Krkonoších I. *Opera corcontica*, č. 10, 1973, s. 15-69.
- PILOUS, V. (1975): Strukturní mury v Krkonoších II. *Opera corcontica*, č. 12, 1975, s. 7-50.
- PILOUS, V. (1977): Strukturní mury v Krkonoších III. *Opera corcontica*, č. 14, 1977, s. 7-94.
- REBETEZ, M. et al. (1997): Climatic change and debris flow in high mountain regions: the case study of the Ritigraben torrent (Swiss Alps). *Climatic Change*, 36, s. 371–389.
- RICKENMANN, D. (2001): Murgänge in den Alpen und Methoden zur Gefahrenbeurteilung [online]. *Proceedings 31. IWASA*, Internationales Wasserbau-Symposium, Aachen, 2001 [cit. 2011-28-07]. Dostupné jako PDF z: ftp://ftp.wsl.ch/pub/rickenmann/Rickenmann-pdf/2001/Rickenmann-2001_IWASA.pdf.
- SCHEIDL, Ch., RICKENMANN, D. (2008): Ablagerungsverhalten und Reichweiten alpiner Murgänge [online]. *Interpraevent 2008 – Conference Proceedings*, Vol. 1, [cit. 2011-27-07]. Dostupné jako PDF z: <http://www.debris-flow.at/index.php/download/category/5-open-access#>.
- SOKOL, F. (1959): Povodně ve Vysokém Jeseníku [online]. *Severní Morava*, svazek 4, 1959. [cit. 2011-08-08]. Dostupné z: <http://www.muzeum-sumperk.cz/index.php?item=cinnost/publikacni-cinnost/vlastivedny-sbornik-severni-morava/obsah/&larticle=83>.
- STOFFEL, M., BENISTON, M. (2006): On the incidence of debris flows from the early Little Ice Age to a future greenhouse climate: A case study from the Swiss Alps. *Geophysical Research Letters*, roč. 33, L16404.
- ŠILHÁN, K. (2010): Vliv geologické stavby svahů na vznik a výskyt blokovobahenních proudů [online]. In *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2009*. Česká geologická služba, Praha, 2010, část B, s. 127-130 [cit. 2011-25-07]. Dostupné jako PDF z:
<http://www.geology.cz/zpravy/obsah/2009/2009-33.pdf>.
- ŠILHÁN, K., PÁNEK, T. (2008): Výzkum a výskyt blokovobahenních proudů v Moravskoslezských Beskydech [online]. *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce*

2007, 15, s. 74–76, [cit. 2011-25-07]. Dostupné jako PDF z:
http://dendroman.zlykluk.cz/userFiles/publikace/gvms_08.pdf.

