

Univerzita Karlova  
Přírodovědecká fakulta  
Katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Geografie  
Studijní obor: Fyzická geografie a geoekologie



Bc. Tereza Dlabáčková

**Geomorfologické podmínky murových procesů v centrální části  
Západních Tater**

Geomorphological conditions for debris-flows in the central part of the  
Western Tatras

*Diplomová práce*

Praha 2018

Vedoucí diplomové práce: Doc. RNDr. Zbyněk Engel, Ph.D.

## **Zadání diplomové práce**

### **Název práce**

Geomorfologické podmínky murových procesů v centrální části Západních Tater

### **Cíle práce**

Prvním cílem této práce je kvantifikace plošných a délkových změn či změn frekvence výskytu mur v zájmovém území a načrtnutí celkového trendu jejich vývoje v období 1973 – 2015. Dalším cílem práce je morfometrická charakteristika vymezených murových drah (jejich zdrojových i transportně-akumulačních oblastí). Cílem terénního výzkumu je zmapování murových akumulací, které se nacházejí pod horní hranicí lesa. V terénu bude rovněž provedeno měření stupně zvětrání povrchu bloků murových akumulací (Schmidt hammer test) a měření průměru stélek lišejníku mapovníku zeměpisného (*Rhizocarpon geographicum*) za účelem relativního datování vybraných murových akumulací.

### **Použité pracovní metody**

Plocha a délka transportně-akumulačních oblastí mur bude vymezena metodou manuální vektorizace na základě ortorektifikovaných leteckých snímků z let 1973, 1986, 2003 a 2015. Následně bude načrtnut trend vývoje změn plochy transportně-akumulačních oblastí mur v období 1973 – 2015. Dále bude provedena morfometrická analýza (využívající jako vstup digitální model reliéfu) zdrojových a transportně-akumulačních oblastí mur pomocí vybraných nástrojů softwaru ArcMap (vytvořen bude rastr sklonitosti a příkonu slunečního záření a bude zjišťována jejich orientace). Pomocí Pearsonova korelačního koeficientu budou sledovány vzájemné vztahy morfometrických charakteristik. Mapování čel a bočních valů transportně-akumulačních oblastí mur budou provedena pomocí GPS bodů a následně bude vytvořena mapa zjištěných akumulací v softwaru ArcMap. Měření stupně zvětrání povrchu bude provedeno nejčastěji na 3 – 5 blocích murové akumulace, současně bude také měřen průměr jedné nebo pěti největších stélek lišejníku mapovníku zeměpisného.

**Datum zadání práce:** 21. 12. 2015

**Student:** Bc. Tereza Dlabáčková

Podpis:

**Vedoucí práce:** Doc. RNDr. Zbyněk Engel, Ph.D.

Podpis:

Prohlášení:

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,

Podpis studenta:

Poděkování:

Ráda bych poděkovala Doc. RNDr. Zbyňku Engelovi, Ph.D. za ochotnou pomoc a cenné rady při tvorbě této práce. Dále bych chtěla poděkovat zástupcům Topografického ústavu plukovníka Jána lipského v Banské Bystrici a VGHMÚř Dobruška za poskytnutí dat důležitých pro tuto práci. Ráda bych poděkovala také svým přátelům za pomoc při zpracování práce a své rodině za veškerou podporu a pochopení. V neposlední řadě bych za pomoc moc ráda poděkovala Tomášovi.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá morfometrickými charakteristikami a změnami v rozsahu a četnosti výskytu mur v Roháčské dolině a jejích bočních údolích v oblasti Západních Tater. Pomocí analýzy leteckých snímků z let 1973, 1986, 2003 a 2015 byl vymezen plošný rozsah transportně-akumulačních oblastí mur a jejich délka pro jednotlivé roky a následně byl vyhodnocen trend jejich vývoje v období 1973 – 2015. Z digitálního modelu reliéfu byly pro zdrojové a transportně-akumulační oblasti mur zjištěny základní morfometrické charakteristiky (nadmořská výška, sklon, orientace nebo příkon slunečního záření). Terenní práce byly zaměřeny na zmapování transportně-akumulačních oblastí mur pod horní hranicí lesa (zejména jejich čel nebo polohy podélných valů), stanovení stupně zvětrání balvanů na povrchu vybraných murových akumulací (Schmidt hammer test) a měření průměrů stélek lišejníku mapovníku zeměpisného (*Rhizocarpon geographicum*).

Na základě leteckých snímků bylo v zájmovém území vymezeno 98 murových drah. V letech 1973 – 1986 a 2003 – 2015 byl zjištěn pokles plochy transportně-akumulačních oblastí mur, v období let 1986 – 2003 naopak došlo k mírnému nárůstu jejich rozlohy. Průměrná nadmořská výška zdrojových oblastí mur byla stanovena na 1923 m n. m. (s průměrným sklonem 43,8°) a transportně-akumulačních oblastí na 1778 m n. m. (průměrný sklon činí 35,7°). Průměrné R-hodnoty testovaných bloků se pohybují v rozmezí  $32,7 \pm 6,8$  až  $65,0 \pm 3,8$  a umožňují vymežit skupiny mur, které pravděpodobně vznikly před a po roce 1973. Pomocí lichenometrie bylo určeno stáří murových akumulací na 12 až 63 let. Zjištěná období vzniku mur se ve většině případů shodují se srážkovými událostmi, kdy byla překročena prahová hodnota pro vznik mur.

**Klíčová slova:** mura, letecký snímek, morfometrická charakteristika, Schmidt hammer test, lichenometrie, Západní Tatry

## **Abstract**

This thesis focuses on morphometric characteristic of debris flows and also areal and frequency changes over time in the Roháčská Valley and its tributary valleys, Western Tatra Mountains. Aerial images taken in 1973, 1986, 2003 and 2015 were used to delineate the spatial extent of debris flows transportation-accumulation zones as well as their length in each period. Changes within the whole period 1973 – 2015 were quantified and a general trend in debris flows spatial extent was outlined. Selected morphometric characteristic (e.g. elevation, slope, aspect or solar radiation) for both the initiation and deposition areas were determined for the present debris flow tracks using the digital elevation model. Field works were aimed to delineation of transportation-accumulation areas below the tree line (particular attention was given to frontal parts and lateral léves of debris flow accumulations). The degree of weathering of selected boulders (Schmidt hammer test) was determined and also the diameter of *Rhizocarpon geographicum* thali was measured.

About 98 debris flow tracks presently occur in the study area. In the periods of 1973 – 1986 and 2003 – 2015 decrease of debris flows transportation-depositional zones was observed, unlike the period of 1986 – 2003 when slight increase of debris flows transportation-accumulation areas occurred. Using morphometric analysis the mean altitude and slope of debris flow source areas was determined (1923 m a.s.l. and 43,8° respectively) as well as mean altitude and slope of debris flows transportation-accumulation areas (1778 m a.s.l. and 35,7° respectively). Mean R-values of selected boulders ranges between  $32,7 \pm 6,8$  and  $65,0 \pm 3,8$  and determine the group of debris flows that occurred before and after 1973. The age of selected debris flows (12 – 63 years) was derived using lichenometry. The detected periods in most cases coincide with the heavy rainfall events when the rainfall thresholds for debris flow initiation was exceeded.

**Keywords:** debris flow, aerial image, morphometric characteristic, Schmidt hammer test, lichenometry, Western Tatra Mountains

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>12</b>
1.1	Cíle práce .....	16
<b>2</b>	<b>Vymezení zájmové oblasti</b> .....	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>Fyzickogeografická charakteristika</b> .....	<b>19</b>
3.1	Geologické poměry .....	19
3.2	Geomorfologické poměry .....	22
3.2.1	Glaciální modelace .....	26
3.2.2	Periglaciální modelace .....	28
3.2.3	Svahové procesy .....	29
3.3	Klimatické poměry .....	31
3.4	Hydrologické poměry.....	36
3.5	Pedologické poměry .....	39
3.6	Biogeografické poměry .....	40
<b>4</b>	<b>Metodika</b> .....	<b>41</b>
4.1	Ortorektifikace leteckých snímků .....	41
4.2	Stanovení morfometrických charakteristik reliéfu .....	44
4.3	Morfometrické charakteristiky murových drah .....	45
4.4	Změny plochy a délky mur v období 1973 – 2015 .....	48
4.5	Terénní práce.....	49
4.6	Relativní datování .....	50
4.7	Statistické zpracování dat.....	52
<b>5</b>	<b>Výsledky</b> .....	<b>55</b>
5.1	Změny plochy a délky transportně-akumulačních oblastí mur 1973 – 2015 ...	55
5.1.1	Změny plochy a délky transportně-akumulačních oblastí mur v období 1973 – 1986 .....	55
5.1.2	Změny plochy a délky transportně-akumulačních oblastí mur v období 1986 – 2003 .....	58
5.1.3	Změny plochy a délky transportně-akumulačních oblastí mur v období 2003 – 2015 .....	61
5.1.4	Statistická významnost rozdílů mezi jednotlivými obdobími.....	66
5.2	Morfometrické charakteristiky mur .....	67
5.3	Korelace morfometrických charakteristik .....	73

5.4	Terenní mapování.....	77
5.5	Relativní datování murových akumulací .....	84
<b>6</b>	<b>Diskuze.....</b>	<b>94</b>
6.1	Terenní mapování.....	94
6.2	Morfometrické charakteristiky mur .....	98
6.3	Relativní datování .....	100
6.3.1	Schmidt hammer test .....	100
6.3.2	Lichenometrie .....	103
6.4	Plošné změny transportně-akumulačních oblastí mur v období let 1973 – 2015 .....	107
<b>7</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>111</b>
<b>8</b>	<b>Zdroje .....</b>	<b>115</b>
8.1	Seznam použité literatury.....	115
8.2	Internetové zdroje.....	125
8.3	Ostatní zdroje .....	127



## Seznam obrázků

<b>Obrázek 1:</b> Typy murových drah na území Tater .....	14
<b>Obrázek 2:</b> Pohled na zájmové území (Roháčskou dolinu a její visutá boční údolí) ze sedla Zábrat'.....	17
<b>Obrázek 3:</b> Vymezení zájmové oblasti .....	18
<b>Obrázek 4:</b> Geologická mapa zájmového území.....	21
<b>Obrázek 5:</b> Fyzicko-geografické regiony Tater.....	23
<b>Obrázek 6:</b> Sklonitost reliéfu zájmového území.....	25
<b>Obrázek 7:</b> Klimatické oblasti zájmového území.....	35
<b>Obrázek 8:</b> Průměrné měsíční srážkové úhrny na meteorologické stanici Zuberec - Zverovka v období 1984 – 2014 a jejich srovnání s vybranými meteorologickými stanicemi .....	35
<b>Obrázek 9:</b> Podíl odtoků jednotlivých měsíců na celkovém ročním odtoku.....	37
<b>Obrázek 10:</b> Průměrné měsíční průtoky Studeného potoka – Oravského Biělého potoka za období let 1941 – 1960.....	38
<b>Obrázek 11:</b> Příklad rozmístění vlíčovacích bodů na leteckém snímku .....	42
<b>Obrázek 12:</b> Lokality měření (Schmidt hammer test a lichenometrie).....	50
<b>Obrázek 13:</b> Lichenometrická křivka a rovnice pro výpočet lichen faktoru .....	52
<b>Obrázek 14:</b> Příklad histogramů ploch transportně-akumulačních oblastí, vlevo – původní data před Box-Cox transformací .....	54
<b>Obrázek 15:</b> Normální p-graf, vlevo pro velikosti ploch transportně-akumulačních oblastí před Box-Cox transformací, vpravo po Box-Cox transformaci.....	54
<b>Obrázek 16:</b> Trend vývoje podílu plochy TA oblastí na celkové ploše zájmového území (znázorněn červenou přímkou) .....	65
<b>Obrázek 17:</b> Četnosti murových drah v jednotlivých kategoriích orientace .....	67
<b>Obrázek 18:</b> Zastoupení jednotlivých kategorií nadmořské výšky pro oblasti bez murových drah (vlevo) a s výskytem murových drah (vpravo).....	68
<b>Obrázek 19:</b> Zastoupení jednotlivých kategorií sklonu pro oblasti bez murových drah (vlevo) a s výskytem murových drah (vpravo) .....	69
<b>Obrázek 20:</b> Přehled zmapovaných murových akumulací Roháčské doliny .....	77
<b>Obrázek 21:</b> Akumulace ROH_A.....	78
<b>Obrázek 22:</b> Akumulace ROH_B.....	79
<b>Obrázek 23:</b> Odlučná oblast poblíž akumulace ROH_B.....	79
<b>Obrázek 24:</b> Akumulace ROH_D .....	80
<b>Obrázek 25:</b> Akumulace ROH_F.....	81
<b>Obrázek 26:</b> Akumulace ROH_G (pravý boční val).....	82
<b>Obrázek 27:</b> Akumulace ROH_I.....	83
<b>Obrázek 28:</b> Průměrné R-hodnoty testovaných akumulací .....	92
<b>Obrázek 29:</b> Mapa transportně-akumulačních oblastí mur Západních Tater .....	95
<b>Obrázek 30:</b> Mapa transportních oblastí mur v Západních Tatrách .....	96
<b>Obrázek 31:</b> Mapa transportních oblastí mur v oblasti Západních Tater .....	97

## Seznam tabulek

<i>Tabulka 1: Přehled vybraných parametrů reliéfu Západních Tater</i> .....	23
<i>Tabulka 2: Sklon reliéfu v zájmovém území</i> .....	25
<i>Tabulka 3: Podíl plochy jednotlivých kategorií orientací svahů na celkové ploše zájmového území</i> .....	26
<i>Tabulka 4: Teplotní údaje vybraných meteorologických stanic Západních Tater</i> .....	33
<i>Tabulka 5: Přehled základních charakteristik ples zájmové oblasti</i> .....	38
<i>Tabulka 6: Přehled středních kvadratických chyb (RMS) vličovacích bodů leteckých snímků a ortofota zájmové oblasti</i> .....	43
<i>Tabulka 7: Přehled změn plochy TA oblastí mur v období 1973 – 1986</i> .....	56
<i>Tabulka 8: Přehled změn délek TA oblastí mur v období 1973 - 1986</i> .....	57
<i>Tabulka 9: Přehled změn plochy TA oblastí mur v roce 1986</i> .....	58
<i>Tabulka 10: Přehled změn plochy TA oblastí mur v období 1986 - 2003</i> .....	59
<i>Tabulka 11: Přehled změn délky TA oblastí mur v období 1986 – 2003</i> .....	60
<i>Tabulka 12: Přehled změn délek TA oblastí mur v období 1986 – 2003</i> .....	61
<i>Tabulka 13: Přehled změn ploch TA oblastí mur v období 2003 – 2015</i> .....	62
<i>Tabulka 14: Přehled změn průměrné délky TA oblastí mur v období let 2003 – 2015</i> .....	63
<i>Tabulka 15: Přehled změn délek TA oblastí mur v období 2003 – 2015</i> .....	63
<i>Tabulka 16: Přehled velikostí ploch a délek v jednotlivých sledovaných letech</i> .....	64
<i>Tabulka 17: Výsledky Fisherova LSD post-hoc testu pro plochy TA oblastí jednotlivých let</i> .....	66
<i>Tabulka 18: Výsledky Fisherova LSD post-hoc testu pro délky TA oblastí jednotlivých let</i> .....	66
<i>Tabulka 19: Přehled průměrných morfometrických charakteristik zdrojových a transportně-akumulačních oblastí za jednotlivá údolí</i> .....	71
<i>Tabulka 20: Minimální, maximální a průměrné hodnoty vybraných morfometrických charakteristik zdrojových a transportně-akumulačních oblastí zájmového území</i> .....	73
<i>Tabulka 21: Vypočítaná průměrná plocha TA oblastí odpovídající zvoleným velikostním kategoriím zdrojových oblastí</i> .....	75
<i>Tabulka 22: Korelační matice pro vybrané morfometrické charakteristiky zdrojových oblastí (ZDR) a transportně-akumulačních oblastí (TA)</i> .....	76
<i>Tabulka 23: Přehled vybraných charakteristik měřených bloků a výsledné hodnoty relativního datování ve Smutné dolině</i> .....	85
<i>Tabulka 24: Přehled výsledků Fisherova LSD post-hoc testu signifikance rozdílů průměrných R-hodnot Smutné doliny</i> .....	85
<i>Tabulka 25: Přehled vybraných charakteristik měřených bloků a výsledné hodnoty relativního datování ve Spálené dolině</i> .....	87
<i>Tabulka 26: Přehled výsledků Fisherova LSD post-hoc testu signifikance rozdílů průměrných R-hodnot Spálené doliny</i> .....	87
<i>Tabulka 27: Přehled vybraných charakteristik měřených bloků a výsledné hodnoty relativního datování ve Tmavé Spálené dolině</i> .....	88
<i>Tabulka 28: Přehled vybraných charakteristik měřených bloků a výsledné hodnoty relativního datování v Salatínské dolině</i> .....	89

<b>Tabulka 29:</b> Přehled výsledků Fisherova LSD post-hoc testu signifikance rozdílů průměrných R-hodnot Salatínské doliny.....	89
<b>Tabulka 30:</b> Přehled vybraných charakteristik měřených bloků a výsledné hodnoty relativního datování v Roháčské dolině.....	91
<b>Tabulka 31:</b> Korelační matice průměrných R-hodnot a vybraných morfometrických charakteristik.....	93
<b>Tabulka 32:</b> Srovnání výsledků lichenometrického stáří podle Kedzii (2015) a Kotarby (1988).....	104
<b>Tabulka 33:</b> Srovnání výsledků lichenometrie se srážkovými úhrny a leteckými snímky.....	106
<b>Tabulka 34:</b> Srovnání výsledků lichenometrie a průměrných R-hodnot testovaných akumulací.....	107

# 1 Úvod

Svahové procesy v horských oblastech nabývají nejvyšší intenzity v období bezprostředně po ústupu ledovce (v tzv. paraglaciálním období), následně se jejich intenzita snižuje (Kotarba a Dlugosz 2010). Modelace svahů bezprostředně po ústupu ledovce (zejména murami) začíná v nejnižších částech údolí a postupně se s ústupem ledovce přesouvá do vyšších částí údolí a ledovcových karů (Kotarba a Dlugosz 2010). Podmínky vzniku mur se tedy mění v závislosti na klimatu dané oblasti. Zatímco v období zalednění se mury na území Tater zpravidla vyskytovaly v níže položených oblastech, kam nedosahoval ledovec, v současnosti se nejčastěji vyskytují až nad horní hranicí lesa (Lukniš 1973b), zejména v periglaciálním prostředí svahů karových oblastí (Raczkowska 2006).

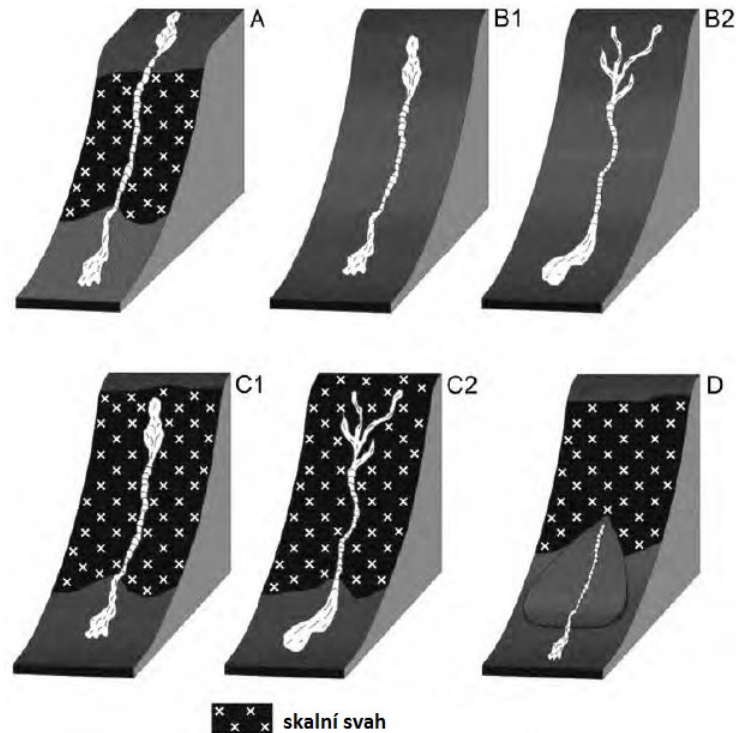
Velikost, počet a prostorové rozložení mur na území Tater závisí na topografii, reliéfu a substrátu, kde se mury vyskytují. Na území Tater se nacházejí značné rozdíly v morfologii povrchu, které jsou určeny zejména mírou pleistocenní ledovcové modelace, která byla v oblasti Západních Tater méně výrazná ve srovnání s Vysokými Tatrami. Svahy Západních Tater se podle Kotarby a kol. (2013) typicky skládají z 3 – 4 segmentů. Nejsvrchnější části svahů jsou tvořeny hřbety, které postupně přecházejí do mírně ukloněných úseků svahů, které byly modelovány pleistocenními periglaciálními procesy. Na tento úsek navazují skalnaté části svahu, které jsou rozčleněny četnými skalními žlaby, ve kterých může docházet ke vzniku mur (Kotarba a kol. 2013). Podle Lukniše (1973b) mury v Tatrách vznikají zejména ve skalních žlabech, kde se nachází nezpevněné úlomky hornin. Tento materiál nejčastěji vzniká mrazovým pukáním hornin tvořících přilehlé skalní stěny (Kotarba a Dlugosz 2010). Při vydatných srážkách dochází ke zvodnění tohoto horninového materiálu ve žlabech a jeho transportu po svahu dolů (Lukniš 1973b). Dalším místem vzniku mur jsou podle Lukniše (1973b) osypové kužely, kam je při velmi vydatných srážkách transportován větší objem vody ze skalních žlabů. Kotarba a kol. (2013) uvádí, že v Tatrách se mury mohou vyskytovat ve všech fyzicko-geografických jednotkách a všech výškových stupních. Jako nezbytné podmínky pro vznik mur autoři uvádějí zejména výrazný sklon reliéfu a přítomnost nezpevněné zeminy.

V souladu s členěním Brundsena (1979; cit. v Kotarba 2013) rozlišuje Kotarba (2013) na území Tater dva typy mur – mury nacházející se na svahu (*hillslope debris flows*) a mury zasahující až na dno údolí (*valley confined debris flows*).

První typ mur se vyskytuje v otevřeném terénu bez topografického omezení (např. v podobě skalního žlabu nebo výrazného koryta). Druhý typ mur vzniká přímo ve skalních žlabech nebo nad nimi a alespoň částečně je jejich dráha vedena vyhloubeným korytem na úpatí svahu. Tyto mury se zpravidla vyskytují ve stálých drahách (Kotarba 1992a). Nejdelší mury zasahující až na údolní dna měří více než 1 km. Tyto mury představují 5 % celkového počtu mur Vysokých i Západních Tater (Midriak 1984).

Krzemién (1988) rozlišuje tři morfodynamické oblasti, které dohromady tvoří systém murové dráhy – zdrojovou oblast vyplněnou sutinami, transportní část a akumulační část murové dráhy. Podle Jurczaka a kol. (2013), který vychází z původního členění Krzemiéna (1988), lze na území Západních Tater tyto systémy murových drah rozdělovat na čtyři základní typy (Obrázek 1):

- Typ A – tvoří jej jednoduchá nebo složená zdrojová oblast, dále oblast skalních stěn, zřetelná dráha protínající sutinový kužel a lalokovitá koncová část akumulace (Krzemién 1988). Jedná se o nejméně zastoupený typ murové dráhy v Západních Tatrách (Jurczak a kol. 2013).
- Typ B – tento typ murové dráhy se nachází na přímých svazích, které nejsou členěny strmými skalními stěnami. Dráha tohoto typu sestává ze zdrojové oblasti, dráhy vyhloubené v podloží, které ovšem není skalnaté, a lalokovité čelní akumulace (Krzemién 1988). Jurczak a kol. (2013) tento typ rozděluje na podtyp B1 s jednoduchou morfologií a zdrojovou oblastí (v Západních Tatrách tvoří nejčastěji se vyskytující typ murové dráhy) a složitější B2 s více nezávislými zdrojovými oblastmi.
- Typ C – v tomto případě se nejvýše položená část dráhy nachází ve skalních žlabech, na které navazuje dráha probíhající na sutinových kuželech, která je zakončená lalokovitou akumulací. Tento typ murové dráhy převládá v krystalinické části Západních Tater (Krzemién 1988). Jurczak a kol. (2013) tento typ dráhy dále rozděluje na podtyp C1 s jednoduchou zdrojovou oblastí (druhý nejrozšířenější v Západních Tatrách) a C2 se složenou zdrojovou oblastí.
- Typ D – k iniciaci pohybu sutin v tomto typu dráhy dochází pod skalní stěnou, v oblasti sutinového kužele, celá dráha tedy probíhá pouze ve svahovinách (Jurczak a kol. 2013).



**Obrázek 1:** Typy murových drah na území Tater

**Zdroj:** Jurczak (2013)

Mezi autory, kteří se zabývali popisem morfometrie murových drah na území Tater patří např. Midriak (1984) a Midriak (1993), který popisuje délku nebo šířku mur Západních Tater. Podobně také Jurczak a kol. (2013) a Kotarba a kol. (2013) se zabývají stanovením průměrných morfometrických charakteristik mur na území Tater. Stanovením prahových hodnot srážek předcházejícím vzniku mur na území Tater se zabýval především Kotarba (1992b, 1997), který stanovil hraniční hodnotu pro vznik mur 40 mm/hodinu nebo 80 – 100 mm/den. Další podstatnou součástí výzkumů mur v oblasti Tater je popis aktivity mur v různých časových obdobích a datování vzniku jednotlivých událostí pomocí analýzy jezerních sedimentů, lichenometrie, dendrochronologie nebo analýzy leteckých snímků. Aktivitou mur v období Malé doby ledové pomocí analýzy jezerních sedimentů se zabýval např. Kotarba (1992b, 1997), Klapysa a Kolaczek (2009). Klapysa a kol. (2016) přináší souhrnné informace o paleoenvironmentálních záznamech mur v jezerních sedimentech z období pozdního glaciálu a holocénu. Dendrochronologickými metodami datování murových událostí na území Tater se zabývají především Šilhán a Tichavský (2016, 2017). Analýzami leteckých snímků a sledováním změn murové aktivity se zabývali Kapusta a kol. (2010)

nebo Kedzia (2010). Další hojně aplikovanou metodou datování vzniku murových akumulací je lichenometrie, kterou používal Kotarba (1989, 1992, 1997, 2004), Kotarba a Pech (2002) nebo Kedzia (2010, 2017).

V oblasti Tater byla metoda měření stupně zvětrání povrchu (Schmidt hammer test) aplikována na kamenných ledovcích (např. Klapyta 2010, 2011, 2013; Pluháčková a Mentlík 2015), morénách (např. Klapyta 2010, 2013; Pluháčková a Mentlík 2015; Engel a kol. 2015; Zasadni a Klapyta 2016) nebo kamenných lavinách (např. Zasadni a Klapyta 2016). Měření stupně zvětrání povrchu bloků murových akumulací v oblasti Tater nebyla dosud věnována pozornost, ovšem ve světě tuto metodu na murových akumulacích použil např. Boelhouwers a kol. (1999) v oblasti jižní Afriky.

Lichenometrickou křivku pro subalpínské pásmo v oblasti Gasienicowa údolí na polské části Tater sestavil např. Jonasson a kol. (1991). Podle této lichenometrické křivky činí rychlost růstu lišejníku (tzv. lichen faktor) přibližně 40 mm/100 let. Každý vertikální vegetačně-klimatický stupeň však má specifickou míru růstu stélek lišejníků. Např. Kotarba (1988) stanovil pro oblast velmi chladného vertikálního stupně (1550 – 1850 m n. m. s průměrnou roční teplotou +2 až 0 °C) lichen faktor 38,1 mm/100 let a pro mírně studený vertikální stupeň (1850 – 2200 m n. m. s průměrnou roční teplotou 0 až -2°C) lichen faktor 32,5 mm/100 let. Vzhledem k ostré hranici stanovené mezi vertikálními klimatickými stupni, která příliš neodpovídá plynulému snižování míry růstu stélek lišejníků s rostoucí nadmořskou výškou, vytvořil Kedzia (2015) novou lichenometrickou křivku pro oblast Tater. Tato lichenometrická křivka plynule vyjadřuje míru růstu stélky v závislosti na nadmořské výšce na rozdíl od skokové změny lichen faktoru u předchozí křivky navržené Kotarbou (1988). Doba, za jakou se na čerstvě exponovaném povrchu objeví první stélky lišejníků, závisí zejména na klimatických podmínkách – teplotě, srážkách nebo délce trvání sněhové pokrývky (Kedzia 2010). V oblasti Tater stélky lišejníků začínají růst zpravidla v řádu několika let po expozici skalního povrchu (Kedzia 2013).

## 1.1 Cíle práce

Prvním cílem této práce je kvantifikace plošných a délkových změn či změn frekvence výskytu mur v zájmovém území a načrtnutí celkového trendu jejich vývoje v období 1973 – 2015. K popisu změn bude použito leteckých měřických snímků pořízených v letech 1973, 1986, 2003 a ortofota z roku 2015.

Dalším cílem práce je morfometrická charakteristika vymezených murových drah (jejich zdrojových i transportně-akumulačních oblastí). Zjištěn bude rozsah nadmořské výšky, ve které se zdrojové i transportně-akumulační oblasti nacházejí, sklonitost a orientace jejich povrchu a průměrný příkon slunečního záření na jejich povrchu. Zjištěné morfometrické charakteristiky budou podrobeny korelační analýze za účelem nalezení vzájemných vztahů.

Cílem terénního výzkumu je zmapování murových akumulací, které se nacházejí pod horní hranicí lesa, a nejsou tak spolehlivě identifikovatelné na leteckých snímcích. V terénu bude pomocí přístroje GPS zaznamenána především poloha čel murových akumulací nebo rozsah jejich podélných valů.

V terénu bude rovněž provedeno měření stupně zvětrání povrchu bloků murových akumulací (Schmidt hammer test) a měření průměru stélek lišejníku mapovníku zeměpisného (*Rhizocarpon geographicum*) za účelem relativního datování vybraných murových akumulací.



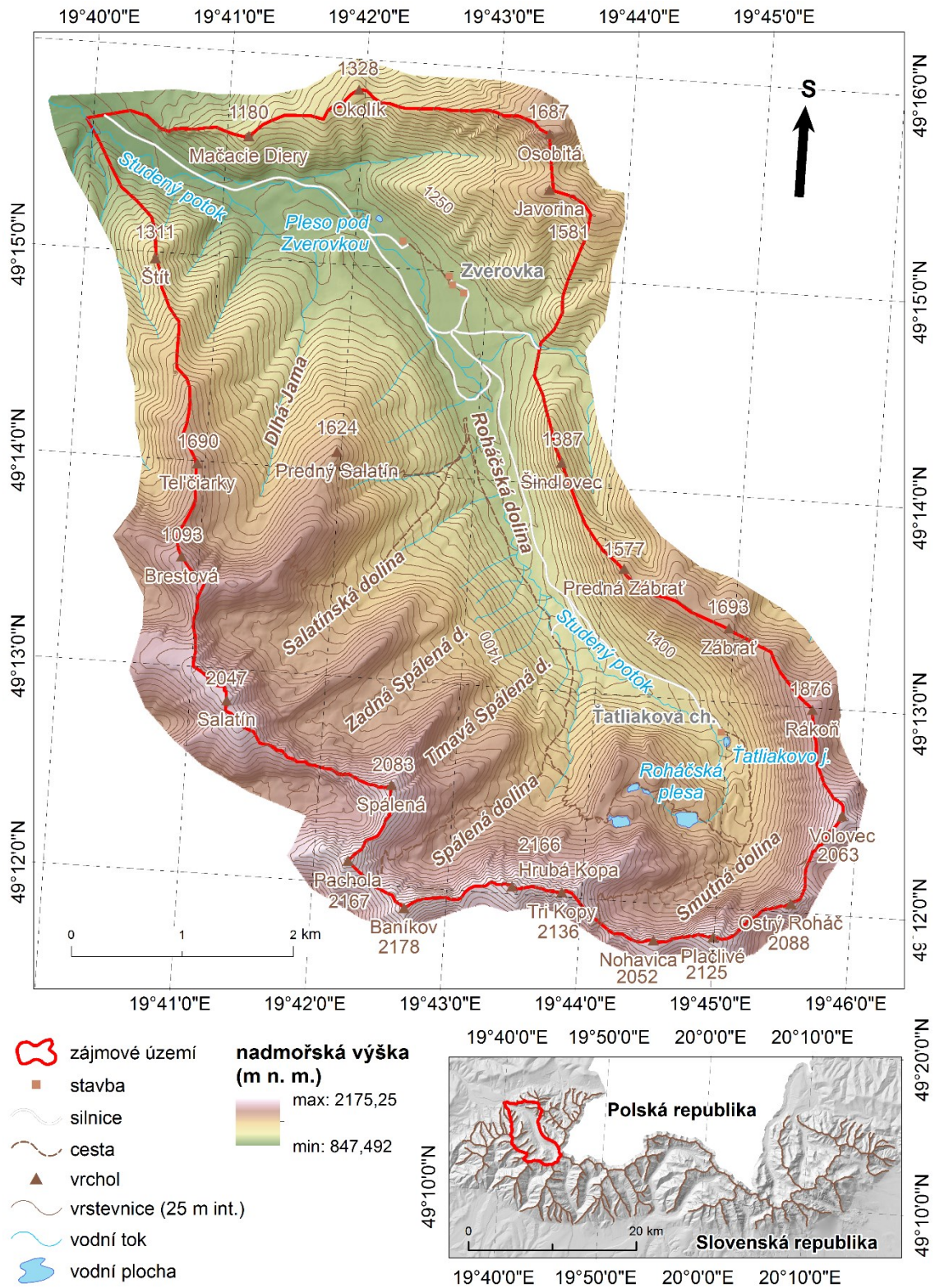
## 2 Vymezení zájmové oblasti

Zájmová oblast se nachází na území třech fyzickogeografických regionů Tater. Největší část zájmového území se rozkládá v regionu Roháčů, okrajově sem zasahují Tomanovsko-jamnické vrchy (hřebenová oblast mezi Šindlovcem a Volovcem) a Skupina Osobité (oblast v okolí Zverovky). Zájmové území se nachází v oblasti Roháčské doliny a bočních údolí – Smutné, Spálené, Tmavé Spálené, Zadné Spálené, Salatínské doliny a Dlhé Jamy (Obrázek 2 a 3). V jižní části je zájmové území vymezeno hlavním hřebenem Tater s vrcholy Salatín (2048 m n. m.), Baníkov (2178 m n. m.), Ostrý Roháč (2088 m n. m.) nebo Volovec (2064 m n. m.). Východní hranice zájmového území dále pokračuje přes Rákoň (1876 m n. m.) a Prednou Zábrat' (1576 m n. m.) až k Šindlovci (1387 m n. m.). Odtud severní hranice zájmového území pokračuje na Javorinu (1581 m n. m.) a Osobitou (1687 m n. m.), Okolík (1328 m n. m.), Mačacie Diery (1180 m n. m.) až k toku Studeného potoka. Odtud západní hranice zájmového území pokračuje po hřebeni směrem k vrcholu Štít (1311 m n. m.) a dále přes vrchol Teľčiarky (1690 m n. m.) směrem k vrcholu Brestová (1903 m n. m.) a odtud dále po hlavním hřebeni Západních Tater až k vrcholu Salatín (2048 m. n. m.).



**Obrázek 2:** Pohled na zájmové území (Roháčskou dolinu a její visutá boční údolí) ze sedla Zábrat'

**Zdroj:** Tomáš Uxa



**Obrázek 3:** Vymezení zájmové oblasti

**Zdroj:** Digitální model reliéfu (Geoportál), vlastní zpracování

## 3 Fyzickogeografická charakteristika

### 3.1 Geologické poměry

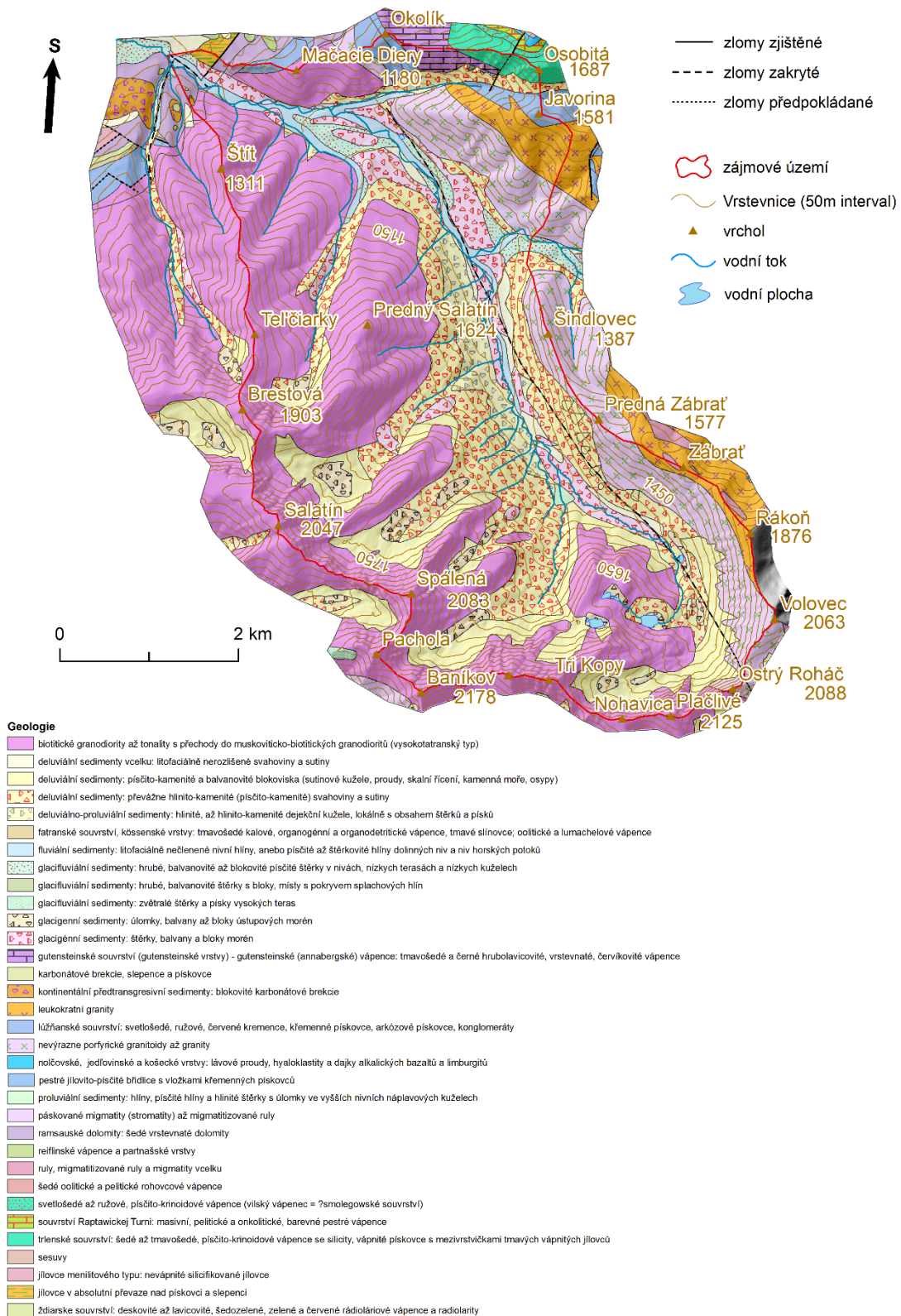
Západní Karpaty, tvořící severozápadní okraj Karpatského oblouku, se tradičně dělí na tři hlavní subprovincie – Vnější Západní Karpaty, Vnitřní Západní Karpaty a Centrální Západní Karpaty, jejichž nejsevernější součástí je Tatranské pásmo. Na geologické stavbě Tater se podílejí tyto základní jednotky – krystalinické jádro (krystalické břidlice, migmatity a granitoidy), jeho obalová série (tvořená sedimentárními horninami nasedajícími na krystalinikum), přesunuté subtatranské příkrovy (Křižanský a vyšší Chočský) a flyš (bazální slepence a numulitové vápence s přechodem do flyše; Gorek a Kahan 1973). V rámci Západních Karpat lze vymezit tři hlavní tektonické jednotky – Tatrikum, Fatrikum (Veporikum) a Hronikum (Gemerikum), které představují předalpínské krystalinického podloží tvořené metamorfovanými horninami, a dále tři samostatné sedimentární příkrovové jednotky z období svrchního paleozoika a spodního mezozoika překrývající krystalinické podloží – Fatrikum, Hronikum a Silicikum (Minár a kol. 2011). Tatrikum tvořící základ tzv. jádrových pohoří (Vysokých a Nízkých Tater, Velké a Malé Fatry, Chočských vrchů) se skládá ze dvou hlavních tektonických jednotek lišících se stupněm metamorfózy a litologií hornin (Králíková a kol. 2014). Krystalinická jednotka Tatrika je překryta sedimentárním obalem paleozoiko-mezozoického stáří dosahující maximální mocnosti až 2000 m. Přes Tatrikum je přesunut příkrov Fatrika reprezentovaný Křižanským příkrovem (budujícím zejména Belianské Tatry a dva severní výběžky Západních Tater) tvořeným výhradně horninami mezozoického stáří (Němčok 1993). Hronikum (zastoupené např. Chočským příkrovem, který je dnes zcela zachován pouze v Západních Tatrách v oblasti Osobité a Sivého vrchu) je nejsvrchnější tektonickou jednotkou, nasunutou na Křižanský příkrov (Kunský 1974).

