

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

Katedra fyzické geografie a geoekologie



TŘÍDĚNÍ STRUKTURNÍCH PŮD KRKONOŠ

Sorting of patterned ground in the Giant Mts.

(bakalářská práce)

Tomáš Uxa

Vedoucí práce: RNDr. Marek Křížek, Ph.D.

Jilemnice 2009

Rád bych poděkoval RNDr. Marku Křížkovi, Ph.D. za vedení bakalářské práce, pomoc při práci v terénu, poskytnutí odborné literatury a fotografií a za cenné připomínky a rady. Dík patří také Mgr. Petře Nyplové za pomoc při sběru terénních dat a poskytnuté fotografie. Rovněž bych chtěl poděkovat Správě KRNAP za umožnění vstupu do I. zóny národního parku. V neposlední řadě děkuji své rodině za podporu během zpracovávání bakalářské práce i během celého studia.

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci vypracoval sám a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje. Svoluji zapůjčení této práce ke studijním účelům.

V Jilemnici dne 19. 5. 2009

.....

Tomáš Uxa

OBSAH

| | |
|---|----|
| ABSTRAKT | 5 |
| ABSTRACT | 6 |
| 1. ÚVOD | 7 |
| 2. FYZICKOGEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA | 9 |
| 2. 1. Vymezení studovaného území | 9 |
| 2. 2. Geologická charakteristika | 10 |
| 2. 3. Geomorfologický vývoj a charakteristika | 11 |
| 2. 3. 1. Geomorfologický vývoj | 11 |
| 2. 3. 2. Geomorfologická charakteristika | 12 |
| 2. 4. Klimatická charakteristika | 13 |
| 2. 5. Vegetační charakteristika | 16 |
| 2. 6. Pedologická charakteristika | 17 |
| 3. STRUKTURNÍ PŮDY | 19 |
| 3. 1. Geneze strukturních půd | 19 |
| 3. 1. 1. Procesy třídění strukturních půd | 20 |
| 3. 1. 1. 1. Pukání (cracking) | 20 |
| 3. 1. 1. 2. Diferenciální mrazové vzdouvání (differential frost heaving) | 21 |
| 3. 1. 1. 3. Vymrzání klastů (upfreezing of clasts) | 22 |
| 3. 1. 1. 4. Třídění jehlicovitého ledu (needle ice sorting) | 23 |
| 3. 1. 1. 5. Mechanické třídění | 24 |
| 3. 1. 1. 6. Přesouvání hmot (mass displacement) | 24 |
| 3. 1. 1. 7. Diferenciální tání a odplavování půdy (differential thawing and eluviation) | 25 |
| 3. 1. 1. 8. Diferenciální zvětrávání (differential weathering) | 26 |
| 3. 2. 1. Tříděné strukturní půdy v Krkonoších | 26 |
| 3. 2. 2. Netříděné strukturní půdy v Krkonoších | 27 |
| 4. METODIKA | 28 |
| 4. 1. Výběr a charakteristika lokalit | 28 |
| 4. 2. Měřené charakteristiky | 31 |
| 4. 3. Odvozené charakteristiky | 32 |
| 4. 4. Hodnocení kvality vytřídění tříděných strukturních půd | 33 |
| 4. 4. 1. Vymezení pojmu kvalita vytřídění | 33 |
| 4. 4. 2. Metody hodnocení kvality vytřídění | 33 |
| 4. 5. Použité statistické metody | 34 |
| 4. 6. Použité přístroje a software | 35 |
| 5. VÝSLEDKY | 36 |
| 5. 1. Morfologie | 36 |
| 5. 1. 1. Velikost tvarů | 36 |
| 5. 1. 2. Pravidelnost tvarů | 39 |
| 5. 1. 3. Vyklenutí tvarů | 41 |
| 5. 1. 3. 1. Maximální vyklenutí | 41 |
| 5. 1. 3. 2. Index vyklenutí | 42 |
| 5. 1. 4. Klasifikace lokalit podle morfologie | 43 |
| 5. 2. Vytřídění | 45 |
| 5. 2. 1. Průměrná velikost klastů v celém tvaru | 45 |
| 5. 2. 2. Velikosti klastů v jednotlivých částech tvarů | 47 |

| | |
|---|--|
| 5. 2. 2. 1. Průměrná velikost klastů na okrajích tvarů | 47 |
| 5. 2. 2. 2. Průměrná velikosti klastů v jedné třetině od okraje | 49 |
| 5. 2. 2. 3. Průměrná velikosti klastů ve dvou třetinách od okraje | 50 |
| 5. 2. 2. 4. Průměrná velikosti klastů ve středu | 51 |
| 5. 2. 3. Analýza vytřídění jednotlivých tvarů | 52 |
| 5. 2. 4. Kvalita vytřídění – indexy vytřídění | 53 |
| 5. 2. 4. 1. Index vytřídění $SI_{O-1/3}$ | 54 |
| 5. 2. 4. 2. Index vytřídění $SI_{1/3-2/3}$ | 55 |
| 5. 2. 4. 3. Index vytřídění $SI_{O-2/3}$ | 57 |
| 5. 2. 4. 4. Index vytřídění SI_{O-S} , $SI_{1/3-S}$, $SI_{2/3-S}$ | 59 |
| 5. 2. 4. 5. Absolutní index vytřídění | 60 |
| 5. 2. 5. Klasifikace lokalit podle velikostí klastů a kvality vytřídění | 61 |
| 6. DISKUSE | 64 |
| 6. 1. Kvalita vytřídění | 64 |
| 6. 2. Velikosti klastů | 68 |
| 6. 3. Extremita mikroklimatických podmínek a předpoklady pro vytřídění | 72 |
| 6. 4. Porovnání klasifikací lokalit | 77 |
| 6. 5. Morfologické charakteristiky ovlivňující třídění | 78 |
| 6. 5. 1. Vliv velikosti tvarů | 78 |
| 6. 5. 2. Vliv vyklenutí a sklonu | 81 |
| 6. 6. Faktory určující kvalitu vytřídění | 86 |
| 6. 6. 1. Hlavní faktory určující kvalitu vytřídění | 86 |
| 6. 6. 2. Další možné faktory ovlivňující kvalitu vytřídění | 87 |
| 6. 7. Kvalita vytřídění na jednotlivých lokalitách | 88 |
| 6. 7. 1. Kvalita vytřídění na Luční hoře | 88 |
| 6. 7. 1. 1. Kvalita vytřídění na Luční hoře 1 (1553 m n. m.) | 88 |
| 6. 7. 1. 2. Kvalita vytřídění na Luční hoře 2 (1547 m n. m.) | 89 |
| 6. 7. 1. 3. Kvalita vytřídění na Luční hoře 3 (1537 m n. m.) | 89 |
| 6. 7. 1. 4. Kvalita vytřídění na Luční hoře 4 (1457 m n. m.) | 90 |
| 6. 7. 2. Kvalita vytřídění na Modrém sedle (1510 m n. m.) | 90 |
| 6. 8. 1. Pravidelnost forem | 91 |
| 6. 8. 2. Index vyklenutí tvarů | 94 |
| 6. 8. 3. Maximální vyklenutí tvarů | 95 |
| 7. ZÁVĚR | 97 |
| 8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 100 |
| 8. 1. Další zdroje | 103 |
| 9. SEZNAM OBRÁZKŮ | 104 |
| 10. SEZNAM TABULEK | 106 |
| PŘÍLOHY | Chyba! Záložka není definována. |

ABSTRAKT

Strukturní půdy jsou klimaticky podmíněné tvary, proto je lze zařadit mezi tzv. proxy indikátory vývoje klimatu a krajiny v pozdním glaciálu a v holocénu. Zároveň jsou odrazem současné klimatomorfogenetické zóny a jejich přímých i nepřímých změn (Křížek 2007). Z genetického hlediska rozlišujeme strukturní půdy na tříděné (s přítomností mrazového třídění) a netříděné. Cílem bakalářské práce je posoudit, zda kvalita mrazového vytřídění a morfologické charakteristiky tříděných strukturních půd závisí na extremitě mikroklimatických podmínek. Za tímto účelem byl proveden terénní výzkum na pěti lokalitách výskytu tříděných půd v oblasti Luční hory a Modrého sedla ve východních Krkonoších, přičemž 4 lokality na Luční hoře tvoří transekt, který sleduje gradient extremity mikroklimatických podmínek (reprezentovaný nadmořskou výškou). Na základě provedených analýz a studia odborné literatury byly identifikovány následující faktory ovlivňující kvalitu vytřídění: extremita mikroklimatických podmínek (reprezentovaných nadmořskou výškou), vypouklost tvaru, sklonové poměry svahu, velikost tvaru, predispozice pro vytřídění, průměrná velikost klastů a činnost vegetace.

Klíčová slova: tříděné strukturní půdy, mrazové třídění, Luční hora, Modré sedlo, Krkonoše

ABSTRACT

Patterned ground are climatically conditioned forms hence they can be included between so-called proxy indicators of climate and landscape development in the Late Glacial and Holocene. Simultaneously, they are a reflection of the recent climate-morphogenetic environment and its direct and indirect changes (Křížek 2007). From genetical point of view we distinguish sorted (with presence of frost sorting) and non-sorted patterned ground. The aim of the bachelor thesis is to assess whether the quality of frost sorting and morphological characteristics of sorted patterned ground depend on the extremity of microclimatic conditions. For this purpose the field research was carried out at five locations of sorted patterned ground occurrence in area of Mt. Luční hora and Modré sedlo Saddle in the eastern part of the Giant Mts. whereas four locations on the Mt. Luční hora make up a transect tracing the microclimatic extremity gradient (represented by altitude). On the basis of executed analyses and study of scientific literature following determinants of sorting quality were identified: microclimatic extremity (represented by altitude), bulginess of the landform, slope conditions, size of the landform, predisposition for sorting, mean size of the clasts and vegetation activity.

Keywords: sorted patterned ground, frost sorting, Mt. Luční hora, Modré sedlo Saddle, the Giant Mts.

1. ÚVOD

Strukturní půdy jsou periglaciální mikrotvary, které na povrchu terénu vytvářejí více či méně symetrické struktury v důsledku působení mrazu (Washburn 1979, Křížek et al. 2005). Jako všechny periglaciální tvary jsou strukturní půdy klimaticky podmíněné tvary a lze je zařadit mezi tzv. proxy indikátory klimatu (fosilní i aktivní). Jejich studium proto umožňuje charakterizovat podmínky vývoje klimatu a krajiny v pozdním glaciálu a v holocénu. Zároveň jsou odrazem současné klimatomorfogenetické zóny a jejích přímých a nepřímých změn (Křížek 2007).

Cílem práce bylo zjistit prostorové rozložení kvality vytřídění strukturních půd ve studovaném území a její vztah k extremitě mikroklimatických podmínek (reprezentované nadmořskou výškou), sklonitostním poměrům svahů a morfologickým charakteristikám strukturních půd. Dílčím cílem práce bylo zjistit, zda morfologické charakteristiky strukturních půd závisí na mikroklimatické extremitě. V souladu s cíly práce byly vybrány dvě oblasti ve vrcholové části východních Krkonoš.

Bakalářská práce je členěna do šesti hlavních částí. První je věnována fyzickogeografické charakteristice širšího okolí studovaného území s důrazem na ty složky fyzickogeografické sféry, které mají na výskyt a vývoj strukturních půd největší vliv. Kapitola se věnuje geologii studované oblasti, geomorfologickému vývoji a charakteristice. Vzhledem ke klimatické podmíněnosti strukturních půd, je velká pozornost věnována charakteristice podnebí. Kapitola je zakončena vegetační a pedologickou charakteristikou. Text je doplněn přehlednými mapami.

Druhá část představuje všeobecný úvod do problematiky strukturních půd se zaměřením na Krkonoše. V první části je představena klasifikace strukturních půd. Největší pozornost je věnována genezi strukturních půd s důrazem na tříděné půdy. Představeny jsou půdní charakteristiky ovlivňující tvorbu kryogenních struktur v půdě a procesy, které vedou ke vzniku tříděných půd. Poslední část kapitoly je věnována charakteristice jednotlivých typů strukturních půd vyskytujících se v Krkonoších.

Třetí kapitola je věnována metodice. V této části je pojednáno o lokalitách, na nichž byly strukturní půdy studovány a o výběru těchto lokalit. Popsána je metodika terénních prací, v rámci níž je uveden výčet veškerých veličin a charakteristik, jež byly v rámci každého tvaru měřeny. Následuje část o zpracování terénních dat, v jejímž rámci je pojednáno o tvorbě

odvozených charakteristik z primárních dat, použitých statistických metodách, software a datových zdrojích, které byly pro práci využity.

Čtvrtá kapitola prezentuje výsledky základních analýz, přičemž je rozdělena do dvou hlavních částí. První z nich je věnována morfologii strukturních půd. Analyzovány jsou rozdíly v morfologických charakteristikách strukturních půd mezi jednotlivými lokalitami a rovněž jejich vztah k extremitě mikroklimatických podmínek (reprezentovaných nadmořskou výškou) a sklonitostním poměrům. V závěru morfologické části je provedena klasifikace lokalit podle vybraných morfologických charakteristik strukturních půd. Druhá část výsledkové části se věnuje vytříděnosti strukturních půd. Na úvod je analyzována závislost průměrné velikosti klastů v rámci celého tvaru na geologickém substrátu. Následuje podrobná analýza prostorového rozložení klastů v rámci jednotlivých tvarů. Je hodnocena kvalita vytřídění studovaných strukturních půd na základě indexů vytřídění. V závěru kapitoly jsou provedeny klasifikace lokalit podle velikostí klastů a podle stupně vytříděnosti strukturních půd na jednotlivých lokalitách.

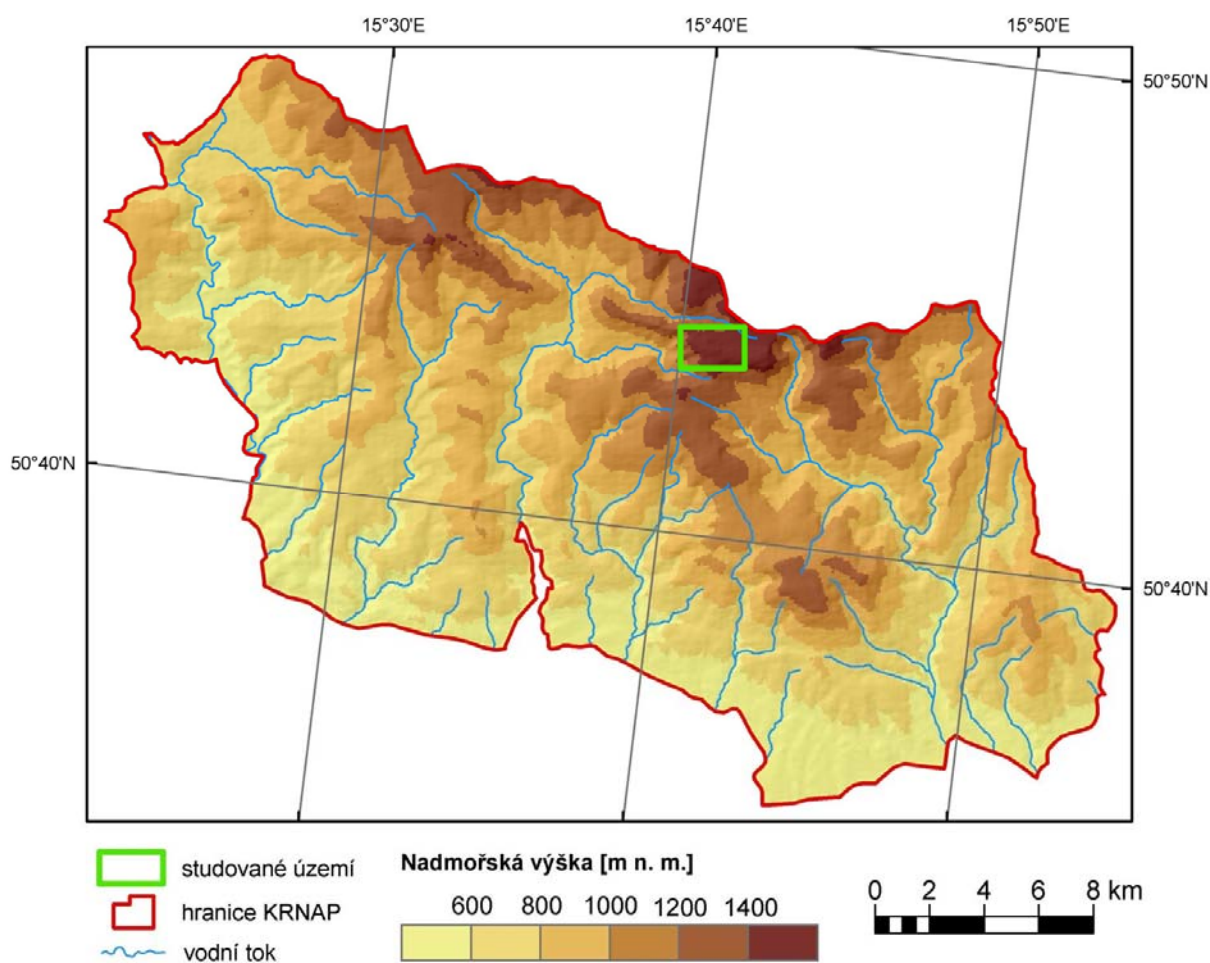
Pátá kapitola představuje diskusi nad dosaženými výsledky. Rozebírán je vztah vytřídění strukturních půd vzhledem k extremitě mikroklimatických podmínek (reprezentovaných nadmořskou výškou). Následuje část zaměřená na vliv morfologických charakteristik na kvalitu vytřídění strukturních půd. Syntézou klasifikací vytvořených v předchozích částech je výsledná klasifikace studovaných lokalit strukturních půd. Představen je výčet hlavních determinant vytříděnosti strukturních půd a diskutována je kvalita vytřídění na každé ze studovaných lokalit. Kapitola je rovněž věnována použitým metodám terénního výzkumu a zpracování dat, přičemž hlavní pozornost je věnována jejich limitům. To vše je doplněno diskusí s literaturou.

2. FYZICKOGEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA

Fyzickogeografická charakteristika je věnována širšímu okolí studovaného území strukturních půd, přičemž největší důraz je kladen na ty složky fyzickogeografické sféry, které mají bezprostřední vliv na výskyt a vývoj těchto tvarů.

2. 1. VYMEZENÍ STUDOVANÉHO ÚZEMÍ

Studované území se nachází ve vrcholové části východních Krkonoš nad alpskou hranicí lesa ve výškovém rozpětí 1455 – 1555 m n. m. Konkrétně se jedná o oblast vrcholové plošiny Luční hory (1555 m n. m.) a jejího severozápadního svahu. Dále pak o oblast Modrého sedla, které se nachází mezi Luční a Studniční horou (1554 m n. m.). Obě oblasti spadají do I. zóny KRNAP.

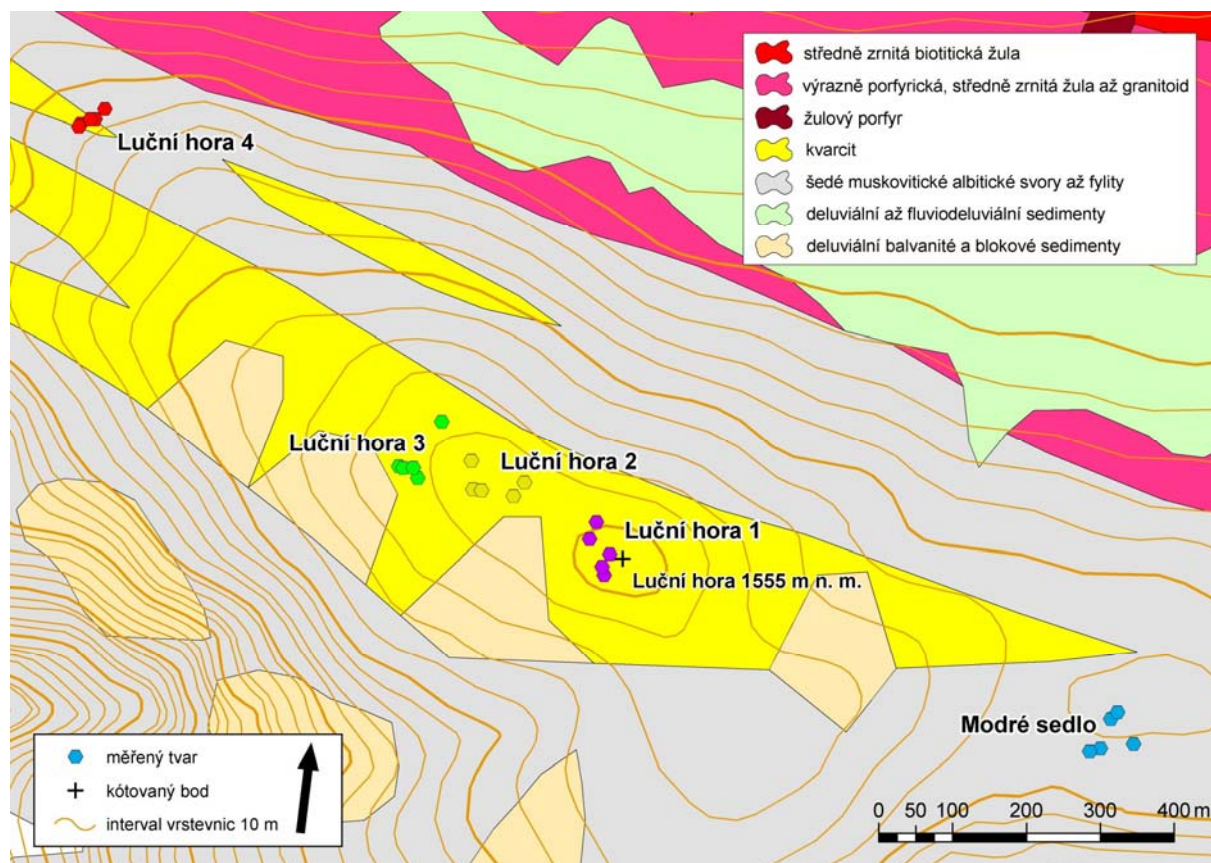


Obr. 1: Horizontální poloha Krkonoš s vymezením studovaného území.

2. 2. GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA

Většina Krkonoš je budována krkonošsko-jizerským krystalinikem, které je na severu omezeno vnitrosudetským zlomem, na jihu se noří pod permokarbonské sedimenty podkrkonošské pánve. Jádro krystalinika tvoří velkoupská skupina, která představuje jeho nejstarší a nejintenzivněji metamorfovaný horninový soubor. Jedná se o komplex krystalických břidlic předsvrchnoproterozoického stáří, jež jsou rozsáhle prostoupeny tělesy prekambričských rul a žul i mladší variské žuly (krkonošsko-jizerský žulový masiv, Chaloupský et al. 1989).

Vlastní studované oblasti jsou budovány krystalickými břidlicemi velkoupské skupiny. Jedná se zejména o svory až fylity, jež jsou v oblasti Luční hory a jejího severozápadního úbočí prostoupeny hojnými vložkami kvarcitů. Svory jsou krystalické břidlice vzniklé regionální metamorfózou střední intenzity nejčastěji z jílových sedimentů. Skládají se z křemene a slídy (nejčastěji muskovitu). Fylit je jemnozrnná, tence břidličnatá hornina, vzniklá nízkým stupněm metamorfózy jílových břidlic. Skládá se převážně s křemence, chloritu, deficitu a biotitu. Křemence vzniká regionální metamorfózou křemitých (zvláště písčitých) sedimentů. Jeho dominantní složkou je křemen (Svoboda et al. 1960, 1961).



Obr. 2: Geologická stavba studovaného území.

2. 3. GEOMORFOLOGICKÝ VÝVOJ A CHARAKTERISTIKA

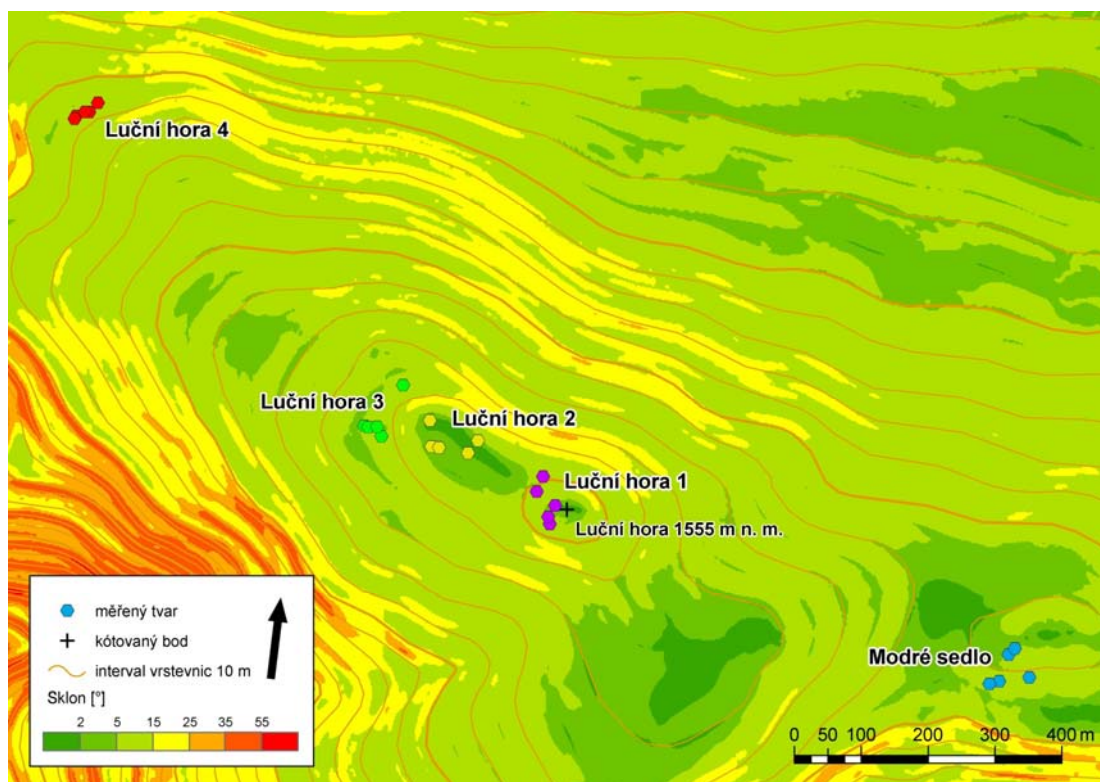
2. 3. 1. Geomorfologický vývoj

Během druhohor a počátkem třetihor probíhaly v oblasti krkonošského krystalinika hlavní peneplenizační procesy. Vývoj současného reliéfu Krkonoš lze sledovat asi od poloviny třetihor, kdy byl původní zarovnaný reliéf při saxonských pohybech vyzdvižen do dnešní výšky (Kunský 1948 in Sekyra 1964, Správa KRNAP 2009). V průběhu neogénu byl snesen mocný zvětralinový plášť a v bazální ploše (etchplénu) vznikly úvalovité paleodeprese, které se staly základem budoucí hydrografické sítě (Chaloupský et al. 1989). Vyzvednutí povrchu bylo příčinou vyššího erozního potenciálu řek, které zpětným zahlubováním vytvářely výrazná údolí (Správa KRNAP 2009). S nástupem kvartéru došlo ke střídání chladných a teplých výkyvů (glaciálů a interglaciálů) a k opakovanému postupu čela kontinentálního ledovce k severnímu upatí Krkonoš. V důsledku snížení průměrné roční teploty, tedy poklesu sněžné čáry, se v Krkonoších během glaciálů rozvinulo relativně rozsáhlé horské zalednění, během něhož došlo k přemodelování několika údolních uzávěrů a údolí (Engel 2003). Počátek ústupu posledního (würmského) zalednění je datován na 20ka BP, přičemž poslední ledovce roztály zřejmě až na přelomu pleistocénu a holocénu (Engel 2003). Během zalednění se na modelaci pleistocénního extraglaciálního reliéfu Krkonoš rovněž podílely periglaciální procesy, jež daly vzniknout strukturním půdám (tříděné kruhy, tříděné sítě, tříděné pruhy, tříděné polygony, netříděné pruhy a rašelinné kopečky), soliflukčním tvarům (blokové proudy, soliflukční laloky, soliflukční stupně, soliflukční pokryvy), putujícím blokům, nivačním výklenkům (depresím), nivačním valům, kryoplanačním terasám, torům, mrazovým srubům a kamenným mořím (Křížek et al. 2007b). Pro období glaciálů byla rovněž typická přítomnost permafrostu (Czudek 2004). V teplejším a na srážky bohatém klimatu doby poledové vznikla na plošinách krkonošských etchplénů rozsáhlá rašeliniště vrchovištního typu (Mumlavská, Pančavská a Labská louka, Úpské rašeliniště; Správa KRNAP 2009). Na současné modelaci Krkonoš se podílí především erozní činnost vodních toků, zvětrávací a svahové procesy, z nichž nejnápadnější jsou mury (bahenní proudy). V menší míře se uplatňuje soliflukce, nivace či sněhové laviny (Správa KRNAP 2009).

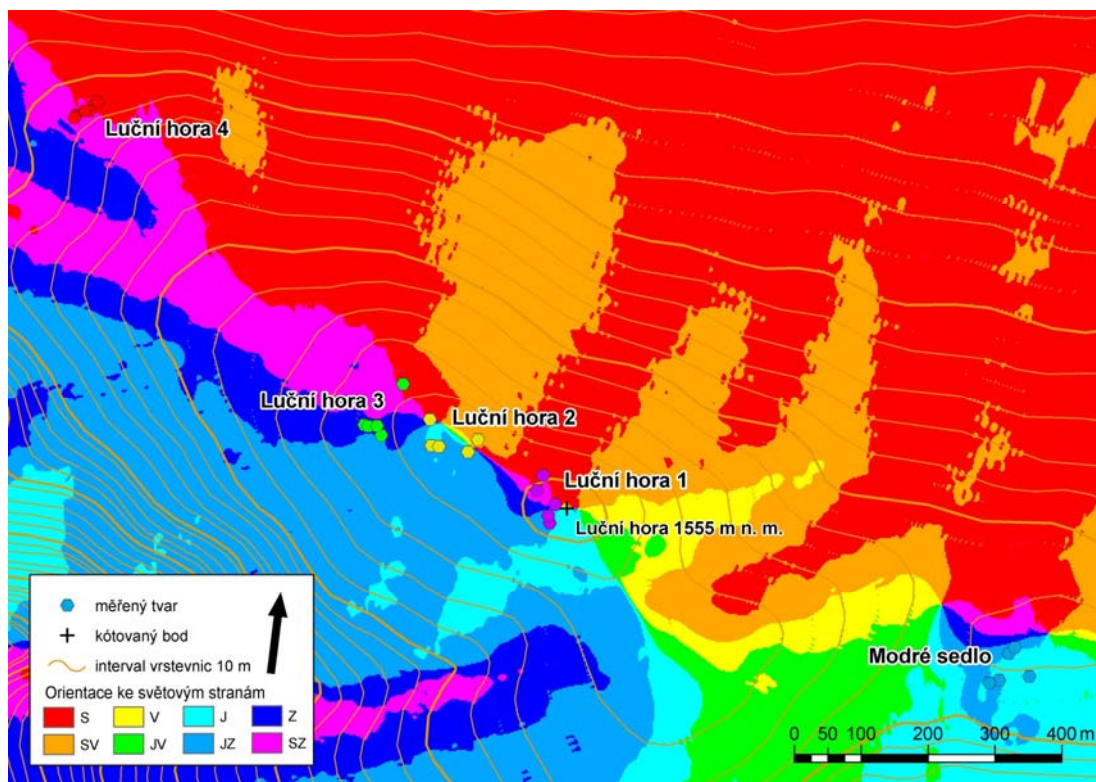
2. 3. 2. Geomorfologická charakteristika

Z hlediska geomorfologického členění reliéfu ČR (Balatka et Kalvoda 2006) náleží studované území k hercynskému systému, subsystému hercynských pohoří, provincii Česká vysočina, subprovincii Krkonošsko-jesenická soustava (IV), Krkonošské oblasti (IVA), celku Krkonoše (IVA7), podcelku Krkonošské hřbety (IVA7A), okrsku Český hřbet (IVA7A2) a podokrsku Východní Český hřbet (IVA7A2b).

Luční hora (1555 m n. m.) je nejvyšším vrcholem Českého hřbetu. Na její vrcholové plošině se nacházejí nejlépe vyvinuté polygonální formy strukturních púd v ČR (Sekyra 1960), kryoplanační terasy a kamenná moře. Na Modrém sedle se vyskytují recentně aktivních tříděné kruhy (Křížek 2007). Oblasti Luční hory a Modrého sedla jsou součástí plochého reliéfu vrcholové části východních Krkonoš. Sklony svahů zde proto nedosahují vysokých hodnot (obr. 3). Výjimku tvoří pouze stupně kryoplanačních teras, které dosahují hodnot přes 15°. Z obrázku 3 je rovněž patrné, že vrcholová část Luční hory je na jihozápadě omezena strmými svahy, padajícími do Pramenného, Loveckého a Hrazeného dolu, které dosahují sklonů vyšších než 35°. Rovněž v oblasti Modrého sedla se výrazně mění sklon svahu, který zde začíná prudce klesat na jih do Modrého dolu (obr. 3). Tyto strmé svahy na sebe váží lavinové či murové dráhy (Pilous 1975; Kociánová et Spusta 2000).



Obr. 3: Sklonitostní poměry svahů ve studovaném území.



Obr. 4: Orientace svahů ke světovým stranám ve studovaném území.

2. 4. KLIMATICKÁ CHARAKTERISTIKA

Podnebí Krkonoš je primárně dáno polohou pohoří ve střední Evropě, druhotně je ovlivněno nadmořskou výškou. Vzhledem k velké vertikální členitosti území má klima Krkonoš jako celek značně komplikovaný charakter (Správa KRNAP 2009) a vyznačuje se proto velkou pestrostí. V detailnějším měřítku však toto neplatí. Příkladem mohou být vrcholové části Krkonoš, jejichž klima je poměrně jednotvárné na ploše i v čase (Jeník 1961). Podle Quittovy (1973) klimatické klasifikace náleží vrcholové oblasti Krkonoš do chladné klimatické oblasti CH4.

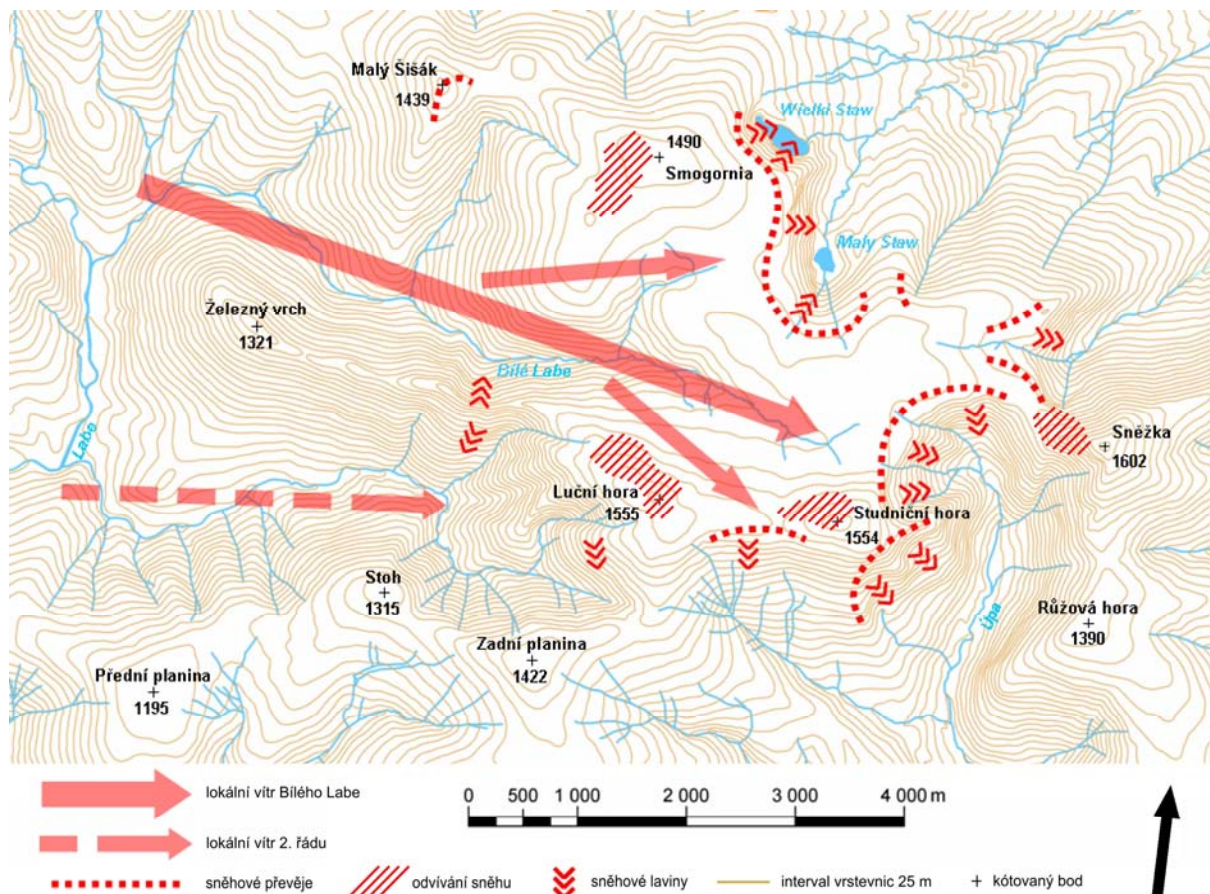
Tab. 1: Vybrané charakteristiky chladné klimatické oblasti CH4. Podle Atlasu podnebí Česka (2007, upraveno).

| | |
|--|--------------|
| Počet letních dnů | 0 - 20 |
| Počet dnů s průměrnou denní teplotou vyšší než 10 °C | 80 - 120 |
| Počet mrazových dní | 160 - 180 |
| Počet ledových dní | 60 - 70 |
| Průměrná lednová teplota | -7 - -6 °C |
| Průměrná červencová teplota | 12 - 14 °C |
| Průměrný počet dní se srážkami 1 mm a více | 120 - 140 |
| Počet dní se sněhovou pokrývkou | 140 - 160 |
| Suma srážek ve vegetačním období | 600 - 700 mm |
| Suma srážek v zimním období | 400 - 500 mm |

V rámci charakteristiky klimatu jsou uváděny údaje z meteorologické stanice na Sněžce, která je studovanému území nejpodobnější jak z hlediska horizontální a vertikální polohy, tak z hlediska charakteru podnebí.

Významným klimatickým prvkem ve vztahu ke strukturním půdám je teplota a její průběh během roku, neboť má zásadní vliv na přítomnost procesů spojených s vývojem strukturních půd (regelace). Průměrná roční teplota na meteorologické stanici Sněžka činila v letech 1901 – 1995 0,3 °C (Głowicki 1997). Nejteplejším měsícem byl na Sněžce během sledovaného období červenec s průměrnou teplotou 8,4 °C, naopak nejnižší měsíční průměrné teploty se vyskytovaly v lednu, a to – 7,1 °C (Głowicki 1997). Dalším významným klimatickým prvkem jsou srážky, jejichž průměrný roční úhrn na Sněžce činí 1227 mm (Správa KRNAP 2009). Nejvyšší srážkové úhrny jsou zaznamenávány v srpnu, nejnižší obvykle v březnu (Správa KRNAP 2009). Chod teplot a dotace srážkou vodou jsou klíčovými faktory, které ovlivňují genezi jednotlivých typů periglaciálních tvarů (Křížek et al. 2007b). Podle Van Vliet-Lanoë (1998) je dotace vody a její schopnost pohybovat se v půdě nejdůležitějším faktorem, ovlivňujícím tvorbu ledových čoček a kryogenních struktur v půdním profilu, tedy i strukturních půd. Významnou formu srážek představuje sníh, který je ve vztahu ke strukturním půdám důležitý především proto, že působí jako tepelný izolátor a určuje tak počet a charakter regelačních cyklů (Křížek et al. 2006). Ve vrcholových partiích Krkonoš sněhová pokrývka často setrvává přes 180 dní v roce, přičemž maxima mocnosti dosahuje v březnu (Správa KRNAP 2009). Prostorovou distribuci, mocnost a délku trvání sněhové pokrývky určuje mnoho faktorů, přičemž nejvýznamněji se uplatňuje celková konfigurace reliéfu (zejména sklonitost a orientace svahů) a vítr (jeho síla a převládající směr). Vliv větru je ve vrcholových partiích Krkonoš značný, neboť se zde významně

uplatňují tzv. anemo-orografické systémy (dále jen A-O systémy; Jeník 1961). Každý A-O systém je tvořen třemi částmi: vodícím návětrným údolím, zrychlující vrcholovou částí a závětrným turbulentním prostorem (Jeník 1961). Ve vztahu ke studovanému území je důležitý zejména A-O systém Bílého Labe (obr. 5). Vodící návětrné údolí zde tvoří Důl Bílého Labe, zrychlující vrcholovou část představuje komplex Bílé louky, Čertovy louky a Pláně pod Sněžkou, závětrný turbulentní prostor tvoří oblast Jam Rybníků (Maly a Wielki staw), závěr Obřího dolu a Modrý důl (Jeník 1961). V závěru Dolu Bílého Labe se tento lokální vítr větví, přičemž jeho JV větev směřuje do oblasti Luční a Studniční hory (obr. 5). Luční hora je částečně ovlivněna i lokálním větrem druhého řádu vanoucího Dlouhým dolem od západu (obr. 5; Jeník 1961). Platnost teorie A-O systémů byla potvrzena dalšími studii, zabývajícími se tímto fenoménem, např. Šindelářovou (2003). Tyto stálé větry mají zásadní vliv na distribuci sněhové pokrývky či na vegetaci (vlajkové formy stromů). Jejich vlivem dochází v prostoru Z a SZ úbočí Luční hory, zejména však na její vrcholové plošině, k intenzivní deflaci, tedy k odvívání sněhu v zimním období či jemných půdních částic v období bez sněhové pokrývky do závětrných prostorů, následkem čehož je zde mocnost sněhové pokrývky v zimním období udržována na minimální úrovni. Půda je tak mnohem více vystavena působení mrazu, dochází k hlubšímu a intenzivnějšímu promrzávání svrchních částí půdního profilu (Jeník 1961), a tedy k intenzivnější regelaci, což má za následek dokonalejší vývoj periglaciálních tvarů, včetně strukturních půd. Činnost A-O systémů tak zprostředkovaně ovlivňovala vznik a vývoj těchto tvarů a v recentní době udržuje aktivní tříděné kruhy v Modrém sedle (Křížek 2007).