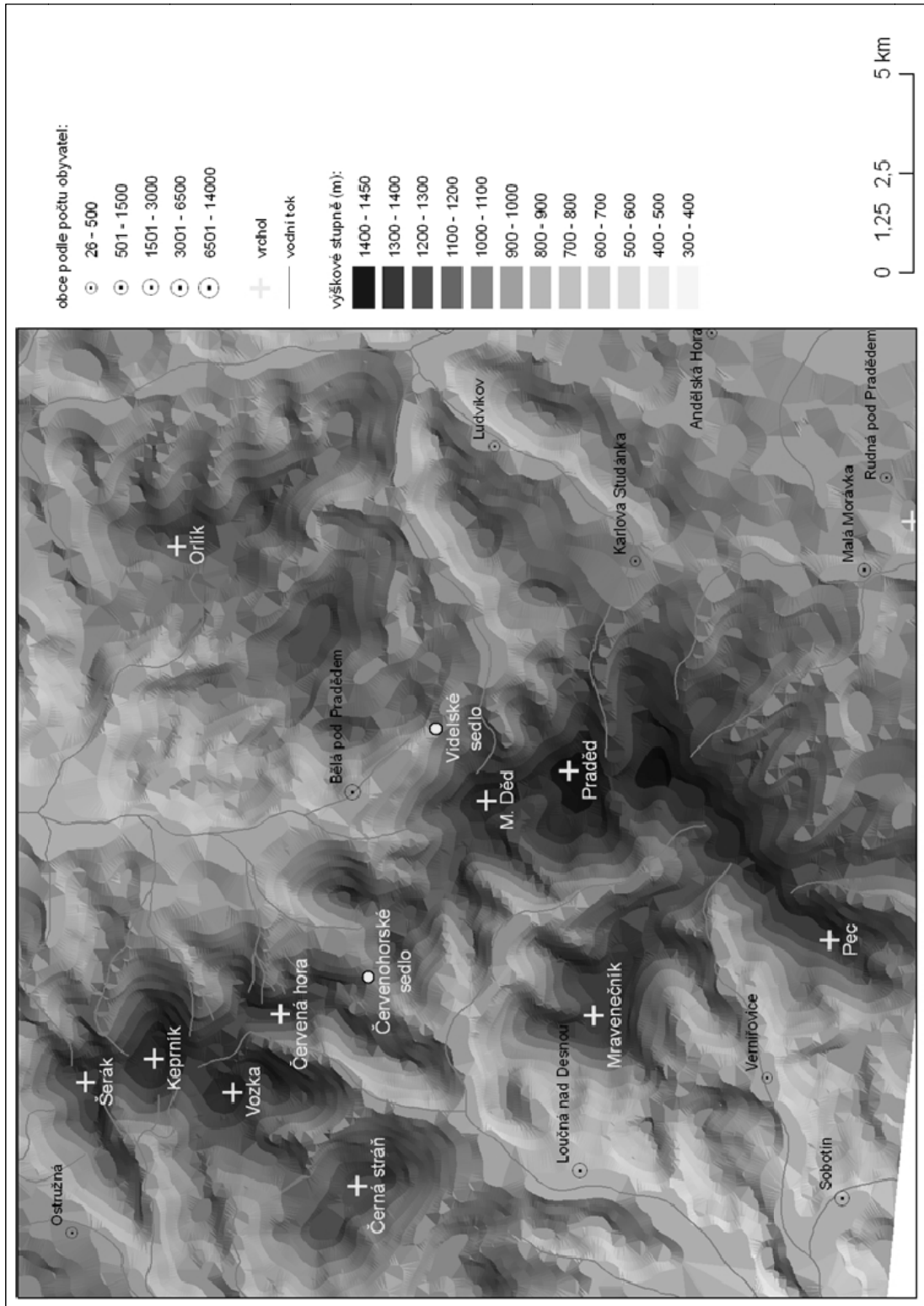
ŠILHÁN, K., PÁNEK, T. (2008): Historická chronologie blokovobahenních proudů
v Moravskoslezských Beskydech [online]. *Geomorphologia Slovaca et Bohemica*, 1, 2008, s.
82-94, [cit. 2011-10-08]. Dostupné jako PDF z:
http://www.dendroman.cz/userFiles/publikace/gseb_08.pdf.

TOLASZ, R. et al. (2007): *Atlas podnebí Česka*. 1. vyd., Český hydrometeorologický ústav,
Olomouc, 2007, 256 s.

WHITTOW, J. B. (1984): *The Penguin Dictionary of Physical geography*. Penguin, London,
1984, 591 s.

