

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta
Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Studijní program: Geografie
Studijní obor: Geografie a kartografie



**VYUŽITÍ DAT LETECKÉHO LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ
K DETEKCI AGRÁRNÍCH FOREM RELIÉFU
V KRKONOŠÍCH**

**UTILIZATION OF AIRBORNE LASER SCANNING DATA
FOR THE DETECTION OF AGRARIAN FORMS OF RELIEF
IN THE GIANT MOUNTAINS**

Bakalářská práce

Lucie Jebavá

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Lucie Kupková, Ph. D.

Konzultant: RNDr. Jakub Lysák

Praha 2014

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracovala samostatně a všechny použité prameny jsem řádně citovala.

Jsem si vědoma toho, že případné použití výsledku získaných v této práci, mimo Univerzitu Karlovu v Praze je možné pouze po písemném souhlasu této univerzity.

Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena v evidenci vypůjčovatelů.

V Hostinném 15. 5. 2014

.....

Lucie Jebavá

Poděkování

Ráda bych tímto poděkovala vedoucí mé práce RNDr. Lucii Kupkové za věnovaný čas, cenné rady a připomínky, konzultantovi RNDr. Jakubovi Lysákovi za rady při práci v softwaru. Dále Správě Krkonošského národního parku, zejména Ing. Tomáši Janatovi za vysvětlení problematiky a Mgr. Lucii Procházkové za pomoc při terénním průzkumu. V neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině a přátelům za podporu během celého studia.

Využití dat leteckého laserového skenování k detekci agrárních forem reliéfu v Krkonoších

Abstrakt

Práce se zabývá možností využití dat leteckého laserového skenování k detekci agrárních forem reliéfu v Krkonoších. Hlavní metodou výzkumu je analýza digitálního modelu terénu a povrchu v oblasti Krkonoš v softwaru ArcGIS 10.0. Analýza je založena na specifických funkcích v softwaru ArcGIS (*Slope, Curvature*), a dále byla využita kombinace rastrů stínovaného reliéfu, což vedlo k detekci dalších agrárních tvarů. Pro ověření přesnosti detekce agrárních tvarů byla provedena následná terénní verifikace. S ohledem na výsledky terénního průzkumu a hodnocení přesnosti mohou být výsledky označeny jako velmi uspokojivé. Správa Krkonošského národního parku může výstupy výzkumu využít pro kvantifikaci agrárních tvarů, k jejich ochraně, případně dalšímu výzkumu a managementu.

Klíčová slova: letecké laserové skenování, agrární formy reliéfu, antropogenní geomorfologie

Utilization of airborne laser scanning data for the detection of agrarian forms of relief in the Giant Mountains

Abstract

This thesis deals with the possible use of airborne laser scanning data for the detection of agrarian forms of relief in the Giant Mountains. The main research method is the analysis of the digital terrain model and digital surface model in the area of the Giant Mountains in the software ArcGIS 10.0. The analysis is based on specific functions in ArcGIS software (*Slope, Curvature*) as well as on combinations of rasters of shaded reliefs which led to the detection of further agrarian forms. To verify the precision of agrarian forms detection field verification was used. Based on verification and accuracy assessment the results can be designated as a very satisfactory. The Administration of the Giant Mountains National Park can use the research results to quantify the agrarian forms of relief, to improve their protection and, possibly also for further research and management.

Keywords: airborne laser scanning, agrarian forms of relief, anthropogenic geomorphology

Obsah

Seznam obrázků a tabulek.....	6
1 Úvod	7
2 Cíle práce	8
3 Uvedení do problematiky.....	9
3.1 Agrární formy reliéfu v Krkonoších.....	9
3.1.1 Krkonošský národní park a vliv člověka	9
3.1.2 Vznik antropogenních tvarů reliéfu	9
3.1.3 Vznik agrárních forem reliéfu.....	10
3.1.4 Agrární valy, terasy, haldy a kupy	10
3.1.5 Agrární tvary jako důkaz nárůstu podílu lesních porostů.....	12
3.1.6 Ochrana agrárních forem reliéfu.....	12
3.2 Letecké laserové skenování.....	12
3.2.1 Historie laserového skenování.....	12
3.2.2 Laserový skener.....	13
3.2.3 Princip laserového skenování	14
3.2.4 Zpracování naměřených dat	15
3.2.5 Faktory ovlivňující letecké laserové skenování.....	16
3.2.6 Výhody a nevýhody leteckého laserového skenování	18
3.3 Využití dat leteckého laserového skenování k detekci agrárních tvarů v literatuře.....	18
4 Metodika.....	21
4.1 Data	21
4.2 Referenční území	22
4.3 Zájmová území.....	22
5 Metody zpracování dat	29
5.1 Analýza digitálního modelu reliéfu	29
5.1.1 Předzpracování dat.....	29
5.1.2 Detekce agrárních valů a teras bez vegetace.....	31
5.1.3 Detekce agrárních valů a teras pokrytých vegetací	36
5.1.4 Detekce agrárních hald	38
5.1.5 Ruční editace vygenerovaných agrárních tvarů.....	40
5.2 Terénní průzkum	40
6 Výsledky.....	42
6.1 Výsledky automatické detekce agrárních tvarů v referenčním území katastru Křížlice.....	42
6.2 Hodnocení přesnosti detekce agrárních tvarů v referenčním území katastru Křížlice	42
6.3 Výsledky automatické detekce agrárních tvarů v katastrech Sklenářovice, Horní Rokytnice nad Jizerou, Strážné a Suchý Důl v Krkonoších.....	43
6.4 Hodnocení přesnosti detekce agrárních tvarů v katastrech Strážné a Suchý Důl v Krkonoších	45
7 Diskuze	48
7.1 Data.....	48
7.2 Metodika.....	48
7.3 Příčiny nepřesností	50
7.4 Vegetace	51
7.5 Ochrana agrárních forem reliéfu.....	51
8 Závěr.....	53
Seznam zdrojů	54
Seznam příloh.....	57

Seznam obrázků a tabulek

Obrázky

Obrázek 1: Suchá zídka na Husích boudách (foto: autorka)	10
Obrázek 2: Agrární val porostlý vegetací v Suchém Dole v Krkonoších (foto: autorka)	11
Obrázek 3: Letecké laserové skenování (Hoefl 2010)	13
Obrázek 4: Vrstevnicový plán z originálních (a) a filtrovaných (b) dat (Dolanský 2004).....	16
Obrázek 5: Atmosférická refrakce (Dolanský 2004)	16
Obrázek 6: Diagramy odrazivosti (Kolář a kol. 1997).....	17
Obrázek 7: Posun sousedních řad špatnou kalibrací (Dolanský 2004).....	18
Obrázek 8: Letecký skener RIEGL LMS Q-680i (pobonline.com 2014)	21
Obrázek 9: Agrární formy reliéfu na části katastrálního území Křížlice (Procházka 2010)	23
Obrázek 10: Zájmová území v rámci Krkonošského národního parku.....	24
Obrázek 11: Ortofoto části katastrálního území Horní Rokytnice nad Jizerou – patrná struktura lánové vsi (ČÚZK 2013).....	24
Obrázek 12: Budní enklávy v katastrálním území Strážné (ČÚZK 2013)	25
Obrázek 13: Vlevo: Letecký snímek katastrálního území Sklenářovice z roku 1953 (CENIA 2010), Vpravo: Ortofoto katastrálního území Sklenářovice z roku 2013 (ČÚZK 2013).....	26
Obrázek 14: Vlevo: Letecký snímek katastrálního území Suchý Důl z roku 1953 (CENIA 2010), vpravo: Ortofoto katastrálního území Suchý Důl z roku 2013 (ČÚZK 2013).....	27
Obrázek 15: Funkce Mosaic to New Raster (ESRI 2012)	30
Obrázek 16: Digitální model reliéfu.....	30
Obrázek 17: Digitální model povrchu	30
Obrázek 18: Funkce Extract by Mask.....	31
Obrázek 19: Výpočet funkce Slope	32
Obrázek 20: Reklasifikovaná vrstva sklonitosti povrchu	32
Obrázek 21: Raster to Polygon.....	33
Obrázek 22: Ukázka polygonů podle koeficientu podobnosti ke kruhu $a = 1,2$ $b = 2,8$	33
Obrázek 23: Výstup funkce Curvature.....	34
Obrázek 24: Reklasifikovaná křivost povrchu	35
Obrázek 25: Vrstva vegetace	36
Obrázek 26: Funkce Buffer.....	37
Obrázek 27: Výsledná vrstva průniku vyšší sklonitosti, křivosti a vegetace	38
Obrázek 28: Oblast výskytu agrární haldy lokalizovaná pomocí stínovaného reliéfu (azimut 340° , výška zdroje světla 60°).....	39
Obrázek 29: Agrární val na okraji enklávy Lahrovy boudy (foto: autorka)	44
Obrázek 30: Agrární haldy na Lahrových boudách (foto: autorka).....	46
Obrázek 31: Agrární val jako skladiště přebytečného stavebního materiálu na Lahrových boudách (foto: autorka)	52

Tabulky

Tabulka 1: Nadmořská výška zájmových území [m n. m.]	28
Tabulka 2: Parametry funkce Slope	34
Tabulka 3: Křivost povrchu ve všech katastrálních územích	35
Tabulka 4: Nastavení parametrů funkce Hillshade	40
Tabulka 5: Kvantifikace nalezených agrárních forem reliéfu v referenčním území.....	43
Tabulka 6: Hodnocení přesnosti automatické detekce agrárních valů a teras v části katastru Strážné a v katastru Suchý Důl.....	47
Tabulka 7: Hodnocení přesnosti automatické detekce agrárních hald v části katastru Strážné a v katastru Suchý Důl.....	47

1 Úvod

Podnět pro vznik této bakalářské práce pochází ze Správy Krkonošského národního parku. Práce navazuje na bakalářskou práci Marka Procházky z roku 2010 na téma: Agrární formy reliéfu v Krkonoších na příkladu katastrálního území Křížlice (Procházka 2010). V práci Procházky byl využit pouze terénní výzkum nikoliv automatická klasifikace agrárních forem reliéfu.