Obr. 5: Anemo-oro-graphický systém Bílého Labe. Podle Jeníka (1961, upraveno).

2. 5. VEGETAČNÍ CHARAKTERISTIKA

Podle fyto-geografického členění náleží Krkonoše do oblasti středoevropské lesní květeny (Hercynicum) a společně s Rýchorami jsou v podoblasti sudetské flóry (Sudeticum; Jeník 1961). V nejvyšších partiích Krkonoš ve výškách nad 1 200 m n. m. se z hlediska vertikálního členění vegetace vydělují dva vegetační stupně: subalpínský (1200 – 1450 m n. m.) a alpínský (1450 – 1602 m n. m.; Správa KRNAP 2009), nicméně toto schéma nelze striktně aplikovat na Krkonoše jako celek, neboť je významně ovlivněno lokálními A-O systémy (Jeník 1961), případně různou orientací svahů a mnoha dalšími vlivy. Průměrná výška alpínské hranice lesa, která odděluje montánní a subalpínský vegetační stupeň (Jeník 1961), v Krkonoších činí 1229 m n. m. (Treml 2004), přičemž na jižním svahu Luční hory tato linie probíhá ve výšce 1220 – 1325 m n. m. (Treml 2004). Její poloha je determinována mnoha faktory: charakterem klimatu, A-O systémy, geologickými, geomorfologickými a pedologickými poměry, orientací svahu, expozicí vůči slunečnímu záření, svahovými procesy či antropogenní činností (Jeník 1961; Treml 2000). Z hlediska strukturních půd má poloha

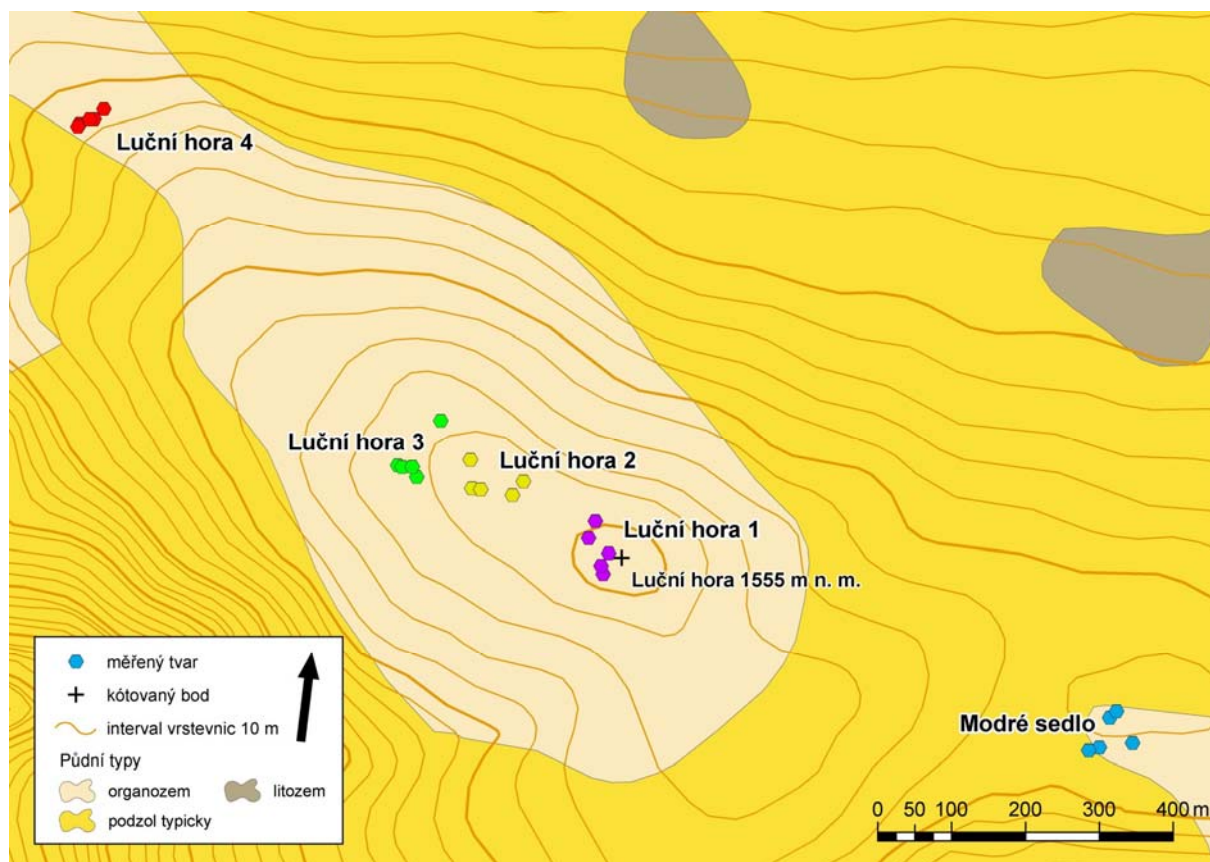
alpínské hranice lesa a její dynamika značný význam, neboť v podstatě vymezuje oblast výskytu strukturních půd (Washburn 1979). Pod ní se nacházejí strukturní půdy překryté vegetací či degradované. Navíc je v její blízkosti ve srovnání s vrcholovými oblastmi četnější výskyt porostů borovice kleče (*Pinus mugo*), která je významným činitelem, ovlivňujícím mikroklimatické podmínky vrcholových oblastí Krkonoš (Tremel et Křížek 2006). Ve strukturních půdách může působit na aktivitu procesů vázaných na regulaci a teplotní extrémy. Zároveň je schopna tlakem větví a kořenovým systémem měnit morfologii strukturních půd (Tremel et Křížek 2006). Nad alpínskou hranicí lesa se vyskytuje heliotrofní alpínská vegetace (Jeník 1961). Vrcholové partie Krkonoš pokrývají vzájemně izolované ostrůvky tundrové vegetace, tvořené bylinnou vegetací, mechorosty a lišejníky. Typickými zástupci bylinného patra jsou smilka tuhá (*Nardus stricta*), třtina chloupkatá (*Calamagrostis villosa*) či sítina trojklanná (*Juncus trifidus*), keřovému patru dominuje borovice kleč (*Pinus mugo*). Významným prvkem krkonošské vegetace jsou rovněž glaciální relikty (Správa KRNAP 2009).

2. 6. PEDOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA

V nejvyšších polohách Krkonoš jsou vyvinuta tato výšková půdní pásma (Pelíšek 1974): pásmo horských podzolů a rašeliništních půd v nadmořských výškách od 1100 až 1200 m do 1400 až 1500 m a pásmo sutí a skal ve výškách od 1400 do 1600 m n. m.

Nejrozšířenějším půdním typem vrcholové části Krkonoš je typický podzol, přesto jsou v rámci studovaného území plošně nejvíce zastoupeným půdním typem organozemě, následovány typickým podzolem (obr. 6). V omezené míře se zde vyskytují litozemě. Podzol je půdním typem charakteristickým pro horské oblasti nad 800 m n. m. s velmi vlhkým a chladným klimatem (Tomášek 2007). V Krkonoších se vyvíjely zejména na minerálně chudších půdotvorných horninách (žuly, ruly, svory) a pokrývají převážně vrcholové polohy (Pelíšek 1974). Hlavním půdotvorným procesem je intenzivní vyplavování – podzolizace. Ve velmi kyselém prostředí se rozkládají prvotní minerály a oxidy železa a hliníku se společně s humusovými látkami přemísťují do spodiny. Charakteristický je pod humusovým horizontem ležící vybělený eluviální horizont (Tomášek 2007). Organozemě (rašeliništní půdy) vznikají intenzivní akumulací slabě rozložených rostlinných zbytků v silně zvodnělém prostředí. Směrem do hloubky podléhají jednotlivé rašelinné polohy postupné ulmifikaci (rašelinění; Tomášek 2007). Litozemě jsou surové půdy, typické pro místa, kde skalní podloží

vystupuje blízko k povrchu. Hlavním půdotvorným procesem je nevýrazná humifikace (Tomášek 2007).

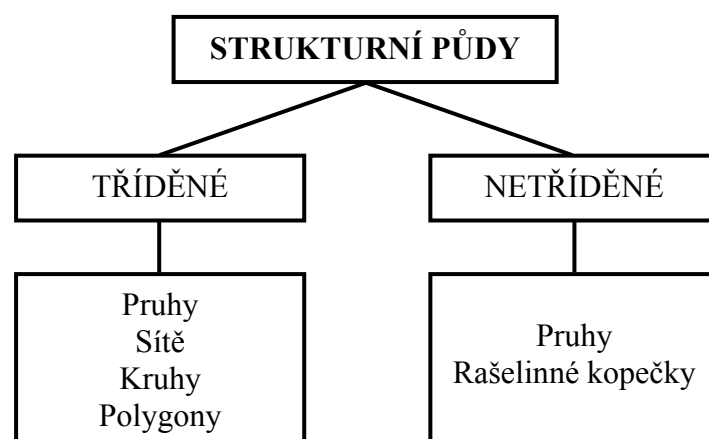


Obr. 6: Půdní typy ve studovaném území.

3. STRUKTURNÍ PŮDY

Pojem strukturní půdy (patterned ground) představuje souhrnný termín, kterým se označuje široká skupina periglaciálních¹ mikrotvarů, které na povrchu terénu vytvářejí více či méně symetrické struktury v důsledku působení mrazu. Nejčastěji se jedná o kruhy, sítě, polygony či pruhy (Washburn 1979, Křížek et al. 2005). Jako všechny periglaciální tvary jsou strukturní půdy klimaticky podmíněné tvary a lze je zařadit mezi tzv. proxy indikátory klimatu (fosilní i aktivní). Jejich studium proto umožňuje charakterizovat podmínky vývoje klimatu a krajiny v pozdním glaciálu a v holocénu. Zároveň jsou odrazem současné klimatomorfogenetické zóny a jejich přímých i nepřímých změn (Křížek 2007).

Primární klasifikace strukturních půd vychází z genetického hlediska a na základě přítomnosti či nepřítomnosti mrazového třídění dělí strukturní půdy na tříděné a netříděné. Sekundární klasifikace zohledňuje morfologické hledisko a strukturní půdy dělí podle jejich geometrického tvaru (obr. 7, Křížek et al. 2007a).



Obr. 7: Klasifikace strukturních půd pro Krkonoše s primárním dělením dle genetického hlediska a sekundárním dělením dle morfologického hlediska podle Křížka et al. (2005).

3. 1. GENEZE STRUKTURNÍCH PŮD

Vývoj strukturních půd je spojen zejména s regelací (opakované cykly mrznutí (*pergelace*) a tání (*depergelace*) vody v půdě či v hornině) a procesy, které jsou na regelaci vázané (Sekyra 1960). Strukturních půd se proto vyvíjejí v obdobích, kdy k regelaci dochází.

¹ Podle Washburna (1979) jsou základními kritérii pro vymezení periglaciální zóny přítomnost permafrostu a časté cykly mrznutí a tání.

Výskyt regelace se většinou omezuje pouze na určitou část roku, kterou nazýváme regelační sezóna. Například v rámci Krkonoš se v současnosti během roku vyskytují dvě regelační sezóny – jarní a podzimní (Sekyra et Sekyra 1995, Harčarik 2002, Mrozková 2006, Křížek 2007, Nyplová 2008). Jedná se však pouze o konzervační kryogenní aktivitu (Sekyra et Sekyra 1995), v případě tříděných kruhů a rašelinných kopečků je však možné hovořit o jejich recentní aktivitě (Treml et al. 2005). Strukturních půdy jsou tvary typické polycyklickým vývojem (Washburn 1979). Dochází-li totiž ke střídání chladných a teplých klimatických výkyvů, dochází rovněž ke střídání období aktivity a období, kdy k vývoji strukturních půd nedochází. Stejný autor zdůrazňuje rovněž polygenetičnost strukturních půd, neboť ve většině případů se na jejich vývoji podílí kombinace procesů (Washburn 1956, 1979).

3. 1. 1. Procesy třídění strukturních půd

Ke vzniku tříděných strukturních půd dochází v důsledku mrazového třídění. Podle Frenche (2007) je mrazové třídění součástí široké skupiny procesů, které probíhají v půdě v důsledku působení mrazu a s ním spojenými fázovými přechody vody (kapalná fáze ↔ pevná fáze - regelace), souhrnně nazývaných jako kryoturbační. Výsledkem mrazového třídění je oddělení jemnozrnné a hrubozrnné zrnitostní frakce, přičemž středu tvaru obvykle odpovídá jemnozrnná část, zatímco hrubozrnné částice tvoří okraje tvarů. Samotné mrazové třídění představuje souhrnný termín pro podskupinu kryoturbačních procesů, jež vedou ke vzniku tříděných půd. Toto se děje buď přeměnou již vytvořených netříděných forem strukturních půd na tříděné typy či přímým vývojem tříděných strukturních půd (Washburn 1979).

3. 1. 1. 1. Pukání (cracking)

Vytváření trhlin (puklin) v půdě či horninách je vyvoláno jejich kontrakcí, která může být zapříčiněna silným promrznáním zeminy spolu s činností půdního ledu či vysoušením (desikací), které je způsobeno vysokou propustností, evaporací či pohybem půdní vody do míst tvorby ledu (Washburn 1956, 1979). Rovněž může být způsobeno roztahováním hornin v důsledku nestejných objemových změn během mrznutí a tání (Washburn 1979). V důsledku pukání vzniká většina polygonálních forem strukturních půd, na vzniku kruhových forem se většinou nepodílejí (Washburn 1979). Samotné pukání obvykle vede k vytvoření netříděných

strukturních půd, jejichž transformaci v tříděné typy zprostředkovávají třídící procesy, které mohou být vytvořením trhlin aktivizovány (Washburn 1979).

3. 1. 1. 2. Diferenciální mrazové vzdouvání (differential frost heaving)

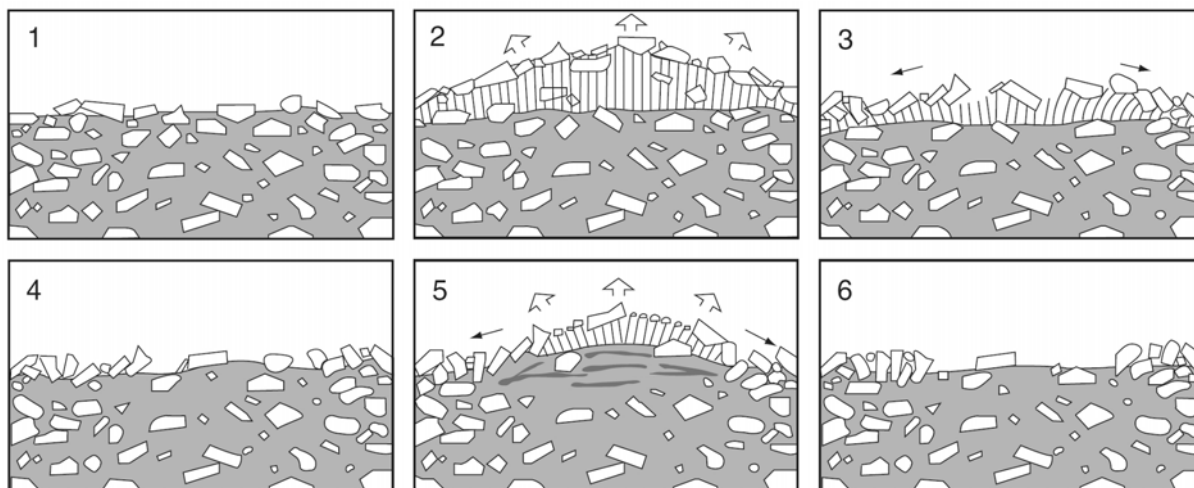
O diferenciálním mrazovém vzdouvání hovoříme, jestliže v určitém místě dochází k většímu vzdouvání terénu oproti jeho okolí (Washburn 1979). Obecně není mrazové vzdouvání výjimečným jevem, neboť nevyžaduje přítomnost permafrostu, ani hluboké sezónní promrzání půdního profilu (Matsuoka et al. 2003). Příčinou diferenciálního mrazového vzdouvání může variabilita v distribuci zrnitostních frakcí v rámci půdního profilu (Matsuoka et al. 2003), protože jemnozrnější částice jsou schopny vázat větší množství vody než částice hrubozrnější, neboť mají větší aktivní povrch na jednotku objemu. Protože má voda v pevném skupenství o 9 % větší objem než voda ve skupenství kapalném, dochází v místech větších koncentrací jemnozrnějších částic k větším objemovým změnám, tedy k jejich výraznějšímu vzdouvání oproti místům s většími koncentracemi hrubozrnějších částic (=diferenciální vzdouvání; French 2007).

Diferenciální mrazové vzdouvání rovněž způsobuje segregací led (ledové čočky, French 2007). K tvorbě segregací ledu dochází zejména v jemnozrnějších substrátech (vyšší mrazová sukceptibilita²; obr. 8), přičemž ledové krystaly rostou ve směru největšího úbytku teploty (French 2007). Růst ledových čoček vyvolává kryosukce (podtlak - souvisí s kapilaritou), která „vytahuje“ vodu z nepromrzlých částí půdy směrem k hladině ochlazení. Pokud je kryosukce příliš nízká, mrzne půdní voda in-situ a dochází k tvorbě tmelového ledu (sensu Sekyra 1960). Naopak pokud je kryosukce vysoká, dochází k přesunu půdní vody směrem k hladině ochlazení a následné tvorbě ledových čoček (segregací ledu), které vyvolávají nerovnoměrné vyklenování povrchu terénu (French 2007).

Podle Ballantyne (1996, 2007) je diferenciální mrazové vzdouvání často výsledkem diferenciálního růstu jehlicovitého ledu (více o jehlicovitém ledu v kap. 3. 1. 1. 4.), jehož následnou degradací dochází k laterálnímu třídění (viz obr. 8).

Podle Washburna (1979) může být diferenciální mrazové vzdouvání způsobeno rovněž nižší izolovaností některých částí povrchu půdy vůči působení mrazu, která může být výsledkem preferenčního růstu vegetace (působí jako izolátor) např. v mrazových puklinách (Washburn 1979).

² Mrazová sukceptibilita - náchylnost k tvorbě segregací ledu (Ballantyne 2007).



Obr. 8: Vývoj tříděných strukturních půd v důsledku diferenciálního růstu jehlicovitého ledu. 1. Iniciálně nevytříděný, mrazově sukceptibilní sediment. 2. Diferenciální růst jehlicovitého ledu způsobuje výzdvih klastů ležících na povrchu terénu. 3. Tání jehlicovitého a laterální pohyb klastů směrem k okrajům vyklenuté části. 4. Ukončení tání a vytvoření iniciálně vytříděného (jemnozrnějšího) centra. 5. Další fáze promrzání s preferenčním růstem jehlicovitého ledu a ledových čoček v rámci iniciálně vytříděného (jemnozrnějšího) centra; laterální pohyb klastů směrem k okrajům vyklenutého centra. 6. Vytvoření tříděného kruhu s hrubozrnějšími úlomky obklopujícími jemnozrnější střed. Podle Ballantyne (1996, 2007; upraveno).

3. 1. 1. 3. Vymrzání klastů (upfreezing of clasts)

K vymrzání klastů dochází zejména v heterogenních nezápevněných sedimentech. Podle Frenche (2007) existují dvě hypotézy, vysvětlující tento proces:

Hypotéza *frost-pull* předpokládá, že hrubozrnější klast je uzavřen v okolní jemnozrnější zemině a k jeho výzdvihu dochází v důsledku celkového vzdouvání půdy. Při tání půdního ledu zůstává úlomek přibližně na tomtéž místě, kam byl vytlačen, neboť návratu do jeho původní polohy mu brání jemnozrnější zvětralina, která zaplnila vytvořenou dutinu po vystoupivším klastu (Sekyra 1960).

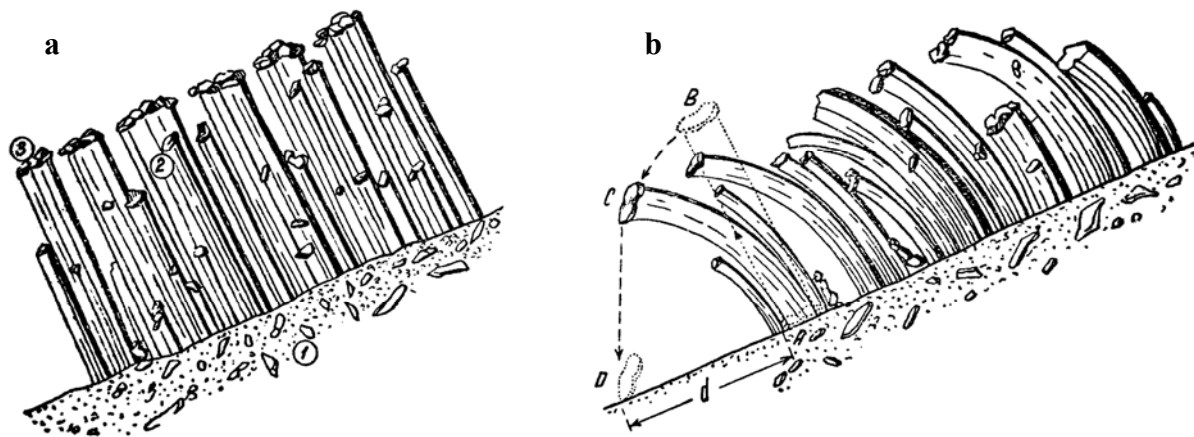
Hypotéza *frost-push* předpokládá, že v důsledku vyšší tepelné vodivosti klastu dochází k preferenční tvorbě ledu v okolí klastu a pod ním, čímž je klast nucen vystupovat vzhůru (=vymrzat). Při tání zůstává klast přibližně na tomtéž místě, kam byl vytlačen (viz *frost-pull* hypotéza).

Opakovanými cykly mrznutí a tání (regelačními cykly) dochází k postupnému výzdvihu (vymrzání) klastů na povrch (Sekyra 1960).

3. 1. 1. 4. Třídění jehlicovitého ledu (needle ice sorting)

Jehlicovitý led je druh půdního ledu, který je tvořen prismatickými ledovými krystalky v podobě jehel, stébel či sloupců (Sekyra 1960). K tvorbě jehlicovitého ledu dochází zejména v důsledku diurnálního (každodenního) promrzání vlhkých, jemnozrnných a mrazově sukceptibilních substrátů. Ledové krystaly rostou přímo na povrchu terénu nebo těsně pod povrchem, přičemž jejich orientace je kolmá k hladině ochlazení. Délka ledových krystalů se pohybuje od prvních milimetrů až po 20 cm (Sekyra 1960; Ballantyne 2007; French 2007).

V důsledku růstu a degradace jehlicovitého ledu dochází k mrazovému třídění, krípu či k diferenciálním pohybům jemnozrnného a hrubozrnného materiálu po svahu (French 2007). Mechanismus pohybu klastů z vyklenutého centra v důsledku růstu a degradace jehlicovitého ledu je na obrázku 9.



Obr. 9a: Jehlicovitý led s krystaly kolmo orientovanými ke svažitému půdnímu podkladu. 1 – vodou nasáklá jílovitá půda, 2 – svazky ledových jehel s ojedinělými uzavřeninami hrudek půdy nebo úlomků horniny, 3 – jehlicovitým ledem vynesené hrudky půdy s úlomky horniny.

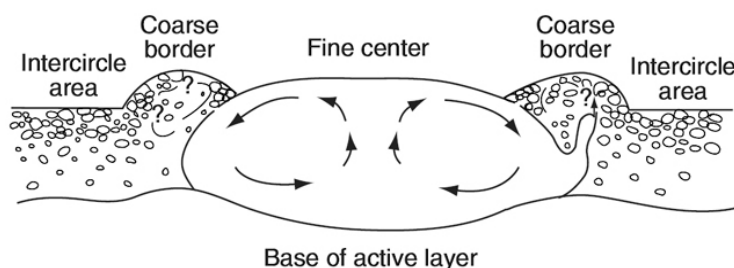
Obr. 9b: Degradace jehlicovitého ledu projevující se posunem vynesené zeminy po svahu. A – původní poloha kamínku, B – poloha kamínku vynesného jehlicovitým ledem, C – poloha kamínku při degradaci ledových jehel, D – poloha kamínku posunutého v důsledku degradace jehlicovitého ledu o vzdálenost d . Podle Sekyry (1960).

3. 1. 1. 5. Mechanické třídění

Důležitým procesem vázaným na diferenciální mrazové vzdouvání a všechny procesy, jejichž produktem je nerovnoměrné (diferenciální) vyklenování povrchu terénu, je mechanické třídění, při němž dochází ke gravitačně podmíněnému preferenčnímu pohybu hrubozrnnějších částic z vyklenutých center směrem k níže položeným okrajům (French 2007).

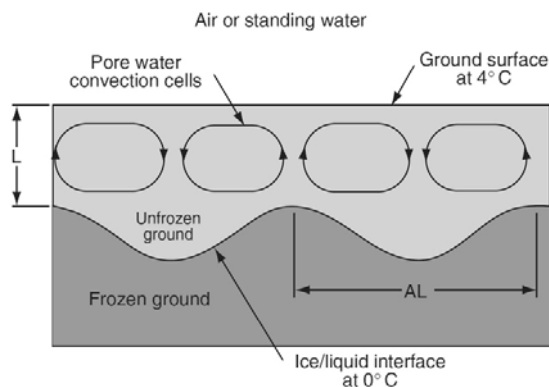
3. 1. 1. 6. Přesouvání hmot (mass displacement)

Teorie *soil circulation* předpokládá, že během rozmrazání půdy s vysokým obsahem ledu dochází k vytvoření inverze v hustotním zvrstvení, což způsobuje gravitační nestabilitu v půdním profilu. Tato nestabilita je vyrovnávána cirkulačními pohyby přesycené půdní hmoty s výstupnými pohyby relativně lehčí půdy a sestupnými pohyby relativně těžší půdy (obr. 10, Ballantyne 2007).



Obr. 10: Cirkulační pohyby přesycené půdy uvnitř tříděného kruhu. Podle Ballantyne (2007).

Teorie *free convection of porewater* vychází ze skutečnosti, že voda v teplotním rozpětí 0 – 4 °C mírně zvyšuje svoji hustotu. Během tání promrzlé půdy, které postupuje od shora dolů, proto dochází k situaci, kdy se relativně teplejší (těžší) voda nachází nad relativně chladnější (lehčí) vodou. Toto během tání vyvolává konvekční pohyby, při nichž dochází k poklesu relativně teplejší (těžší) vody do hlubších částí půdního profilu, zatímco relativně chladnější voda (lehčí) vystupuje do svrchnějších částí půdního profilu, přičemž dávají do pohybu půdní částice. Poklesávající relativně teplejší voda navíc urychluje tání při bázi činné vrstvy, což vede k jejímu zvlnění, které může způsobit vytvoření vyklenutých struktur i na povrchu terénu (obr. 11, Ballantyne 2007).



Obř. 11: Cirkulační pohyby půdní vody během tání činné vrstvy a výsledné zvlnění báze činné vrstvy. Podle Ballantyne (2007).

Podle Washburna (1979) mohou tyto konvekční/cirkulační pohyby vést ke vzniku tříděných půd. Ballantyne (2007) však zdůrazňuje, že rozdíly v hustotě nejsou natolik výrazné, aby vyvolávaly cirkulační pohyby, které by byly schopné iniciovat laterální třídění. Spíše se proto předpokládá jejich uplatnění na již vytríděných strukturních půdách či při vzniku některých netříděných typů strukturních půd (např. mudboils, French 2007).

Přesouvání nepromrzlých částí půdy může být podle Washburna (1979) rovněž vyvoláno v důsledku tlaku artézské vody, tlaků mezi půdními částicemi či kryostatického tlaku.

3. 1. 1. 7. Diferenciální tání a odplavování půdy (differential thawing and eluviation)

K diferenciálnímu tání dochází v heterogenním materiálu v důsledku odlišných teplotních charakteristik jemnozrnnějších a hrubozrnnějších částic. Rychlost promrzání a tání hrubozrnnějších částí půdy je vyšší než v případě jemnozrnnější složky, neboť mají vysokou tepelnou vodivost. Při tání hrubozrnnějších částí půdy navíc dochází ke snadnější perkolaci tající vody a intenzivnějšímu přenosu tepla ke spodním, dosud promrzlým vrstvám půdy (Washburn 1979, French 2007). V místech vyšších koncentrací hrubozrnnějších částic proto v důsledku jejich rychlejšího roztávání dochází k vytváření depresí (přechod vody z pevné do kapalné fáze → snížení objemu). Od nich postupuje intenzivnější tání dále do hloubky a do stran a dochází ke spojování původně izolovaných depresí v žlábků, které fungují jako odvodní kanály pro tající vodu a které obklopují ostrůvky z jemnozrnnějšího materiálu. Při postupujícím tání dochází k preferenčnímu odnosu jemnozrnnějších částic tající vodou z těchto kanálů a vytvářejí se tak zrnitostně homogennější, hrubozrnné kanály (Washburn 1956).

Podle Washburna (1979) může v důsledku diferenciálního tání a odplavování půdy docházet k vývoji tříděných sítí a pruhů. Tento proces navíc může hrát důležitou roli při nastartování vývoje strukturních půd, neboť zvýrazní iniciální diference v zrnitostním složení a jsou tak vytvořeny vhodné podmínky pro uplatnění dalších procesů (Washburn 1956).

3. 1. 1. 8. Diferenciální zvětrávání (differential weathering)

V důsledku diferenciálního zvětrávání může dojít k vytvoření lokálních koncentrací jemnozrnější zvětralin vzhledem k okolnímu hrubozrnějšímu (tj. méně navětralému) materiálu. Tím mohou být vytvořeny vhodné podmínky pro uplatnění dalších procesů, které tuto texturní diferenci mezi oběma složkami (jemnozrnou a hrubozrnou) ještě zvýrazní (Washburn 1979).

3. 2. 1. Tříděné strukturní půdy v Krkonoších

Tříděné kruhy (sorted circles) jsou charakteristické pravidelným kruhovým tvarem s jemnozrnějším materiálem obklopeným hrubozrnějšími klasty, které tvoří okraje kruhů (Washburn 1979).

V Krkonoších se nachází jediná lokalita této skupiny tříděných půd – Modré sedlo. Jedná se o šest tvarů, jejichž průměr se pohybuje od 70 cm do 140 cm (Křížek et al. 2005). Křížek (2007) uvádí, že vzhledem k vysoké četnosti regulačních cyklů a malým průměrům lišejníkových stélek na klastech, které tvoří tříděné kruhy, lze tyto tvary považovat za recentně aktivní.

Tříděné polygony (sorted polygons) jsou charakteristické polygonálním tvarem s jemnozrnějším materiálem obklopeným hrubozrnějšími klasty, které tvoří okraje polygonů. Typicky se vyskytují na horizontálním či mírně ukloněném reliéfu. Občas se mohou vyvinout polygony menších rozměrů uvnitř větších polygonů (Washburn 1979).

Podle Tremla et al. (2005) je vznik tříděných polygonů v Krkonoších spojen s tepelnou kontrakcí, pukáním, a diferenciálním mrazovým vzdouváním. V Krkonoších se nacházejí ve vrcholové oblasti Luční a Studniční hory, Vysokého kola a na plošině v okolí Wawelu (Křížek et al. 2005). Velikost tříděných polygonů v delší ose se pohybuje od 150 cm do 440 cm. Jejich výskyt je vázán především na přítomnost kvarcitů, na nichž jsou i nejlépe vyvinuty (Křížek et al. 2005).

Tříděné sítě (sorted nets) jsou takové tříděné půdy, u nichž nepřevládá ani polygonální, ani kruhový tvar. Jemnozrnnější střed je obklopen hrubozrnnějšími klasty, které tvoří okraje tvaru (Washburn 1979).

Areály tříděných sítí v Krkonoších obklopují areály tříděných polygonů, přičemž se vyskytují na méně mikroklimaticky exponovaných místech (Křížek et al. 2005). Areály tříděných sítí jsou většinou zarostlé vegetací. Jemnozrnnějšímu středu pak zpravidla odpovídá vyklenutá část, zatímco hrubozrnnému kamennému věnci odpovídá úžlabí (Křížek et al. 2005).

Tříděné pruhy (sorted stripes) jsou charakteristické protáhlým, pruhovým tvarem, přičemž mezi pruhy z hrubozrnnějšího materiálu se nachází jemnozrnnější složka (Washburn 1979). Jejich výskyt je podmíněn sklonem svahu přesahujícím $2 - 3^\circ$, v případě soliflukcí přemodelovaných tříděných polygonů a sítí je nutný sklon alespoň $3 - 7^\circ$ (Washburn 1979).

V Krkonoších jsou vyvinuté na svazích o sklonech $5-10^\circ$ a lemují oblasti s výskytem tříděných polygonů a sítí (Křížek et al. 2005). Šířka pruhů je značně variabilní (průměrně od úžlabí k úžlabí 150 – 300 cm a šířka kamenného pruhu dosahuje 20 – 100 cm). Jako ostatní formy tříděných půd jsou v Krkonoších nejlépe vyvinuty na kvarcitech.

3. 2. 2. Netříděné strukturní půdy v Krkonoších

Netříděné pruhy (nonsorted stripes) jsou charakteristické pruhovitým tvarem, který je často zvýrazněný pruhy vegetace a pruhy relativně holé půdy (Washburn 1979). Netříděné pruhy mají vyklenutý střed, který je protažen ve směru sklonu svahu (Křížek et al. 2005).

Představují soliflukčně podmíněné formy půdních kopečků, proto jsou nejlépe vyvinuty na stejných lokalitách jako půdní kopečky (Křížek et al. 2005). Výška vyklenutí centrálního pruhu se pohybuje od 15 cm do 40 cm, šířka činí 45 – 150 cm. Délka pruhů se nejčastěji pohybuje v řádu desítek metrů (Křížek et al. 2005).

Rašelinné kopečky (peat hummocks) představují subtype mrazových kopečků (frost hummocks, Křížek et al. 2005). Jedná se o morfologicky nápadné drobné elevace s pravidelným, většinou kruhovým či oválným půdorysem. V Krkonoších se nachází severně od Luční boudy. Velikost jejich delší osy se zpravidla pohybuje od 150 cm do 250 cm, maximální vyklenutí dosahuje v zimě cca 40 cm (Křížek et al. 2005). Rašelinné kopečky projevují významnou recentní kryogenní aktivitu, která je patrná změnami povrchové morfologie a sezónními změnami rozměrů a tvarů (Křížek et al. 2005).

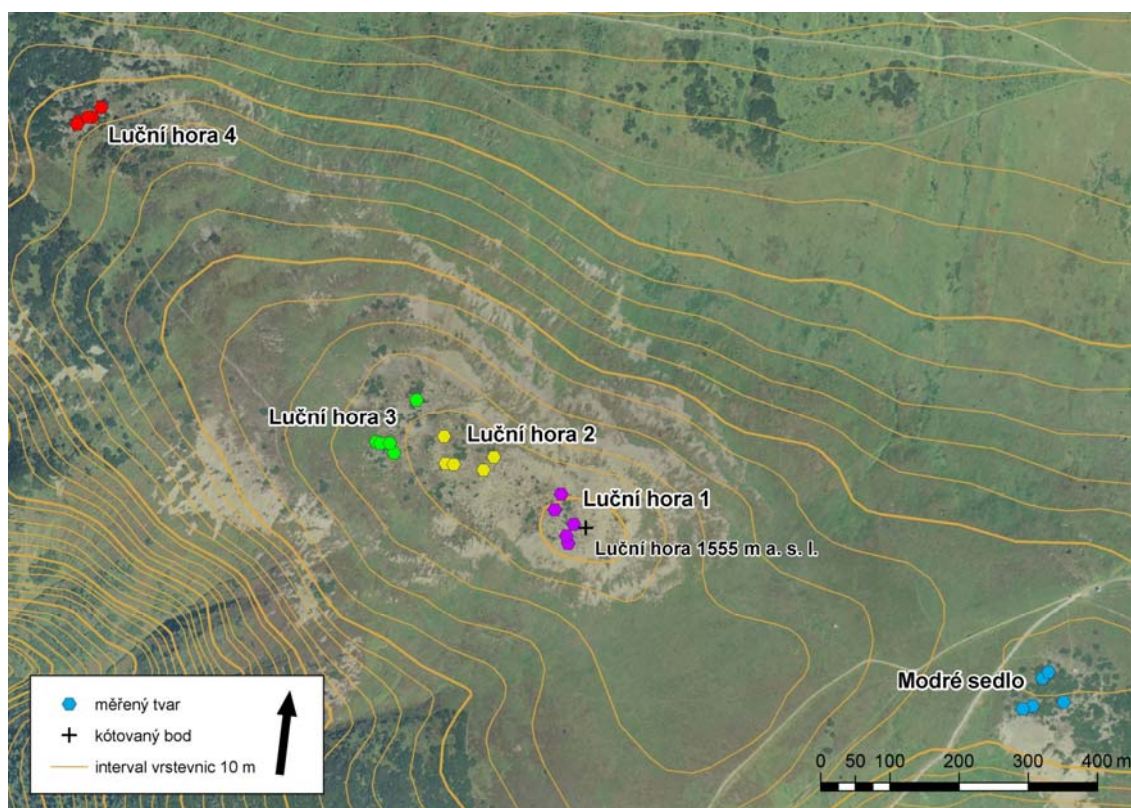
4. METODIKA

4. 1. VÝBĚR A CHARAKTERISTIKA LOKALIT

Základním zdrojem polohových, kvantitativních a kvalitativních charakteristik byl terénní výzkum, který proběhl ve dnech 27. – 29. 9. 2008. V souladu s cílem práce bylo v modelovém území vybráno pět lokalit výskytu tříděných strukturních půd (obr. 12). Na Luční hoře byl vymezen transekt, který sleduje gradient extremity mikroklimatických podmínek, které jsou v práci reprezentovány nadmořskou výškou. Transekt tvoří 4 lokality – Luční hora 1 (tříděné polygony), Luční hora 2 (tříděné polygony), Luční hora 3 (tříděné sítě) a Luční hora 4 (tříděné sítě). Lokalita Luční hora 1 je nejvýše položená (tab. 2) a reprezentuje potenciálně nejvíce mikroklimaticky exponovanou lokalitu, zatímco lokalita Luční hora 4 vykazuje opačné charakteristiky. Rozdíl mezi nejvýše a nejniže položenou lokalitou je přibližně 96 výškových metrů. Všechny lokality v rámci transektu se nacházejí na kryoplanačních terasách se SZ orientací a jsou vystaveny převládajícímu SZ proudění (JV větev A-O systému Bílého Labe, Jeník 1961). Pátá lokalita Modré sedlo se nachází v Modrém sedle (tříděné sítě) mezi Luční a Studniční horou. Na každé lokalitě bylo náhodně vybráno 5 tvarů, přičemž jejich výběr byl zejména v nižších nadmořských výškách determinován zarostením velké části tvarů vegetací, která znemožňuje měření velikostí klastů ve vnitřních částech tvarů. To se promítlo i v nerovnoměrném rozmístění lokalit v rámci transektu na Luční hoře, neboť v některých partiích zcela chyběly tvary, jež by bylo možné pro účely práce využít.