Předalpínský paleotektonický vývoj oblasti Západních Karpat v mezozoiku lze rozdělit do několika fází – platformní fáze v období triasu (přibližně před 230 miliony let), kdy byla oblast zalita mořem a na dně tvořeném zarovnaným variským povrchem probíhala sedimentace karbonátů. Následovala extenzní (riftogenetická) fáze, kdy docházelo k zeslabování zemské kůry (střední trias až svrchní křída). Během následující kompresní fáze se naopak mocnost zemské kůry zvyšovala (svrchní jura až svrchní křída). Následovala transpresní fáze (svrchní křída), kdy docházelo k rozpadu zemské kůry vlivem alpínské deformace a obnažování jader pohoří tvořenými

metamorfovanými horninami (Plašienka a kol. 1997). Na počátku alpínského vrásnění docházelo ke kolísavým pohybům, při kterých se stupňovalo vyklenutí tatranského masívu (Kalvoda 1974). Koncem svrchního eocénu začal tektonický neklid, při kterém se vyklenulo území jádrových pohoří, jejichž povrch byl současně rychle rozrušován a uvolněný materiál byl snášen do okrajových pánví (Kalvoda 1974). Vývoj Centrálních Západních Karpat na počátku miocénu byl ovlivněn nasouváním Apulské desky a jejím tlakem na Centrální Západní Karpaty působícím směrem k severovýchodu (Kováč a kol. 2017). V této fázi došlo ke vzniku obloukového prohnutí Centrálních Západních Karpat, jejich kolizi a podsouvání pod Evropskou platformou (Minár a kol. 2011). Hlavní fáze výzdvihu Tater začala na počátku miocénu před 10 až 20 miliony let (Janák a kol. 2001). Podle Němčoka (1993) byl Tatranský masív vyzdvihován rychlostí až 8 mm za rok. Příkrovy Centrálních Západních Karpat byly v této době silně rozlámány a přetvořeny do dnešní podoby (Kalvoda 1974). Jednou z hlavních tektonických forem této fáze je vrásnění nesymetrické megaantiklinály Vysokých Tater, ke kterému docházelo díky pohybům podél podtatranského zlomu (Kalvoda 1974). Pohyby v jižní části pohoří podél zlomu byly intenzivnější, a tak byla jako první vyzdvižena jižní část pohoří, která zároveň dosahuje vyšších nadmořských výšek. Tektonické pohyby, při výzdvihu Tater zapříčinily také vznik sníženin v okolí pohoří – např. Popradskou nebo Liptovskou kotlinu (Szczygiel 2015). Tyto pohyby pokračují dále i během neotektonického období, probíhajícího od pliocénu až do kvartéru, kdy dochází k obnovení starých neogenních tektonických aktivit, ale i k vytvoření nových tektonických poruch. Tektonický zdvih v průběhu necelých posledních 2 milionů let je na základě geofyzikálních měření odhadován až na 400 m (Nemčok 1993). Za posledních 10-12 tisíc let došlo vlivem eroze materiálu ke snížení povrchu přibližně o 5 m (Lukniš 1968, cit. v Kotarba 1992b).

Podloží Roháčské doliny a jejích bočních údolí je tvořeno převážně paleozoickými (karbonskými) biotitickými granodiority až tonality s přechody do muskoviticko-biotitických granodioritů, tzv. vysokotatranský typ (viz Obrázek 4). Toto krystalinické podloží vystupuje na povrch v nejvyšších částech zájmové oblasti – tvoří většinu vrcholů levostranných bočních údolí Roháčské doliny (Spálené, Salatínské). Na povrch nejvyšších částí hlavního hřebene v okolí Ostrého Roháče, Rákoně nebo Zadné Zábrati) vystupují paleozoické, nevýrazně porfyrické granitoidy až granity. Dna údolí vyplňují kvartérní sedimenty – např. glaci-fluviální nebo glaci-genní sedimenty morén a

svahové sedimenty – písčito-kamenité nebo sutinové kužele (Geologická mapa Slovenska M 1 : 50 000).

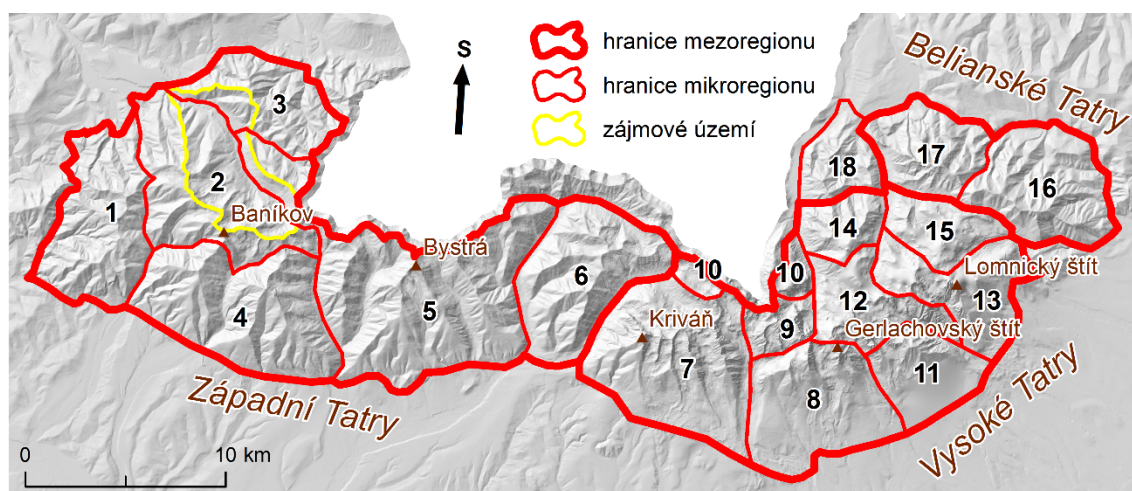


**Obrázek 4:** Geologická mapa zájmového území

**Zdroj:** Geologická mapa Slovenska M 1 : 50 000

### 3.2 Geomorfologické poměry

Orografický celek Tater je součástí Fatransko-tatranské oblasti, která náleží subprovincii Západních Karpat, jež je součástí provincie Západních Karpat. Celek Tater se dělí na dva podcelky – Východní Tatry a Západní Tatry. Východní Tatry se dále rozdělují do dvou podcelků – Vysokých a Belianských Tater (Mazúr a kol. 1986). Západní Tatry se rozdělují na mikroregiony Skupinu Sivého vrchu, skupinu Osobité-Bobrovce, Masív Barance a Razsochy, Roháče, Tomanovsko-Jamnické vrchy, Liptovské kopy (Obrázek 5) a na Kominárský masív, Masív Červených vrchů, Goryčkovsko-kasprovské vrchy v polské části Tater (Balon a kol. 2015). Hranice mezi Východními a Západními Tatrami tvoří Koprová dolina, sedlo Závory, Laliové sedlo a dolina Suche vody (Lukniš 1973b). Tato hraniční linie se váže na příčnou tektonickou poruchu, podél které se Západní Tatry relativně méně vyzdvihly (přibližně o 300 m) ve srovnání s Východními Tatrami. Níže položené Západní Tatry tedy byly např. méně zaledněné a ledovce jejich povrch méně přetvořily (svahy Západních Tater jsou častěji hladké, viz Tabulka 1). Asymetrický výzdvih Tater podmiňuje také vyšší průměrný sklon údolí jižního úbočí Západních Tater (s průměrným sklonem přibližně 6°), zatímco údolí severního úbočí dosahují nižšího sklonu (jen 4°). Dna údolí jižního úbočí leží obecně níže než v případě severní strany Tater (Lukniš 1973a).



- |   |   |
|---|---|
| 1 - Skupina Sivého vrchu                  | 10 - Vrchy pěti ples a Bielej vody      |
| 2 - Roháče                                | 11 - Slavskovský masív                  |
| 3 - Skupina Osobité - Bobrovce            | 12 - Bielovodsko-studenovodské masívy   |
| 4 - Masív Barance a Rázsochy              | 13 - Masívy Ladového a Lomnického štítu |
| 5 - Tomanovsko-jamnické vrchy             | 14 - Skupina Široké                     |
| 6 - Liptovské kopy                        | 15 - Javorovo-Kežmarské masívy          |
| 7 - Skupina Kriváň                        | 16 - Východní Belianské Tatry           |
| 8 - Masív Gerlachovského štítu a Končisté | 17 - Západní Belianské Tatry            |
| 9 - Mengusovský masív                     | 18 - Javorinské Tatry                   |

**Obrázek 5:** Fyzicko-geografické regiony Tater

**Zdroj:** Balon a kol. (2015)

**Tabulka 1:** Přehled vybraných parametrů reliéfu Západních Tater

	sedlo Pálenica až Tomanovské sedlo	Tomanovské sedlo až Laliové sedlo
nejnižší bod (m n. m.)	1574	1869
nejvyšší bod (m n. m.)	2178	2128
délka hlavního hřebene (km)	23,7	7,7
střední výška hl. hřebene (m n. m.)	2000	1949
střední výška vrcholů hl. hřebene (m n. m.)	2091	2000
střední výška sedel hl. hřebene (m n. m.)	1916	1893
střední vertikální členitost hl. hřebene (m n. m.)	175	107
střední absolutní výška severních rozsoch (m)	1720	-
střední absolutní výška jižních rozsoch (m)	2037	-

**Zdroj:** Lukniš (1973a)

Zájmová oblast se z hlediska geomorfologického členění podle Balona a kol. (2015) nachází ve fyzickogeografickém mikroregionu Roháče (sem spadají všechna levostranná boční údolí Roháčské doliny). Okrajově do zájmové oblasti zasahují také fyzickogeografické mikroregiony Tomanovsko-Jamnických vrchů (část hřebene v oblasti Rákoně a Zadné Zábrati) a Skupina Osobité-Bobrovce (severní část okolo Zverovky). Tyto fyzickogeografické mikroregiony náleží Tatranskému geomorfologickému celku, který spadá do Tatransko-Fatranské oblasti, jež náleží subprovincii Vnitřních Západních Karpat (Orázek 5).

Roháčská dolina má nesymetrickou stavbu – nachází se zde devět bočních údolí v levé části (např. Smutná dolina, Spálená dolina, Zadná Spálená dolina nebo Salatínská dolina) a pouze dvě údolí v části pravé – Látaná dolina a Teplý žlab. Levostranná boční údolí jsou tzv. visutá údolí, jejichž ústí se nacházejí ve výšce 170-240 m nad údolním dnem hlavní – Roháčské doliny (Engel a kol. 2017). Vznik tohoto typu údolí je vázán na ledovcovou činnost, kdy ledovec v hlavním údolí působil výraznější erozní činností na své podloží než ledovec v bočním údolí.

Zájmové území je v jižní části vymezeno hlavním hřebenem Tater s vrcholy, jež většinou přesahují výšku 2000 m n. m. – např. Salatín (2048 m n. m.), Baníkov (2178 m n. m.; nejvyšší vrchol zájmové oblasti), Ostrý Roháč (2088 m n. m.) nebo Volovec (2064 m n. m.). Boční hřbet, který vymezuje zájmovou oblast na severu, dosahuje nižších nadmořských výšek (Zadná Zábrat' 1690 m n. m. nebo Predná Zábrat' 1576 m n. m.). Nejnižší část sledovaného území, nacházející se na dně údolí v místě, kde Studený potok opouští zájmovou oblast, dosahuje výšky přibližně 920 m n. m. Západní hranice zájmového území vychází od nejnižšího bodu v údolí Studeného potoka po hřebeni směrem k vrcholu Štít (1311 m n. m.) a dále po hřebeni přes vrchol Teľčiarky (1690 m n. m.) až směrem k vrcholu Brestová (1903 m n. m.) a odtud dále po hlavním hřebeni Západních Tater až k vrcholu Salatín (2048 m n. m.).

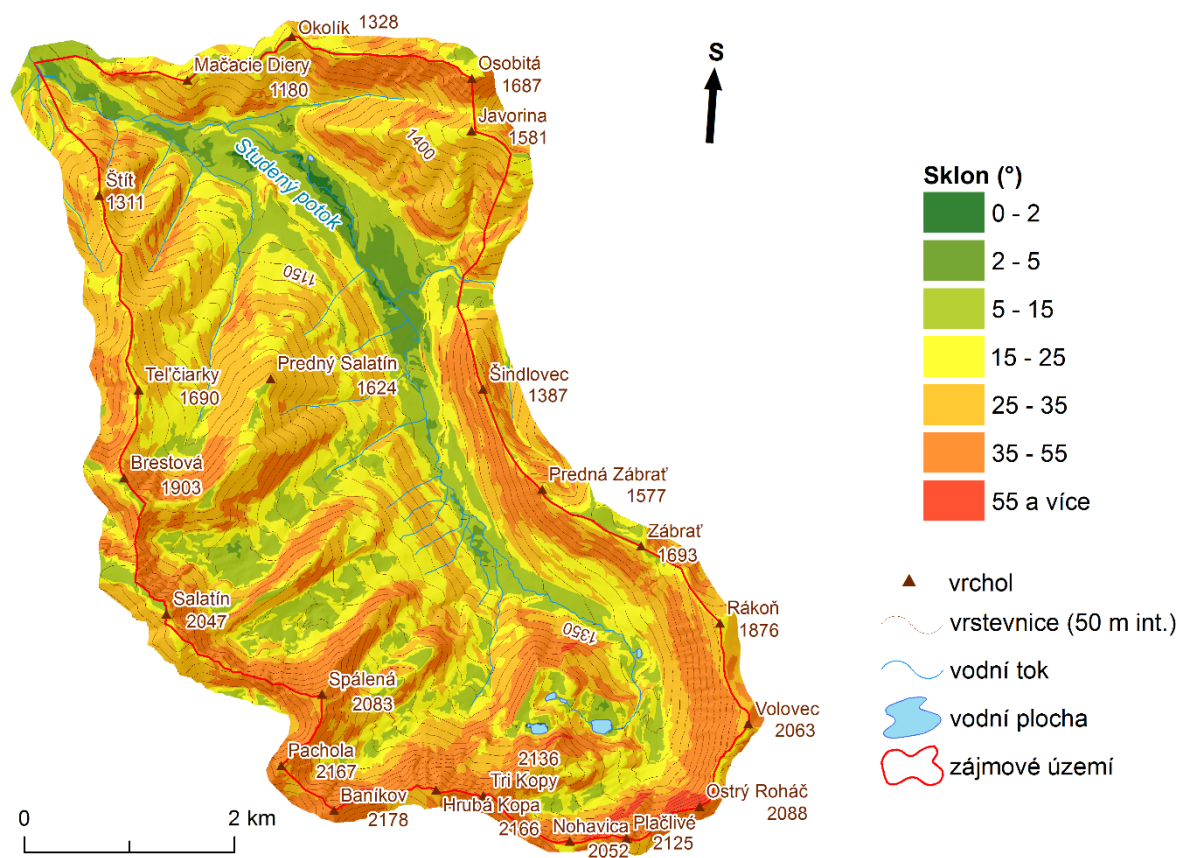
Plochy s minimálním sklonem reliéfu – roviny (0 – 2°) se vyskytují v omezeném rozsahu na dnech údolí, např. v okolí Studeného potoka poblíž Zverovky, v závěru Zadné Spálené doliny nebo v okolí Roháčských ples. Celkově plochy s tímto sklonem zaujímají 0,5 % plochy zájmové území. Svahy se sklonem vyšším než 55° zaujímají 0,9 % území a nacházejí se zejména ve vrcholových oblastech Smutné doliny v okolí Plačlivého a Ostrého Roháče nebo ve Spálené dolině na svazích Baníkova. Největší plochu v zájmovém území zaujímají svahy se sklonem 25 – 35°, které se nacházejí při úpatí svahů nejvýše položených oblastí nebo na svazích v níže položených částech



zájmového území. Procentuální zastoupení kategorií sklonů svahů na celkové ploše zájmového území je zobrazen v Tabulce 2 a jejich plošné rozmístění na Obrázku 6.

**Tabulka 2:** Sklon reliéfu v zájmovém území

Sklon	Plocha (km <sup>2</sup> )	Podíl na celkové ploše (%)
0 - 2°	0,2	0,5
2 - 5°	1,0	3,6
5 - 15°	4,6	15,8
15 - 25°	6,9	23,8
25 - 35°	9,9	34,1
35 - 55°	6,1	21,2
více než 55°	0,3	0,9



**Obrázek 6:** Sklonitost reliéfu zájmového území

Svahy zájmové oblasti mají nejčastěji severovýchodní orientaci. Jejich plocha tvoří 21 % celkové plochy zájmové oblasti. Nejméně je zastoupena jižní orientace svahů (pouze 5 % celkové plochy území). Podíly svahů v jednotlivých kategoriích orientace jsou zobrazeny v Tabulce 3.

**Tabulka 3:** Podíl plochy jednotlivých kategorií orientací svahů na celkové ploše zájmového území

Orientace	Plocha (km <sup>2</sup> )	Podíl na celkové ploše (%)
S	5,0	17,2
SV	6,1	21,1
V	4,2	14,6
JV	1,9	6,5
J	1,5	5,1
JZ	3,6	12,6
Z	3,3	11,5
SZ	3,3	11,4

### 3.2.1 Glaciální modelace

Podle Lindnera a kol. (2003) lze v Tatrách na základě studia morén a glaci-fluviálních sedimentů rozlišit osm fází kvartérních zalednění (pro jejichž pojmenování je použito Alpské terminologie). Doklady o třech nejstarších zaledněních (biber, donau a günz) jsou zachovány pouze v podobě glaci-fluviálních sedimentů v okolí Slovenské Nové Lesné. Pět následujících mladších zalednění – Mindel (MIS 12), Pre-Riss (MIS 10), Riss I (MIS 8), Riss II (MIS 6) a Würm (MIS 5d–2), s výjimkou zalednění v Pre-Rissu, je doloženo nejen přítomností glaci-fluviálních sedimentů, ale i pozůstatků čelních a bočních morén. Z mindelu se dochovaly nejstarší morény na třech lokalitách Vysokých Tater, např. mezi Tatranskou Lomnicí a Starým Smokovcem (Lindner a kol. 2003). Na území Západních Tater se morény z tohoto období nedochovaly, ovšem nachází se zde četné akumulace glaci-fluviálních sedimentů poukazujících na tehdejší zalednění zejména Roháčské, Žiarské nebo Jalovecké doliny (Nemčok 1993). Morény z období Pre-Rissu na území Tater nejsou dochovány (Lindner a kol. 2003), pouze akumulace glaci-fluviálních sedimentů zejména severního

úbočí Západních Tater. Prokázané byly v této oblasti např. glacifluviální kužele Studeného potoka pod Roháčskou dolinou (Nemčok 1993). Největšího rozsahu dosáhly ledovce v glaciálu Riss I (Nemčok 1993, Lindner a kol. 2003). Většina morén z tohoto období je zachována na jižním úbočí Vysokých Tater (Nemčok 1993). Menší akumulace glacifluviálních sedimentů jsou dochovány v podobě kužele v blízkosti Habovky na Studeném potoce pod Roháčskou dolinou (Nemčok 1993). Morény z glaciálu Riss II byly doloženy pouze na jižním předpolí Tater (Lindner a kol. 2003). Nejlépe dochované jsou sedimenty posledního (Würmského) zalednění. Morény z tohoto glaciálu jsou hojně rozšířené a tvoří největší podíl kvartérního pokryvu údolí. Mocnost těchto sedimentů se odhaduje na 70 až 100 m a jsou tvořeny bloky o velikosti až 1-5 m (Nemčok 1993). Lukniš (1973a) v rámci posledního zalednění definoval pět chladných období (stadiály A-E), kdy docházelo k rozšiřování ledovců, přičemž k maximálnímu rozsahu ledovců došlo v období posledního glaciálního maxima (MIS 2), stadiálu D podle Lukniše (1973a). Vrcholná fáze posledního glaciálního maxima se celosvětově odhaduje na 26,5-19 tis. let před současností (Clark a kol. 2009), lokální vrchol posledního glaciálního maxima v oblasti Vysokých Tater odhaduje Engel a kol. (2015) na přibližně 26-20 tis. let před současností. Podle Zasadního a Klapyty (2014) se v období posledního glaciálního maxima v Tatrách nacházelo přibližně 55 údolních a karových ledovců o celkové rozloze 279,6 km<sup>2</sup> a průměrné mocnosti 88 m. V období deglaciace během pozdního glaciálu došlo k několika chladným výkyvům dokumentovaným přítomností morén nacházejících se na dně údolí ve vyšších nadmořských výškách (Makos 2015). Nejvýraznější jsou zejména dva chladné výkyvy Starého Dryasu (před 17 – 19 tisíci lety) a Mladšího Dryasu (12,5 tis. let). První glaciální fáze po posledním glaciálním maximu je datována Makosem a kol. (2018) na 16,6 tis. let. Zbytky ledovců pravděpodobně přetrvávaly v oblastech karů až do období klimatického optima Atlantiku před 8500 lety (Lindner a kol. 2003).

Podle Nemčoka (1993) jsou v zájmovém území Roháčské doliny dochovány sedimenty posledního glaciálního maxima (MIS 2). Rozsah zalednění v tomto období byl stanoven Zasadním a Klapytou (2014). Délka ledovce Roháčské doliny činila 9,4 km a celková zaledněná plocha (se zahrnutými levobočními údolními) byla stanovena na 15,5 km<sup>2</sup>. Čelo ledovce zasahovalo do nadmořské výšky přibližně 950 m n. m, jedná se o nejnižší lokalitu výskytu ledovce z období posledního glaciálního maxima v Západních Tatrách. Maximální mocnost ledovce v jeho centrální části byla odhadnuta

na 200 – 250 m. Z období posledního glaciálního maxima se v této oblasti dochovaly sedimenty ve formě glacifluviálních sedimentů (hrubých balvanovitých až blokovitých písčitých štěrků) v okolí Studeného potoka (Nemčok 1993) a několika skupin morén. V oblasti čela ledovce se dochoval reliktní čelní morény, jejíž část byla rozplavena Studeným potokem. Navazující ledovcové akumulace vybíhají z této morény v podobě boční morény po levém údolním svahu směrem k jihovýchodu v délce přibližně 1 km do nadmořské výšky 1150 m n. m. Dvě výraznější morény se nacházejí také ve Smutné dolině nad Ťatliakovým jezerem. Přibližné stáří čelní morény, která reprezentuje období posledního glaciálního maxima v této oblasti, je stanovené Engelem a kol. (2017) na 18 tis. let před současností.

### 3.2.2 Periglaciální modelace

Jako tzv. periglaciální výškovou zónu, kde může docházet k výskytu periglaciálních jevů, stanovil Lukniš (1973a) oblasti Tater nacházející se nad hranicí 1600 – 1700 m n. m. Pro rozvoj periglaciálních geomorfologických procesů je důležitý zejména počet mrazových dní, počet dní s přechodem teploty přes 0 °C a výskyt obou těchto jevů v průběhu roku. Dále jsou důležité také termíny nástupů a konce dní s trvalou sněhovou pokrývkou, s pravidelným výskytem sněhové pokrývky a s pravidelným výskytem sněžení (Lukniš 1973b). Periglaciální formy reliéfu můžeme rozdělit na aktivní formy vyvíjející se v současnosti (zejména vlivem sezónních a denních výkyvů teplot) a reliktní, které zpravidla vznikly na konci pleistocénu a v současnosti se dále nevyvíjí. Raczkowska (2007) na území zájmové oblasti vymezuje následující periglaciální formy reliéfu: strukturní půdy, kamenné ledovce a sutinové pokrývky.

- Strukturní půdy – široká skupina periglaciálních mikrotvarů, které na povrchu vytvářejí geometrické struktury působením mrazu. Na jejich vzniku se podílejí např. objemové změny různě namrzajících substrátů, pukání či vymrzání klastů (Washburn 1979; cit. v Křížek a kol. 2007). Ve sledovaném území byly identifikovány reliktní tříděné polygony ve hřebenové části mezi Spálenou a Tmavou spálenou dolinou a dále na hřebeni mezi Salatínskou dolinou a Dlouhou jamou.
- Kamenné ledovce – lalokovité formy reliéfu vznikající díky pomalému pohybu zmrzlých sutin po svahu dolů (Kääb 2013). Podle stupně aktivity se tyto tvary

rozdělují na aktivní (obsahující souvislé ledové jádro, dochází k pohybu sutin), neaktivní (kde se nenachází souvislé ledové jádro a nedochází k pohybu sutin) a reliktní, kde se nenachází ledové jádro a nedochází k pohybu (Ikeda a Matsuoka 2002). Podle Kotarby (1992b) kamenné ledovce v Tatrách vznikaly během posledního chladného výkyvu (Mladšího Dryasu) a od počátku holocénu se staly neaktivními. Uxa a Mida (2017) rozlišují na území Tater přibližně 380 kamenných ledovců, z nichž 85 % je reliktních. V zájmové oblasti jsou kamenné ledovce nejrozšířenějším periglaciálním jevem (vyplňují dna téměř všech údolí). Jedná se zejména o kamenné ledovce reliktní, které neobsahují permafrost (Uxa a Mida 2017).

- Sutinový pokryv – v zájmovém území se vyskytují na skalním stupni pod Spálenou dolinou nebo mezi Volovcem a Rákoněm (Raczkowska 2007).

Přítomnost periglaciálních forem reliéfu (například kamenných ledovců) může indikovat výskyt permafrostu (hornin nebo půd, jejichž průměrná roční teplota po dobu minimálně dvou let nevystupuje nad 0 °C) nad horní hranicí lesa (Dobinski 1998). Kotarba (1992b) odhaduje výskyt nesouvislého permafrostu v oblasti Tater nad hranicí 2200 m n. m., naproti tomu Dobinski (2005) výskyt nesouvislého permafrostu odhaduje už ve výškách nad 1930 m n. m.

### 3.2.3 Svahové procesy

Midriak (1983) vymezuje ve vysokých pohořích následující gravitačně-erozní jevy (svahové pohyby) a jejich formy – opad ze skalních stěn, sesuvy, úšusty, slézání, laviny a sutinové proudy. Podrobněji jsou charakterizovány jevy vyskytující se v zájmovém území:

- *Opad ze skalních stěn* – proces odpadávaní úlomků ze skalních stěn v subalpínském a zejména v alpínském i subniválním stupni. Dochází zde k mrazovému rozpadu horniny vlivem fyzikálního zvětrávání. Pod skalními stěnami se opadávaním tvoří rozsáhlé osypy složené především z ostrohranného materiálu (Midriak 1983).
- *Sesuvy* – jedná se o pohyb hmot uložených na svahu (půdy, zvětralin) z vyšších do nižších poloh, způsobený gravitací po narušení podmínek rovnováhy. Sesuvy patří mezi pomalé až rychlé svahové pohyby podél smykových ploch (rotační,

planární). Kromě povětrnostních jevů jsou pro vznik sesuvů rozhodující také geologické poměry předkvartérního podloží (Midriak 1983). Oblasti postihované sesuvy se nacházejí zejména v předpolí Tater na eocénních jílovcích (např. Bielovodská nebo Javorová dolina). Sesuvy se vyskytují spíše ve formě mělkých úsustů (Lukniš 1973b). V zájmovém území se nachází lokalita s výskytem sesuvů na svahu přibližně pod Mačaciemi Dierami (Geologická mapa slovenska M 1 : 50 000).

- *Úšusty* – tyto tvary lze považovat za typické vysokohorské svahové pohyby. Na jejich vzniku se podílí nejen gravitace, ale i voda. Úšusty vznikají zejména na hladkých svazích se sklonem větším než  $30^\circ$  (zejména  $30 - 38^\circ$ ) za podobných podmínek jako mury nebo sesuvy. Postihují nezpevněný zvětralinový plášť složený z drobnějších sutin, oddělený od pevného podloží. Rychlost pohybu se může lišit – od katastrofálně rychlého po pomalý (Lukniš 1973b).
- *Slézání* – velmi pomalý svahový pohyb povrchového půdního nebo zvětralinového pláště nebo nezpevněných sutin na povrchu svahu vlivem gravitace, ale i objemových změn následkem střídání teploty a vlhkosti ve hmotě zvětralinového pláště. Při tomto druhu pohybu nedochází ke vzniku smykové plochy. Jedná se o nepřetržitý plastický povrchový pohyb směrem po svahu dolů, který bezprostředně nenarušuje stabilitu svahu, ale má za následek permanentní deformaci povrchu. Vlivem slézání zvětralin dochází také k unášení tzv. putujících bloků (Midriak 1983). Mezi tyto pohyby se z hlediska rychlosti pohybu a existence smykové plochy dají zařadit také tzv. podpovrchové plazivé deformace (sackung), při kterých dochází k dlouhodobému pohybu horninového masívu a jeho rozpadu na jednotlivé bloky (vznik tzv. zdvojených hřebenů, prasklin) (Nemčok 1972). Sackung je považován za jev vznikající po uvolnění napětí ve skalních stěnách bezprostředně po ústupu ledovce, ovšem může se vytvořit např. i po významných hydroklimatických událostech (dlouhotrvajících srážkách) nebo zemětřesení (Pánek a kol. 2015). Jednou z lokalit je oblast Salatína, kde se nachází nejdelší systém (až 500 m dlouhý) paralelních trhlin táhnoucími se od vrcholu Salatína po sedlo Skriniarky. Zde došlo k nejdelšímu pohybu bloku po svahu (až o 11 m). Vznik těchto hlubokých svahových deformací byl metodou <sup>10</sup>Be datován na 7,5 až 4,5 tis. let před současností (uvedené hodnoty se vztahují na jednotlivé trhliny), což odpovídá vlhkému klimatu Atlantiku a Subboreálu

(Pánek a kol. 2017). Další lokality, kde se podle Registru zdokumentovaných svahových deformací na území SR (Šimeková a kol. 2006; cit v ŠGÚDŠ 2013) sackung vyskytuje, je hřebenová oblast okolo Predné Zábrati, dále oblast mezi Rákoněm a Volovcem, dále hřebene mezi Spálenou dolinou a Roháčskými plesy a hřeben Zadního Salatína.

- *Laviny* – jedná se o velmi rychlý pohyb sněhových mas po svahu vyvolaný z různých příčin. Jejich destrukční účinek se projevuje na poškození lesní vegetace, ale i v působení na podloží, po kterém se lavina pohybuje. Ve slovenské části Tater se vyskytuje okolo 1040 lavinových drah (Midriak 1983). Podle Žiaka a Dlugosze (2015) se v zájmové oblasti nachází přibližně 90 lavinových drah. Nejvíce se jich nachází na jihozápadním svahu Roháčské doliny. V únoru 2013 se v této oblasti uvolnila desková lavina z jihovýchodního svahu Rákoně v nadmořské výšce přibližně 1700 m n. m. a zasáhla i Ťatliakovu chatu stojící na dně doliny. Lavina vytvořila akumulaci širokou asi 120 m o výšce až 2,5 m. Délka této lavinové dráhy dosáhla téměř 620 m a překonala převýšení 230 m (HZS-Stredisko lavínovej prevencie 2013).
- *Sutinové proudy* – rychlé pohyby svahových sutin při náhlých intenzivních srážkách, vznikajících zejména ve vysokých pohořích nad horní hranicí lesa (Záruba a Mencl 1987).
- *Skalní laviny* - v zájmové oblasti se nachází několik lokalit s vymezenými skalními lavinami, nacházejícími se například v závěru Salatínské doliny. Na úpatí údolí se zde rozkládají lalokovité akumulace se strmým čelem, jejichž průměrné stáří je metodou <sup>10</sup>Be datováno na 10,1 tis. let před současností, což odpovídá období preboreálu (Pánek a kol. 2015).

### 3.3 Klimatické poměry

Navzdory svému omezenému rozsahu Tatry tvoří významnou klimatickou bariéru střední Evropy. Svou polohou narušují proudění vzduchových hmot zejména v severojižním směru (Niedzwiedz 1992). Současné klima Tater je přechodné mezi oceánským a kontinentálním typem. Značný vliv kontinentality se projevuje zejména velkými rozdíly mezi zimními a letními teplotami a nejvyšší vydatností srážek během léta (Konček 1973). Počasí Tater ovlivňují vzduchové hmoty rozdílného původu.

Nejčastěji se projevují polární oceánské vzduchové hmoty, které dominují 65 % dnů v roce, zejména v listopadu a červnu, nejméně v březnu a září. Polární kontinentální vzduchové hmoty ovlivňují Tatry během 20 % dní v roce a nejmenší vliv na tatranské počasí mají arktické nebo tropické vzduchové hmoty (Niedzwiedz 1992). Na území Tater Konček (1974) vymezil několik klimatických oblastí. Drtivá většina tatranského území se nachází v tzv. chladné oblasti (C), která je dále specifikována podle teplotních poměrů do okrsků C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> a C<sub>3</sub> a do podokrsků podle tzv. indexu zavlažení (poměrů vláhové bilance půdy):

- C<sub>1b</sub> – mírně chladná (červencová průměrná teplota 12 až 16 °C), velmi vlhká, SV část pohoří – nadmořská výška 750 – 800 m n. m., JV svahy pohoří 850 – 1050 m n. m.
- C<sub>1c</sub> – mírně chladná (červencová průměrná teplota 12 až 16 °C), mírně vlhká, SV část pohoří – nadmořská výška 800 – 850 m n. m., JV svahy pohoří 1050 – 1450 m n. m.
- C<sub>1d</sub> – mírně chladná (červencová průměrná teplota 12 až 16 °C), mimořádně vlhká, SV část pohoří – nadmořská výška 850 – 1400 m n. m., na JV svazích pohoří se vlivem nízkých srážek prakticky nevyskytuje
- C<sub>2</sub> – chladná horská (červencová průměrná teplota mezi 10 až 12 °C), mimořádně vlhká, SV část pohoří nadmořská výška – 1400 – 1700 m n. m., na JV svazích 1700 – 1900 m n. m.
- C<sub>3</sub> – studená horská (červencová průměrná teplota pod 10 °C), mimořádně chladná, SV část pohoří nad 1700 m n. m., JV svahy pohoří – nad 1900 m n. m.

V celé oblasti Tater je nejchladnějším měsícem v roce leden, zatímco červenec je měsícem s nejvyšší průměrnou teplotou. S přibývajícím nadmořskou výškou se tyto extrémy opožďují, proto jsou ve vyšších polohách poměrně chladná jara v porovnání s podzimním obdobím (Konček 1973). Teplotní podmínky v horském prostředí závisí zejména na nadmořské výšce a expozici svahu (Niedzwiedz 1992). Průměrná roční teplota vzduchu v nadmořské výšce 850 m n. m. činí na severním předpolí 6 °C a na jižním 8 °C, v hřebenových oblastech nejvyšších poloh činí průměrná roční teplota vzduchu -4 °C (Hess 1997; cit. v Gadek 2014). Teplotní charakteristiky pro vybrané meteorologické stanice Západních Tater jsou uvedeny v Tabulce 4.



**Tabulka 4:** Teplotní údaje vybraných meteorologických stanic Západních Tater

Stanice	Nadm. v. (m n. m.)	Rekordní teplota (°C)		Průměrná teplota (°C)		
		max	min	leden	červenec	roční
Kasprowy Wierch	1991	23,0	-30,2	-9,0	7,3	-0,8
Hala Ornak	1109	29,6	-34,0	-6,0	12,1	3,2
Chocholowska dolina	1028	30,0	-32,1	-5,7	12,3	3,6

**Zdroj:** Niedzwiedz (1992)

Rozdělení letních teplot vzduchu podmiňuje silné zahřívání půdy slunečním zářením, čímž dochází ke vzniku termické konvekce. Při těchto podmínkách je snižování teploty s výškou plynulé od nejnižších poloh na dně údolí až po vrcholy. V hlubších údolích je průměrná červencová teplota 16 – 17 °C, na nejvyšších vrcholech klesá pod 4 °C. V zimě se naopak vyzařováním výrazně ochlazují spodní vrstvy ovzduší a studený vzduch se akumuluje v údolích a vzniká teplotní inverze. Vlivem inverzního charakteru zvrstvení se vyskytují rovnoměrné teploty vzduchu až do výšek přibližně 1500 m n. m., což způsobuje výrazně nižší rozdíly teplot mezi dnem údolí a vrcholy pohoří během zimy (pouze 5 °C), zatímco v létě rozdíly mezi dnem údolí a horskými hřebeny dosahují až 13 °C (Konček 1973).

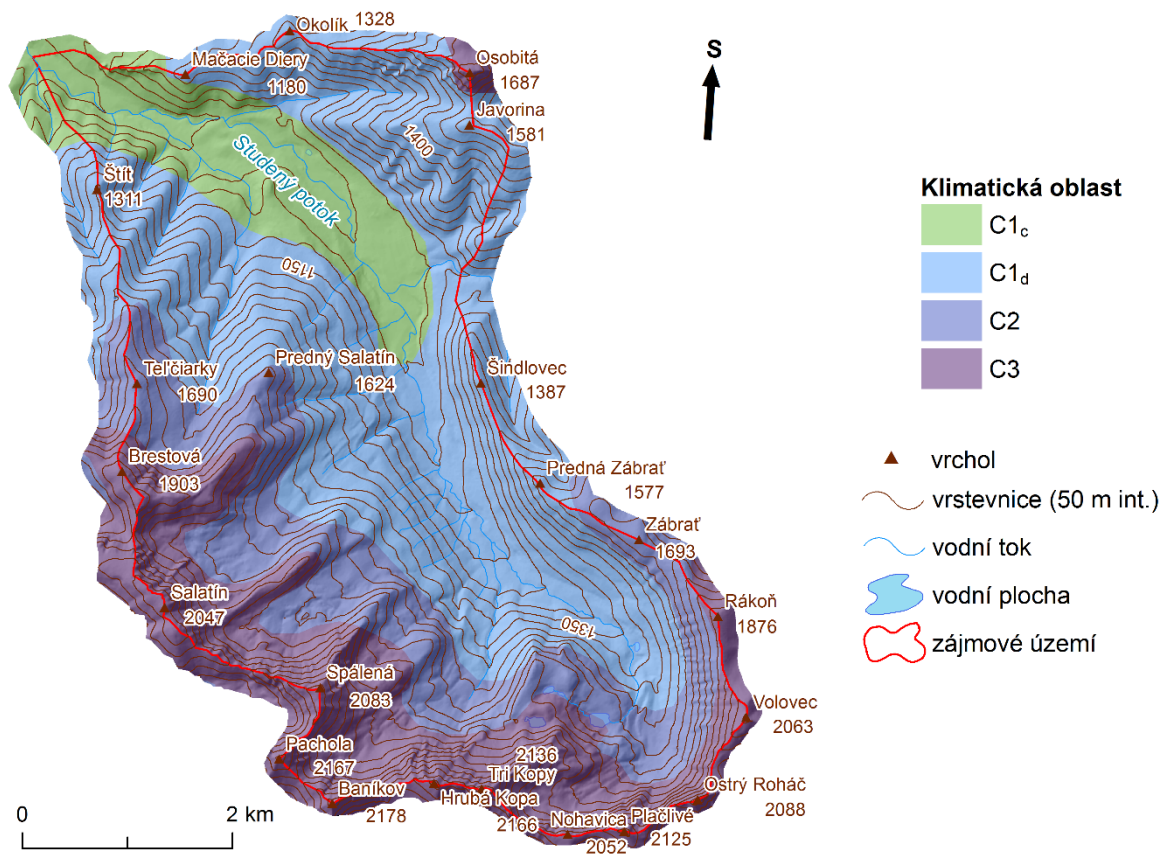
Průměrné roční srážkové úhrny se pohybují v rozmezí 1100 – 1900 mm, ovšem vlivem převládajícího severozápadního proudění se výrazně projevují rozdíly mezi severně a jižně orientovanými svahy (Niedzwiedz 1992). Průměrné roční srážkové úhrny jsou až o 40 % vyšší na severní, návětrné straně (měřeno ve stejné nadmořské výšce) oproti jižním svahům pohoří (Makos a kol. 2014). Nejvyšší průměrné roční srážkové úhrny jsou zaznamenány na severních svazích ve výškách 1400 – 2000 m n. m. (1600 – 1900 mm). V Tatrách je celkově zaznamenanych 215 až 228 dní se srážkami za rok (Niedzwiedz 1992). V průběhu léta, zejména v červnu a červenci, jsou zaznamenány nejvyšší měsíční srážkové úhrny (240 – 260 mm v červnu, 220 – 250 mm v červenci).