Agrární formy reliéfu jsou významným krajinným prvkem, který je pro krkonošskou krajinu charakteristický. Protože počátky kolonizace nejvyššího českého pohoří sahají až do 16. století, můžeme tyto antropogenní geomorfologické útvary chápat i jako památku po předcích, kteří vybíráním a shromažďováním kamenů z polí a luk chtěli zlepšit vlastnosti zemědělských ploch pro hospodaření v nepříliš hostinných podmínkách Krkonoš. V péči o krajinu agrární valy a terasy představují propojení oblasti primárního bezlesí s oblastí nad horní hranicí lesa, což umožňuje migraci druhů z nižších poloh do vyšších nadmořských výšek a naopak, jedná se tak vlastně o biokoridory, díky nimž vznikají bohatá společenstva organismů.

Správa parku pro tuto práci vybrala čtyři zájmová území: Horní Rokytnici nad Jizerou, Strážné, Sklenářovice a Suchý Důl v Krkonoších.

2 Cíle práce

Hlavním cílem práce je zjistit, zda je možné automaticky detekovat agrární formy reliéfu z dat leteckého laserového skenování. Za tímto účelem bude navržen postup analýzy digitálního modelu reliéfu a povrchu v oblasti zájmových území v prostředí softwaru ArcGIS 10.0.

Výstupy práce budou sloužit Správě Krkonošského národního parku k provedení inventarizace a kvantifikace agrárních forem reliéfu. Dále bude možné využít výstupy pro ochranu agrárních tvarů při územním plánování, stavebních záměrech nebo rekonstrukci komunikací, aby nedocházelo k narušování evropsky významných společenstev rostlin a živočichů.

3 Uvedení do problematiky

3.1 Agrární formy reliéfu v Krkonoších

3.1.1 Krkonošský národní park a vliv člověka

Krkonošský národní park byl založen v roce 1963, aby chránil poslední zbytky krajiny nedotčené člověkem. Ale již v době jeho založení se rozprostíral na území, které je především v údolních partiích relativně hustě osídlené (Bašta 2013).

V Krkonoších, přestože zaujímají poměrně malou rozlohu, můžeme najít mimořádné množství specifických forem a jevů jak geologických, tak zvláště geomorfologických (Pilous 2013). A ačkoliv jsou Krkonoše vyhlášeny národním parkem, můžeme v nich vedle přirozených geomorfologických tvarů najít velké množství tvarů, které vytvořil člověk, protože během posledních dvou století nabyla jeho aktivita díky strojům a technice nezanedbatelných měřítek (Pilous 2000). Podle Zapletala (1969) jsou agrární formy reliéfu na Zemi tak plošně rozšířené a rozsáhlé, že vytváří i typické krajinné celky. Je důležité potom posoudit, do jaké míry se na jejich tvorbě podílí člověk z hlediska antropogenní morfologie a zda bychom tyto krajiny měli posuzovat jako zcela antropogenní nebo semi-antropogenní. „Podstatou geomorfologické přeměny v těchto modelačně vyrovnaných krajinách zemského povrchu s jednotvárným mikrorelíefem zoraných polí je vyhlazování terénu, jsou stírány jeho vypuklé části a zanášeny strže a výmoly.“ (Zapletal 1969, str. 99).

Pokud sečteme dohromady veškerou lidskou činnost v Krkonoších, dojdeme k neradostnému výsledku. I přesto, že k dispozici nejsou konkrétní údaje, můžeme se domnívat, že v horizontu posledních staletí lidská činnost na tomto území plochou i objemem přemístěných hmot předstihla všechny přírodní modelační procesy (Pilous 2001).

3.1.2 Vznik antropogenních tvarů reliéfu

Antropogenní tvary reliéfu zde vznikaly nebo nadále vznikají (ale dnes již ve velmi malé míře) nepoměrně rychleji než přírodní geomorfologické tvary a na druhou stranu mají také oproti přírodním tvarům poměrně krátkou životnost. V některých částech ochranného a třetího pásma Krkonošského národního parku mohou být však antropogenní vlivy na krajinu vnímány také pozitivně, a to v případech, že došlo k obohacení přírodního fondu nebo ke zvýšení krajinářských hodnot území (Pilous 2000). Nejvíce zastoupené

antropogenní tvary ve vrcholových partiích Krkonošského národního parku jsou komunikační, urbánní nebo militární povahy (Radová 1980).



Obrázek 1: Suchá zídka na Husích boudách (foto: autorka)

3.1.3 Vznik agrárních forem reliéfu

Přestože v důsledku působení člověka došlo ke značnému odlesnění enkláv v oblastech budního hospodářství v montánních částech českého nejvyššího pohoří, převládá spíše kladný postoj k antropogenním formám reliéfu, které vznikly zemědělskou činností. Na rozdíl například od těžební činnosti, která zásadně narušila ráz krajiny. Dominantními prvky montánních poloh Krkonoš jsou louky, které dnes patří k velmi bohatým rostlinným společenstvům (Pilous 2000).

Obdělávání půdy i samotný růst plodin ztěžovaly kameny (Janata 2008). Aby se na odlesněných enklávách dalo hospodařit, bylo zapotřebí odstranit z nich nemalé množství kamenů a kamenných úlomků, které obyvatelé po několika generacích museli vybírat a soustřeďovali je na okrajích enkláv nebo je v případě větších rozloh skládali na hromady (Pilous 2000). Protože každoročním vlivem vody a mrazu docházelo k vyzvedávání dalších kamenů směrem od podloží k povrchu, musela se půdní zásoba kamenů jevit jako nevyčerpatelná. Pakliže kameny neposloužily obyvatelům hor ke stavbě dlouhých, širokých i vysokých zídek, které oddělovaly pozemky od sebe navzájem nebo od lesních porostů, byly rovnány nebo jen tak nasypávány do hald umístěných na zemědělsky nejméně perspektivních částech pozemků (Janata 2008).

3.1.4 Agrární valy, terasy, haldy a kupy

Agrární formy reliéfu, kterými se bude především zabývat tato práce – haldy a valy, se od sebe liší jen morfologicky (Zapletal 1969). „Agrární haldy se od valů liší pouze tím, že v krajině tvoří bodové prvky.“ (Procházka 2010, str. 15)

Valy vznikaly zpravidla spojením kupovitých nebo kuželovitých hald. Mívají příčný profil, velikost stejnou jako jednotlivé haldy a bývají téměř vždy situovány důsledně ve směru spádnic, což svědčí o logice jejich stavby a citlivých vlohách našich předků pro chápání terénu (Zapletal 1969). Na rozdíl například od agrárních teras, které byly

budovány ve strmých svazích ve směru po vrstevnici, aby se zamezilo půdní erozi a ztrátě orné půdy.

Agrární valy i haldy jsou konvexní formy reliéfu, což znamená, že jejich nadmořská výška je vyšší než nadmořská výška okolí.

Vznikají tedy složením kamení vysbíraného z polí a navršeného až do několika-metrových výšek v délkách i několik set metrů (Zapletal 1969). Takových rozměrů však nedosahují v našich zájmových územích, která jsou blíže specifikována v kapitole 4.3. Agrární kupy, haldy a valy vytváří lemy na okrajích enkláv nebo je mřížovitě člení na menší oddíly. Stejně jako kupy či haldy byly také budovány terasy a suché zídky (Obr. 1), členící stupňovitě příkré svahy enkláv. Terasy a zídky se nachází především v bezprostředním okolí bud a drobných políček (Pilous 2000).



Obrázek 2: Agrární val porostlý vegetací v Suchém Dole v Krkonoších (foto: autorka)

Ve všech případech můžeme agrární formy reliéfu označit za mrtvé, což znamená, že se již dále nevyvíjejí. A přestože již několik desetiletí stárnou a vlivem přírodních činitelů spějí k zániku, je pozoruhodná jejich zachovalost (Procházka 2010). Tato práce se bude zabývat právě těmito agrárními formami reliéfu – zejména haldami a valy, dále potom zídkami, terasami a kupami kamení.