Tab. 2: Polohové charakteristiky studovaných lokalit tříděných strukturních půd (ZŠ – zeměpisná šířka, ZD – zeměpisná délka).

| Lokalita | Zeměpisné souřadnice centroidu | | Nadmořská výška centroidu [m n. m.] | Vzdálenost centroidu od vrcholu Luční hory [m] |
|--------------|--------------------------------|----------|-------------------------------------|--|
| | ZŠ [°] | ZD [°] | | |
| Luční hora 1 | 50,72754 | 15,68224 | 1553,06 | 39,12 |
| Luční hora 2 | 50,72820 | 15,68004 | 1546,66 | 203,75 |
| Luční hora 3 | 50,72838 | 15,67850 | 1537,24 | 312,89 |
| Luční hora 4 | 50,73202 | 15,67154 | 1456,97 | 934,44 |
| Modré sedlo | 50,72606 | 15,69236 | 1509,85 | 702,05 |



Obr. 12: Studované lokality tříděných strukturních půd.



Obr. 13: Kamenná moře na severním svahu Luční hory, v pozadí Studniční hora s Modrým sedlem a Sněžka. Foto: Marek Křížek 2002.



Obr. 14: Pohled na Luční horu se systémem kryoplanačních teras z Modrého sedla v Krkonoších. Foto: Marek Křížek 2006.



Obr. 15: Tříděné polygony na vrcholové plošině Luční hory v Krkonoších. Foto: Marek Křížek 2004.



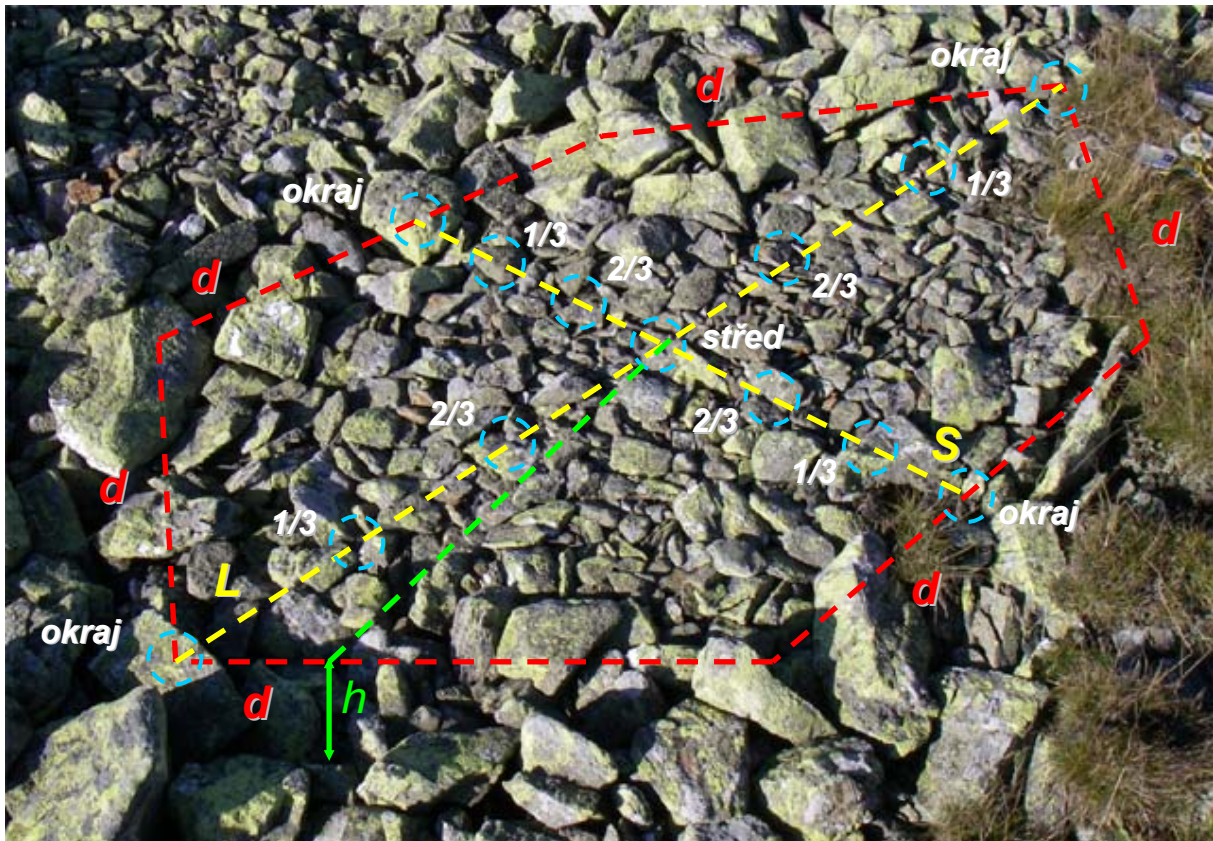
Obr. 16: Zarostlé tříděné sítě na jedné z kryoplanačních teras orientované k Z na Luční hoře v Krkonoších. Foto: Marek Křížek 2005.

4. 2. MĚŘENÉ CHARAKTERISTIKY

U každého tvaru byla měřena délka delší a kratší osy, jejich azimut a sklon. Delší osu chápeme jako největší horizontální rozměr daného tvaru, kratší osa je na osu delší kolmá a přibližně ji půlí. Dále byly měřeny délky stran tvarů a jejich azimuty. Z délek stran byla vypočtena střední délka strany, z azimutů stran byly vypočteny velikosti vnitřních úhlů tvarů, na jejichž základě byla určována míra pravidelnosti jednotlivých polygonů. U každého tvaru bylo měřeno maximální vyklenutí, což je výškový rozdíl mezi nejnižše položeným bodem v úžlabí a středem tvaru. Rovněž bylo zaznamenáno, zda tvar je či není zarostlý vegetací. V kladném případě byl určován typ a charakter vegetačního pokryvu (travní porost, mechorost nebo vřes a jejich zápoj).

Za účelem zjistit, jak jsou velikosti klastů v rámci jednotlivých tvarů rozloženy, byla v každém tvaru měřena velikost 130 klastů ve 13 částech (obr. 17). Tyto části jsou v rámci tvaru rozmístěny tak, že poloosy (delší a kratší osy) jsou rozděleny na třetiny, tj. na každé poloose se nacházejí 4 místa, na nichž byly klasty měřeny – okraj, jedna třetina od okraje

(1/3) a dvě třetiny od okraje (2/3) a střed (střed), který je společný pro všechny poloosy. V každé z těchto částí byl měřen maximální rozměr 10 náhodně vybraných klastů.



Obr. 17: Veličiny měřené v rámci každého tvaru. L – délka delší osy S – délka kratší osy, h – maximální vyklenutí, d – délka strany tvaru, *okraj* – měřeno 10-ti náhodně vybraných klastů na okraji tvaru, $1/3$ – měřeno 10-ti náhodně vybraných klastů v jedné třetině od okraje tvaru, $2/3$ – měřeno 10-ti náhodně vybraných klastů ve dvou třetinách od okraje tvaru, *střed* – měřeno 10-ti náhodně vybraných klastů ve středu tvaru (podkladové foto: Petra Nyplová 2008).

4. 3. ODVOZENÉ CHARAKTERISTIKY

Z dat získaných v terénu byly odvozeny další charakteristiky: poměr délky delší a kratší osy (charakteristika protáhlosti polygonu), směrodatná odchylka velikostí vnitřních úhlů polygonu (charakteristika pravidelnosti tvaru polygonu), průměrná délka strany, index vyklenutí (poměr maximálního vyklenutí a délky kratší osy = relativní výška). Z naměřených hodnot velikostí klastů byla pro každou polohu (viz kap. 4. 2.) spočítána průměrná velikost klastu.

4. 4. HODNOCENÍ KVALITY VYTŘÍDĚNÍ TŘÍDĚNÝCH STRUKTURNÍCH PŮD

4. 4. 1. Vymezení pojmu kvalita vytrřídění

Tříděné strukturní půdy se od netříděných forem liší tím, že u nich nacházíme zřetelně vytrříděný materiál v důsledku mrazového třídění. Střed tříděných půd je obvykle jemnozrnny a je obklopen hrubozrnnyšími kamennými věnci (Washburn 1979). Kvalitou vytrřídění se rozumí, jak dokonale je tato separace jemnozrnnych a hrubozrnnych částic vyvinuta. Čím více se liší velikost klastů tvořících okraje tříděných půd od těch, nacházejících se v jejich centrální části, tím kvalitněji je daný tvar vytrříděn. Naopak čím více se jejich velikosti podobají, tím hůře je daný tvar vytrříděn, tj. má nižší kvalitu vytrřídění.

4. 4. 2. Metody hodnocení kvality vytrřídění

Pro hodnocení kvality vytrřídění, tedy míry oddělenosti jemnozrnny a hrubozrnny složky uvnitř tvarů, byly použity tzv. indexy vytrřídění. Protože je předpoklad, že soubory klastů, nacházející se ve stejné poměrové vzdálenosti od okraje by si měly být podobné, byla vždy ze čtyř souborů velikostí klastů (pokud byly pro daný tvar k dispozici), nacházejících se ve stejné poměrové vzdálenosti od okraje, spočítána průměrná velikost klastů pro každou polohu v rámci tvaru (okraj, jedna třetina od okraje, dvě třetiny od okraje, střed). Hodnota indexu vytrřídění je počítána pro jednotlivé sekce tvarů jako poměr průměrné velikosti klastů v části tvaru blíže okraji a průměrné velikosti klastů v části blíže středu, neboť základním předpokladem pro tříděné strukturní půdy je snižující se velikost klastů směrem od okrajů do středu tvaru. Pokud je tento předpoklad v některé části tvaru porušen, index vyklenutí pro příslušnou část je menší než jedna. Naopak pokud je splněn, index vytrřídění je větší než jedna, přičemž platí, že čím větší je rozdíl ve velikosti klastů mezi určitými dvěma částmi tvaru, tím vyšší je jeho hodnota. Takto byly spočítány následující indexy vytrřídění: $SI_{0-1/3}$ jako poměr průměrné velikosti klastů na okraji a v jedné třetině od okraje, $SI_{1/3-2/3}$ jako poměr průměrné velikosti klastů v jedné třetině od okraje a ve dvou třetinách od okraje, $SI_{0-2/3}$ jako poměr průměrné velikosti klastů na okraji a ve dvou třetinách od okraje. Dále byl vypočítán tzv. absolutní index vytrřídění ASI, přičemž platí, že $ASI_{0-2/3} = \frac{x_1}{\bar{x}} / \frac{x_2}{\bar{x}} / \frac{x_3}{\bar{x}} = \frac{x_1 \cdot \bar{x}}{x_2 \cdot x_3}$, kde x_1 je

průměrná velikost klastů na okraji, x_2 je průměrná velikost klastů v jedné třetině od okraje, x_3 je průměrná velikost klastů ve dvou třetinách od okraje a \bar{x} je průměrná velikost klastů v celém tvaru (počítáno z hodnot průměrných velikostí klastů na okraji, v jedné třetině od okraje a ve dvou třetinách od okraje). Absolutní index vyřídění charakterizuje tvar z hlediska jeho celkové vyříděnosti. Do absolutního indexu vyřídění je rovněž možné zahrnout velikosti klastů ze středu, v tomto případě se absolutní index vyřídění počítá jako

$$ASI_{0-S} = \frac{x_1}{\bar{x}} / \frac{x_2}{\bar{x}} / \frac{x_3}{\bar{x}} / \frac{x_4}{\bar{x}} = \frac{x_1 \cdot \bar{x}^2}{x_2 \cdot x_3 \cdot x_4},$$

kde x_1 je průměrná velikost klastů na okraji, x_2 je průměrná velikost klastů v jedné třetině od okraje, x_3 je průměrná velikost klastů ve dvou třetinách od okraje, x_4 je průměrná velikost klastů ve středu a \bar{x} je průměrná velikost klastů v celém tvaru (v tomto případě počítáno z hodnot průměrných velikostí klastů na okraji, v jedné třetině od okraje, ve dvou třetinách od okraje a ve středu). V práci jsou prezentovány pouze hodnoty $ASI_{0-2/3}$, pro zjednodušení je proto uváděn symbol ASI.

Výše zmíněné indexy vyřídění bylo možné vypočítat pro většinu tvarů, protože pro jejich výpočet není nutné znát velikosti klastů ve středové části tvarů. U tvarů, které mají kompletní soubor měřených klastů, tedy včetně středu byly spočítány další indexy vyřídění – SI_{0-S} jako poměr průměrné velikosti klastů na okraji a ve středu, $SI_{1/3-S}$ jako poměr průměrné velikosti klastů v jedné třetině od okraje a ve středu, $SI_{2/3-S}$ jako poměr průměrné velikosti klastů ve dvou třetinách od okraje a ve středu. Tyto tři indexy však nejsou do komplexních analýz, týkajících se kvality vyřídění v rámci všech studovaných lokalit zahrnuty, neboť níže položené tvary nemají na rozdíl od výše položených tříděných polygonů obnažené středy.

4. 5. POUŽITÉ STATISTICKÉ METODY

Pearsonova korelace mezi jednotlivými charakteristikami tvarů, tj. míra stupně asociace dvou proměnných, kdy určité hodnoty jedné proměnné mají tendenci vyskytovat se společně s určitými hodnotami druhé proměnné (Hendl 2004), byla určována a testována t-testem signifikance korelačních koeficientů na hladině významnosti 0,05. Míra podobnosti v morfologii, velikostech klastů a kvalitě vyřídění jednotlivých lokalit byla zjišťována pomocí shlukové analýzy (Cluster analysis). Cílem bylo rozdělit jednotlivé lokality na základě míry nepodobnosti jejich charakteristik tak, aby tvořily systém kategorií (Hendl,

2004). Jako míra nepodobnosti byla v práci použita euklidovská vzdálenost v mezi dvěma vektory Y a Z :

$$v_{YZ} = \sqrt{\sum_{i=1}^k (y_i - z_i)^2}$$

Poslední statistickou metodou byla analýza rozptylu při jednoduchém třídění (one-way ANOVA), která analyzuje difference průměrů sledované závisle proměnné mezi skupinami, které jsou určeny jednou kategoriální nezávisle proměnnou (faktorem, Hendl, 2004).

4. 6. POUŽITÉ PŘÍSTROJE A SOFTWARE

Pro určování délkových měř bylo využito svinovacího metru, azimuty byly určovány pomocí buzoly, pro měření sklonu byl použit sklonoměr SILVA. Poloha tříděných půd byla zaznamenávána pomocí přístroje GPS, z něhož byly údaje pro potřebu dalšího zpracování převedeny do prostředí ArcGIS 9.3 (ESRI 2008). Zde byl z vrstevnic o intervalu 5 m vytvořen digitální model reliéfu (DMR) s prostorovým rozlišením 2 m. Analýzou DMR byly odvozeny další charakteristiky strukturních půd: nadmořská výška (reprezentuje extremitu mikroklimatických podmínek), sklon svahu a orientace vůči světovým stranám. Pomocí GIS byl určován rovněž typ geologického substrátu.

Charakteristiky byly statisticky zpracovány v software STATISTICA 6.1 (StatSoft 2003) a Microsoft Excel (Microsoft 2003). Pro tvorbu a úpravu map a obrázků byly využity programy ArcGIS 9.3, Adobe Photoshop CS3 a Inkscape 0.46.

5. VÝSLEDKY

5. 1. MORFOLOGIE

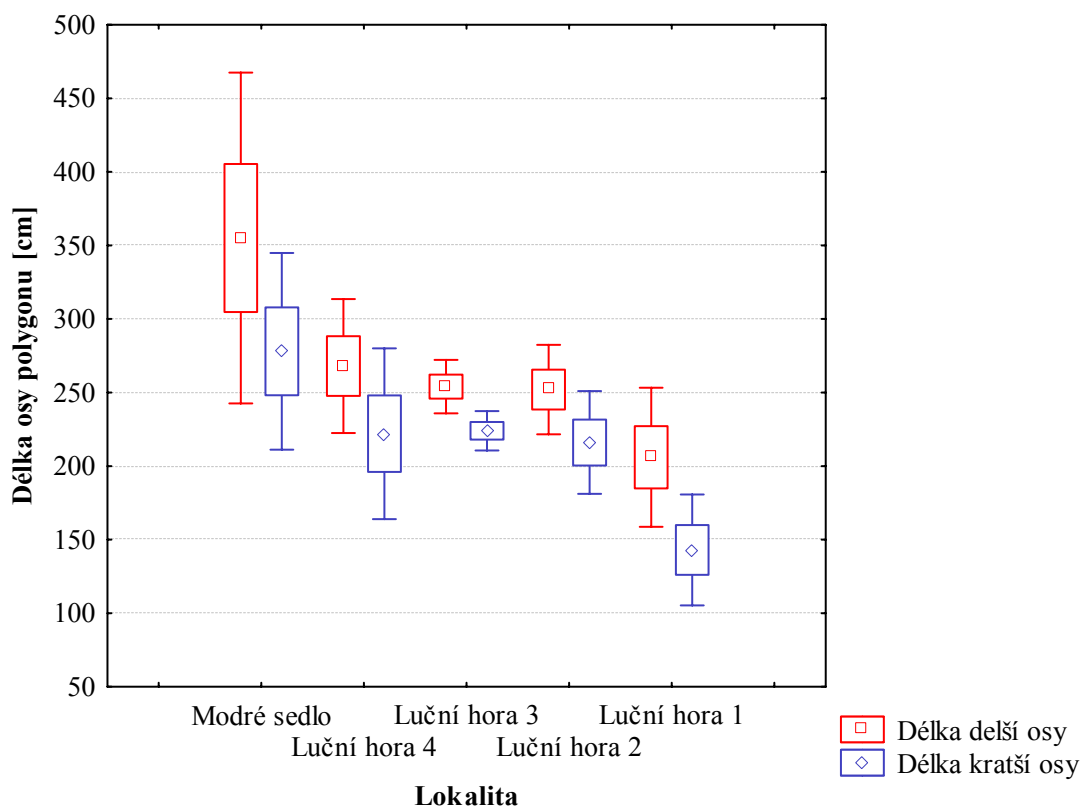
V této části jsou uvedeny základní poznatky týkající se morfologie měřených strukturních půd a morfologických odlišností těchto tvarů na jednotlivých lokalitách. Měřeny byly následující morfologické charakteristiky: délka delší osy, délka kratší osy, délky stran tvarů a maximální vyklenutí. Odvozené morfologické charakteristiky jsou: průměrná délka strany, poměr délek delší a kratší osy (charakteristika protaženosti), směrodatná odchylka délek velikostí vnitřních úhlů polygonů (charakteristika pravidelnosti polygonu), index vyklenutí (poměr délky kratší osy a maximálního vyklenutí = relativní výška polygonu). Prezentován je vztah morfologických charakteristik vzhledem k poloze (charakterizující extremitu mikroklimatických podmínek) a sklonovým poměrům. Analyzovány byly všechny charakteristiky, v textu jsou však uvedeny pouze ty, u nichž byly zjištěny významné závislosti.

5. 1. 1. Velikost tvarů

Morfologickými charakteristikami vyjadřujícími velikost jednotlivých tvarů jsou délka delší osy, délka kratší osy a průměrná délka strany tříděných půd. Délky delších a kratších os měřených tvarů a jejich střední hodnoty a směrodatné odchylky na jednotlivých lokalitách ukazuje obrázek 18. Je z něj patrné, že jednotlivé lokality jsou rozděleny do tří skupin, přičemž samostatnou skupinu představuje lokalita Luční hora 1 s nejmenšími naměřenými velikostmi tvarů. Druhou skupinu tvoří lokality Luční hora 2, Luční hora 3 a Luční hora 4, které se z hlediska průměrných délek os velice podobají. S klesající nadmořskou výškou se průměrné délky os v rámci druhé skupiny obecně zvětšují, nárůst je však malý, a v případě rozdílu průměrných délek kratších os mezi lokalitami Luční hora 3 a Luční hora 4 se dokonce jedná o mírný pokles. Třetí skupinu představuje lokalita Modré sedlo, na níž jsou průměrné hodnoty délek os mnohem větší než na všech ostatních lokalitách. Směrodatné odchylky délek os jsou však na této lokalitě největší, v případě délek delších os pak výrazně vyšší než na ostatních lokalitách. Toto je zřejmě částečně ovlivněno výběrem měřených tvarů, který byl proveden především s ohledem na měřitelnost klastů jednotlivých tvarů (tzn. aby daný tvar byl co nejméně pokryt vegetací), než na reprezentativnost těchto tvarů z hlediska

morfologického. Ve skutečnosti jsou tedy střední hodnoty délek os na této lokalitě zřejmě nižší, neboť výsledný průměr zvyšuje tvar 1, který je výrazně větší než zbylé tvary na této lokalitě, přesto však Modré sedlo představuje z hlediska charakteristik velikosti tvarů zcela autonomní lokalitu, neboť i přes výše zmíněný poznatek jsou tvary na této lokalitě výrazně větší než na lokalitách ostatních.

Pokud jde o vzájemnou závislost délek obou os, platí, že čím je jedna z os delší, tím je delší i druhá osa ($r=0,87$). Rovněž platí, že čím větší je délka obou os, tím větší je průměrná délka strany tvaru (pro obě osy je $r=0,94$).



Obr. 18: Porovnání jednotlivých lokalit z hlediska průměrných délek os tvarů.

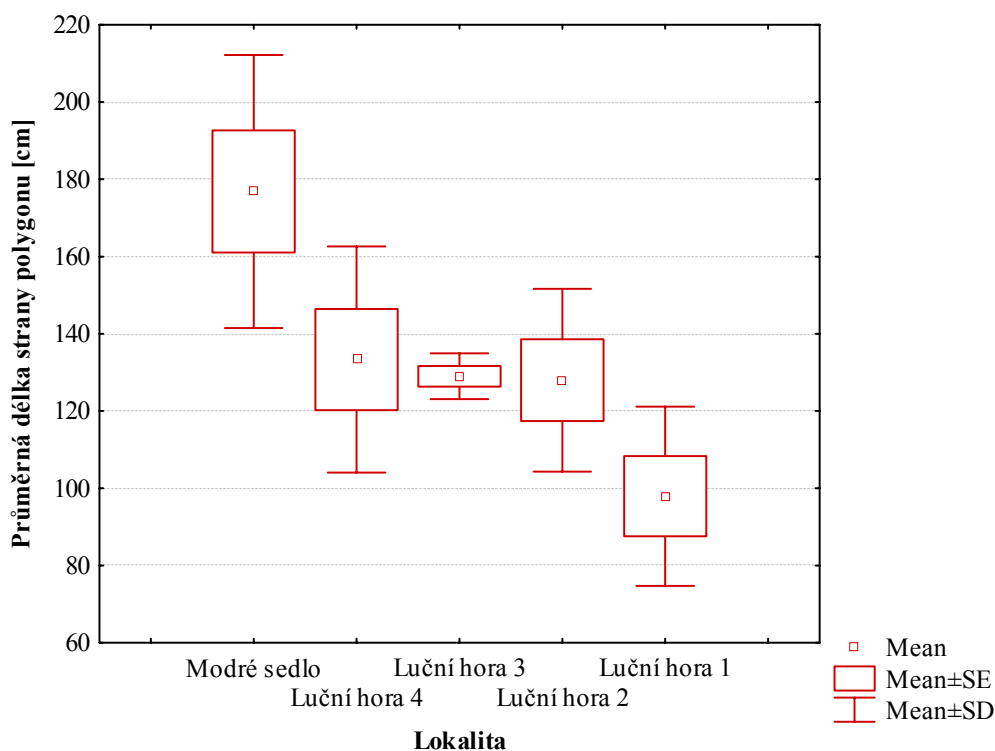
Pro průměrnou délku strany platí prakticky stejné rozdělení hodnot jako v případě delší a kratší osy, což je odrazem vzájemné korelace těchto tří charakteristik. Opět lze rozlišit tři skupiny lokalit (obr. 19). První tvoří Luční hora 1, druhou lokality Luční hora 2, Luční hora 3 a Luční hora 4, třetí je lokalita Modré sedlo. Z výsledků analýzy rozptylu průměrných délek stran mezi jednotlivými lokalitami vyplývá, že Modré sedlo se výrazně odlišuje od Luční hory 1 ($p=0,0031$). Odlišnost Modrého sedla je významná i vůči lokalitám Luční hora 2 a Luční hora 3 ($p=0,0332$, resp. $p=0,0175$). V případě Luční hory 4 je rozdíl neprůkazný, ale pohybuje se na hranici statistické významnosti ($p=0,0668$). Luční hora 1 se z hlediska průměrných délek stran výrazně odlišuje od lokality Luční hora 3 ($p=0,0199$; obr. 19).

V případě rozdílu Luční hory 1 a lokalit Luční hora 2 a Luční hora 4 je rozdíl neprůkazný, avšak na hranici významnosti ($p=0,0769$, resp. $p=0,0669$). Co se týká vzájemných odlišností mezi lokalitami Luční hora 2, Luční hora 3 a Luční hora 4, platí, že tyto lokality jsou si z hlediska průměrné délky strany tvaru velice podobné.

Z analýz rovněž vyplývá, že charakteristiky velikosti tvarů jsou závislé na sklonitostních poměrech (tab. 3). Výsledek by však měl být opačný, neboť na větším sklonu by měly být rozměry tvaru větší (zejména délka delší osy a průměrná délka strany). Toto je způsobeno výběrem tvarů, kdy tvary menších rozměrů se nacházejí na větších sklonech. Vztah charakteristik velikosti tvarů k extremitě mikroklimatických podmínek nebyl na dané hladině významnosti prokázán, nicméně dle korelačních koeficientů je zřejmý (délka delší osy $r=-0,3$; délka kratší osy $r=-0,32$; průměrná délka strany tvaru $r=-0,32$).

Tab. 3: Korelační analýza charakteristik velikosti tvarů a sklonitostních poměrů. Z analýzy byly vyloučeny tvary, jejichž delší osa je přibližně kolmá na spádnici (tučnou kurzívou – významné korelace).

| p = hladina spolehlivosti (p<0,05) | Délka delší osy | Délka kratší osy | Průměrná délka strany |
|------------------------------------|-----------------|------------------|-----------------------|
| Sklon odvozený z DMR | -0,19 | -0,28 | -0,20 |
| Sklon delší osy | -0,68 | -0,65 | -0,65 |

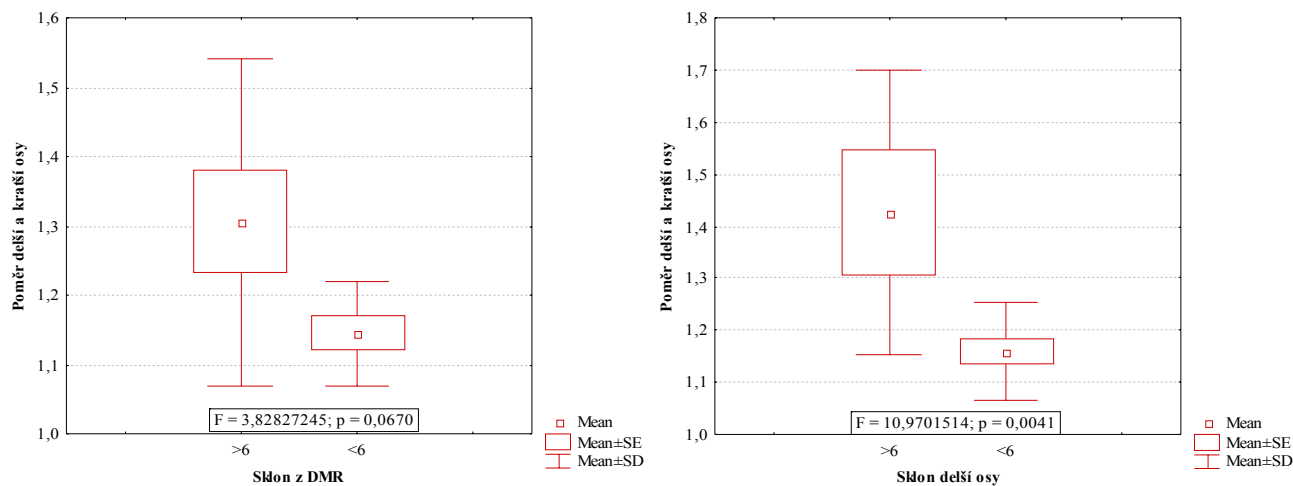


Obr. 19: Porovnání jednotlivých lokalit z hlediska průměrné délky strany tvarů.

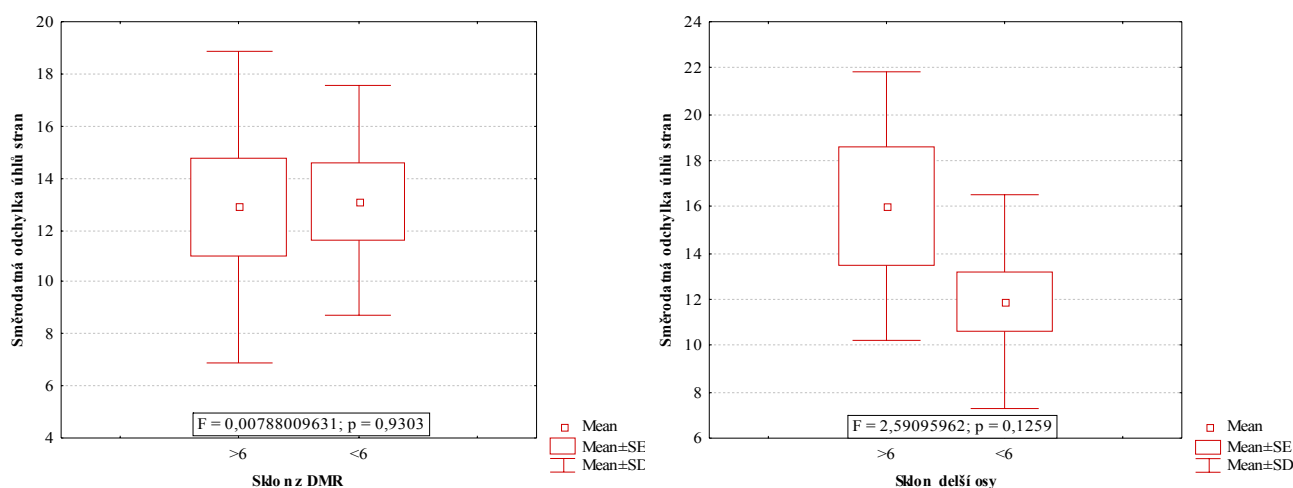
5. 1. 2. Pravidelnost tvarů

Vyjádřením míry toho, jak je daný tvar pravidelný v půdorysu, jsou charakteristiky poměru délek delší a kratší osy (protaženost tvarů) a směrodatná odchylka úhlů stran tvarů. Co se týká vzájemného vztahu protaženosti tvarů a směrodatné odchylky úhlů stran tvarů, platí, že jsou na 5% hladině významnosti na sobě závislé ($r=0,53$) či spíše směrodatná odchylka úhlů stran je závislá na protažení tvaru, neboť při zvyšující se protaženosti se úhly, ležící na ose, která se prodlužuje, zmenšují, zatímco ostatní úhly se zvětšují. Směrodatná odchylka jejich velikostí je pak tedy vyšší.

Na to, jak je daný tvar protažen, případně jak je pravidelný, má zásadní vliv sklon svahu. Na plochem reliéfu se nacházejí pravidelné formy, které se postupně se vzrůstajícím sklonem svahu vlivem svahových procesů (zejména soliflukce) protahují ve směru sklonu svahu (Křížek et al. 2007b). Toto dokumentují obrázky 20 a 21, které znázorňují rozdíly v protažení a pravidelnosti tvarů na sklonech menších a větších než 6° , v levé části obrázků odvozených z DMR (digitální model reliéfu), v pravé části získaných v terénu měřením sklonů delších os tvarů. Hranice 6° byla zvolena na základě posouzení zastoupení sklonů v DMR, přičemž ze studované oblasti byly vybrány ty části reliéfu, jejichž sklon se nachází v rozpětí určeném nejmenším a největším sklonem u měřených tvarů (odvozených z DMR). Takto získaný soubor sklonů byl následně rozdělen do dvou intervalů metodou přirozených zlomů. Tato metoda dělí soubory hodnot do tříd, přičemž hranice tříd se nachází tam, kde dochází k největší změně mezi třídami (ESRI 2008). Vzhledem k faktu, že některé tvary nejsou protaženy ve směru sklonu svahu, ale spíše ve vrstevnicovém směru (tj. jejich delší osa je kolmá na spádnici), nejsou tyto do dvou analýz na obrázcích 20 a 21 zahrnuty, neboť existuje podezření, že se jedná o dva spojené tvary či o tvary, jejichž protahování ve směru sklonu svahu bylo bráněno lokálními nepravidelnostmi reliéfu (o této problematice je blíže pojednáno v kap. 6. 8. 1.). Jedná se o šest tvarů (1, 12, 20, 22, 27 a 29). Z obrázků 20 a 21 je patrné, že rozdíly mezi oběma intervaly jsou výraznější v případě sklonů delší osy. To je způsobeno odlišným měřítkem obou metod určování sklonů, kdy DMR vyjadřuje obecný úklon reliéfu, je tedy poněkud „shlazený“, zatímco sklon delší osy zachycuje datailní odlišnosti a nepravidelnosti reliéfu, tedy skutečný sklon v daném místě (nikoli obecný trend), který má na to, zda se svahové procesy uplatňují či nikoli, rozhodující vliv.



Obr. 20: Porovnání protažení tvarů na svazích o sklonech větších a menších než 6° . Z analýzy byly vyloučeny tvary, jejichž delší osa je přibližně kolmá na spádnicí (graf vlevo – sklony odvozené z DMR, graf vpravo – sklony delších os získané měřením v terénu).



Obr. 21: Porovnání směrodatných odchylek úhlů stran tvarů na svazích o sklonech větších a menších než 6° . Z analýzy byly vyloučeny tvary, jejichž delší osa je přibližně kolmá na spádnicí (graf vlevo – sklony odvozené z DMR, graf vpravo – sklony delších os získané měřením v terénu).

Z obrázků 20 a 21 je vidět, že v případě sklonů odvozených z DMR je rozdíl na 5% hladině významnosti v obou případech nesignifikantní, naopak v případě sklonů delších os tvarů byl rozdíl na dané hladině významnosti prokázán u protažení (obr. 20), u směrodatných odchylek úhlů stran tvarů je neprůkazný (obr. 21).

Co se týká pravidelnosti tvarů ve vztahu k extremitě mikroklimatických podmínek reprezentovaných polohou, resp. nadmořskou výškou, je patrná slabá závislost (směrodatná

odchylka úhlů stran tvarů: pro celou oblast $r=0,19$, resp. $r=0,2$ pro transekt na Luční hoře, tedy pro lokality Luční hora 1, Luční hora 2, Luční hora 3 a Luční hora 4; pro protažení je závislost mnohem slabší), která však není průkazná (tab. 4).

Tab. 4: Korelační analýza poměru délky delší a kratší osy (protaženosti tvarů), směrodatné odchylky úhlů stran tvarů a nadmořské výšky.

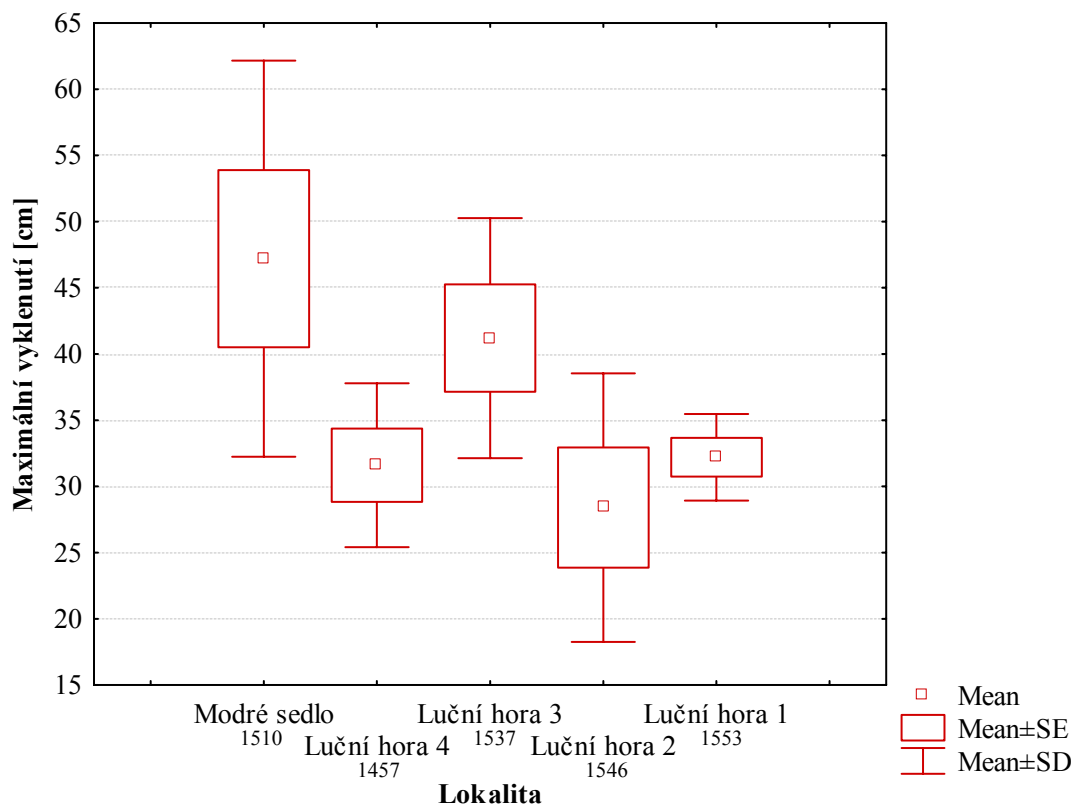
| | | |
|--|---|--|
| p = hladina spolehlivosti ($p<0,05$) | Poměr délky delší a kratší osy - všechny lokality | Směrodatná odchylka úhlů stran polygonů - všechny lokality |
| Nadmořská výška | 0,07 | 0,19 |
| p = hladina spolehlivosti ($p<0,05$) | Poměr délky delší a kratší osy - Luční hora | Směrodatná odchylka úhlů stran polygonů - Luční hora |
| Nadmořská výška | 0,09 | 0,2 |

5. 1. 3. Vyklenutí tvarů

Charakteristiky popisující vyklenutí tvarů jsou maximální vyklenutí a index vyklenutí. Tyto charakteristiky jsou mírou toho, jak daný tvar vystupuje nad okolní terén či jak moc je vypouklý.

5. 1. 3. 1. Maximální vyklenutí

Maximální vyklenutí je výškový rozdíl mezi centrální částí tvaru a nejniže ležícím bodem v úžlabí na okraji tvaru. Tato charakteristika je nezávislá na nadmořské výšce, tedy nezávislá na extremitě mikroklimatických podmínek ($r=-0,03$), což je patrné i z rozložení hodnot maximálního vyklenutí na obrázku 22, z něhož nelze pozorovat pro lokality na Luční hoře žádný trend. Nejvyšší hodnoty jsou na Modrém sedle, kterému se nejvíce podobá lokalita Luční hora 3. Naopak lokality Luční hora 1, Luční hora 2 a Luční hora 4 se od Modrého sedla výrazně odlišují, přičemž v případě Luční hory 2 je tento rozdíl průkazný ($p=0,0484$), v případě lokalit Luční hora 1 a Luční hora 4 je nesignifikantní, avšak na hranici významnosti ($p=0,0598$, resp. $p=0,0633$). Rozdíl Luční hory 3 oproti zbylým lokalitám na Luční hoře je patrný (obr. 22), nicméně na 5% hranici významnosti není ani v jednom případně průkazný.



Obr. 22: Porovnání jednotlivých lokalit podle hodnot maximálního vyklenutí.