Sněhová pokrývka se v nejnižších polohách pohoří udrží po průměrnou dobu 140 – 160 dní v roce, zatímco v hřebenových oblastech až po dobu delší než 220 dní v roce (Ustrnul a kol. 2015). Maximální mocnost sněhové pokrývky je v nižších polohách zaznamenána v únoru, zatímco v hřebenových oblastech až v březnu. V nadmořských výškách okolo 850 m n. m. je zaznamenána maximální mocnost sněhové pokrývky 108 cm, ale ve výšce téměř 2000 m n. m. až 320 cm (Niedzwiedz 1992). Výška sněžné

čáry se v současnosti pohybuje nad nejvyššími vrcholy Tater. Podle Zasadniho a Klapyty (2009) se např. na Lomnickém štítě její výška pohybuje v rozmezí 2700 – 2750 m n. m. Odhady výšky sněžné čáry se ovšem výrazně liší, např. Gadek (2008) udává průměrnou výšku až na 3400 m n. m.

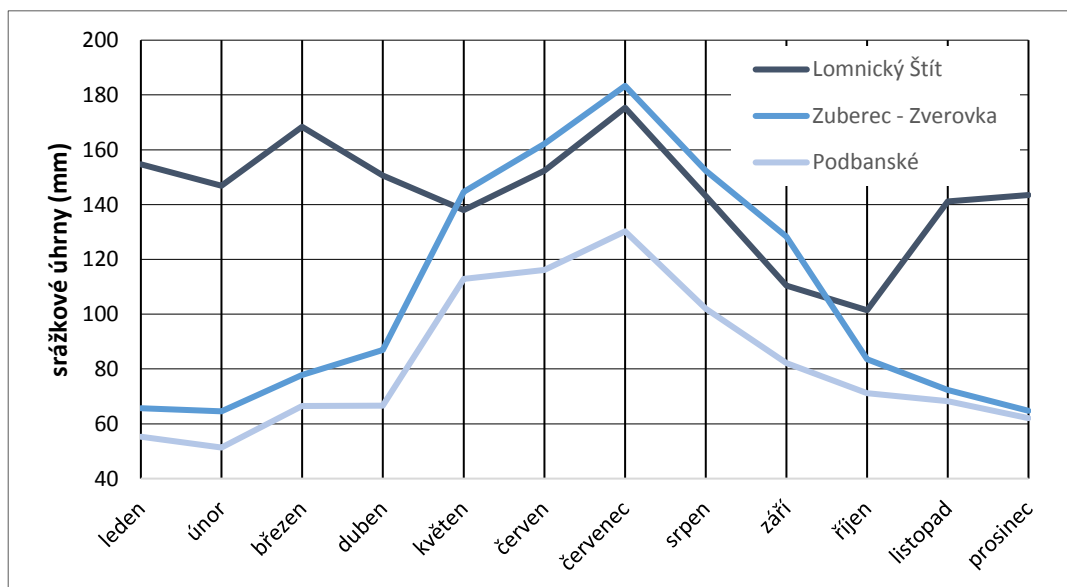
V Tatrách převládají zejména jižní a jihozápadní větry. S rostoucí nadmořskou výškou dochází k výraznému zvýšení průměrné rychlosti větru (ve vrcholových oblastech přesahuje 6 m/s). Významným fenoménem Tater je föhn, který vzniká zpravidla v období od října do května. Tento teplý a suchý vítr může způsobit vzestup teploty např. z -10 °C až na +10 °C. Jeho rychlost ojediněle přesahuje až 60 m/s, což může vyvolat rozsáhlé škody (Niedzwiedz 1992).

Nejnižší část Roháčské doliny spadá do klimatické oblasti C<sub>1c</sub>, ovšem s přibývajícím nadmořskou výškou se podmínky mění až na charakter oblasti C<sub>3</sub> v nejvyšších polohách (Konček 1974; Obrázek 7). Podle Zmudzky a kol. (2015) ve vrcholových oblastech zájmového území dosahují průměrné roční teploty hodnot 0 – 2 °C, zatímco v nejnižších oblastech zájmového území až 4 – 6 °C. Nejvíce mrazových dní v roce je zaznamenáno v hřebenové oblasti v okolí Baníkova (220 – 230), zatímco v okolí Zverovky jen 160 – 170 dní v roce. Průměrné roční srážkové v nejnižších oblastech činí 1000 – 1200 mm – na srážkoměrné stanici Zuberec-Zverovka dlouhodobý průměr z let 1986 až 2014 činí 1280 mm. Průměrné červencové srážkové úhrny za stejné období činí přibližně 180 mm (SHMÚ 2013/2014; viz. Obrázek 8). Ve hřebenové části zájmového území činí průměrné roční srážkové úhrny než 2000 mm. Sněhová pokrývka se v hřebenových oblastech udrží v průměru více než 220 dní v roce, zatímco v nejnižších oblastech jen 120 – 140 dní v roce (Ustrnul a kol. 2015).



**Obrázek 7:** Klimatické oblasti zájmového území

**Zdroj:** Konček (1974)



**Obrázek 8:** Průměrné měsíční srážkové úhrny na meteorologické stanici Zuberec - Zverovka v období 1984 – 2014 a jejich srovnání s vybranými meteorologickými stanicemi

**Zdroj:** SHMÚ (2013/2014)

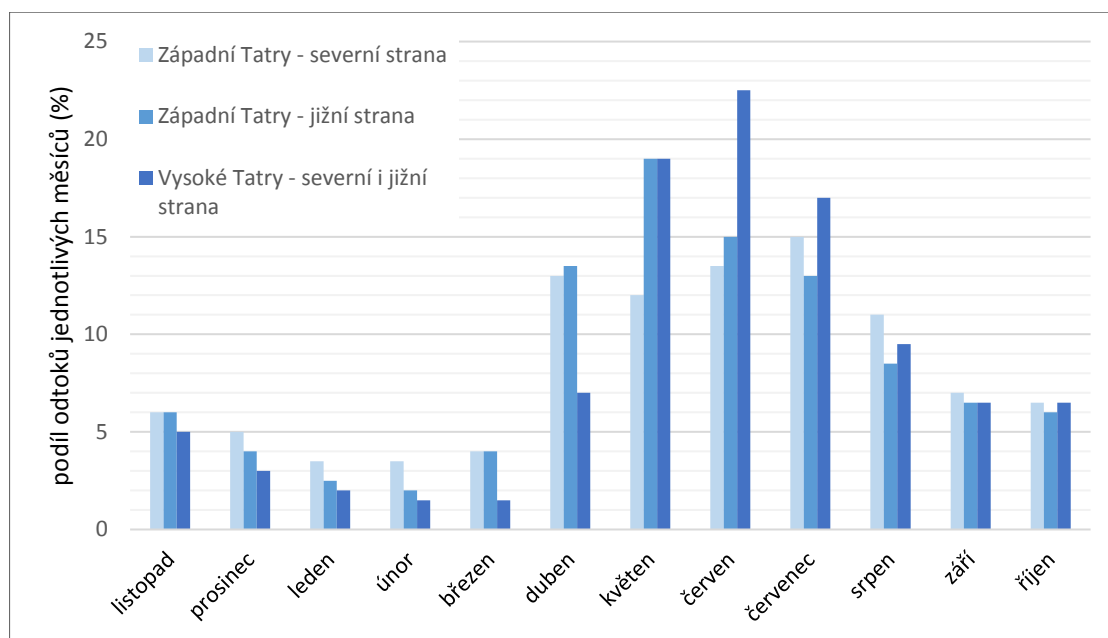
### 3.4 Hydrologické poměry

Oblast Tater se rozděluje do dvou hlavních úmoří – Baltského a Černého moře. Hlavní evropská rozvodnice mezi těmito úmořímí přichází ze severu k hlavnímu hřebeni Západních Tater a pokračuje po hlavním hřebeni Vysokých Tater. Celá slovenská část Západních Tater patří do úmoří Černého moře. Hlavní sběrnou řekou tohoto území je Váh, do kterého ústí toky jižního svahu Západních Tater i Orava, která odvodňuje svahy severní. Zelazny a kol. (2015a) vymezuje v Tatrách čtyři hydrografické regiony z hlediska charakteristik odtoku a říční sítě. Tatranský masív se s přilehlým okolím dělí na Tatranský (dělicí se na další subregiony) a Flyšový region:

- IA (krystalický, vysokohorský) – zaujímá největší část pohoří, mělký povrchový odtok, morénový pokryv s vysokou retencí, četný výskyt jezer, hustá říční síť, početné prameny s nízkou vydatností
- IB (krasový vápencovo-dolomitový, vysokohorský) – lemuje severní okraj krystalického subregionu, hluboký podpovrchový odtok, bohaté zásoby podzemních vod odváděnými vyvěračkami, dochází zde k rozdílu mezi polohou hydrografických a hydrogeologických rozvodnic, četné ponory (např. Dolina Suche Vody), řídká říční síť
- IC (dolomitovo-břidlicový) – zejména severní okrajové oblasti pohoří, mělký podpovrchový odtok, hustá říční síť, četné prameny s malou vydatností
- II (flyšový – břidlicovo-pískovcovo-aluviální) – okrajové oblasti pohoří, lemují ostatní subregiony, mělký povrchový odtok, fluvio-glaciální kužele s vysokou retencí, hustá říční síť, prameny s nízkou vydatností

Vysoký úhrn srážek a nízký výpar zabezpečují v Tatrách vysoký specifický odtok, který činí až  $50 \text{ l/s/km}^2$  (Červený 1984). V nejvyšších polohách pohoří odtéká většina spadlých srážek (70 – 90 %) říční sítí. Vodní toky mají nivální horský odtokový režim, nejnižší průtoky jsou dosaženy v zimním období (zejména únor), kdy je mocnost sněhové pokrývky největší a mrazy silné, nejvyšší průtoky nastávají v létě (květen až červen), kdy dochází k výraznému tání sněhu ve vyšších polohách a převaze dešťových srážek. Ve Vysokých Tatrách nastávají maximální měsíční průtoky zejména v červnu (22 – 23 % celkového ročního odtoku), na severních svazích Západních Tater jsou maxima zaznamenány až v červenci (je zde delší odstup zvýšení průtoků vlivem tání sněhu v nižších polohách, které nastává v dubnu a tání sněhové pokrývky ve

vrcholových oblastech, které nastává až koncem května a srážkově bohatým červencem; viz Obrázek 9). Během léta se nejvýrazněji projevují rozdíly návětrné a závětrné strany pohoří. Úhrny srážek na severní straně Západních Tater jsou v červenci vyšší než v jiných oblastech (Pacl 1973).



**Obrázek 9:** Podíl odtoků jednotlivých měsíců na celkovém ročním odtoku

**Zdroj:** Pacl (1973)

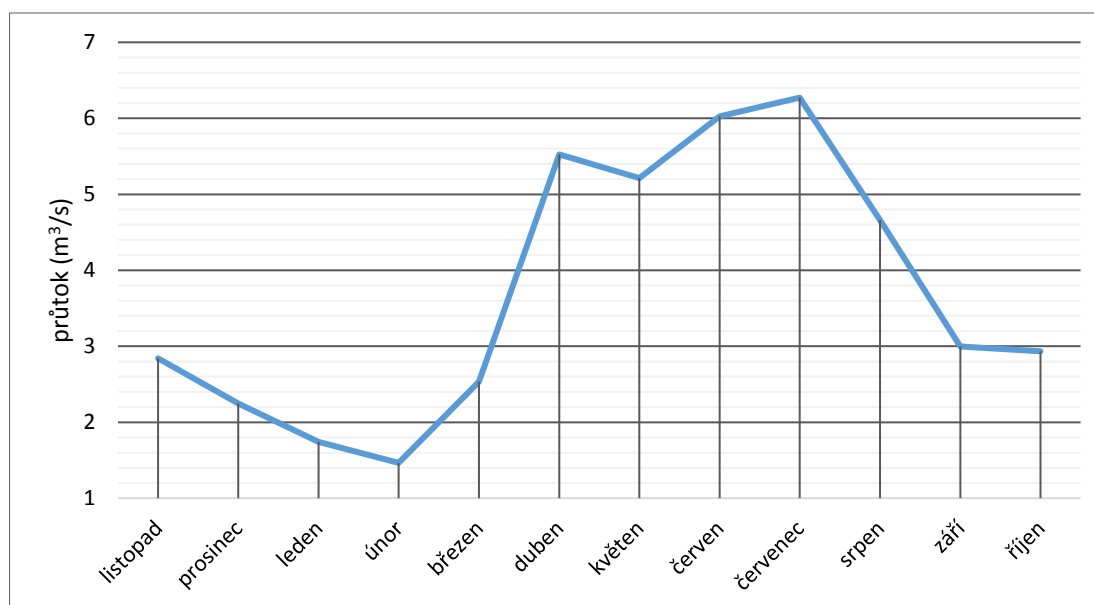
Hlavním vodním tokem zájmové oblasti je Studený potok, který odvádí vodu do řeky Orava. Nejvýznamnější přítoky Studeného potoka v zájmové oblasti tvoří pravostranná Látaná s délkou přibližně 5,2 km a levostranný přítok Voliarsko. Celá zájmová oblast náleží zóně krystalického, vysokohorského režimu s mělkým podpovrchovým odtokem a hustou říční sítí (Zelazny a kol. 2015a). Průměrný roční průtok Studeného potoka měřený na profilu Brestová poblíž vyústění ze zájmové oblasti činí 1,5 m<sup>3</sup>/s a průměrný roční specifický odtok na tomto profilu dosahuje přibližně 100 l/s/km<sup>2</sup>. Průměrný měsíční průtok Studeného potoka na vodoměrné stanici Oravský Biely potok (po opuštění zájmové oblasti) v období nejvyšších průtoků (v červenci) překračuje 6 m<sup>3</sup>/s (Obrázek 10). Podle měření na vodoměrné stanici Brestová je v oblasti vyvážený podíl povrchového a podzemního odtoku (Zelazny a kol. 2015b). Na prahu Spálené doliny se na Studeném potoce nachází např. Roháčský vodopád vysoký 23 m, tvořený dvěma stupni. V zájmové oblasti se nachází několik skupin ples – nejvýše položená jsou Roháčská plesa (přibližně 1600 m n. m.),

níže se nachází Ťatliakovo jezero (1300 m n. m.). Nachází se zde také nejnižše položené pleso v Tatrách – Pleso pod Zverovkou (973 m n. m.). Přehled základních charakteristik ples zájmové oblasti je uveden v Tabulce 5. Vznik těchto jezer je podmíněn ledovcovou činností. Jejich poloha závisí na jednotlivých etapách zalednění – nevyšše položená plesa jsou nejmladší (ledovce se v těchto oblastech udržely nejdéle).

**Tabulka 5:** Přehled základních charakteristik ples zájmové oblasti

Název	Nadm. v. (m)	Plocha (m <sup>2</sup> )	Objem (m <sup>3</sup> )	Max. hloubka (m)
Roháčské pleso I	1562	22 250	77 063	7,7
Roháčské pleso II	1648	2140	1092	1,3
Roháčské pleso III	1652	5800	8169	3,1
Roháčské pleso IV	1719	14400	46067	8,2
Ťatliakovo jezero	1330	2795	1089	1,2
Pleso od Zverovkou	973	3055	5429	4,3

**Zdroj:** Pacl a Gregor (2010)



**Obrázek 10:** Průměrné měsíční průtoky Studeného potoka – Oravského Bielého potoka za období let 1941 – 1960

**Zdroj:** Pacl (1973)

### 3.5 Pedologické poměry

Jako mateční horniny se v Západních Tatrách uplatňují zejména kyselé granitoidní horniny (Pelíšek 1973). Na kyselých granitoidech se vyskytují kyselé půdy (např. rankery nebo podzoly), na karbonátových horninách rendziny (Koreň a kol. 2010). Charakter půdního pokryvu závisí také na reliéfu území. Nad horní hranicí lesa (v subalpínském a alpínském vegetačním stupni), kde dochází k intenzivnímu pohybu zvětralin, půdní profil není kompaktní, ale přerušovaný (Koreň a kol. 2010). V hřebenových částech vysokých poloh vystupují iniciální půdy. Na svahových sutinách tvořených granitoidními horninami se vytváří regozem sutinová, na karbonátových horninách regozem karbonátová (Skiba a kol. 2015). V zájmové oblasti lze podle Skiby a kol. (2015) vymezit následující dominantní půdy:

- Podzoly – mírně vlhké a dobře provzdušněné, minerálně slabší půdy s akumulací surového humusu na povrchu, jsou středně kyselé až kyselé, tzv. ilimerické (železité) podzoly jsou rozšířeny v nižších nadmořských výškách, substrátem je sprašová hlína, jsou mírně oglejené (Pelíšek 1973).
- Rankery – silně skeletovitá půda ze zvětralin silikátových hornin, nachází se zde umbrický povrchový horizont – tmavě zbarvený, sorpčně nasycený horizont s převahou humátů Al a Fe a fulvokyselin (Koreň a kol. 2010). Vyskytují se zde zejména rankery podzolové a rankery modální (Skiba a kol. 2015).
- Litozemě – jedná se o půdy s tenkým iniciálním povrchovým horizontem na pevné hornině (Koreň a kol. 2010). Vyskytují se zde především litozemě silikátové (Skiba a kol. 2015).
- Rendziny – vyskytují se zde hnědé, šedé a černé (mulové) rendziny na vápencích a dolomitech. Jedná se o půdy hlinité až jilovohlinité, minerálně bohaté a mělčí (Pelíšek 1973).
- Kambizemě – půdy s ochrickým (světle či tmavě zbarvený organominerální horizont) nebo umbrickým povrchovým (tmavě zbarvený, sorpčně nasycený horizont s převahou humátů Al a Fe a fulvokyselin) a kambickým podpovrchovým horizontem (hnědý horizont v důsledku procesu brunifikace; Koreň a kol. 2010), vyskytují se zde především kambizemě modální kyselé a kambizemě podzolové nebo kambizemě modální nasycené nasycené a kambizemě rendzinové.

### 3.6 Biogeografické poměry

V rámci fyto geografického členění podle Hendrycha (1984) spadá oblast Tater do obvodu Karpatské květeny a oblasti Západokarpatské květeny, které náleží Středoevropské provincii. Středoevropská provincie náleží do Eurosibiřské podoblasti, která spadá do Holarktické oblasti. Na území Tater se projevuje výrazná stupňovitost prostředí. Podle Kunskeho (1974) lze v zájmovém území vymezit tyto vegetační stupně:

- Podhorské (submontánní) pásmo – dosahuje do výšky 800 m n. m., nachází se zde druhotně osazené smrčiny a bory
- Horské (montánní) pásmo – nachází se ve výškách do 1500 m n. m. (zasahuje k horní hranici lesa), původně zarostlé bučinami, jedlí, smrkem, dnes dochovány pouze relikty (Kunský 1974)
- Subalpínské (kosodřevinové) pásmo – sahá od horní hranice lesa až do výšky přibližně 1850 – 1900 m n. m., kde se rozpadají souvislé porosty kosodřevin na jednotlivé solitéry, spodní část pásma obsahuje souvislý půdní pokryv a hustou travnatou a kosodřevinnou vegetaci (Boltižiar 2009).
- Alpínské (holé) pásmo – zasahuje do výšek 1800 – 2300 m n. m., vyskytuje se zde nesouvislá půdní pokrývka, značná plocha nemá dokonalou vegetační pokrývku, nachází se zde četná kamenná moře (Midriak 1983).

Podle Mařana (1958; cit. v Buchar 1983) náleží tatranská oblast z hlediska zoogeografického členění do Palearktické oblasti, Eurosibiřské podoblasti, provincie Středoevropských pohoří, podprovincie Karpatských pohoří a Západokarpatského úseku.

V Tatrách žijí živočichové, kteří v horách západní Evropy již vyhynuli – např. medvěd hnědý (*Ursus arctos*), rys ostrovid (*Lynx lynx*). Ze zástupců šelem zde najdeme např. vlka obecného (*Canis lupus*), lišku obecnou (*Vulpes vulpes*) nebo vydra říční (*Lutra lutra*) (Chovancová a kol. 2010a). Ze sudokopytníků je cenný především kamzík horský tatranský (*Rupicapra rupicapra tatrica*), který je endemickým reliktním druhem. Z dalších sudokopytníků zde najdeme např. jelena lesního (*Cervus elaphus*) nebo srnce obecného (*Capreolus capreolus*) (Chovancová a kol. 2010b). Poměrně rozšířeným hlodavcem je svišť horský tatranský (*Marmota marmota*). Ze zástupců ptáků se zde vyskytuje např. kos horský (*Turdus torquatus*), datel černý (*Dryocopus martius*) nebo orel skalní (*Aquila chrysaetos*) (Kocián a kol. 2010)



## 4 Metodika

### 4.1 Ortorektifikace leteckých snímků

Mury byly vymežovány na základě panchromatických leteckých měřických snímků z let 1973, 1986 a 2003 poskytnutých Topografickým ústavem plukovníka Jána Lipského v Banské Bystrici (2016), které zprostředkoval Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad v Dobrušce ve formátu TIFF. Nejnovější data z roku 2015 byla převzata z letecké mapy portálu Mapy.cz

Historické letecké měřické snímky bylo potřeba před dalším zpracováním nejprve ortorektifikovat, tzn. odstranit geometrické zkreslení snímku způsobené centrální projekcí a nestejnou vzdáleností nebo výškou terénu (Elznicová 2008). Letecké měřické snímky byly upravovány (ortorektifikovány) v modulu OrthoEngine softwaru PCI Geomatica 10 (PCI Geomatics 2007). Pro ortorektifikaci byl použit matematický model využívající digitální model reliéfu k odvození nadmořských výšek a referenční, již rektifikovaný ortofoto snímek ke správnému osazení vlíčovacích bodů. Pro provedení ortorektifikace v modulu OrthoEngine je nutné znát ohniskovou vzdálenost snímku (která zpravidla bývá uvedena přímo v rámu leteckého snímku) a rozměry snímku v mm. Tento údaj lze zjistit na základě rozlišení skenování snímku a rozměrů snímku měřených v pixelech podle vztahu, který navrhl Yusuke (2002):

$$\text{Délka strany snímku (mm)} = \text{délka strany snímku v pixelech/rozlišení skenování (dpi)} * 25,4$$

Hodnota 25,4 představuje převod délky z palců na milimetry, protože jednotka dpi udává rozlišení v jednotkách bodů na palec. Informace o rozlišení skenování snímku je uvedena v doprovodných vlastnostech snímku (v případě všech snímků rozlišení skenování činilo 1200 dpi) a rozměry snímku v pixelech lze spočítat z pixelových souřadnic rámových značek. Údaje o délce stran zobrazované plochy snímku (v mm) následně slouží k výpočtu souřadnic rámových značek, počítaných od středu zobrazované plochy snímku. Po výpočtu souřadnic rámových značek je potřeba manuálně vytvořit vlíčovací body, jejichž poloha je shodná jak na leteckém snímku, tak i na ortorektifikovaném snímku. Současně je vlíčovacím bodům na základě digitálního modelu reliéfu přiřazena informace o nadmořské výšce. Nejčastěji bylo na jednom snímku použito 4 – 7 vlíčovacích bodů (viz Obrázek 11). Jako vlíčovací body byly

vybírány stabilní objekty, např. rohy budov (horských chat) nebo výrazné horninové bloky. Vlíčovací body byly na snímky rozmíst'ovány rovnoměrně. Pouze v případě, že okraje snímku zasahovaly mimo digitální model reliéfu, byly vlíčovací body rozmístěny jen v určité části snímku. Střední kvadratická chyba (RMS) zvolených vlíčovacích bodů jednotlivých snímků zpravidla nepřesáhla 1 m. Nejvyšší střední kvadratická chyba byla zaznamenána v případě snímků z roku 1973 (až 1,03 m; viz Tabulka 6). Výsledná ortofota byla vytvořena ve formátu TIFF.



**Obrázek 11:** Příklad rozmístění vlíčovacích bodů na leteckém snímku

**Tabulka 6:** Přehled středních kvadratických chyb (RMS) vličovacích bodů leteckých snímků a ortofota zájmové oblasti

Rok	Počet snímků	Snímek	RMS (m)
1973	5	73_20054	0,79
		73_20056	1,03
		73_20079	0,89
		73_20081	0,55
		71_20083	0,84
1986	4	86_18757	0,33
		86_18759	0,95
		86_18793	0,63
		86_18795	0,62
2003	4	03_1723	0,41
		03_1725	0,78
		03_1741	0,45
		03_1743	0,36
2015	17	ortofoto	0,28

**Poznámka:** V případě roku 2015 byly rektifikovány jednotlivé části ortofota z portálu mapy.cz, výsledná velikost chyby byla zjištěna jako průměr RMS všech dílčích částí.

Z ortorektifikovaných historických leteckých snímků a ortofotomapy z portálu mapy.cz byly v softwaru ArcMap 10.4.1 (Esri, Inc. 2016) metodou manuální vektorizace v měřítku 1 : 1000 vymezeny transportně-akumulační oblasti mur nacházející se nejčastěji na sutinových kuzelech při úpatí svahů. Vymezován byl vždy stav akumulace k danému roku pořízení snímku, vyznačující se světlejším sutinovým materiálem odlišujícím se od okolního pokryvu. Vymezované transportně-akumulační oblasti byly označeny čísly a zkratkami reprezentujícími oblast, ve které se nacházejí – ROH (Roháčská dolina), SMU (Smutná dolina), ROP (oblast Roháčských ples), SPA (Spálená dolina), TMS (Tmavá Spálená dolina), ZAS (Zadná Spálená dolina), SAL (Salatínská dolina), DLJ (Dlhá Jama). V případě transportně-akumulačních oblastí zmapovaných při terénních pracích byla použita zkratka názvu údolí abecední označení akumulace (např. ROH\_A).

Pro vymezené plochy transportně-akumulačních oblastí mur byla stanovena chyba vektorizace na základě velikosti plochy dané transportně-akumulační oblasti mury a RMS ortorektifikovaného leteckého snímku, na kterém se daná mura nachází. Vztah pro výpočet chyby navrhl Ghilani (2000):

$$\sigma = \sqrt{A} * RMS * \sqrt{2}$$

kde proměnná A značí plochu transportně-akumulační oblasti mury.

V případě roku 1973 průměrná chyba vymezení plochy transportně-akumulační oblasti mur činí  $\pm 30,2 \text{ m}^2$ , v případě roku 1986 činí  $\pm 31,4 \text{ m}^2$ . Vymezené plochy transportně-akumulačních oblastí ze snímků z roku 2003 dosahují chyby  $\pm 21,6 \text{ m}^2$  a v případě roku 2015 průměrná chyba dosahuje  $12,4 \text{ m}^2$ .

## 4.2 Stanovení morfometrických charakteristik reliéfu

Morfometrická analýza reliéfu byla provedena v softwaru ArcMap 10.4.1 (Esri, Inc. 2016). na základě vstupních dat v podobě vektorové vrstvy vrstevnic s intervalem 5 m, ze kterých byl nástrojem *Spatial analyst – Topo to raster* vytvořen digitální model reliéfu (DMR). Jako výsledné rozlišení rastru DMR byla zvolena velikost buňky 5 m, odpovídající rozlišení vstupních dat (Hengl 2006; cit. v Křížek a kol. 2016). Veškeré datové výstupy byly zpracovávány v souřadnicovém systému S-JTSK.

Z rastru digitálního modelu reliéfu byla následně určena sklonitost svahů (ve stupních) v rastrové podobě nástrojem *Spatial analyst – Slope*. Svahy byly poté rozčleněny do sedmi kategorií podle Demka (1987):

- $0^\circ - 2^\circ$  (rovinné plochy)
- $2^\circ - 5^\circ$  (mírně skloněné plochy)
- $5^\circ - 15^\circ$  (značně skloněné plochy)
- $15^\circ - 25^\circ$  (příkře skloněné plochy)
- $25^\circ - 35^\circ$  (velmi příkře skloněné plochy)
- $35^\circ - 55^\circ$  (srázy)
- Více než  $55^\circ$  (skalní stěny, sruby)

Další morfometrickou charakteristikou odvozenou z DMR (nástrojem *Spatial analyst – Aspect*) je orientace svahů. Orientace svahů nebyla počítána pro rovinné plochy se sklonem nižším než  $2^\circ$  a byla uvažována vůči osmi směrům. Její hodnoty (ve stupních) byly rozděleny následovně:

- sever (337,5° - 22,5°)
- severovýchod (22,5° - 67,5°)
- východ (67,5° - 112,5°)
- jihovýchod (112,5° - 157,5°)
- jih (157,5° - 202,5°)
- jihozápad (202,5° - 247,5°)
- západ (247,5° - 292,5°)
- severozápad (292,5° - 337,5°)

Dále byla nástrojem *Spatial analyst – Area solar radiation* vytvořena rastrová vrstva vyjadřující průměrný roční příkon slunečního záření ( $\text{Wh}\cdot\text{m}^{-2}$ ) ve zdrojových a transportně-akumulačních oblastech mur na přibližně 49° s. z. š., v průběhu celého roku 2017. Položka *Sky size*, na které probíhá výpočet průběhu reálného obzoru a množství dopadajícího globálního záření byla ponechána ve výchozím nastavení. Ke zjištění minimálního, maximálního a průměrného ročního příkonu slunečního záření zdrojových a transportně-akumulačních oblastí byl použit nástroj *Spatial analyst – Zonal statistics as a table*.

Pomocí souboru nástrojů *Spatial analyst – Hydrology* byl vytvořen rastr směrů odtoků (*Flow direction*), který byl následně použit k výpočtu zdrojových oblastí mur. Pro vytvoření rastru směrů odtoků byl nejprve použit nástroj *Fill* a následně byl upravený digitální model reliéfu použit jako vstupní vrstva pro nástroj *Flow direction*, kterým byl vypočten směr odtoku z dané buňky do sousední buňky nacházející se níže na svahu.

### 4.3 Morfometrické charakteristiky murových drah

Výše uvedené morfometrické charakteristiky byly zjišťovány pro zdrojové a transportně-akumulační oblasti mur k roku 2015. Pro zachycení celé zdrojové oblasti, ze které může dojít k přínosu materiálu tvořícího muru, byla plocha zdrojových oblastí vypočítána pomocí nástroje *Spatial analyst – Watershed*. Vstupními daty tohoto nástroje jsou rastr směrů odtoků a vrstva tzv. závěrových profilů (pour points). Vrstva závěrových profilů má nejčastěji podobu bodu (zejména při výpočtu povodí vodního toku), ovšem tento nástroj umožňuje použít i polygonovou vrstvu. Polygonová vrstva je v případě výpočtu zdrojové oblasti mur vhodnější, protože nedojde k podhodnocení

plochy zdrojové oblasti, ke kterému by došlo při použití pouhého bodu. K výpočtu zdrojových oblastí tedy byly vytvořeny malé polygony odpovídající šířce transportně akumulární oblasti v místě svého počátku, tj. v místě styku osypu a skalní stěny. Vytvořená vrstva zdrojových oblastí mur byla následně porovnána s topografií svahu a v případě nesrovnalostí byl její tvar pomocí editačního nástroje manuálně upraven (např. hranice byla vedena přesně po hřbetnici).

Pro transportně-akumulační oblasti mur (TA) a vypočítané polygony zdrojových oblastí mur (ZDR) byly následně zjištěny minimální, maximální a průměrné hodnoty (s výjimkou orientace) vybraných charakteristik pomocí nástroje *Spatial analyst – Zonal statistic as a table*:

- nadmořské výšky (m n. m.)
- vertikálního rozpětí (m)
- sklonu (°)
- příkonu slunečního záření (Wh.m<sup>-2</sup>)
- orientace (°)

Protože se orientace v různých částech transportně-akumulačních a zdrojových oblastí může lišit, byla nástrojem *Spatial Statistics – Linear directional mean* zjištěna průměrná orientace jako úhel jejich podélné osy měřený od severu. Cyklické uspořádání stupnice orientace svahů vůči světovým stranám ovšem znemožňuje práci s ní jako s běžnou metrikou. Jednou z možností, jak orientaci převést do obvyklých metrik, je nahradit ji hodnotou vyjadřující množství dopadajícího slunečního záření nebo počítat s velikostí odchylky od určitého směru. Pro přepočítání orientace svahů na odchylku od jihu  $\alpha'$  lze použít vzorec:

$$\alpha' = |180 - \alpha|$$

kde  $\alpha$  je azimut plochy – odchylka od severu ve směru otáčení hodinových ručiček (Křížek a kol. 2016).

Vybrané morfometrické charakteristiky mur (sklon a nadmořská výška) byly porovnávány s morfometrickými charakteristikami území, nacházejícím se okolo vymezených drah. Použity byly polygony murových drah vymezených nad horní hranicí

lesa a dráhy nacházející se pod hranicí lesa, kde byl zmapován celý plošný rozsah transportně-akumulační oblasti. Za tímto účelem byl nástrojem *Spatial analyst – extract by mask* vytvořen rastr sklonitosti pro jednotlivé mury (transportně-akumulační a vypočtené zdrojové oblasti). Na základě analýzy histogramu četností sklonů mur byla stanovena prahová hodnota sklonu, pod níž se nenachází žádné murové akumulace. Z analýzy byly vyčleněny také koncové části nejdelších transportně-akumulačních oblastí mur, které zasahují až na dno údolí a jsou v zájmovém území spíše výjimkou. Na základě zhodnocení histogramu sklonů mur byla stanovena hraniční hodnota sklonu, která vyloučila určitou část nejrozsáhlejších transportně-akumulačních oblastí, které zasahují až na samotná dna údolí. Jako hraniční byl zvolen sklon 13°. Jedná se o nejmenší sklon svahu, na kterém byl zjištěn výskyt většiny mur a několika mur bez zahrnutí koncových částí nejdelších transportně-akumulačních oblastí. Všechna území se sklonem reliéfu nižším než 13° tedy byla považována za území, kde se nenachází transportně-akumulační oblasti mur a z další analýzy byla vyčleněna. Pro tato území byla pomocí klasifikace rastru sklonu reliéfu vytvořena samostatná vrstva nástrojem *Spatial analyst – Reclassify*, která byla spojena s vrstvou polygonů transportně-akumulačních a zdrojových oblastí mur. Následně byla nástrojem *Analysis – Erase* vytvořena vrstva celého zájmového území bez transportně-akumulačních oblastí mur, vypočtených zdrojových oblastí mur a území se sklonem menším než 13°. Pro tato zbylá území byl poté nástrojem *Spatial analyst – Extract by mask* vytvořen rastr sklonu reliéfu. Aby mohly být četnosti zastoupení sklonu reliéfu dále analyzovány (v prostředí softwaru MS Excel), musel být výsledný rastr sklonitosti nástrojem *Conversion – Raster to point* převeden na bodovou vrstvu. Polygony oblastí, nacházejících se na dnech údolí, vymezené pomocí zvolené prahové hodnoty sklonu, byly podobně použity také pro vymezení nadmořských výšek, ve kterých se mury nacházejí a ve kterých nikoliv. Pomocí nástroje pro analýzu dat softwaru MS Excel byly zjištěny četnosti zastoupení jednotlivých sklonů reliéfu nebo nadmořských výšek ve zvolených kategoriích kategoriích sklonu (podle Demka 1987) a nadmořské výšky (interval 200 m) pro mury i oblasti, kde mury nebyly vymezeny. Histogramy daných souborů dat (sklonitosti a nadmořské výšky) pro mury a oblasti bez výskytu mur byly následně porovnávány.

#### 4.4 Změny plochy a délky mur v období 1973 – 2015

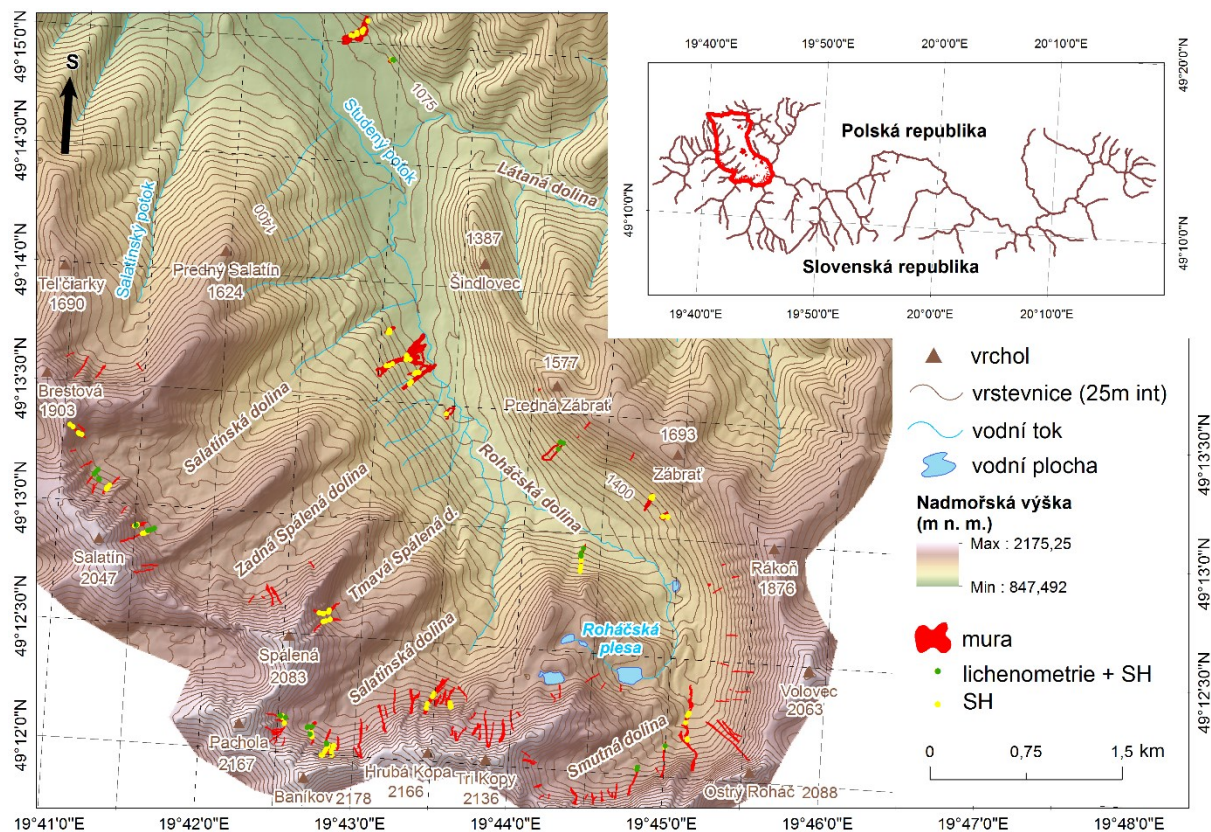
Pro vymezené polygony transportně-akumulačních oblastí mur byly spočítány základní charakteristiky – plocha a délka, které posloužily pro následné porovnávání změn mezi jednotlivými obdobími (změny byly hodnoceny pomocí celkové plochy a průměrné délky transportně-akumulačních oblastí mur v jednotlivých údolích). Jelikož se vymezené mury nacházejí ve velmi svažitém terénu, došlo by při výpočtu jejich plochy a délky bez zahrnutí vlivu morfologie terénu ke značným nepřesnostem. Z tohoto důvodu byl použit nástroj *3D Analyst – Add surface information*, který přiřadí polygonu prostorové informace (tzv. Z hodnoty) z digitálního modelu reliéfu. V případě délek transportně-akumulačních oblastí byla nejdříve manuálně vytvořena liniová vrstva reprezentující jejich délku a následně spočítána délka těchto linií nástrojem *3D Analyst – Add surface information*. Výsledné hodnoty plochy a délky transportně-akumulačních oblastí mur byly z atributové tabulky vyexportovány do softwaru MS Excel, kde byly prováděny další analýzy.

Rozdíly v ploše a délce transportně-akumulačních oblastí mur byly zjišťovány vždy v rámci po sobě následujících třech intervalů 1973 – 1986, 1986 – 2003 a 2003 – 2015. Zjištěné rozdíly rozlohy a délky byly také porovnávány s plochou a délkou transportně-akumulačních oblastí referenčního roku 1973. Rok 1973 byl vybrán jako referenční z důvodu největšího plošného rozsahu a délek transportně-akumulačních oblastí mur. Změny v následujících letech jsou tedy vyjádřeny také jako procentuální podíl plochy a délky transportně-akumulačních oblastí mur na ploše či délce transportně-akumulačních oblastí mur roku 1973. V případě ploch transportně-akumulačních oblastí mur byly změny mezi jednotlivými časovými obdobími vyjádřeny také jako podíl celkové plochy všech transportně-akumulačních oblastí mur daného údolí na celkové ploše údolí. Veškeré meziroční změny byly zjišťovány jen pro takové transportně-akumulační oblasti mur, které byly na ortofotech jasně vymežitelné v každém uvažovaném roce. Zejména na leteckých snímcích z roku 2003 docházelo k častému zakrytí části transportně-akumulační oblasti mury vlivem přítomnosti zbytků sněhové pokrývky. Z tohoto důvodu bylo z analýzy vyčleněno 11 mur z celkového počtu 102 mur. Změny byly tedy sledovány na celkovém počtu 91 mur.