Pozitivní vlastností těchto agrárních akumulací je to, že tvoří vítané útočiště pro drobné živočichy a hmyz a plní funkci remízků na loukách, kde by jinak tyto druhy nemohly obohacovat přírodní fond (Pilous 2000).

3.1.5 Agrární tvary jako důkaz nárůstu podílu lesních porostů

Většina agrárních tvarů, ať už hald anebo valů, je dnes zpravidla obrostlá stromy nebo křovím. Tím můžeme vysvětlit to, že na okrajích těchto forem reliéfu není rušen vzrůst semen přinesených náletem (Obr. 2), zatímco orba tyto vzešlé rostliny ničí (Zapletal 1969).

V některých oblastech Krkonoš můžeme najít agrární haldy a valy, které nejsou na okrajích polí, ale jsou pohlcené lesem. Můžeme to pozorovat i na příkladu dvou zájmových území. Jedná se o Sklenářovice a Suchý Důl, zaniklé obce v blízkosti Horního Maršova (blíže bude specifikováno v kapitole 4.3).

Podle Zapletala 1969 jsou kupy kamení situované v lese svědectvím transgrese lesů tohoto kraje v době historicky nedávné. Což znamená, že v některých oblastech lesní porosty v relativně nedávných dobách zvětšovaly svou rozlohu.

3.1.6 Ochrana agrárních forem reliéfu

Podle Procházky 2010 se na některých územích můžeme setkat s fenoménem, kdy jsou agrární valy a haldy proměňovány ve skládky odpadků či rozebírány na stavební kámen či jinak likvidovány. V očích obyvatel totiž většinou představují pouze zbytečné a obtěžující skládky kamení. Je třeba však upozornit na to, že byly účelně vytvořeny právě lidskou rukou a dodnes tvoří v krajině důležité prvky krajinně-ekologického významu. Proto by měly být určitým způsobem chráněny i nadále. Člověk totiž může hrát největší roli při jejich zániku.

Kamenné agrární tvary jsou chráněné podle zákona o ochraně přírody a krajiny (Zákon č.114/1992 Sb.) jako součást krajinného rázu. Dále mohou být podle tohoto zákona vedeny jako významné krajinné prvky. Nesmí tudíž žádným způsobem docházet k jejich poškozování či ničení (Janata 2008).

3.2 Letecké laserové skenování

Podle našeho předpokladu by vhodným nástrojem pro výzkum rozšíření a umístění agrárních forem reliéfu v Krkonoších mohla být analýza dat leteckého laserového skenování, jmenovitě digitální model reliéfu a digitální model povrchu.

3.2.1 Historie laserového skenování

Prvopočátky využívání laseru můžeme zařadit do šedesátých let dvacátého století (Vaverka 2012). Ale z důvodu nedostatku podpůrných technických prostředků bylo

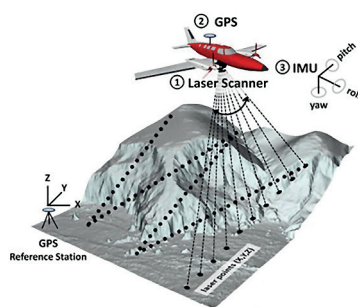
efektivní využití pro mapování umožněno až o téměř tři desetiletí později (Cramer 2001 in Brýdl 2012). Vůbec první zmínka o topografickém mapování pomocí laseru pochází z roku 1984 (Vaverka 2012). „V devadesátých letech minulého století bylo započato s vývojem zařízení pro přímé měření 3D souřadnic podrobných bodů na různém technickém základě. Všechny tyto metody jsou dnes nazývány 3D skenováním.“ (Pavelka 2006, str. 3)

V průběhu posledního desetiletí našla metoda leteckého laserového skenování uplatnění v řadě oborů lidské činnosti (John 2011). Například v archeologii se tak objevila naprosto inovativní technologie, která velmi ovlivnila nové pátrání v této oblasti. Velmi podobná situace je i u agrárních forem reliéfu (Vaverka 2012). Letecké laserové skenování umožňuje najít území, kde se dané tvary nachází, přestože jsou skryty pod vegetací a jejich hledání by bylo jiným způsobem buď nemožné, nebo velmi náročné.

Pro technologický postup získávání dat pomocí leteckého laserového skenování se také hojně využívá označení lidar. Tento výraz je akronymem k anglickému *Light Detection and Ranging* (Bachman 1979). Je ale důležité upozornit na to, že tento výraz se nevztahuje výhradně k leteckému laserovému skenování, ale také například k pozemnímu (Vaverka 2012).

3.2.2 Laserový skener

Laserový skener neboli lidar je složen z několika důležitých částí. Je to zdroj laserového záření, optická soustava, mechanický prvek, detektor elektromagnetického záření a velmi přesné hodiny (Vaverka 2012).



Obrázek 3: Letecké laserové skenování (Hoefl 2010)

Letecká zařízení mají obdobnou konstrukci jako zařízení stacionární nebo mobilní. Letecká skenovací zařízení mají s pozemními laserovými skenery téměř totožnou konstrukci, jde o skener se skenujícím hnanem nebo zrcátkem. Zásadním rozdílem je, že se laserový skener při letecké aplikaci pohybuje, a proto je potřeba přidat ještě GPS a IMU (*inertial measurement unit*), aby byla zjištěna přesná poloha nosiče za letu. Tato

informace o poloze nosiče během letu je přihrávána k datům z laserového skeneru (Pavelka 2006).

Zdrojem laserového záření může být v dnešní době široká škála různých emitorů. U výkonnějších zařízení se používají pevnolátkové rubínové lasery. V případech, že není kladen takový důraz na výkonnost laseru, využívá se laserů diodových. Ty mají mnoho výhod, mezi které patří i variabilita na trhu. Výběr typu laseru závisí na konkrétních požadavcích pro dané měření – požadovaný výkon, ale i požadovaná vlnová délka záření (Dolanský 2004). Paprsek, který je vyslán k zemskému povrchu nejčastěji využívá oblasti blízkého infračerveného záření o vlnových délkách 1100–1200 m n. m. V současnosti jsou na trhu také zdroje záření s možností přeladění paprsku na jinou vlnovou délku, podle toho, jakou odrazivost má zaměřovaný cíl (Vaverka 2012). Pokud dojde k tomu, že je zdroj záření přeladěn na jinou vlnovou délku, musí být přeladěn také detektor, aby byl schopen záření rozeznat.

Jako detektory se využívají světlocitlivé diody, které jsou synchronizovány spolu se zdrojem záření na stejnou vlnovou délku. Detektory musí být velmi citlivé, protože při difúzním odrazu klesá energie světla s druhou mocninou vzdálenosti (Dolanský 2004).

„Optická soustava zajišťuje koncentraci do velmi úzkého svazku a zároveň souosost detektoru a emitoru.“ (Dolanský 2004, str. 11) Je složena z polopropustného zrcadla, které transformuje záření do úzkého paprsku a z nepropustného zrcadla, které slouží k tomu, že paprsek je vyslán vždy pod stejným úhlem (Shan a Toth 2008). Tím je zajištěno, že snímání určité roviny nebo prostoru může být provedeno, aniž by se muselo otáčet celým přístrojem (Dolanský 2004).

Poslední součástí lidarů jsou velmi přesné hodiny, jejichž hlavním úkolem je měřit čas od vyslání svazku paprsků až do doby jejich detekce na detektoru. Na principu výpočtu rychlosti šíření světla lze snadno určit vzdálenost objektu od skeneru. Ze znalosti směru vyslaného svazku paprsků a vzdálenosti objektu potom lze určit polohu každého měřenoého bodu (Dolanský 2004).

3.2.3 Princip laserového skenování

„Princip 3D laserového skenování je založen na optických zákonech průniku světelných paprsků prostorem a neprůchodnosti přes neprůsvitné překážky v něm. Z toho vyplývá, že tato metoda je omezeně použitelná ve velmi hustých porostech.“ (Potřebová 2013, str. 13) Pro naše účely je však tato metoda dostačující.

Letecké laserové skenování je tedy založeno na měření vzdálenosti pomocí laserového paprsku (Dolanský 2004).

Jak již bylo dříve zmíněno, letecké laserové skenování se provádí tak, že na létajícím stroji (nejčastěji dvoumotorové letadlo nebo helikoptéra) je umístěn laserový skener,

který vysokou rychlostí emituje krátké laserové impulsy – až 80 000 pulsů za sekundu (Dolanský 2001), které jsou směřovány pod různými úhly k zemskému povrchu. Po odrazu jsou tyto impulsy zpětně zachycovány citlivým detektorem. Sledováním časových rozdílů mezi vysláním a přijetím impulsu lze velice přesně určit polohu bodů, od kterých se signál odrazil (Dolanský 2004 in John 2011).