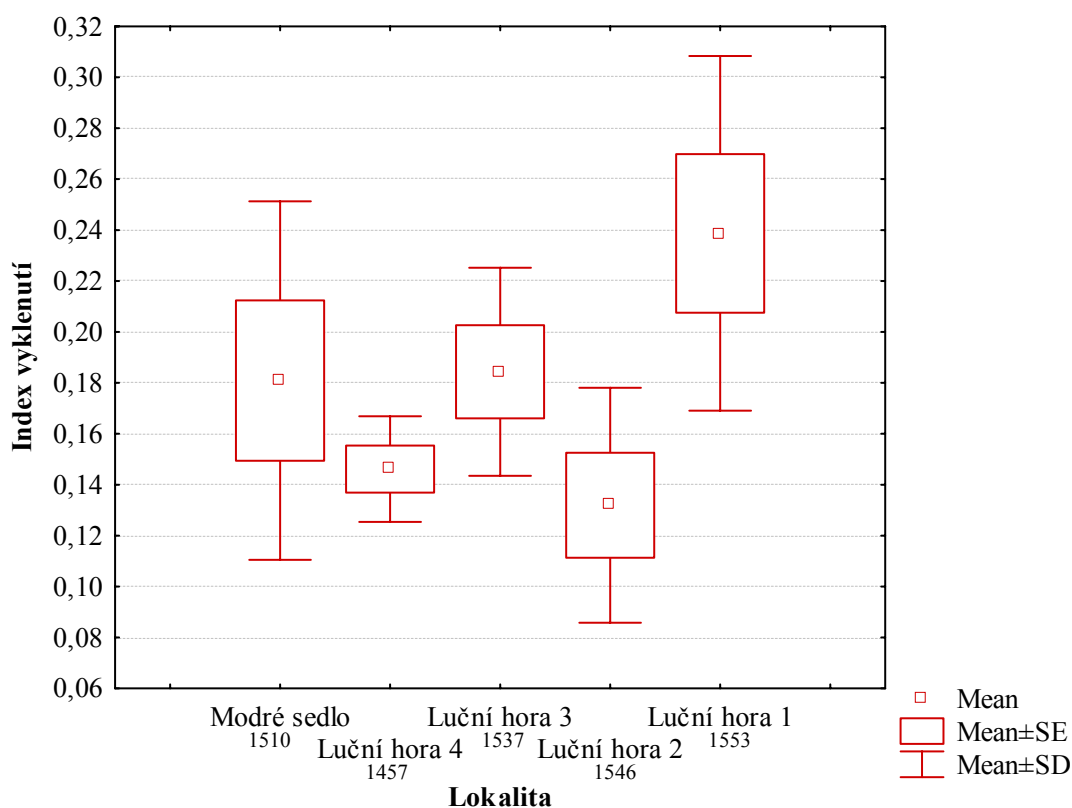
V rámci studované oblasti nebyla nalezena průkazná závislost maximálního vyklenutí na sklonu svahu ($r=-0,15$ pro sklon delší osy, resp. $r=0$ pro sklon odvozený z DMR – do analýzy nebyly zahrnuty tvary 1, 12, 20, 24, 27 a 29, jejichž delší osa je přibližně kolmá na spádnicí), nicméně v diskusi bude pojednáno o jeho hypotetickém vlivu na něj.

5. 1. 3. 2. Index vyklenutí

Index vyklenutí je odvozenou charakteristikou, která je definována jako poměr délky kratší osy a maximálního vyklenutí. Index vyklenutí vyjadřuje jak je daný tvar vypouklý, případně jak je (při určitých minimálních rozměrech) morfologicky výrazný (Křížek et al. 2006). Zatímco u výše zmíněného maximálního vyklenutí nebyl zřejmý žádný vztah k poloze, resp. extremitě mikroklimatických podmínek, v případě indexu vyklenutí je možné v rámci celé oblasti slabou, ale neprůkaznou závislost pozorovat, přičemž s rostoucí nadmořskou výškou se obecně zvyšuje hodnota indexu vyklenutí ($r=0,29$). Tento trend však porušuje lokalita Luční hora 2, na níž jsou hodnoty indexu vyklenutí z celé oblasti nejnižší. Vyloučíme-li tuto lokalitu z výpočtu Pearsonova korelačního koeficientu obdržíme hodnotu $r=0,52$, která je na dané hladině významnosti průkazná. Porovnání jednotlivých lokalit podle

hodnot indexů vyklenutí zobrazuje obrázek 23. Pro zjištění odlišností mezi jednotlivými lokalitami bylo využito analýzy rozptylu při jednoduchém třídění, z níž vyplývá, že významné odlišnosti existují pouze mezi Luční horou 1 a lokalitami Luční hora 2 a Luční hora 4 ($p=0,0212$, resp. $p=0,0215$). Rozdíl mezi Luční horou 1 a lokalitami Luční hora 3 a Modré sedlo je rovněž poměrně výrazný, ale na dané hladině významnosti prokázán nebyl ($p=0,1708$, resp. $p=0,228$). Lokality Luční hora 2, Luční hora 3, Luční hora 4 a Modré sedlo se v indexu vyklenutí vzájemně významně neodlišují.

V rámci korelační analýzy byla nalezena průkazná závislost indexu vyklenutí na sklonu delší osy ($r=0,50$). To by mohlo být způsobeno tím, že spodní část tvaru (po spádnici) „stéká“ po svahu pomaleji než horní část a vytváří se tak kapkovitý tvar (v podélném profilu), přičemž dochází ke zvýšení indexu vyklenutí.

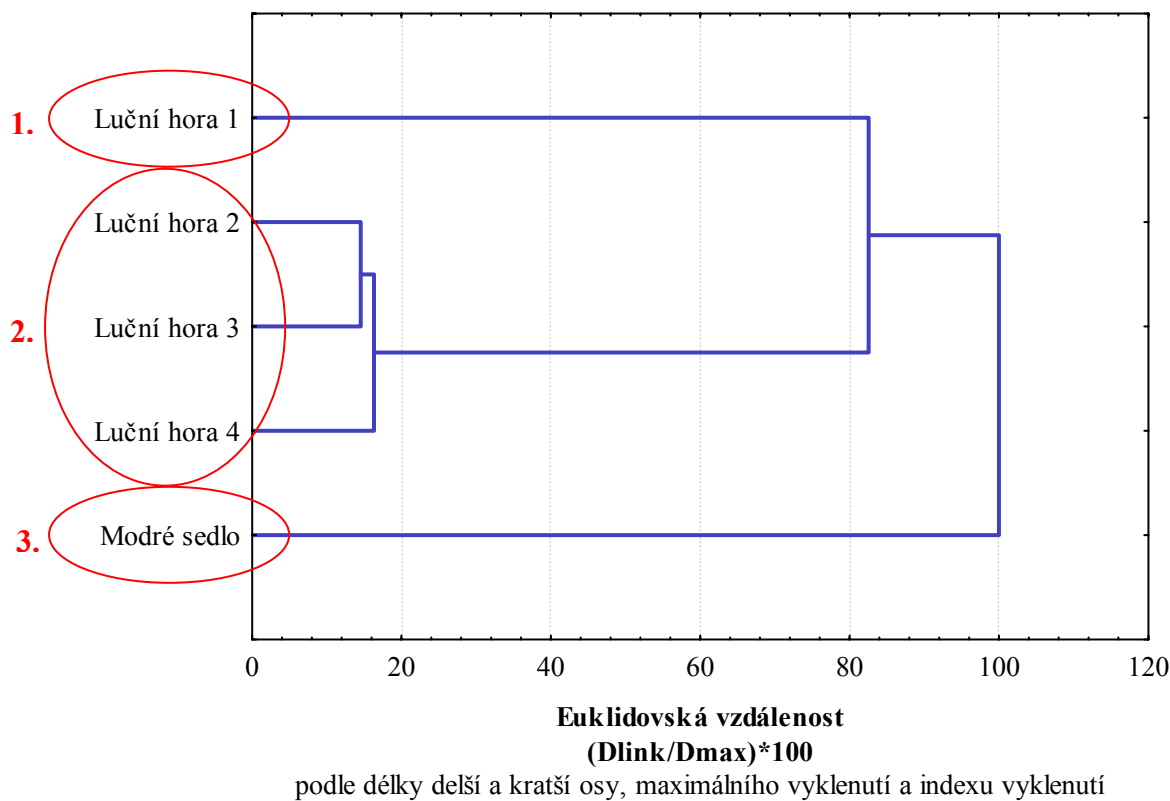


Obr. 23: Porovnání jednotlivých lokalit z hlediska hodnot indexu vyklenutí.

5. 1. 4. Klasifikace lokalit podle morfologie

Pro klasifikaci lokalit podle morfologie tříděných půd byla použita shluková analýza, s jejíž pomocí byla stanovena míra podobnosti jednotlivých lokalit na základě porovnání vybraných morfologických charakteristik strukturních půd. Charakteristiky, které byly pro

klasifikaci vybrány, jsou délka delší osy, délka kratší osy, maximální vyklenutí a index vyklenutí (sensu Nyplová 2006). Z výsledné klasifikace (obr. 24) vyplývá, že z morfologického hlediska se ve studované oblasti zřetelně vydělují tři skupiny lokalit. První z nich tvoří Luční hora 1, druhou lokality Luční hora 2, Luční hora 3 a Luční hora 4 a třetí skupinu představuje lokalita Modré sedlo. Je patrné, že klasifikace je výrazně ovlivněna velikostí tvarů, neboť podobné rozložení lokalit je dosaženo i na obrázcích 18 a 19. Při porovnání lokalit na základě charakteristik vyklenutí tvarů (obr. 22, 23) jsou si lokality obecně podobnější, přičemž v případě maximálního vyklenutí se nejvýrazněji odlišuje Modré sedlo, v případě indexu vyklenutí naopak Luční hora 1. Toto jsou důvody, proč se v rámci této klasifikace lokality Luční hora 1 a Modré sedlo odlišují od zbývajících tří lokalit i od sebe navzájem a vytvářejí tak vlastní, samostatné skupiny. Lokality Luční hora 2, Luční hora 3 a Luční hora 4 tvoří jednu skupinu, přičemž platí, že lokality Luční hora 2 a Luční hora 3 jsou si z morfologického hlediska podobnější. Pokud bychom klasifikaci prováděli na základě porovnávání všech morfologických charakteristik tvarů, tedy na základě porovnání délek delších a kratších os, průměrné délky strany, protažení (poměru délek delší a kratší osy), směrodatných odchylek úhlů stran tvarů, maximálního vyklenutí a indexu vyklenutí, obdrželi bychom velmi podobný výsledek klasifikace jako na obrázku 24.



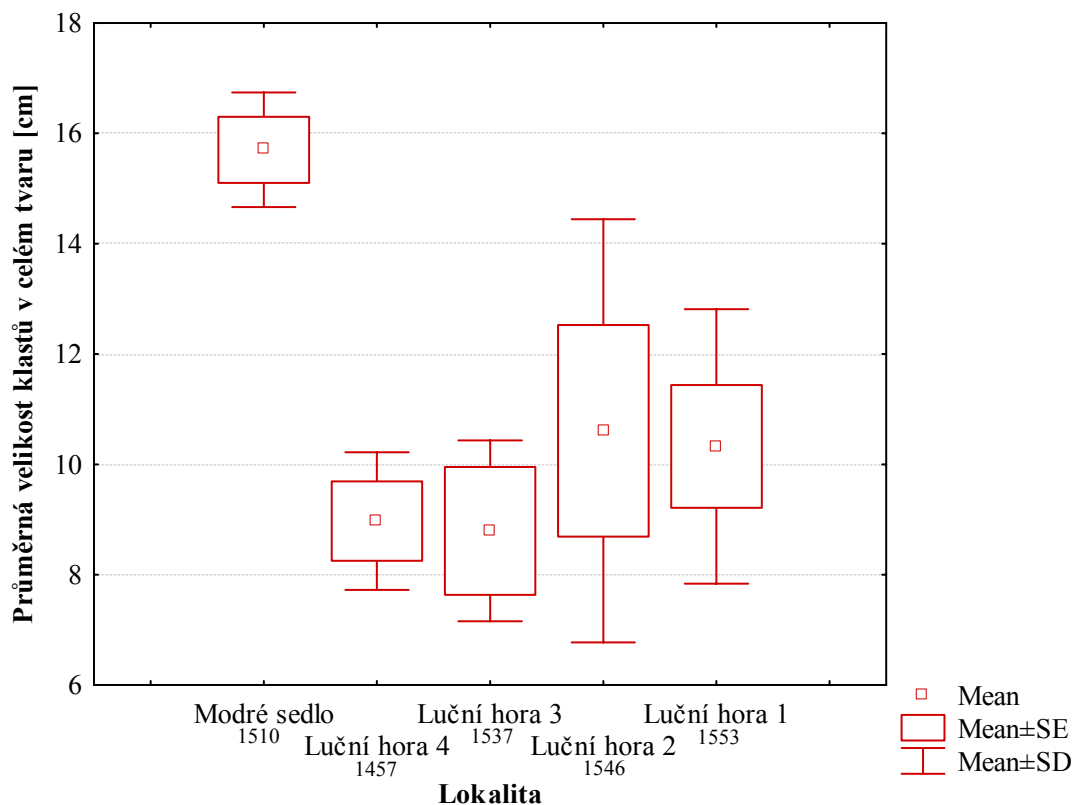
Obr. 24: Klasifikace lokalit na základě vybraných morfologických charakteristik.

5. 2. VYTRÍDĚNÍ

V této části budou uvedeny poznatky týkající se velikostí klastů jak v rámci jednotlivých tvarů, tak v rámci jednotlivých lokalit. Rovněž bude zhodnocena přítomnost a kvalita mrazového vytřídění uvnitř jednotlivých tvarů, odlišnosti mezi lokalitami a její závislost na extremitě mikroklimatických podmínek. Na závěr bude provedena klasifikace lokalit na základě podobností ve velikostech klastů a kvalitě vytřídění.

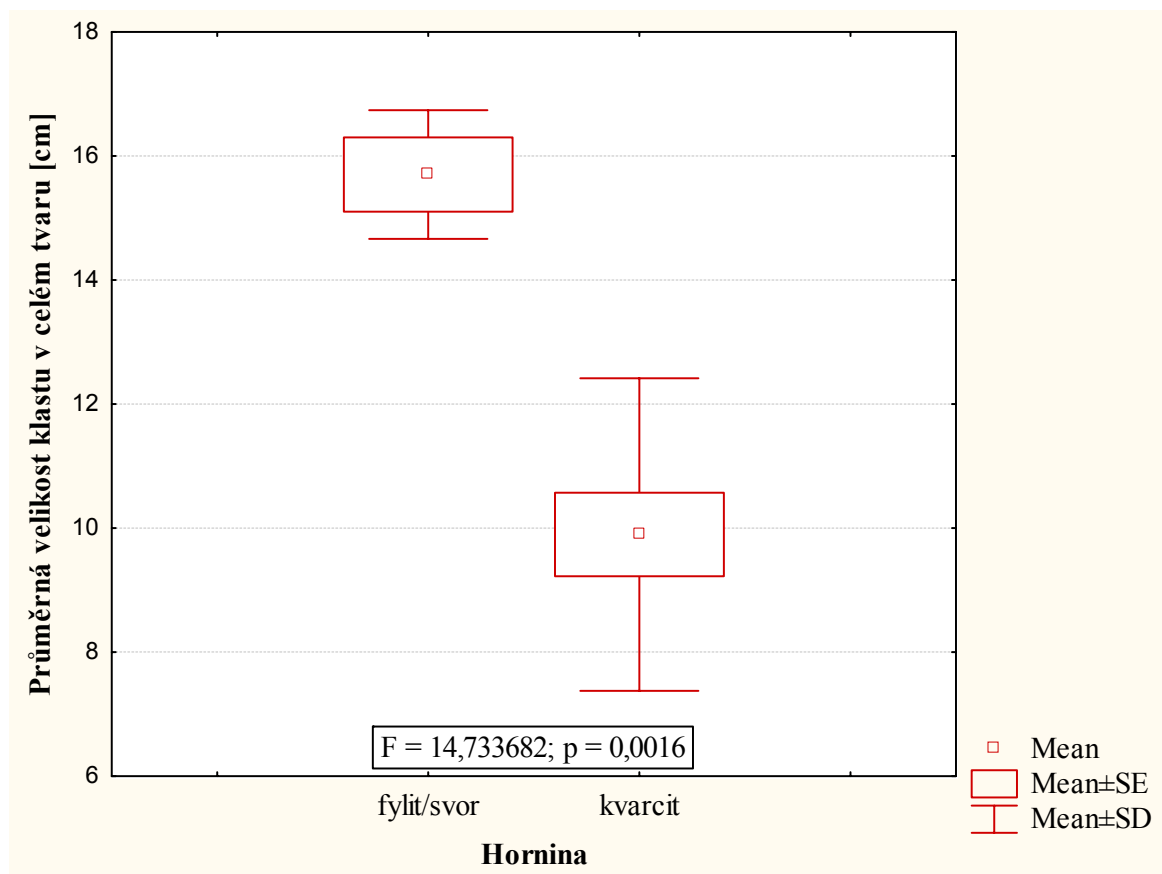
5. 2. 1. Průměrná velikost klastů v celém tvaru

Průměrná velikost klastů v celém tvaru byla vypočtena jako průměr velikostí klastů nacházejících se při okraji, v jedné třetině a ve dvou třetinách. Středová část nebyla do výpočtu zahrnuta, protože na lokalitách Luční hora 4 a Modré sedlo nebylo možné kvůli pokrytí vegetací klasty v centrální části tvarů měřit. Na lokalitách Luční hora 3 a Luční hora 2 jsou ze středu tvaru dostupné údaje pro dva, resp. jeden tvar. Naopak z vrcholu Luční hory, tedy z lokality Luční hora 1 je měření kompletní. Abychom mohli porovnávat všechny lokality, nejsou měření z centrální části tvarů do výpočtu průměrné velikosti klastu zahrnuta. Z porovnání průměrné velikosti klastů mezi jednotlivými lokalitami vyplývá, že Modré sedlo se výrazně odlišuje od lokalit na Luční hoře, které si jsou naopak velmi podobné (neexistují statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými lokalitami na Luční hoře), což znamená, že průměrnou velikost klastů v celém tvaru můžeme na Luční hoře považovat na všech lokalitách za stejnou (obr. 25).



Obr. 25: Porovnání průměrné velikosti klastů v celém tvaru mezi jednotlivými lokalitami.

Rozdíl v průměrné velikosti klastů v rámci celých tvarů mezi lokalitami na Luční hoře a Modrým sedlem je nejspíše dán rozdílnou litologií obou oblastí. Zatímco lokality na Luční hoře se nacházejí na kvarcitech, lokalita Modré sedlo je tvořena fylity a svory. Porovnání průměrné velikosti klastů v závislosti na geologickém podloží ukazuje obrázek 26. Vyplývá z něho, že rozdíl je na dané hladině významnosti průkazný, což znamená, že geologický substrát má na průměrnou velikost klastů v celém tvaru značný vliv.



Obr. 26: Porovnání průměrné velikosti klastů v celém tvaru podle geologického podloží.

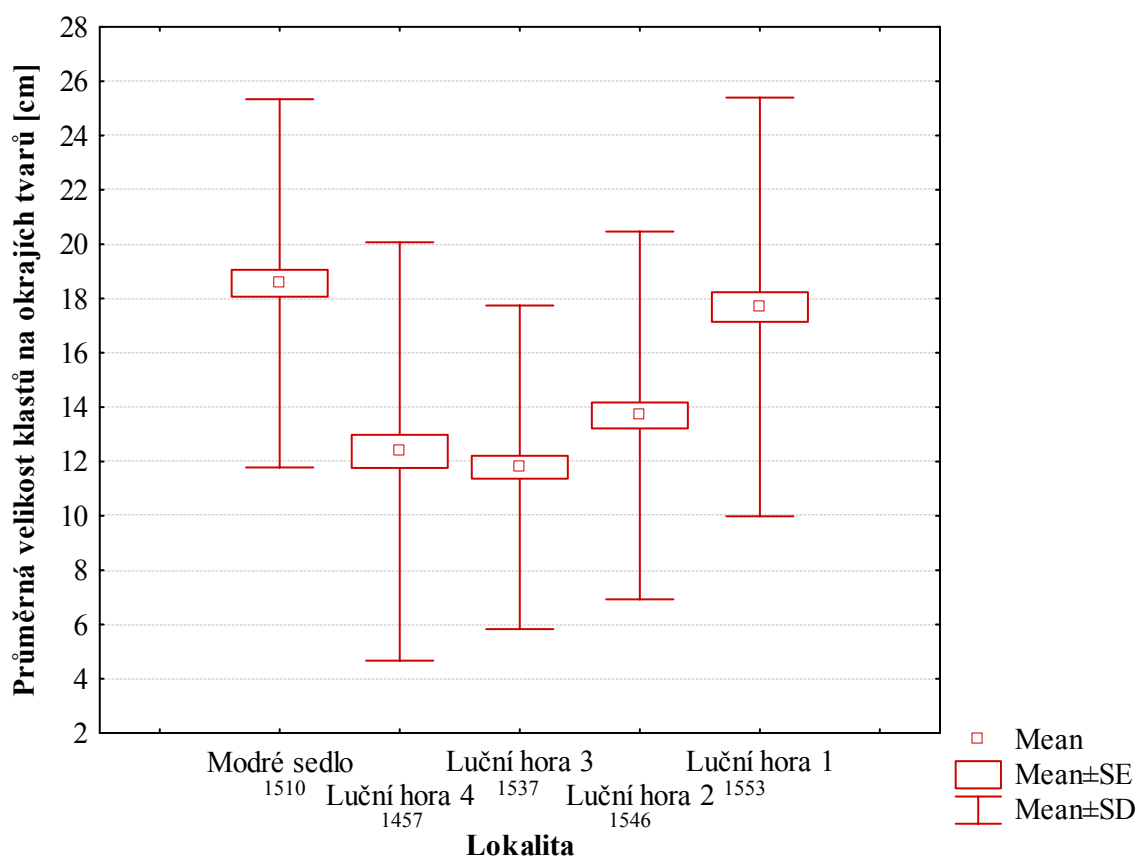
5. 2. 2. Velikosti klastů v jednotlivých částech tvarů

V následující části jsou prezentovány poznatky, týkající se průměrných velikostí klastů v jednotlivých částech tvarů, tedy na okraji, v jedné třetině od okraje a ve dvou třetinách od okraje, u lokalit Luční hora 1, Luční hora 2 a Luční hora 3 i ve středové části, na zbylých dvou lokalitách nebylo možné středové klasty měřit. Každá část tvaru je hodnocena zvlášť a jsou prezentovány rozdíly mezi jednotlivými lokalitami.

5. 2. 2. 1. Průměrná velikost klastů na okrajích tvarů

Porovnáme-li jednotlivé lokality z hlediska průměrné velikosti klastů, nacházejících se na okraji tvarů (obr. 27), zjistíme, že se od ostatních výrazně odlišují dvě lokality – Luční hora 1 a Modré sedlo, na nichž je průměrná velikost klastů na okraji tvarů velice podobná (rozdíly vůči ostatním lokalitám jsou statisticky významné). Tyto lokality se naopak vzájemně odlišují velice málo ($p=0,2373$). Rozdíl mezi Luční horou 1 a Modrým sedlem je však zřejmý

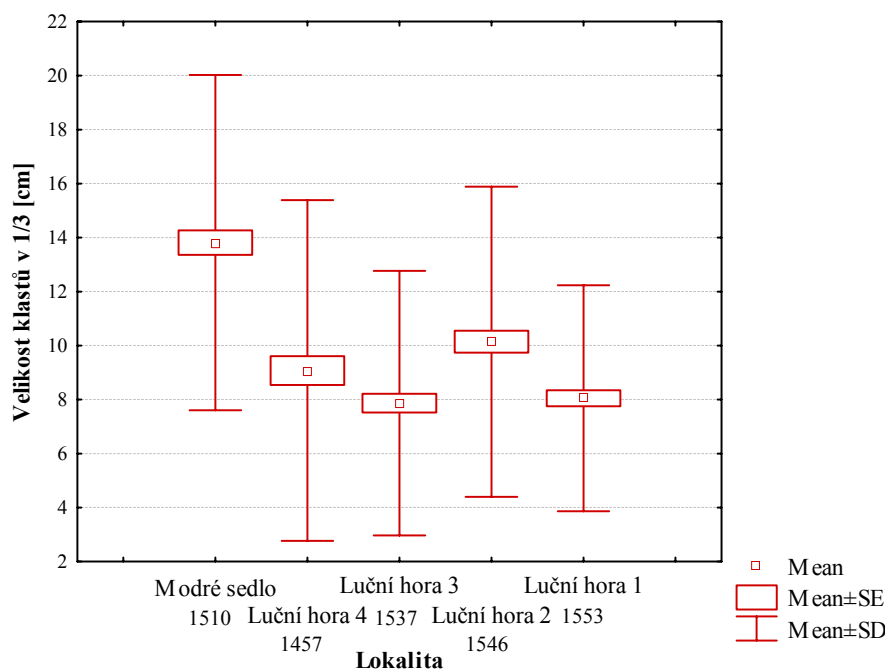
ve směrodatné odchylce velikostí klastů na okraji tvaru, která je na Modrém sedle menší, což je zřejmě způsobeno tím, že zatímco na Modrém sedle je vysoká průměrná velikost okrajových klastů způsobena vysokou průměrnou velikostí klastů v celém tvaru (danou odlišným geologickým substrátem), u Luční hory 1 je to způsobeno spíše výrazným odsunutím hrubšího skeletu k okrajům tvaru, které je na lokalitě Luční hora 1 mnohem výraznější než je tomu na ostatních lokalitách na Luční hoře. Protože se Modré sedlo a Luční hora 1 v průměrné velikosti okrajových klastů neliší, avšak průměrná velikost klastů v celém tvaru je na Luční hoře 1 výrazně nižší než na Modrém sedle, vykazují velikosti okrajových klastů na Luční hoře 1 vyšší variabilitu. U ostatních lokalit, tedy u Luční hory 2, Luční hory 3 a Luční hory 4, je průměrná velikost klastů na okraji podstatně menší. V rámci těchto tří lokalit se odlišuje Luční hora 2 od Luční hory 3 ($p=0,0029$), od Luční hory 4 nikoli ($p=0,0839$). Mezi lokalitami Luční hora 3 a Luční hora 4 není rozdíl rovněž významný ($p=0,4175$). Luční hora 3 se vyznačuje nižší směrodatnou odchylkou velikostí klastů, která zřejmě souvisí s nejnižší průměrnou velikostí klastů této lokality, a to jak na okrajích, tak v rámci celých tvarů.



Obr. 27: Porovnání průměrných velikostí klastů na okraji tvarů mezi jednotlivými lokalitami.

5. 2. 2. 2. Průměrná velikosti klastů v jedné třetině od okraje

V případě průměrných velikostí klastů nacházejících se v jedné třetině od okraje se opět výrazně odlišuje lokalita Modré sedlo, kde jsou vlivem odlišného geologického substrátu velikosti klastů mnohem větší než na ostatních lokalitách. Rozdíl je na dané 5% hladině významnosti signifikantní, porovnáme-li tuto lokalitu s jakoukoli jinou. Naopak u lokality Luční hora 1 došlo k posunu, nyní se více podobá ostatním lokalitám na Luční hoře (obr. 28). Zatímco v případě velikostí klastů na okraji má tato lokalita (Luční hora 1) nejvyšší střední hodnotu, v případě velikostí klastů v jedné třetině od okraje dosahuje druhé nejnížší hodnoty, přičemž se velmi přibližuje lokalitě Luční hora 3. Průměrná hodnota velikosti klastů v jedné třetině od okraje na lokalitě Luční hora 3 dosahuje nejnížší hodnoty, což svědčí o vysoké vytříbenosti tvarů na této lokalitě, která je rovněž dokumentována nejnížší směrodatnou odchylkou ze všech lokalit. Co se týká rozdílů v průměrné velikosti klastů v jedné třetině od okraje mezi lokalitami na Luční hoře, existuje statisticky významný rozdíl mezi lokalitou Luční hora 2 a Luční hora 1 ($p=0,00004$) a Luční hora 2 a Luční hora 3 ($p=0,00003$), naopak mezi Luční horou 2 a Luční horou 4 je neprůkazný ($p=0,1059$). Významný je rovněž mezi lokalitou Luční hora 3 a Luční hora 4 ($p=0,0482$), mezi Luční horou 1 a Luční horou 4 nikoli ($p=0,0723$).

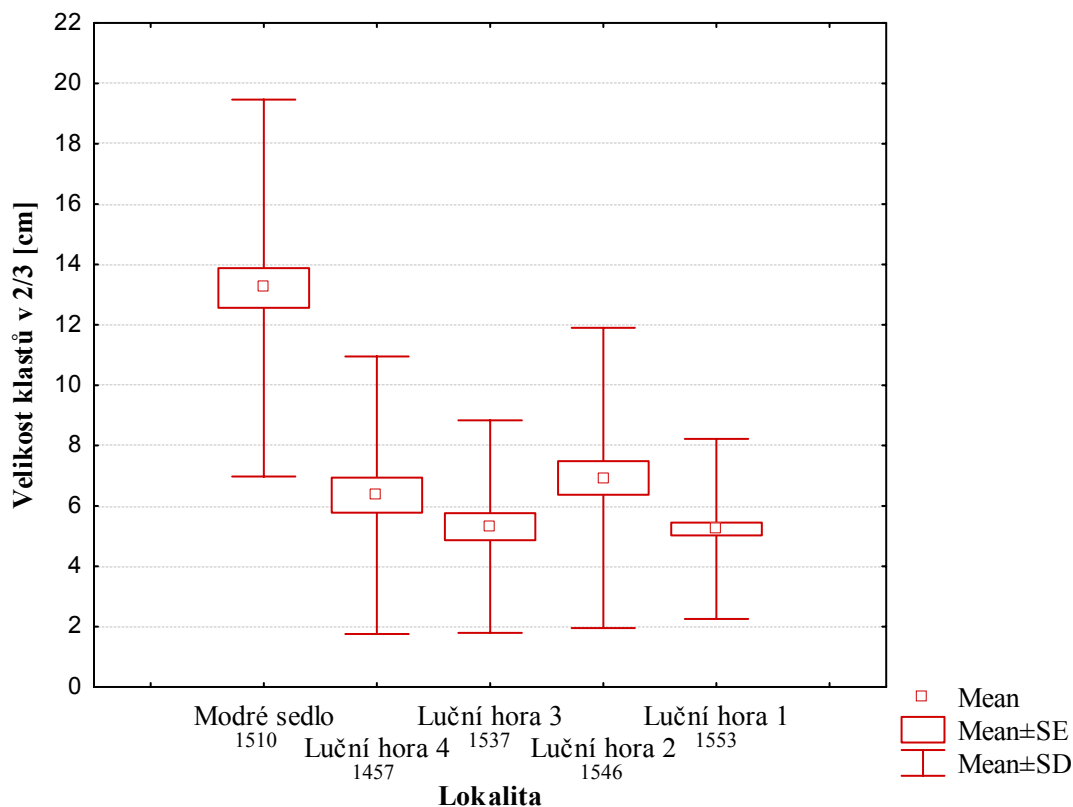


Obr. 28: Porovnání průměrných velikostí klastů v jedné třetině od okraje mezi jednotlivými lokalitami.

5. 2. 2. 3. Průměrná velikosti klastů ve dvou třetinách od okraje

Porovnáme-li průměrné velikosti klastů ve dvou třetinách vzdálenosti od okraje mezi jednotlivými lokalitami (obr. 29), dostaneme velice podobný obrázek jako při porovnání průměrné velikosti klastů v jedné třetině od okraje (obr. 28). To znamená, že od všech ostatních lokalit se výrazně odlišuje lokalita Modré sedlo (v tomto případě však ještě výrazněji), kde průměrná velikost klastů ve dvou třetinách dosahuje mnohem vyšší hodnoty, než u ostatních lokalit. Mezi jednotlivými lokalitami na Luční hoře došlo k mírné změně rozdílů. Významně se odlišuje Luční hora 2 od lokalit Luční hora 1 a Luční hora 3 ($p=0,0006$, resp. $p=0,032$), naopak rozdíl oproti Luční hoře 4 není signifikantní ($p=0,4837$, obr. 29). K významné změně však došlo mezi Luční horou 1 a Luční horou 4. Zatímco v případě průměrné velikosti klastů v jedné třetině od okraje je rozdíl mezi těmito dvěma lokalitami na 5% hladině významnosti signifikantní nebyl, nyní, v případě průměrné velikosti klastů ve dvou třetinách, významný je ($p=0,025$). Mezi lokalitami Luční hora 1 a Luční hora 3 došlo k mírné změně, neboť v tomto případě se nejmenší klasty nacházejí na Luční hoře 1. Stále však platí, že obě lokality jsou si velmi podobné (obr. 29).

Oproti klastům v jedné třetině od okraje tvaru lze u klastů ve dvou třetinách od okraje pozorovat snížení směrodatné odchylky na všech lokalitách. Nejnížší variabilitou velikostí klastů se vyznačuje lokalita Luční hora 1, což indikuje, že zdejší tvary jsou lépe vytříbeny než tvary na lokalitách ostatních. Luční hora 3 má směrodatnou odchylku vyšší než Luční hora 1, Luční hora 4 vyšší než Luční hora 3. Odlišnost Luční hory 2 od obecného trendu je patrná nejen pro směrodatnou odchylku, ale i pro průměrnou velikost klastů, a to jak ve dvou třetinách od okraje, tak v jedné třetině od okraje. Na této lokalitě se tedy zřejmě uplatňují další specifické faktory, které znesnadňovaly či znemožňovaly třídění, které budou naznačeny diskusí. Zcela zvláštní kategorii představuje lokalita Modré sedlo, na niž je směrodatná odchylka oproti lokalitám na Luční hoře výrazně vyšší (obr. 29).

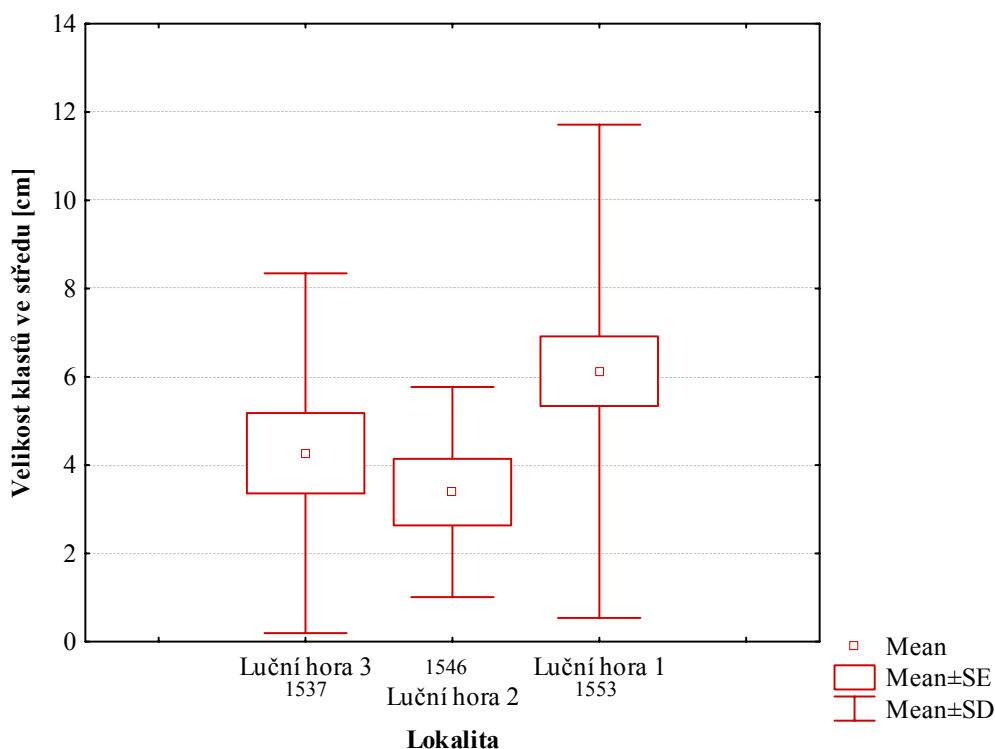


Obr. 29: Porovnání průměrných velikostí klastů ve dvou třetinách od okraje mezi jednotlivými lokalitami.

5. 2. 2. 4. Průměrná velikosti klastů ve středu

Z hlediska průměrných velikostí klastů, vyskytujících se ve středové části tvarů nebylo možné vzájemně porovnávat všechny lokality, neboť vlivem zarostlých center tvarů často nebylo možné velikosti klastů měřit. Jedná se o lokality Luční hora 4 a Modré sedlo, tedy dvě nejnižše položené. Posuzovány proto mohly být pouze tři lokality – Luční hora 1, Luční hora 2 a Luční hora 3. Nicméně pouze v rámci jedné z těchto lokalit (Luční hora 1) jsou měření kompletní. U zbylých dvou lokalit bylo možné měřit velikosti středových klastů pouze u jednoho (Luční hora 2), resp. dvou tvarů (Luční hora 3). Pro lokalitu Luční hora 1 byl tedy průměr vypočítán z 50 hodnot, pro Luční horu 2 z 10 a pro Luční horu 3 z 20 hodnot. Výsledek je proto v tomto případě nutné brát spíše jako orientační, na což poukazují i směrodatné odchylky na obrázku 30, který znázorňuje průměrné velikosti klastů ve středech tvarů. Je patrné, že čím více měření bylo na dané lokalitě provedeno, tím větší vykazuje tato lokalita směrodatnou odchylku, z čehož lze usuzovat, že kdyby bylo např. na lokalitě Luční hora 2 možné provést měření na více tvarech, průměrná velikost klastů i směrodatných

odchylka jejich velikostí by se zřejmě změnila. Nicméně z obrázku 30 je patrné, že největší průměrné velikosti klastů ve středu jsou na lokalitě Luční hora 1, rozdíl však není na 5% hladině významnosti průkazný.



Obr. 30: Porovnání průměrných velikostí klastů ve středu tvarů mezi jednotlivými lokalitami.

5. 2. 3. Analýza vyřídění jednotlivých tvarů

Z výše uvedených výsledků lze dospět k závěru, že všechny studované lokality mají negativní gradaci průměrné velikosti klastů směrem od okrajů tvarů k jejich středu, tedy postupné snižování jejich velikosti od okrajů ke středu (obr. 27, 28, 29). Přesto byla ještě provedena analýza týkající vyřídění v rámci jednotlivých tvarů, jejíž výsledky znázorňuje tabulka 5. Vidíme, že u většiny hodnocených tvarů existuje negativní gradace ve směru okraj – střed. Pouze u třech tvarů (tvary 27 a 29 na lokalitě Luční hora 1 a tvar 22 na lokalitě Luční hora 2) je tato gradace porušena. U tvarů 27 a 29 na Luční hoře 1 je průměrná velikost klastů ve dvou třetinách menší, než v jejich středové části, přičemž u tvaru 27 je rozdíl poměrně malý (0,64 cm), v případě tvaru 29 je však rozdíl značný (8,49 cm). Toto se promítá i do průměru za celou lokalitu. U tvaru 22 na lokalitě Luční hora 2 jde o porušení negativní gradace velikostí klastů od okraje do středu polygonu mezi částí tvaru nacházející se v jedné třetině od okraje a dvěma třetinami od okraje. Zde je však rozdíl nepatrný, činí 0,08 cm.

Přihlédneme-li k přesnosti měření velikosti klastů, pak lze hovořit o shodných hodnotách v rámci těchto dvou částí u tvaru 22. Problematika je blíže probrána v diskusi (kap. 6. 2.).