## 4.5 Terénní práce

Terénní práce byly provedeny v létě roku 2016, v létě a na podzim roku 2017 a na jaře roku 2018. Nejprve byl proveden terénní průzkum vybraných oblastí nacházejících se pod horní hranicí lesa za účelem zmapování starých murových akumulací, které nelze vymezit na základě dálkového průzkumu. Mapování murových akumulací bylo provedeno v několika oblastech zájmového území – v okolí Zverovky při úpatí svahu pod Javorinou (1020 – 1100 m n. m.), na skalním stupni pod Spálenou, Zadnou Spálenou a Tmavou Spálenou dolinou (přibližně 1100 – 1270 m n.m.) a na svahu Roháčské doliny od Zábrati přibližně po Šindlovec (přibližně 1350 – 1460 m n.m.). Po identifikaci akumulace bylo pomocí GPS přístroje Garmin 64s zaznamenána především poloha čela akumulace a při příznivých terénních podmínkách také zdrojová oblast. V případě některých murových akumulací bylo možné rozlišit i jednotlivé valy, jejichž rozsah a výška byla následně také zaznamenána pomocí GPS bodů. V prostředí GIS byla následně vytvořena mapa zaznamenaných akumulací (viz Příloha). V terénu bylo dále provedeno relativní datování bloků vybraných murových akumulací pomocí měření stupně zvětrání povrchu (Schmidt hammer test) a lichenometrické metody. Měření stupně zvětrání povrchu (Schmidt hammer test) bylo provedeno v oblastech nad horní hranicí lesa, kde bylo měřeno na 18ti murových akumulacích (3 lokality ve Smutné dolině, 7 lokalit ve Spálené dolině, 2 v Tmavé Spálené dolině, 6 v Salatínské dolině). V oblastech pod horní hranicí lesa bylo měření stupně zvětrání povrchu (Schmidt hammer test) provedeno na 11ti akumulacích Roháčské doliny. Lichenometrické měření bylo provedeno celkem pouze na 10ti murových akumulacích zájmového území (2 akumulace ve Smutné dolině, 3 lokality ve Spálené dolině, 4 lokality v Salatínské dolině a 3 lokality v Roháčské dolině; Obrázek 12).



**Obrázek 12:** Lokality měření (Schmidt hammer test a lichenometrie)

**Poznámka:** SH – Schmidt hammer test

#### 4.6 Relativní datování

Pro měření stupně zvětrání povrchu (Schmidt hammer test) byly vybírány bloky, které nejvíce odpovídají metodice použití Schmidt hammeru – měření na hladkém horizontálním povrchu, vybraný blok je dostatečně stabilní a jeho hmotnost přesahuje 25 kg, nenacházejí se na něm výrazné pukliny nebo vegetace – např. mechy, měření se provádí v minimální vzdálenosti alespoň 5 cm od okraje bloku a měření se neprovádí víckrát na stejném místě (Hubbard a Glasser 2005; Summer a Nel 2002). Pro jednotlivé bloky byl dále zaznamenán údaj o jejich geografické poloze a nadmořské výšce pomocí GPS. Dále byly zaznamenány délky jednotlivých os bloku v cm (délka, šířka a výška).

Pro měření stupně zvětrání povrchu byla vybrána metodika podle Klapoty (2013), který prováděl relativní datování touto metodou v blízkosti zájmového území. Měření byla standardně provedena na pěti vybraných blocích murové akumulace. V případě, že se na dané akumulaci nenacházelo dostatečné množství vhodného materiálu (malé bloky, výrazné vyrostlice na povrchu, pokrytí bloků porostem), byla měření provedena

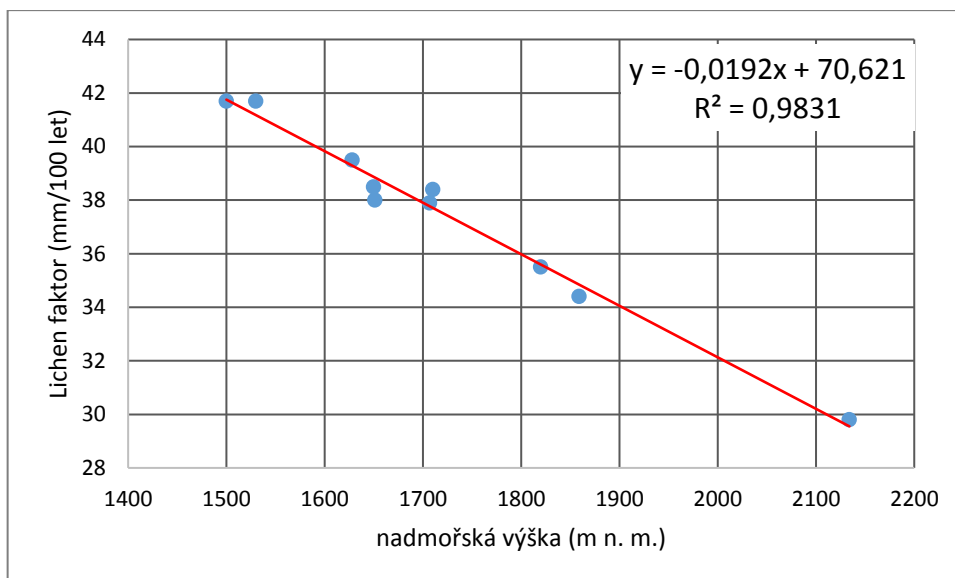
nejméně na třech blocích na akumulaci (pouze v jednom případě byl použit pouze jeden blok na akumulaci). Při měření Schmidt hammerem je proti povrchu bloku uvolněn úderník nástroje a následně dojde k jeho odrazu od povrchu horniny. Velikost zpětného odrazu úderníku je výjádřena pomocí tzv. R-hodnoty (rebound value) a je zaznamenána na stupnici přístroje se škálou 1 – 100. Vyšší naměřené R-hodnoty značí méně zvětralý povrch bloku. Na každém bloku bylo provedeno 30 měření R-hodnot, ze kterých bylo následně pět R-hodnot s největší odchylkou od aritmetického průměru odstraněno. Statisticky bylo dále zpracováváno 25 hodnot z každého z pěti nebo tří bloků na akumulaci (125, resp. 75 hodnot).

Relativní datování pomocí lichenometrie bylo provedeno dle metodiky Kedzii (2015), který stanovil lichenometrickou křivku pro oblast Tater. Pro relativní datování byly vybírány stélky lišejníku mapovníku zeměpisného (*Rhizocarpon geographicum*) přibližně kruhovitěho tvaru. Měření bylo prováděno na pěti blocích z každé akumulace, a to přednostně na blocích, na kterých bylo prováděno měření pomocí Schmidt hammeru. Ve většině případů ovšem tento postup nebylo možné dodržet, protože na některých akumulacích nebyly zaznamenány žádné stélky lišejníku, nebo se na bloku nacházely stélky jiného druhu lišejníku. Nejčastěji bylo měření provedeno jen na dvou nebo třech blocích z každé akumulace, výjimečně na jednom bloku. Na blocích byl měřen průměr pěti největších stélek a následně byl z těchto hodnot vypočítán aritmetický průměr.

Lichenometrická křivka pro výpočet stáří bloku na základě průměru pěti největších stélek mapovníku zeměpisného (*Rhizocarpon geographicum*), kterou navrhl Kedzia (2015) má tvar:

$$y = -0,0192x + 70,621$$

kde hodnota y reprezentuje tzv. lichen faktor (značící rychlost růstu stélky lišejníku v mm/100 let) a hodnota x značí příslušnou nadmořskou výšku bloku, na které se nachází měřená stélka lišejníku (Obrázek 13). Lichen faktor vypočítaný z této rovnice byl následně použit pro výpočet stáří daného bloku murové akumulace. Tímto postupem bylo spočítáno průměrné stáří každého bloku dané murové akumulace a následně byl z těchto dílčích hodnot spočítán aritmetický průměr stáří pro celou murovou akumulaci (výsledek tohoto postupu byl označen, jako „Stáří 1“).



**Obrázek 13:** Lichenometrická křivka a rovnice pro výpočet lichen faktoru

**Zdroj:** (Kedzia (2015))

Z důvodu výskytu malého počtu bloků, na kterých bylo možno naměřit průměry všech pěti největších stélek, byla použita další metoda podle Kedzii (2015), která odvozuje relativní stáří pomocí velikosti pouze jedné, největší stélky lišejníku mapovníku zeměpisného (*Rhizocarpon geographicum*). Vztah pro výpočet lichen faktoru je v tomto případě podobný předchozímu vztahu:

$$y = -0,0186x + 69,661$$

Výsledné stáří zjištěné tímto postupem bylo označeno, jako „Stáří 2“.

#### 4.7 Statistické zpracování dat

Statistickému zpracování byly podrobeny údaje o ploše a délce transportně-akumulačních oblastí mur za účelem vyhodnocení změn mezi jednotlivými časovými obdobími a zjištěním statisticky významných rozdílů mezi těmito obdobími. Za tímto účelem byla použita analýza rozptylu (ANOVA) a Fisherův LSD post-hoc test. Analýza rozptylu (ANOVA) byla použita ke zhodnocení zdrojů variability a zjištění, které z kvantitativních faktorů významně ovlivňují sledované veličiny (Meloun a Militký 2002). Analyzovány byly difference průměrů sledované závislé proměnné mezi danými skupinami, které jsou určeny jednou nezávislou proměnnou.

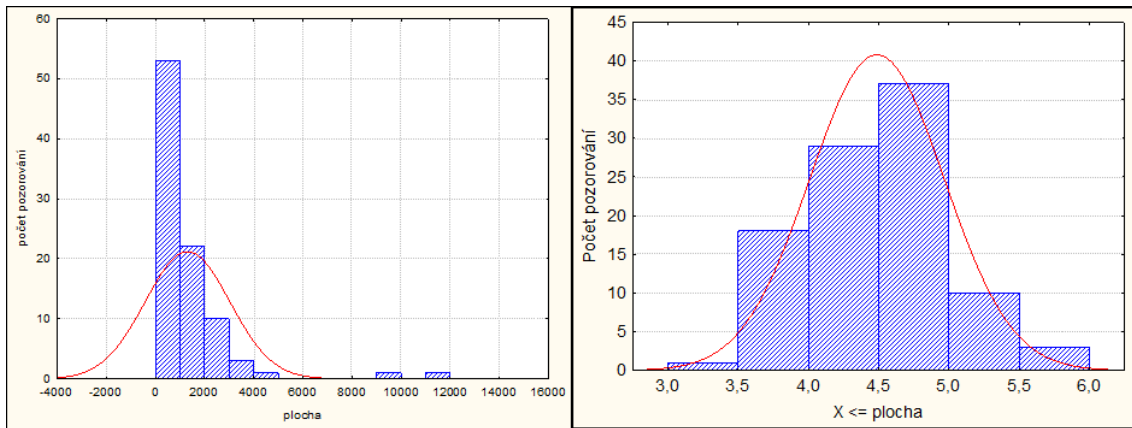
Zjišťováno tedy bylo, jestli skupiny vytvořené touto klasifikační proměnnou jsou podobné, nebo jestli jednotlivé průměry netvoří identifikovatelné shluky (Hendl 2004). V tomto případě byla zvolena tzv. jednocestná ANOVA při jednoduchém třídění (One-way ANOVA). Zjišťováno bylo, jestli jsou rozdíly ploch transportně-akumulačních oblastí mur (závisle proměnných) statisticky významné mezi jednotlivými obdobími (nezávisle proměnnými).

Dále byly statisticky zpracovány morfometrické charakteristiky transportně-akumulačních i zdrojových oblastí mur (nadmořská výška, vertikální rozpětí nadmořské výšky, sklon, orientace nebo hodnoty průměrného ročního příkonu slunečního záření). Pro tyto charakteristiky byly spočítány základní popisné statistiky – minimum, maximum, průměr a medián. Zjištěny byly také četnosti výskytu jednotlivých případů mur v kategoriích orientace vůči světovým stranám. Obecné morfometrické charakteristiky murových drah byly dále zjišťovány i pro jednotlivá údolí (na základě minimálních, maximálních nebo průměrných hodnot morfometrických charakteristik všech mur daného údolí).

Statisticky byly zpracovány také naměřené R-hodnoty za účelem zjištění odlišností mezi jednotlivými murovými akumulacemi nebo skupinami akumulací pomocí analýzy rozptylu (jednocestná ANOVA) a Fisherova LSD post-hoc testu. Provedena byla také korelační analýza morfometrických charakteristik zdrojových a transportně-akumulačních oblastí pro vyjádření vztahů mezi jednotlivými charakteristikami. V rámci korelační analýzy na hladině spolehlivosti  $p = 0,05$  byla vytvořena korelační matice s příslušnými hodnotami Pearsonova korelačního koeficientu. Zjišťována byla také korelace mezi naměřenými R-hodnotami a vybranými morfometrickými charakteristikami – nadmořskou výškou, odchylkou osy murové dráhy od jihu (orientací), průměrným ročním příkonem slunečního záření nebo korelace R-hodnot s naměřenými lichenometrickými daty.

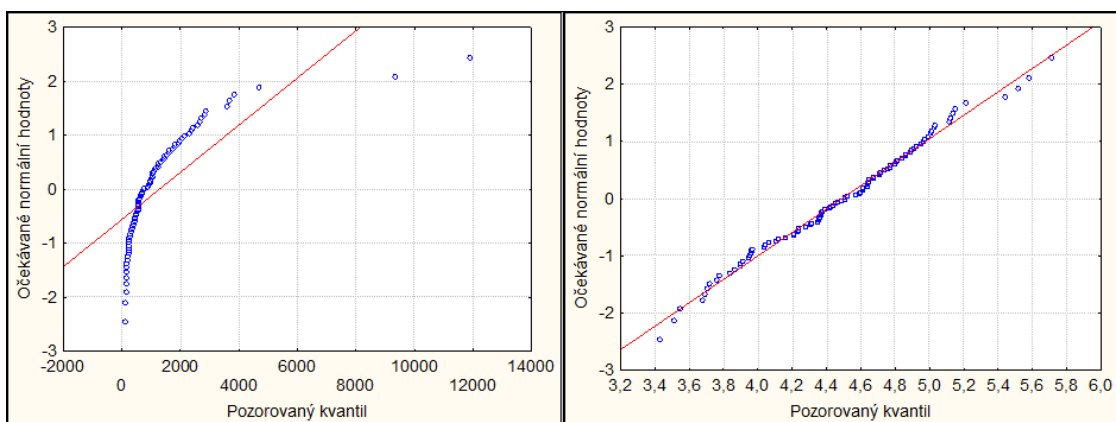
Statistické zpracování dat bylo provedeno v softwaru STATISTICA 8 (Statsoft, Inc. 2007). Údaje o ploše a délce, morfometrické charakteristiky transportně-akumulačních oblastí a naměřené R-hodnoty byly nejprve testovány analýzou histogramu (Obrázek 14), Shapiro-Wilcovým testem normality (v případě dat s normálním rozdělením je p-hodnota Shapiro-Wilcova testu nižší než zvolená hladina spolehlivosti  $p=0,05$ ) a analýzou tzv. normálních p-grafů. Normální p-graf je jedním z pravděpodobnostních grafů, které se používají pro vizuální kontrolu předpokladů na rozdělení zkoumané náhodné veličiny. Jednotlivé body mají souřadnice pozorovaného a

teoretického kvantilu. Čím více se body přibližují přímce, tím více se rozdělení přibližuje normálnímu (Obrázek 15). Protože v případě Shapiro-Wilkova testu byly výsledné p-hodnoty nižší než hladina spolehlivosti  $p=0,05$  a z normálních p-grafu i histogramu vyplývalo značné zešikmení všech vstupních souborů dat, byla následně provedena Box-Coxova transformace vstupních dat pro přiblížení k normálnímu rozdělení dat (Meloun a Militký, 2002). Box-Coxova transformace v případě ploch transportně-akumulačních oblastí mur proběhla podle vzorce  $((v4^{(0,007722)})-1)/(0,007722)$  a podle rovnice  $((v4^{(0,092662)})-1)/(0,092662)$  v případě délek transportně-akumulačních oblastí mur. Pro následné statistické vyhodnocování dat byly použity tyto normalizované hodnoty.



**Obrázek 14:** Příklad histogramů ploch transportně-akumulačních oblastí, vlevo – původní data před Box-Cox transformací

**Poznámka:**  $p < 0,0001$ ,  $W = 0,58934$  při hladině spolehlivosti  $p = 0,05$ ; vpravo – normalizovaná data,  $p = 0,71338$ ,  $W = 0,99045$  při hladině spolehlivosti  $p = 0,05$ ; transformační rovnice Box-Cox transformace:  $((v1^{(-0,125536)})-1)/(-0,125536)$ .



**Obrázek 15:** Normální p-graf, vlevo pro velikosti ploch transportně-akumulačních oblastí před Box-Cox transformací, vpravo po Box-Cox transformaci

## **5 Výsledky**

### **5.1 Změny plochy a délky transportně-akumulačních oblastí mur 1973 – 2015**

V zájmové oblasti Roháčské doliny a jejích bočních údolí (Smutné, Spálené, Tmavé Spálené, Zadné Spálené a Salatínské doliny) bylo na základě ortofot vymezeno přibližně 100 murových drah (99 drah na snímcích z roku 1973, 102 drah bylo viditelných na snímcích z roku 1986, 100 drah v roce 2003 a 98 drah bylo možné identifikovat na ortofotomapě z roku 2015). Změny v ploše a délce transportně-akumulačních oblastí mur byly sledovány pro 91 mur.

#### **5.1.1 Změny plochy a délky transportně-akumulačních oblastí mur v období 1973 – 1986**

Na leteckých snímcích z roku 1973 se transportně-akumulační oblasti mur vyznačovaly velmi výraznými světlými odstíny, takže identifikované akumulace byly pravděpodobně velmi čerstvé. Plošný i délkový rozsah těchto oblastí byl největší za celé sledované období 1973 – 2015. Některé transportně-akumulační oblasti mur zasahovaly dokonce až na dno údolí (např. transportně-akumulační oblast SMU\_15 nebo SPA\_20). Na leteckých snímcích z roku 1986 jsou patrné identifikované transportně-akumulační oblasti mur ze snímků z roku 1973, ovšem na většině z nich je patrná značná eroze a úbytek původního materiálu. Od roku 1973 do roku 1986 byla na leteckých snímcích identifikována pravděpodobně jedna nová generace mur.

Největší podíl plochy, kterou zaujímá transportně-akumulační oblast mury v roce 1973 na celkové ploše údolí, byl zaznamenán ve Spálené dolině (1,98 %; Tabulka 7). Druhý nejvyšší podíl plochy transportně-akumulační oblasti mury na celkové ploše údolí byl zaznamenán v oblasti Roháčských ples (1,61 %), naopak nejmenší podíl byl zjištěn v Roháčské dolině (0,04 %). V období let 1973 až 1986 se plocha transportně-akumulačních oblastí mur v celém zájmovém území snížila v průměru o 19 % (z 172 118 m<sup>2</sup> na 139 002 m<sup>2</sup>). K největším změnám v období 1973 – 1986 došlo ve Tmavé Spálené dolině, kde se plocha, kterou zaujímají transportně-akumulační oblasti mur, snížila o 60 %. Naopak k nejmenšímu úbytku plochy došlo v Salatínské dolině (o 14 %), v Roháčské dolině bylo dokonce zaznamenáno mírné zvětšení plochy o 15 %.

**Tabulka 7: Přehled změn plochy TA oblastí mur v období 1973 – 1986**

Dolina	Plocha údolí (m <sup>2</sup> )	Plocha TA oblastí - 1973 (m <sup>2</sup> )	Podíl plochy TA oblastí na ploše údolí - 1973 (%)	Plocha TA oblastí - 1986 (m <sup>2</sup> )	Podíl plochy TA oblastí na ploše údolí - 1986 (%)	Změna plochy (1973 – 1986) (%)
Dlhá Jama	3 161 464,8	2 296,1	0,07	1 682,9	0,05	-26,7
Roháčská	15 758 805,7	6 286,6	0,04	7 223,9	0,05	14,9
Roháčská plesa	1 661 745,3	26 707,3	1,61	20 174,8	1,21	-24,5
Salatínská	3 431 894,6	17 650,1	0,51	15 117,2	0,44	-14,4
Smutná	3 111 140,7	42 828,0	1,38	34 806,5	1,12	-18,7
Spálená	2 958 415,1	58 576,9	1,98	50 249,1	1,70	-14,2
Tmavá Spálená	765 966,0	8 497,2	1,11	3 401,1	0,44	-60,0
Zadná Spálená	2 055 588,2	9 275,7	0,45	6 346,7	0,31	-31,6
<b>Celkem</b>	<b>32 905 020,4</b>	<b>172 117,9</b>	<b>0,52</b>	<b>139 002,1</b>	<b>0,42</b>	<b>-19,2</b>

**Poznámka:** TA značí transportně-akumulační oblast, průměrná chyba vymezení TA oblastí jednotlivých mur v roce 1973 činí  $\pm 30,2 \text{ m}^2$ , v případě roku 1986 činí  $\pm 31,4 \text{ m}^2$

Plocha transportně-akumulačních oblastí mur velmi úzce souvisí s jejich délkou (hodnota Pearsonova korelačního koeficientu  $r = 0,87$  značí velmi silnou korelaci). Z tohoto důvodu mají změny ploch a délek transportně-akumulačních oblastí mur velmi podobný průběh. Průměrná délka transportně-akumulačních oblastí mur v roce 1986 klesla přibližně o 13 % oproti roku 1973 (viz Tabulka 8). K největším změnám došlo v Tmavé Spálené dolině (stejně, jako v případě plochy), ovšem k nejmenšímu poklesu délky transportně-akumulačních oblastí mur došlo v Roháčské dolině (v průměru o 2,3 m).



**Tabulka 8:** Přehled změn délek TA oblastí mur v období 1973 - 1986

Dolina	Průměrná délka TA oblastí -1973 (m)	Průměrná délka TA oblastí 1986 (m)	Rozdíl průměrné délky TA oblastí 1973 - 1986 (m)	Změna průměrné délky (1973 - 1986) (%)
Dlhá Jama	138,4	124,2	-14,2	-10,3
Roháčská	174,4	170,5	-3,9	-2,3
Roháčská plesa	204,1	174,2	-29,9	-14,6
Salatínská	202,2	189,5	-12,6	-6,2
Smutná	257,4	216,9	-40,5	-15,7
Spálená	220,8	193,4	-27,4	-12,4
Tmavá Spálená	310,0	222,8	-87,2	-28,1
Zadná Spálená	186,0	179,3	-6,6	-3,6
<b>Celkem</b>	<b>220,4</b>	<b>192,2</b>	<b>-28,3</b>	<b>-12,8</b>

V období 1973 – 1986 došlo k úbytku plochy transportně-akumulačních oblastí na více než polovině všech sledovaných lokalit (viz Tabulka 9). K největšímu úbytku plochy v tomto období (o 7 043 m<sup>2</sup>) došlo na lokalitě SMU\_15, která je současně lokalitou s největší plochou transportně-akumulační oblasti v celém zájmovém území. V roce 1986, podobně jako v případě plochy, převažoval úbytek délky transportně-akumulačních oblastí oproti roku 1973. Ke zkrácení transportně-akumulační oblasti došlo na více než polovině mur zájmového území. Podobně jako v případě ploch transportně-akumulačních oblastí nastala největší změna délky v případě lokality SMU\_15, jejíž délka se snížila o 415 m. Naopak nejvyšší nárůst délky transportně-akumulační oblasti mury je zaznamenán v oblasti Roháčských ples, kde délka transportně-akumulační oblasti mury ROP\_15 narostla o 100 m.

**Tabulka 9:** Přehled změn plochy TA oblastí mur v roce 1986

Dolina	Počet uvažovaných drah	Dráhy s úbytkem plochy	Dráhy s úbytkem délky	Dráhy s nárůstem plochy	Dráhy s nárůstem délky
Dlhá Jama	4	3	3	1	1
Roháčská	4	2	3	2	1
Roháčská plesa	15	9	8	6	7
Salatínská	10	6	6	4	4
Smutná	26	15	19	11	7
Spálená	24	15	15	9	9
Tmavá Spálená	2	2	2	0	0
Zadná Spálená	6	4	4	2	2
<b>Celkem</b>	<b>91</b>	<b>56</b>	<b>60</b>	<b>35</b>	<b>31</b>

### 5.1.2 Změny plochy a délky transportně-akumulačních oblastí mur v období 1986 – 2003

Zatímco v předchozím období byla aktivita mur zájmového území poměrně nízká, v letech 1986 – 2003 byla zaznamenána nová generace transportně-akumulačních oblastí na většině lokalit výskytu mur. Na některých lokalitách bylo identifikováno i více jednotlivých generací mur, které nebyly identifikovány na snímcích z roku 1986, ale na snímku z roku 2003 jsou již překryty čerstvější akumulací. V tomto období tedy dochází k výraznějšímu zvětšení plochy i délek transportně-akumulačních oblastí mur i nárůstu frekvence jednotlivých událostí (jedná se ovšem o nejdelší hodnocené časové období). V roce 2003 je zaznamenán mírný nárůst plochy transportně-akumulačních oblastí mur oproti roku 1986 (o 8,6 %; viz Tabulka 10). Ve všech údolích (s výjimkou Roháčské doliny a oblasti Roháčských ples, kde došlo v období 1986 – 2003 k úbytku plochy transportně-akumulačních oblastí mur) dochází k nárůstu plochy transportně-akumulačních oblastí mur. Jeden z nejvýraznějších nárůstů zaznamenán v Zadné Spálené dolině, kde se plocha transportně-akumulačních oblastí mur zvýšila o 31 % v letech 1986 – 2003. Celková plocha transportně-akumulačních oblastí v roce 1986 činí 139 002 m<sup>2</sup>, zatímco v roce 2003 je zaznamenán mírný nárůst na 150 996 m<sup>2</sup>. Celkový podíl ploch transportně-akumulačních oblastí mur na celkové ploše údolí se zvýšil z 0,42 % v roce 1986 na 0,46 % v roce 2003. Největší podíl plochy transportně-akumulačních oblastí na celkové ploše údolí v roce 1986 připadá na Spálenou dolinu a oblast Roháčských ples (1,7 a 1,21 %). V roce 2003 je tato situace podobná, ovšem

podíl, který zaujímají transportně-akumulační oblasti mur ve Spálené dolině, se zvyšuje na 1,73 %. V roce 2003 se mírně zvyšuje podíl transportně-akumulačních oblastí na ploše údolí ve Smutné dolině (na 1,25 %) Nejnižší podíl plochy transportně-akumulačních oblastí na ploše údolí zůstává v Roháčské dolině (0,05 % v roce 1986 a 0,03 % v roce 2003).

Průměrná plocha transportně-akumulačních oblastí mur v roce 2003 ovšem zpravidla nepřevyšuje jejich rozlohu zjištěnou v roce 1973. Celková plocha transportně-akumulačních oblastí mur je v roce 2003 přibližně o 12 % nižší než v roce 1973. Nejvýraznější úbytek plochy v období 1973 – 2003 je zaznamenán v Tmavé Spálené dolině (o 55,8 %). Další lokalita se zaznamenaným úbytkem plochy transportně-akumulační oblasti mur v letech 1973 – 2003 jsou např. Roháčská plesa (o 25,6 %) nebo Roháčská dolina (úbytek o 25,1 %). Nárůst plochy transportně-akumulačních oblastí mur v roce 2003 oproti roku 1973 byl zaznamenán v Dlhé Jamě (181 %) a slabý nárůst plochy je zaznamenán také v Salatínské dolině (0,2 %).

**Tabulka 10:** Přehled změn plochy TA oblastí mur v období 1986 - 2003

Dolina	Plocha doliny (m <sup>2</sup> )	Plocha TA oblastí -1986 (m <sup>2</sup> )	Podíl plochy TA oblastí na ploše údolí - 1986 (%)	Plocha TA oblastí 2003 (m <sup>2</sup> )	Podíl plochy TA oblastí na ploše údolí - 2003 (%)	Změna plochy (1986 - 2003) (%)	Změna plochy (1973 - 2003) (%)
Dlhá Jama	3 161 464,8	1 682,9	0,05	6 469,5	0,20	284,4	181,8
Roháčská	15 758 805,7	7 223,9	0,05	4 709,2	0,03	-34,8	-25,1
Roháčská plesa	1 661 745,3	20 174,8	1,21	19 861,4	1,20	-1,6	-25,6
Salatínská	3 431 894,6	15 117,2	0,44	17 680,3	0,52	17,0	0,2
Smutná	3 111 140,7	34 806,5	1,12	38 936,9	1,25	11,9	-9,1
Spálená	2 958 415,1	50 249,1	1,70	51 268,7	1,73	2,0	-12,5
Tmavá Spálená	765 966,0	3 401,1	0,44	3 756,2	0,49	10,4	-55,8
Zadná Spálená	2 055 588,2	6 346,7	0,31	8 313,7	0,40	31,0	-10,4
<b>Celkem</b>	<b>32 905 020,4</b>	<b>139 002,1</b>	<b>0,42</b>	<b>150 995,9</b>	<b>0,46</b>	<b>8,6</b>	<b>-12,3</b>

**Poznámka:** Průměrná velikost chyby vymezení plochy TA oblastí jednotlivých mur v roce 1986 činí  $\pm 31,4 \text{ m}^2$ , v roce 2003 činí  $\pm 21,6 \text{ m}^2$ .

V období 1986 – 2003 došlo k mírnému nárůstu průměrné délky transportně-akumulačních oblastí mur (o 5,7 %; Tabulka 11). K největšímu nárůstu průměrné délky transportně-akumulačních oblastí mur, podobně jako v případě plochy, došlo v Dlhé Jamě (o 48 %). Naopak k úbytku délky v roce 2003 (oproti roku 1986) došlo v Roháčské dolině (o 21,3 %) a v Tmavé Spálené dolině (o necelé 1 %).

V roce 2003 je průměrná délka transportně-akumulačních oblastí o 7,9 % kratší ve srovnání s rokem 1973. Největší rozdíl průměrné délky transportně-akumulačních oblastí v roce 2003 oproti roku 1973 je ve Tmavé Spálené dolině (pokles o 28,7 %) nebo v Roháčské dolině (pokles o 23 %). Nárůst průměrné délky transportně-akumulačních oblastí v roce 2003 oproti roku 1973 byl zaznamenán pouze v Dlhé Jamě (o 32,8 %) nebo v Salatínské dolině (o 7,2 %).

**Tabulka 11: Přehled změn délky TA oblastí mur v období 1986 – 2003**

Dolina	Průměrná délka TA oblastí -1986 (m)	Průměrná délka TA oblastí 2003 (m)	Rozdíl průměrné délky TA oblastí 1986 - 2003 (m)	Změna délky (1986 – 2003) (%)	Změna délky (1973 – 2003) (%)
Dhá Jama	124,2	183,8	59,6	48,0	32,8
Roháčská	170,5	134,2	-36,3	-21,3	-23,1
Roháčská plesa	174,2	187,8	13,6	7,8	-8,0
Salatínská	189,5	216,6	27,1	14,3	7,2
Smutná	216,9	231,4	14,5	6,7	-10,1
Spálená	193,4	194,4	1,0	0,5	-11,9
Tmavá Spálená	222,8	221,0	-1,9	-0,8	-28,7
Zadná Spálená	179,3	184,0	4,7	2,6	-1,1
<b>Celkem</b>	<b>192,2</b>	<b>203,1</b>	<b>10,9</b>	<b>5,7</b>	<b>-7,9</b>

V roce 2003 došlo k úbytku plochy transportně-akumulačních oblastí mur oproti roku 1986 na 40ti lokalitách z celkového počtu 91 lokalit, zatímco ke zvětšení plochy došlo na 51 lokalitách (viz Tabulka 12), což potvrzuje obecný trend nárůstu plochy transportně-akumulačních oblastí v tomto období. Tento trend je patrný také v případě délek transportně-akumulačních oblastí mur (na 57 drahách bylo zaznamenáno zvětšení délky, zatímco ke snížení délky došlo na 34 drahách).

**Tabulka 12: Přehled změn délek TA oblastí mur v období 1986 – 2003**

Dolina	Počet uvažovaných drah	Dráhy s úbytkem plochy	Dráhy s úbytkem délky	Dráhy s nárůstem plochy	Dráhy s nárůstem délky
Dlhá Jama	4	0	1	4	3
Roháčská	4	3	3	1	1
Roháčská plesa	15	7	5	8	10
Salatínská	10	5	3	5	7
Smutná	26	11	8	15	18
Spálená	24	11	11	13	13
Tmavá Spálená	2	0	1	2	1
Zadná Spálená	6	3	2	3	4
<b>Celkem</b>	<b>91</b>	<b>40</b>	<b>34</b>	<b>51</b>	<b>57</b>

### 5.1.3 Změny plochy a délky transportně-akumulačních oblastí mur v období 2003 – 2015

Od roku 2003 do roku 2015 dochází k úbytku plochy i délky transportně-akumulačních oblastí mur až na minimum za celé sledované období. Frekvence nových případů mur ovšem zůstává podobná jako v předchozím období. Nově vzniklé transportně-akumulační oblasti jsou ovšem kratší a zpravidla pouze vyplňují koryta vzniklá při starších murových událostech. Výjimkou jsou některé případy mur, které se svou rozlohou nebo délkou přibližují parametrům mur v roce 1973 (např. lokalita výskytu SMU\_15 nebo TMS\_1). Akumulační část dráhy SMU\_15 zasahuje až dno Smutné doliny.

Mezi rokem 2003 a 2015 dochází k úbytku plochy transportně-akumulačních oblastí mur o 22,7 % (viz Tabulka 13). Výrazný pokles plochy je zaznamenán v Dlhé Jamě (pokles o 60,8 %), dále v Salatínské dolině (pokles o 52 %). Jediné z údolí, kde došlo k nárůstu plochy transportně-akumulačních oblastí mur, je Tmavá Spálená dolina (nárůst o 48,4 %). Celková plocha, kterou zaujímají transportně-akumulační oblasti mur v roce 2003 (150 996 m<sup>2</sup>), se v tomto období snížila na 116 770 m<sup>2</sup>. Celkový podíl transportně-akumulačních oblastí mur na ploše doliny se snížil z 0,46 % na 0,35 %. Nejvyšší podíl plochy transportně-akumulační oblasti mury v roce 2015 připadá na Spálenou dolinu (1,47 %) a na Smutnou dolinu (1,02 %), kde v roce 2014 došlo ke vzniku jedné z nejrozsáhlejších murových akumulací sledované oblasti (transportně-akumulační oblast SMU\_15, jejíž plocha se zvýšila z 6 324 m<sup>2</sup> v roce 2003 na

11 909 m<sup>2</sup> v roce 2015). Nejmenší podíl transportně-akumulačních oblastí mur na ploše doliny připadá na Roháčskou dolinu (pouze 0,02 %).

Ve srovnání s rokem 1973 je celková plocha transportně-akumulačních oblastí mur v roce 2015 menší o 32,2 %. K nejvýraznějšímu poklesu plochy transportně-akumulačních oblastí mur oproti roku 1973 došlo v Salatínské dolině (pokles o 52 %) nebo v Roháčské dolině, kde plocha transportně-akumulačních oblastí roku 2015 poklesla o 44 % oproti roku 1973. Nárůst plochy transportně-akumulačních oblastí v období 1973 – 2015 byl zaznamenán v Dlhé Jamě, kde se plocha transportně-akumulačních oblastí zvětšila o 10,3 %.

**Tabulka 13: Přehled změn ploch TA oblastí mur v období 2003 – 2015**

Dolina	Plocha doliny (m <sup>2</sup> )	Plocha TA oblastí -2003 (m <sup>2</sup> )	Podíl plochy TA oblastí na ploše údolí - 2003 (%)	Plocha TA oblastí 2015 (m <sup>2</sup> )	Podíl plochy TA oblastí na ploše doliny - 2015 (%)	Změna plochy (2003 - 2015) (%)	Změna plochy (1973 - 2015) (%)
Dlhá Jama	3 161 464,8	6 469,5	0,20	2 533,6	0,08	-60,8	10,3
Roháčská	15758 805,7	4 709,2	0,03	3 520,1	0,02	-25,3	-44,0
Roháčská plesa	1 661 745,3	19 861,4	1,20	15 746,7	0,95	-20,7	-41,0
Salatínská	3 431 894,6	17 680,3	0,52	8 480,8	0,25	-52,0	-52,0
Smutná	3 111 140,7	38 936,9	1,25	31 707,9	1,02	-18,6	-26,0
Spálená	2 958 415,1	51 268,7	1,73	43 465,2	1,47	-15,2	-25,8
Tmavá Spálená	765 966,0	3 756,2	0,49	5 573,2	0,73	48,4	-34,4
Zadná Spálená	2 055 588,2	8 313,7	0,40	5 743,0	0,28	-30,9	-38,1
<b>Celkem</b>	<b>32905 020,4</b>	<b>150 995,9</b>	<b>0,46</b>	<b>116 770,4</b>	<b>0,35</b>	<b>-22,7</b>	<b>-32,2</b>

**Poznámka:** Průměrná velikost chyby vymezení plochy TA oblastí jednotlivých mur v roce 2003 činí ± 21,6 m<sup>2</sup> a v případě roku 2015 průměrná chyba dosahuje ± 12,4 m<sup>2</sup>.

Průměrná délka transportně-akumulačních oblastí mur se v období 2003 – 2015 snížila o 20,9 % (viz Tabulka 14). Ve všech údolích (kromě Tmavé Spálené doliny, kde došlo k nárůstu o 29,7 %) byl zaznamenán pokles průměrné délky transportně-akumulačních oblastí mur. K nejvýraznějšímu poklesu došlo v Salatínské dolině (o 31 %) a ve Smutné dolině (o 29,1 %). Nárůst průměrné délky transportně-akumulačních oblastí byl zaznamenán pouze v Tmavé Spálené dolině (29,7 %), podobně jako v případě ploch transportně-akumulačních oblastí mur.

V období let 1973 – 2015 byl zaznamenán úbytek průměrné délky transportně-akumulačních oblastí mur o 27,1 %. K nejvýraznějšímu úbytku průměrné délky došlo ve Smutné dolině (pokles o 36,3 %) a v Roháčské dolině (pokles o 35,2 %).

K nejmenšímu úbytku došlo v Dlhé Jamě (pokles jen o 0,8 %) a Tmavé Spálené dolině (pokles o 7,6 %). V žádném údolí v tomto období nebyl zaznamenán nárůst průměrné délky transportně-akumulačních oblastí mur.

**Tabulka 14:** Přehled změn průměrné délky TA oblastí mur v období let 2003 – 2015

Dolina	Průměrná délka TA oblastí -2003 (m)	Průměrná délka TA oblastí 2015 (m)	Rozdíl délky TA oblastí 2003 - 2015 (m)	Změna délky (2003 – 2015) (%)	Změna délky (1973 – 2015) (%)
Dlhá Jama	183,8	137,3	-46,5	-25,3	-0,8
Roháčská	134,2	113,0	-21,2	-15,8	-35,2
Roháčská plesa	187,8	147,8	-40,1	-21,3	-27,6
Salatínská	216,6	149,6	-67,1	-31,0	-26,0
Smutná	231,4	164,0	-67,4	-29,1	-36,3
Spálená	194,4	172,9	-21,5	-11,1	-21,7
Tmavá Spálená	221,0	286,6	65,6	29,7	-7,6
Zadná Spálená	184,0	154,4	-29,6	-16,1	-17,0
<b>Celkem</b>	<b>203,1</b>	<b>160,7</b>	<b>-42,4</b>	<b>-20,9</b>	<b>-27,1</b>

Mezi roky 2003 a 2015 je zaznamenán převažující pokles plochy i délky transportně-akumulačních oblastí mur. Na 69ti drahách z 91 dochází k úbytku plochy i délky a pouze na 22 drahách došlo k nárůstu obou těchto parametrů (viz Tabulka 15).