Oproti klasickému leteckému průzkumu je tato metoda méně závislá na stavu atmosféry a umožňuje vytváření modelů terénu, z nichž jsou odfiltrovány nežádoucí objekty jako například vegetace (John 2011). Jelikož je letecký laserový skener aktivním senzorem, nezávislým na slunečním záření, je možné měření provádět 24 hodin denně (Dolanský 2004).

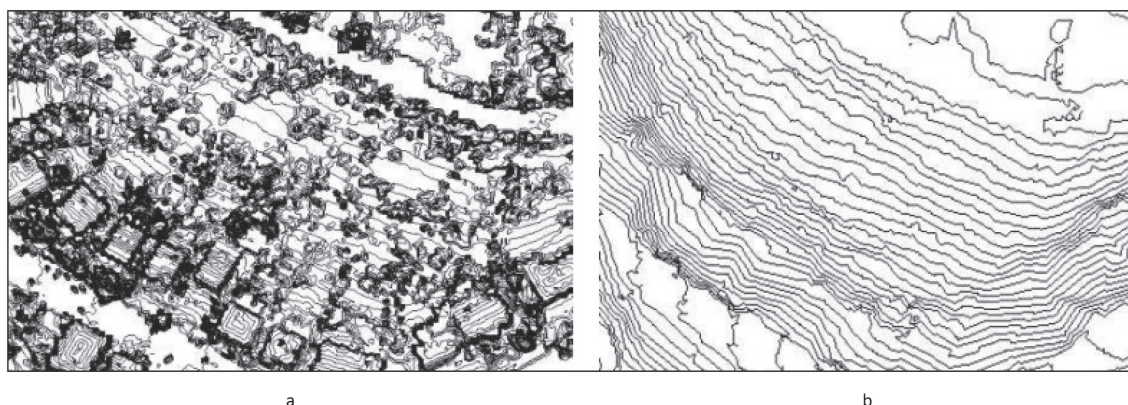
3.2.4 Zpracování naměřených dat

„Primární data z laserového skenování jsou velmi nepřehledná a je nutné provést pomocí automatizovaných funkcí jejich zpracování.“ (Dolanský 2004, str. 49) „Výsledkem měření je tzv. mračno bodů, tj. množina podrobných bodů objektu včetně chyb, které jsou dané špatnými, mnohočetnými nebo žádnými odrazy od předmětu (objektu). Odrazivost různých typů skenerů a různých typů materiálů v závislosti na úhlu dopadu byla již v minulosti předmětem výzkumu.“ (Pavelka 2006, str. 17) Odrazivosti se věnuje kapitola 3.2.5. b.

Hustota naměřených bodů i přesnost generovaného modelu závisí na výšce letu a chybách zařízení. Přesnost je většinou v centimetrech až decimetrech. Několik záběrů neboli skenů laserového skeneru vytvoří několik milionů prostorových bodů (Pavelka 2006). Ruční editace mračna bodů, které bylo měřením získáno, je ale velmi časově náročná až téměř nemožná. Je tedy třeba najít automatizované postupy, které tyto úkony provedou dostatečně přesně (Dolanský 2004). Pro zpracování měřených dat existují speciální programy (Pavelka 2006).

Tvorba digitálního modelu terénu patří mezi jednu z nejvýznamnějších aplikací dat leteckého laserového skenování. Oproti fotogrametrii se vhodně uplatňuje pro mapování terénu i v oblastech s lesním porostem, protože tam, kde fotogrametrie potřebuje jedno místo zemského povrchu nasnímat z více míst, aby mohl vzniknout stereoskopicky vjem, postačuje laserovému skenování odraz svazku paprsků od terénu z jediného směru. Pravděpodobnost zaměření bodu terénu je tedy u laserového skenování vyšší. Navíc i v řídké olistěném porostu je určitá pravděpodobnost, že relativně široký svazek paprsků projde až na zemský povrch a odrazí se zpět. Vlastní průběh terénu se pak získá filtračními technikami (viz Obr. 4). Protože je hustota bodů v mračnu obvykle velmi vysoká,

je nutné pro prezentační a kartografické účely na závěr provést vyhlazení terénu, jinak by se průběh vrstevnic mohl jevit jako nepřirozený (Dolanský 2004).

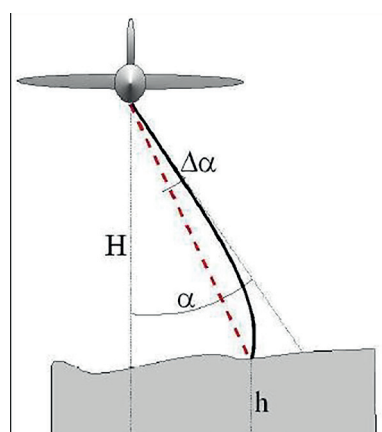


Obrázek 4: Vrstevnicový plán z originálních (a) a filtrovaných (b) dat (Dolanský 2004)

3.2.5 Faktory ovlivňující letecké laserové skenování

3.2.5.a Atmosféra

Protože je laserový paprsek stejně, jako jiné druhy záření ovlivněn prostředím, ve kterém se šíří, dochází k tomu, že atmosférická refrakce způsobí jeho zakřivení (viz Obr. 5). Velikost chyby z refrakce závisí na vlnové délce záření, poloze v prostoru, úhlu paprsku a atmosférických podmínkách. Špatné povětrnostní podmínky (např. zvýšená vlhkost, smog) snižují energii odraženého záření impulsu a při vyšší hustotě aerosolu může dojít k tomu, že citlivý detektor reaguje i na zpětný rozptyl světla v atmosféře a tím registruje chybná data. Tyto chyby mají spíše náhodný charakter a lze je dobře eliminovat filtrací při zpracování dat.



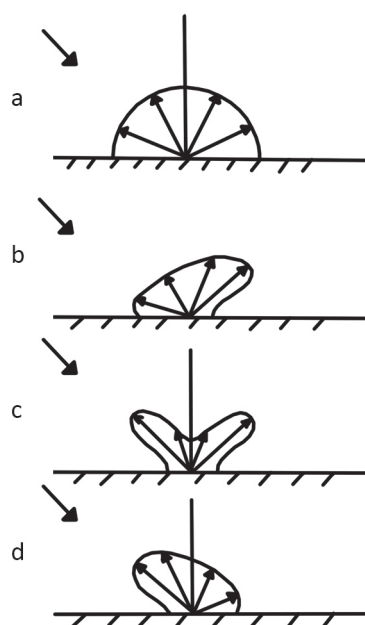
Obrázek 5: Atmosférická refrakce (Dolanský 2004)

Tak jak paprsek postupně prochází atmosférou až k povrchu Země, může se ještě částečně odrážet od různých objektů, které jsou nad terénem. Takovými objekty mohou být jednak okraje budov nebo vzrostlejší zeleň. Tyto body musí být poté při následné filtraci odstraněny (Dolanský 2004).

Kromě toho, že atmosféra určitou část záření rozptyluje odrazem na částicích atmosféry, je také sama zdrojem záření stejně jako každý jiný objekt. Velikost tohoto rušivého vlivu atmosféry roste spolu s délkou dráhy elektromagnetické vlny a s množstvím nehomogenit v atmosférickém prostředí (Kolář a kol. 1997).

3.2.5.b Odrazivost povrchu

Zemský povrch je téměř vždy určitým způsobem nerovný a právě nerovnosti povrchu mohou výrazným způsobem ovlivnit laserovým skenováním naměřené hodnoty. Odrazivost povrchu se vypočítá jako podíl intenzity odraženého záření k součtu intenzity záření absorbovaného a prošlého..



Obrázek 6: Diagramy odrazivosti (Kolář a kol. 1997)

Důležitým faktorem je také úhel dopadu paprsku na povrch nebo objekt a jeho následný směr po odrazu, ten je charakterizován diagramy odrazivosti (viz Obr. 6). Rozeznáme čtyři typy povrchu na základě směru odražených paprsků (Kolář a kol. 1997).

a, Difuzní povrchy odrážejí záření stejnoměrně do všech směrů. Největší koeficient záře je konstantní.

b, Zrcadlové povrchy mají maximum koeficientu záře ve směru odrazu.

c, Kombinované povrchy mají vlastnosti jak difuzních povrchů tak zrcadlových. Koefficient záře nabývá maxima, které odpovídá zrcadlovému povrchu a také v blízkosti úhlu odrazu.

d, Rýhované povrchy mají největší odrazivost ve směru, odkud záření na povrch dopadá

3.2.5.c Chyby způsobené samotným zařízením

Tak jako u každého zařízení, může i u laserového skeneru dojít k tomu, že některá z jeho částí chybně funguje. Například chyba hodin se okamžitě projeví na měřené vzdálenosti. Chyba skeneru může vzniknout při měření úhlu pohybujícího se zrcadla. Úhlové měření může být také ovlivněno časovým zpožděním v řídicí jednotce (tzv. chyba zpoždění) apod. Pro odstranění chyb měření a zvýšení přesnosti je třeba, aby každá komponenta laserového skeneru byla kalibrována před i po náletu a následně, aby veškerá měření byla o kalibraci opravena, co se stane, když kalibrace není provedena správně, můžeme vidět na obrázku 7 (Dolanský 2004).