Tab. 5: Analýza vytřídění v rámci jednotlivých tvarů (\emptyset – průměr lokality, tučnou kurzívou – porušení gradace). Pozn.: Průměr za jednotlivé části byl vypočítán ze všech klastů v jednotlivých částech tvarů na dané lokalitě, tzn. nikoli z průměrných hodnot pro jednotlivé tvary, uvedených v tabulce.

| Lokalita | Tvar | Průměrná velikost klastů [cm] | | | | Lokalita | Tvar | Průměrná velikost klastů [cm] | | | |
|--------------|-------------|-------------------------------|-------|-------|--------------|--------------|-------------|-------------------------------|-------|--------------|-------|
| | | Okraj | 1/3 | 2/3 | Střed | | | Okraj | 1/3 | 2/3 | Střed |
| Luční hora 1 | 24 | 19,30 | 9,19 | 5,95 | 2,91 | Luční hora 2 | 18 | 11,58 | 9,21 | 4,64 | |
| | 25 | 13,40 | 5,93 | 3,42 | 2,48 | | 19 | 9,01 | 5,23 | 4,90 | 3,39 |
| | 27 | 19,42 | 12,39 | 8,35 | 8,99 | | 20 | 12,84 | 10,93 | | |
| | 29 | 20,19 | 8,23 | 5,31 | 13,80 | | 21 | 18,05 | 11,94 | 8,85 | |
| | 32 | 16,13 | 4,51 | 3,17 | 2,45 | | 22 | 17,00 | 13,41 | 13,49 | |
| | \emptyset | 17,69 | 8,05 | 5,24 | 6,13 | | \emptyset | 13,69 | 10,14 | 6,99 | 3,39 |
| Luční hora 3 | 11 | 11,08 | 7,12 | | | Luční hora 4 | 7 | 10,83 | 6,96 | 5,04 | |
| | 12 | 14,04 | 10,00 | 5,82 | 4,49 | | 8 | 12,62 | 10,17 | | |
| | 13 | 10,30 | 6,06 | | | | 9 | 12,72 | 8,55 | 6,47 | |
| | 14 | 12,97 | 8,41 | | | | 10 | 13,31 | 10,78 | 6,09 | |
| | 17 | 10,54 | 7,76 | 4,61 | 4,05 | | 33 | 12,14 | 8,80 | | |
| | \emptyset | 11,79 | 7,87 | 5,31 | 4,27 | | \emptyset | 12,37 | 9,08 | 6,36 | |
| Modré sedlo | 1 | 17,92 | 14,56 | 14,07 | | | | | | | |
| | 2 | 19,00 | 12,34 | | | | | | | | |
| | 3 | 20,22 | 15,91 | 14,33 | | | | | | | |
| | 4 | 14,49 | 12,00 | | | | | | | | |
| | 5 | 20,06 | 14,40 | 9,86 | | | | | | | |
| | \emptyset | 18,56 | 13,83 | 13,22 | | | | | | | |

5. 2. 4. Kvalita vytřídění – indexy vytřídění

Tato část se zabývá porovnáním jednotlivých lokalit podle různých indexů vytřídění, resp. podle kvality vytřídění tvarů na těchto lokalitách. Pro jednotlivé analýzy byl vždy využit maximální možný počet tvarů s výjimkou tvarů 22 a 32, které byly z analýz vyloučeny z důvodu jejich odlehlosti z hlediska vytřídění od průměrů lokalit, na nichž se nacházejí (tab. 6). U každého indexu vytřídění je vždy uvedena závislost na extremitě mikroklimatických podmínek (reprezentovaných nadmořskou výškou), která byla analyzována pouze v rámci

transektu na Luční hoře (tedy v rámci lokalit Luční hora 1, Luční hora 2, Luční hora 3 a Luční hora 4). Provedeny byly vždy dvě analýzy závislosti indexů vytřídění na nadmořské výšce – první pro všechny lokality na Luční hoře, druhá bez lokality Luční hora 1. Toto bylo učiněno z důvodu výrazně vyšších hodnot indexů vytřídění Luční hory 1.

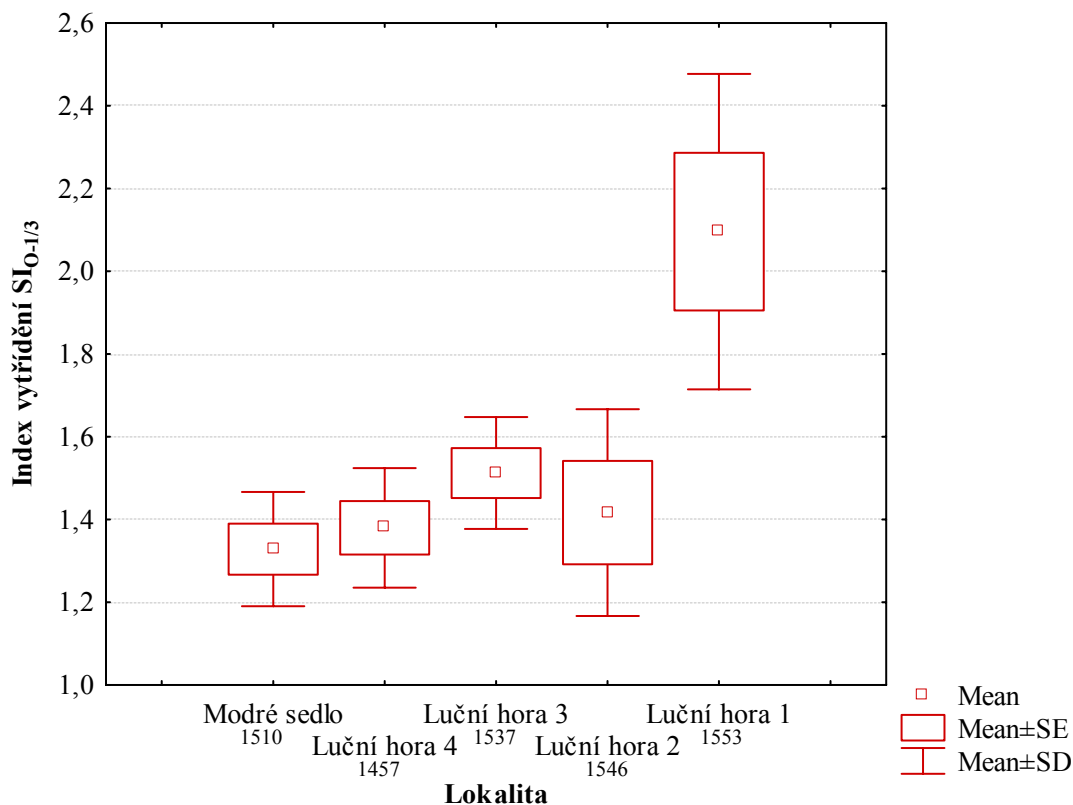
Tab. 6: Porovnání odlehlosti tvarů 22 (Luční hora 2) a 32 (Luční hora 1) od průměrných hodnot lokalit, na kterých se nacházejí, z hlediska jejich vytřídění (ASI – absolutní index vytřídění).

| Lokalita | Průměr ASI bez odlehlého tvaru | Směrodatná odchylka ASI | ASI tvaru | Poměr ASI tvaru a průměru ASI lokality |
|--------------|--------------------------------|-------------------------|-----------|--|
| Luční hora 1 | 4,196 | 1,230 | 8,948 | 2,133 |
| Luční hora 2 | 2,251 | 0,042 | 1,374 | 0,611 |

5. 2. 4. 1. Index vytřídění $SI_{O-1/3}$

Index vytřídění $SI_{O-1/3}$ znázorňuje obrázek 31. Je z něho patrné, že lokalita Luční hora 1 se v tomto ukazateli od ostatních lokalit výrazně odlišuje. Mezi těmi naopak nebyl nalezen statisticky významný rozdíl (tab. 7). V případě lokalit Luční hora 3 a Modré sedlo se však pohybuje na hranici významnosti (tab. 7). Velký rozdíl mezi Luční horou 1 a ostatními lokalitami říká, že polygony, nacházející se na této lokalitě, jsou oproti lokalitám ostatním mnohem lépe vytříděny, neboť na této lokalitě je mezi průměrnou velikostí klastů na okraji a v jedné třetině nejvýraznější rozdíl, protože zde došlo k dokonalejšímu odsunutí hrubozrnější složky až k okrajům tvarů, zatímco u ostatních lokalit takového stupně vytřídění dosaženo nebylo. Lokalita Luční hora 1 se rovněž vyznačuje vysokou variabilitou hodnot, která zřejmě souvisí s velkou rozkolísaností některých morfometrických a morfologických charakteristik na této lokalitě (sklon delší osy a sklon svahu odvozený z DMR, index vyklenutí).

Z hlediska závislosti $SI_{O-1/3}$ na mikroklimatických podmínkách vyjádřených nadmořskou výškou platí pro celý transekt neprůkazná pozitivní závislost ($r=0,43$) tohoto indexu na nadmořské výšce, při vypuštění lokality Luční hora 1 je korelační koeficient mnohem menší ($r=0,24$).



Obr. 31: Porovnání indexů vyřídění $SI_{O-1/3}$ mezi jednotlivými lokalitami.

Tab. 7: Rozdíly v indexu vyřídění $SI_{O-1/3}$ mezi jednotlivými lokalitami (tučnou kurzívou – významný rozdíl mezi lokalitami).

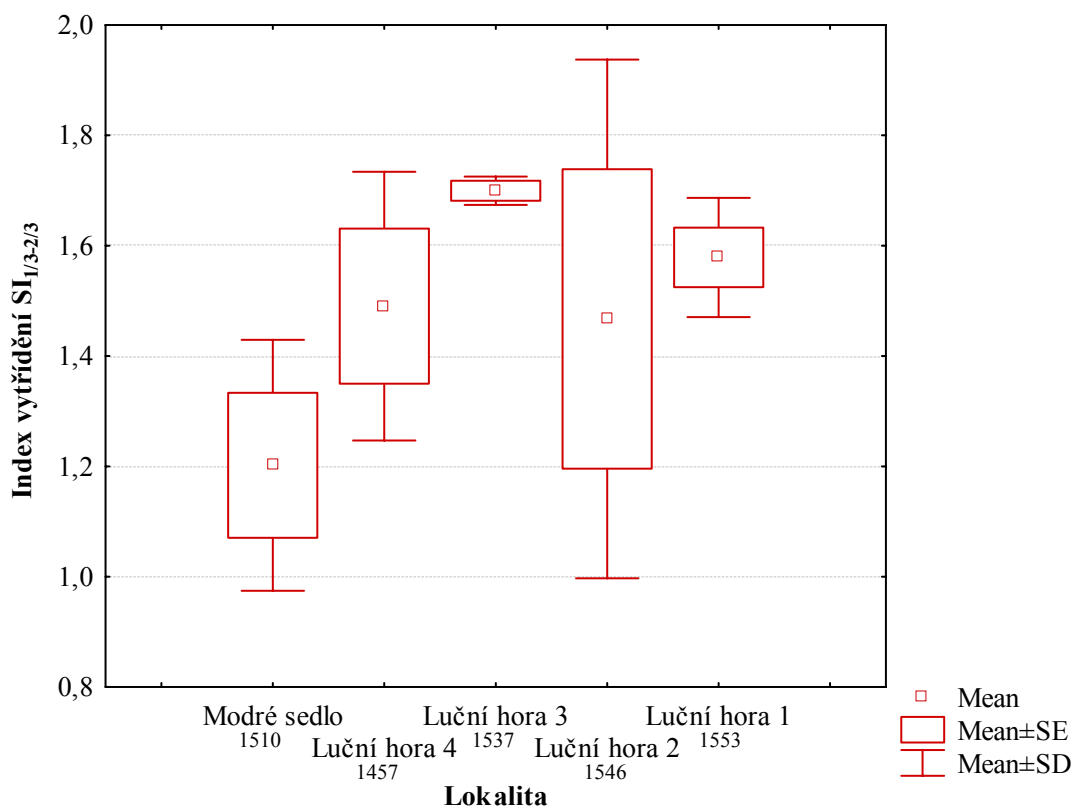
| p = hladina spolehlivosti (p<0,05) | Index vyřídění $SI_{O-1/3}$ | | | | |
|---------------------------------------|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | Luční hora 1 | Luční hora 2 | Luční hora 3 | Luční hora 4 | Modré sedlo |
| Luční hora 1 | 1,0000 | 0,0247 | 0,0146 | 0,0058 | 0,0039 |
| Luční hora 2 | 0,0247 | 1,0000 | 0,4836 | 0,7887 | 0,5199 |
| Luční hora 3 | 0,0146 | 0,4836 | 1,0000 | 0,1727 | 0,0660 |
| Luční hora 4 | 0,0058 | 0,7887 | 0,1727 | 1,0000 | 0,5806 |
| Modré sedlo | 0,0039 | 0,5199 | 0,0660 | 0,5806 | 1,0000 |

5. 2. 4. 2. Index vyřídění $SI_{1/3-2/3}$

Zatímco v případě $SI_{O-1/3}$ jsou hodnoty rozděleny tak, že výrazně vyčnívá lokalita Luční hora 1 a ostatní lokality jsou si spíše podobné, v případě indexu vyřídění $SI_{1/3-2/3}$ jsou hodnoty mnohem více rozkolísané. Nejvyšší hodnoty $SI_{1/3-2/3}$ dosahuje lokalita Luční hora 3 (obr. 32). Luční hora 1 se v tomto ukazateli přibližuje Luční hoře 4. Důvodem je fakt, že na

lokalitě Luční hora 1 se oproti Luční hoře 4 na okrajích polygonů nacházejí výrazně větší klasty a následuje velký velikostní skok, kdy se v ostatních částech polygonů nacházejí výrazně jemnozrnější částice a negativní gradace jejich průměrné velikosti z jedné třetiny od okraje směrem do středu tvaru již není tak výrazná, neboť většina hrubozrného materiálu v rámci polygonů na této lokalitě je na okraji. Naopak na Luční hoře 4 jsou rozdíly mezi jednotlivými částmi malé v rámci celých tvarů. Na lokalitě Luční hora 3 jsou vysoké hodnoty, protože hrubozrnější částice zde nebyly k okraji odsunuty tak výrazně. Pro toto tvrzení hovoří i srovnání s $SI_{O-1/3}$, v jehož rámci dosahuje Luční hora 3 nižší hodnoty než v případě $SI_{1/3-2/3}$, neboť průměrné velikosti klastů na okraji a v jedné třetině dosahují na této lokalitě menších rozdílů. Lokalita Modré sedlo v $SI_{1/3-2/3}$ dosahuje podobné hodnoty jako v případě $SI_{O-1/3}$, což ukazuje na vysokou homogenitu materiálu v rámci celého tvaru. Zvláštní postavení má lokalita Luční hora 2, která v tomto ukazateli dosahuje v rámci transektu na Luční hoře nejnižší hodnotu. V tomto případě však toto není možné přisuzovat dobré vytříděnosti, neboť v ukazateli $SI_{O-1/3}$ tato lokalita dosahuje podobné hodnoty. Luční hora 2 se jeví jako zcela autonomní lokalita, která nerespektuje existující gradienty v rámci transektu na Luční hoře mezi ostatními lokalitami a to jak v případě velikostí klastů, tak v mnoha morfologických charakteristikách.

Ačkoli jsou odlišnosti v $SI_{1/3-2/3}$ mezi jednotlivými lokalitami z obrázku 32 patrné, na 5% hladině významnosti nebyl mezi žádnou dvojicí lokalit nalezen významný rozdíl. Rovněž závislost indexu vytřídění $SI_{1/3-2/3}$ na mikroklimatických podmínkách reprezentovaných nadmořskou výškou v rámci transektu na Luční hoře je prakticky nulová ($r=0,13$, resp. $r=0,09$ pro transekt bez Luční hory 1), což souvisí s výše popsány důvody.



Obr. 32: Porovnání indexů vyřídění $SI_{1/3-2/3}$ mezi jednotlivými lokalitami.

Tab. 8: Rozdíly v indexu vyřídění $SI_{1/3-2/3}$ mezi jednotlivými lokalitami (tučnou kurzívou – významný rozdíl mezi lokalitami).

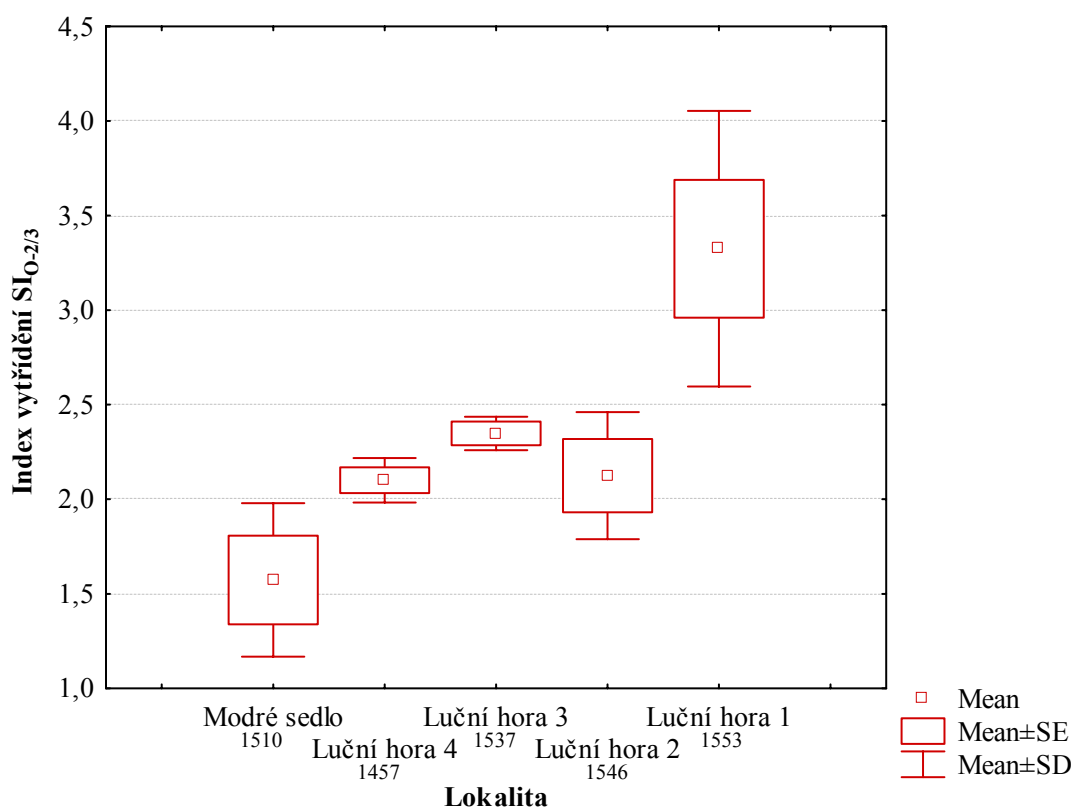
| p = hladina spolehlivosti (p<0,05) | Index vyřídění $SI_{1/3-2/3}$ | | | | |
|---------------------------------------|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | Luční hora 1 | Luční hora 2 | Luční hora 3 | Luční hora 4 | Modré sedlo |
| Luční hora 1 | 1,0000 | 0,6567 | 0,2130 | 0,5393 | 0,3140 |
| Luční hora 2 | 0,6567 | 1,0000 | 0,5549 | 0,9431 | 0,4285 |
| Luční hora 3 | 0,2130 | 0,5549 | 1,0000 | 0,3338 | 0,0612 |
| Luční hora 4 | 0,5393 | 0,9431 | 0,3338 | 1,0000 | 0,2080 |
| Modré sedlo | 0,3140 | 0,4285 | 0,0612 | 0,2080 | 1,0000 |

5. 2. 4. 3. Index vyřídění $SI_{0-2/3}$

Index vyřídění $SI_{0-2/3}$ jednotlivých lokalit (obr. 33) vykazuje podobné rozložení hodnot jako index vyřídění $SI_{0-1/3}$ (obr. 31), pouze s tím rozdílem, že v případě obrázku 33 jsou rozdíly mezi jednotlivými lokalitami výraznější. Luční hora 1 se opět nejvíce odlišuje od ostatních lokalit, přičemž rozdíl je neprůkazný pouze vůči lokalitě Luční hora 3 (p=0,149).

Vzájemné rozdíly mezi zbylými lokalitami nebyly na dané hladině významnosti shledány jako průkazné (tab. 9). Luční hora 1 vyčnívá takto výrazně, protože na této lokalitě jsou průměrné velikosti klastů na okraji vysoké (rovnají se velikostem na Modrém sedle), zatímco ve dvou třetinách od okraje jsou nejnižší v rámci všech lokalit. Nízký index $SI_{O-2/3}$ pro Modré sedlo si je možné vysvětlit tak, že tvary na této lokalitě jsou hůře vytříděny, neboť průměrné velikosti klastů na okraji a ve dvou třetinách od okraje jsou si ze všech lokalit nejvíce podobné. To znamená, že zde došlo k méně výrazné separaci jemnozrné a hrubozrné složky, tj. k horšímu vytřídění.

Co se týká vztahu indexu vytřídění $SI_{O-2/3}$ k mikroklimatickým podmínkám vyjádřených nadmořskou výškou, pro celý transekt platí neprůkazná závislost $r=0,46$, pro transekt bez Luční hory 1 nabývá korelační koeficient hodnoty $r=0,23$.



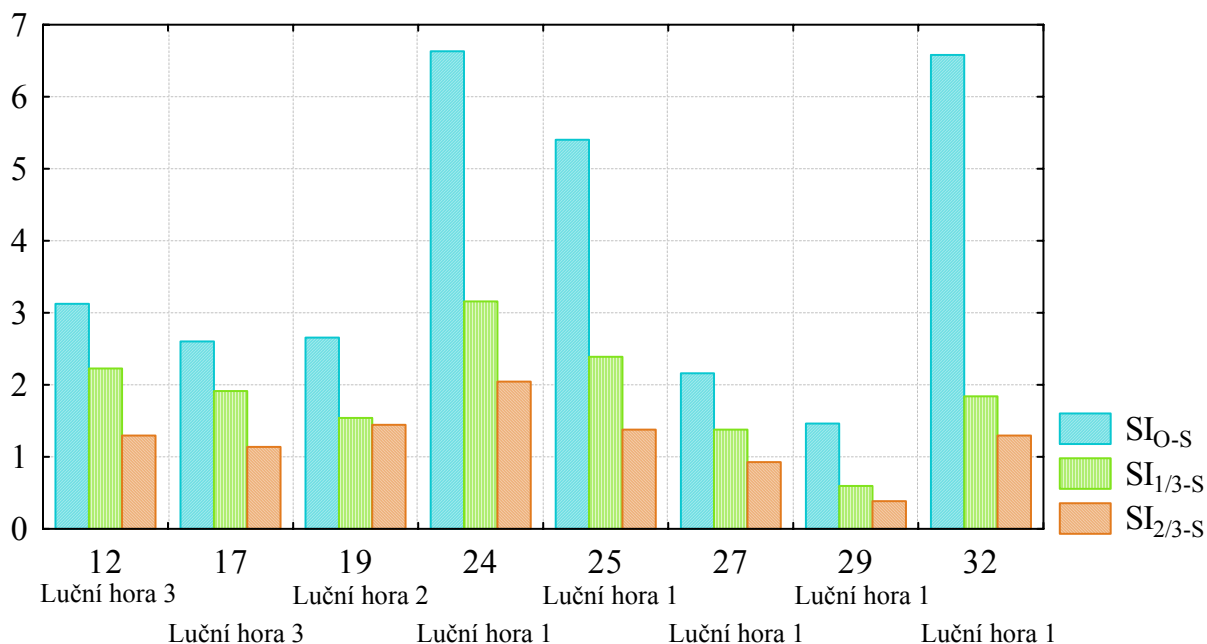
Obr. 33: Porovnání indexů vytřídění $SI_{O-2/3}$ mezi jednotlivými lokalitami.

Tab. 9: Rozdíly v indexu vyřídění $SI_{O-2/3}$ mezi jednotlivými lokalitami (tučnou kurzívou – významný rozdíl mezi lokalitami).

| p = hladina spolehlivosti ($p < 0,05$) | Index vyřídění $SI_{O-2/3}$ | | | | |
|---|-----------------------------|---------------|--------------|---------------|---------------|
| | Luční hora 1 | Luční hora 2 | Luční hora 3 | Luční hora 4 | Modré sedlo |
| Luční hora 1 | 1,0000 | 0,0479 | 0,1490 | 0,0372 | 0,0140 |
| Luční hora 2 | 0,0479 | 1,0000 | 0,4455 | 0,9115 | 0,1440 |
| Luční hora 3 | 0,1490 | 0,4455 | 1,0000 | 0,0882 | 0,0853 |
| Luční hora 4 | 0,0372 | 0,9115 | 0,0882 | 1,0000 | 0,0967 |
| Modré sedlo | 0,0140 | 0,1440 | 0,0853 | 0,0967 | 1,0000 |

5. 2. 4. 4. Index vyřídění SI_{O-S} , $SI_{1/3-S}$, $SI_{2/3-S}$

Zbylé indexy vyřídění, tedy SI_{O-S} , $SI_{1/3-S}$, $SI_{2/3-S}$, bylo možno vypočítat pouze pro omezené množství tvarů, výsledky jsou proto znázorněny pro jednotlivé tvary nikoli pro lokality (obr. 34). Z hodnot indexu vyřídění SI_{O-S} je patrné, že u tvarů vyskytujících se na lokalitě Luční hora 1 je obecně větší rozdíl v průměrné velikosti klastů mezi okrajem a centrální částí tvaru (vyšší hodnoty SI_{O-S}). Avšak v případě tvarů 27 a 29 na této lokalitě jsou hodnoty nízké, což je způsobeno koncentracemi větších klastů v jejich středové části. U lokalit Luční hora 2 a Luční hora 3 jsou hodnoty nižší, lze tedy říci, že zde jsou klasty na okraji obecně menší, zatímco ve středu větší (či podobné) než na Luční hoře 1. Hodnoty indexů vyřídění $SI_{1/3-S}$, $SI_{2/3-S}$, jsou si na všech lokalitách mnohem více podobné, důvodem je fakt, že Luční hora 1 se výrazně odlišuje zejména průměrnou velikostí klastů na okrajích, zatímco v dalších částech jsou si tvary na těchto lokalitách z hlediska velikostí klastů podobnější, proto dosahují i podobných hodnot v rámci těchto dvou indexů. Výjimku opět představují tvary 27 a 29 na lokalitě Luční hora 1, kde jsou průměrné velikosti klastů ve středu vyšší. V případě tvaru 27 jsou klasty ve středu větší jak oproti klastům ve dvou třetinách od okraje, tak oproti klastům v jedné třetině od okraje, v případě tvaru 29 jsou středové klasty větší pouze oproti klastům ve dvou třetinách od okraje. Vztah těchto charakteristik k mikroklimatickým podmínkám vyjádřených nadmořskou výškou hodnocen nebyl, neboť pro danou analýzu je soubor dostupných tvarů velmi úzký.

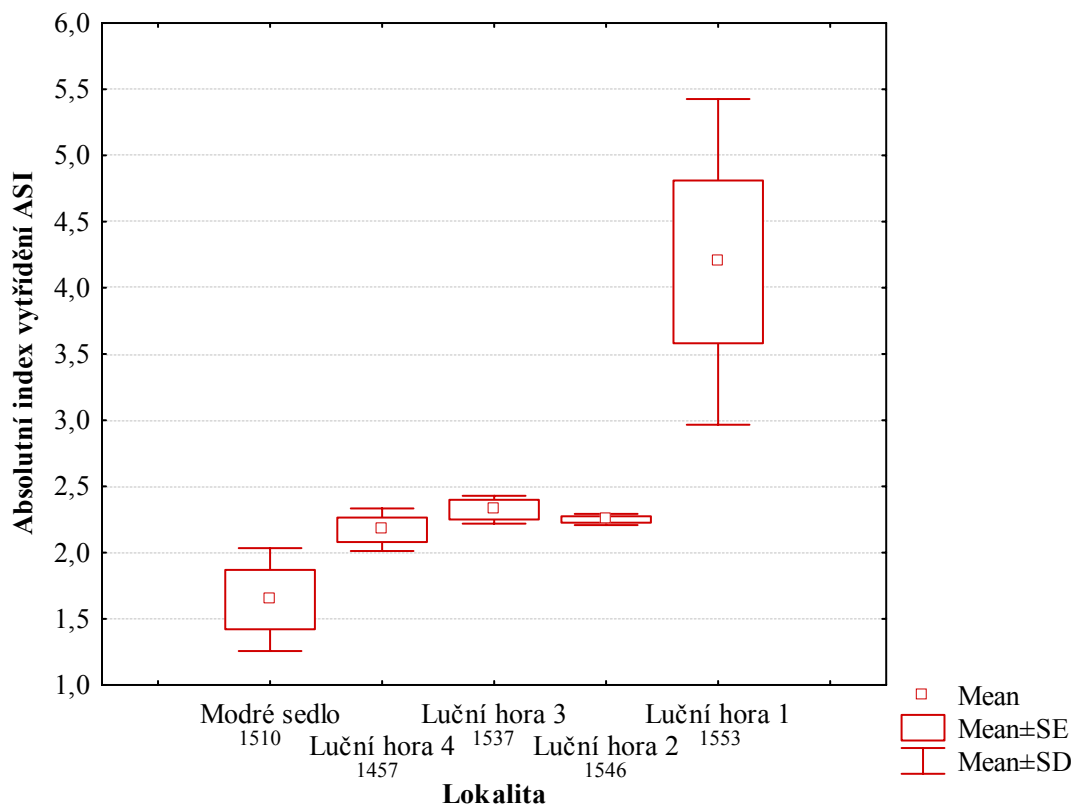


Obr. 34: Indexy vytřídění SI_{O-S} , $SI_{1/3-S}$ a $SI_{2/3-S}$ pro jednotlivé tvary.

5. 2. 4. 5. Absolutní index vytřídění

Absolutní index vytřídění (ASI) charakterizuje tvar z hlediska jeho celkového vytřídění, tedy ne pouze z hlediska kvality vytřídění jeho jednotlivých částí. Obrázek 35 vypovídá o celkové kvalitě vytřídění v rámci studovaných lokalit. Z porovnání jednotlivých lokalit vyplývá, že nejvíce nepodobné z hlediska kvality vytřídění jsou si lokality Luční hora 1 a Modré sedlo, přičemž tento rozdíl je statisticky významný ($p=0,0194$, tab. 10). Rovněž rozdíl mezi Luční horou 1 a lokalitami Luční hora 2 a Luční hora 4 je významný ($p=0,0442$, resp. $p=0,0396$, tab. 10). Z dalších analýz vyplývá, že zbylé lokality se z hlediska vytříděnosti významně neodlišují, pouze v případě Luční hory 3 a Modrého sedla se rozdíl blíží hranici statistické významnosti ($p=0,1048$, tab. 10).

Z hlediska závislosti ASI na nadmořské výšce, resp. na extremitě mikroklimatických podmínek, platí pro celý transekt na Luční hoře neprůkazná závislost $r=0,45$. Vyloučíme-li z výpočtu lokalitu Luční hora 1, pak dosahuje hodnota Pearsonova korelačního koeficientu $r=0,46$, ovšem i tato závislost je neprůkazná. Nicméně určitý trend postupně se zvyšující kvality vytřídění s nadmořskou výškou (mikroklimatickou extremitou) v rámci transektu je zřejmý.



Obr. 35: Porovnání jednotlivých lokalit z hlediska absolutního indexu vytřídění ASI.

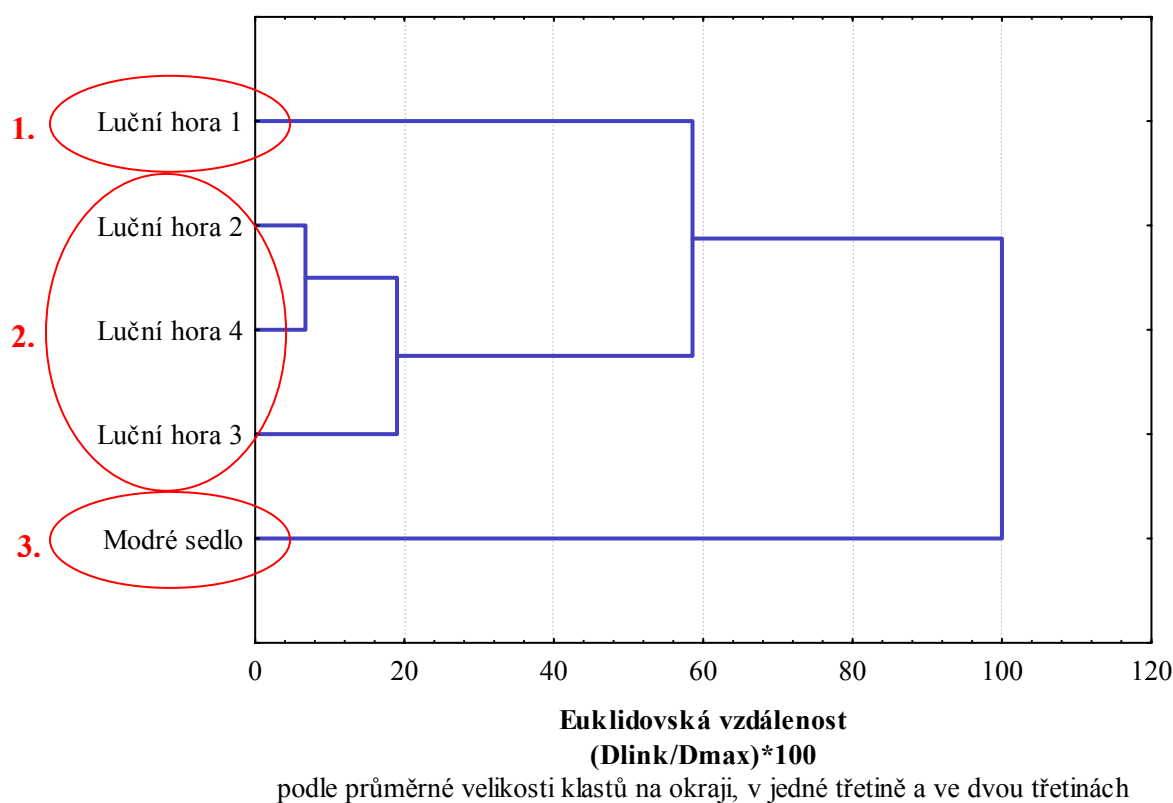
Tab. 10: Rozdíly v absolutním indexu vytřídění (ASI) mezi jednotlivými lokalitami (tučnou kurzívou – významný rozdíl mezi lokalitami).

| p = hladina spolehlivosti (p<0,05) | Absolutní index vytřídění | | | | |
|---------------------------------------|---------------------------|---------------|--------------|---------------|---------------|
| | Luční hora 1 | Luční hora 2 | Luční hora 3 | Luční hora 4 | Modré sedlo |
| Luční hora 1 | 1,0000 | 0,0442 | 0,1127 | 0,0396 | 0,0194 |
| Luční hora 2 | 0,0442 | 1,0000 | 0,3294 | 0,4610 | 0,0552 |
| Luční hora 3 | 0,1127 | 0,3294 | 1,0000 | 0,3328 | 0,1048 |
| Luční hora 4 | 0,0396 | 0,4610 | 0,3328 | 1,0000 | 0,0958 |
| Modré sedlo | 0,0194 | 0,0552 | 0,1048 | 0,0958 | 1,0000 |

5. 2. 5. Klasifikace lokalit podle velikostí klastů a kvality vytřídění

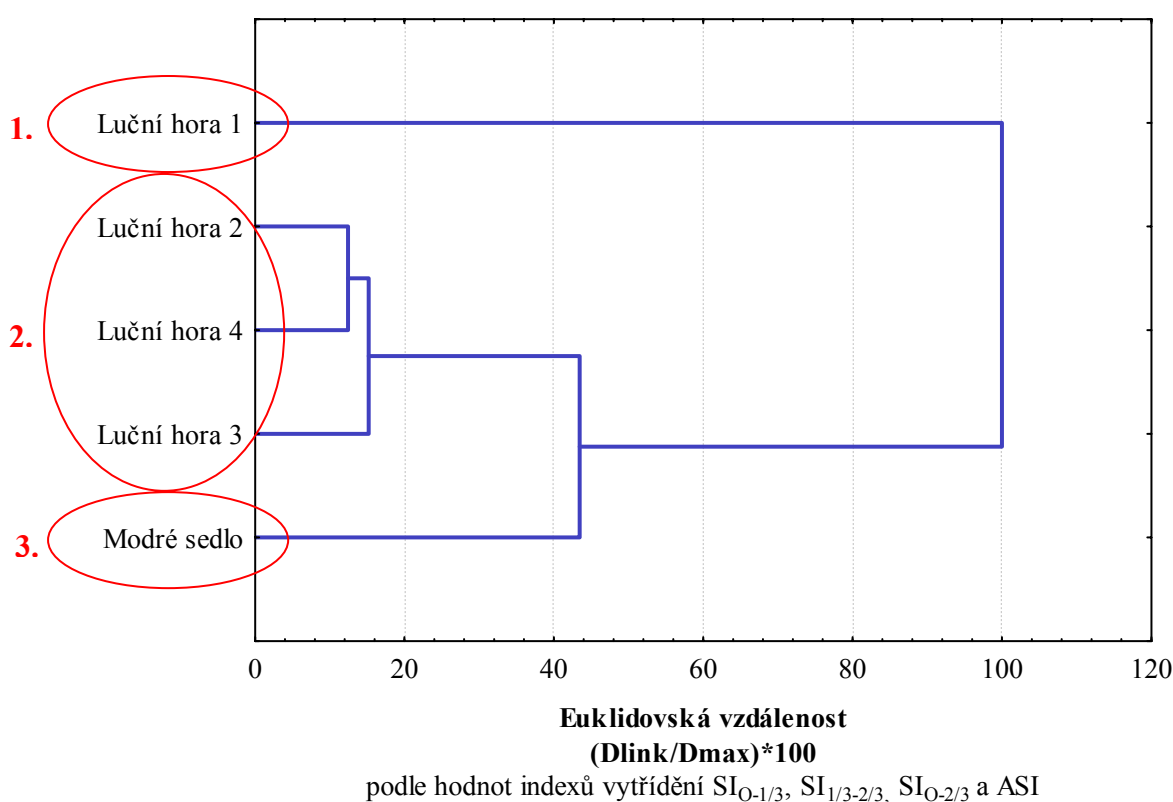
Pro klasifikaci lokalit z hlediska průměrných velikostí klastů v rámci jednotlivých částí tvarů a z hlediska kvality jejich vytřídění bylo využito shlukové analýzy. Výsledkem jsou dva dendrogramy (obr. 36 a 37). Z obou klasifikací je patrné, že lokality Luční hora 1 a Modré sedlo se výrazně odlišují jak vzájemně, tak od ostatních lokalit.

U klasifikace založené na porovnání lokalit podle průměrných velikostí klastů v jednotlivých částech tvarů (obr. 36) se od ostatních lokalit nejvýrazněji odlišuje Modré sedlo, což je nejspíše dáno odlišnými geologickými podmínkami této lokality, které jsou důvodem zcela odlišné průměrné velikosti klastů v rámci celého tvaru i jeho jednotlivých částí na této lokalitě. Modré sedlo tedy tvoří samostatnou skupinu. Odlišnost Luční hory 1 od ostatních lokalit na Luční hoře je v této klasifikaci dána vyšší kvalitou vyřídění této lokality, neboť okraje tvarů jsou zde tvořeny v průměru mnohem většími klasty, než na zbylých lokalitách na Luční hoře a pokles průměrné velikosti klastů směrem do středu tvaru je zde mnohem razantnější, a to zejména mezi okrajem a jednou třetinou od okraje. Proto tvoří Luční hora 1 rovněž samostatnou skupinu. Ostatní lokality na Luční hoře, tedy Luční hora 2, Luční hora 3 a Luční hora 4 tvoří třetí skupinu lokalit, které jsou si z hlediska průměrných velikostí klastů v jednotlivých částech tvarů podobné. Platí zde, že podobnost lokalit Luční hora 2 a Luční hora 4 je z tohoto hlediska vyšší, Luční hora 3 se od nich mírně odlišuje.



Obr. 36: Klasifikace lokalit podle průměrných velikostí klastů na okraji, v jedné třetině a dvou třetinách od okraje daného tvaru.

V klasifikaci založené na porovnání jednotlivých lokalit podle indexů vytřídění (obr. 37) vyplývá rovněž výrazná odlehlost lokality Luční hora 1 od lokalit ostatních, které jsou si v tomto případě podobnější než v předchozí klasifikaci (obr. 36), přičemž platí, že nejvíce se shodují lokality Luční hora 2 a Luční hora 4. Těmto dvěma lokalitám se dále z hlediska kvality vytřídění nejvíce blíží lokalita Luční hora 3. Od této skupiny lokalit, tedy od Luční hory 2, Luční hory 3 a Luční hory 4, se již více liší lokalita Modré sedlo, na níž kvalita vytřídění dosahuje v rámci studovaného území nejnižší úrovně. Opět lze tedy hovořit o rozdělení lokalit do tří skupin: 1. Luční hora 1 – 2. Luční hora 2, Luční hora 3, Luční hora 4 – 3. Modré sedlo.



Obr. 37: Klasifikace lokalit podle hodnot indexů vytřídění $I_{O-1/3}$, $I_{1/3-2/3}$ a $I_{O-2/3}$ a ASI.

Pozn.: Z obou výše uvedených klasifikací (obr. 36 a 37) byly opět vypuštěny tvary 22 a 32 z důvodu jejich odlehlosti z hlediska vytřídění od průměrů lokalit, na nichž se nacházejí (viz kap. 5. 2. 4.).

6. DISKUSE

První část diskuse je věnována rozpravě nad dosaženými výsledky. Diskutována je kvalita vytřídění a vliv jednotlivých charakteristik na ni, přičemž rozebírán je především vliv extremity mikroklimatických podmínek (reprezentovaných nadmořskou výškou) a morfologických charakteristik. Provedena je celková syntéza výsledků, jejíž snahou je zhodnocení kvality vytřídění tvarů na jednotlivých lokalitách s přihlédnutím k nejdůležitějším faktorům, které ji ovlivňují. Následuje část, která se věnuje morfologii tvarů, v jejímž rámci je pojednáno o vztazích jednotlivých morfologických charakteristik či vlivu lokálních nepravidelostí reliéfu na morfologické charakteristiky tvarů. Součástí diskuse je i zhodnocení použitých metod terénního výzkumu a následného zpracování naměřených veličin, přičemž pozornost je věnována zejména jejich limitům.