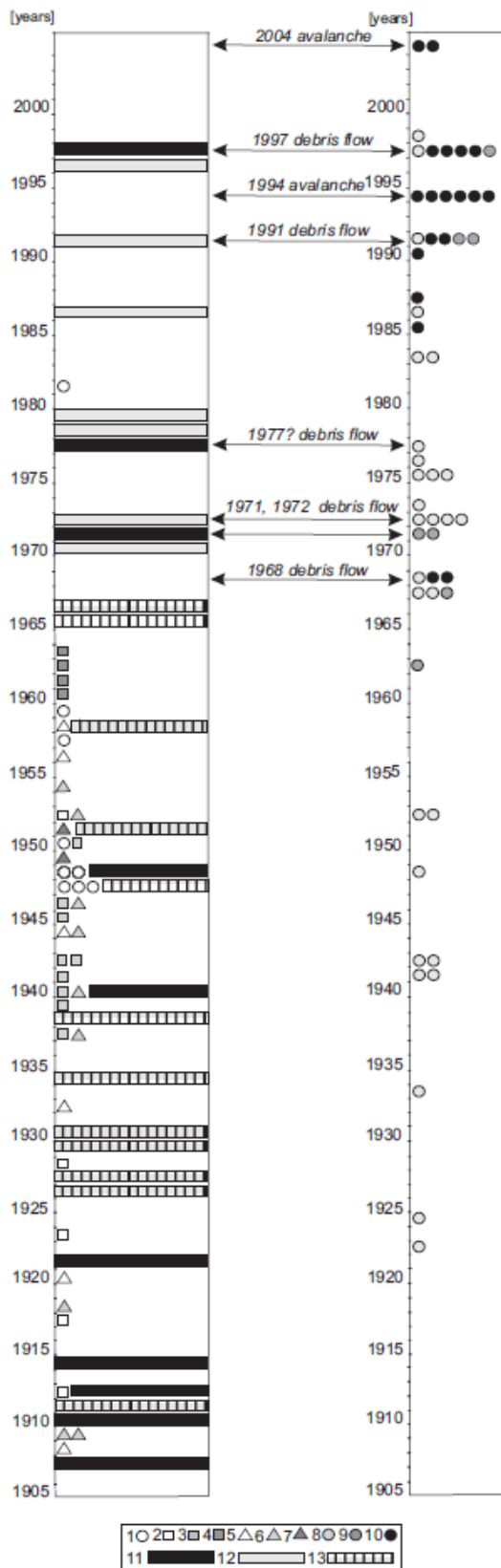
Přílohy

Příloha 1: Oblast Hrubého Jeseníku s vyznačenými vrcholy a obcemi



Zdroje: Databáze ArcGIS, Hrubý Jeseník (1996)

Příloha 2: Výsledky dendrochronologického datování murové a lavinové aktivity na svahu Červená hora a hlavní srážky a povodně, které se vyskytly ve východní části Sudet.