Obrázek 7: Posun sousedních řad špatnou kalibrací (Dolanský 2004)

3.2.6 Výhody a nevýhody leteckého laserového skenování

Mezi výhody laserového skenování patří především velké množství měření za krátkou dobu, velká podrobnost, možnost spojení s obrazovými daty a okamžité výsledky.

Na druhou stranu jsou zde také, tak jako u každé metody měření, některé nevýhody, kterými je například velké množství dat, častá ztráta drobných detailů, vysoká cena (Pavelka 2006).

3.3 Využití dat leteckého laserového skenování k detekci agrárních tvarů v literatuře

Data leteckého laserového skenování mají, jak již bylo výše zmíněno, širokou škálu využití.

Oblastí, kde se již dlouhodobě využívá leteckého laserového skenování je lesnictví, kdy jsou pomocí laserového skenování zjišťovány například objemy dřevní hmoty. Dají se také zjišťovat výšky stromů, detekovat změny apod. a jsou vytvářeny modely lesních porostů (Maltamo a kol.2007, Næsset 1997). Dále je možné pomocí lidarů identifikovat dřeviny, což může být užitečné při výzkumu druhové rozmanitosti. Mezi základní

procesy patří rozlišování listnatých a jehličnatých lesů, kdy je možné od sebe odlišit lesní porosty na základě různé odrazivosti (Sooyoung 2009).

Dále se využívá letecké laserové skenování v glaciologii, pro přesnou detekci hranice ledovců i jejich morfologických charakteristik. Z digitálního modelu ledovce se pak dají určit jeho další charakteristiky jako je jeho hmotnostní bilance nebo pohyb (Lutz a Stötter 2003, Favey 1999).

Pomocí lidarů se mohou také mapovat povrchové vody a to s dosažením vysoké přesnosti. Výstupy se pak mohou využít např. při modelaci povodní apod. (Höfle a kol. 2009).

Ačkoliv bylo mnoho studií věnováno detekci antropogenních forem reliéfu (Gojda 2006, Rutzinger 2011, Rütther 2009), analýzy vedoucí k detekci agrárních forem reliéfu s využitím dat leteckého laserového skenování zatím nebyly podle našeho zjištění provedeny pravděpodobně žádné.

Vyhledáváním antropogenních tvarů pomocí dat leteckého laserového skenování se zabýval Vaverka (2012). Cílem zpracování bakalářské práce na téma Využití dat DMR z leteckého laserového skenování pro detekci archeologických a kulturních památek, bylo odpovědět na otázku, zda je ještě v dnešní době možné objevit nějaké nové archeologické objekty v západních Čechách. Vzhledem ke kladné odpovědi na tuto otázku je nutné se dále zabývat metodami, které by vedly k jejich nalezení. Dodaná naměřená data měla hustotu 1,3 bodu/m². Následně proběhla interpretace všech stínovaných digitálních modelů reliéfu ve formátu *.tif*. a dále bylo provedeno ověření každého potenciálního nálezů podle ortofota. Pro verifikaci byl proveden terénní průzkum některých objektů (Vaverka 2012). V České republice je v rámci letecké archeologie lidar vhodný zejména k mapování rozsáhlejších ploch pravěké a středověké kulturní krajiny, kde můžeme zaznamenat dávné stopy po osídlení (zaniklé vesnice, pole), vojenská zařízení z období husitství nebo z třicetileté války. Další možností využití leteckého laserového skenování je objevování doposud neznámých památek v podobě tvarů terénu, které v některých oblastech zůstaly jakoby zakonzervovány na povrchu. Jedná se například o písečné přesypy v údolích řek, které kdysi vystupovaly nad plochý povrch říčních niv a chránily pravěké vesnice před opakujícími se povodněmi (Gojda 2006). Podobnou problematikou – hledáním archeologických památek se zabývali také Doneus a Briese v rámci projektu „LIDAR na podporu prospekce v lese“. Výzkum proběhl v oblasti pohoří Leitha jihovýchodně od Vídně. Data použitá pro tento projekt měla hustotu naměřených bodů 8 bodů/m², což je velice vysoká hodnota a je to celkem neobvyklé. Je potřeba ale zdůraznit, že právě hustota měřených bodů má dramatický vliv na výsledek. Dále je kladen důraz na sofistikovanou filtrační techniku nepovrchových bodů, které by vedly k chybným výsledkům. Přestože nebyl prokázán potenciál měřit jemné struktury v zalesněných

oblastech s hustým podrostem, výsledky byly velice slibné pro další vývoj vyšetřování archeologických památek v lesích (Doneus a Bries 2006).

Dalším příkladem využití dat leteckého laserového skenování pro detekci antropogenních tvarů reliéfu na zemském povrchu, je výzkum historické krajiny. Konkrétním příkladem může být vytvoření 3D modelu hřbetů a brázd v lesích okolo Rastattu v Německu. Otázkou bylo, zda se podaří odhalit hledané objekty i přes jejich malou velikost (výška 30–60 cm). Autoři se dále zabývali tím, zda je možné tyto tvary vyhledat, přestože jsou ukryté pod lesní vegetací. Použili metody 3D vizualizace digitálních modelů terénu a také stínované rastry povrchu. Pomocí vizualizace bylo zjištěno, že před tím než se v 18. století v okolí Rastattu zvýšil podíl lesních porostů, zde probíhala zemědělská činnost (Sittler 2004).

4 Metodika

4.1 Data

Zdrojovými daty pro vytvoření digitálního modelu reliéfu a digitálního modelu povrchu bylo lokální snímání území Krkonošského národního parku společností GEODIS, které proběhlo v první polovině roku 2013. Projekt byl součástí KRKONOŠE v INSPIRE – společný GIS pro ochranu přírody, který je podpořen z Operačního programu Přeshraniční spolupráce ČR-PR 2007–2013.

Cílem projektu bylo pořízení kompletních geoprostorových dat pro území celého Krkonošského národního parku tj. 550 km² a jejich následné vyhodnocení (Puchrik, Nýdrle 2013).

Hustota mračna laserových bodů byla 5 bodů/m². Protože na území parku jsou velké výškové rozdíly a byla požadována vysoká hustota pro výsledné mračno, zabralo snímání celkem 16 letových dní. Pomocí leteckého skeneru RIEGL LMS Q-680i (Obr. 8) bylo naskenováno 553 letových řad. Následovalo relativní i absolutní urovnání mračna bodů (Puchrik, Nýdrle 2013).



Obrázek 8: *Letecký skener RIEGL LMS Q-680i (pobonline.com 2014)*

Z naměřených dat byl dále na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze vytvořen digitální model reliéfu a povrchu. Následující odstavec popisuje postup tvorby.

Z bodového mračna bodů povrchu vytvořen TIN a ten byl následně přeformátován do rastru. Pro účely bakalářské práce byla použita rastrová data s velikostí pixelu 1 m, v souřadnicovém systému UTM zóna 33 a výškovém systému elipsoidických výšek

nad WGS 84. K převodu výšek z elipsoidických na nadmořské bylo třeba odečíst od digitálního modelu reliéfu nebo povrchu hodnotu odlehlosti kvazigeoidu (Lysák 2013)

Dále byl využit polohopis Základní báze geografických dat (ZABAGED) Českého zeměměřického úřadu. Jednalo se o data ve formátu Shapefile. V současné době je polohopisná složka ZABAGED tvořena 123 typy geografických objektů sídel, komunikací, rozvodných sítí a produktovou, vodstva, územních jednotek a chráněných území, vegetace a povrchu, terénního reliéfu a vybrané údaje o geodetických bodech. Objekty jsou reprezentovány dvojrozměrnou prostorovou složkou a popisnou složkou, která obsahuje kvalitativní i kvantitativní informace o objektech (ČÚZK 2013).