6. 1. KVALITA VYTŘÍDĚNÍ

V případě indexu vytřídění $SI_{O-1/3}$ platí v rámci celého studovaného území (Luční hora 1, Luční hora 2, Luční hora 3, Luční hora 4 a Modré sedlo) závislost na nadmořské výšce, tedy na extremitě mikroklimatických podmínek ($r=0,40$). Pro transekt na Luční hoře je závislost na 5% hladině významnosti neprůkazná ($r=0,38$), neboť druhá nejvýše položená lokalita Luční hora 2 má nejnižší hodnotu indexu. Vyloučíme-li tuto lokalitu, je závislost výraznější ($r=0,54$), je však opět značně ovlivněna vysokými hodnotami $SI_{O-1/3}$ na lokalitě Luční hora 1, která v hodnotách tohoto indexu výrazně vystupuje. Vyloučíme-li tedy ještě tuto lokalitu (porovnání lokalit Luční hora 3 a Luční hora 4), vychází poměrně silná pozitivní závislost na nadmořské výšce $r=0,50$, avšak (zřejmě z důvodu omezeného počtu porovnávaných tvarů) neprůkazná. Na Luční hoře 2 je hodnota indexu vytřídění $SI_{O-1/3}$ relativně nízká, vezmeme-li v úvahu, že tato lokalita je druhá nejvýše položená, tedy s vysokou extremitou mikroklimatických podmínek, která by polygony na této lokalitě předurčovala k vyššímu stupni vytřídění. Zajímavé je porovnání hodnot indexu vytřídění $SI_{O-1/3}$ s hodnotami indexu vyklenutí. Porovnáme-li hodnoty těchto dvou indexů na jednotlivých lokalitách na Luční hoře, vidíme, že rozložení lokalit je v obou případech podobné. Relativně nízké hodnoty indexů vytřídění $SI_{O-1/3}$, $SI_{O-2/3}$ a ASI na Luční hoře 2 by tedy mohly být způsobeny malým vyklenutím polygonů (nízký index vyklenutí), které by mohlo indikovat nižší intenzitu diferenciálního mrazového vzdouvání na této lokalitě.

V důsledku toho zde pak mohlo být omezeno třídění v důsledku degradace jehlicovitého ledu či mechanické třídění (Ballantyne 1996, French 2007).

Hodnota indexu vytřídění $SI_{O-2/3}$ se v celé studované oblasti s nadmořskou výškou zvyšuje ($r=0,41$), závislost je však neprůkazná. Pro transekt na Luční hoře je závislost rovněž neprůkazná ($r=0,37$). Pro transekt bez lokality Luční hora 2 je závislost průkazná ($r=0,63$), avšak je výrazně ovlivněna vysokými hodnotami (kvalitou vytřídění) na Luční hoře 1. Po jejím vyloučení (porovnání lokalit Luční hora 3 a Luční hora 4) dostaneme závislost $r=0,8$, která je však neprůkazná, což je zřejmě způsobeno nízkým počtem porovnávaných tvarů. Zároveň tedy můžeme říci, že vypovídací hodnota poslední analýzy je nízká.

Pro absolutní index vytřídění platí v rámci celé studované oblasti pro závislost na nadmořské výšce $r=0,4$, která je však neprůkazná. Postupujeme-li podobně jako v případě $SI_{O-1/3}$ a $SI_{O-2/3}$, pak pro celý transekt na Luční hoře platí závislost $r=0,36$, která je ale rovněž neprůkazná. Vyloučíme-li lokalitu Luční hora 2, je Pearsonův korelační koeficient roven $r=0,55$ – neprůkazný. V případě, že vyloučíme ještě lokalitu Luční hora 1, pak výsledná závislost činí $r=0,6$. Rovněž pro ASI lze tedy říci, že s nadmořskou výškou se obecně zvyšuje, nicméně v případě poslední analýzy byl soubor porovnávaných tvarů velice úzký.

Naopak index vytřídění $SI_{1/3-2/3}$ je na nadmořské výšce zcela nezávislý. Z tabulky 11 je navíc zřejmé, že má nízkou vypovídací hodnotu, neboť v jeho rámci není průkazný rozdíl mezi žádnou dvojicí lokalit, ačkoli rozdíly v celkové kvalitě vytřídění mezi nimi existují. To je dáno tím, že u dobře vytříděných tvarů existuje velký velikostní skok mezi klasty na okrajích a v jedné třetině od okraje (výraznější odsunutí větších klastů k okrajům) a další části tvarů (v jedné třetině od okraje, ve dvou třetinách od okraje a ve středu) jsou si z hlediska velikosti klastů podobné, zatímco u hůře vytříděných tvarů jsou si velikosti klastů podobné ve všech jejich částech. Index vytřídění $SI_{1/3-2/3}$ proto u hůře i lépe vytříděných tvarů dosahuje podobných hodnot. Můžeme tedy říci, že rozhodujícím kritériem, které určuje, jak kvalitně je daný tvar vytříděn, je rozdíl v průměrné velikosti klastů na okraji a v jedné třetině od okraje. To podporuje i fakt, že index vytřídění $SI_{O-1/3}$ a ASI spolu velmi dobře korelují ($r=0,98$). Lépe vytříděné tvary jsou typické větší relativní velikostí klastů na okraji vůči průměrné velikosti všech klastů uvnitř tvarů, což rovněž vypovídá o výraznějším odsunutí větších klastů směrem k okraji tvarů.

Celkově lze říci, že hodnota indexů vytřídění $SI_{O-1/3}$, $SI_{O-2/3}$ a ASI je ve vyšší nadmořské výšce vyšší, což si je možné vysvětlit tak, že ve vyšší nadmořské výšce docházelo k intenzivnějšímu třídění materiálu a je zde tedy výrazněji vyvinuta separace jemnozrnné a hrubozrnné složky, přičemž odsunutí hrubozrnné komponenty lze pozorovat jak z části tvaru

ve dvoutřetinové vzdálenosti od okraje, tak z jedné třetiny od okraje, neboť průměrné velikosti klastů jsou v těchto částech tvarů ve vyšších nadmořských výškách výrazně nižší oproti okrajové části tvaru.

Z hlediska rozdílů v kvalitě vytřídění mezi jednotlivými lokalitami platí, že výrazně se od zbylých lokalit odlišuje Luční hora 1. Nejpodobnější je jí lokalita Luční hora 3 (tab. 11), která se od ní výrazně odlišuje pouze v $SI_{O-1/3}$. Dále je patrné, že ostatní lokality se vzájemně významně neliší, zejména to platí pro lokality Luční hora 2, Luční hora 3 a Luční hora 4. Rozdíl mezi těmito lokalitami a Modrým sedlem je sice statisticky nevýznamný, avšak téměř ve všech případech je na hranici statistické významnosti. Z hlediska indexů vytřídění, resp. kvality vytřídění se tedy de facto vydělují tři skupiny lokalit: 1. Luční hora 1; 2. Luční hora 2, Luční hora 3 a Luční hora 4; 3. Modré sedlo, což již bylo zmíněno ve výsledcích klasifikace.

Tab. 11: Rozdíly v indexech vyřídění mezi jednotlivými lokalitami (tučnou kurzívou – významný rozdíl mezi lokalitami).

| p = hladina spolehlivosti (p<0,05) | Index vyřídění $SI_{0-1/3}$ | | | | |
|---------------------------------------|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | Luční hora 1 | Luční hora 2 | Luční hora 3 | Luční hora 4 | Modré sedlo |
| Luční hora 1 | 1,0000 | 0,0247 | 0,0146 | 0,0058 | 0,0039 |
| Luční hora 2 | 0,0247 | 1,0000 | 0,4836 | 0,7887 | 0,5199 |
| Luční hora 3 | 0,0146 | 0,4836 | 1,0000 | 0,1727 | 0,0660 |
| Luční hora 4 | 0,0058 | 0,7887 | 0,1727 | 1,0000 | 0,5806 |
| Modré sedlo | 0,0039 | 0,5199 | 0,0660 | 0,5806 | 1,0000 |
| p = hladina spolehlivosti (p<0,05) | Index vyřídění $SI_{1/3-2/3}$ | | | | |
| | Luční hora 1 | Luční hora 2 | Luční hora 3 | Luční hora 4 | Modré sedlo |
| Luční hora 1 | 1,0000 | 0,6567 | 0,2130 | 0,5393 | 0,3140 |
| Luční hora 2 | 0,6567 | 1,0000 | 0,5549 | 0,9431 | 0,4285 |
| Luční hora 3 | 0,2130 | 0,5549 | 1,0000 | 0,3338 | 0,0612 |
| Luční hora 4 | 0,5393 | 0,9431 | 0,3338 | 1,0000 | 0,2080 |
| Modré sedlo | 0,3140 | 0,4285 | 0,0612 | 0,2080 | 1,0000 |
| p = hladina spolehlivosti (p<0,05) | Index vyřídění $SI_{0-2/3}$ | | | | |
| | Luční hora 1 | Luční hora 2 | Luční hora 3 | Luční hora 4 | Modré sedlo |
| Luční hora 1 | 1,0000 | 0,0479 | 0,1490 | 0,0372 | 0,0140 |
| Luční hora 2 | 0,0479 | 1,0000 | 0,4455 | 0,9115 | 0,1440 |
| Luční hora 3 | 0,1490 | 0,4455 | 1,0000 | 0,0882 | 0,0853 |
| Luční hora 4 | 0,0372 | 0,9115 | 0,0882 | 1,0000 | 0,0967 |
| Modré sedlo | 0,0140 | 0,1440 | 0,0853 | 0,0967 | 1,0000 |
| p = hladina spolehlivosti (p<0,05) | Absolutní index vyřídění | | | | |
| | Luční hora 1 | Luční hora 2 | Luční hora 3 | Luční hora 4 | Modré sedlo |
| Luční hora 1 | 1,0000 | 0,0442 | 0,1127 | 0,0396 | 0,0194 |
| Luční hora 2 | 0,0442 | 1,0000 | 0,3294 | 0,4610 | 0,0552 |
| Luční hora 3 | 0,1127 | 0,3294 | 1,0000 | 0,3328 | 0,1048 |
| Luční hora 4 | 0,0396 | 0,4610 | 0,3328 | 1,0000 | 0,0958 |
| Modré sedlo | 0,0194 | 0,0552 | 0,1048 | 0,0958 | 1,0000 |

Kvalita vyřídění byla hodnocena pomocí indexů vyřídění. Nevýhodou indexů vyřídění je, že citlivě reagují na porušení negativní gradace velikostí klastů směrem od okrajů do středu tvaru, které se projevuje hodnotou menší než jedna u dílčích indexů vyřídění ($SI_{0-1/3}$, $SI_{1/3-2/3}$, $SI_{0-2/3}$) či výrazným snížením hodnoty absolutního indexu vyřídění. Porušení negativní gradace však nemusí nutně znamenat špatnou vyříděnost daného tvaru. Naopak může indikovat jeho polycyklický vývoj či spojení sousedních tvarů (sensu Sekyra 1960), což

svědčí o vysoké intenzitě mrazového třídění. Indexy vytřídění charakterizují dosažený stupeň vytřídění tvarů porovnáním relativních velikostí klastů v jejich jednotlivých částech (okraj, jedna třetina od okraje, dvě třetiny od okraje, střed). Můžeme tak obdržet stejnou hodnotu pro tvary o různých velikostech klastů. Např. pokud budeme mít velikosti klastů 15, 10 a 5 (od okraje ke dvou třetinám od okraje) v jednom tvaru a 9, 6 a 3 ve druhém tvaru, budou všechny indexy vytřídění pro oba tvary vycházet stejně. Přitom v prvním případě je rozdíl velikostí klastů mezi jednotlivými částmi tvaru větší než ve druhém případě, k čemuž by však byla nutná větší intenzita třídění. Rovněž průměrná velikost klastu v prvním tvaru je větší. Navíc nápadnější a v terénu lépe rozpoznatelný (z hlediska vytřídění) by byl první tvar, neboť rozdíly mezi jeho jednotlivými částmi jsou větší. V případě Luční hory je však použití indexů vytřídění oprávněné, neboť průměrná velikost klastů v celém tvaru je na jednotlivých lokalitách velice podobná.

Indexy vytřídění již byly pro hodnocení kvality vytřídění použity v práci Ballantyne et Matthews (1983). Autoři v práci hodnotili stupeň vytříděnosti tak, že porovnávali zrnitostní složení půdních vzorků odebraných z puklin tvořících okraje tříděných polygonů a ze vzorků odebraných v blízkosti těchto puklin ve vnitřní části polygonů. Index vytřídění počítali pro jednotlivé zrnitostní frakce jako podíl procentuálního zastoupení určité zrnitostní frakce ve vzorku uvnitř polygonu a procentuálního zastoupení téže frakce v okrajové puklině. Metoda je tedy velice podobná jednotlivým indexům vytřídění. Porovnává však jednotlivé zrnitostní frakce, nikoli velikosti klastů. Rozdíl představuje rovněž to, že pro lépe vytříděné polygony je hodnota nižší než jedna, pro hůře vytříděné polygony se blíží jedné nebo je naopak vyšší než jedna. V případě indexů vytřídění použitých v této práci je tomu naopak, což představuje určitou výhodu (vyšší kvalita vytřídění = vyšší hodnota indexu vytřídění).

6. 2. VELIKOSTI KLASTŮ

Z výsledků, týkajících se průměrné velikosti klastů v celém tvaru vyplývá, že lokality na Luční hoře se v tomto ohledu příliš neliší. Ve výsledkové části již bylo zmíněno, že důvodem je stejný geologický substrát těchto lokalit, neboť všechny jsou budovány kvarcity. Od lokalit na Luční hoře se významně liší Modré sedlo, kde je průměrná velikost klastů

v celém tvaru³ výrazně vyšší. Příčinu lze hledat v odlišném geologickém podloží této oblasti, neboť všechny zde měřené tvary se nacházejí na svorech a fylitech. Protože je průměrná velikost klastů v celém tvaru na Luční hoře na všech lokalitách stejná, je možné usuzovat na to, že před započítáním třídění se tyto lokality z hlediska průměrné velikosti klastů zřejmě také vzájemně příliš nelišily. Lze se tedy domnívat, že tvary kvalitněji vytríděné jsou spíše výsledkem intenzivnějšího třídění doplněného příznivější morfologií, než výsledkem lepších predispozic těchto tvarů pro kvalitnější vytrídění, vyplývajících z nerovnoměrného rozložení jemnozrnnějších a hrubozrnnějších klastů ještě před iniciální fází třídění, které zmiňuje Sekyra (1960). Lze totiž předpokládat, že místa s většími koncentracemi jemné zvětraliny byla rozmístěna nerovnoměrně, resp. náhodně. Sekyra (1960) rovněž zmiňuje, že v místech větších koncentrací jemnozrnné zvětraliny docházelo k intenzivnímu namrzání půdy, v důsledku čehož docházelo k jejímu vyklenování, vytlačování přimíšených balvanů k povrchu a k okrajům tvarů (vymrzání úlomků). Velikost vyklenutí polygonu závisela na počáteční heterogenitě v rozložení klastů různých velikostí. Tedy na tom, jak výrazné byly koncentrace jemnozrnnějšího materiálu (tyto však zřejmě byly rovněž rozmístěny náhodně), a mimo jiné rovněž na tom, v jak mikroklimaticky exponovaném místě se tato koncentrace nacházela. Z hodnot indexů vyklenutí je zřejmý postupný pokles spolu s poklesem nadmořské výšky v rámci transektu, pouze v případě lokality Luční hora 2 je tento pokles narušen. Toto by hypoteticky mohlo být způsobeno tím, že rozložení jemnozrnných a hrubozrnných klastů na této lokalitě bylo mnohem homogennější než v případě ostatních lokalit, tzn. že zde nebyly tak výrazné koncentrace jemnozrnnějších úlomků jako v případě ostatních lokalit, nemohlo zde tedy docházet k tak intenzivnímu namrzání půdy a tudíž nemohlo dojít k tak výraznému vyklenování tvarů (sensu Sekyra 1960). Třídění na této lokalitě by tak bylo mnohem složitější než na lokalitách ostatních. Co se týká možnosti promrzání půdy, mají všechny lokality na Luční hoře podobné podmínky, neboť všechny jsou ovlivněny A-O systémem Bílého Labe, v důsledku čehož se jedná o lokality vystavené intenzivní deflaci (Jeník 1961).

Tabulka 12 naznačuje, že průměrná velikost klastů uvnitř celého tvaru by mohla hrát roli i při třídění, kdy třídění větších klastů by vzhledem k jejich hmotnosti bylo relativně těžší. To by však platilo pouze pro málo vypouklé tvary, u nichž je příspěvek gravitace při třídění nižší. Přesun větších klastů k okrajům je totiž ve vyklenutých tvarech zprostředkován

³ Průměrná velikost klastů v celém polygonu byla počítána z velikostí klastů na okraji, v jedné třetině od okraje a ve dvou třetinách od okraje. Velikosti středových klastů do výpočtu zahrnuty nebyly, protože v důsledku zarostení polygonů vegetací jsou disponibilní údaje z omezeného počtu tvarů.

především gravitačně podmíněnými procesy. Jedná se zejména o pohyby spojené s degradací jehlicovitého ledu a mechanické třídění (Ballantyne 1996, French 2007). Druhým důvodem by mohl být fakt, že u větších klastů lze předpokládat, že si vzájemně brání v pohybu mnohem více než klasty menší. Je sice patrné, že žádná z uvedených závislostí není průkazná, nicméně naznačují, že by vyšší průměrná velikost klastů kvalitu vytřídění mohla negativně ovlivňovat. Pro korelační analýzu byly vybrány pouze lokality na Luční hoře, s výjimkou lokality Luční hora 1, která je oproti zbylým lokalitám na Luční hoře výrazně lépe vytříděna. Modré sedlo bylo vyloučeno z důvodu, že na této lokalitě se nacházejí největší klasty a zároveň nejhůře vytříděné tvary. Výsledná závislost by tak byla výrazně ovlivněna v její prospěch.

Tab. 12: Korelační analýza průměrných velikostí klastů v celém tvaru a indexů vytřídění (* počítáno z hodnot průměrných velikostí klastů na okraji, v jedné třetině od okraje a ve dvou třetinách od okraje).

| p = hladina spolehlivosti (p<0,05) | SI _{O-1/3} | SI _{1/3-2/3} | SI _{O-2/3} | SI _{O-S} | SI _{1/3-S} | SI _{2/3-S} | ASI |
|--|---------------------|-----------------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-------|
| Průměrná velikost klastů v celém tvaru * | -0,29 | 0,15 | 0,08 | 0,90 | 0,98 | -0,33 | -0,25 |

Goldthwait (1976 in Washburn 1979) uvádí, že velikost klastů, tvořících okraje polygonů, může ovlivňuje jejich rozměry (tab. 13), přičemž platí, že čím větší jsou okrajové klasty, tím větší je polygon. Velikosti okrajových klastů polygonů naměřených v této práci jsou ve shodě s prací Goldthwaita (1976 in Washburn 1979), což značí, že velikost klastů, tvořících okraje polygonů, skutečně s velikostí tříděných polygonů souvisí.

Tab. 13: Vztah velikosti okrajových klastů a rozměrů polygonů podle Goldthwaita (1976 in Washburn 1979).

| Velikost okrajových klastů [cm] | Rozměry polygonů [cm] |
|---------------------------------|-----------------------|
| 2 – 10 | 20 – 50 |
| 6 – 30 | 50 – 200 |
| 20 – 150 | 200 – 500 |
| 50 – 500 | 500 – 2000 |

Z tabulky 14 je zřejmá výrazná odlišnost mezi jednotlivými lokalitami ve velikostech klastů v jednotlivých částech tvarů. To je zřejmě částečně ovlivněno tím, že lokality nebyly

porovnávány podle průměrných velikostí klastů v dané části v jednotlivých tvarech, nýbrž podle všech velikostí klastů v dané části na dané lokalitě. Je patrná zejména podobnost Luční hory 1 a Modrého sedla v okrajové části tvaru, v jedné třetině od okraje a ve dvou třetinách od okraje jsou si naopak podobné Luční hora 1 a Luční hora 3. Toto se promítá i v podobnosti těchto dvou lokalit z hlediska kvality vytřídění.

V kapitole 5. 2. 3. bylo zmíněno, že v rámci některých tvarů, vyskytujících se ve vyšších nadmořských výškách, se v jejich centrální části nacházejí větší klasty oproti částem blíže okrajům. Dochází u nich tedy k porušení negativní gradace ve velikosti klastů směrem od okraje do středu tvaru. Důvodem porušení gradace u těchto polygonů by mohla být existence vícefázového třídění, kdy na již vytvořeném a vytříděném tvaru proběhla další fáze třídění, jejíž intenzita však byla nižší, přičemž v rámci jednoho tvaru druhotně vzniklo jedno či více nových (menších) ohnisek třídění, která svou činností vytvořila vzájemně oddělené koncentrace jemnozrnějšího materiálu, které však nejsou natolik výrazné, aby mohly být považovány za samostatné tvary (sensu Sekyra 1960). Přítomnost větších klastů ve středu tvarů oproti částem ležícím ve dvou třetinách od okraje tvarů rovněž zmiňuje ve své práci Nyplová (2008). Dalším vysvětlením by mohlo být splynutí sousedních tvarů.

Tab. 14: Rozdíly ve velikostech klastů jednotlivých částech tvarů mezi lokalitami podle jednocestné analýzy rozptylu (tučnou kurzívou – významný rozdíl mezi lokalitami).

| p=hladina spolehlivosti (p<0,05) | Velikost klastů na okraji | | | | |
|-------------------------------------|---------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | Luční hora 1 | Luční hora 2 | Luční hora 3 | Luční hora 4 | Modré sedlo |
| Luční hora 1 | 1,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,2373 |
| Luční hora 2 | 0,0000 | 1,0000 | 0,0029 | 0,0839 | 0,0000 |
| Luční hora 3 | 0,0000 | 0,0029 | 1,0000 | 0,4175 | 0,0000 |
| Luční hora 4 | 0,0000 | 0,0839 | 0,4175 | 1,0000 | 0,0000 |
| Modré sedlo | 0,2373 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 1,0000 |
| p=hladina spolehlivosti (p<0,05) | Velikost klastů v 1/3 | | | | |
| | Luční hora 1 | Luční hora 2 | Luční hora 3 | Luční hora 4 | Modré sedlo |
| Luční hora 1 | 1,0000 | 0,0000 | 0,6922 | 0,0723 | 0,0000 |
| Luční hora 2 | 0,0000 | 1,0000 | 0,0000 | 0,1059 | 0,0000 |
| Luční hora 3 | 0,6922 | 0,0000 | 1,0000 | 0,0482 | 0,0000 |
| Luční hora 4 | 0,0723 | 0,1059 | 0,0482 | 1,0000 | 0,0000 |
| Modré sedlo | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 1,0000 |
| p=hladina spolehlivosti (p<0,05) | Velikost klastů v 2/3 | | | | |
| | Luční hora 1 | Luční hora 2 | Luční hora 3 | Luční hora 4 | Modré sedlo |
| Luční hora 1 | 1,0000 | 0,0006 | 0,8660 | 0,0250 | 0,0000 |
| Luční hora 2 | 0,0006 | 1,0000 | 0,0320 | 0,4837 | 0,0000 |
| Luční hora 3 | 0,8660 | 0,0320 | 1,0000 | 0,1576 | 0,0000 |
| Luční hora 4 | 0,0250 | 0,4837 | 0,1576 | 1,0000 | 0,0000 |
| Modré sedlo | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 1,0000 |

6. 3. EXTREMITA MIKROKLIMATICKÝCH PODMÍNEK A PŘEDPOKLADY PRO VYTŘÍDĚNÍ

Chmal et Traczyk (1993 in Czudek 1997) odhadují průměrnou roční teplotu nejvyšších partií Krkonoš ve vrcholném glaciálu na -8 °C až -10 °C. Podle Washburna (1979) může za těchto teplotních podmínek docházet k vývoji tříděných strukturních půd. V této době se však teprve vyvíjely kryoplanační terasy (Sekyra 1964), na nichž se značná část strukturních půd v Krkonoších nachází. Sekyra et Sekyra (1995) proto předpokládají vznik krkonošských strukturních půd v pozdním glaciálu, kdy se v nejvyšších partiích pohoří nacházela kamenitá hamada, tedy v podmínkách dnes typických pro polární, subpolární či vysokohorské oblasti.

Na konci glaciálu byly ve vyšších nadmořských výškách vhodnější podmínky než v nižších nadmořských výškách, které umožňovaly mnohem intenzivnější průběh regelačních procesů, tzn. že ve vyšších nadmořských výškách rovněž probíhal mnohem intenzivnější vývoj strukturních půd a procesy mrazového třídění materiálu. Tyto příznivé podmínky navíc přetrvávaly ve vyšších nadmořských výškách mnohem déle než tomu bylo v nižších nadmořských výškách. Ve vyšších nadmořských výškách tak ještě mohlo docházet k vývoji a třídění strukturních půd, zatímco v nižších nadmořských výškách byl již vývoj ukončen. Na základě těchto předpokladů, lze usuzovat na to, že k dokonalejšímu vývoji a třídění strukturních půd muselo nutně docházet ve vyšších nadmořských výškách, které poskytovaly lepší podmínky. Navíc během chladných výkyvů v holocénu byly vhodnější podmínky ve vyšších nadmořských výškách, kde tak zřejmě mohlo i v této době docházet k částečnému formování strukturních půd (Kociánová 2002), zatímco v níže ležících polohách k němu docházet nemuselo, a to jak v důsledku vyšší průměrné teploty či v důsledku zarostení vegetací (Sekyra et Sekyra 1995). Podle Washburna (1979) je vznik polygonálních forem strukturních spojen zejména s mrazovým pukáním, které je podmíněno výskytem permafrostu. Relikt pleistocénního permafrostu se ve vrcholových částech nejvyšších horských oblastí mohl na zvlášť příhodných místech lokálně udržet i na povrchu terénu až do začátku atlantiku (Czudek 1997). Nejzazší hranici vývoje tříděných polygonů lze proto spatřovat v tomto období.

Všechny studované lokality na Luční hoře jsou orientovány k SZ, jsou tedy pod vlivem převládajícího SZ proudění, které je jednou z větví A-O systému Bílého Labe (Jeník 1961). Tyto převládající větry udržují na SZ úbočí Luční hory výšku sněhové pokrývky po celou zimu na minimální hodnotě, která je nezávislá na celkových sněhových poměrech a po celou zimu potenciálně nepřesahuje 5 – 20 cm⁴ (Jeník 1961, Harčarik 2002, Janásková 2006), zejména to platí pro vrcholovou deflační plošinu Luční hory, neboť mluvíme-li o převládajících větrech, neznamená to, že by v dané oblasti vál vítr pouze z jednoho směru. Protože je vrcholová plošina Luční hory (lokality Luční hora 1) vystavena proudění ze všech směrů, dochází zde k deflaci prakticky neustále (vane-li dostatečně silný vítr). Sníh se zde tedy jako tepelný izolátor nemůže významněji uplatňovat a půda je tak více vystavena teplotním výkyvům a hlouběji promrzá, díky čemuž se zde regelace a procesy na ní vázané mohou potenciálně vyskytovat během celého zimního období (Harčarik 2002). V současné

⁴ Měření výšky sněhové pokrývky na dané lokalitě doposud provedeno nebylo. Prezentovaný údaj proto vychází z měření provedených na Studniční hoře a Modrém sedle (Janásková 2006), které se nacházejí ve stejné části A-O systému, a z poznatků uvedených v pracích Jeníka (1961) a Harčarika (2002).

době se však regelace vyskytuje hlavně na jaře a na podzim (Sekyra et Sekyra 1995, Harčarik 2002, Křížek et al. 2005, Mrozková 2006, Křížek 2007, Nyplová 2008).

Jeník (1961) zmiňuje, že „západní větry převládají ve střední Evropě již od pliocénu a protože ani reliéf Vysokých Sudet se ve své základní osnově od konce třetihor nezměnil, můžeme předpokládat, že lokální větry jsou jevem několik milionů let starým.“ Dále dodává, že „větší změny ve směru převládajících větrů je možno předpokládat jen v pleistocénních glaciálech, resp. jednotlivých stadiálech. Rozsáhlý kontinentální ledovec na severu Evropy musel nutně vytvářet středisko vyššího barometrického tlaku a tím i stabilizovanou anticyklonu, jež dala vznik převládajícím severním a severovýchodním větrům ve střední Evropě. Tato dočasná změna atmosférické cirkulace v období glaciálů se předpokládá v početné literatuře.“ Tato dočasná změna atmosférické cirkulace (tedy změna směru převládajícího proudění) by mohla být klíčová pro vývoj strukturních půd a vyšší kvalitu vytřídění na vrcholové plošině Luční hory (na lokalitě Luční hora 1), neboť lze předpokládat, že na ní i při této změně převládajícího proudění stále docházelo k intenzivní deflaci, zatímco ostatní studované lokality na Luční hoře přestaly být tak intenzivně vyfoukávány nebo se dokonce mohly stát závětrnými, tzn. že zde naopak mohlo docházet k ukládání sněhu, který se zde dočasně mohl uplatňovat jako tepelný izolátor a promrzání půdy zde bylo omezeno (sensu Harčarik 2002) a vývoj a třídění strukturních půd zde bylo po toto období limitováno či přerušeno. Otázkou zůstává, zda v této době již docházelo k vývoji strukturních půd.

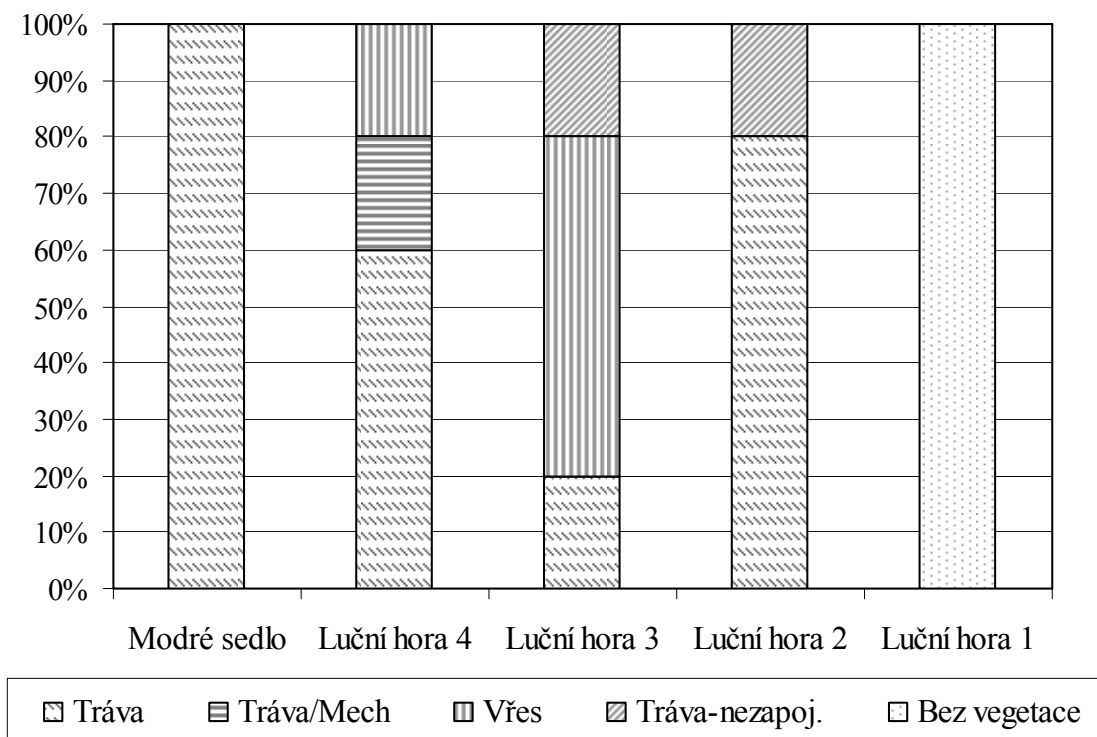
Ve vztahu k předpokládanému vlivu nadmořské výšky na vývoj a třídění strukturních půd ve studovaném území je důležitý vertikální teplotní gradient. Vzhledem k tomu, že se jedná o horskou oblast, navíc ovlivněnou převládajícími větry A-O systému Bílého Labe (Jeník 1961), lze očekávat, že vertikální teplotní gradient je zde deformován, přičemž dosahuje vyšších hodnot. Podle Geigera (1961 in Kubíková et al. 1965) je teoretická zonace teplot na svahu za radiačního počasí následující: nejvyšší denní teploty se vyskytují ve středu svahu v důsledku delšího oslunění, na úpatí svahu jsou téměř shodné nebo nižší, nejnižší jsou pak na vrcholu svahu, což způsobuje zvýšené proudění. Noční teploty jsou nejnižší na úpatí svahu (noční inverze – chladný vzduch klesá do údolí) a na vrcholu (zvýšené vyzařování a proudění). Podobné rozložení teplot bylo naměřeno Kubíkovou et al. (1965) na jižním svahu Vysokého Kola v západních Krkonoších, přičemž vertikální teplotní gradient v horní části svahu dosahoval hodnot výrazně nad 1 °C na sto výškových metrů. Přestože se jedná o svah s odlišnou expozicí oproti lokalitám ve studovaném území, mohly by se podobné gradienty vyskytovat i ve studovaném území, zejména proto, že studované lokality jsou, podobně jako horní část svahu na Vysokém Kole (A-O systém Mumlavý, Jeník 1961), vystaveny silnému

působení větru, neboť se rovněž jedná o vrcholovou zrychlující část (A-O systému Bílého Labe, Jeník 1961). Pokud by tomu tak skutečně bylo, mohlo být třídění ve vyšších nadmořských výškách ukončeno výrazně později než na níže ležících lokalitách (především oproti Luční hoře 4), zejména přihlédneme-li k tempu současného oteplování (na Sněžce o 0,07 °C za 10 let, Głowicki 1997).

Výše zmíněné předpoklady by mohly vysvětlovat velký kvalitativní skok z hlediska vytříděnosti mezi lokalitou Luční hora 1 a zbylými lokalitami na Luční hoře.

Navíc na konci glaciálu postupně docházelo k sukcesi vegetace a jejímu návratu zpět do vyšších nadmořských výšek. Vegetací pokryté tvary byly chráněny před kryogenními procesy (Sekyra et Sekyra 1995), jejich vývoj byl tedy omezen nebo ukončen a rovněž mohlo docházet k jejich částečné degradaci či změnám v morfologii způsobeným činností vegetace (Treml et Křížek 2006).

Vegetace se uplatňuje jako faktor, který brání třídění strukturních půd a v mnoha oblastech určuje spodní hranici jejich rozšíření (Washburn 1979). Ačkoli se strukturní půdy primárně vyvíjely v podmínkách, kdy území bylo bez vegetačního pokryvu (Sekyra et Sekyra 1995), je možné, že při oteplování klimatu došlo k posunu vegetace do vyšších nadmořských výšek, zatímco strukturní půdy byly ještě aktivní, tzn. ještě docházelo k třídění a vegetace ho mohla zpomalovat či znemožňovat. V rámci studované oblasti platí, že vegetace s rostoucí nadmořskou výškou ubývá. Pouze na lokalitě Luční hora 1 se vyskytují, resp. byly měřeny polygony prosté vegetace. Směrem do nižších nadmořských výšek se vegetace uplatňuje více. Na lokalitách Luční hora 2 a Luční hora 3 bylo měřeno po jednom tvaru s nezapojeným travním porostem, ostatní tvary na těchto dvou lokalitách a lokalitách zbylých, tedy na Luční hoře 4 a Modrém sedle byly pokryty (jejich středová část) zapojenou vegetací v podobě trav, vřesů a mechorostů (obr. 38). To, že vegetací nepokryté tvary jsou omezeny prakticky jen na vrcholovou plošinu Luční hory, je zřejmě výsledkem intenzivnější deflace na této lokalitě, v důsledku níž docházelo k výraznějšímu odnosu jemnozeme, která je pro uchycení vegetace důležitá (Jeník 1961). Zároveň je vegetace vlivem extrémnějších podmínek vystavena větší míře disturbancí souvisejících s činností větru a mrazu (Křížek 2009). Nižší kvalita vytřídění na lokalitách na Luční hora 2, Luční hora 3, Luční hora 4 a Modrém sedle oproti Luční hoře 1 by mohla být způsobena vegetací, která svojí aktivitou mohla způsobit druhotné změny v kvalitě vytřídění. U vegetací pokrytých forem navíc muselo být znesnadněno jejich reaktivování v chladnějších obdobích postglaciálu, které předpokládá Kociánová (2002).



Obr. 38: Porovnání lokalit podle pokrytí tvaru vegetací a typů vegetačního pokryvu.

Pokrytí jednotlivých tvarů vegetací je důležité především s ohledem na možnost měření kvality vytrídění těchto tvarů, resp. měření velikostí klastů. Bez potíží lze měřit formy nezarostlé vegetací, neboť na nich je možné měřit klasty ve všech částech tvarů, dobře měřitelné jsou i tvary s nezapojeným porostem. U tvarů, jejichž středová část je pokryta zapojenou vegetací je však měření klastů značně ztíženo, v některých případech zcela znemožněno. Tyto tvary se nacházejí především v nižších nadmořských výškách. Přestože pro měření byly vybírány tvary v rámci dané lokality co nejméně zarostlé, jsou některá měření, především z níže položených lokalit, nekompletní, proto není soubor hodnocených tvarů příliš široký. K otázce kolonizace strukturních půd vegetací je nutné podotknout, že práce vychází z předpokladu, že zarůstání tvarů vegetací probíhalo v rámci jednotlivých lokalit náhodně, tzn. že nebyly vegetací preferovány hůře či lépe vytríděné tvary. Proto lze hodnocené tvary považovat z hlediska kvality vytrídění za reprezentativní pro dané lokality.

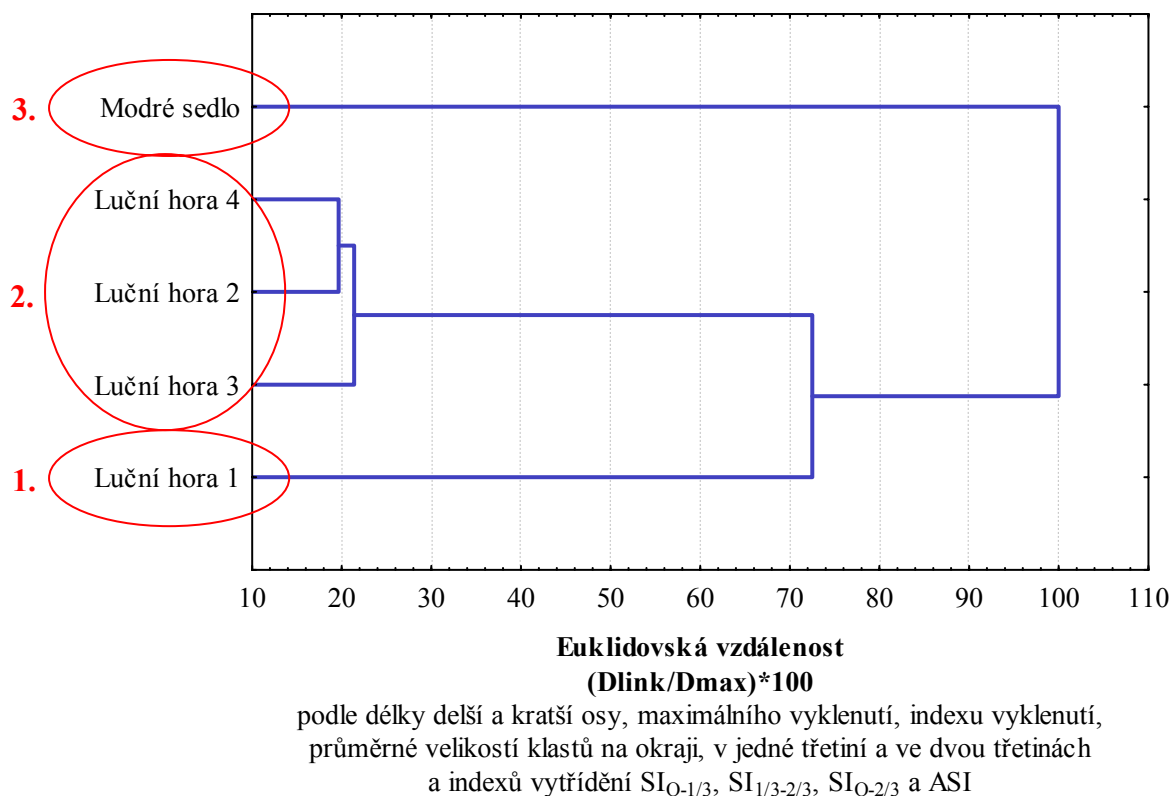
6. 4. POROVNÁNÍ KLASIFIKACÍ LOKALIT

Celkem byly provedeny tři klasifikace studovaných lokalit, z nichž jedna se týkala morfologie, kdy tyto byly porovnávány podle délek delších a kratších os, maximálního vyklenutí a indexu vyklenutí, druhá klasifikace byla provedena na základě porovnání lokalit podle průměrných velikostí klastů na okraji, v jedné třetině od okraje a ve dvou třetinách vzdálenosti od okraje, třetí pak na základě porovnání lokalit z hlediska hodnot indexů vytřídění $SI_{O-1/3}$, $SI_{1/3-2/3}$, $SI_{O-2/3}$ a absolutního indexu vytřídění. Cílem těchto klasifikací bylo určit míru podobnosti jednotlivých lokalit z hlediska výše zmíněných charakteristik a na jejím základě rozdělit tyto do shluků resp. skupin. Ve výsledkové části již byly výsledky těchto klasifikací jednotlivě popsány a v rámci každé z nich byly identifikovány podobné lokality, tedy existující shluky (skupiny). Porovnáme-li tyto klasifikace vzájemně, vidíme, že ze všech dostáváme velmi podobný výsledek, na jehož základě lze lokality v rámci studované oblasti rozdělit do tří skupin:

- 1) Luční hora 1
- 2) Luční hora 2, Luční hora 3 a Luční hora 4
- 3) Modré sedlo

Rozdíly mezi jednotlivými klasifikacemi existují, a to jak v míře podobnosti jednotlivých skupin, tak mezi lokalitami uvnitř skupiny 2, nicméně tyto rozdíly jsou velmi malé, proto se lze touto výslednou klasifikací lokalit řídit a považovat toto rozdělení lokalit na základě jejich všeobecné podobnosti za skutečně existující.