**Tabulka 15:** Přehled změn délek TA oblastí mur v období 2003 – 2015

Dolina	Počet uvažovaných drah	Dráhy s úbytkem plochy	Dráhy s úbytkem délky	Dráhy s nárůstem plochy	Dráhy s nárůstem délky
Dlhá Jama	4	4	4	0	0
Roháčská	4	3	4	1	0
Roháčská plesa	15	11	14	4	1
Salatínská	10	10	9	0	1
Smutná	26	21	19	5	7
Spálená	24	14	13	10	11
Tmavá Spálená	2	0	0	2	2
Zadná Spálená	6	6	6	0	0
<b>Celkem</b>	<b>91</b>	<b>69</b>	<b>69</b>	<b>22</b>	<b>22</b>

Celkem bylo pro analýzu změn plochy a délky transportně-akumulačních oblastí mur v jednotlivých obdobích použito 91 mur, kde byl jasně patrný celý plošný rozsah transportně-akumulační oblasti. Největší plošný rozsah transportně-akumulačních oblastí mur byl zaznamenán na ortofotech z roku 1973. V tomto období celková plocha transportně-akumulačních oblastí činila 172 118 m<sup>2</sup> (0,17 km<sup>2</sup>) a zaujímala tak 0,5 % celkové plochy zájmového území. V následujících obdobích docházelo k úbytku plochy transportně-akumulačních oblastí mur oproti tomuto roku (viz Tabulka 16). Pouze v období 1986 – 2003 došlo k mírnému nárůstu plochy i délky transportně-akumulačních oblastí mur (přibližně o 7 % oproti rozloze předchozího období), ovšem velikost plochy ani délka transportně-akumulačních oblastí mur v žádném období nepřevyšovala plochu a délku mur v roce 1973. Na konci sledovaného období (v roce 2015) je zaznamenán nejnižší plošný rozsah transportně-akumulačních oblastí (116 770 m<sup>2</sup>), zaujímající přibližně 68 % původní rozlohy v roce 1973.

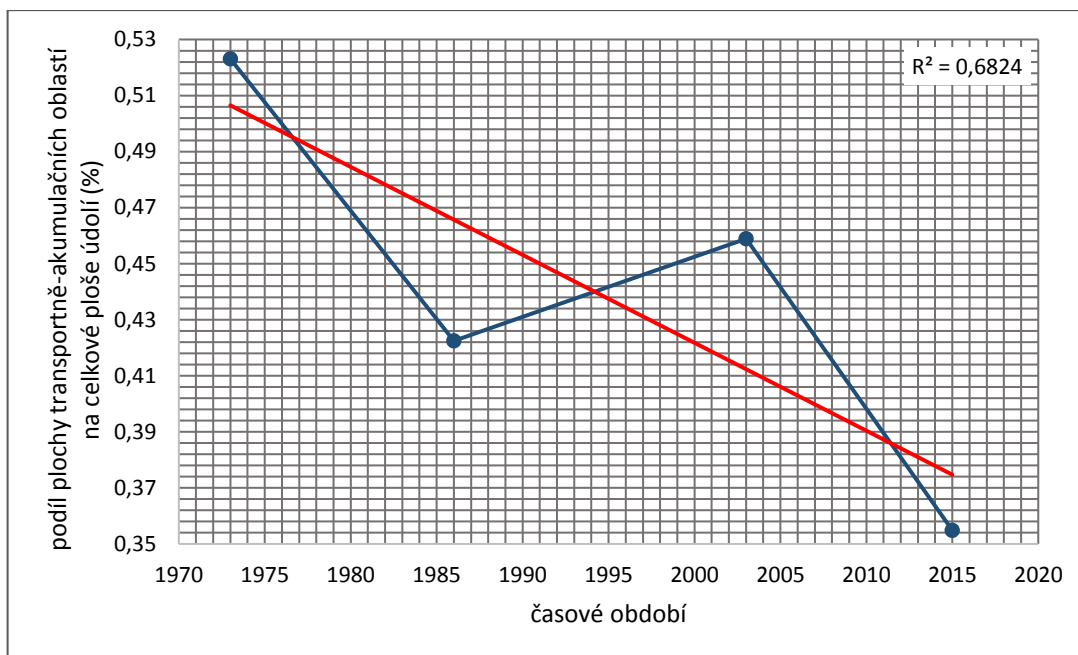
**Tabulka 16:** Přehled velikostí ploch a délek v jednotlivých sledovaných letech

Rok	Plocha TA oblastí (m <sup>2</sup> )	Podíl plochy TA oblastí na ploše TA oblastí v roce 1973 (%)	Změny plochy TA oblasti oproti předchoz. obd. (%)	Podíl plochy TA oblastí na ploše doliny (%)	Průměrná délka TA oblastí (m)	Změny délky TA oblastí oproti předchozí. obd. (%)
1973	172 117,93	100,00	100,00	0,52	220,45	100,00
1986	139 002,11	80,76	-19,2	0,42	192,19	-12,8
2003	150 995,90	87,73	8,6	0,46	203,11	5,7
2015	116 770,42	67,84	-22,7	0,35	160,74	-20,9

**Poznámka:** TA značí transportně-akumulační oblast

Celkový trend ve vývoji velikosti plochy v jednotlivých časových obdobích je zobrazen na obrázku 16. Největší podíl plochy transportně akumulacních oblastí na celkové ploše údolí měly mury v roce 1973. Po tomto roce dochází k úbytku plochy transportně-akumulačních oblastí mur, který je následován opětovným nárůstem plochy v roce 2003. Po roce 2003 dochází k úbytku velikosti ploch až na minimum ve sledovaném období. Celkový úbytek plochy transportně-akumulačních oblastí mur v období let 1973 – 2015 dokazuje také zřetelný pokles přímky lineární regrese s hodnotou koeficientu determinace  $R^2 = 0,6824$ .





**Obrázek 16:** Trend vývoje podílu plochy TA oblastí na celkové ploše zájmového území (znázorněn červenou přímkou)

Ve sledovaném období 42 let lze na vybraných drahách identifikovat 3 – 4 generace mur. Velké množství plošně rozsáhlých transportně-akumulačních oblastí mur vzniklo v 70. letech nebo na konci 60. let 20. století a lze je dobře identifikovat na leteckých snímcích z roku 1973. Do roku 1986 došlo v zájmovém území k poklesu aktivity mur, na některých drahách lze za toto 13ti leté období rozeznat pravděpodobně pouze 1 generaci nových případů mur. Mezi roky 1986 – 2003 (17 let) se frekvence vzniku nových generací transportně-akumulačních oblastí mur zvyšuje, na vybraných drahách lze identifikovat až dvě nové generace mur. Podobně je tomu v období let 2003 – 2015, kdy lze na některých lokalitách identifikovat až 1 až 2 nové generace mur, jejich plošný rozsah je ovšem malý.

#### 5.1.4 Statistická významnost rozdílů mezi jednotlivými obdobími

Fischerův LSD post-hoc test prokázal statistickou významnost rozdílů ploch transportně-akumulačních oblastí mezi počátečním a posledním rokem sledovaného období 1973 a 2015, dále mezi roky 1986 a 2015, a 2003 a 2015 (viz Tabulka 17). Bylo prokázáno, že mezi jednotlivými po sobě následujícími obdobími (s výjimkou posledního období let 2003 – 2015) statisticky významné rozdíly průměrů ploch TA oblastí nejsou.

**Tabulka 17:** Výsledky Fisherova LSD post-hoc testu pro plochy TA oblastí jednotlivých let

	1973	1986	2003	2015
1973				
1986	0,266120			
2003	0,883185	0,334326		
2015	0,000680	0,021252	0,001138	

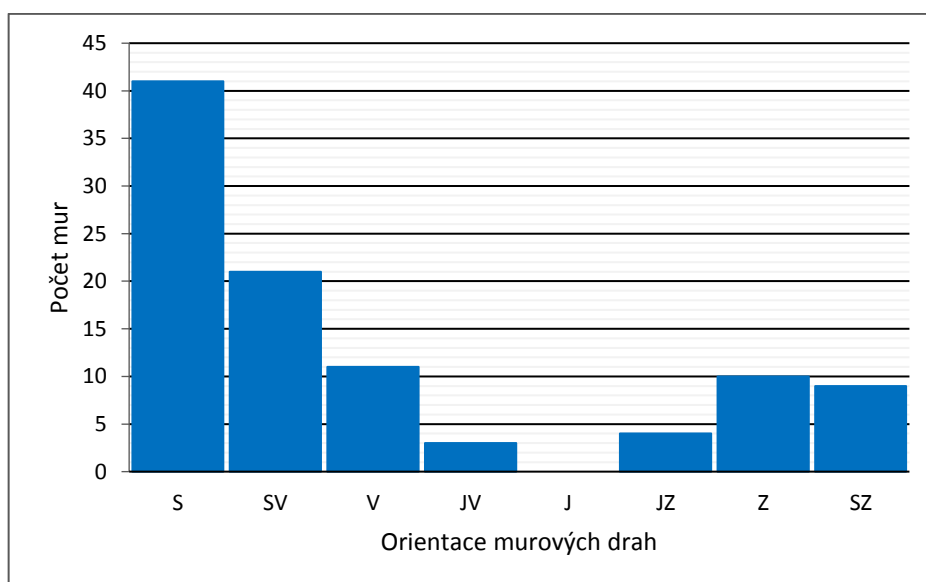
Podobné výsledky Fisherova LSD testu vycházejí v případě délek transportně-akumulačních oblastí mur – prokázána je statistická významnost rozdílů průměrů délek mezi roky 1973 – 2015, 1986 – 2015 a 2003 – 2015, v ostatních případech statistická významnost prokázána nebyla (viz Tabulka 18).

**Tabulka 18:** Výsledky Fisherova LSD post-hoc testu pro délky TA oblastí jednotlivých let

	1973	1986	2003	2015
1973				
1986	0,118277			
2003	0,386591	0,485056		
2015	0,000063	0,013426	0,001582	

## 5.2 Morfometrické charakteristiky mur

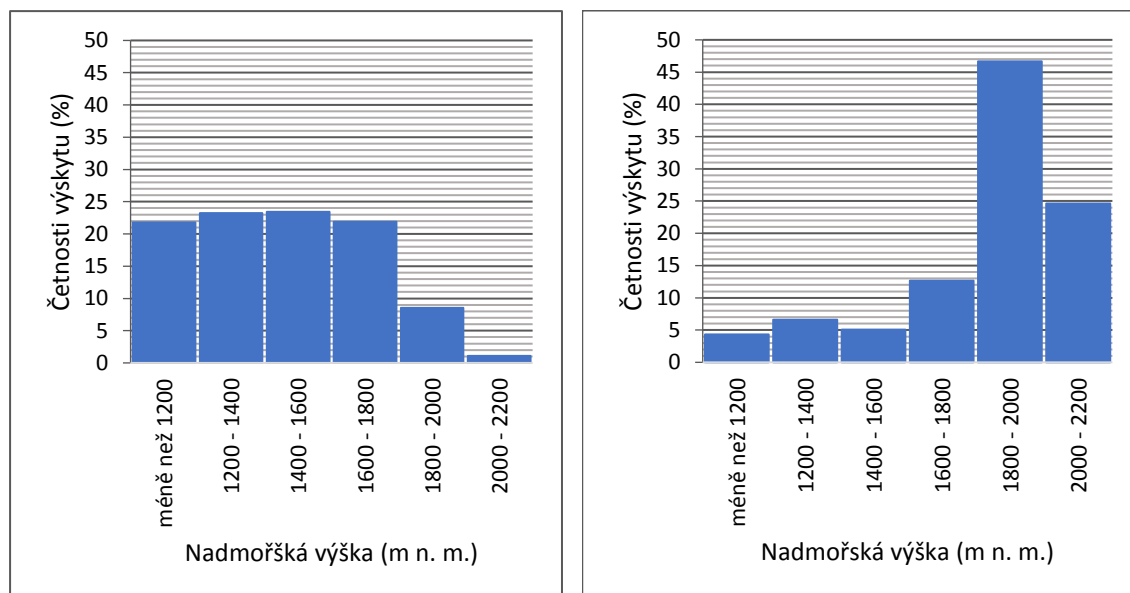
Nejvíce mur se nachází na severně, severovýchodně, východně a západně orientovaných svazích oblasti hlavního hřebene Západních Tater, zatímco na svazích s jižní, jihovýchodní nebo jihozápadní orientací (převážně oblasti mimo hlavní hřeben Západních Tater) se nachází minimum mur. Nejvyšší počet mur nabývá průměrné severní orientace (celkem 41 případů), zatímco jižní orientace se v zájmovém území nikde nevyskytuje (viz Obrázek 17). Tato nerovnoměrnost je podmíněna polohou zájmového území v rámci Západních Tater – nachází se v údolích, kde severní, severovýchodní a východní svahy jsou nejvíce rozšířené, zatímco jižní svahy mají obecně nejnižší zastoupení.



**Obrázek 17:** Četnosti murových drah v jednotlivých kategoriích orientace

Pro jednotlivé mury (zdrojové i transportně-akumulační oblasti dohromady) byla zjišťována četnost zastoupení nadmořské výšky a sklonu v jednotlivých výškových kategoriích a kategoriích sklonu a porovnávána s hodnotami zastoupení oblastí, kde se mury nevyskytují (Obrázek 18). V případě nadmořské výšky bylo zjištěno, že mury se vyskytují převážně v kategorii nadmořské výšky 1800 – 2000 m n. m. (téměř 47 % případů mur). Další podstatná část mur (25 %) se nachází v nejvyšších nadmořských výškách sledovaného území (2000 – 2200 m n. m.). Nejméně zastoupená je nadmořská výška v kategorii nižší než 1200 m n. m. (1020 – 1200 m n. m.). U mur v zájmové

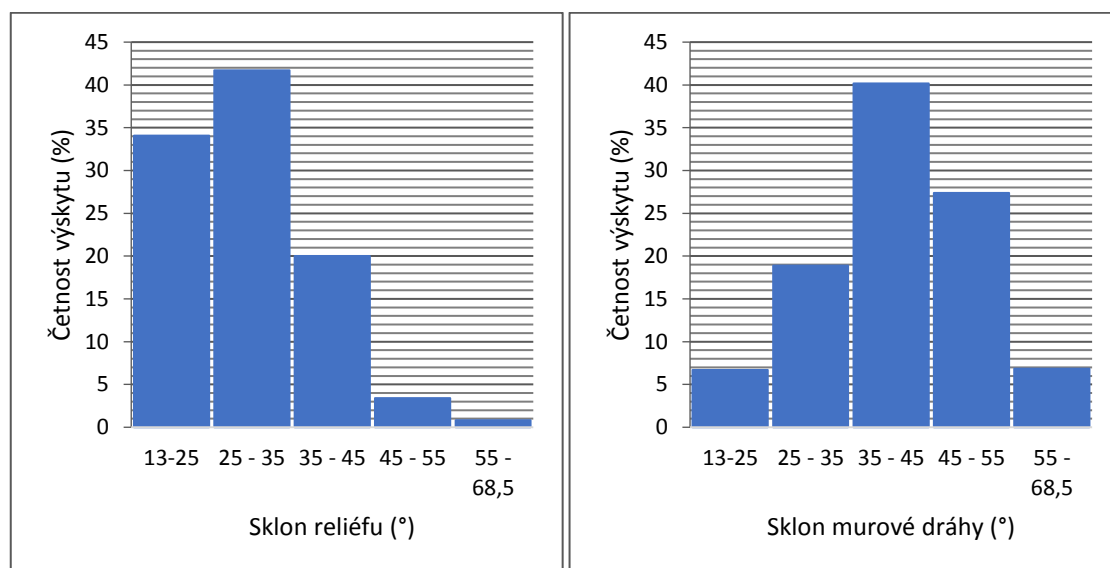
oblasti tedy jasně dominuje výskyt v nejvyšších nadmořských výškách území, zatímco v níže položených oblastech se mury vyskytují jen zřídka. Nadmořská výška oblastí bez výskytu mur je rovnoměrně rozdělena do jednotlivých kategorií nadmořské výšky a naopak kategorie nejvíce zastoupené v případě mur jsou v tomto případě kategoriemi nejméně zastoupenými. Nejvíce zastoupenými jsou kategorie 1200 – 1400 m n. m. a 1400 – 1600 m n. m. (obě se zastoupením téměř 23 %), ovšem kategorie nadmořské výšky do 1200 m n. m. a 1600 – 1800 m n. m. jsou zastoupeny téměř shodně po 22 %. Protože se četnosti zastoupení nadmořských výšek murových drah výrazně odlišují od zastoupení nadmořských výšek v oblastech bez výskytu mur, lze tedy konstatovat, že v zájmovém území vznik mur ovlivňuje nadmořská výška.



**Obrázek 18:** Zastoupení jednotlivých kategorií nadmořské výšky pro oblasti bez murových drah (vlevo) a s výskytem murových drah (vpravo)

Obdobným způsobem byla sledována také četnost zastoupení mur a oblastí bez výskytu mur v jednotlivých kategoriích sklonu (Obrázek 19). I v tomto případě byla zjištěna nejčetnější (40 % hodnot) kategorie s větším sklonem reliéfu (35° - 45°; Obrázek 19) než v případě oblastí bez výskytu mur, kde dominuje kategorie 25° - 35° (42 %). Obecně jsou v případě mur více zastoupeny kategorie s vyšším sklonem reliéfu, než v oblastech bez výskytu mur. Zatímco v kategorii s nejvyšším sklonem reliéfu bez výskytu mur (55° - 65°) se vyskytuje pouze necelé 1 % celkové plochy zájmové oblasti, mury mají v této kategorii téměř 7% zastoupení. Sklon reliéfu je tedy dalším

z významných faktorů, které ovlivňují vznik mur, jak je patrné z většího zastoupení vyšších hodnot sklonu reliéfu v murových drahách než v oblastech bez výskytu mur.



**Obrázek 19:** Zastoupení jednotlivých kategorií sklonu pro oblasti bez murových drah (vlevo) a s výskytem murových drah (vpravo)

Průměrné hodnoty vybraných morfometrických charakteristik zdrojových i transportně-akumulačních oblastí mur byly porovnávány za jednotlivá údolí (Tabulka 19). Největší průměrná plocha zdrojových oblastí murových drah byla zjištěna v Dlhé Jamě (21 427 m<sup>2</sup>). V tomto případě ale průměrná hodnota vychází z malého počtu případů (4) s vyrovnanou velikostí všech zdrojových oblastí mur (nenachází se zde výrazně menší zdrojové oblasti, které by průměrnou hodnotu snižovaly). Nejmenší průměrná plocha zdrojových oblastí mur byla zaznamenána v oblasti Roháčských ples (6 104 m<sup>2</sup>). Analýza rozptylu ANOVA potvrzuje statisticky významné rozdíly mezi plochou zdrojové oblasti mur Dlhé Jamy a zdrojových oblastí mur Roháčských ples. Další signifikantní rozdíly byly zjištěny v případě průměrných ploch zdrojových oblastí Smutné doliny a Roháčských ples. Rozdíly mezi průměrnými plochami zdrojových oblastí mur ostatních údolí signifikantní nejsou.

V nejvyšší průměrné nadmořské výšce se zdrojové oblasti mur nacházejí ve Spálené dolině (1996 m), zatímco v nejnižší průměrné nadmořské výšce se nacházejí zdrojové oblasti Roháčské doliny (v průměrné nadmořské výšce 1593 m n. m.). Roháčská dolina s nejnižší průměrnou nadmořskou výškou je podle analýzy rozptylu nejvíce signifikantně odlišná od všech ostatních údolí. Signifikantně odlišná je také

Spálená dolina (od Roháčské, Salatínské, Smutné doliny a Dlhé Jamy). Od ostatních údolí se nejméně odlišují Tmavá Spálená a Zadná Spálená dolina.

Největší průměrný sklon zdrojových oblastí zájmové oblasti byl zaznamenán v oblastech s nejvyšší průměrnou nadmořskou výškou zdrojových oblastí – ve Spálené dolině (téměř 48°), která je, stejně jako v předchozím případě signifikantně odlišná od Roháčské, Salatínské, Smutné doliny a Dlhé Jamy. Naopak nejnižší průměrný sklon zdrojových oblastí je zaznamenán v Roháčské dolině, která je svou průměrnou hodnotou sklonu signifikantně odlišná od oblasti Roháčských ples nebo Smutné a Spálené doliny.

V Roháčské dolině se nachází nejdelší západně a jihozápadně orientovaný svah celého zájmového území, který disponuje vyššími průměrnými hodnotami příkonu slunečního záření (v průměru v této dolině zdrojové oblasti mur dosahují hodnoty příkonu slunečního záření 1 061 656,9 Wh.m<sup>-2</sup>), nejnižší příkon slunečního záření se dostává zdrojovým oblastem severně orientovaného svahu v okolí Roháčských ples (557 744,3 Wh.m<sup>-2</sup>). Zdrojové oblasti Roháčské doliny vykazují signifikantní odlišnost v průměrném příkonu slunečního záření oproti téměř všem statním údolím. Nejméně signifikantních rozdílů v průměrném příkonu slunečního záření oproti ostatním údolím je zaznamenán v Zadné Spálené dolině nebo v Salatínské dolině.

Transportně-akumulační oblasti mur dosahují největšího plošného rozsahu v Tmavé Spálené dolině (kde ovšem průměrná hodnota vychází pouze ze dvou murových drah), naopak nejmenší průměrný plošný rozsah je dosažen v Dlhé Jamě, kde se sice vyskytují plošně rozsáhlé zdrojové oblasti, ale ve většině případů tyto dráhy nejsou v současnosti příliš aktivní. Podle výsledků Fisherova LSD post-hoc testu jsou si plochy transportně-akumulačních oblastí podobné, signifikantní rozdíly jsou zaznamenány pouze mezi Salatínskou a Tmavou Spálenou dolinou a Smutnou dolinou, Tmavou Spálenou a Spálenou dolinou. Nejméně signifikantních rozdílů se nachází mezi Tmavou Spálenou, Zadnou Spálenou a ostatními údolím.

Podobně jako v případě průměrné nadmořské výšky zdrojových oblastí jsou i transportně-akumulačních oblastí v průměru nejvýše položeny ve Spálené dolině (1846 m n. m.) a nejnižší taktéž v Roháčské dolině (1491 m n. m.). Roháčská dolina je z hlediska průměrné nadmořské výšky signifikantně odlišná od všech ostatních údolí s výjimkou Dlhé Jamy. Nejméně odlišná od ostatních dolin je naopak např. Salatínská nebo Zadná Spálená dolina.

Průměrný sklon transportně-akumulačních oblastí se na rozdíl od zdrojových oblastí mezi jednotlivými údolími příliš neliší, signifikantní rozdíl průměrného sklonu nebyl zaznamenán v žádném údolí. Nejvyšší průměrný sklon transportně-akumulačních oblastí murových drah se nachází v oblasti Roháčských ples (36,4°), zatímco na nejméně skloněném svahu se nacházejí transportně-akumulační oblasti Tmavé Spálené doliny (téměř 34°). Maximální a minimální průměrný příkon slunečního záření transportně-akumulačních oblastí je rozložen stejně, jako v případě zdrojových oblastí – průměrně nejvíce osluněné jsou transportně-akumulační oblasti Roháčské doliny (1 078 012,3 Wh.m<sup>-2</sup>) a nejméně v oblasti Roháčských ples (636 641,5 Wh.m<sup>-2</sup>). Transportně-akumulační oblasti Roháčské doliny, tak jako v případě zdrojových oblastí mur, vykazují signifikantně větší příkon slunečního záření oproti ostatním údolím.

**Tabulka 19:** Přehled průměrných morfometrických charakteristik zdrojových a transportně-akumulačních oblastí za jednotlivá údolí

Dolina	Průměrná plocha (m <sup>2</sup> )	Průměrná délka (m)	Průměrná nadm. v. (m n. m.)	Průměrný sklon (°)	Příkon sl. zář. (Wh.m <sup>-2</sup> )
<b>Zdrojové oblasti</b>					
Dlhá Jama	21 427,1	255,1	1 831,8	38,5	697 131,8
Roháčská	9 016,6	188,2	1 593,4	36,0	1 061 656,9
Roháčská plesa	6 103,9	155,7	1 943,6	45,4	557 744,3
Salatínská	13 861,9	206,1	1 923,7	40,5	877 498,6
Smutná	15 235,7	329,3	1 903,4	43,6	748 162,7
Spálená	13 138,1	234,5	1 996,0	47,8	570 714,0
Tmavá Spálená	10 121,0	187,3	1 957,3	39,6	933 374,2
Zadná Spálená	17 050,2	237,7	1 935,9	41,2	676 173,9
<b>Transportně-akumulační oblasti</b>					
Dlhá Jama	633,4	137,3	1 682,4	36,1	686 443,4
Roháčská	880,0	113,0	1 490,5	35,7	1 078 012,3
Roháčská plesa	1 049,8	147,8	1 832,6	36,4	636 641,5
Salatínská	848,1	149,6	1 798,9	34,6	892 572,0
Smutná	1 219,5	164,0	1 730,1	35,5	787 451,8
Spálená	1 811,0	172,9	1 846,0	35,8	643 789,8
Tmavá Spálená	2 786,6	286,6	1 805,5	33,9	902 829,3
Zadná Spálená	957,2	154,4	1 785,1	36,3	747 811,2

Pro všechny zdrojové a transportně-akumulační oblasti mur byly zjištěny minimální, maximální a průměrné hodnoty vybraných morfometrických charakteristik. Průměrná plocha, kterou zaujímají zdrojové oblasti mur v zájmovém území (bez započítaných dvou v terénu zmapovaných zdrojových oblastí lokalit ROH\_B a ROH\_J), činí přibližně 13 000 m<sup>2</sup>, zatímco jejich průměrná délka dosahuje přibližně 243,5 m (viz Tabulka 20). Zdrojové oblasti mur zájmového území se nacházejí v průměrné nadmořské výšce přibližně 1923 m n. m. Průměrná minimální nadmořská výška, ve které se zdrojové oblasti mur nacházejí, činí 1830 m n. m., zatímco průměrná nejvyšší nadmořská výška zdrojových oblastí mur činí 1999 m n. m. Dále bylo zjištěno, že průměrná velikost vertikálního rozpětí zdrojových oblastí mur zájmového území činí 169 m (23 – 465 m). Nejnižší nadmořská výška, ve které se zdrojová oblast mur nachází (bez započtení zmapovaných nejniže položených zdrojových oblastí lokalit ROH\_B a ROH\_J) byla zjištěna na 1432 m n. m., v případě zmapovaných, nejniže položených mur (lokalit ROH\_B a ROH\_J) se zdrojová oblast mur nachází nejniže v nadmořské výšce 1247 m n. m. Zdrojové oblasti mur zájmového území dosahují průměrného sklonu 43,8° (v rozmezí minimálních a maximálních průměrných hodnot 20,6° - 53,0°). Největší sklon zdrojových oblastí mur zájmového území činí 68,3°.

Průměrná velikost ploch transportně-akumulačních oblastí mur zájmového území dosahuje 1 283 m<sup>2</sup> a jejich délka přibližně 161 m. Transportně-akumulační oblasti mur (bez započítaných zmapovaných nejniže položených transportně-akumulačních oblastí mur lokalit ROH\_B a ROH\_J) leží v průměrné nadmořské výšce 1778 m n. m. (v nejnižší průměrné nadmořské výšce 1739 m n. m. a nejvyšší průměrné nadmořské výšce 1822 m n. m.). V případě zmapovaných transportně-akumulačních oblastí mur ROH\_B a ROH\_J průměrná nadmořská výška transportně-akumulačních oblastí činí 1088 m n. m. Velikost vertikálního rozpětí všech transportně-akumulačních oblastí mur dosahuje v průměru 83 m (3 – 267 m). Průměrný sklon svahů, na kterých se transportně-akumulační oblasti mur nacházejí (bez započtení nejniže položených lokalit ROH\_B a ROH\_J) činí 35,7° (průměrné minimální a maximální hodnoty sklonu se pohybují v rozpětí 29,4°- 43,2°), zatímco průměrný sklon zmapovaných, nejniže položených transportně-akumulačních oblastí mur (ROH\_B, ROH\_J) byl zjištěn pouze 15,3°.



**Tabulka 20:** Minimální, maximální a průměrné hodnoty vybraných morfometrických charakteristik zdrojových a transportně-akumulačních oblastí zájmového území

	Zdrojové oblasti			Transportně-akumulační oblasti		
	minimum	maximum	průměr	minimum	maximum	průměr
Plocha (m <sup>2</sup> )	207,2	84 717,0	13 032,3	88,5	11 909,0	1 283,2
Délka (m)	40,0	773,3	243,5	30,3	794,9	160,7
<b>Nadmořská výška (m n. m.)</b>						
minimální	1 432,0	2 010,5	1 830,4	1316,2	1 965,2	1 738,7
maximální	1 573,4	2 174,9	1 998,9	1430,1	2 005,7	1 821,9
průměrná	1 537,1	2 084,8	1 923,2	1370,2	1 979,6	1 777,8
vertikální rozpětí (m)	23,0	465,2	168,5	3,2	267,2	83,3
<b>Sklon (°)</b>						
minimální	10,0	53,4	20,6	5,2	39,5	29,4
maximální	37,8	68,3	53,0	32,1	59,9	43,2
průměrný	31,6	61,9	43,8	20,7	46,3	35,7
<b>Příkon slunečního záření (Wh.m<sup>-2</sup>)</b>						
minimální	244 994,0	1 261 013,6	532 322,4	279 636,3	1 263 147,4	653 723,7
maximální	430 621,6	1 400 382,6	1 066 230,4	537 958,2	1 297 211,4	817 717,2
průměrný	313 438,9	1 300 726,9	695 049,0	402 687,7	1 281 513,5	744 509,8

### 5.3 Korelace morfometrických charakteristik

Bylo zjištěno, že plocha ani délka zdrojové oblasti mur není závislá na orientaci vůči světovým stranám (hodnota Pearsonova korelačního koeficientu v případě plochy vyjadřuje velmi slabou nesignifikantní korelaci  $r = 0,18$ , v případě délky dokonce  $r = -0,07$  při hladině spolehlivosti  $p = 0,05$ ; viz Tabulka 22). Z analýzy krabicových diagramů lze zjistit nejmenší plochy zdrojových oblastí mur s jihozápadní a jihovýchodní orientací. V případě plochy i délky transportně-akumulačních oblastí mur byla zjištěna slabá korelace s orientací vůči světovým stranám. Hodnota Pearsonova korelačního koeficientu v případě plochy a orientace transportně-akumulační oblasti mur vůči světovým stranám činí  $r = 0,29$ , v případě délky a orientace vůči světovým stranám  $r = 0,28$  (Tabulka 22). Nejmenších ploch v zájmovém území (podle analýzy rozpětí průměrných a středních hodnot) dosahují transportně-akumulační oblasti mur s jihozápadní, západní a jihovýchodní orientací, zatímco na světové strany s obecně nejchladnějšími podmínkami (sever a východ) jsou orientovány transportně-akumulační oblasti mur s největším plošným rozsahem. Tento fakt je v zájmovém území ovšem podmíněn rozdílným charakterem reliéfu severně a jižně orientovaných svahů. Většina severně orientovaných ploch se nachází v oblastech s nejvyšší nadmořskou výškou

hřebenové části, kde se nachází většina skalních stěn s nejvyšší sklonitostí reliéfu. Mezi průměrnou nadmořskou výškou zdrojových oblastí mur a jejich orientací panuje slabá korelace (hodnota Pearsonova korelačního koeficientu činí  $r = 0,35$ ), nelze tedy konstatovat, že severně orientované zdrojové oblasti mur se nachází ve vyšší nadmořské výšce než zdrojové oblasti mur orientované k jihu, jihozápadu nebo jihovýchodu. V zájmové oblasti bylo zjištěno, že v průměru nejvýše (1996 m n. m.) se nacházejí zdrojové oblasti mur s východní orientací, dále zdrojové oblasti se severní orientací (1950 m n. m.) a se severovýchodní orientací (přibližně 1948 m n. m.). Nejnižší se nacházejí zdrojové oblasti mur s jihozápadní (1618 m n. m.) a západní orientací (1797 m n. m.). Silná korelace panuje mezi orientací zdrojových oblastí mur a sklonitostí reliéfu. Čím více se orientace přibližuje severní, tím více narůstá sklon reliéfu ( $r = 0,64$ ). Nejvyšších průměrných sklonů dosahují zdrojové oblasti mur se severní ( $49^\circ$ ) a severozápadní orientací ( $45^\circ$ ), zatímco nejnižší sklon se nachází v oblastech s jihozápadní orientací ( $33^\circ$ ) a jihovýchodní orientací ( $37^\circ$ ). Transportně-akumulační oblasti mur vykazují slabou závislost orientace a průměrné nadmořské výšky ( $r = 0,30$ ), dále mezi orientací transportně-akumulační oblasti mur a průměrným sklonem reliéfu transportně-akumulačních oblastí mur panuje velmi slabá korelace ( $r = 0,11$ ). V průměru nejvýše jsou položeny transportně-akumulační oblasti mur s jihovýchodní orientací (1879 m n. m.), ovšem v tomto případě se jedná spíše o dva výjimečné příklady. Dále mají nejvyšší průměrnou nadmořskou výšku transportně-akumulační oblasti mur s východní (1856 m n. m.) a severní orientací (1810 m n. m.). V nejnižší průměrné nadmořské výšce se nachází transportně-akumulační oblasti mur s jihozápadní (1526 m n. m.) a západní orientací (1599 m n. m.).

Orientace vůči světovým stranám má tedy slabý vliv na plochu, délku i průměrnou nadmořskou výšku transportně-akumulační oblasti mur. Pomocí korelační matice byly zjištěny další vlivy, které ovlivňují velikost plochy a délky transportně-akumulačních oblastí mur. Silná korelace byla prokázána mezi velikostí plochy transportně-akumulační oblasti mur a velikostí plochy zdrojové oblasti mur (hodnota Pearsonova korelačního koeficientu činí  $r = 0,65$ ). Plošně rozsáhlejší transportně-akumulační oblasti jsou tedy produkovány nejrozsáhlejšími zdrojovými oblastmi. Např. bylo zjištěno, že při velikosti zdrojové oblasti menší než  $1\ 000\ m^2$  odpovídá průměrná plocha transportně-akumulačních oblastí  $476\ m^2$  a v případě nejrozsáhlejších zdrojových oblastí, s plochou přesahující  $30\ 000\ m^2$  se průměrná plocha transportně-akumulačních oblastí pohybuje okolo  $3\ 471\ m^2$  (viz Tabulka 21).

**Tabulka 21:** Vypočítaná průměrná plocha TA oblastí odpovídající zvoleným velikostním kategoriím zdrojových oblastí

velikost zdrojové oblasti (m <sup>2</sup> )	průměrná plocha TA oblastí (m <sup>2</sup> )
0 - 1000	476
1000 - 5000	833
5000 - 15000	1120
15 000 - 30000	1318
30 000 - 84717	3471

Dalším z jevů slabě ovlivňujících plochu transportně-akumulační oblasti mur je rozpětí nadmořské výšky zdrojové oblasti (hodnota Pearsonova korelačního koeficientu činí  $r = 0,32$ ), resp. průměrná nadmořská výška zdrojové oblasti mur ( $r = 0,26$ ). Výraznější vertikální rozpětí zdrojových oblastí mur tedy může vést ke vzniku plošně rozsáhlejších transportně-akumulačních oblastí mur. Dále bylo prokázáno, že průměrná velikost sklonu zdrojové oblasti mur nemá na plochu transportně-akumulační vliv (prokázána velmi slabá korelace  $r = 0,13$ ).

Výrazný vliv na plochu transportně-akumulační oblasti mur má ovšem rozpětí nadmořské výšky (prokázána silná korelace  $r = 0,76$ ). Murové dráhy, které se v zájmovém území nacházejí v oblasti s největším vertikálním rozpětím nadmořské výšky podloží, tedy budou pravděpodobně plošně nejrozsáhlejší. Naopak průměrná nadmořská výška transportně-akumulační oblasti nemá na její plochu žádný vliv (velmi slabá korelace  $r = -0,009$ ). Dále bylo prokázáno, že dalším z faktorů slabě ovlivňujících velikost plochy transportně-akumulační oblasti je sklon reliéfu v místě, kde se transportně-akumulační oblast nachází (slabá korelace  $r = -0,39$ ). Zjištěná slabá korelace je negativní, z čehož vyplývá, že plošně rozsáhlejší transportně-akumulační oblasti mohou vznikat v oblastech s nižším sklonem reliéfu.

Velikost plochy zdrojové oblasti silně koreluje s rozpětím nadmořské výšky zdrojové oblasti ( $r = 0,64$ ), naopak bylo prokázáno, že velikost plochy zdrojové oblasti nesouvisí s nadmořskou výškou (podobně, jako v případě vztahu plochy transportně-akumulačních oblastí a nadmořské výšky). Hodnota Pearsonova korelačního koeficientu v tomto případě prokazuje velmi slabou korelaci  $r = 0,07$ .

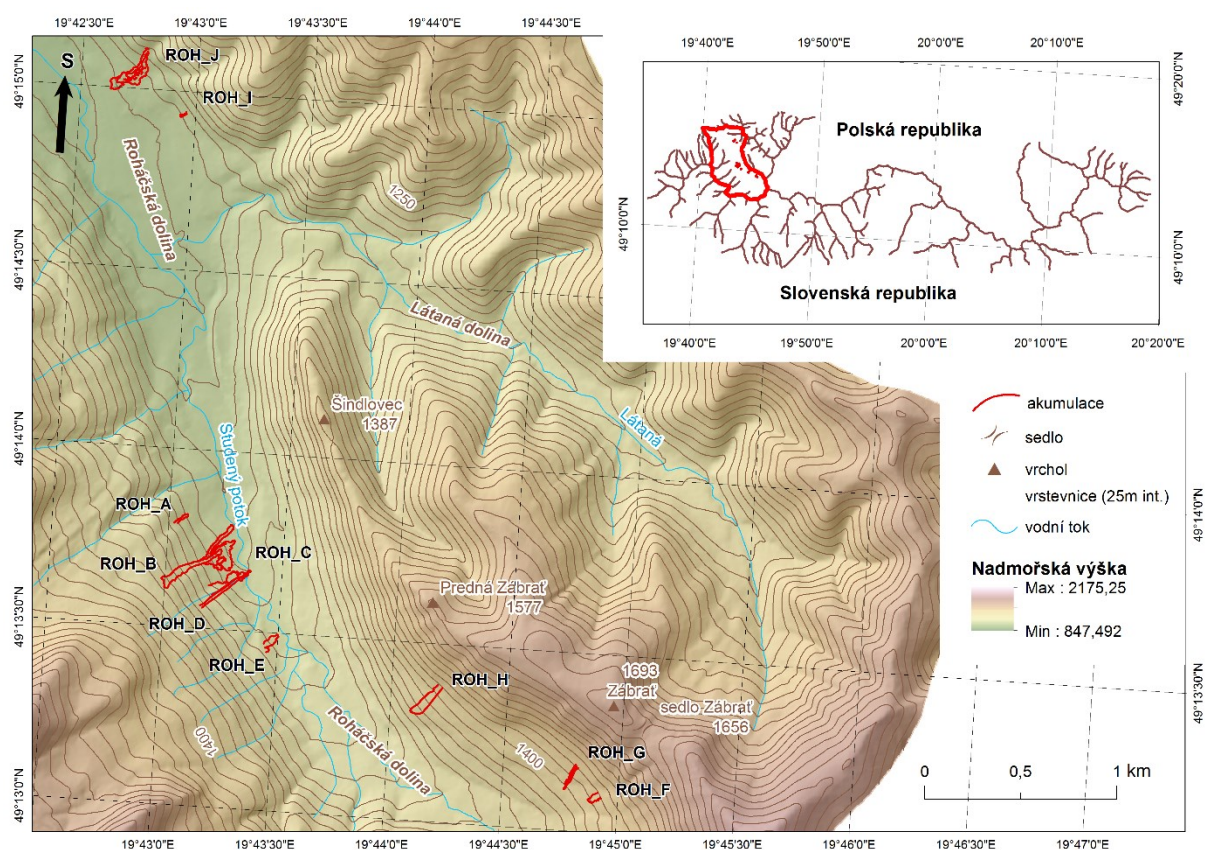
*Tabulka 22: Korelační matice pro vybrané morfometrické charakteristiky zdrojových oblastí (ZDR) a transportně-akumulačních oblastí (TA)*

	Plocha ZDR	Délka ZDR	Vertik. rozpětí ZDR	Průměrná nadm. v. ZDR	Průměrný sklon ZDR	Orientace ZDR	Plocha TA	Délka TA	Vertikální rozpětí TA	Průměrná nadm. v. TA	Průměrný sklon TA	Orientace TA
Plocha ZDR	1,000000											
Délka ZDR	<b>0,571938</b>	1,000000										
Vertik. rozpětí ZDR	<b>0,644587</b>	<b>0,923363</b>	1,000000									
Průměrná nadm. v. ZDR	0,066891	-0,100993	0,017864	1,000000								
Průměrný sklon ZDR	-0,005846	-0,040250	0,156212	<b>0,334865</b>	1,000000							
Orientace ZDR	0,175202	-0,069452	0,115614	<b>0,346478</b>	<b>0,643266</b>	1,000000						
Plocha TA	<b>0,654339</b>	<b>0,237134</b>	<b>0,319353</b>	<b>0,264889</b>	0,125651	<b>0,211816</b>	1,000000					
Délka TA	<b>0,561563</b>	<b>0,211515</b>	<b>0,273032</b>	<b>0,281823</b>	0,101683	0,154188	<b>0,867007</b>	1,000000				
Vertikální rozpětí TA	<b>0,437683</b>	0,103459	0,179141	<b>0,266804</b>	0,089470	0,123660	<b>0,759418</b>	<b>0,907274</b>	1,000000			
Průměrná nadm. v. TA	<b>-0,266131</b>	<b>-0,498174</b>	<b>-0,382148</b>	<b>0,877236</b>	<b>0,249737</b>	<b>0,268359</b>	-0,008856	-0,022035	-0,011274	1,000000		
Průměrný sklon TA	<b>-0,515933</b>	<b>-0,494930</b>	<b>-0,422414</b>	0,029359	<b>0,320231</b>	0,205562	<b>-0,389872</b>	<b>-0,443671</b>	<b>-0,291277</b>	<b>0,278013</b>	1,000000	
Orientace TA	<b>0,226762</b>	-0,073094	0,107921	<b>0,409443</b>	<b>0,571826</b>	<b>0,877760</b>	<b>0,292020</b>	<b>0,282074</b>	<b>0,237622</b>	<b>0,304951</b>	0,106939	1,000000

**Poznámka:** Červeně označené hodnoty jsou signifikantní na hladině významnosti  $p = 0,05$

## 5.4 Terenní mapování

Při terénních pracích bylo v Roháčské dolině zmapováno celkem 10 murových akumulací. V oblasti levého severovýchodně orientovaného svahu Roháčské doliny (skalní stupeň pod Saltínskou, Zadnou Spálenou a Spálenou dolinou) bylo identifikováno 5 murových akumulací, na pravém jižně a jihozápadně orientovaném svahu byly zmapovány 3 murové akumulace a v blízkosti Zverovky byly zmapovány další dvě akumulace (Obrázek 20). U většiny akumulací bylo zmapováno čelo a část transportně-akumulační oblasti (celkem na 7 akumulacích – ROH\_A, ROH\_C, ROH\_D, ROH\_E, ROH\_F, ROH\_H, ROH\_I). Tři akumulace byly zmapovány podrobněji (ROH\_B, ROH\_G a ROH\_J), kde byly v rámci akumulace zaznamenány jednotlivé podélné valy.