4.2 Referenční území

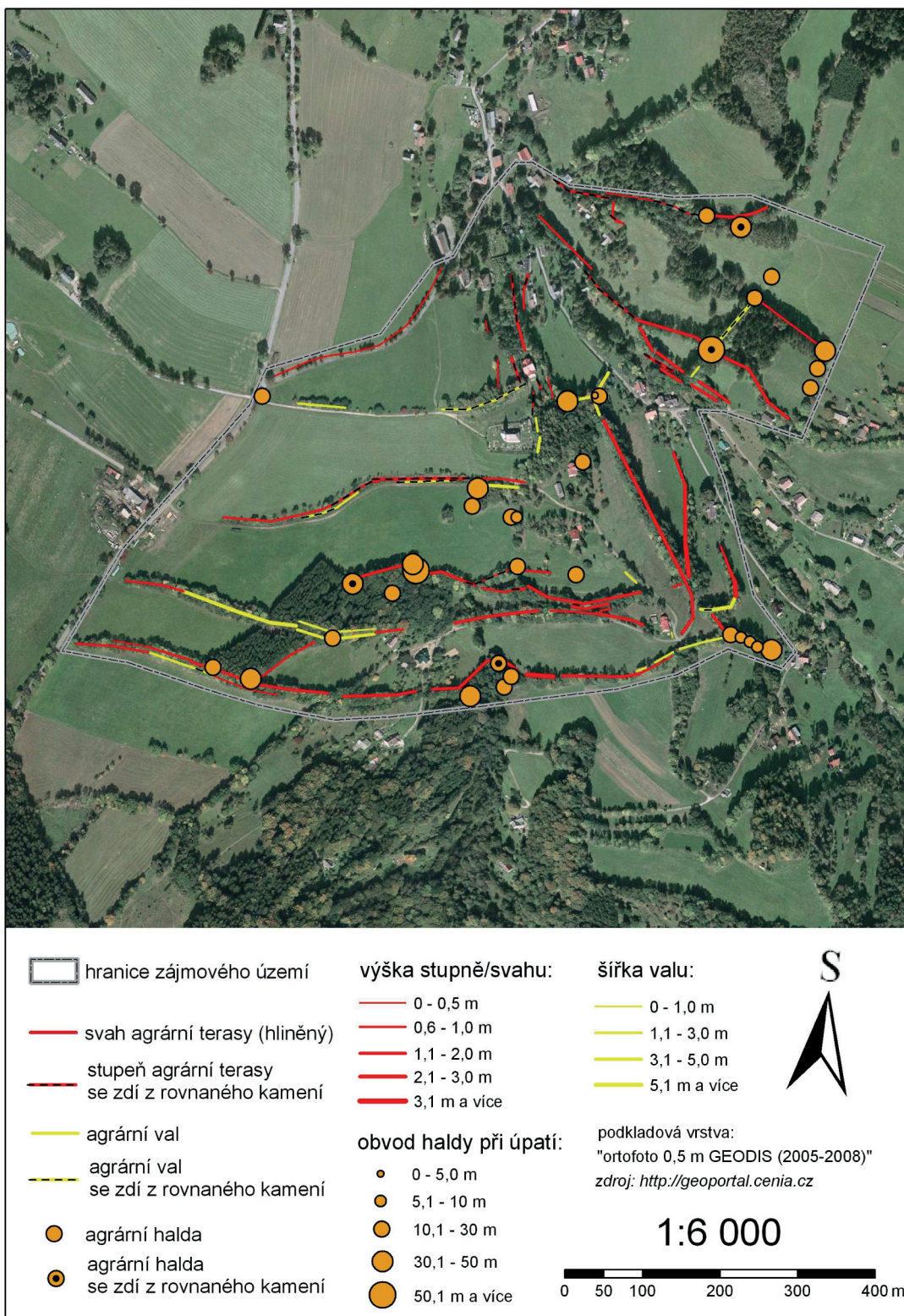
Výchozím územím pro tento výzkum je část katastrálního území Křížlice, protože již zde byly agrární tvary zkoumány v bakalářské práci Marka Procházky (2010), který prováděl inventarizaci agrárních forem reliéfu na základě terénního výzkumu. S referenčním územím budou v závěru práce srovnány výsledky analýzy terénu.

Katastrální území o rozloze 4,6 km² (ČÚZK 2013) je součástí obce Jestřabí v Krkonoších. Oblast se nachází v jihozápadním cípu Krkonošského národního parku. Leží v průměrné nadmořské výšce 648 m n. m.

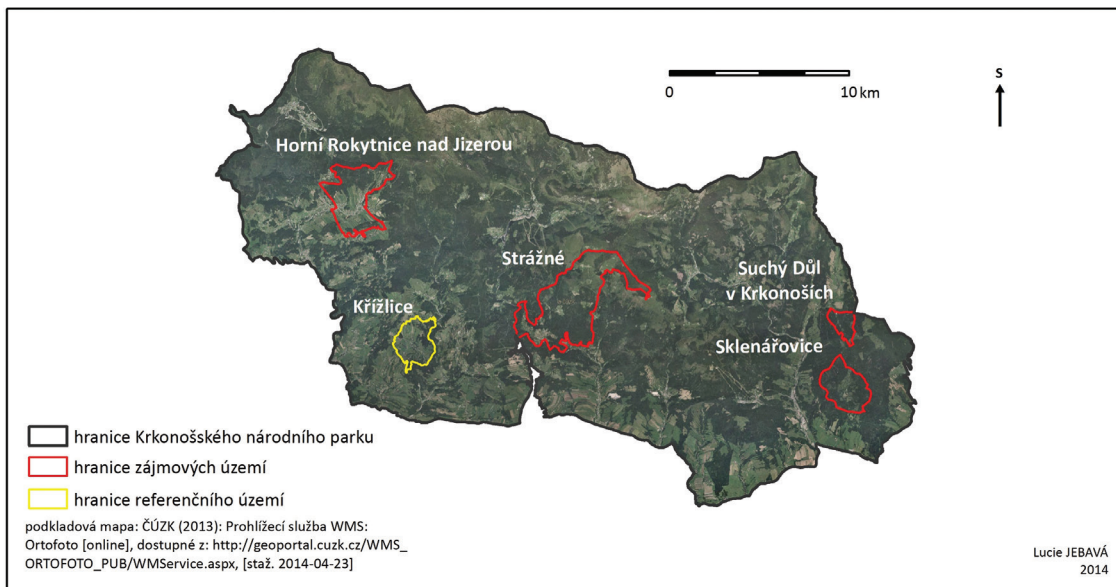
V návaznosti na předchozí výzkum můžeme říci, že se zde nachází velké množství agrárních forem reliéfu, které byly zaměřeny při terénním výzkumu. Následně byla zjištěná data zpracována do mapy (Obr. 9). Jsou zde rozlišeny agrární terasy a valy, agrární haldy se zdí z rovnaného kamení a bez ní. Dále byly tvary rozděleny podle velikosti, u valů se jednalo o šířku a u hald o obvod při úpatí.

4.3 Zájmová území

Zájmová území pro tuto práci byla účelně vybrána Správou Krkonošského národního parku. Jedná se o čtyři katastrální území, kdy každé je něčím charakteristické a odlišné od těch ostatních. Jejich rozmístění v rámci Krkonošského národního parku můžeme vidět na obrázku 10.



Obrázek 9: Agrární formy reliéfu na části katastrálního území Křížlice (Procházka 2010)



Obrázek 10: Zájmová území v rámci Krkonošského národního parku

Horní Rokytnice nad Jizerou

Katastrální území Horní Rokytnice nad Jizerou je součástí obce Rokytnice nad Jizerou, která se nachází v západní části Krkonošského národního parku.



Obrázek 11: Ortofoto části katastrálního území
Horní Rokytnice nad Jizerou – patrná struktura lánové vsi (ČÚZK 2013)

Zájmové území Horní Rokytnice bylo vybráno z několika důvodů. Jedním z důvodů je přítomnost velkého množství agrárních forem reliéfu, které jsou zároveň velmi zachovalé. Jedná se o území o rozloze 9,1 km² (ČÚZK 2013). Oblast leží v průměrné nadmořské výšce 736 m n. m. (minimální a maximální nadmořské výšky jsou uvedeny v tabulce 1). Území je snadno dostupné.

Způsob využívání krajiny je zde relativně stabilní, protože po odsunu německého obyvatelstva po druhé světové válce kontinuálně navázalo hospodářství českého obyvatelstva, které tuto oblast dosídlilo. Z leteckých snímků můžeme i dnes rozpoznat patrnou strukturu bývalé lánové vsi se záhumenicovou plužinou (viz Obr. 11). To znamená, že na intravilán obce navazovaly menší zahrady a sady, dále pole, úživnější louky, poté pastviny a nakonec lesní porosty.

Strážné

Oblast katastrálního území Strážné se nachází ve střední části Krkonošského národního parku průměrné nadmořské výšce 941 m n. m., což je výše než dříve zmíněná Horní Rokytnice, je hůře dostupné a má větší rozlohu – 17,7 km² (ČÚZK 2013). Jedná se o větší území než v předchozím případě.