Důležitým závěrem, který můžeme z porovnání těchto tří klasifikací, které se v podstatě překrývají, vyvodit, je to, že kvalita vytřídění zjevně velice úzce souvisí s morfologií daného tvaru. Na obrázku 39 je zobrazen výsledek klasifikace, která byla provedena na základě určení míry podobnosti mezi jednotlivými lokalitami porovnáním délek delších a kratších os, maximálních vyklenutí, indexů vyklenutí, průměrných velikostí klastů na okraji, v jedné třetině od okraje a ve dvou třetinách od okraje a indexů vytřídění $SI_{O-1/3}$, $SI_{1/3-2/3}$, $SI_{O-2/3}$ a absolutního indexu vytřídění. Výsledek této klasifikace pouze dokumentuje výše zmíněnou podobnost předchozích klasifikací, tedy jednoznačně vyděluje tři výše zmíněné skupiny lokalit.



Obr. 39: Klasifikace lokalit podle všeobecné podobnosti.

Podíváme-li se na výsledky dílčích klasifikací, vidíme, že z morfologického hlediska si je Luční hora 2 nejpodobnější s Luční horou 3 (obr. 24), zatímco z hlediska velikostí klastů a indexů vytřídění (kvality vytřídění, obr. 36 a 37) se Luční hora 2 nejvíce podobá Luční hoře 4. Toto svědčí o nižší intenzitě třídění na Luční hoře 2.

6. 5. MORFOLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY OVLIVŇUJÍCÍ TŘÍDĚNÍ

V této části diskuse je rozebrán vliv morfologických charakteristik na třídění a jeho kvalitu. Probrány jsou zejména závislosti, které jsou průkazné. Zároveň je však diskutován i hypotetický vliv, který by některé morfologické charakteristiky na třídění mohly mít.

6. 5. 1. Vliv velikosti tvarů

Kvalita vytřídění zřejmě velice úzce souvisí s velikostí daného tvaru. Ve výsledkové části totiž bylo zmíněno, že klasifikace na základě morfologických charakteristik je značně ovlivněna charakteristikami délka delší a kratší osy, tedy charakteristikami, reprezentujícími

velikost daného tvaru, neboť výsledek klasifikace je velice podobný rozložení délek delší a kratší osy tvarů samotných (rovněž průměrné délky strany, která však do klasifikace zahrnuta není). Protože se rozložení délek delších a kratších os v zásadě shoduje s klasifikacemi lokalit podle velikostí klastů a indexů vytřídění, je spojitost charakteristik velikosti tvarů a vytřídění zřejmá.

Podobné výsledky vyplývají i z korelační analýzy, která je k dispozici v tabulce 15. Vyplývá z ní, že tvary větších rozměrů obecně dosahují nižších hodnot indexu vytřídění $SI_{O-1/3}$ ($r=-0,61$), tedy že u větších tvarů je menší rozdíl v průměrné velikosti klastů na okraji a v jedné třetině od okraje. Pro index vytřídění $SI_{O-2/3}$ je závislost na „velikostních“ charakteristikách tvarů rovněž poměrně silná, avšak na dané hladině spolehlivosti nebyla prokázána (tab. 15). Podobně je tomu v případě absolutního indexu vytřídění ($r=-0,56$ pro průměrnou délku strany tvaru). Zajímavé jsou rovněž další dvě závislosti, které říkají, že u rozměrnějších tvarů jsou klasty v jedné třetině od okraje a ve dvou třetinách od okraje obecně větší než u malých tvarů, v případě středu toto prokázáno nebylo, což je částečně dáno přítomností větších klastů ve středu i v menších tvarech, zejména na lokalitě Luční hora 1, kde je toto zřejmě podmíněno polycyklickým vývojem strukturních půd (Sekyra 1960) a zároveň poměrně úzkým souborem porovnávaných tvarů. Z této analýzy byla vyloučena lokalita Modré sedlo, neboť zde se nacházejí největší a zároveň nejméně kvalitně vytříděné tvary. Navíc průměrná velikost klastů na této lokalitě je rovněž mnohem větší než na Luční hoře. Pokud by tedy Modré sedlo bylo do analýzy závislosti kvality vytřídění na velikosti tvaru zahrnuto, byl by výsledek značně ovlivněn ve prospěch dané závislosti. Dále byly vyloučeny tvary 22 a 32 (Luční hora 2, resp. Luční hora 1), které se z hlediska kvality vytřídění vymykají průměrům lokalit, na nichž se nacházejí. Uvedené závislosti jsou velice podobné i v případě vyloučení celé lokality Luční hora 1, na níž jsou velikosti tvarů menší, tedy při analýze tvarů pouze z lokalit Luční hora 2, Luční hora 3 a Luční hora 4. Tyto tři lokality jsou si z hlediska velikostí tvarů, tedy z hlediska délek delších a kratších os a průměrných délek stran tvarů velice podobné, což dokumentuje, že kvalita vytřídění s velikostí daného tvaru úzce souvisí. Danou závislost je navíc možné sledovat v rámci všech lokalit ve studovaném území.

Tab. 15: Korelační analýza charakteristik kvality vytřídění a velikosti tvaru (tučnou kurzívou – průkazné závislosti).

| p = hladina spolehlivosti (p<0,05) | Průměrná velikost klastů | | | | Index vytřídění | | | Absolutní index vytřídění |
|---------------------------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------|-----------------|---------|-------|------------------------------|
| | Okraj | 1/3 | 2/3 | Střed | O-1/3 | 1/3-2/3 | O-2/3 | |
| Délka delší osy | -0,01 | 0,41 | 0,43 | 0,52 | -0,50 | 0,07 | -0,44 | -0,46 |
| Délka kratší osy | -0,16 | 0,28 | 0,41 | 0,18 | -0,53 | 0,05 | -0,51 | -0,54 |
| Průměrná délka strany | 0,03 | 0,55 | 0,58 | 0,42 | -0,61 | 0,11 | -0,51 | -0,56 |

Velikost tvarů tedy je jedním z faktorů, který má na kvalitu vytřídění zásadní vliv, neboť lze předpokládat, že k tomu, aby bylo dosaženo stejné kvality vytřídění u většího tvaru jako u tvaru menšího, je nutné, aby klasty putovaly na větší vzdálenost. To znamená, že je zároveň nutné, aby četnost či intenzita procesů podmiňujících pohyb klastů (tedy třídění) byla u větších tvarů vyšší, případně je nutné, aby větší tvar vykazoval lepší predispozice pro třídění z hlediska jeho morfologických charakteristik (zejména vyšší index vyklenutí – vyšší uplatnění gravitačně podmíněných třídících procesů) či aby byly příznivější sklonitostní poměry svahů. Výše uvedený závěr lze vyvodit z prací, které se zabývaly monitorováním horizontálních přesunů klastů (laterálním tříděním; např. Ballantyne 1996, Matsuoka et al. 2003, Nyplová 2008) či z práce Ballantyne et Matthews (1983), kteří studovali postupnou transformaci netříděných polygonů v tříděné polygony na místě odkrytém po ustupujícím ledovci. Se vzrůstající vzdáleností od čela ledovce byly jimi studované polygony lépe vytříděné, což přisuzovali jejich delšímu vývoji. Nejlépe vytříděné polygony se nacházely v místech, která byla obnažena před 35 lety. Naopak Ballantyne (1996) studoval na experimentální ploše výrazně menší tvary, k jejichž vytřídění došlo během jednoho roku.

Hypotézu závislosti kvality vytřídění na velikosti tvaru podporuje fakt, že nejhůře vytříděný tvar je ze souboru měřených tvarů největší, zatímco nejlépe vytříděný tvar je naopak nejmenší.

Otázkou však zůstává, čím byla velikost tvarů ve studovaném území určována. Podíváme-li se na rozložení charakteristik velikosti tvarů, vidíme, že lokality Luční hora 2, Luční hora 3 a Luční hora 4 jsou si velice podobné. Naopak na lokalitě Luční hora 1 jsou polygony výrazně menší (obr. 18 a 19). Příčinu toho by bylo možné spatřovat ve vícefázovém vývoji strukturních půd na Luční hoře 1, kdy v rámci větších polygonů vznikly během nové fáze třídění tvary menších rozměrů (Sekyra 1960). Druhou příčinou by mohla být menší hloubka půdního profilu na této lokalitě, jehož vývoji bylo bráněno v důsledku intenzivnější deflace než na zbylých lokalitách na Luční hoře, tedy deflací jemnozrnných půdních částic

(Jeník 1961). Washburn (1979) totiž zmiňuje, že horizontální rozměr polygonů je funkcí hloubky půdního profilu, přičemž platí, že s jeho rostoucí hloubkou se zvětšuje horizontální rozměr polygonů. Tuto hypotézu však zatím není možno podpořit terénními daty (např. georadarovým měřením).

Obě hypotézy mají společný základ, který vychází z vyšší mikroklimatické extremity na vrcholové plošině Luční hory (lokality Luční hora 1). Na základě těchto předpokladů je možné se domnívat, že vyšší kvalita vyřídění polygonů na Luční hoře 1 je způsobena vyšší mikroklimatickou extremitou, která je „zodpovědná“ za menší rozměry polygonů na této lokalitě.

6. 5. 2. Vliv vyklenutí a sklonu

Z charakteristik vyklenutí je důležitý zejména index vyklenutí, tedy míra vypouklosti tvaru, která z hlediska jeho potenciální vyříděnosti představuje důležitou charakteristiku, neboť u tvarů s vyšší hodnotou indexu vyklenutí je nutné brát v úvahu při třídění materiálu ještě vedlejší efekt, vyplývající z většího sklonu povrchu u tvarů s vyšším indexem vyklenutí (vliv gravitace a s ní spojenými svahovými procesy), který se při třídění materiálu uplatňuje a napomáhá mu. Jde zejména o pohyb klastů spojený s degradací jehlicovitého ledu a mechanické třídění (Ballantyne 1996, French 2007). Obecně platí, že povrch tvarů je v jejich centrální části horizontální či jen málo ukloněný, mezi dvěma třetinami od okraje a jednou třetinou od okraje se začíná více svažovat a největšího sklonu dosahuje mezi jednou třetinou od okraje a okrajovou částí. U tvarů s vyšším indexem vyklenutí jsou pak sklony v těchto jednotlivých úsecích mnohem výraznější než u tvarů s nižším indexem vyklenutí. Pohyb klastů v tvarech s vyšším indexem vyklenutí je tedy mnohem snazší (Ballantyne 1996, French 2007), zejména v oblasti mezi jednou třetinou od okraje a okrajem, kde je sklon největší. To potvrzují i provedené analýzy, z nichž vyplývá, že u tvarů s vyšším indexem vyklenutí jsou rovněž vyšší hodnoty indexu vyřídění $SI_{O-1/3}$ ($r=0,49$, tab. 16), tedy poměr průměrných velikostí klastů na okraji a v jedné třetině od okraje je u těchto tvarů vyšší, což souvisí s výše uvedeným velkým sklonem povrchu mezi těmito dvěma částmi uvnitř tvarů, který je navíc u tvarů s vyšším indexem vyklenutí větší. Větší klasty jsou tak vystaveny většímu působení svahových procesů a mají větší tendenci „sklouzávat“ směrem do úžlabí a vytvářet tak výraznější kamenné věnce na okrajích tvarů. K podobnému výsledku dospějeme i v případě porovnání indexu vyklenutí s indexem vyřídění $SI_{O-2/3}$ a absolutním indexem vyřídění ASI

(tab. 16), přičemž v těchto dvou případech je závislost ještě silnější než v případě předchozím ($r=0,58$, resp. $r=0,53$). Rovněž existuje slabá, ale neprůkazná závislost průměrné velikosti klastů na okraji tvaru na indexu vyklenutí ($r=0,26$, resp. $r=0,34$ pro transekt na Luční hoře – Luční hora 1, Luční hora 2, Luční hora 3 a Luční hora 4), což souvisí s výše uvedeným poznatkem v rámci interpretace závislosti $SI_{O-1/3}$ na indexu vyklenutí. Naopak směrem do středu tvaru se velikost klastů obecně snižuje (tab. 16). Toto souvisí se snazším pohybem klastů v rámci vypouklejších tvarů (viz Ballantyne 1996, French 2007).

Tab. 16: Korelační analýza závislostí velikostí klastů a indexů vytrídění na indexu vyklenutí (tučnou kurzívou – průkazné závislosti; nahoře všechny lokality, dole pouze lokality Luční hora 1, Luční hora 2, Luční hora 3 a Luční hora 4).

| p = hladina spolehlivosti ($p < 0,05$) | Průměrná velikost klastů | | | | Index vytrídění | | | | |
|---|--------------------------|-------|-------|-------|-----------------|--------------|------------|--------------|-------------|
| | Okraj | 1/3 | 2/3 | Střed | $SI_{O-1/3}$ | $SI_{O-2/3}$ | SI_{O-S} | $SI_{1/3-S}$ | ASI |
| Index vyklenutí - všechny | 0,26 | -0,14 | -0,20 | -0,35 | 0,49 | 0,58 | 0,69 | 0,47 | 0,53 |
| Index vyklenutí - transekt | 0,34 | -0,22 | -0,15 | -0,35 | 0,58 | 0,63 | 0,69 | 0,47 | 0,61 |

Velikost vyklenutí strukturních půd může být sekundárně ovlivněna zarostením jemnozrného středu vegetací. Vyklenutí je pak druhotně navýšeno o mocnost půdního a vegetačního pokryvu. Navíc vegetační pokryv funguje jako tepelný izolátor a při zvýšeném vztlínání podzemní vody a při nízkých teplotách v regelačním období dochází k jejímu deformování a vynikání nad okolní terén (Sekyra 1960). Toto platí zejména pro netříděné strukturní půdy vznikající za spolupůsobení vegetace (např. thufury, Sekyra 1960, Kozłowska et Rączkowska 2002). Je však možné, že v omezené míře k tomuto dochází i v případě zarostlých tříděných strukturních půd. Vezmeme-li v úvahu, že v rámci studované oblasti vegetace směrem do vyšších nadmořských výšek ubývá, zatímco index vyklenutí a indexy vytrídění se spíše zvyšují, byla by, v případě že by byly všechny tvary prosté vegetace, závislost indexů vytrídění na indexu vyklenutí zřejmě ještě silnější než je uvedeno v tabulce 16. Indexy vyklenutí níže ležících tvarů by se totiž snížily, tzn. rozdíl v indexech vyklenutí mezi výše a níže ležícími tvary by vzrostl. Toto by podporovalo hypotézu o vyšší intenzitě mrazových procesů ve vyšších nadmořských výškách, resp. v mikroklimaticky exponovanějších místech, která na sebe váže větší vyklenutí (viz Washburn 1979, Ballantyne 1996, 2007, Matsuoka et al. 2003, French 2007).

Na hodnotě maximálního vyklenutí není kvalita vyřídění tvaru závislá. Důvodem je skutečnost, že velké maximální vyklenutí nemusí nutně znamenat vysokou vypouklost tvaru, neboť to, jak je vypouklý, rovněž závisí na jeho půdorysné velikosti, resp. na délce kratší osy.

Na základě výše uvedených skutečností lze index vyklenutí považovat za charakteristiku, která významně ovlivňuje kvalitu vyřídění daného tvaru, přičemž tvary s vyšší hodnotou indexu vyklenutí jsou lépe vyříděny než tvary s nižší hodnotou indexu vyklenutí. Rovněž se lze domnívat, že index vyklenutí, resp. vypouklost tvarů ovlivňuje kvalitu vyřídění mnohem více než sklon svahu, neboť sklon povrchu tvaru je obvykle, zejména v části mezi jednou třetinou od okraje a okrajem, mnohem větší než sklon svahu, na němž se daný tvar nachází. Navíc pokud by se sklon svahu výrazně uplatňoval při třídění tvarů, dalo by se předpokládat, že větší klasty se v rámci jednotlivých tvarů budou koncentrovat spíše v jejich spodní části (chápáno v části tvaru, nacházející se níže po spádnicí). Tedy že tvary budou z hlediska rozložení velikostí klastů asymetrické, kdy větší klasty budou koncentrovány ve spodní části tvarů, zatímco menší klasty budou v jejich horních částech, přičemž se předpokládá zachování negativní gradace velikostí klastů směrem od okrajů do středu tvaru. Toto však bylo provedenými analýzami potvrzeno pouze částečně, neboť daná závislost je pro klasty na okraji (poměr průměrných velikostí níže a výše ležících klastů ve stejné poměrné části tvaru na delší ose) na 5% hladině významnosti nesignifikantní ($r=0,17$ – z analýzy vyloučeny tvary, jejichž orientace delší osy se významně odlišuje od směru spádnice, neboť byly porovnávány pouze klasty měřené na delší ose). Rovněž v případě velikostí klastů v jedné třetině od okraje není závislost na sklonu delší osy průkazná ($r=-0,05$). V případě klastů ve dvoutřetinové vzdálenosti od okraje tvaru je však tato závislost poměrně silná ($r=0,52$). Toto je způsobeno tím, že centrální část tvaru (v níž se nacházejí části ve dvou třetinách od okraje polygonů) má sklon v podstatě shodný se sklonem svahu, na němž se tvar nachází. Pohyb klastů v centrálních částech tvarů je tak do značné míry podmíněn sklonem svahu, kdy dochází k hromadění relativně větších klastů v níže položených částech tvarů. Zároveň je však třeba podotknout, že v rámci analýzy klastů ve dvou třetinách od okraje byly porovnávány pouze 4 tvary. V případě poměrů velikostí klastů výše a níže po spádnicí ležících v jedné třetině od okraje a na okraji nebyla závislost na sklonu delší osy prokázána, protože v těchto částech je sklon povrchu tvaru větší než celkový sklon svahu, a má proto na pohyb klastů větší vliv.

Zajímavý je rovněž vliv indexu vyklenutí na rozdílnou velikost klastů nacházejících se výše a níže na spádnicí ve stejné poměrové části tvaru (tj. na okraji, v jedné třetině od okraje, ve dvou třetinách od okraje výše a níže na spádnicí). Z výsledků korelační analýzy vyplývá,

že u tvarů s vyšším indexem vyklenutí (do analýzy nebyly zahrnuty formy, jejichž delší osa je přibližně kolmá na spádnicí) jsou klasty ležící ve spodní části tvarů obecně větší než klasty v horní části tvarů, kdy pro klasty na okraji platí závislost $r=0,51$, pro klasty v jedné třetině od okraje $r=0,14$ a ve dvou třetinách od okraje $r=0,08$, z čehož vyplývá, že tento vztah se týká zejména klastů na okraji. Způsobeno je to zřejmě tím, že u tvarů s vysokým indexem vyklenutí, tedy u hodně vypouklých tvarů, je povrch značně ukloněný i v blízkosti středové části tvarů, zatímco u málo vypouklých tvarů je povrch, zejména ve středové části prakticky horizontální. Nachází-li se tvar na svahu, pak zejména u tvarů s vysokým indexem vyklenutí mají klasty větší tendenci přesunovat se směrem dolů po spádnicí a vzniká tak větší rozdíl ve velikosti klastů výše a níže ležících u tvarů s vyšším indexem vyklenutí. Porovnáme-li tuto závislost u tvarů, jejichž delší osa má sklon větší a menší než 6° , vychází závislost mnohem silnější u tvarů nacházejících se na svazích o sklonech větších než 6° . Pro klasty na okraji platí u tvarů na sklonech svahů větších než 6° $r=0,73$, zatímco u tvarů nalézajících se na sklonech svahů menších než 6° je Pearsonův korelační koeficient roven $r=0,52$. Pro klasty v jedné třetině od okraje dokonce platí závislost $r=0,91$ u tvarů na sklonech větších než 6° , zatímco u tvarů na menších sklonech než 6° , platí $r=0,31$. Tvary na sklonech větších než 6° však byly pro tuto analýzu pouze čtyři. Pro klasty ve dvou třetinách od okraje již tuto analýzu možné provést není, protože je možné porovnávat pouhé čtyři tvary, přičemž po dvou se nachází na sklonech větších, resp. menších než 6° . Důvodem, proč je zhodnoceno tak malé množství tvarů, je jejich zarostení vegetací a s tím spojená nemožnost měřit klasty v některých částech tvarů. Pro tuto analýzu je totiž nutné disponovat velikostmi klastů z obou měření (výše a níže na spádnicí) ve stejné poměrové části tvaru na delší ose.

Na základě výše zmíněného je tedy možné tvrdit, že difference mezi velikostmi klastů ležících výše a níže je primárně způsobena sklonem svahu (svahovými procesy), jehož příspěvek je silně determinován vypouklostí daného tvaru. Platí, že u tvarů nacházejících se na větších sklonech a hodně vypouklých je tato difference větší (tab. 17).

Tab. 17: Korelační analýza závislosti poměru níže a výše ležících klastů na sklonu delší osy a indexu vyklenutí tvarů (tučnou kurzívou – průkazné závislosti, horní index – počet hodnocených tvarů). Pozn.: Do analýzy nebyly zahrnuty tvary, jejichž orientace delší osy se významně odlišuje od směru spádnice a dále tvary, které se svojí kvalitou vytrídění vymykají průměru lokality, na niž se nacházejí. Poměr velikostí níže ku výše položeným klastům byl zvolen z důvodu, že lze očekávat větší klasty v níže ležící části tvaru. Čím je číslo vyšší, tím větší jsou klasty ležící níže oproti klastům v odpovídající horní části tvaru.

| p = hladina spolehlivosti (p<0,05) | Poměr velikostí níže a výše ležících klastů na delší ose | | |
|------------------------------------|--|---------------------|-------------------|
| | Okraj | 1/3 | 2/3 |
| Sklon delší osy | 0,17 ¹⁹ | -0,05 ¹⁴ | 0,52 ⁴ |
| Index vyklenutí | 0,51¹⁹ | 0,14 ¹⁴ | 0,08 ⁴ |
| Index vyklenutí - sklon >6° | 0,73 ⁵ | 0,91 ⁴ | - |
| Index vyklenutí - sklon <6° | 0,48 ¹⁴ | 0,31 ¹² | - |

Tabulka 18 však rovněž dokazuje, že kvalita vytrídění je poměrně silně ovlivněna i sklonovými poměry. Toto platí zejména pro centrální část tvaru – pro dvě třetiny od okraje a střed, kde jsou klasty v tvarech nacházejících se na velkých sklonech svahů menší než v tvarech na menších sklonech svahů. Důvodem je to, že centrální část tvaru má podobný sklon jako sklon svahu v místě, kde se tvar nachází, zatímco části tvaru blíže jeho okrajům se od tohoto sklonu více odlišují. Na vysokou závislost velikosti klastů ve středu tvaru na sklonu delší osy je však nutné pohlížet s odstupem, neboť soubor porovnávaných tvarů je v tomto případě úzký (tab. 18).

Tab. 18: Korelační analýza závislosti průměrných velikostí klastů a indexů vytrídění na sklonu (horní index – počet hodnocených tvarů). Pozn.: Do analýzy nebyly zahrnuty tvary, jejichž orientace delší osy se významně odlišuje od směru spádnice a dále tvary, které se svojí kvalitou vytrídění vymykají průměru lokality, na niž se nacházejí.

| p=hladina spolehlivosti (p<0,05) | Průměrná velikost klastů | | | | Index vytrídění | | |
|----------------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| | Okraj | 1/3 | 2/3 | Střed | SI _{O-1/3} | SI _{O-2/3} | ASI |
| Sklon delší osy | -0,21 ¹⁷ | -0,32 ¹⁷ | -0,35 ¹⁰ | -0,8 ³ | 0,4 ¹⁷ | 0,54 ¹⁰ | 0,52 ¹⁰ |
| Sklon odvozený DMR | -0,01 ¹⁷ | -0,08 ¹⁷ | -0,21 ¹⁰ | -0,6 ³ | 0,2 ¹⁷ | 0,35 ¹⁰ | 0,37 ¹⁰ |

Výše zmíněné poznatky podporují platnost teorií, týkajících se pohybu klastů na vyklenutých strukturách, které jsou především výsledkem diferenciálního mrazového vzdouvání (Washburn 1979). Na tyto vyklenuté struktury jsou vázány svahové procesy, které podmiňují pohyb klastů z vyklenutých center. Jde zejména o pohyb klastů v důsledku degradace jehlicovitého ledu a mechanického třídění (Ballantyne 1996, French 2007).

6. 6. FAKTORY URČUJÍCÍ KVALITU VYTŘÍDĚNÍ

Ve výše uvedených částech byl diskutován vliv jednotlivých faktorů na kvalitu vytřídění. Nyní následuje část, která shrnuje veškeré tyto faktory. Rovněž je ve zkratce popsáno, jak jednotlivé faktory kvalitu vytřídění ovlivňují.

6. 6. 1. Hlavní faktory určující kvalitu vytřídění

- 1) *Extremita mikroklimatických podmínek (vyjádřených nadmořskou výškou)* – ukázalo se, že tvary ve vyšší nadmořské výšce (mikroklimaticky exponovanější polohy mají lepší podmínky pro intenzivnější i četnější regelaci a další na ni vázané procesy) vykazují lepší vytřídění. Toto je způsobeno nižší průměrnou teplotou a intenzivnějším vyfoukáváním těchto lokalit, díky čemuž je zde omezeno ukládání sněhové pokrývky a dochází k hlubšímu promrzání půdy.
- 2) *Hodnota indexu vyklenutí (vypouklost tvaru)* – větší vypouklost tvaru usnadňuje třídění, protože při mrazovém třídění dochází k uplatnění gravitačně podmíněných procesů (pohyb spojený s degradací jehlicovitého ledu, mechanické třídění; Ballantyne 1996, French 2007). Pohyb větších klastů ze středu tvarů do úžlabí je tak snazší.
- 3) *Sklonové poměry svahu* – vyšší sklon svahu napomáhá gravitačně podmíněnému přesunu větších klastů z centrální části tvarů, která je sklonovými poměry daného místa nejvíce ovlivněna, po spádnicí do okrajových částí (pohyb spojený s degradací jehlicovitého ledu, mechanické třídění; Ballantyne 1996, French 2007). Zároveň způsobuje asymetričnost v rozložení klastů v centrálních částech tvarů.

- 4) *Velikost tvaru* – ukázalo se že menší tvary mají vyšší stupeň vytřídění. Ve větších tvarech jsou klasty nuceny putovat na větší vzdálenosti, proto je pro dosažení stejné kvality vytřídění u tvaru většího jako u tvaru menšího nutná vyšší intenzita nebo četnost procesů podmiňujících třídění, případně musí daný tvar vykazovat vhodnější morfologické charakteristiky.

6. 6. 2. Další možné faktory ovlivňující kvalitu vytřídění

- 5) *Predispozice pro vytřídění* – lze předpokládat, že některé tvary, resp. místa, na nichž vznikly, měly lepší předpoklady pro vytřídění než místa jiná. Tyto predispozice v sobě mohly zahrnovat některé již zmíněné faktory jako je extermity mikroklimatických podmínek či sklonové poměry svahu. Dalším by mohly být výraznější koncentrace jemné zvětraliny, které měly vyšší mrazovou sukceptibilitu (Ballantyne 2007) a docházelo k jejich většímu vyklenování, což napomáhalo výraznějšímu třídění. Navíc tím, že tato koncentrace jemnozrnného materiálu byla výraznější než jiné, byly dány rozdíly v kvalitě vytřídění ještě před započítáním vývoje tvarů a tříděním. Dalším faktorem mohla být velikost těchto koncentrací, která mohla do jisté míry určovat velikost budoucích tvarů (Washburn 1979).
- 6) *Průměrná velikost klastů* – vliv tohoto faktoru by mohl spočívat v tom, že větší klasty si vzájemně více brání v pohybu než menší klasty. Druhým důvodem by mohl být fakt, že v málo vyklenutých tvarech, které se zároveň nacházejí na malých sklonech, nelze očekávat velký příspěvek gravitace na třídění. Na horizontálním či málo ukloněném povrchu je proto mnohem složitější přemístit větší klast oproti menšímu (French 2007).
- 7) *Činnost vegetace* – k uplatnění vegetace došlo při jejím opětovném návratu zpět do vyšších nadmořských výšek. Zakryté tvary byly chráněny před působením kryogenních procesů, třídění tak bylo omezeno nebo ukončeno (Sekyra et Sekyra 1995, Washburn 1979). Navíc mohlo dojít k druhotným změnám v kvalitě vytřídění, především k jejímu snížení.

6. 7. KVALITA VYTŘÍDĚNÍ NA JEDNOTLIVÝCH LOKALITÁCH

V následující části je provedeno celkové zhodnocení kvality vytřídění a její rozložení ve studované oblasti s přihlédnutím k faktorům, které byly zmíněny v předchozí kapitole (6. 6.). Pro tento účel je nutné interpretovat zvláště lokality na Luční hoře a Modré sedlo, protože obě oblasti jsou poněkud odlišné (litologie, nadmořská výška, expoziční charakteristiky).

Tabulka 19 zobrazuje dispozice jednotlivých lokalit pro vytřídění z hlediska jejich polohových či morfologických charakteristik, které byly identifikovány jako klíčové pro kvalitu vytřídění (kap. 6. 6.).

Tab. 19: Dispozice jednotlivých lokalit pro vytřídění (+ příznivé podmínky, - nepříznivé podmínky, ± neutrální podmínky). Pozn.: Velikost klastů nebyla u lokalit na Luční hoře hodnocena, neboť je na všech podobná.

| Faktor | Luční hora 1 | Luční hora 2 | Luční hora 3 | Luční hora 4 | Modré sedlo |
|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| Extremita | + | + | + | - | ± |
| Velikost tvarů | + | ± | ± | ± | - |
| Index vyklenutí | + | - | + | - | ± |
| Sklonové poměry | + | - | + | + | - |
| Vegetační pokryv | + | - | - | - | - |
| Velikost klastů | | | | | - |

6. 7. 1. Kvalita vytřídění na Luční hoře

6. 7. 1. 1. Kvalita vytřídění na Luční hoře 1 (1553 m n. m.)

Luční hora 1 dosahuje v rámci studované oblasti nejvyšší kvality vytřídění. Jedná se o nejvýše položenou lokalitu, díky čemuž tato vykazuje nejvyšší extremitu mikroklimatických podmínek, která je navíc umocněna polohou na vrcholové plošině Luční hory, díky čemuž je vystavena větrům vanoucím ze všech směrů. Deflace je zde tak mnohem intenzivnější než na zbylých lokalitách a sněhová pokrývka zde dosahuje potenciálně minimální hodnoty (Jeník 1961). Regelace se zde proto může vyskytovat častěji (Harčarik 2002, Křížek et al. 2006). Dalším faktorem, který se po provedených analýzách jeví jako zcela zásadní, je nejmenší velikost polygonů na této lokalitě. Vytřídění menších tvarů totiž bylo mnohem snazší.

V případě Luční hory 1 sehrála roli i velká vypouklost zdejších tvarů (vysoký index vyklenutí), která je nejvyšší v rámci studované oblasti. Vypouklejší tvary totiž obecně dosahují vyšší kvality vytřídění, díky většímu příspěvku gravitace. Rovněž sklonové poměry této lokality se jeví jako příznivé (sklony delších os polygonů dosahují vysokých hodnot), což napomohlo zejména přesunu větších klastů z centrálních částí polygonů k okrajům. Na této lokalitě se navíc vyskytují tvary neporostlé vegetací, která brání působení regulačních procesů a znemožňuje třídění (Sekyra et Sekyra 1995, Washburn 1979). Navíc tak nemohlo dojít k druhotnému snížení kvality vytřídění činností vegetace.

6. 7. 1. 2. Kvalita vytřídění na Luční hoře 2 (1547 m n. m.)

Tato lokalita svojí kvalitou vytřídění porušuje gradient postupně se zvyšující kvality vytřídění s nadmořskou na Luční hoře, neboť zdejší polygony jsou hůře vytříděny než tvary na níže ležící, tedy méně mikroklimaticky exponované lokalitě Luční hora 3. Nižší kvalita vytřídění na této lokalitě oproti Luční hoře 3 nemůže být výsledkem odlišné velikosti polygonů, neboť polygony na obou lokalitách (Luční hora 2 a Luční hora 3) jsou si z hlediska půdorysné velikosti velmi podobné. Zásadní odlišnost však nastává u indexu vyklenutí, kdy tato lokalita dosahuje nejnižší hodnoty v rámci celé studované oblasti. Rovněž sklonové poměry svahů Luční hory 2 nejsou příznivé, neboť povrch je zde prakticky vodorovný. Při třídění polygonů na této lokalitě tak nedocházelo k výraznému uplatnění svahových procesů. Tvary na této lokalitě jsou většinou porostlé vegetací, která mohla způsobit druhotné změny v kvalitě vytřídění. Na nižší kvalitu vytřídění této lokality by mohly mít vliv i její polohové charakteristiky, neboť tato se nachází na kryoplanační terase v blízkosti kryoplanačního stupně, kterým je omezena. Teoreticky by se tedy mohlo jednat o částečně závětrnou lokalitu, resp. méně vyfoukávanou. Důvodem by mohly rovněž být horší predispozice pro vytřídění dané větší homogenitou větších a menších klastů na této lokalitě ještě před iniciální fází třídění.

6. 7. 1. 3. Kvalita vytřídění na Luční hoře 3 (1537 m n. m.)

Tvary na této lokalitě jsou lépe vytříděny než polygony na výše položené Luční hoře 2. Odlišnost v kvalitě vytřídění nemůže být způsobena extremitou, neboť tu lze na Luční hoře 3 očekávat nižší. Rovněž tvary na obou lokalitách jsou si podobné velikostí, přičemž na Luční hoře 3 jsou nepatrně větší. Tyto skutečnosti by předurčovaly k lepšímu vytřídění polygonů na

Luční hoře 2. Rozdíl mezi oběma lokalitami (Luční hora 2 a Luční hora 3) je v indexu vyklenutí, v němž Luční hora 3 dosahuje druhé nejvyšší hodnoty v rámci všech lokalit. Rovněž sklonové poměry svahů této lokality jsou pro vyšší kvalitu vytřídění příznivé (vyšší sklony delších os tvarů). Příspěvek gravitace při třídění tak byl mnohem větší, což zřejmě představovalo zásadní rozdíl, jehož výsledkem je vyšší kvalita vytřídění tvarů na této lokalitě než na Luční hoře 2. Z hlediska vegetačního pokryvu lze na této lokalitě vlivem její nadmořské výšky předpokládat dřívější návrat vegetace než na lokalitě Luční hora 2, výsledkem čehož by rovněž měla být nižší kvalita vytřídění.

6. 7. 1. 4. Kvalita vytřídění na Luční hoře 4 (1457 m n. m.)

Luční hora 4 představuje v rámci transektu na Luční hoře nejhůře vytříděnou lokalitu. Toto však koresponduje s postupně se zhoršujícími podmínkami pro vývoj strukturních půd směrem do nižších nadmořských výšek, kde lze předpokládat nižší extremitu mikroklimatických podmínek, tedy menší četnost a intenzitu regelace a procesů na ní vázaných. Z hlediska velikost tvarů se tato od lokalit Luční hora 2 a Luční hora 3 prakticky neliší. Polygony na této lokalitě dosahují relativně nízkého indexu vyklenutí, v důsledku čehož byl příspěvek gravitace, resp. svahových procesů na třídění klastů menší. Naopak z hlediska sklonových poměrů svahů vykazuje tato lokalita poměrně příznivé podmínky, které jsou srovnatelné s lokalitami Luční hora 1 a Luční hora 2. Lze rovněž očekávat, že návrat vegetace zpět do vyšších nadmořských výšek postihl tuto lokalitu nejdříve, což mohlo přispět k pozorované nižší kvalitě vytřídění, jež byla vegetací druhotně ovlivněna.

6. 7. 2. Kvalita vytřídění na Modrém sedle (1510 m n. m.)

Lokalita Modré sedlo se od lokalit na transektu na Luční hoře značně odlišuje téměř ve všech charakteristikách, proto je nutné výsledky za tuto lokalitu interpretovat samostatně.

Tvary na této lokalitě mají v rámci studované oblasti nejnižší kvalitu vytřídění. Rovněž se však jedná o mikroklimaticky exponovanou lokalitu, taktéž vystavenou intenzivní deflaci. Navíc polohové charakteristiky této lokality jsou natolik příznivé, že i při předpokládané změně převládajícího proudění ve vrcholných fázích glaciálu ze SZ na S až SV (Jeník 1961) zde zřejmě nedošlo k velké změně větrných poměrů, neboť Modré sedlo představuje jakousi „nálevku“, která usměrňuje proudění ze SZ až SV kvadrantu.

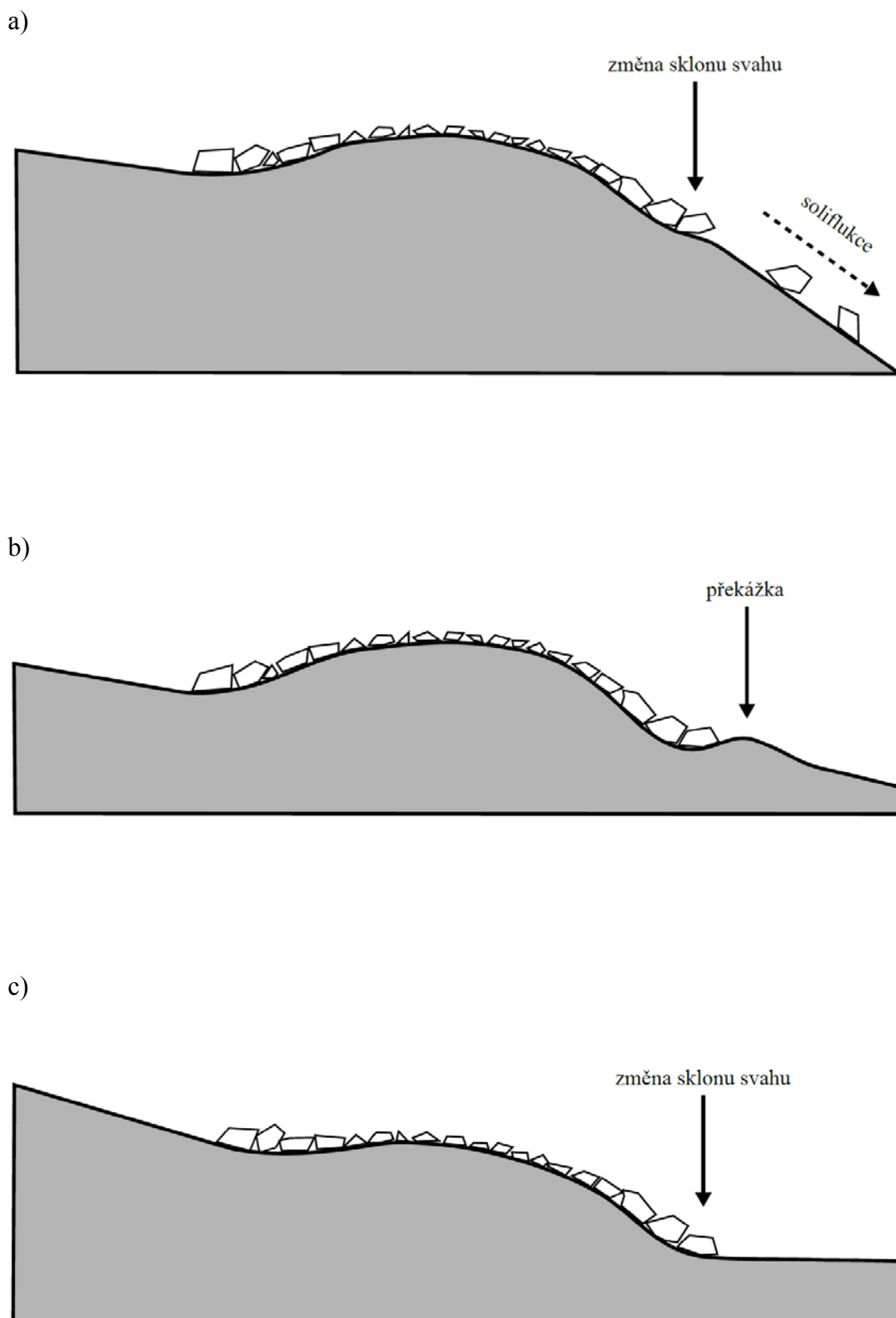
Vyfoukávání této lokality tak zřejmě probíhalo neustále, což bylo pro vývoj strukturních půd příznivé. To, že se jedná o vhodnou lokalitu z hlediska vývoje strukturních půd, dokazují recentně aktivní tříděné kruhy (Sekyra et Sekyra 1995). Tvary studované v této práci se však nacházejí poněkud dále od místa výskytu tříděných kruhů, které se již jeví jako méně vhodné, což dokazují vegetací zarostlé tvary a husté porosty kleče, zatímco v místě výskytu tříděných kruhů se vegetace prakticky neuplatňuje. Mnohem důležitějším faktorem tedy zřejmě byla velikost tvarů na Modrém sedle, která je oproti lokalitám na Luční hoře výrazně vyšší, což je dáno litologickou odlišností lokality. Proto byla pro dosažení určité úrovně kvality vytřídění nutná rovněž větší intenzita a četnost procesů třídění. Důvodem mohla být i větší průměrná velikost klastů na Modrém sedle, jejichž přemísťování tak mohlo být mnohem obtížnější než přesun menších klastů na Luční hoře. Toto je však diskutabilní, neboť tvary na Modrém sedle se vyznačují značnou vypouklostí, díky níž je přemísťování větších klastů naopak snazší. Lze však předpokládat, že pokud jsou klasty větší, brání si vzájemně v pohybu mnohem více než klasty menší. Rovněž sklonové poměry svahů této lokality nejsou příznivé.