**Obrázek 20:** Přehled zmapovaných murových akumulací Roháčské doliny

Murová akumulace **ROH\_A** (Obrázek 21) se nachází na rozhraní skalního stupně Salatínské a Spálené doliny v nadmořské výšce přibližně 1117 – 1158 m. Jedná se o menší plochou akumulaci bez výraznějších podélných valů. Délka této zmapované části akumulace činí přibližně 77 m a šířka přibližně 13 m. Akumulace se nachází v terénní

sníženině, tvořena je většími skalními bloky, které jsou uspořádané do lalokovitého tvaru.



**Obrázek 21:** Akumulace ROH\_A

**Zdroj:** Tereza Dlabáčková

Lokalita **ROH\_B** se nachází na terénním stupni pod Zadnou Spálenou dolinou. Jedná se o morfologicky výraznou akumulaci, na které byly identifikovány jednotlivé podélné valy. Akumulace byla zaznamenána v celé délce od odlučné oblasti tvořené výraznější terénní hranou v nadmořské výšce přibližně 1260 m n. m. až po nejvzdálenější čelo akumulace nacházející se na dně údolí v blízkosti Studeného potoka (přibližně 1085 m n. m.). Dráha je tvořena přibližně 320 m dlouhým, 25 m širokým a až 5 m vysokým valem ROH\_B\_1 (Obrázek 22), který vyplňuje (při pohledu shora) levou stranu žlabu bezejmenného potoka. Tento val je pokryt vegetací a vzrostlými stromy. Val končí v nadmořské výšce přibližně 1106 m n. m., jeho čelo je ovšem rozplaveno, takže jeho přesný rozsah není příliš zřetelný. Spodní část akumulace ROH\_B je členitější – tvořena je systémem několika podélných valů. Nejvýraznější je podélný val v levé části akumulace (ROH\_B\_3), který zasahuje až do blízkosti Studeného potoka. Jeho délka činí přibližně 230 m, šířka 10 m a vysoký je přibližně 1 – 2 metry, v koncové části se výška valu zvětšuje až na 3 m. Před čelní výraznou částí akumulace je val v místě křížení s cestou přesušen a jeho povrch je zarovnan na výšku okolního terénu.

Vlevo od nejstaršího a nejméně výrazného valu se nachází menší val (ROH\_B\_4) s délkou přibližně 160 m a šířkou 5 m, který končí ještě před cestou. Dále pokračuje další část této akumulace, která navazuje na val ROH\_B\_3 a mezi cestou a Studeným potokem tvoří výrazný lalok (přibližně 2 m vysoký). Pravá část akumulace je tvořena plošně rozsáhlejšími a plochými akumulacemi. Nejvýraznějším v této části je val ROH\_B\_2 s délkou přibližně 40 m a výškou 1 – 2 m. Tato část akumulace je v současnosti modelována činností protékajícího bezejmenného potoka. Vpravo od valu ROH\_B\_1 byla zaznamenána rozsáhlá čerstvá odlučná oblast (Obrázek 23).



**Obrázek 22:** Akumulace ROH\_B

**Zdroj:** Tereza Dlabáčková



**Obrázek 23:** Odlučná oblast poblíž akumulace ROH\_B

**Zdroj:** Tereza Dlabáčková

Měření na třech blocích byla provedena na valu ROH\_B\_1, další tři bloky byly měřeny na levém valu, který pokračuje až ke Studenému potoku (val ROH\_B\_3) a další tři bloky byly měřeny na valu v pravé části akumulace (ROH\_B\_2).

Akumulace **ROH\_C** se nachází v blízkosti dráhy ROH\_B. Na této akumulaci byla zmapována morfologicky výrazná část transportně-akumulační oblasti a oblast čela. Zmapovaná část dráhy se nachází v nadmořské výšce přibližně 1102 – 1155 m a její délka činí přibližně 190 m. Čelo akumulace se nachází mezi cestou a Studeným potokem. Výše položená část akumulace je tvořena výraznými bloky, směrem ke Studenému potoku se velikost bloků zmenšuje.

Akumulace **ROH\_D** (Obrázek 24) se nachází ve žlabu skalního stupně pod Zadnou Spálenou dolinou. Akumulace se rozprostírá v nadmořské výšce 1100 – 1210 m n. m v celkové délce 315 m. Šířka skalního žlabu činí v průměru 14 m. Čelo akumulace je tvořeno plochou akumulací, která zasahuje až bezprostředně ke Studenému potoku.



**Obrázek 24:** Akumulace ROH\_D

**Zdroj:** Tereza Dlabáčková

Murová akumulace **ROH\_E** je tvořena výraznějším čelem (přibližně 2 m vysokým), které se nachází na svahu, nezasahuje tedy až na dno údolí. Zmapovaná část akumulace měří přibližně 95 m a široká je přibližně 47 m. V blízkosti tohoto výraznějšího valu se nachází další, méně výrazný val. Zmapovaná část této akumulace



se nachází v nadmořské výšce přibližně 1139 – 1163 m n. m. Akumulace je tvořena většími bloky, které jsou zpravidla pokryty mechem.

Akumulace **ROH\_F** (Obrázek 25) se nachází na pravém svahu Roháčské doliny přibližně pod vrcholem Zábrat'. Zmapována byla morfologicky výrazná část transportně-akumulační oblasti (nejvýše ve výšce přibližně 1450 m n. m.) a její čelo ve výšce 1420 m n. m. Celková délka této části činí přibližně 68 m a šířka přibližně 30 m. Čelo akumulace je tvořeno většími bloky, celková výška tohoto čela činí přibližně 1 m.



**Obrázek 25:** Akumulace ROH\_F

**Zdroj:** Tereza Dlabáčková

Na lokalitě **ROH\_G** (Obrázek 26) se nachází jedna z členitějších akumulací, na které byly identifikovány 2 hlavní podélné valy (levý je členitější) a několik jednotlivých čel podélných valů. Zmapována byla pouze část transportně-akumulační oblasti této mury ve výšce 1395 – 1451 m n. m., zdrojová oblast identifikována nebyla. Akumulace je tvořena paralelními valy, mezi nimiž (v době terénního měření v květnu) v mírně zahloubené sníženině protékala voda. Pravý podélný val je nečleněný, měří přibližně 114 m, široký je 8,5 m a vysoký přibližně 1 – 2 m. Naopak na levém podélném valu lze identifikovat několik čel. První čelo se nachází ve výšce přibližně 1444 m n. m. (výška čela činí přibližně 2 m), další čelo tohoto podélného valu bylo zaznamenáno přibližně ve výšce 1418 m n. m. Toto čelo je méně výrazné, vysoké přibližně 1 m. Levý podélný val je delší a jeho čelo bylo zaznamenáno až ve výšce

přibližně 1395 m n. m. Levá část akumulace je celkově delší (přibližně 138 m), šířka podélného valu je v horní části podobná jako u předchozího (cca 8 m), v dolní části se val zužuje na přibližně 5 m.



**Obrázek 26:** Akumulace ROH\_G (pravý boční val)

**Zdroj:** Tereza Dlabáčková

Lokalita **ROH\_H** se nachází v lesním průseku severovýchodně orientovaného skalního stupně pod Zadnou Spálenou dolinou. Zmapována byla pouze morfologicky výrazná část transportně-akumulační oblasti ve výšce přibližně 1300 – 1400 m n. m. Jedná se o plochou akumulaci s průměrnou šířkou 30 m, na které nebyly identifikovány žádné výrazné podélné valy.

Akumulace **ROH\_I** (Obrázek 27) se nachází na jihozápadně orientovaném svahu pod vrcholem Javorina. Zmapováno bylo pouze čelo této akumulace ve výšce přibližně 1048 – 1465 m n. m. Délka této zmapované části akumulace činí 41 m, průměrná šířka 7 m. Jedná se o menší akumulaci bloků pod skalním žlabem, které jsou silně porostlé lišejníky.



**Obrázek 27:** Akumulace ROH\_I

**Zdroj:** Tereza Dlabáčková

Murová akumulace **ROH\_J** je jednou z nejčlenitějších, které byly v zájmové oblasti identifikovány. Na této lokalitě byla identifikována řada jednotlivých podélných valů, které se nacházejí ve žlabu bezejmenného potoka. Zdrojovou oblast této mury lze identifikovat pomocí leteckých snímků jako průsek v lesním porostu. Tato dráha byla popsána již Ingrem a Šarikem (1970), podle kterých na této dráze dne 19. června 1970 došlo ke vzniku výrazné mury po intenzivních srážkách, při kterých napadlo až 61 mm a 156 mm srážek během dvou po sobě následujících dní před vznikem mury. Odlučná oblast, která vznikla při této události, je patrná na leteckých snímcích z roku 1973 a identifikovat ji lze i v terénu dodnes. Protože k této události v roce 1970 došlo v blízkosti tehdejšího rekreačního střediska a dalších budov, byla část této akumulace sanována. V pravé části akumulace se nachází výrazný, přibližně 270 m dlouhý boční val (ROH\_J\_1), který se táhne téměř po celé délce akumulace. Šířka tohoto valu se pohybuje okolo 12 m, jeho výška v horní části činí přibližně 5 m, ovšem směrem po svahu dolů se snižuje na 2 metry. Dalším z identifikovaných valů je méně výrazný val ROH\_J\_2, který se nachází ve střední části akumulace. Jeho délka činí přibližně 60 m a výška 1 – 2 metry. Méně výrazným a rozsáhlým je val ROH\_J\_3, který tvoří plošnou akumulaci a dělí se na několik menších částí. Průměrná délka tohoto valu je 17 m a výška valu činí 2 m. Val ROH\_J\_4 se rozkládá v levé části akumulace podél žlabu s potokem. Přibližná délka valu činí 108 m a šířka 9 m, ovšem val se také dělí na další menší části. Na svahu byl identifikován nejzazší rozsah této akumulace, v některých

částech poblíž budov je ovšem akumulace ovlivněna činností člověka. Na valech ROH\_J\_1 – ROH\_J\_4 byla provedena měření stupně zvětrání povrchu (Schmidt hammer test).

## 5.5 Relativní datování murových akumulací

Celkem 18 vybraných lokalit pro provedení Schmidt hammer testu se nachází v nejvýše položených částech zájmové oblasti a 11 měřených lokalit se nachází v nejniže položených oblastech Roháčské doliny

Ve **Smutné dolině** bylo provedeno měření stupně zvětrání povrchu bloků na 3 lokalitách – severně orientovaných transportně-akumulačních oblastech mur SMU\_12, SMU\_14 a na nejrozsáhlejší akumulaci celé zájmové oblasti SMU\_15. Ve Smutné dolině bylo měření provedeno pouze na 10ti blocích z důvodu nedostatečného množství bloků potřebné velikosti a hmotnosti. Akumulace SMU\_12 a SMU\_14 jsou tvořeny spíše menšími úlomky hornin, mezi kterými prorůstá travní porost. Průměrná velikost bloků, na kterých byl proveden Schmidt hammer test na akumulaci mury SMU\_12 činí 55x40x25 cm, na akumulaci SMU\_14 50x43x25 cm a na akumulaci SMU\_15 101x52x30 cm.

Na lokalitě SMU\_15 byla zaznamenána nejvyšší průměrná R-hodnota murové akumulace v zájmové oblasti ( $65,0 \pm 3,8$ ; viz Tabulka 23). Průměrná R-hodnota akumulací SMU\_12 a SMU\_14 činí  $57,8 \pm 7,4$  a  $56,0 \pm 5,2$ . Lichenometrická měření byla provedena pouze na akumulacích SMU\_12 a SMU\_14. Na blocích akumulace SMU\_15 žádné stélky lišejníků zaznamenány nebyly. Průměrná velikost naměřených lišejníků na lokalitě SMU\_12 činí 0,37 cm a na lokalitě SMU\_14 1,64 cm. Podle průměrné hodnoty pěti největších stélek lišejníku (Stáří 1), kterou navrhl Kedzia (2015), vychází stáří měřených bloků na akumulaci SMU\_12 přibližně na 10 let, zatímco stáří akumulace SMU\_14 přibližně na 42 let. Podle velikosti jediné největší stélky lišejníku Stáří 2; Kedzia 2015) vychází stáří bloků akumulace SMU\_12 na 12 let a akumulace SMU\_14 na 48 let.

**Tabulka 23:** Přehled vybraných charakteristik měřených bloků a výsledné hodnoty relativního datování ve Smutné dolině

Mura	Počet bloků	Nad. v. (m n. m.)	R-hodnoty				Lichenometrie				
			Průměr	Min	Max	Sm. odch.	Průměr (cm)	Min (cm)	Max (cm)	Stáří 1 (let)	Stáří 2 (let)
SMU_12	3	1714 - 1720	57,8	40	68	7,4	0,37	0,3	0,5	9,8	11,9
SMU_14	2	1631 - 1633	56,0	48	66	5,2	1,64	1	1,9	41,8	48,4
SMU_15	5	1538 - 1596	65,0	53	72	3,8	-	-	-	-	-

**Poznámka:** Stáří 1 značí stáří určené na základě průměru pěti největších stélek lišejníku mapovníku zeměpisného (*Rhizocarpon geographicum*), Stáří 2 značí stáří určené na základě průměru jedné největší stélky lišejníku mapovníku zeměpisného (*Rhizocarpon geographicum*)

Po provedení Fisherova LSD post-hoc testu pro testování signifikance rozdílů mezi průměry daných souborů R-hodnot bylo zjištěno, že průměrná R-hodnota akumulace SMU\_15 se signifikantně liší od průměrných R-hodnot akumulací SMU\_12 a SMU\_14. Rozdíl v průměrné R-hodnotě mezi akumulacemi SMU\_1 a SMU\_14 signifikantní není (Tabulka 24).

**Tabulka 24:** Přehled výsledků Fisherova LSD post-hoc testu signifikance rozdílů průměrných R-hodnot Smutné doliny

	SMU_15	SMU_14	SMU_12
SMU_15			
SMU_14	0,000		
SMU_12	0,000	0,078	

Ve **Spálené dolině** bylo měření stupně zvětrání povrchu horninových bloků provedeno na 7 lokalitách – severně orientovaných drahách SPA\_9, SPA\_10, SPA\_12, SPA\_21, SPA\_25 a východně orientovaných drahách SPA\_1 a SPA\_2. Na dvou drahách (SPA\_9 a SPA\_10) byly v terénu (a částečně také na základě leteckých snímků) identifikovány akumulace z rozdílných období, lišící se především barvou bloků. Celkem bylo v tomto údolí měření provedeno na 40ti blocích. V případě akumulace SPA\_2 bylo ovšem měření provedeno jen na dvou blocích z důvodu nedostatku vhodného materiálu k datování. Ve starší akumulaci SPA\_9 bylo ze stejného důvodu provedeno měření jen na 3 blocích. Lichenometrická měření byla v tomto údolí provedena na třech lokalitách (SPA\_1, SPA\_9 a SPA\_10). Na lokalitě SPA\_9 byla

velikost stélek lišejníku měřena na dvou částech akumulace, stejně, jako v případě měření stupně zvětrání povrchu. Na akumulaci SPA\_10\_2 byl průměr stélek měřen na níže položené části akumulace. Současná čela akumulací se nacházejí na sutinových kuželech, žádná z drah nezasahuje až na dno údolí. Akumulace jsou tvořeny poměrně velkým množstvím úlomků větších rozměrů, které jsou vhodné pro datování. Lokality SPA\_1 a SPA\_2 jsou tvořeny povrchovými akumulacemi sutin bez výrazného zahloubení dráhy do podloží, zatímco ostatní lokality, kde bylo provedeno datování, jsou tvořeny přibližně 1 m zahloubeným korytem. Průměrná velikost datovaných bloků na akumulaci SPA\_1 činí 48x29x13 cm, na akumulaci SPA\_2 41x31x13 cm, na akumulaci SPA\_9 55x36x25 cm, v případě akumulace SPA\_10 je průměrná velikost bloků 87x48x32 cm, na akumulaci SPA\_12 59x41x21 cm, v případě akumulace SPA\_21 76x54x32 cm a na akumulaci SPA\_25 je průměrná velikost datovaných bloků 75x47x33 cm.

Průměrné R-hodnoty všech bloků těchto lokalit se pohybují okolo střední hodnoty 59. Nejnižší průměrná R-hodnota ( $57,3 \pm 4,8$ ; Tabulka 25) náleží níže položené části akumulace SPA\_10 (SPA\_10\_2), naopak nejvyšší průměrná R-hodnota byla zjištěna na akumulaci SPA\_25 ( $62,3 \pm 4,8$ ). Mezi průměrnou R-hodnotou lokality SPA\_9 a SPA\_9\_2 nebyl zjištěn rozdíl (v obou případech činí průměrná R-hodnota téměř 58). Mezi oběma částmi akumulace dráhy SPA\_10 a SPA\_10\_2 nebyl zjištěn signifikantní rozdíl průměrných R-hodnot ( $60,2 \pm 3,6$  je průměrná R-hodnota výše položené části akumulace, R-hodnota  $57,7 \pm 4,8$  byla zjištěna v níže položené části akumulace). Lichenometrická měření prokazují jako nejstarší akumulaci SPA\_9\_2 – průměrné stáří bylo zjištěno na více než 50 let. Nejstarší blok této části akumulace byl datován až na 90 – 100 let. Podle lichenometrické datovací metody je mladší část akumulace dráhy SPA\_9 také nejmladší akumulací Spálené doliny, kde bylo provedeno datování stáří pomocí lichenometrie (s průměrným stářím 13 – 14 let).

**Tabulka 25:** Přehled vybraných charakteristik měřených bloků a výsledné hodnoty relativního datování ve Spálené dolině

Mura	Počet bloků	Nadm. v. (m n. m.)	R-hodnoty				Lichenometrie				
			Průměr	Min	Max	Sm. odch.	Průměr (cm)	Min (cm)	Max (cm)	Stáří 1 (let)	Stáří 2 (let)
SPA_1	5	1894 - 1927	60,8	50	66	3,5	0,48	0,3	0,8	14,2	17,0
SPA_2	2	1879 - 1891	58,3	47	68	5,4	-	-	-	-	-
SPA_9	5	1844 - 1866	57,8	48	67	4,6	0,46	0,4	0,5	13,1	14,2
SPA_9_2	3	1820 - 1824	57,7	48	67	4,8	1,84	0,6	3,7	51,8	58,7
SPA_10	5	1896 - 1935	60,2	51	67	3,6	-	-	-	-	-
SPA_10_2	5	1874 - 1885	57,3	43	67	4,8	1,26	1	1,6	36,4	43,1
SPA_12	5	1870 - 1921	59,9	52	68	3,9	-	-	-	-	-
SPA_21	5	1684 - 1795	60,6	50	69	4,5	-	-	-	-	-
SPA_25	5	1741 - 1757	62,3	49	71	4,8	-	-	-	-	-

Fisherův LSD post-hoc test prokázal signifikantní rozdíly průměrných R-hodnot většiny akumulací. Průměrná R-hodnota akumulace SPA\_25 (nejvyšší průměrná R-hodnota tohoto údolí) je signifikantně odlišná od všech ostatních průměrných R-hodnot daných akumulací (viz Tabulka 26). Mezi průměrnou R-hodnotou výše a níže položené části akumulace SPA\_10 byl zjištěn signifikantní rozdíl.

**Tabulka 26:** Přehled výsledků Fisherova LSD post-hoc testu signifikance rozdílů průměrných R-hodnot Spálené doliny

	SPA_21	SPA_25	SPA_12	SPA_10	SPA_10_2	SPA_9	SPA_2	SPA_1	SPA_9_2
SPA_21									
SPA_25	0,002232								
SPA_12	0,218960	0,000018							
SPA_10	0,441277	0,000129	0,645147						
SPA_10_2	0,000000	0,000000	0,000002	0,000000					
SPA_9	0,000001	0,000000	0,000137	0,000020	0,349652				
SPA_2	0,001515	0,000000	0,024505	0,009440	0,177528	0,520998			
SPA_1	0,814016	0,004663	0,142329	0,313852	0,000000	0,000000	0,000802		
SPA_9_2	0,000007	0,000000	0,000577	0,000125	0,500970	0,890952	0,485251	0,000003	

Ve **Tmavé Spálené dolině** bylo měření stupně zvětrání povrchu (Schmidt hammer test) provedeno měření na dvou východně orientovaných transportně-akumulačních oblastech mur TMS\_1 a TMS\_2, celkem bylo měření provedeno na 10ti blocích. Na lokalitě TMS\_1 bylo měření provedeno na čerstvých blocích, jejichž povrch

je hladký a bez stélek lišejníků (podobně, jako na dráze TMS\_2). Datování pomocí lichenometrie na těchto dvou akumulacích z tohoto důvodu nebylo možné provést. Průměrná velikost bloků akumulace TMS\_1 činí 58x33x18 cm a v případě akumulace TMS\_2 jsou průměrné rozměry 79x55x26 cm. Na akumulaci TMS\_1 je průměrná R-hodnota nižší ( $58,3 \pm 4,1$ ) než na dráze TMS\_2 ( $61,3 \pm 4,8$ , viz Tabulka 27). Mezi průměrnými R-hodnotami byl zjištěn signifikantní rozdíl pomocí Fisherova LSD post-hoc testu.

**Tabulka 27:** Přehled vybraných charakteristik měřených bloků a výsledné hodnoty relativního datování ve Tmavé Spálené dolině

Dráha	Počet bloků	Nadm. v. bloků (m n. m.)	R-hodnoty				Lichenometrie				
			Průměr	Min	Max	Sm. odch.	Průměr (cm)	Min (cm)	Max (cm)	Stáří 1 (let)	Stáří 2 (let)
TMS_1	5	1768 - 1829	58,3	49	66	4,1	-	-	-	-	-
TMS_2	5	1776 - 1817	61,3	51	70	4,8	-	-	-	-	-

V **Salatínské dolině** bylo měření stupně zvětrání povrchu provedeno na 6 lokalitách – severovýchodně orientovanými murovými akumulacemi SAL\_5, SAL\_6, SAL\_7, jihovýchodně orientovanou akumulací SAL\_2 a východně orientovanými akumulacemi SAL\_9 a SAL\_10. Celkem bylo měření provedeno na 33 blocích. Na akumulaci SAL\_10 byla měření provedena na 10ti blocích, zatímco na akumulaci SAL\_6 byl pro nedostatek vhodného materiálu měření provedeno jen na třech blocích. Měření na akumulacích SAL\_2, SAL\_7 a SAL\_9 bylo provedeno v části transportně-akumulační oblasti, která se v terénu jevila jako nejčerstvější (není ovšem vyloučeno datování bloku pocházejícího ze starší události). Na akumulacích SAL\_5 a SAL\_6 bylo měřeno na bočních valech akumulace s rozplaveným středem. Lichenometrická měření byla provedena na akumulacích SAL\_5, SAL\_6, SAL\_9 a SAL\_10\_2. Průměrná velikost datovaných bloků dráhy SAL\_2 činí 54x38x15 cm, akumulace SAL\_5 53x34x16 cm, průměrná velikost bloků akumulace SAL\_6 je 43x32x13 cm, akumulace SAL\_7 46x36x22 cm, akumulace SAL\_9 46x27x14 cm, akumulace SAL\_10 78x49x22 cm a níže položené části akumulace SAL\_10 (SAL\_10\_2) činí průměrná velikost bloků 73x43x24 cm.

Nejvyšší průměrná R-hodnota byla zaznamenána na akumulaci SAL\_10\_2 ( $58,2 \pm 6,4$ ; Tabulka 28). Naopak nejnižší průměrná R-hodnota byla zjištěna na



akumulaci SAL\_6 ( $49,4 \pm 6,1$ ). Pomocí lichenometrie bylo stáří akumulace akumulace SAL\_5 stanoveno na přibližně 16 – 19 let. Jako nejstarší byla pomocí lichenometrie stanovena akumulace akumulace SAL\_9 (téměř 28 let).

**Tabulka 28:** Přehled vybraných charakteristik měřených bloků a výsledné hodnoty relativního datování v Salatínské dolině

Mura	Počet bloků	Nadm. v. (m n. m.)	R-hodnoty				Lichenometrie				
			Průměr	Min	Max	Sm. odch.	Průměr (cm)	Min (cm)	Max (cm)	Stáří 1 (let)	Stáří 2 (let)
SAL_2	5	1653 - 1845	53,7	42	63	4,3	-	-	-	-	-
SAL_5	5	1731 - 1754	56,1	45	64	4,3	0,59	0,3	1,2	15,9	18,8
SAL_6	3	1756 - 1759	49,4	36	58	6,1	0,65	0,4	1,2	17,5	18,9
SAL_7	5	1759 - 1786	57,9	46	65	4,1	-	-	-	-	-
SAL_9	5	1785 - 1813	57,5	49	66	3,8	1,00	1	1	27,8	27,7
SAL_10	5	1763 - 1780	57,7	43	66	5,1	-	-	-	-	-
SAL_10_2	5	1738 - 1761	58,2	45	68	6,4	0,72	0,6	0,9	-	19,4

Pomocí Fisherova LSD post-hoc testu bylo zjištěno, že signifikantně odlišné od všech ostatních jsou průměrné R-hodnoty akumulací SAL\_2, SAL\_5 a SAL\_6 (Tabulka 29). Průměrné R-hodnoty akumulací SAL\_7, SAL\_9, SAL\_10 a SAL\_10\_2 jsou podobné. Mezi výše a níže položenou částí akumulace SAL\_10 a SAL\_10\_2 nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl.

**Tabulka 29:** Přehled výsledků Fisherova LSD post-hoc testu signifikance rozdílů průměrných R-hodnot Salatínské doliny

	SAL_2	SAL_10	SAL_10_2	SAL_9	SAL_7	SAL_6	SAL_5
SAL_2							
SAL_10	0,000000						
SAL_10_2	0,000000	0,386165					
SAL_9	0,000000	0,726871	0,224158				
SAL_7	0,000000	0,697944	0,632193	0,460941			
SAL_6	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000		
SAL_5	0,000101	0,011807	0,000731	0,029983	0,003692	0,000000	

V **Roháčské dolině** bylo měření stupně zvětrání povrchu bloků provedeno na 10ti nejnižše položených lokalitách nacházejících se pod horní hranicí lesa – severovýchodně orientovaných akumulacích ROH\_A, ROH\_B, ROH\_C, ROH\_D, ROH\_E, severně orientované akumulaci ROH\_1 (a níže položené části její akumulace ROH\_1\_2) a na

jihozápadně orientovaných akumulací ROH\_F, ROH\_G, ROH\_H, ROH\_I a ROH\_J. Celkem bylo měření provedeno na 49 blocích. Na většině akumulací bylo z důvodu nedostatku vhodného materiálu měření prováděno jen na 3 blocích. Mnoho bloků bylo pokryto porostem lišejníků nebo mechů, které datování znemožňovaly. Na akumulacích ROH\_B, ROH\_1 a ROH\_J bylo měření provedeno na více částech jedné akumulace. V případě akumulace ROH\_B bylo měření stupně zvětrání povrchu provedeno na třech valech. V ostatních případech bylo měření prováděno v prostoru celé akumulace. Jelikož se většina akumulací nachází pod hranicí lesa, nebylo na některých akumulacích možné zjišťovat změny v rozloze a tvaru pomocí leteckých snímků. Lichenometrická měření bylo možné provést pouze na třech akumulacích z důvodu porostu jinými druhy lišejníků než je mapovník zeměpisný (*Rhizocarpon geographicum*). Lichenometrická měření byla provedena na třech lokalitách (ROH\_1\_2, dále na akumulaci ROH\_H a akumulaci ROH\_I). Průměrná velikost bloků, na kterých bylo provedeno datování na akumulaci ROH\_1 činí 69x42x29 cm, na níže položené části této akumulace pak rozměry bloků činí v průměru 85x63x33 cm. Na akumulaci ROH\_A činí průměrná velikost bloků 50x40x31 cm, na akumulaci ROH\_B 66x47x26 cm, na akumulaci ROH\_C v průměru 65x47x28 cm. Na akumulaci ROH\_D byla naměřena průměrná velikost datovaných bloků 56x40x31, na akumulaci ROH\_E 52x49x20 cm, na akumulaci ROH\_F 102x93x40 cm, na akumulaci ROH\_G rozměry činí 98x51x41 cm, na akumulaci ROH\_H 136x76x44 cm. Datované bloky akumulace ROH\_I měří 59x47x24 cm a akumulace ROH\_J činí 122x71x44 cm.

Nejvyšší průměrná R-hodnota byla zaznamenána na části akumulace ROH\_1 ( $62,1 \pm 4,5$ ; Tabulka 30). V tomto údolí byly zaznamenány nejnižší průměrné R-hodnoty -  $32,7 \pm 6,8$  na akumulaci ROH\_F nebo průměrná R-hodnota  $35,2 \pm 8,2$  na dráze ROH\_I. V případě akumulace ROH\_I, kde byla naměřena jedna z nejnižších průměrných R-hodnot, bylo pomocí lichenometrie stanoveno stáří na přibližně 21 – 25 let.

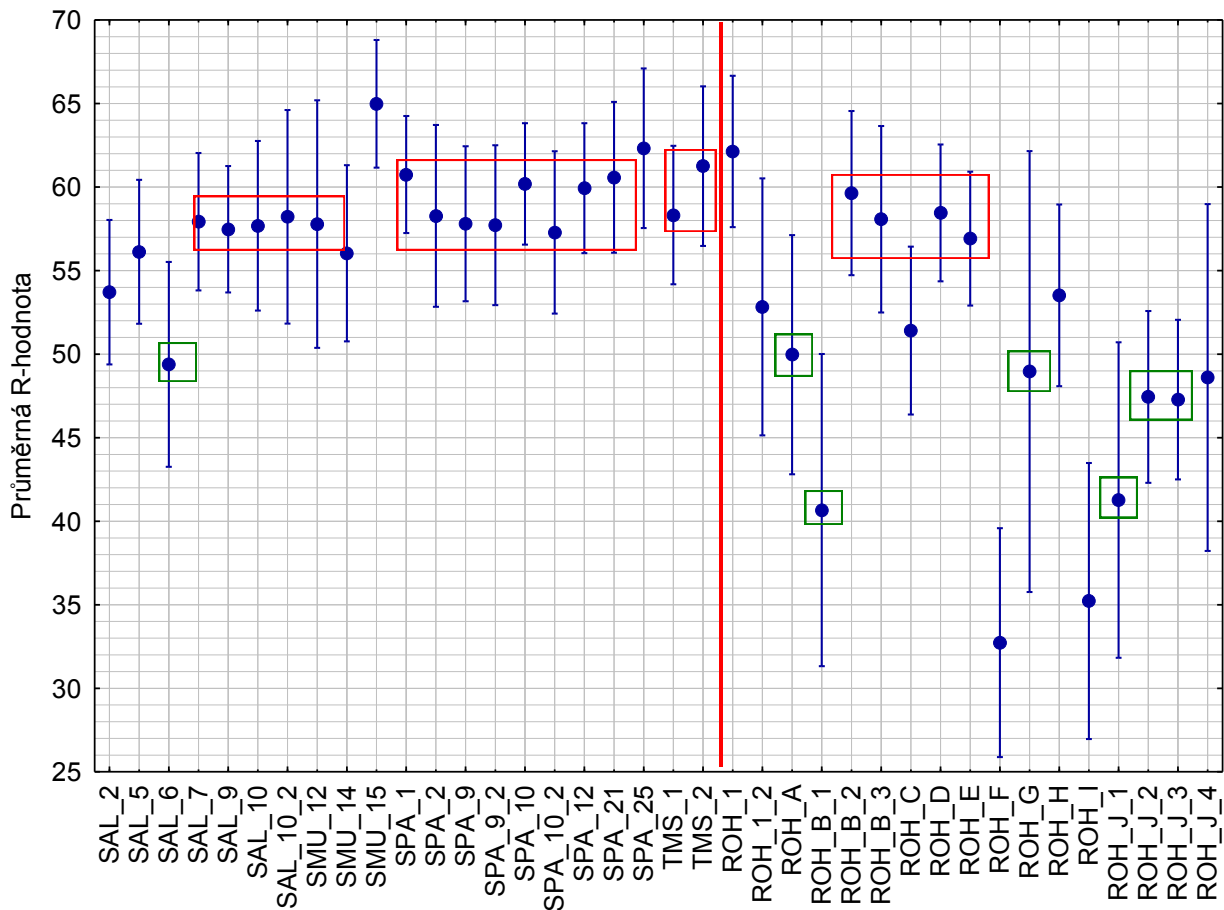
**Tabulka 30:** Přehled vybraných charakteristik měřených bloků a výsledné hodnoty relativního datování v Roháčské dolině

Mura	Počet bloků	Nadm. v. (m n. m.)	R-hodnoty				Lichenometrie				
			Průměr	Min	Max	Sm. odch.	Průměr (cm)	Min (cm)	Max (cm)	Stáří 1 (let)	Stáří 2 (let)
ROH_1	5	1380 - 1427	62,1	49	69	4,5	-	-	-	-	-
ROH_1_2	5	1333 - 1354	52,8	36	70	7,7	2,80	1,9	4,8	-	62,8
ROH_A	3	1139 - 1143	50,0	36	64	7,1	-	-	-	-	-
ROH_B_1	3	1182 - 1217	40,7	27	59	9,3	-	-	-	-	-
ROH_B_2	3	1141 - 1147	59,6	48	69	4,9	-	-	-	-	-
ROH_B_3	3	1135 - 1139	58,1	49	69	5,5	-	-	-	-	-
ROH_C	3	1129 - 1138	51,4	40	61	5,0	-	-	-	-	-
ROH_D	3	1161 - 1174	58,5	48	66	4,1	-	-	-	-	-
ROH_E	1	1130	56,9	49	62	3,9	-	-	-	-	-
ROH_F	3	1416 - 1426	32,7	24	47	6,8	-	-	-	-	-
ROH_G	3	1435 - 1449	49,0	24	65	13,1	-	-	-	-	-
ROH_H	3	1364 - 1401	53,5	44	64	5,4	1,31	0,5	1,4	29,6	26,6
ROH_I	3	1055 - 1060	35,2	24	52	8,2	1,05	0,8	1,5	20,8	25,3
ROH_J_1	3	1030 - 1042	41,3	24	58	9,4	-	-	-	-	-
ROH_J_2	1	1043	47,4	40	55	5,0	-	-	-	-	-
ROH_J_3	1	1049	47,3	40	55	4,7	-	-	-	-	-
ROH_J_4	3	1064 - 1083	48,6	28	64	10,3	-	-	-	-	-

Na základě Fischerova LSD post-hoc testu byly zjištěny signifikantní rozdíly téměř mezi všemi průměrnými R-hodnotami jednotlivých akumulací. V případě akumulace ROH\_B byl zjištěn signifikantní statistický rozdíl mezi průměrnými R-hodnotami valu 1 a valů 2 a 3, zatímco rozdíl v průměrné R-hodnotě mezi valy 2 a 3 není signifikantní. V případě akumulace ROH\_J byla zjištěna podobná průměrná R-hodnota na blocích valů ROH\_J\_2, ROH\_J\_3 a ROH\_J\_4 (rozdíl mezi těmito průměrnými R-hodnotami není statisticky významný), zatímco průměrná R-hodnota bloků nacházejících se na valu ROH\_J\_1 se od ostatních signifikantně odlišuje.

Na základě Fischerova LSD post-hoc testu lze murové akumulace rozdělit do dvou hlavních skupin podle průměrné R-hodnoty (Obrázek 28). První skupina R-hodnot zahrnuje 19 mur, které se nacházejí v nejnižších položených oblastech zájmového území (SAL\_7, SAL\_9, SAL\_10, SAL\_10\_2, SMU\_12, SPA\_1, SPA\_2, SPA\_9, SPA\_9\_2, SPA\_10, SPA\_10\_2, SPA\_12, SPA\_21, TMS\_1, TMS\_2, ROH\_B\_2, ROH\_B\_3, ROH\_D A ROH\_E). Průměrná R-hodnota této skupiny činí  $58,8 \pm 4,7$ . Druhá skupina zahrnuje 7 lokalit výskytu mur, které byly (s výjimkou lokality SAL\_6) zmapovány během terénních prací v nejnižších položených částech zájmového území. Jedná se o mury

SAL\_6, ROH\_A, ROH\_G, ROH\_J\_1, ROH\_J\_2, ROH\_J\_3 a ROH\_B\_1. Průměrná R-hodnota této skupiny je  $46,5 \pm 8,6$ . Za účelem porovnání průměrných R-hodnot obou skupin byla provedena jednocestná ANOVA, která prokázala signifikantní odlišnost obou skupin ( $p < 0,0001$ ).



**Obrázek 28:** Průměrné R-hodnoty testovaných akumulací

**Poznámka:** Červená čára odděluje lokality nad hranicí lesa (vlevo) a pod hranicí lesa (vpravo). Červeně jsou vyznačeny R-hodnoty první skupiny, zeleně R-hodnoty druhé skupiny. Vertikální linie zobrazují směrodatnou odchylku R-hodnot.

Korelační matice ukázala závislost průměrných R-hodnot a vybraných morfometrických charakteristik akumulací – nadmořské výšky, příkonu slunečního záření a orientace (Tabulka 31). Střední korelace byla prokázána mezi průměrnou R-hodnotou a nadmořskou výškou měřeného bloku (hodnota Pearsonova korelačního koeficientu činí  $r = 0,48$ ). Střední negativní závislost byla prokázána mezi průměrnou R-hodnotou a příkonem slunečního záření ( $r = -0,41$ ). Se zvyšujícím se příkonem

slunečního záření (resp. s orientací blížící se jižní) tedy mírně klesá průměrná R-hodnota sledovaných akumulací. Nejvyšší průměrné R-hodnoty jsou zaznamenány na blocích se severozápadní (s průměrnou R-hodnotou 65,2) nebo východní orientací (59,6), naopak nejmenší průměrné R-hodnoty byly zjištěny na blocích se západní orientací (36,6) nebo jihozápadní orientací (44,2).