Obrázek 12: Budní enklávy v katastrálním území Strážné (ČÚZK 2013)

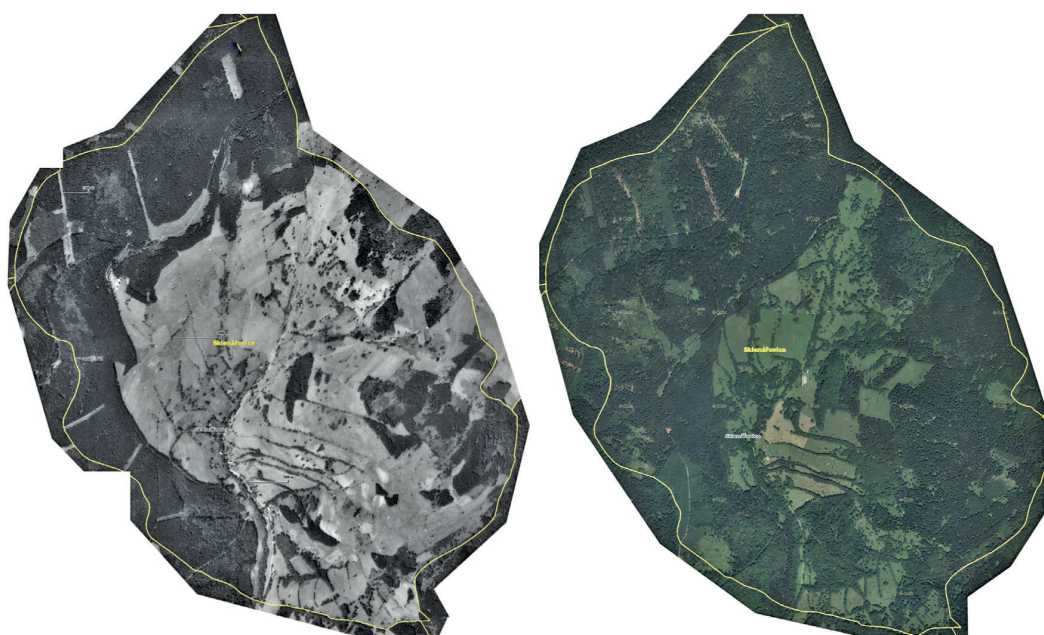
Sukcese ve zdejší oblasti (zejména na loukách) dosáhla vyššího stádia a tudíž je potřeba prověřit, zda bude možné pomocí našich dat odhalit skrytější tvary. Hlavním

důvodem výzkumu v této oblasti je to, že se zde nachází horské luční enklávy (Lahrovy boudy, Friesovy boudy, Husí a Hříběcí boudy, Přední a Zadní Rennerovky), které jsou Správou Krkonošského národního parku aktivně obhospodařovány. Mezi těmito shluky bud (Obr. 12) jsou lesní porosty a právě v jejich blízkosti můžeme najít množství agrárních tvarů.

V minulosti zde žilo převážně německé obyvatelstvo, které bylo po druhé světové válce vysídleno, poté hospodaření kontinuálně nenavázalo a v současnosti je zdejší oblast využívána spíše než k hospodaření k rekreačním účelům.

Sklenářovice

Sklenářovice jsou dnes součástí městyse Mladé Buky a nachází se ve východním cípu Krkonoš. Oproti ostatním zájmovým územím tento katastr zaujímá menší rozlohu – 5,5 km² (ČÚZK 2013) a leží v průměrné nadmořské výšce 805 m n. m. Jedná se o jedinou obec v Krkonoších, kde po odsunu Němců po druhé světové válce nedošlo k české kolonizaci.



Obrázek 13: Vlevo: Letecký snímek katastrálního území Sklenářovice z roku 1953 (CENIA 2010), Vpravo: Ortofoto katastrálního území Sklenářovice z roku 2013 (ČÚZK 2013)

Údolí ale zůstalo dál extenzivně využíváno. Zemědělská půda byla obhospodařována pastvinářským družstvem a poté státním statkem. (Dvořák 2009). V letech 1959–1960 zde bylo československou armádou pomocí trhavin a vojenské techniky se zemí srovnáno 254 objektů (Kripner 2001). Pozemky na okrajích byly osázeny smrkem nebo zarostly náletem dřevin. Rozdíl mezi rozlohou lesních porostů v roce 1953 a dnes je značný (viz Obr. 13). Louky a pastviny tedy zcela nezpustly, ale vyhnula se jim éra

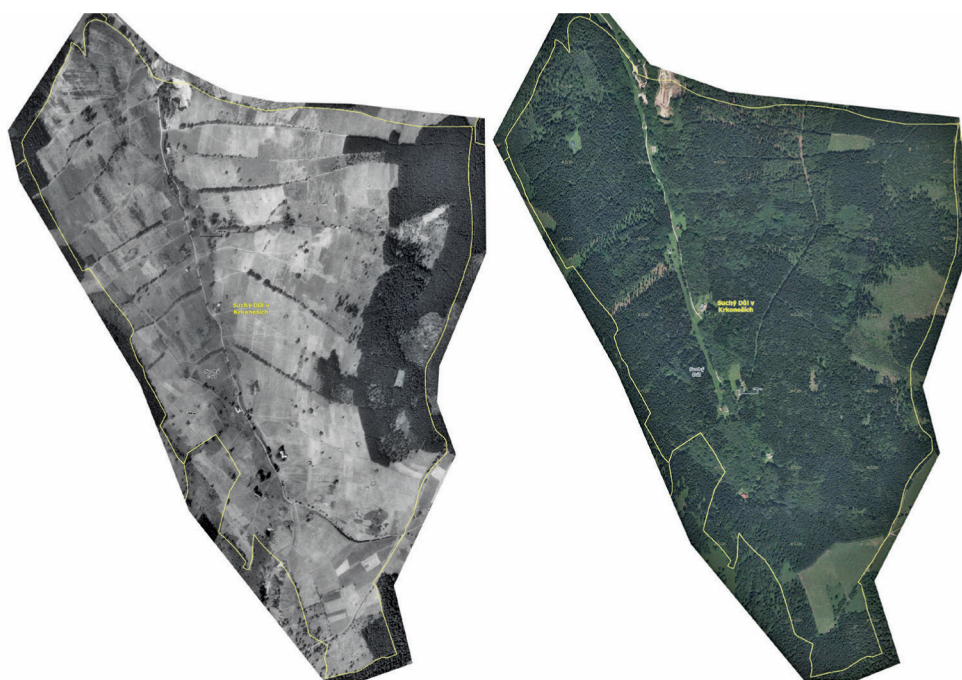
intenzivního socialistického zemědělství, které používalo těžké dávky hnojiv apod. Po roce 1990 se však údolí začalo ještě více měnit a zarůstalo daleko rychlejším tempem. V roce 1999 byl zahájen projekt znovuoživení Sklenářovického údolí organizovaný Správou Krkonošského národního parku (Dvořák 2009). Snahou je, aby se údolí navrátilo do co nejpůvodnějšího stavu.

Můžeme zde najít zbytky záhumenicové plužiny navazující na zaniklý intravilán. Cílem v tomto zájmovém území bylo prověřit, zda data leteckého laserového skenování umožní odhalit přítomnost agrárních forem reliéfu přesto, že jsou nyní ukryty v lesním porostu.

V roce 2009 bylo celé údolí bývalé obce Sklenářovice vyhlášeno Přírodní památkou Sklenářovické údolí.

Suchý Důl v Krkonoších

Zájmové území Suchý Důl se nachází severně od Sklenářovic a je od nich odděleno hřbetem Rýchory, jde také o oblast na východě Krkonošského národního parku. Katastrální území patří k obci Horní Maršov, zaujímá rozlohu pouze 1,8 km² (ČÚZK 2013) a leží v průměrné nadmořské výšce 863 m n. m.



Obrázek 14: Vlevo: Letecký snímek katastrálního území Suchý Důl z roku 1953 (CENIA 2010), vpravo: Ortofoto katastrálního území Suchý Důl z roku 2013 (ČÚZK 2013)

Sice zde došlo z důvodu národnostního složení obyvatelstva po druhé světové válce také k vysídlení německých obyvatel, ale na rozdíl od Sklenářovic následovala po odsunu

Němců česká kolonizace. Hospodářství zde ale zcela zaniklo. Oblast je dnes využívána pouze k rekreačním účelům.

Podobně jako u katastrálního území Sklenářovice zde můžeme zaznamenat markantní nárůst rozlohy lesních porostů (Obr. 14).

Tabulka 1: Nadmořská výška zájmových území [m n. m.]

Zájmové území	Min.	Max.	Průměr
Horní Rokytnice nad Jizerou	528,9	1170,3	735,7
Strážné	545,6	1363,2	941,3
Sklenářovice	472,0	1009,6	804,7
Suchý Důl	680,8	1012,9	863,3

5 Metody zpracování dat

5.1 Analýza digitálního modelu reliéfu

Jednotlivé postupně navržené kroky analýzy byly nejprve testovány na referenčním území části katastru Křížlice, kde byla v roce 2010 provedena inventarizace agrárních tvarů přímým výzkumem v terénu (Procházka 2010). Následně byl použitý postup aplikován i na jednotlivá zájmová území. Referenční území sloužilo tedy nejprve pro navržení metod a následně ke kontrole detekovaných tvarů.

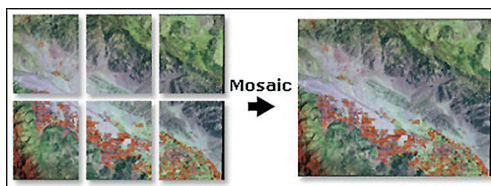
Analýza vycházela ze základního předpokladu, že agrární formy reliéfu se určitými charakteristikami nápadně liší od svého okolí. Jako vhodné pro analýzu byly vytipovány některé nástroje z extenze *3D Analyst* a *Spatial Analyst* v software ArcGIS 10.0.