6. 8. 1. Pravidelnost forem

Z hlediska vztahu pravidelnosti tvarů a extremity mikroklimatických podmínek, nebyla nalezena průkazná závislost, z čehož lze vyvozovat, že pravidelnost tvarů závisí především na morfologii terénu, resp. na sklonových poměrech svahů, kdy na větších sklonech se obecně vyskytují protaženější formy, zatímco na menších sklonech je tomu naopak (kap. 5. 1. 2.; Křížek et al. 2007b). Neznamená to však, že vliv extremity na pravidelnost je tímto vyloučen, neboť pro analýzu dané závislosti by bylo třeba porovnávat tvary, nacházející se na stejných či velmi podobných sklonech svahů, aby bylo zaručeno, že rozdíly mezi různě exponovanými lokalitami jsou způsobeny extremitou mikroklimatických podmínek, nikoli rozdílnými sklony svahů. Toto tvary hodnocené v předkládané práci nespĺňují. Přesto by i toto porovnání bylo velice obtížné, neboť na svahové procesy nemá vliv pouze sklon svahu. Důležitou roli hraje orientace vůči světovým stranám (Demek 1987), v případě studované oblasti rovněž existence převládajícího SZ proudění, díky němuž je zde přes zimu minimum sněhové pokrývky, půda hlouběji promrzá a na jaře dochází k jejímu pomalejšímu rozmrazání (Jeník 1961). Klíčová je pro aktivitu svahových procesů rovněž s převládajícími větry související dotace srážek, charakter substrátu či vysoušení půdy větrem (Křížek et al. 2007, Sekyra 1960) či lokálními nepravidelnostmi reliéfu. To, že v rámci

studované oblasti pravidelnost tvarů mimo sklonu svahu ovlivňují i další faktory, je zřejmé, neboť některé tvary se vyznačují výraznou protažeností na svazích o malých sklonech. To by bylo možné vysvětlit následujícími třemi příklady (obr. 40):

- a) V případě, že by se tvar nacházel na mírně ukloněné plošině, jejíž osa by sledovala průběh vrstevnic a která by byla omezena srázem o větším sklonu svahu, než jaký má tato plošina, bylo by protažení tvaru ve směru sklonu svahu bráněno, neboť na hraně plošiny by „ujížděl“ a „zanikal“. Byl by tedy hranou plošiny omezen, avšak v důsledku nízkého sklonu svahu této plošiny, by mohlo docházet k jeho protahování do stran ve směru vrstevnic (tedy v ose plošiny), aniž by tomu bylo svahovými procesy výrazněji bráněno (Křížek 2009).
- b) V případě, že by se tvar nacházel na mírně ukloněném svahu, docházelo by k jeho protahování svahovými procesy ve směru sklonu svahu (Křížek et al. 2007b). Pokud by však na svahu byla terénní nerovnost v podobě drobné elevace, mohla by tato zabránit dalšímu „stékání“ tvaru po svahu a docházelo by tak pouze k jeho rozšiřování (protahování) do stran ve vrstevnicovém směru tak, jak bylo naznačeno v předchozím případě.
- c) Jako třetí přichází v úvahu modifikovaná varianta příkladu b, přičemž elevace by zde byla nahrazena snížením sklonu svahu, tedy znemožněním svahových procesů.



Obr. 40: Hypotetický vliv změny sklonu svahu a terénní překážky na protažení tvarů.

Pro tři výše uvedené příklady (obr. 40) by muselo platit, že sklon svahu, na kterém by se tvar nacházel, by musel dosahovat takové hodnoty, aby umožňoval soliflukci, zároveň by

však nesměl dosahovat příliš vysoké hodnoty, aby se polygon mohl rozšiřovat do stran ve vrstevnicovém směru a nedocházelo k jeho „stékání“ po svahu v takové míře, která by rozšiřování do stran zcela znemožnila (při pomalé soliflukci by se zřejmě do stran rozšiřovat mohl).

Pravidelnost tvarů by rovněž mohla být ovlivněna nerovnoměrným rozložením klastů různé velikosti uvnitř tvaru. Pokud by v některé části tvaru bylo nahromaděno větší množství hrubozrnnějšího materiálu, mohlo by být další expanzi tvaru tímto směrem bráněno a tento by se tak více rozšiřoval do těch směrů, kde by vývoji bylo bráněno méně. Pravidelnost tvarů může být rovněž ovlivněna činností tvarů sousedních, kdy tyto svojí aktivitou deformují okolo ležící tvary nebo může být ovlivněna splynutím sousedních tvarů (Sekyra 1960).

6. 8. 2. Index vyklenutí tvarů

Na hodnotu indexu vyklenutí má vliv velikost daného tvaru, neboť průkazně závisí na délce obou os a na průměrné délce strany (délka delší osy $r=-0,57$, délka kratší osy $r=-0,58$ a průměrná délka strany $r=-0,52$), přičemž platí, že u tvarů menších dosahuje index vyklenutí vyšších hodnot. Bezprostředně je hodnota indexu vyklenutí přirozeně ovlivněna délkou kratší osy, která je součástí výpočtu indexu, protože spolu však délka delší a kratší osy a průměrná délka strany vzájemně korelují, ovlivňují délka delší osy a průměrná délka strany zprostředkovaně hodnotu indexu vyklenutí. Toto je vysvětlitelné tak, že v případě tvarů větších rozměrů je pro dosažení vyšší hodnoty indexu vyklenutí rovněž nutná vyšší hodnota maximálního vyklenutí. Aby ta byla dosažena, je nutné, aby se tvar nacházel ve vhodných podmínkách pro jeho vyklenování. Tyto podmínky jsou splněny na mikroklimaticky exponovanějších místech, která na sebe váží častější a intenzivnější regulaci, jejímž působením dochází k vyklenování půdy (viz Washburn 1956, 1979, Ballantyne 1996, 2007, Matsuoka et al. 2003, French 2007). V našem případě k němu dochází ve vyšší nadmořské výšce. Přihlédneme-li k faktu, že formy větších rozměrů se nacházejí spíše v nižších nadmořských výškách, pak je negativní závislost indexu vyklenutí na charakteristikách velikosti tvaru zřejmá.

6. 8. 3. Maximální vyklenutí tvarů

Hodnota maximálního vyklenutí je ovlivněna velikostí tvaru, neboť existuje slabá, avšak neprůkazná závislost maximálního vyklenutí na délce kratší osy a průměrné délce strany tvaru (tab. 20). Vyloučíme-li z analýzy tvar 1 (Modré sedlo), je výsledná závislost průkazná, a to i v případě délky delší osy. Důvodem je fakt, že tvar 1 dosahuje výrazně větších hodnot delší a kratší osy i průměrné délky strany v rámci celého souboru měřených tvarů, zároveň však vykazuje jednu z nejnižších hodnot maximálního vyklenutí a z morfologického hlediska tedy není příliš reprezentativním tvarem. Výsledek analýzy v tabulce 20 proto značně zkresluje. Proč se toto zkreslení projevuje především u závislosti na délce delší osy, je způsobeno tím, že se jedná o druhý nejvíce protažený tvar. Proto lze tvrdit, že hodnota maximálního vyklenutí závisí na charakteristikách velikosti tvaru, kdy u větších forem je možné dosáhnout většího maximálního vyklenutí než u tvarů menších (index vyklenutí má určitou mezní hodnotu), uvažujeme-li stejný typ strukturních půd⁵. Maximální vyklenutí by hypoteticky mělo být ovlivněno i sklonem svahu, kdy menší sklony by měly být z hlediska maximálního vyklenutí tvarů vhodnější než sklony větší, na nichž může v důsledku uplatnění svahových procesů (zejména soliflukce) docházet k „roztékání“ tvarů ve směru sklonu svahu (Křížek et al. 2007b) a tedy ke snižování hodnoty maximálního vyklenutí. Tato závislost však prokázána nebyla ($r=-0,15$; z výpočtu vyloučeny tvary číslo 1, 12, 20, 24, 27 a 29, jejichž delší osa není protažena ve směru sklonu svahu, tj. u nichž lze kromě svahových procesů předpokládat uplatnění dalších procesů). To, že dané závislosti nejsou průkazné, by mohlo být způsobeno tím, že tvary, které byly měřeny, se vyskytují na sklonech příliš malých na to, aby docházelo k jejich intenzivnějšímu „roztékání“ nebo tím, že spodní část polygonu (po spádnici) „stéká“ po svahu pomaleji než jeho horní část a vytváří se tak kapkovitý tvar, přičemž dochází ke zvýšení maximálního vyklenutí (toto se projevuje i u indexu vyklenutí). V tabulce 21 je zobrazen vztah maximálního vyklenutí a charakteristik pravidelnosti tvarů. Je zřejmé, že protaženější a méně pravidelné formy mají nižší hodnotu maximálního vyklenutí, což by svědčilo spíše o tom, že na větším sklonu dochází ke snižování maximálního vyklenutí, neboť protaženější a nepravidelnější tvary se nacházejí na větších sklonech. Nicméně toto je zřejmě způsobeno výběrem studovaných tvarů.

⁵ Některé typy strukturních půd vznikající za spolupůsobení vegetace (např. thufury) vykazují vysoké vyklenutí i při malých horizontálních rozměrech (Křížek et al. 2005).

Tab. 20: Vztah maximálního vyklenutí a charakteristik velikosti tvaru (tučnou kurzívou – významná korelace).

| p = hladina spolehlivosti ($p < 0,05$) | Délka delší osy | Délka kratší osy | Průměrná délka strany |
|--|-----------------|------------------|-----------------------|
| Maximální vyklenutí | 0,09 | 0,33 | 0,31 |
| Maximální vyklenutí - bez tvaru 1 | 0,49 | 0,52 | 0,56 |

Tab. 21: Vztah maximálního vyklenutí a charakteristik pravidelnosti tvaru (tučnou kurzívou – významná korelace).

| p = hladina spolehlivosti ($p < 0,05$) | Poměr delší a kratší osy | Směrodatná odchylka úhlů stran polygonů |
|--|--------------------------|---|
| Maximální vyklenutí | -0,42 | -0,33 |
| Maximální vyklenutí - bez tvaru 1 | -0,37 | -0,29 |

7. ZÁVĚR

Hlavním cílem práce bylo zjistit prostorové rozložení kvality vytřídění strukturních půd (reprezentována indexy vytřídění, obr. 42) ve studovaném území a její vztah k:

- extremitě mikroklimatických podmínek (reprezentované nadmořskou výškou)
- sklonitostním poměrům svahů
- morfologickým charakteristikám strukturních půd

Provedenými analýzami bylo zjištěno, že lokality v rámci studovaného území lze jak z morfologického hlediska, tak z hlediska kvality vytřídění rozdělit do tří skupin:

- 1) Luční hora 1
- 2) Luční hora 2, Luční hora 3 a Luční hora 4
- 3) Modré sedlo

Nejdůležitějším poznatkem práce proto je, že kvalita vytřídění a morfologické charakteristiky strukturních půd spolu vzájemně velice úzce souvisí (srov. obr. 41 a 42). Tvary menších rozměrů a více vyklenuté tvary (s vyšším indexem vyklenutí) obecně dosahují vyšší kvality vytřídění než tvary s opačnými charakteristikami. Morfologie strukturních půd je však výslednicí mikroklimatické extremity, můžeme proto tvrdit, že kvalita vytřídění je rovněž závislá (zprostředkováno morfologií) na mikroklimatické extremitě. V rámci indexů vytřídění obecně dochází ke zvyšování jejich hodnoty s nadmořskou výškou (obr. 42). V rámci transektu na Luční hoře dosahuje nejvyšší kvality vytřídění Luční hora 1, nejnižší naopak Luční hora 4. Vliv mikroklimatické extremity (reprezentované nadmořskou výškou) je patrný zejména porovnáme-li lokality Luční hora 3 a Luční hora 4, které dělí největší výškový rozdíl. Od lokalit na Luční hoře se výrazně liší lokalita Modré sedlo. Zde byla zaznamenána výrazně větší velikost klastů v rámci celých tvarů oproti lokalitám na Luční hoře (dáno odlišnou litologií) a rovněž odlišné morfologické charakteristiky, výsledkem čehož dosahují tvary na této lokalitě nejnižší kvality vytřídění v rámci celé studované oblasti (obr. 42).

Rovněž byl prokázán vliv sklonových poměrů svahů na kvalitu vytřídění. Na svazích o větších sklonech jsou centrální části tvarů lépe vytříděné. Sklon svahu má navíc vliv na asymetričnost tvarů z hlediska rozmístění klastů uvnitř tvarů. V tvarech na svazích o větších

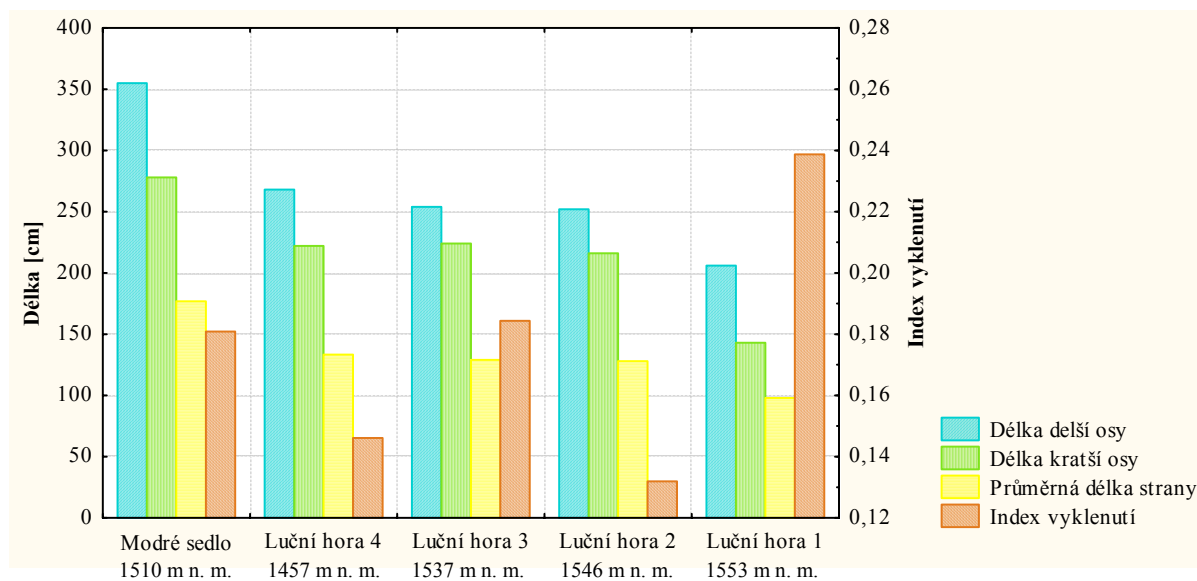
sklonech jsou klasty ve stejné poměrové části od okraje tvaru ležící výše na spádnici menší než klasty ležící níže na spádnici. To se týká zejména klastů ve dvou třetinách od okraje, směrem k okrajům tvarů se vliv sklonu svahu jak na kvalitu vytřídění, tak na asymetričnost tvarů z hlediska rozložení klastů, snižuje. Asymetričnost je výraznější u vypouklejších tvarů.

Na základě provedených analýz a studia odborné literatury byly identifikovány následující faktory ovlivňující kvalitu vytřídění: extremita mikroklimatických podmínek (reprezentovaná nadmořskou výškou), vypoukllost tvaru, sklonové poměry svahu, velikost tvaru, predispozice pro vytřídění, průměrná velikost klastů a činnost vegetace.

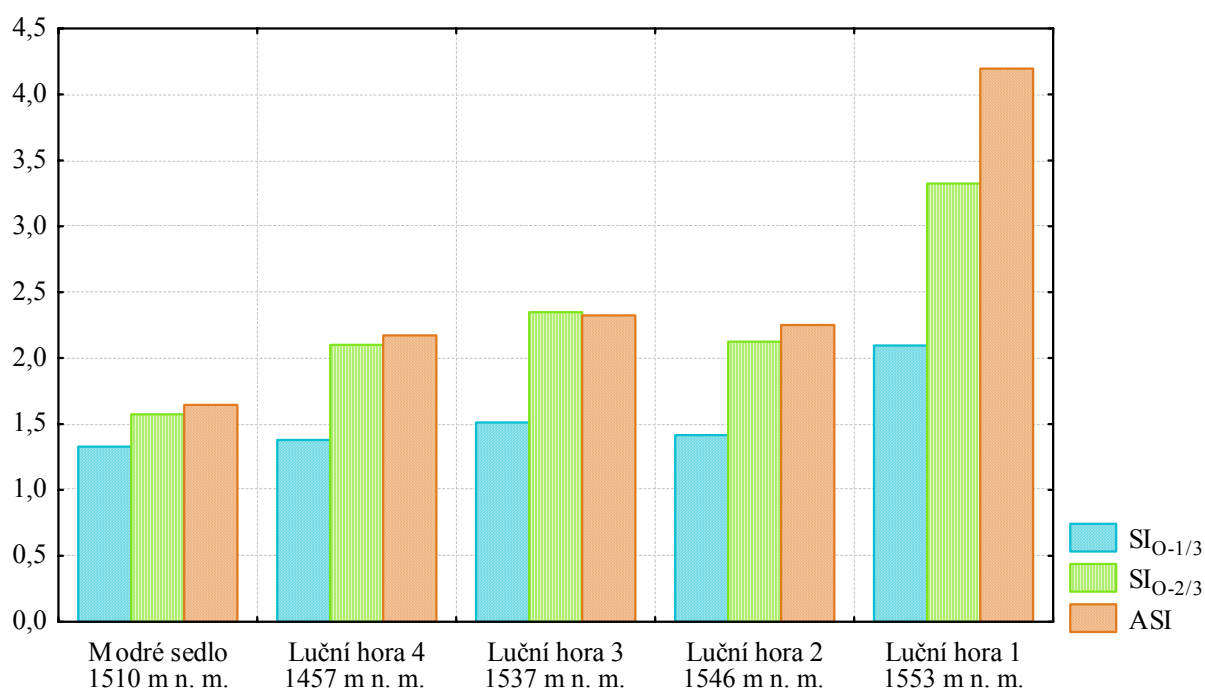
Indexy vytřídění se ukázaly být vhodným nástrojem k hodnocení kvality vytřídění strukturních půd, zejména $SI_{O-1/3}$, $SI_{O-2/3}$ a ASI. Indexy vytřídění operující s velikostmi středových klastů (SI_{O-S} , $SI_{1/3-S}$, $SI_{2/3-S}$) bylo možné aplikovat pouze na omezený počet tvarů, nicméně z důvodu koncentrací větších klastů ve středech některých zjevně velmi dobře vytříděných tvarů, se ukazují jako nevhodné. Index vytřídění $SI_{1/3-2/3}$ se ukázal jako zcela nevyhovující charakteristika, neboť jeho hodnota příliš nesouvisí s vytříděností daného tvaru (viz kap. 6. 1.).

Závislost pravidelnosti (v půdorysu) strukturních půd na mikroklimatické extremitě nebyla prokázána. Hlavním faktorem, ovlivňujícím pravidelnost či protaženost tvarů ve studovaném území, je sklon svahu.

Práce přispěla k pochopení problematiky a upřesnění znalostí o vývoji tříděných půd, zejména z hlediska stupně jejich vytřídění. Přínosem práce je vytvoření metodiky hodnocení kvality vytřídění strukturních půd. Během práce zároveň vyvstala celá řada nových otázek, týkajících se zejména morfologie strukturních půd, které by mohly být podkladem pro další výzkum. Jedná se především o existenci tvarů, jejichž delší osa se výrazně odchyluje od spádnice. Rovněž otázka menší velikosti polygonů na vrcholové plošině Luční hory (Luční hora 1) oproti zbylým lokalitám na Luční hoře (Luční hora 2, Luční hora 3 a Luční hora 4) by mohla být detailněji prostudována. Pro podpoření hypotézy o vyšším vertikálním teplotním gradientu na SZ úbočí Luční hory by mohlo být provedeno mikroklimatické měření, stejně jako měření mocnosti, rozložení a délky trvání sněhové pokrývky, které zde doposud provedeno nebylo. Zároveň by měl být zhodnocen širší soubor tvarů, aby mohly být potvrzeny, případně vyvráceny výsledky této práce.



Obr. 41: Průměrná délka delší a kratší osy, průměrná délka strany tvaru a indexy vyklenutí na jednotlivých lokalitách.



Obr. 42: Indexy vyřídění $SI_{O-1/3}$, $SI_{O-2/3}$ a ASI jednotlivých lokalit.

8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- BALATKA, B., KALVODA, J. (2006): *Geomorfologické členění reliéfu Čech*. Kartografie Praha, a. s., 1. vydání, Praha. 79 s.
ISBN 80-7011-913-6
- BALLANTYNE, C., K., MATTHEWS, J., A. (1983): Desiccation cracking and sorted polygon development, Jotunheimen, Norway. *Arctic and Alpine Research*, Vol. 15, 3, s. 339-349.
- BALLANTYNE, C., K. (1996): Formation of a miniature sorted patterns by shallow ground freezing: A field experiment. *Permafrost and Periglacial Processes*, Vol. 7, s. 409-424.
- BALLANTYNE, C., K. (2007): Patterned ground. In *Encyclopedia of Quaternary Science*, Elias, S., A. (editor), Vol. 3, Elsevier, Oxford, s. 2182-2191.
ISBN 978-0-444-52747-9
- CZUDEK, T. (1997): *Reliéf Moravy a Slezska v kvartéru*. SURSUM, Tišnov. 213 s.
ISBN 8085799278.
- CZUDEK, T. (2004): Pleistocénní permafrost v České republice. In Rypl, J. (editor) *Geomorfologický sborník 4. České Budějovice : Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích*. s. 145-148.
- DEMEK, J. (1987): *Obecná geomorfologie*. Akademia, Praha. 487 s.
- ENGEL, Z. (2003): *Vývoj pleistocénního zalednění české části Krkonoš*. Disertační práce. PřF UK. Katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha. 168 s.
- ESRI (2008): *ArcGIS 9.3 Desktop Help*. Environmental Systems Research Institute, Inc. Redlands.
- FRENCH, H., M. (2007): *The Periglacial Environment*. John Wiley and Sons, 458 s.
ISBN 13:978-0-470-86588-0
- GŁOWICKI, B. (1997): Wieloletniaia seria pomiarow temperatury powietrzia na Śnieżce. In: Sarosiek J., Štursa J. (eds): *Geoekologiczne problemy Karkonoszy I*. s. 117–123.
- HARČARIK, J. 2002: Microclimatic relationships of the arctic-alpine tundra. *Opera Corcontica*, roč. 39, s. 45–68.
- HENDL, J. (2004): *Přehled statistických metod zpracování dat. Analýza a metaanalýza dat*. Vyd. 1, Portál, Praha, 584 s.
ISBN 80-7367-123-9

- CHALOUPSKÝ, J., ČERVENKA, J., JETEL, J., KRÁLÍK, F., LÍBALOVÁ, J., PÍCHOVÁ, E., POKORNÝ, J., POŠMOURNÝ, K., SEKYRA, J., SHRBNÝ, O., ŠAMANSKÝ, K., ŠRÁMEK, J., VÁCL, J. (1989): *Geologie Krkonoš a Jizerských hor*. Akademia, Praha. 288 s.
- JANÁSKOVÁ, B. (2006): Ukládání a odbourávání sněhu ve vrcholové oblasti východních Krkonoš. *Opera Corcontica*, roč. 43, s. 57–80.
- JENÍK, J. (1961): *Alpínská vegetace Krkonoš, Hrubého Jeseníku a Králického sněžníku. Teorie anemo-orografických systémů*. Academia, Praha, 407 s.
- KOCIÁNOVÁ, M., SPUSTA, V. (2000): Vliv lavinové aktivity na kolísání horní hranice lesa v Krkonoších. *Opera Corcontica*, roč. 37, s. 473-480.
- KOCIÁNOVÁ, M. (2002): Otázka projevů chladných období postglaciálu v krkonošské tundře. *Opera Corcontica*, roč. 39, s. 143-151.
- KOLEKTIV AUTORŮ (2007): *Atlas podnebí Česka. Climate Atlas of Czechia*. ČHMÚ, Univerzita Palackého v Olomouci, Praha – Olomouc, 255 s.
ISBN 978-80-86690-26-1 (ČHMÚ)
ISBN 978-80-244-1626-7 (UP)
- KOZŁOWSKA, A., RAČZKOWSKA, Z. (2002): Vegetation as a tool in the characterisation of geomorphological forms and processes: an example from the Abisko Mountains. *Geografiska Annaler, Series A, Physical Geography*, Vol. 84, 3/4, s. 233-244.
- KŘÍŽEK, M., ENGEL, Z., TREML, V. (2005): Strukturální půdy v alpinském bezlesí Vysokých Sudet – stručná charakteristika. Výzkumná zpráva, GA AV B3111302. Katedra fyzické geografie a geoekologie PŘF UK, Praha, 2005, 13 s.
- KŘÍŽEK, M., TREML, V., ENGEL, Z. (2006): Recentní aktivita strukturálních půd ve Vysokých Sudetech. In *Geomorfologický sborník 5*, Aleš Létal, Irena Smolová (eds), PŘF UP, Česká asociace geomorfologů, 1. vydání, Olomouc: PŘF UP, s. 38.
ISBN 80-244-1320-5
- KŘÍŽEK, M. (2007): Periglacial landforms above alpine timberline in the High Sudetes. In *Geomorphological Variations*, Andrew S. Goudie and Jan Kalvoda (eds), P3K, 1. vydání, Praha: 2007, s. 313-337.
ISBN: 978-80-903584-6-1.
- KŘÍŽEK, M., TREML, V., ENGEL, Z. (2007a): Litologická predispozice, morfologie a rozmístění strukturálních půd alpického bezlesí Vysokých Sudet. *Geografie – Sborník ČGS, ČGS*, Praha, 112/1.

- KŘÍŽEK, M., TREML, V., ENGEL, Z. (2007b): Zákonitosti prostorového rozmístění periglaciálních tvarů v Krkonoších nad alpínskou hranicí lesa. *Opera Corcontica*, roč. 44, 1, s. 67–80.
- KUBÍKOVÁ, J., KOSINOVÁ, J., JENÍK, J. (1965): Výsledky některých zimních mikroklimatických měření v západních Krkonoších. *Opera Corcontica*, roč. 2, s. 17-26.
- MATSUOKA, N., ABE, M., IJIRI, M. (2003): Differential frost heave and sorted patterned ground: Field measurements and a laboratory experiment. *Geomorphology*, 52, s. 73–85.
- MROZKOVÁ, M. (2006): *Teplotní charakteristiky strukturních půd Vysokých Sudet*. Diplomová práce, PřF UK, Katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha, 111 s.
- NYPLOVÁ, P. (2006): *Strukturní půdy východních Krkonoš*. Bakalářská práce. PřF UK. Katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha, 50 s.
- NYPLOVÁ, P. (2008): *Monitoring a modelace procesu vzniku a vývoje aktivních strukturních půd v Krkonoších*. Diplomová práce. PřF UK. Katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha, 127 s.
- PELÍŠEK, J. (1974): Půdy Krkonošského národního parku. *Opera Corcontica*, roč. 11, s. 7-35.
- PILOUS, V. (1975): Strukturní mury v Krkonoších – II. část. *Opera Corcontica*, roč. 12, s. 7-50.
- SEKYRA, J. (1960): *Působení mrazu na půdu: kryopedologie se zvláštním zřetelem k ČSR*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství ČSAV, Geotechnica, sv. 27, 164 s.
- SEKYRA, J. (1964): Kvartérně geologické a geomorfologické problémy krkonošského krystalinika. *Opera corcontica*, roč. 1, s. 7-24.
- SEKYRA, J., SEKYRA, Z. (1995): Recent cryogenic processes. In: Soukupová L., Kociánová M., Jeník J., Sekyra J. (eds), Arctic-alpine tundra in the Krkonoše, the Sudetes. *Opera Corcontica*, roč. 32, s. 31–37.
- Správa KRNAP (2009): *Popis území*. [online]. 2006. [cit. 2009-4-12].
Dostupné z: <www.krn timer.cz>.
- SVOBODA, J. F. et al. (1960): *Naučný geologický slovník I. díl A-M*. Československá akademie věd. Sekce geologicko-geografická. Ústřední ústav geologický, Nakladatelství Československé akademie věd, Praha. 700 s.
- SVOBODA, J. F. et al. (1961): *Naučný geologický slovník II. díl N-Ž*. Československá akademie věd. Sekce geologicko-geografická. Ústřední ústav geologický, Nakladatelství Československé akademie věd, Praha. 827 s.

- ŠINDELÁŘOVÁ, T. (2003): *Větrné poměry v Krkonoších*. Diplomová práce. Přf UK. Katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha. 68 s.
- TOMÁŠEK, M. (2007): *Půdy České republiky*. Česká geologická služba, Praha. 68 s. ISBN 978-80-7075-688-1.
- TREML, V. (2000): Horní hranice lesa v Dlouhém dolu v Krkonoších, stav a dynamika. *Opera Corcontica*, roč. 37, s. 524-531.
- TREML, V. (2004): Recentní dynamika alpinské hranice lesa v Krkonoších. *Opera Corcontica*, roč. 41, s. 367–375.
- TREML, V., KŘÍŽEK, M., ENGEL, Z. (2005): Strukturní půdy Vysokých Sudet – rozšíření, aktivita. In *Geomorfologický sborník 4*, Jiří Rypl (editor), Pedf JUČ, Česká asociace geomorfologů, 1. vydání, České Budějovice: Pedf JČU, s 149-153.
- TREML, V., KŘÍŽEK, M. (2006): Vliv borovice kleče (*Pinus mugo*) na strukturní půdy české části Vysokých Sudet. *Opera Corcontica*, roč. 43, s. 45–56.
- VAN VLIET-LANOË, B. (1998): Frost and soils: implications for paleosoils, paleoclimates and stratigraphy. *Catena*, Vol. 34, s. 157-183.
- WASHBURN, A., L. (1956): A classification of patterned ground and review of suggested origins. *Bulletin of the Geological Society of America*. 67, s. 823–866.
- WASHBURN, A., L. (1979): *Geocryology – A survey of periglacial processes and environments*. Edward Arnold, London, 406 s.

8. 1. DALŠÍ ZDROJE

Geologická stavba nad alpínskou hranicí lesa, ČGS

KŘÍŽEK, M. (2009): Ústní sdělení.

Portál veřejné správy ČR. [online]. 2009. [cit. 2009- 3-22]

Dostupné z: <www.geoportal.cenia.cz>.

Půdy Krkonošského národního parku, KRNAP

Vrstevnice nad alpínskou hranicí lesa, KRNAP

Základní báze geografických dat (ZABAGED), výškopis KRNAP, ČÚZK

9. SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| Obr. 1: Horizontální poloha Krkonoš s vymezením studovaného území | 9 |
| Obr. 2: Geologická stavba studovaného území..... | 10 |
| Obr. 3: Sklonitostní poměry svahů ve studovaném území..... | 12 |
| Obr. 4: Orientace svahů ke světovým stranám ve studovaném území..... | 13 |
| Obr. 5: Anemo-orografický systém Bílého Labe | 16 |
| Obr. 6: Půdní typy ve studovaném území | 18 |
| Obr. 7: Klasifikace strukturních půd pro Krkonoše s primárním dělením dle genetického hlediska a sekundárním dělením dle morfologického hlediska | 19 |
| Obr. 8: Vývoj tříděných strukturních půd v důsledku diferenciálního růstu jehlicovitého ledu | 22 |
| Obr. 9a: Jehlicovitý led s krystaly kolmo orientovanými ke svažitému půdnímu podkladu.. | 23 |
| Obr. 9b: Degradace jehlicovitého ledu projevující se posunem vynesené zeminy po svahu . | 23 |
| Obr. 10: Cirkulační pohyby přesycené půdy uvnitř tříděného kruhu..... | 24 |
| Obr. 11: Cirkulační pohyby půdní vody během tání činné vrstvy a výsledné zvlnění báze činné vrstvy | 25 |
| Obr. 12: Studované lokality tříděných strukturních půd | 29 |
| Obr. 13: Kamenná moře na severním svahu Luční hory, v pozadí Studniční hora s Modrým sedlem a Sněžka | 29 |
| Obr. 14: Pohled na Luční horu se systémem kryoplanačních teras z Modrého sedla v Krkonoších | 30 |
| Obr. 15: Tříděné polygony na vrcholové plošině Luční hory v Krkonoších | 30 |
| Obr. 16: Zarostlé tříděné sítě na jedné z kryoplanačních teras orientované k Z na Luční hoře v Krkonoších | 31 |
| Obr. 17: Veličiny měřené v rámci každého tvaru | 32 |
| Obr. 18: Porovnání jednotlivých lokalit z hlediska průměrných délek os tvarů..... | 37 |
| Obr. 19: Porovnání jednotlivých lokalit z hlediska průměrné délky strany tvarů | 38 |
| Obr. 20: Porovnání protažení tvarů na svazích o sklonech větších a menších než 6° | 40 |
| Obr. 21: Porovnání směrodatných odchylek úhlů stran tvarů na svazích o sklonech větších a menších než 6° | 40 |
| Obr. 22: Porovnání jednotlivých lokalit podle hodnot maximálního vyklenutí..... | 42 |
| Obr. 23: Porovnání jednotlivých lokalit z hlediska hodnot indexu vyklenutí..... | 43 |

| | |
|--|----|
| Obr. 24: Klasifikace lokalit na základě vybraných morfologických charakteristik | 44 |
| Obr. 25: Porovnání průměrné velikosti klastů v celém tvaru mezi jednotlivými lokalitami .. | 46 |
| Obr. 26: Porovnání průměrné velikosti klastů v celém tvaru podle geologického podloží | 47 |
| Obr. 27: Porovnání průměrných velikostí klastů na okraji tvarů mezi jednotlivými lokalitami | 48 |
| Obr. 28: Porovnání průměrných velikostí klastů v jedné třetině od okraje mezi jednotlivými lokalitami | 49 |
| Obr. 29: Porovnání průměrných velikostí klastů ve dvou třetinách od okraje mezi jednotlivými lokalitami | 51 |
| Obr. 30: Porovnání průměrných velikostí klastů ve středu tvarů mezi jednotlivými lokalitami | 52 |
| Obr. 31: Porovnání indexů vyřídění $SI_{O-1/3}$ mezi jednotlivými lokalitami | 55 |
| Obr. 32: Porovnání indexů vyřídění $SI_{1/3-2/3}$ mezi jednotlivými lokalitami | 57 |
| Obr. 33: Porovnání indexů vyřídění $SI_{O-2/3}$ mezi jednotlivými lokalitami | 58 |
| Obr. 34: Indexy vyřídění SI_{O-S} , $SI_{1/3-S}$ a $SI_{2/3-S}$ pro jednotlivé tvary | 60 |
| Obr. 35: Porovnání jednotlivých lokalit z hlediska absolutního indexu vyřídění ASI | 61 |
| Obr. 36: Klasifikace lokalit podle průměrných velikostí klastů na okraji, v jedné třetině a dvou třetinách od okraje daného tvaru | 62 |
| Obr. 37: Klasifikace lokalit podle hodnot indexů vyřídění $I_{O-1/3}$, $I_{1/3-2/3}$ a $I_{O-2/3}$ a ASI | 63 |
| Obr. 38: Porovnání lokalit podle pokrytí tvaru vegetací a typů vegetačního pokryvu | 76 |
| Obr. 39: Klasifikace lokalit podle všeobecné podobnosti | 78 |
| Obr. 40: Hypotetický vliv změny sklonu svahu a terénní překážky na protažení tvarů | 93 |
| Obr. 41: Průměrná délka delší a kratší osy, průměrná délka strany tvaru a indexy vyklenutí na jednotlivých lokalitách | 99 |
| Obr. 42: Indexy vyřídění $SI_{O-1/3}$, $SI_{O-2/3}$ a ASI jednotlivých lokalit | 99 |

10. SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| Tab. 1: Vybrané charakteristiky chladné klimatické oblasti CH4..... | 14 |
| Tab. 2: Polohové charakteristiky studovaných lokalit tříděných strukturních půd..... | 28 |
| Tab. 3: Korelační analýza charakteristik velikosti tvarů a sklonitostních poměrů | 38 |
| Tab. 4: Korelační analýza poměru délky delší a kratší osy (protaženosti tvarů), směrodatné odchytky úhlů stran tvarů a nadmořské výšky | 41 |
| Tab. 5: Analýza vytřídění v rámci jednotlivých tvarů..... | 53 |
| Tab. 6: Porovnání odlehlosti tvarů 22 (Luční hora 2) a 32 (Luční hora 1) od průměrných hodnot lokalit, na kterých se nacházejí, z hlediska jejich vytřídění..... | 54 |
| Tab. 7: Rozdíly v indexu vytřídění $SI_{0-1/3}$ mezi jednotlivými lokalitami | 55 |
| Tab. 8: Rozdíly v indexu vytřídění $SI_{1/3-2/3}$ mezi jednotlivými lokalitami | 57 |
| Tab. 9: Rozdíly v indexu vytřídění $SI_{0-2/3}$ mezi jednotlivými lokalitami | 59 |
| Tab. 10: Rozdíly v absolutním indexu vytřídění (ASI) mezi jednotlivými lokalitami | 61 |
| Tab. 11: Rozdíly v indexech vytřídění mezi jednotlivými lokalitami..... | 67 |
| Tab. 12: Korelační analýza průměrných velikostí klastů v celém tvaru a indexů vytřídění ... | 70 |
| Tab. 13: Vztah velikosti okrajových klastů a rozměrů polygonů..... | 70 |
| Tab. 14: Rozdíly ve velikostech klastů jednotlivých částech tvarů mezi lokalitami podle jednocestné analýzy rozptylu | 72 |
| Tab. 15: Korelační analýza charakteristik kvality vytřídění a velikosti tvaru..... | 80 |
| Tab. 16: Korelační analýza závislosti velikostí klastů a indexů vytřídění na indexu vyklenutí | 82 |
| Tab. 17: Korelační analýza závislosti poměru níže a výše ležících klastů na sklonu delší osy a indexu vyklenutí tvarů..... | 85 |
| Tab. 18: Korelační analýza závislosti průměrných velikostí klastů a indexů vytřídění na sklonu | 85 |
| Tab. 19: Dispozice jednotlivých lokalit pro vytřídění..... | 88 |
| Tab. 20: Vztah maximálního vyklenutí a charakteristik velikosti tvaru | 96 |
| Tab. 21: Vztah maximálního vyklenutí a charakteristik pravidelnosti tvaru | 96 |