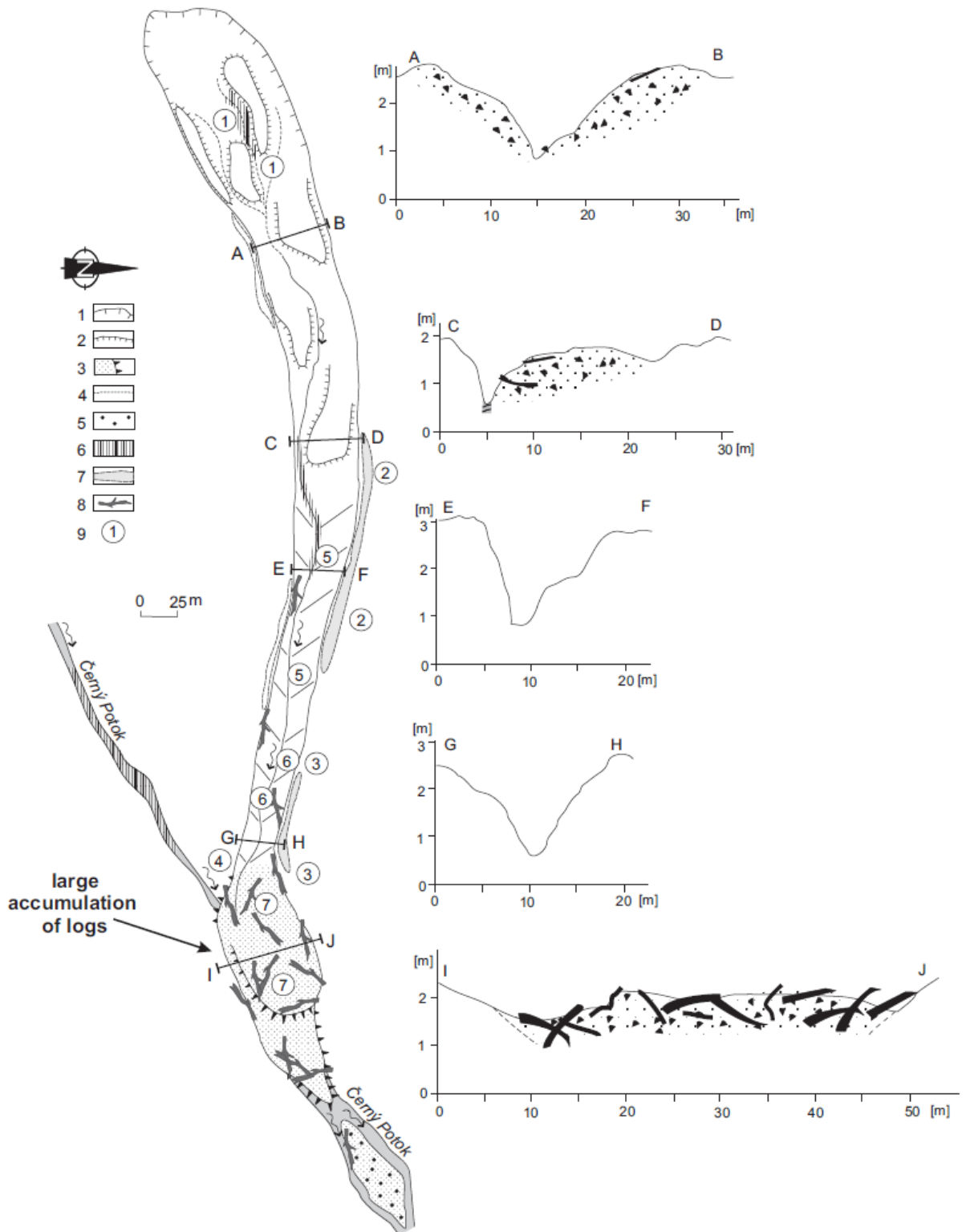


Vysvětlivky:

- 1 – věk výhonků buku (místo 1),
- 2 – stáří stromů (místo 2),
- 3 – stáří stromů (místo 3),
- 4 – stáří stromů (místo 4),
- 5 – stáří stromů / klád (místo 5),
- 6 – stáří stromů / klád (místo 6),
- 7 – stáří stromů / klád (lokality 1-7),
- 8 – redukce letokruhů (lokality 1-7),
- 9 – jizvy na výhoncích buku (místo 1),
- 10 – stáří klád (lokality 5-7),
- 11 – srážkové události nad 100 mm za den zaznamenané ve východních Sudetech (Štekl, 2001),
- 12 – srážkové události mezi 20 a 100 mm za den zaznamenané ve východních Sudetech (Štekl, 2001),
- 13 – poměrně malé množství srážek / povodňové události zaznamenané ve východních Sudetech (Polách a Gába, 1998).

Zdroj: Malik a Owczarek (2009)

Příloha 3: Morfologický náčrt a profily studované murové / lavinové dráhy



Vysvětlivky: 1 – odlučná zóna, 2 – okrajové formy akumulace, 3 – nánosový jazyk, 4 – pravidelně odvodňované malé stružky, 5 – naplavovaný materiál v korytě potoka, 6 – výchozy podloží, 7 – boční násypy, 8 – hrubé pozůstatky dřeva, 9 – místo dendrochronologické studie lokality.
 Zdroj: Malik a Owczarek (2009)