**Tabulka 31:** Korelační matice průměrných R-hodnot a vybraných morfometrických charakteristik

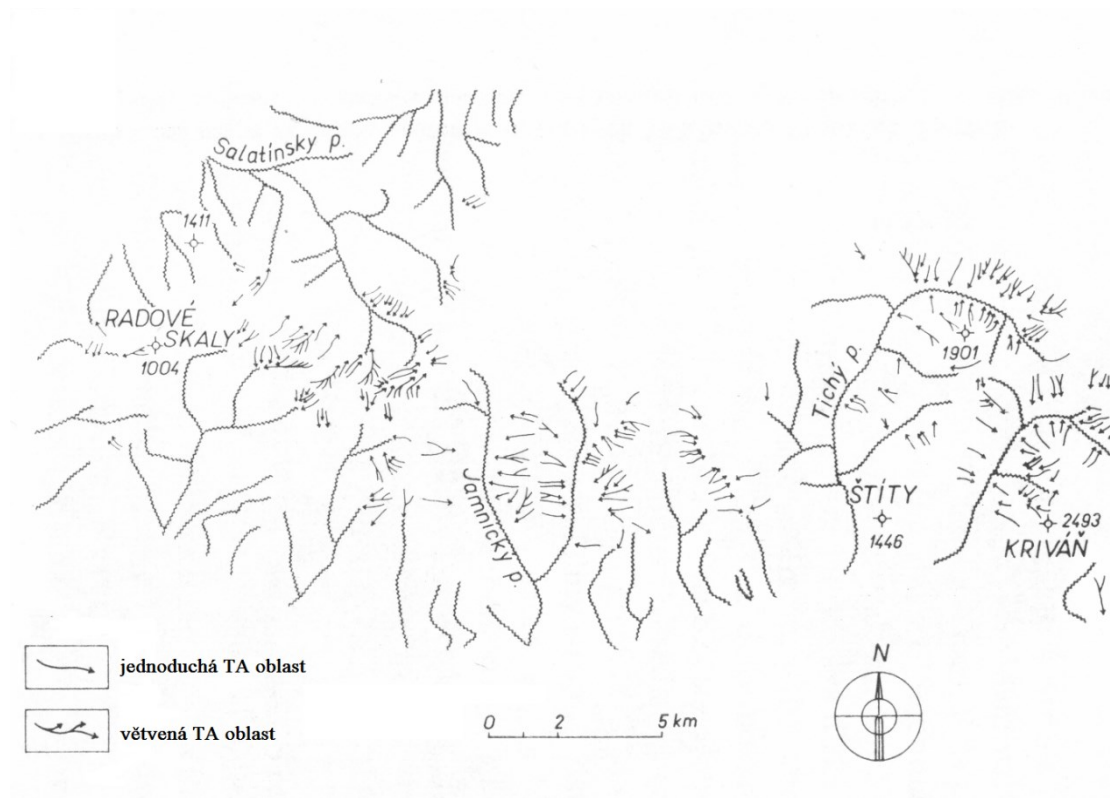
	R-hodnota	Nadm. v.	Příkon sl. z.	Orientace
R-hodnota	1,000000			
Nadm. v.	0,478981	1,000000		
Příkon sl. z.	-0,405426	-0,378074	1,000000	
Orientace	0,441805	0,340272	-0,924447	1,000000

Korelace průměrných R-hodnot a průměrné velikosti stélek lišejníku mapovníku zeměpisného (*Rhizocarpon geographicum*) je velmi slabá (hodnota Pearsonova korelačního koeficientu činí pouze  $r = -0,12$ ). Tato velmi slabá korelace je negativní a tedy slabě naznačuje, že s rostoucím průměrem stélek lišejníku (s potenciálně se zvyšujícím se stářím bloku) se může snižovat průměrná R-hodnota. V případě lichenometrie byla zjištěna slabá korelace pouze na nadmořské výšce ( $r = -0,39$ ). Slabý negativní vztah naznačuje, že se vzrůstající nadmořskou výškou se v zájmovém území průměr stélek mapovníku zeměpisného (*Rhizocarpon geographicum*) snižuje, což poukazuje na nižší stáří murových akumulací ve vyšších nadmořských výškách.

## **6 Diskuze**

### **6.1 Terenní mapování**

V zájmovém území bylo na základě ortofota z roku 2015 zmapováno 95 transportně-akumulačních oblastí mur. V Roháčské dolině byly zmapovány 4 transportně-akumulačních oblastí mur na základě ortofota a 10 transportně-akumulačních oblastí bylo zmapováno v terénu. V Smutné dolině bylo zmapováno 28 transportně-akumulačních oblastí mur, v oblasti Roháčských ples 16 transportně-akumulačních oblastí mur, ve Spálené dolně bylo zmapováno 24 transportních oblastí, v Tmavé Spálené dolině 2 a v Zadné Spálené dolině 7 transportních oblastí. V Salatínské dolině 10 transportních oblastí mur a v Dlhé Jamě 4 transportně-akumulačních oblastí mur. Nemčok (1972), který jako jeden z prvních autorů sestavil mapu transportně-akumulačních oblastí mur Tater (Obrázek 30), vymezil v zájmovém území pouze 38 transportně-akumulačních oblastí. Nejvíce transportně-akumulačních oblastí mur (24) autor vymezuje ve Smutné dolině a jižního a jihozápadního svahu přibližně mezi Volovcem a Šindlovcem. V této oblasti jsou zjištěné transportní oblasti současně nejdelší a často také rozvětvené.

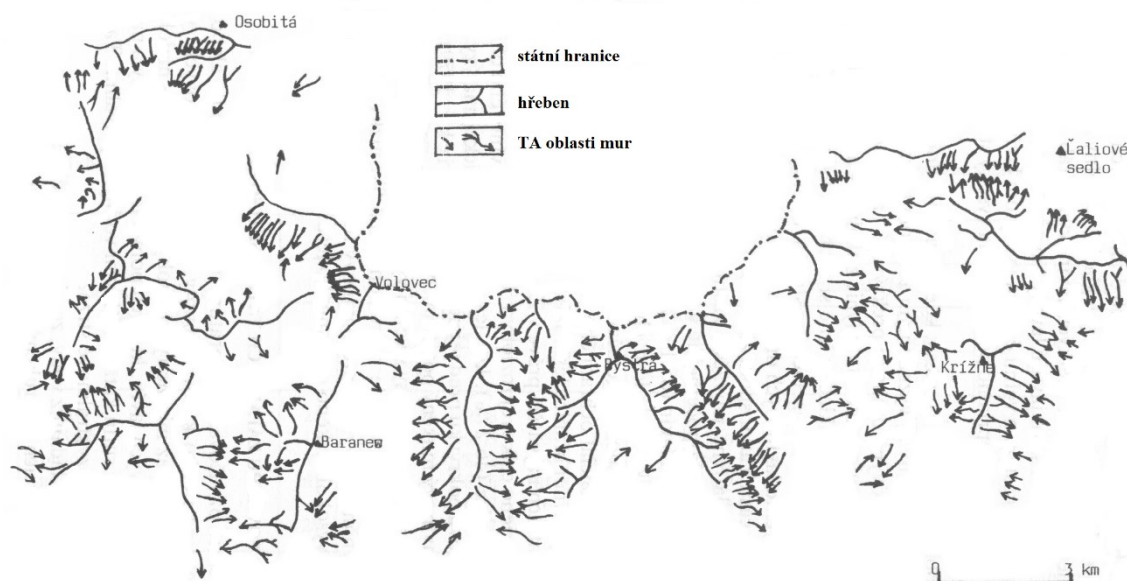


**Obrázek 29:** Mapa transportně-akumulačních oblastí mur Západních Tater

**Zdroj:** Nemčok (1972)

**Poznámka:** TA značí transportně-akumulační oblast mur

Dále se mapováním transportních oblastí mur Západních Tater zabýval Mahr (1973; Obrázek 31). V zájmovém území autor vymežil celkem 56 transportně-akumulačních oblastí. Z toho 19 na západně a jihozápadně orientovaném svahu mezi Volovcem a Šindlovcem. Tyto transportně-akumulační oblasti patří k nejdelším ve sledovaném území. Ve Spálené dolině autor vymezuje pouze 4 krátké transportně-akumulační oblasti, na ortofotech z roku 2015 je situace opačná – na severně a východně orientovaném svahu Spálené doliny je vymezeno 25 transportně-akumulačních oblastí mur a na svahu mezi Volovcem a Šindlovcem přibližně 18 málo výrazných transportně-akumulačních oblastí, které v současnosti zarůstají vegetací (včetně třech drah vymezených na základě terénního mapování). Na rozdíl od Nemčoka (1972) vymezuje Mahr (1973) také několik transportně-akumulačních oblastí mur v blízkosti chaty Zverovka, z nichž některé byly vymezeny také na základě terénního mapování v rámci této diplomové práce.



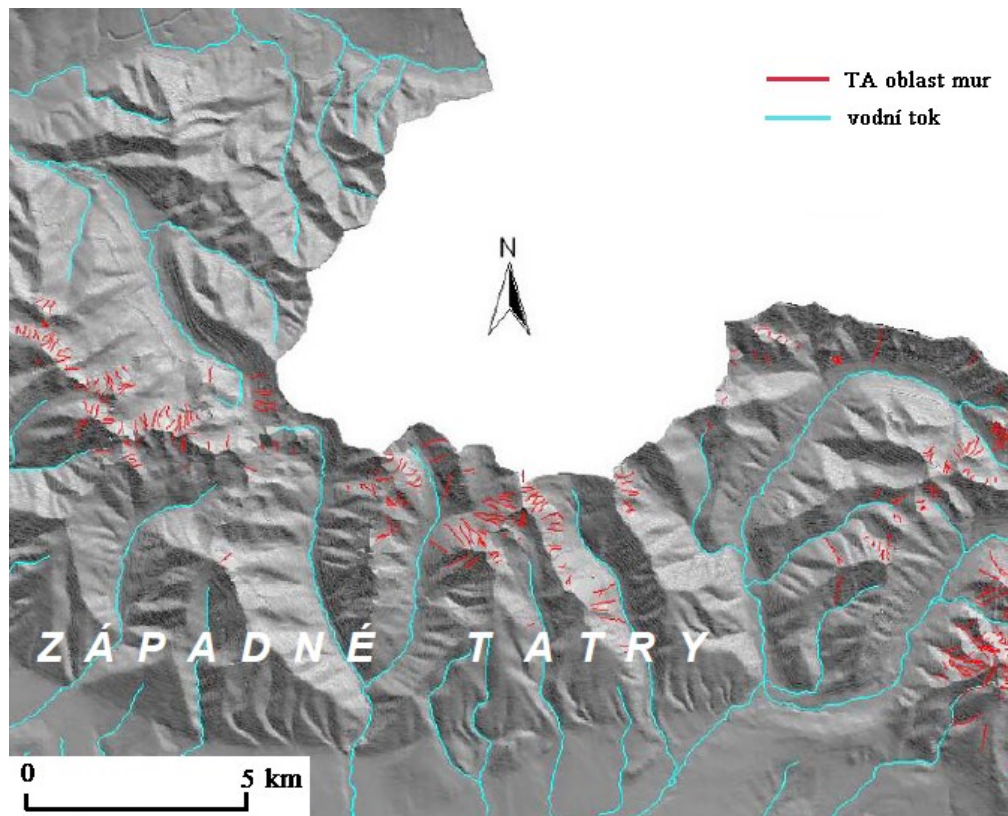
**Obrázek 30:** Mapa transportních oblastí mur v Západních Tatrách

**Zdroj:** Mahr (1973, upraveno; cit. v Midriak 1993)

**Poznámka:** TA značí transportně-akumulační oblast mur

Později se mapování transportně-akumulačních oblastí mur v Tatrách věnoval Boltižiar (2007; Obrázek 32), který na základě analýzy ortofot a terénního průzkumu v zájmovém území vymezil přibližně 49 murových transportně-akumulačních oblastí mur. Jejich rozložení přibližně odpovídá i zmapovaným transportně-akumulačním oblastem v zájmovém území – nejvyšší počet transportně-akumulačních oblastí autor vymezuje na svazích Spálené doliny (10), Zadné Spálené dolině (8) nebo v Salatínské (9). Na svahu mezi Volovcem a Šindlovcom již autor vymezuje pouze přibližně 5 transportních oblastí mur. Rozmístění transportně-akumulačních oblastí mur podle Boltižiar (2007) se blíží stavu popisovanému v této diplomové práci.





**Obrázek 31:** Mapa transportních oblastí mur v oblasti Západních Tater

**Zdroj:** Boltížiar (2007), upraveno

**Poznámka:** TA značí transportně-akumulační oblast mur

V zatím poslední mapě sestavené Dlugoszem (2015) je na území zájmové oblasti zaznamenáno 92 transportně-akumulačních oblastí mur. Rozmístění jednotlivých mur zájmového území vymezených v rámci této diplomové práce nejvíce odpovídá právě této mapě. Nejvíce transportně-akumulačních oblastí mur je vymezeno v oblastech závěrů jednotlivých údolí - zejména Spálené doliny (19) nebo Salatínské doliny (12). Na svahu mezi Volovcem a Šindlovcem i Dlugosz (2015) vymezuje nejnižší počet mur (8), v oblasti Zverovky autor nevymezil žádnou transportně-akumulační oblast.

Při analýze jednotlivých map transportně-akumulačních oblastí mur sestavených několika autory v různých časových obdobích lze rozeznat odlišnosti v rozmístění výrazných transportně-akumulačních oblastí. Stavů transportně-akumulačních oblastí mur v roce 2015 nejvíce odpovídají nejnovější mapy transportně-akumulačních oblastí mur (Boltížiar 2007, Dlugosz 2015). Na žádné z uvedených map ovšem autoři nevymezili většinu transportně-akumulačních oblastí mur, které byly zjištěny při terenním mapování přímo v zájmovém území. Jedná se o severovýchodně orientované

mury na skalním stupni pod Zadnou Spálenou a Tmavou Spálenou dolinou (dráhy ROH\_A, ROH\_B, ROH\_C, ROH\_D a ROH\_E).

## 6.2 Morfometrické charakteristiky mur

Zdrojové oblasti mur ve sledovaném území se nachází v průměrné nadmořské výšce 1830 – 1999 m n. m., takže spadají do subalpínského i alpínského stupně. Kotarba a kol. (2013) uvádějí, že průměrná maximální nadmořská výška zdrojových oblastí mur Západních Tater (odvozeno na základě analýzy 1127 murových drah) činí 1293 – 2217 m n. m. s průměrnou hodnotou 1817 m n. m. Průměrné maximální nadmořské výšky zdrojových oblastí mur vymezených v zájmovém území (1573– 2175 m n. m.) tedy spadají do oblasti průměrných charakteristik platných pro Západní Tatry. Průměrná maximální nadmořská výška zdrojových oblastí mur zájmového území byla zjištěna 1999 m n. m., zdrojové oblasti mur se tedy nacházejí přibližně o 180 m výše, než je průměrná hodnota platná pro oblast Západních Tater. Současně se nacházejí přibližně o 110 – 300 m níže, než ve Vysokých Tatrách (1940 – 2300 m n. m.; Šilhán a Tichavský 2016). Koncové části transportně-akumulačních oblastí mur se v zájmovém území nacházejí ve výšce 1316 – 1965 m n. m., s průměrnou výškou 1739 m n. m. Podle Kotarby (2013) se koncové části transportně-akumulačních oblastí mur nacházejí v nadmořské výšce 1213 – 2095 m n. m., s průměrnou výškou v 1711 m n. m. Oproti průměrným hodnotám zjištěným pro Západní Tatry se tedy koncové části transportně-akumulačních oblastí mur zájmového území nijak výrazně neodlišují.

Kotarba (1989) uvádí, že drtivá většina transportně-akumulačních i zdrojových oblastí mur (téměř 85 %) se nachází ve vyšší nadmořské výšce, než 1400 m n. m. Většina vymezených zdrojových i transportně-akumulačních oblastí mur zájmového území se nachází nad touto hranicí. Všechny v terénu zmapované murové akumulace a akumulace a např. mura ROH\_1 se nacházejí pod touto hranicí. Midriak (1983) uvádí, že největší množství murových transportně-akumulačních oblastí vzniká v subalpínském pásmu (v nadmořských výškách do 1900 m n. m.) nebo v alpínském pásmu (ve výškách do 2300 m n. m. zpravidla platí pro Vysoké Tatry), odkud transportně-akumulační oblasti mur sestupují do nižších nadmořských výšek, zpravidla pod hranici lesa nebo až na dno údolí.

V zájmové oblasti byl zjištěn vertikální rozsah zdrojových i transportně-akumulačních oblastí mur 54 – 621 m (bez započítání extrémního případu dráhy SMU\_15 pouze 541 m), průměrná hodnota činní 252 m (248 m). Kotarba (2013) dále stanovil vertikální rozsah transportně-akumulačních a zdrojových oblastí mur Západních Tater na 15 – 519 m, průměrný vertikální rozsah činní 106 m. Transportně-akumulační oblasti mur zájmové oblasti tedy mají větší vertikální rozpětí, než je stanovený průměr pro Západní Tatry, maximálním vertikálním rozsahem se spíše přibližují velikosti vertikálního rozsahu transportně akumulacních oblastí mur Vysokých Tater (maximální vertikální rozpětí zde autor stanovil na 633 m). Jurczak a kol. (2013) stanovil průměrný vertikální rozsah transportně-akumulačních oblastí mur vybraných údolí Vysokých Tater na 500 m, v oblasti Západních Tater je vertikální rozsah podle autora nižší.

Zjištěný průměrný sklon zdrojových oblastí mur zájmového území ( $21 - 53^\circ$ ) se přibližuje hodnotě stanovené Jurczakem a kol. (2013). Hreško a kol. (2008) hovoří o průměrném sklonu zdrojových oblastí  $30 - 35^\circ$ . Naopak Jurczak a kol. (2013) udává zjištěný průměrný sklon zdrojových oblastí mur ve vybraných údolích polské části Tater na  $30 - 50^\circ$ .

Průměrná délka transportně-akumulačních oblastí mur zájmového území činí 161 m (30 – 795 m). Průměrnou délku transportně-akumulačních oblastí mur v Západních Tatrách stanovil Kotarba (2013) na 200 m (38 – 966 m). O průměrné délce transportně-akumulačních oblastí mur 196 m ve vybraných údolích polské části Západních

i Vysokých Tater hovoří také Jurczak a kol. (2013). Transportně-akumulační oblasti mur zájmové oblasti jsou tedy obecně kratší, než je stanovená průměrná délka platná pro Západní Tatry (Kotarba a kol. 2013).

V zájmové oblasti Západních Tater byl zjištěn nejvyšší podíl transportně-akumulačních oblastí mur v kategorii délky 100 – 200 m (38 %), ovšem kategorie transportně-akumulačních oblastí mur kratších než 100 m je druhá nejvíce zastoupená (32 %). Jurczak a kol. (2013) na základě analýzy 155 lokalit výskytu mur ve vybraných údolích Západních Tater zjistil, že nejvyšší podíl transportně-akumulačních oblastí mur dosahuje délky kratší než 100 m (41 % drah z celkového počtu), naopak nejnižší podíl zaujímají transportně-akumulační oblasti mur o délce 600 – 700 m (0,6 %). V případě nejnižšího zastoupení se podíl transportně-akumulačních oblastí mur zájmového území shoduje s výsledkem Jurczaka a kol. (2013) – v kategorii délek 600 – 700 m, stejně jako

v kategorii 500 – 600 m se nenachází žádná transportně-akumulační oblast mur sledovaného území. V zájmové oblasti byla zjištěna jedna transportně-akumulační oblast s délkou přesahující 500 m, jedná se nejdelší transportně-akumulační oblast mury SMU\_15. Jurczak a kol. (2013) ve vybraných údolích Západních Tater zjistil 5 transportně-akumulačních oblastí mur s délkou přesahující 500 m. V zájmové oblasti Západních Tater je ve srovnání s Midriakem (1984) nejvíce zastoupená kategorie 250 – 500 m (54 %), v kategorii délky 500 – 1000 m se nachází jen 26 % případů a nejméně transportně-akumulačních oblastí mur dosahuje délky větší než 1000 m. Midriak (1984) stanovil, že v oblasti Západních Tater transportně-akumulační oblasti se započítanou délkou zdrojových oblastí mur dosahují nejčastěji délky 500 – 1000 m (55,2 %), druhou nejvíce zastoupenou skupinou jsou transportně-akumulační a zdrojové oblasti s délkou 250 – 500 m (36 %) a nejméně zastoupenou je kategorie s délkou kratší než 250 m. Zjištěná maximální délka transportně-akumulační oblasti se započítanou délkou zdrojové oblasti zájmového území se přibližuje délce, kterou stanovil Jurczak a kol. (2013) - maximální délka ve vybraných údolích Západních Tatrách činí 857 m.

Prostorové rozmístění murových drah v jednotlivých kategoriích orientace vůči světovým stranám v zájmové oblasti odpovídá obecnému rozmístění drah v Západních Tatrách – nejvíce murových drah se nachází na svazích se severní orientací, zatímco na jižně orientovaných svazích se nachází minimální počet murových drah (Kotarba 2013).

## **6.3 Relativní datování**

### **6.3.1 Schmidt hammer test**

Průměrné R-hodnoty byly rozděleny na dvě skupiny podle průměrné R-hodnoty. V první skupině se nachází většina mur nejvýše položených oblastí zájmového území. Druhou skupinu tvoří převážně mury zmapované v rámci terénního výzkumu. Vymezena tedy byla první skupina murových akumulací, které podle analýzy leteckých snímků nejčastěji vznikly pravděpodobně v období 2003 – 2015. Druhá skupina zahrnuje murové akumulace, které pravděpodobně (na základě analýzy leteckých snímků) vznikly před rokem 1973.

První skupina s průměrnými R-hodnotami ( $58,8 \pm 4,7$ ) a rozpětím R-hodnot  $56,9 \pm 3,9$  až  $61,3 \pm 4,8$  obsahuje 19 transportně-akumulačních oblastí mur. Na základě analýzy leteckých snímků z období let 1973 – 2015 bylo zjištěno, že většina

akumulací této skupiny (12) je pravděpodobně velmi čerstvých, vzniklých v období 2003 – 2015 nebo bezprostředně před rokem 2015. Dvě z těchto akumulací vznikly pravděpodobně (podle leteckých snímků) v období 1986 – 2003, ve dvou případech před rokem 1973 a ve zbylých případech nebylo možné na základě leteckých snímků období vzniku přesně identifikovat. Druhá skupina s průměrnými R-hodnotami ( $46,5 \pm 8,6$ ) a rozpětím  $40,7 \pm 9,3$  až  $50,0 \pm 7,1$  zahrnuje 7 murových drah. Na základě analýzy leteckých snímků bylo zjištěno, že 6 z těchto akumulací vzniklo pravděpodobně před rokem 1973 a jedna akumulace vznikla pravděpodobně v období 1986 – 2003.

Nejvyšší průměrné R-hodnoty zjištěné v zájmové oblasti ( $65,0 \pm 3,8$  a  $62,3 \pm 4,8$ ), podobně, jako R-hodnoty první skupiny (s průměrem  $58,8 \pm 4,7$ ) a rozpětím  $56,9 \pm 3,9$  až  $61,3 \pm 4,8$  odpovídají průměrným R-hodnotám pro čerstvé povrchy vyvřelých hornin, např. granitu (50 – 60), které stanovil Goudie (2006). Rovněž se přibližují intervalu průměrných R-hodnot  $62,1 \pm 3,9$  až  $63,7 \pm 3,8$ , které pro nezvětralý, recentně exponovaný povrch granitu ve Vysokých Tatrách stanovili Zasadni a Klapysa (2016), nebo

R-hodnotám 64 – 65, které Klapysa (2013) stanovil pro 100 – 150 let staré granitové povrchy ve slovenské části Vysokých Tater. Na druhou stranu R-hodnoty první skupiny odpovídají také R-hodnotám naměřeným na kamenných ledovcích a morénách v Bystré a Žiarské dolině v Západních Tatrách ( $52,7 \pm 6,2$  až  $62,2 \pm 2,7$ ), které Klapysa (2011, 2013) zařazuje do pozdního glaciálu.

R-hodnoty druhé skupiny murových akumulací (průměrná R-hodnota  $46,5 \pm 8,6$ ) odpovídají R-hodnotám  $40,7 \pm 5,0$  až  $50,5 \pm 6,4$ , které Zasadni a Klapysa (2016) zjistili na morénách, kamenných ledovcích nebo ledovcem přemodelovaném podloží v údolí Pieć Stawów Polskich ve Vysokých Tatrách nebo hodnotám  $43,2 \pm 7,4$  až  $52,3 \pm 6,7$  naměřeným na morénách a kamenných ledovcích v údolí Buczynowa. Na obou lokalitách autoři na základě průměrné R-hodnoty 40,3 až 44,1 přiřazují vznik těchto tvarů do období počátku starého dryasu, průměrnou R-hodnotu 45,0 zařazují do období konce starého dryasu a průměrnou R-hodnotu 50,4 zařazují do období mladšího dryasu.

Nejnižší R-hodnoty zjištěné v zájmovém území ( $32,7 \pm 6,8$  a  $35,2 \pm 8,2$ ) odpovídají průměrné R-hodnotě  $33,9 \pm 5,2$ , kterou stanovila Pluháčková a Mentlík (2015) na kamenném ledovci přímo v zájmovém území (Salatínská dolina) a jehož vznik zařazují do druhé fáze postupu ledovců v období 16 – 15 tis. let před současností (Engel a kol. 2017). Také Engel a kol. (2015) zjištěnou R-hodnotu  $34,6 \pm 4,5$  morény z Vysokých Tater zařazují do období druhé fáze postupu ledovců po období lokálního

posledního glaciálního maxima (před 20,5 tis. lety). Dále Zasadni a Klapyta (2016) zjistili průměrné R-hodnoty ledovcem přemodelovaného podloží z období posledního glaciálního maxima v polské části Vysokých Tater na  $32,4 \pm 5,07$  až  $33,7 \pm 5,5$ .

Porovnání zjištěných průměrných R-hodnot v zájmovém území s publikovanými studiiemi z oblasti Tater se neukázalo jako příliš vhodné. Nejvyšší R-hodnoty zájmového území (odpovídající nejmladším murovým akumulacím zájmového území) sice odpovídají publikovaným hodnotám recentně exponovaných povrchů (Goudie 2006; Zasadni a Klapyta 2016), ovšem i R-hodnotám zjištěných na kamenných ledovcích z období pozdního glaciálu (Klapyta 2011, 2013).

Se snižujícími se průměrnými R-hodnotami se zvyšuje rozptyl naměřených R-hodnot. V případě R-hodnot první skupiny (s průměrem  $58,8 \pm 4,7$ ) jsou zaznamenány nižší směrodatné odchylky ( $\sigma = 3,5 - 7,4$ ), než ve druhé skupině (s průměrnými R-hodnotami  $48,9 \pm 6,9$ ), kde směrodatné odchylky naměřených R-hodnot činí  $\sigma = 5,0 - 13,1$ . Rozdílný rozptyl hodnot mohl ovlivnit výsledky ANOVY, kdy byla zjišťována signifikantnost rozdílů mezi oběma skupinami. Z tohoto důvodu byly výsledky ANOVY ověřeny také neparametrickou ANOVOU, tzv. Kruskal-Wallisovým testem. Výsledky Kruskal-Wallisova testu výsledky parametrické ANOVY potvrdily ( $p < 0,0001$ ). Měření na lokalitách druhé skupiny (s nižšími R-hodnotami) mohlo být ovlivněno částečným pokrytím bloku velmi slabou vrstvou lišejníků. V případě měření provedených na transportně-akumulačních oblastech v terénu zmapovaných lokalit mohlo také dojít k nepřesné identifikaci některých částí akumulací – např. zahrnutí více generací murových akumulací do jedné, takže několik bloků mohlo vykazovat nižší průměrnou R-hodnotu a další část bloků z mladší části akumulace vyšší průměrnou R-hodnotu.

Při srovnání průměrných R-hodnot s výsledky analýzy leteckých snímků lze hovořit o určité souvislosti – nejvyšší průměrné R-hodnoty byly zaznamenány na částech mur, které byly podle leteckých snímků analyzovány, jako nejmladší, naopak nejnižší průměrné R-hodnoty byly zjištěny na drahách, které byly zařazeny do nejstarších období vzniku. V tomto směru lze tedy metodu měření zvětrání povrchu bloků (Schmidt hammer test) murových akumulací zájmového území označit za poměrně úspěšnou. Otázkou ovšem zůstává spolehlivost naměřených výsledků na blocích pod horní hranicí lesa. Tato měření oproti výsledkům zjištěným na akumulacích v nejvyšších nadmořských výškách vykazují obecně vysoký rozptyl. Možné je tedy

ovlivnění měření častějšími vyrostlicemi na blocích nebo výskytem tenké vrstvy lišejníků, případně nepřesné interpretaci akumulací v terénu.

### **6.3.2 Lichenometrie**

Stáří akumulací stanovené pomocí lichenometrické křivky, kterou navrhl Kedzia (2015; zjištěné na základě průměru největší stélky) bylo porovnáno s publikovanou lichenometrickou křivkou, kterou navrhl Kotarba (1988) pro oblast Tater. V oblasti 1550 – 1850 m n. m. (velmi chladný vertikální stupeň s průměrnou roční teplotou +2 až 0°) podle Kotarby (1988) lichen faktor činní 38,1 mm a ve výškách 1850 – 2200 činní 32,5 mm (mírně studený vertikální stupeň s průměrnou roční teplotou 0 až -2°C). Pro nejnižše položené akumulací oblasti mur zájmového území tedy tato křivka není přesná. Rozdíl ve stáří murových akumulací, zjištěných na základě těchto dvou lichenometrických křivek, dosahuje 0,1 – 10,7 roku (Tabulka 32). Nejvýraznější rozdíl ve zjištěném stáří je patrný v případě nejnižše položených akumulací ROH\_1\_2, ROH\_H, ROH\_I, které se nacházejí níže, než hranice 1550 m n. m., pro kterou je tato lichenometrická křivka přesná. Oproti tomuto poměrně hrubému rozdělení nadmořských výšek (1550 – 1850 a 1850 – 2200 m n. m.), které použil Kotarba (1988) je křivka operující s konkrétní nadmořskou výškou měřeného bloku, kterou navrhl Kedzia (2015), pravděpodobně přesnější metodou.

**Tabulka 32:** Srovnání výsledků lichenometrického stáří podle Kedzii (2015) a Kotarby (1988)

Dráha	Nadmořská výška (m n. m.)	Průměr stélky (mm)	Stáří 2 (let)	Stáří 3 (let)	Absolutní rozdíl stáří (let)
SMU_12	1714 - 1720	4,5	11,9	11,8	0,1
SMU_14	1631 - 1633	19	48,4	49,9	1,5
SPA_1	1894 - 1927	5,8	17	17,8	0,8
SPA_9	1844 - 1866	5	14,2	13,1	1,1
SPA_9_2	1820 - 1824	21	58,7	55,1	3,6
SPA_10_2	1874 - 1885	15	43,1	46,2	3,1
SAL_5	1731 - 1754	7	18,8	18,4	0,4
SAL_6	1756 - 1759	7	18,9	18,4	0,5
SAL_9	1785 - 1813	10	27,7	26,2	1,5
SAL_10_2	1738 - 1761	7,2	19,4	18,9	0,5
ROH_1_2	1333 - 1354	28	62,8	73,5	10,7
ROH_H	1364 - 1401	11,7	26,6	30,7	4,1
ROH_I	1055 - 1060	12,7	25,3	33,3	8,0

**Poznámka:** Stáří 2 vyjadřuje stáří odvozené na základě průměrů největší stélky podle Kedzii (2015), Stáří 3 značí stáří odvozené podle lichenometrické křivky Kotarby (1988).

Stáří murových akumulací, zjištěné na základě lichenometrických měření, bylo porovnáváno s denními srážkovými úhrny zjištěnými na meteorologické stanici Kasprov Vrch na polské části Západních Tater (NOAA 2016) a s leteckými snímky (viz Tabulka 33). Na základě lichenometrických měření byly zjištěny 3 mury, které vznikly před rokem 1973, 1 mura z období let 1973 – 1986, dále 7 mur z období 1986 – 2003 a 2 mury z období let 2003 – 2015. Akumulace SPA\_9\_2, která na základě lichenometrie vznikla v roce 1958, může být následkem srážkové události v červnu roku 1958, kdy denní srážkové úhrny přesahovaly prahovou hodnotu 80 mm/den, kterou stanovil Kotarba (1997). V období let 1973 – 1986 probíhala spíše eroze a odnos materiálu transportně-akumulačních oblastí mur a nebyl zaznamenán vznik výraznějších nových akumulací. Pomocí lichenometrických měření v tomto období vznikla jedna murová akumulace (dráha SPA\_10\_2), která mohla vzniknout, jako následek srážkové události v srpnu roku 1974, kdy srážkové úhrny přesahovaly 90 mm/den.

Pomocí lichenometrie byl datován vznik většiny transportně-akumulačních oblastí mur na období let 1986 – 2003. Tři případy vzniku mur jsou pomocí lichenometrie



datovány na rok 1998. V tomto roce byly na meteorologické stanici Kasprov Vrch zaznamenány srážkové úhrny 107,95 mm/den. Období vzniku transportně-akumulačních oblastí v roce 1998, stanovené pomocí lichenometrie bylo ověřeno i pomocí leteckých snímků. Ve dvou případech (akumulace SAL\_5 a SAL\_10\_2) bylo potvrzeno období vzniku stanovené pomocí lichenometrie – měření bylo provedeno na blocích, které jsou pravděpodobně součástí murových akumulací vzniklých v období let 1986 – 2003. V případě akumulace SAL\_6 bylo určení stáří akumulace na které bylo provedeno měření lišejníků problematické. Část bloků se mohla nacházet v oblasti akumulace z období let 1986 – 2003, ovšem některé bloky mohly pocházet ze starší události před rokem 1973. Další murové akumulace, datované pomocí lichenometrie na toto období pocházejí pravděpodobně z 90. let 20. století (ROH\_H, ROH\_I). V případě akumulace ROH\_I (na rozdíl od akumulace ROH\_H) se ovšem původ z tohoto období nepodařil prokázat. Akumulace této mury mohla vzniknout po výrazné srážkové události, která byla zaznamenána v dubnu roku 1992. V případě vzniku akumulace ROH\_H, datované na rok 1990, nebyla zjištěna žádná významnější srážková událost předcházející její vznik.

V období let 2003 – 2015 vznikly podle lichenometrických dat dvě akumulace (SMU\_12 a SPA\_9). V roce 2003, na kdy byl datován vznik akumulace SPA\_9, nebyla zaznamenána žádná výrazná srážková událost přesahující prahové hodnoty, naopak v případě akumulace SMU\_12, datované na rok 2005 mohlo dojít ke vzniku mury po denním srážkovém úhrnu 87,1 mm zjištěných v červnu roku 2005. Akumulace této mury je na základě leteckých snímků zařazena do období vzniku mezi roky 2003 – 2015, letecké snímky tedy potvrzují výsledky lichenometrického datování.

*Tabulka 33: Srovnání výsledků lichenometrie se srážkovými úhrny a leteckými snímky*

Dráha	Stáří 2 (let)	Období vzniku (lichenometrie)	Období vzniku (letecké snímky)	Srážky nad 80 - 100 mm/den	Úhrn srážek (mm/den)
SMU_12	11,9	2005	2003 - 2015	červen 2005	87,122
SMU_14	48,4	1969	před 1973	-	-
SPA_1	17	2000	1986 - 2003	květen 2000	111,252
SPA_9	14,2	2003	2003 - 2015	-	-
SPA_9_2	58,7	1958	nelze určit	červen 1958	80,01
SPA_10_2	43,1	1974	nelze určit	srpen 1974	94,996
SAL_5	18,8	1998	1986 - 2003	květen 1998	107,95
SAL_6	18,9	1998	před 1973	květen 1998	107,95
SAL_9	27,7	1989	2003 - 2015	srpen 1989	81,026
SAL_10_2	19,4	1998	1986 - 2003	květen 1998	107,95
ROH_1_2	62,8	1954	před 1973	-	-
ROH_H	26,6	1990	1986 - 2003	-	-
ROH_I	25,3	1992	1973 - 1986	duben 1992	100,33

**Poznámka:** Stáří 2 značí odvozené stáří na základě velikosti největší stélky lišejníku (Kedzia 2015).

Datování vzniku 13ti murových akumulací v zájmovém území pomocí lichenometrie přineslo uspokojivé výsledky, neboť v osmi případech potvrdila stanovené stáří analýza leteckých snímků. Zjištěné výsledky jsou však limitovány nepříliš rozsáhlým souborem dat, především z důvodu absence stélek lišejníku mapovníku zeměpisného (*Rhizocarpon geographicum*) na většině mur v zájmovém území. Akumulace murových drah, nacházejících se v nejvýše položených oblastech zájmového území (nad horní hranicí lesa), jsou zpravidla poměrně čerstvé a starší akumulace mohou být překryty novým materiálem (např. opadem ze skalních stěn) ještě před zahájením kolonizace lišejníkem (Kedzia 2013). Bloky starších akumulací nacházejících se pod horní hranicí lesa byly v mnoha případech porostlé jinými druhy lišejníků nebo např. mechy, které datování pomocí lichenometrie znemožňují.

Mezi velikostí stélek mapovníku zeměpisného (*Rhizocarpon geographicum*) a průměrnou R-hodnotou byla zjištěna velmi slabá negativní korelace (hodnota Pearsonova korelačního koeficientu činní  $r = -0,12$ ). Jako příklad lze uvést akumulace, které podle lichenometrie vznikly v roce 2005 (průměr stélky lišejníku činní 0,37 cm) a 2003 (průměr stélky činní 0,46 cm) byly průměrné R-hodnoty zjištěny na  $57,8 \pm 7,4$  (SMU\_12) a  $57,8 \pm 4,6$  (SPA\_9; viz Tabulka 34). Naopak na akumulaci

SAL\_6, jejíž vznik byl pomocí lichenometrie datován na rok 1998 (s průměrem stélky 0,65 cm) dosahuje průměrné R-hodnoty jen  $49,4 \pm 6,1$ .

**Tabulka 34:** Srovnání výsledků lichenometrie a průměrných R-hodnot testovaných akumulací

Dráha	Průměr stélky (cm)	Období vzniku (lichenometrie)	Období vzniku (letecké snímky)	Průměrná R-hodnota
SMU_12	0,37	2005	2003 - 2015	$57,8 \pm 7,4$
SMU_14	1,64	1969	před 1973	$56,0 \pm 5,2$
SPA_1	0,48	2000	1986 - 2003	$60,8 \pm 3,5$
SPA_9	0,46	2003	2003 - 2015	$57,8 \pm 4,6$
SPA_9_2	1,84	1958	nelze určit	$57,7 \pm 4,8$
SPA_10_2	1,26	1974	nelze určit	$57,3 \pm 4,8$
SAL_5	0,59	1998	1986 - 2003	$56,1 \pm 4,3$
SAL_6	0,65	1998	před 1973	$49,4 \pm 6,1$
SAL_9	1	1989	2003 - 2015	$57,5 \pm 3,8$
SAL_10_2	0,6	1998	1986 - 2003	$58,2 \pm 5,1$
ROH_1_2	2,8	1954	před 1973	$52,8 \pm 7,7$
ROH_H	1,31	1990	1986 - 2003	$53,5 \pm 5,4$
ROH_I	1,05	1992	1973 - 1986	$35,2 \pm 8,2$

#### 6.4 Plošné změny transportně-akumulačních oblastí mur v období let 1973 – 2015

Tato práce potvrzuje stávající poznatky o průběhu změn plochy transportně-akumulačních oblastí mur, které na základě analýzy leteckých snímků stanovil Kapusta a kol. (2010) v dolině Zeleného plesa nebo Velické dolině ve Vysokých Tatrách a přináší nové informace o změnách plochy transportně-akumulačních oblastí mur v letech 2003 - 2015. V zájmovém území byl zjištěn výrazný úbytek plošného rozsahu transportně-akumulačních oblastí mur v intervalu 1973 – 1986, což odpovídá výsledkům Kapusty a kol. (2010), který v tomto období v dolině Zeleného plesa ve Vysokých Tatrách zjistil největší pokles plochy mur, ovšem v případě Velické doliny autor nezaznamenal žádnou výraznou změnu. Krzemien (1988) uvádí, že v oblasti polské části Západních Tater (Starorobocianská dolina) v období přibližně od 50. let 20. století do poloviny 80. let 20. století počet nových případů mur nenarůstá. Naproti tomu Kotarba (2004) označuje období od počátku 70. let 20. století jako období se zvyšující se frekvencí mur, kterému předcházelo klidnější období trvající od 20. až 30. let 20.

století (zjištěné na základě lichenometrie). Také Gadek a kol. (2016) zaznamenává zvýšenou aktivitu modelace svahů (zejména murami) v polské části Vysokých i Západních Tater od počátku 70. let. do 80. let 20. století.

V období let 1986 – 2003 byl v zájmové oblasti zaznamenán nárůst plochy transportně-akumulačních oblastí mur – docházelo tedy ke vzniku výrazných nových akumulací, které pouze nevyplňovaly starší vyhloubená koryta. Na leteckých snímcích z roku 2003 bylo na některých lokalitách identifikováno i více generací murových akumulací. V tomto období tedy dochází k častějšímu vzniku plošně rozsáhlejších mur, tak jak hovoří Kotarba (1997) o období od poloviny 80. let do poloviny 90. let 20. století. Zjištěné poznatky o nárůstu ploch transportně-akumulačních oblastí mur v zájmovém území v období 1986 – 2003 potvrzují výsledky studie Kapusty a kol. (2010), který se zabýval analýzou leteckých snímků ve Velické dolině a Dolině Zeleného plesa. Kedzia (2010), který se zabýval analýzou leteckých snímků v oblasti hory Žółta Turnia v polské části Vysokých Tater, také udává, že k nárůstu plochy murových akumulací docházelo v období let 1983 – 1994 a k dalším změnám docházelo i v roce 1999. V tomto období došlo v zájmovém území také k nárůstu frekvence vzniku nových případů mur. O nárůstu frekvence nových případů mur trvající od poloviny 80. let 20. století do poloviny 90. let 20. století hovoří také Kotarba (1997). Vzrůstající frekvenci murových událostí autor přisuzuje narůstajícímu počtu a intenzivním srážkovým událostem během léta, během nichž jsou navíc zaznamenány vyšší srážkové úhrny.

Nárůst frekvence vzniku nových případů mur od poloviny 80. let 20. století, o které hovoří Kotarba (1997) odpovídá vývoji denních srážkových úhrnů naměřených na meteorologické stanici Kasprov Vrch (1991 m n. m.) v polské části Západních Tater (NOAA 2016). Období let 1986 – 2003 se vyznačuje častým (téměř každoročním) výskytem srážkových událostí, při kterých je překročena prahová hodnota pro vznik mur 88 mm/den (Kotarba 1997) a tedy je pravděpodobný častější vznik nových případů mur. V prvním období let 1980 – 1985 zaznamenat nižší denní srážkové úhrny, než v následujícím období let 1985 – 1990, ve kterém Kotarba (1997) hovoří o výrazném nárůstu extrémních srážkových událostí. V prvním období byl zaznamenán jeden den se srážkami převyšujícími 100 mm/den (110 mm/den, červenec 1980) a jeden den se srážkami převyšujícími 80 mm/den (83 mm/den, květen 1984, podle prahové hodnoty pro vznik mur v Tatrách, kterou navrhl Kotarba 1997). V období 1985 – 1990 byly srážky převyšující 100 mm/den zaznamenány pouze v srpnu roku 1988 (114 mm/den),

srážky vyšší než 80 mm/den byly zaznamenány dvakrát (85 mm/den v červenci 1987 a 81 mm/den v srpnu 1989) a výrazně přibýlo srážek vyšších než 40 mm/den. Od roku 1994 do roku 2001 je každý rok během jarního a letního období zaznamenána jedna srážková událost s naměřenými úhrny převyšujícími 100 mm/den (červenec 1996, červenec 1997, květen 1998), v červnu roku 2001 byl dokonce zaznamenán srážkový úhrn až 123 mm/den. Srážkové úhrny převyšující 80 mm/den byly zaznamenány v červnu roku 1994, červnu 1995 a dubnu 1999.

O výrazném zvlhčování klimatu od roku 1995 hovoří také Klapysa a kol. (2015). Zjištěná období výrazných srážkových úhrnů (od poloviny 80. let. 20. století) se také shodují s roky 1997 a 2001, které Kotarba (2004) označil za roky, kdy se ve Vysokých Tatrách vyskytly extrémní srážkové úhrny. V roce 2002, který Kotarba (2004) také vymezil ovšem na stanici Kaspov Vrch extrémní případ srážkových úhrnů převyšující prahové hodnoty zaznamenán nebyl.

Po roce 2003 je v zájmovém území zaznamenán pokles průměrné plochy transportně-akumulačních oblastí mur, ovšem frekvence vzniku nových případů mur v období let 2003 – 2015 je jen mírně nižší, než v předchozím období (1986 – 2003). Tento vývoj tedy naznačuje, že v období po roce 2003 se vytvářejí spíše mury menšího plošného rozsahu, které nedosahují (až na výjimku např. lokalitu SMU\_15) až na dno údolí. Zpravidla dochází pouze k vyplňování starších murových koryt nebo tvorbě opadů bloků v blízkosti skalních stěn, které tvoří nejmladší části murové dráhy (Kotarba 2004). Kedzia (2010) uvádí, že v období let 2003 – 2009 již nebyly na murových drahách v oblasti hory Žólta Turnia zaznamenány žádné výrazné změny. Kapusta a kol. (2010) ve Vysokých Tatrách v období let 2003 - 2006 zaznamenává v případě Doliny Zeleného plesa jen slabý nárůst plochy murových akumulací odvozený z leteckých snímků, ovšem ve Velické dolině zaznamenává výrazný nárůst plochy akumulačních oblastí mur. O výrazném zvětšení plochy transportně-akumulačních oblastí mur ve Velké Studené dolině ve Vysokých Tatrách v roce 2014 oproti roku 2004 se zmiňují také Šilhán a Tichavský (2017). Šilhán a Tichavský (2016) dále zaznamenávají také v Malé a Velké Studené dolině ve Vysokých Tatrách na základě dendrologeomorfologických metod výrazný nárůst frekvence vzniku nových případů mur po roce 2007.

Analýzou denních srážkových úhrnů z meteorologické stanice Kaspov Vrch (NOAA 2016) lze v období let 2003 – 2015 zjistit pokles počtu dní s nejvyššími srážkovými úhrny, zaznamenány jsou ovšem vyšší extrémní srážkové úhrny přesahující

i 130 mm/den. Denní srážkové úhrny převyšující 80 mm/den jsou v tomto období zaznamenány pouze ve třech letech (červnu 2005, květnu 2010 a červenci 2014). Srážkový úhrn vyšší než 100 mm/den byl zaznamenán třikrát - v červenci roku 2008 (109 mm/den), v srpnu 2009 (132 mm/den) a v květnu roku 2014 byl naměřen srážkový úhrn 130 mm/den. Po významné srážkové události v květnu roku 2014 došlo v zájmové oblasti ke vzniku výrazné (v zájmovém území až extrémní) mury ve Smutné dolině (SMU\_15), jejíž akumulační část zasahuje až daleko na dno údolí (Dlabáčková 2015). Uvedený případ mury potvrzuje tvrzení Kotarby (2004), který uvádí, že pouze při nejvyšších srážkových úhrnech mohou vznikat mury, které pokrývají celý svah a zasahují až na dno údolí.

Vysoké srážkové úhrny nejsou jediným důležitým faktorem při vzniku mur. Aktivita mur v zájmové oblasti Roháčů je ovlivněna množstvím materiálu, který je ve skalních žlebech připraven k transportu při výraznější srážkové události. Šilhán a Tichavský (2016) poukazují na důležitost množství uvolněného materiálu, který vzniká ve skalních žlebech v periglaciálních podmínkách v oblasti s výskytem nesouvislého permafrostu. Autoři uvádějí, že vlivem zvyšování průměrné teploty v letních a podzimních měsících od roku 2000 dochází k tání permafrostu ve zdrojových oblastech mur Vysokých Tater a tím k vyšší produkci uvolněného materiálu, který se akumuluje ve skalních žlebech. Zdrojové oblasti mur zájmového území se nacházejí v nižší průměrné nadmořské výšce (1830 – 2000 m n. m.) ve srovnání např. s Vysokými Tatrami (1940 – 2300 m n. m.; Šilhán a Tichavský 2016). Nesouvislý permafrost, jehož hranici klade Dobinski (2005) do výšky 1930 m n. m., se tudíž nachází jen v nejvyšších částech zájmového území. Je tedy možné, že ve zdrojových oblastech mur sledovaného území se nyní permafrost nenachází a nedochází tak k jeho tání a následnému rozvolňování skalních stěn a zvýšené produkci sutinového materiálu. Případně se permafrost v zájmové oblasti nacházet může, ovšem v hlubších částech skalních stěn, které se na vzniku zdrojového materiálu mur nepodílí. Tuto hypotézu by ovšem bylo potřeba ověřit např. terénním měřením teploty horninového prostředí nebo geofyzikálním průzkumem.

## 7 Závěr

Prvním cílem této práce bylo v zájmové oblasti Roháčské doliny a příslušných bočních údolích (Smutná, Spálená, Tmavá Spálená, Zadná Spálená a Salatínská dolina) vyhodnotit změny plochy, délky a četnosti mur v období 1973 – 2015Z provedených analýz vyplývají tyto závěry:

- Největší plošný rozsah transportně-akumulačních oblastí mur byl zjištěn na leteckých snímcích z roku 1973 (s celkovou plochou 172 117,93 m<sup>2</sup>, zaujímající 0,52 % plochy povrchu zájmové oblasti). Průměrná délka transportně-akumulačních oblastí mur v tomto období činila 220,5 m.
- V období 1973 – 1986 byl zaznamenán úbytek plochy (19,24 %) a průměrné délky (-12,81 %) transportně-akumulačních oblastí mur. V letech 1986 – 2003 mírný nárůst (o 8,63 %), resp. o 5,68 %. V období 2003 – 2015 byl zaznamenán pokles plochy o 22,67 % a průměrné délky (-20,86 %) transportně-akumulačních oblastí mur.
- Trend vývoje plochy murových akumulací do roku 2003 odpovídá dosavadním poznatkům (např. Kapusta a kol. 2010), v období 2003 – 2015 došlo v zájmovém území k úbytku plochy transportně-akumulačních oblastí, na rozdíl od publikovaných studií (např. Šilhán a Tichavský 2017).
- Plocha transportně-akumulačních oblastí mur zájmového území se ve sledovaném období let 1973 – 2015 snižuje (doloženo přímkou lineární regrese s hodnotou spolehlivosti  $R^2 = 0,6824$ ).

Dalším cílem bylo odvodit základní morfometrické charakteristiky (nadmořskou výšku, sklon, orientaci, příkon slunečního záření) pro zdrojové a transportně-akumulační oblasti mur. Hlavní závěry lze shrnout v následujících bodech:

- Zdrojové oblasti mur zájmového území se nacházejí v průměrné nadmořské výšce 1923 m n. m. (s rozpětím 1537 – 2085 m n. m.). Průměrná minimální nadmořská výška zdrojových oblastí činí 1830 m n. m. (s rozpětím 1432 – 2011 m n. m.). Průměrná maximální nadmořská výška zdrojových oblastí činí 1999 m n. m. (s rozpětím 1573 – 2175 m n. m.), čímž spadá do rozmezí průměrné maximální nadmořské výšky zdrojových oblastí stanoveného Kotarbou (2013) pro zdrojové oblasti mur Západních Tater.

- Transportně-akumulační oblasti se nacházejí v průměrné nadmořské výšce 1778 m n. m. (s rozpětím 1370 – 1980 m n. m.). Průměrná minimální nadmořská výška transportně-akumulačních oblastí činí 1739 m n. m. (s rozpětím 1316 – 1965 m n. m.), které odpovídá rozmezí uvedeným Kotarbou (2013). Průměrná maximální nadmořská výška činí 1822 m n. m. (s rozpětím 1430 – 2006 m n. m.).
- Průměrné vertikální rozpětí zdrojových oblastí činí 169 m, minimální 23 m, maximální 465 m. Průměrné vertikální rozpětí transportně-akumulačních oblastí činí 83 m, minimální 3 m, maximální 267 m. Celkové vertikální rozpětí zdrojových i transportně-akumulačních oblastí mur činí 54 – 621 m, s průměrem 252 m.
- Průměrný sklon zdrojových oblastí činí  $43,8^\circ$  ( $31,6^\circ$  –  $61,9^\circ$ ), průměrný minimální sklon  $20,6^\circ$  ( $10^\circ$  –  $53,4^\circ$ ) a průměrný maximální sklon zdrojových oblastí  $53^\circ$  ( $37,8^\circ$  –  $68,3^\circ$ ). Jurczak a kol. (2013) udává průměrný sklon zdrojových oblastí v polské části Tater  $30^\circ$  –  $50^\circ$ .
- Průměrný sklon transportně-akumulačních oblastí činí  $35,7^\circ$  ( $20,7^\circ$  –  $46,3^\circ$ ), průměrný minimální sklon  $29,4^\circ$  ( $5,2^\circ$  –  $39,5^\circ$ ) a průměrný maximální sklon  $43,2^\circ$  ( $32,1^\circ$  –  $59,9^\circ$ ).
- Nejvíce murových drah se nachází na svazích se severní orientací (41), dále severovýchodní (21), východní (11), západní (10) a severozápadní orientací (9). Na svazích s jihozápadní orientací se nachází 4 dráhy a na svazích s jižní orientací se nenachází žádná z drah. Severně orientované transportně-akumulační oblasti mají větší plochu (a délku), než transportně-akumulační oblasti s jihozápadní nebo jihovýchodní orientací, severně orientované zdrojové oblasti mají současně vyšší sklon reliéfu.
- Plocha zdrojové oblasti silně koreluje s plochou transportně-akumulační oblasti ( $r = 0,65$ ), plošně rozsáhlé transportně-akumulační oblasti tedy vznikají pod velkými zdrojovými oblastmi.
- Průměrný příkon slunečního záření zdrojových oblastí mur byl zjištěn na  $695\ 049,0\ \text{Wh}\cdot\text{m}^{-2}$ , v případě transportně-akumulačních oblastí činí  $744\ 509,8\ \text{Wh}\cdot\text{m}^{-2}$ .



Posledním cílem práce bylo terénní zmapování murových akumulací v nejnižší položených částech zájmového území a stanovení jejich stáří na základě zvětření povrchu balvanů (Schmidt hammer test) a velikosti stélek lišejníku mapovníku zeměpisného (*Rhizocarpon geographicum*). Tato část práce přinesla následující výsledky:

- Zmapováno bylo celkem 10 akumulací v oblasti Roháčské doliny (pod horní hranicí lesa). Na všech mapovaných lokalitách byl zaznamenán průběh čela akumulací a dochované části transportně-akumulační oblasti, v případě akumulací (ROH\_B, ROH\_G a ROH\_J) byly navíc zmapovány dílčí podélné valy.
- Měření stupně zvětření porchu (Schmidt hammer test) bylo provedeno na 29ti lokalitách zájmové oblasti (10 lokalit v Roháčské dolině, 7 ve Spálené, 6 lokalit v Salatínské, 3 lokality ve Smutné a 2 v Tmavé Spálené dolině). Lichenometrická měření byla provedena na 13ti lokalitách zájmového území (4 lokality v Salatínské dolině, 4 ve Spálené, 3 v Roháčské dolině, 2 ve Smutné dolině).
- Nejnižší průměrné R-hodnoty zjištěné v zájmovém území ( $32,7 \pm 6,8$  a  $35,2 \pm 8,2$  a  $40,7 \pm 9,3$ ) odpovídají průměrným R-hodnotám publikovaným pro morény z období posledního glaciálního maxima (Klapyta 2013, Zasadni a Klapyta 2016) nebo kamenného ledovce v Salatínské dolině (Pluháčková a Mentlík 2015).
- Nejvyšší průměrné R-hodnoty zjištěné v zájmovém území ( $56,9 \pm 3,9$  až  $62,1 \pm 4,5$  a  $65,0 \pm 3,8$  a) jsou v souladu s R-hodnotami uváděnými pro nezvětralý granit (Goudie 2006) nebo recentně exponovaný povrch granitu Vysokých Tater (Zasadni a Klapyta 2016), ovšem odpovídají také R-hodnotám naměřeným na kamenných ledovcích a morénách z období pozdního glaciálu v Bystré a Žiarské dolině v Západních Tatrách (Klapyta 2011, 2013).
- R-hodnoty byly rozděleny do dvou skupin První skupinu tvoří akumulace s průměrnou hodnotou  $58,8 \pm 4,7$  a rozpětím  $56,9 \pm 3,9$  až  $61,3 \pm 4,8$ . V této skupině se nacházejí transportně-akumulační oblasti mur, které na základě analýzy leteckých snímků vznikly nejčastěji v letech 1986 – 2015. Druhou skupinou jsou akumulace s průměrnou R-hodnotou  $46,5 \pm 8,6$  a rozpětím

$40,7 \pm 9,3$  až  $50,0 \pm 7,1$ , které na základě analýzy leteckých snímků vznikly nejčastěji v období před rokem 1973.

- Pomocí lichenometrie byly zjištěny 3 případy mur, které vznikly před rokem 1973, 1 mura z období 1973 – 1986, 7 mur z období 1986 – 2003 a 2 z období 2003 – 2015. V 10ti případech mur z 13ti datovaných byla ve stanoveném roce zjištěna výrazná srážková událost na meteorologické stanici Kasprov Vrch v polské části Západních Tater (NOAA 2016). Srážkové úhrny těchto událostí přesahovaly prahovou hodnotu pro vznik mur na území Tater (80 – 100 mm/den) stanovenou Kotarbou (1997). V případě osmi akumulací z třinácti se podařilo období vzniku určené pomocí lichenometrie potvrdit i pomocí analýzy leteckých snímků.
- Při lichenometrickém určení stáří bloku pomocí jedné největší stélky (Kedzia 2015) byly zjištěny vyšší hodnoty stáří (přibližně o 4 roky) oproti metodě používající průměr pěti největších stélek lišejníku (Kedzia 2015). Při určení stáří bloku pomocí lichenometrické křivky Kotarby (1988) byly zjištěny převážně nižší hodnoty stáří ve srovnání s metodou největší stélky podle Kedzii (2015). Průměrný rozdíl těchto dvou metod činí 3 roky.

## 8 Zdroje

### 8.1 Seznam použité literatury

BALON, J. a kol. (2015): Tatry – fyzickogeografická regionalizacia. In: Dabrowska, K. a Guzik, M. (Eds.): Atlas Tatr: neživá příroda. 1. vydání. Zakopane. ISBN 978-83-61788-91-1.

BOELHOUWERS, J. C. a kol. (1999): Application of relative-age dating methods to openwork debris flow deposits in the Cederberg Mountains, Western Cape, South Africa. *South African Geographical Journal*, 81(3), s. 135-142.

BOLTÍŽIAR, M. (2007): Štruktúra vysokohorskej krajiny Tatier (veľkomierkové mapovanie, analýza a hodnotenie zmien aplikáciou údajov diaľkového prieskumu Zeme). Fakulta prírodných vied Univerzity Konštantína Filozofa v Nitre, Ústav krajinnej ekológie SAV Bratislava, pobočka Nitra, Slovenský národný komitét pre program UNESCO Človek a biosféra, Nitra. ISBN 978-80-8094-197-0. s. 248.

BOLTÍŽIAR, M. (2009): Vplyv georeliéfu a morfordynamických procesov na priestorovú štruktúru vysokohorskej krajiny Tatier. Nitra. Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, Ústav krajinnej ekológie SAV Bratislava. ISBN 978-80-8094-544-2. s. 158.

BRUNSDEN, D. (1979): Mass movements. In: Embleton C, Thornes J (eds) *Process in geomorphology*. Edward Arnold, London, 130–186. In: KOTARBA, A. a kol. (2013): Recent Debris Flows in the Tatra Mountains. In: Lóczy, D. (Ed.): *Geomorphological impacts of extreme weather: Case Studies from Central and Eastern Europe*. 1. vydání. Dordrecht: Springer Netherlands. ISBN 978-94-007-6300-5. s. 373.

CLARK, P. a kol. (2009): The last glacial maximum. *Science*, 325(5941), s. 710-714.

ČERVENÝ, J. (1984): Podnebí a vodní režim ČSSR. Praha: SZN. s. 414.

DEMEK, J. (1987): *Obecná geomorfologie*. Praha: Academia. s. 476.

DLUGOSZ, M. (2015): Sutinové prúdy. In: Dabrowska, K. a Guzik, M. (Eds.): Atlas Tatr: neživá príroda. 1. vydání. Zakopane. ISBN 978-83-61788-91-1.

DOBINSKI, W. (1998): Permafrost occurrences in the alpine zone of the Tatra Mountains, Poland. In Proceedings, Seventh International Conference on Permafrost, Yellowknife. s. 231-237.

DOBINSKI, W. (2005): Permafrost of the Carpathian and Balkan Mountains, eastern and southeastern Europe. *Permafrost and Periglacial Processes*, 16(4), s. 395-398.

ELZNICOVÁ, J. (2008): Zpracování archivních leteckých snímků pro identifikaci změn rozšíření agrárních valů během 20. století. *Severočeskou Přírodou*, 39, s. 15-22.

ENGEL, Z. a kol. (2015): Geomorphological evidence and  $^{10}\text{Be}$  exposure ages for the Last Glacial Maximum and deglaciation of the Velká and Malá Studená dolina valleys in the High Tatra Mountains, central Europe. *Quaternary Science Reviews*, 124, s. 106-123.

ENGEL, Z. a kol. (2017):  $^{10}\text{Be}$  exposure age chronology of the last glaciation of the Roháčská Valley in the Western Tatra Mountains, central Europe. *Geomorphology*, 293, s. 130-142.

GADEK, B. a KEDZIA, S. (2008): Winter ground surface temperature regimes in the zone of sporadic discontinuous permafrost, Tatra Mountains (Poland and Slovakia). *Permafrost and Periglacial Processes*, 19(3), s. 315-321.

GADEK, B. a kol. (2016): Reflection of climate changes in the structure and morphodynamics of talus slopes (the Tatra Mountains, Poland). *Geomorphology*, 263, s. 39-49.

GHILANI, C. D. (2000): Demystifying area uncertainty: more or less. *Surveying and Land Information Systems*, 60(3), s. 177-182.

GOREK, A. a KAHAN, S. (1973): Prehľad geologickeho vyvoja a stavby Vysokých Tatier. Zborník Prác TANAPu, 15, Martin. Osveta. s. 5 – 88.

GOUDIE, A. S. (2006): The Schmidt Hammer in geomorphological research. *Progress in Physical Geography*, 30(6), s. 703-718.

HENDL, J. (2004). Přehled statistických metod zpracování dat: analýza a metaanalýza dat. Praha. Portál. s. 734.

HENDRYCH, R. (1984): Fytogeografie. Praha: Státní pedagogické nakladatelství. s. 220.

HENGL, T. (2006): Finding the right pixel size. *Computers & geosciences*, 32(9), 1283-1298. In: Křížek, M. a kol. (2016): Praktikum morfometrických analýz reliéfu. Praha: Univerzita Karlova v Praze, nakladatelství Karolinum. s. 178.

HESS, M. (1996): Klimat. In: Mirek, Z. (Ed.): Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego. TPN, Kraków-Zakopane, pp. 53–69. In: Gądek, B. (2014): Climatic sensitivity of the non-glaciated mountains cryosphere (Tatra Mts., Poland and Slovakia). *Global and Planetary Change*, 121, s. 1-8.

HREŠKO, J. a kol. (2008): The dynamics of recent geomorphic processes in the alpine zone of the Tatra Mountains. *Geographia Polonica*, 81(1), s. 53-65.

HUBBARD, B. a GLASSER, N. F. (2005): Field techniques in glaciology and glacial geomorphology. John Wiley & Sons. s. 400.

CHOVANCOVÁ, B. a kol. (2010a): Šelmy. In: Baláž, E.: Tatry: príroda. Praha: Baset, 2010. ISBN 978-80-7340-115-3. s. 639.

CHOVANCOVÁ, B. a kol. (2010b): Sudokopytníci. In: Baláž, E.: Tatry: príroda. Praha: Baset, 2010. ISBN 978-80-7340-115-3. s. 639.

IKEDA, A. a MATSUOKA, N. (2002): Degradation of talus-derived rock glaciers in the Upper Engadin, Swiss Alps. *Permafrost and Periglacial Processes*, 13(2), s. 145-161.

INGR, M. a ŠARÍK, I. (1970): Sut'ový prúd v Roháčoch. *Mineralia Slovaca*, 2(8), s. 309-313.

JANÁK, M. a kol. (2001): Excursion to the Tatra Mountains, central western Carpathians: tectonometamorphic records of Variscan and Alpine orogeny. *Geolines*, 13, s. 141-148.

JONASSON, C. a kol. (1991): Lichenometrical studies and dating of debris flow deposits in the High Tatra Mountains, Poland. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 73(3-4), s. 141-146.

JURCZAK, P. a kol. (2012): Występowanie i wybrane cechy morfometryczne szlaków spływów gruzowych w Tatrach i Karkonoszach. *Czasopismo Geograficzne*, 83(1-2), s. 29-46.

KÄÄB, A. (2013): Rock Glaciers and Protalus Forms. In: Elias, S. (2013): *Encyclopedia of Quaternary science*. Elsevier. s. 847.

KALVODA, J. (1974): Geomorfologický vývoj hřebenové části Vysokých Tater. *Academia*. s. 65.

KAPUSTA, J. a kol. (2010): Changes in activity and geomorphic effectiveness of debris flows in the High Tatra Mts. within the last six decades (on the example of the Velická dolina and Dolina Zeleného plesa valleys). *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 44, s. 5-34.

KEDZIA, S. (2010): The age of debris surfaces on the Żółta Turnia Peak (the Polish Tatra Mts.). *Geomorphologia Slovaca et Bohemica*, 10(2), s. 29-38.

KEDZIA, S. (2013): Problems and possibilities of lichenometric dating in Polish mountains. *Geographia Polonica*, 86(4), s. 363-374.

KEDZIA, S. (2015): Lichenometric curves for the Polish part of the Karkonosze and Tatra Mountains established with a new method. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 59(1), s. 103-118.

KEDZIA, S. (2017): Zapis zmian klimatu w ostatnich 200 latach w morfodynamice stoków oraz kriosferze Tatr i Karkonoszy. *Przegląd Geograficzny*, 89(3), s. 353-376.

KLAPYTA, P. (2010): Przebieg deglacjacji Doliny Bystrej (Tatry Zachodnie, Słowacja) podczas ostatniego zlodowacenia w świetle analiz geomorfologicznych oraz datowania względnego form metodą młotka. *Nauka a zarządzanie obszarem Tatr i ich otoczeniem*, 1, s. 63-68.

KLAPYTA, P. (2011): Relative surface dating of rock glacier systems in the Žiarska Valley, Western Tatra Mountains, Slovakia. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 55, s. 7-19.

KLAPYTA, P. (2013): Application of Schmidt hammer relative age dating to Late Pleistocene moraines and rock glaciers in the Western Tatra Mountains, Slovakia. *Catena*, 111, s. 104-121.

KLAPYTA, P. a KOLACZEK, P. (2009): The last millennium slope processes and anthropogenic activity recorded in the sediments from the Pyszniańska glade, Western Tatra Mt (Poland). *Studia Geomorphologica Carpatho–Balcanica*, 43, s. 145-163.

KLAPYTA, P. a kol. (2016): Late Glacial and Holocene paleoenvironmental records in the Tatra Mountains, East-Central Europe, based on lake, peat bog and colluvial sedimentary data: A summary review. *Quaternary International*, 415, s. 126-144.

KOCIÁN, J. a kol. (2010): Ptáci. In: Baláž, E.: *Tatry: príroda*. Praha: Baset, 2010. ISBN 978-80-7340-115-3. s. 639.

KONČEK, M. (1973): Klimatické pomery Tatier. *Zborník prác o TANAPu*, 15, Martin. Osveta. s. 239-324.

KONČEK, M. (1974): *Klíma Tatier*. Bratislava. Veda. s. 855.

KOREŇ, M. a kol. (2010): Pedologie. In: Baláž, E.: *Tatry: príroda*. Praha: Baset, 2010. ISBN 978-80-7340-115-3. s. 639.

- KOTARBA, A. (1988): Lichenometry and its application in geomorphological research. *Wszechświat*, 89(1), s. 13-15.
- KOTARBA, A. (1989): On the age of debris flows in the Tatra Mountains. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 23, s. 139-152.
- KOTARBA, A. (1992a): High-energy geomorphic events in the Polish Tatra Mountains. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 74(2-3), s. 123-131.
- KOTARBA, A. (1992b): Natural environment and landform dynamics of the Tatra Mountains. *Mountain Research and Development*, s. 105-129.
- KOTARBA, A. (1997). Formation of high-mountain talus slopes related to debris-flow activity in the High Tatra Mountains. *Permafrost and Periglacial Processes*, 8(2), s. 191-204.
- KOTARBA, A. a PECH, P. (2002): The recent evolution of talus slopes in the High Tatra Mountains (with the Pańszczyca valley as example). *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 36, s. 69-76.
- KOTARBA, A. (2004): Zdarzenia geomorfologiczne w Tatrach Wysokich podczas małej epoki lodowej. Rola Małej Epoki Lodowej w przekształcaniu środowiska przyrodniczego Tatr. *Prace Geograficzne*, 197, s. 9-55.
- KOTARBA, A. a DLUGOSZ, M. (2010): Alpine cliff evolution and debris flow activity in the High Tatra Mountains. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 6, s. 21-35.
- KOTARBA, A. a kol. (2013): Recent Debris Flows in the Tatra Mountains. In: Lóczy, D. (Ed.): *Geomorphological impacts of extreme weather: Case Studies from Central and Eastern Europe*. 1. wydání. Dordrecht. Springer Netherlands. ISBN 978-94-007-6300-5. s. 373.
- KOVÁČ, M. a kol. (2017): Neogene palaeogeography and basin evolution of the Western Carpathians, Northern Pannonian domain and adjoining areas. *Global and Planetary Change*, 155, s. 133-154.



- KRÁLIKOVÁ, S. a kol. (2014): Cretaceous—Quaternary tectonic evolution of the Tatra Mts (Western Carpathians): constraints from structural, sedimentary, geomorphological, and fission track data. *Geologica Carpathica*, 65(4), s. 307-326.
- KRZEMIEN, K. (1988): The dynamics of debris flows in the upper part of the Starorobociańska Valley (Western Tatra Mts.). *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 22, s. 123-144.
- KŘÍŽEK, M. a kol. (2016): *Praktikum morfometrických analýz reliéfu*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, nakladatelství Karolinum. s. 178.
- KUNSKÝ, J. (1974): *Československo fyzicky zeměpisně*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství. s. 251.
- LINDNER, L. a kol. (2003): Outline of Quaternary glaciations in the Tatra Mts.: their development, age and limits. *Geological Quarterly*, 47(3), s. 269-280.
- LUKNIŠ, M. (1968): The intensity of lowering of High Tatra ridges since the retreat of glaciers. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica* 2, 5 – 11. In: Kotarba, A. (1992b): *Natural environment and landform dynamics of the Tatra Mountains*. Mountain Research and Development, s. 105-129.
- LUKNIŠ, M. (1973a): Reliéf Tatranského národného parku. *Zborník prác o TANAPu*, 15, Martin. Osveta. s. 89-144.
- LUKNIŠ, M. (1973b): Reliéf Vysokých Tatier a ich predpolia. Bratislava: Vyd. Slovenskej akadémie vied. s. 375.
- MAHR, T. (1973): Mapa gravitačných deformácií v Kryštaliniku Západných Tater. M 1 : 25000. SvF SVŠT. Bratislava (nepublikovaná). In: Midriak, R. (1993): *Západné Tatry – reliéf, ohrozenosť a deštrukcia ich povrchu*. *Zborník prác o TANAPu*, 33, Martin: Osveta. s. 51-86.

MAKOS, M. a kol. (2014): Timing of glacier advances and climate in the High Tatra Mountains (Western Carpathians) during the Last Glacial Maximum. *Quaternary Research*, 82(1), s. 1-13.

MAKOS, M. (2015): Deglaciation of the high Tatra mountains. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 41(2), s. 317-335.

MAŘAN, J. (1958): Zoogeografické členění Československa. *Sborn. Čs. Společ. Zeměpis*, 63(2), 89-110. In: BUCHAR, J. (1983): *Zoogeografie: vysokoškolská učebnice pro přírodověd. fakulty*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství. s. 199.

MAZÚR, E. a kol. (1986): Geomorfologické členenie SSR a ČSSR. Časť Slovensko. *Slovenská kartografia*, Bratislava, 1(1).

MELOUN, M. a MILITKÝ, J. (2002): *Kompendium statistického zpracování dat: metody a řešené úlohy*. Praha. Academia. s. 764.

MIDRIAK, R. (1983): Morfogenéza povrchu vysokých pohorí. *Veda*, Bratislava, s. 513.

MIDRIAK, R. (1984): Debris flows and their occurrence in the Czechoslovak Carpathians. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 18, s. 135-149.

MINÁR, a kol. (2011): New morphostructural subdivision of the Western Carpathians: An approach integrating geodynamics into targeted morphometric analysis. *Tectonophysics*, 502(1-2), s. 158-174.

NEMČOK, A. (1972): Gravitačné svahové deformácie vo vysokých pohoriach Slovenských Karpát. *Sborník geologických věd, Řada HIG, ÚÚG*, Praha, 10, s. 7-38.

NEMČOK, A. (1993): Vysvetlivky ku geologickej mape Tatier, *Geologický ústav Dionýza Štúra*. 80-85314-23-1. s. 135.

NIEDZWIEDZ, T. (1992): Climate of the Tatra Mountains. Mountain Research and Development, s. 131-146.

PACL, J. (1973): Hydrológia Tatranského národného parku. Zborník prác o TANAPu, 15, Martin. Osveta. s. 181-238.

PACL, J. a GREGOR, V. (2010): Plesa. In: Baláž, E.: Tatry: príroda. Praha: Baset, 2010. ISBN 978-80-7340-115-3. s. 639.

PÁNEK, T. a kol. (2015): Are sackungen diagnostic features of (de) glaciated mountains?. Geomorphology, 248, s. 396-410.

PELÍŠEK, J. (1973): Pôdne pomery Tatranského národného parku. Zborník prác o TANAPu, 15, Martin: Osveta. s. 145-180.

PLAŠIENKA, D. a kol. (1997): Evolution and structure of the Western Carpathians: an overview. Geological evolution of the Western Carpathians, s. 1-24.

PLUHÁČKOVÁ, M. a MENTLÍK, P. (2015): Geomorphological mapping and relative dating of glacial landforms in Roháčská valley in the Western Tatra Mts. In: Mentlík, P. a Stacke V. (Eds.): Role of fieldwork in geomorphology. Konference České asociace geomorfologů 2015. Západočeská univerzita v Plzni. ISBN 978-80-261-0496-4

RACZKOWSKA, Z. (2006): Recent geomorphic hazards in the Tatra Mountains. Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica, 40, s. 45-60.

RACZKOWSKA, Z. (2007): Współczesna rzeźba peryglacjalna wysokich gór Europy. Prace geograficzne 212. IGiPZ PAN. ISBN 83-87954-87-X. s. 268.

SKIBA, S. a kol. (2015): Pôdy. In: Dabrowska, K. a Guzik, M. (Eds.): Atlas Tatr: neživá príroda. 1. vydání. Zakopane. ISBN 978-83-61788-91-1. s. 639.

SUMNER, P. a NEL, W. (2002): The effect of rock moisture on Schmidt hammer rebound: tests on rock samples from Marion Island and South Africa. Earth Surface

Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group, 27(10), s. 1137-1142.

SZCZYGIEL, J. (2015): Quaternary faulting in the Tatra Mountains, evidence from cave morphology and fault-slip analysis. *Geologica Carpathica*, 66(3), s. 245-254.

ŠILHÁN, K. a TICHAVSKÝ, R. (2016): Recent increase in debris flow activity in the Tatras Mountains: Results of a regional dendrogeomorphic reconstruction. *Catena*, 143, s. 221-231.

ŠILHÁN, K. a TICHAVSKÝ, R. (2017): Snow avalanche and debris flow activity in the High Tatras Mountains: New data from using dendrogeomorphic survey. *Cold Regions Science and Technology*, 134, s. 45-53.

USTRNUL, Z. a kol. (2015): Atmosferické zrážky a snehová pokrývka. In: Dabrowska, K. a Guzik, M. (Eds.): *Atlas Tatr: neživá příroda*. 1. vydání. Zakopane. ISBN 978-83-61788-91-1.

UXA, T. a MIDA, P. (2017): Rock glaciers in the Western and High Tatra Mountains, Western Carpathians. *Journal of Maps*, 13(2), s. 844-857.

WASHBURN, A., L. (1979): *Geocryology*. Edward Arnold, London, 406. In: KRÍŽEK, M. a kol. (2007): Litologická predispozice, morfologie a rozmístění strukturních půd alpského bezlesí Vysokých Sudet. *Geografie – Sborník České geografické společnosti* 112, s. 373-387.

ZÁRUBA, Q. a MENCL, V. (1987): *Sesuvy a zabezpečování svahů*. 2. vydání. Praha. Academia. s. 340.

ZASADNI, J. a KLAPYTA, P. (2009): An attempt to assess the modern and the Little Ice Age climatic snowline altitude in the Tatra Mountains. *Landform Analysis*, 10, s. 124-133.

ZASADNI, J. a KLAPYTA, P. (2014): The Tatra Mountains during the last glacial maximum. *Journal of Maps*, 10(3), s. 440-456.

ZASADNI, J. a KLAPYTA, P. (2016): From valley to marginal glaciation in alpine-type relief: Lateglacial glacier advances in the Pięć Stawów Polskich/Roztoka Valley, High Tatra Mountains, Poland. *Geomorphology*, 253, s. 406-424.

ZELAZNY, M. a kol. (2015a): Vodstvo a hydrografické pomery. In: Dabrowska, K. a Guzik, M. (Eds.): *Atlas Tatr: neživá príroda*. 1. vydání. Zakopane. ISBN 978-83-61788-91-1.

ZELAZNY, M. a kol. (2015b): Prietokový režim a jeho charakteristiky. In: Dabrowska, K. a Guzik, M. (Eds.): *Atlas Tatr: neživá príroda*. 1. vydání. Zakopane. ISBN 978-83-61788-91-1.

ZMUDZKA, E. a kol. (2015): Teplota a teplotné charakteristiky. In: Dabrowska, K. a Guzik, M. (Eds.): *Atlas Tatr: neživá príroda*. 1. vydání. Zakopane. ISBN 978-83-61788-91-1.

ŽIAK, M. a DLUGOSZ, M. (2015): Potenciálne lavínové dráhy. In: Dabrowska, K. a Guzik, M. (Eds.): *Atlas Tatr: neživá príroda*. 1. vydání. Zakopane. ISBN 978-83-61788-91-1.

## **8.2 Internetové zdroje**

DLABÁČKOVÁ, T. (2015): Podmínky vzniku mury z 15.5.2014 ve Smutné dolině (Západní Tatry) [Online]. Bakalářská práce. Dostupné z: <https://is.cuni.cz/webapps/zzp/detail/160925> [cit. 9. 8. 2018].

GEOLOGICKÁ MAPA SLOVENSKA M 1:50 000 [online]. Bratislava: Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, 2013. Dostupné z: <http://apl.geology.sk/gm50js>. [cit. 9. 8. 2018].

GEOPORTÁL [online]: Digitálny model reliéfu (DMR 3.5), WMS server.

Dostupné z: [https://zbgisws.skgeodesy.sk/zbgis\\_dmr3\\_wms/service.svc/get?](https://zbgisws.skgeodesy.sk/zbgis_dmr3_wms/service.svc/get?) [cit. 9. 8. 2018].

## HORSKÁ ZÁCHRANNÁ SLUŽBA – STREDISKO LAVÍNOVEJ PREVENČIE

[online]: Ťatliakova chata zasiahnutá lavínou.

Dostupné z: <https://slphzs.wordpress.com/2013/02/14/tatliakova-chata-zasiahnuta-lavinou/> [cit. 9. 8. 2018].

MAPY.CZ [online]: Letecká mapa 2015: EUROSENSE s.r.o.

Dostupné z:

<https://mapy.cz/letecka?x=19.7234859&y=49.2205071&z=13&l=0&lgn=1> [cit. 9. 8. 2018].

NOAA (2016) [online]: Climate data onlin. Kaspov Vrch.

Dostupné z:

<https://www7.ncdc.noaa.gov/CDO/cdoselect.cmd?datasetabbv=GSOD&countryabbv&georegionabbv> [cit. 9. 8. 2018].

ŠIMEKOVÁ, J. a kol. (2006): Atlas máp stability svahov Slovenskej republiky 1: 50 000. Vyd. Ministerstvo životného prostredia SR, Žilina. Bratislava/INGEO-IGHP. In: Štátny geologický ústav Dionýza Štúra [online]: Svahové deformácie. Dostupné z: <http://apl.geology.sk/geofond/zosuvy/> [cit. 9. 8. 2018].

YUSUKE, N. (2002): Creating Orthorectified Aerial Photography Without A Camera Calibration Report. [online]. ESRI Japan.

Dostupné z:

[http://geography.middlebury.edu/data/gg1002/Handouts/Aerial\\_photo\\_orthorectification\\_ERDAS.pdf](http://geography.middlebury.edu/data/gg1002/Handouts/Aerial_photo_orthorectification_ERDAS.pdf) [cit. 9. 8. 2018].

### **8.3 Ostatní zdroje**

ESRI, INC. (2016): ArcMap 10.4.1.

PCI GEOMATICS (2007): Geomatica 10.

SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV (2013/2014): Denní úhrny srážek (ZR77), nová sněhová pokrývka (SP77), celková sněhová pokrývka (SPC), dlouhodobé měsíční průměry srážek; srážkoměrné stanice Lomnický Štít (12100), Podbanské (20220), Huty (21180), Vitanová-Oravice (23060), Zuberec (23140), Zuberec-Zverovka (23120).

STATSOFT, INC. (2007): STATISTICA 8.0.

TOPOGRAFICKÝ ÚSTAV PLUKOVNÍKA JÁNA LIPSKÉHO (2016): Letecké meračské snímky 1973, 1986, 2003.