Nástroje ze sady *ArcGIS Spatial Analyst* umožňují vytvářet a zpracovávat data v rastrovém formátu. Zároveň dokážou provádět prostorové analýzy rastrů i v kombinaci s vektory. Extenze *ArcGIS 3D Analyst* je zaměřena na tvorbu, analýzu a zobrazení trojrozměrných dat. Součástí této sady jsou i nástroje na reklasifikaci dat (*Reclass*) a nástroje k analýze digitálního modelu reliéfu, mezi které patří výpočty sklonu, expozice, křivosti, stínovaného reliéfu, extrakce vrstevnic a analýza viditelnosti (Štych a kol. 2008).

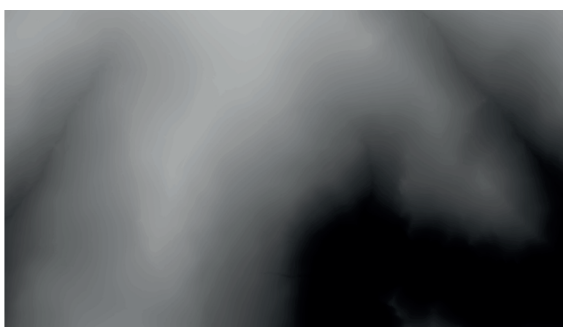
5.1.1 Předzpracování dat

Jelikož data dodaná z projektu „KRKONOŠE v INSPIRE – společný GIS pro ochranu přírody“, která byla dále zpracována na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze, byla rozřezána na čtverce o straně 1 km, bylo nejprve nutné čtverce spojit pro snadnější manipulaci. Podle hranic katastrálních území byly vybrány příslušné čtverce (čtverce byly označeny souřadnicemi levého dolního rohu v UTM zóna 33 vydělenými 1000). Pro spojení rastrů digitálního modelu reliéfu (Obr. 16), které byly ve formátu *.asc*, bylo třeba použít funkci *Mosaic To New Raster* (obr. 15). Tato funkce spojí několik rastrů do nového celistvého rastrového datasetu. Je třeba, aby všechny vstupní rastry měly stejnou bitovou hloubku. V případě, že by tomu tak nebylo, funkce by neproběhla. Při zadávání funkce se musí nastavit typ pixelu tak, aby odpovídal stávajícímu vstupnímu rastru. Pokud by proměnná nebyla definována, byl by jako výchozí typ pixelu nastaven 8 bit a mohlo by dojít k tomu, že výstup by byl nesprávný. Můžeme také nastavit formát,

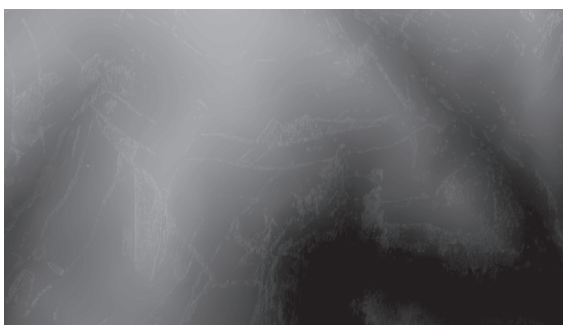
ve kterém chceme výsledný rastr dále používat např. JPEG, TIFF, BMP, GIF (ESRI 2012). Stejný postup platil i pro rastry digitálního modelu povrchu (obr. 17) a kvazigeoidu.



Obrázek 15: Funkce Mosaic to New Raster (ESRI 2012)



Obrázek 16: Digitální model reliéfu



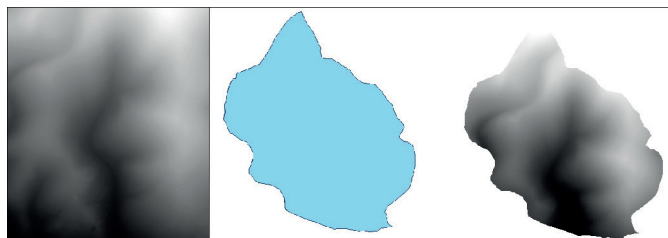
Obrázek 17: Digitální model povrchu

Protože výšky digitálního modelu reliéfu i povrchu byly elipsoidické (nad WGS 84) nikoliv nadmořské, bylo třeba odečíst pomocí funkce *Minus* hodnotu odlehlosti kvazigeoidu (43,7662–43,8559 m). Při použití této funkce, se odečte hodnota druhého rastru od hodnoty prvního rastru. Výpočet probíhá systémem buňka po buňce. Je třeba dbát na to, aby vstupní rastry byly zadány ve správném pořadí, jinak může dojít k chybnému výsledku. Pokud budou mít vstupní rastry celočíselné hodnoty, budou mít i buňky výstupního rastru celočíselné hodnoty. Stejně to bude i u desetinných čísel (ESRI 2012).

Tímto způsobem bylo dosaženo toho, že oba modely měly hodnoty nadmořské výšky. U digitálního modelu povrchu byla maximální nadmořská výška odlišná od maximální nadmořské výšky digitálního modelu reliéfu. Tento fakt je způsoben tím,

že v digitálním modelu povrchu je zahrnuta také vegetace, čímž se logicky zvýší maximální nadmořská výška.

Dále bylo třeba již spojené čtverce oříznout podle hranic katastrálního území. Tento krok byl proveden funkcí *Extract by Mask* (viz obr. 18), která vybírá buňky rastru podle předem zvolené oblasti ohraničené vybraným polygonem.



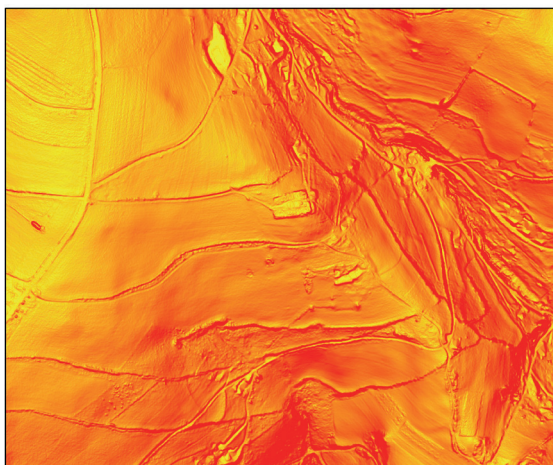
Obrázek 18: Funkce *Extract by Mask*

5.1.2 Detekce agrárních valů a teras bez vegetace

Sklonitost povrchu

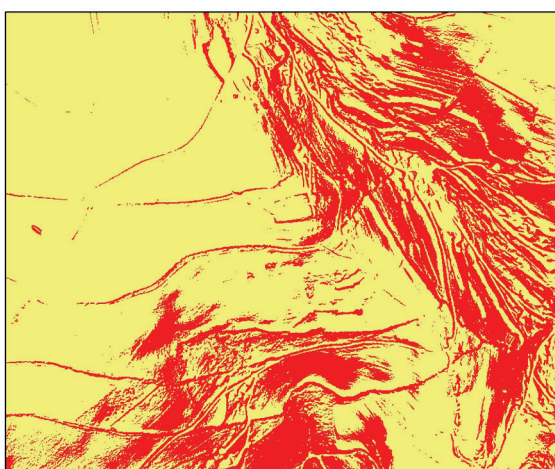
Jak již bylo dříve zmíněno, východiskem pro analýzu digitálního modelu reliéfu byl předpoklad, že místa, kde se agrární formy reliéfu nachází, se určitým způsobem liší od povrchu v jejich okolí. Protože se můžeme domnívat, že v místech agrárních valů a teras bude vyšší sklonitost povrchu než v jejich okolí, bylo využito funkce *Slope* ze sady *3D Analyst*, která vypočítá maximální rychlost změny sklonu mezi vypočítávanou buňkou a jejími osmi sousedními buňkami. Pro každou buňku vypočítává funkce *Slope* maximální stupeň změny hodnoty z buňky v porovnání s buňkami sousedními. Maximální změna v nadmořské výšce na vzdálenosti mezi buňkou a jejími osmi sousedy identifikuje nejstrmější svahy z buňky. Čím vyšší je hodnota buňky, tím je terén strmější. Rozsah hodnot ve výstupním rastru (viz obr. 19) závisí na druhu jednotek. U sklonitosti můžeme zvolit jako jednotky buď stupně (0–90°) nebo procenta, kdy plochý povrch je roven 0 % a povrch se sklonem 45° je roven 100 % (ESRI 2012).

Již po použití této funkce je možné odhadnout, kde se agrární formy nebudou nacházet. Protože každé území je svým způsobem specifické, nelze aplikovat stejnou hranici sklonitosti pro všechna území. Je dobré zvážit nastavení parametrů u každého zájmového území individuálně. Pevné nastavení by mohlo vést k tomu, že by některá místa výskytu hledaných tvarů nebyla rozpoznána. Po testování byl u referenčního území určen interval sklonitosti nad 15°, protože právě od této hodnoty se jevíly agrární tvary jako identifikovatelné. Výběr parametrů sklonitosti u zájmových území můžeme najít v tabulce 2.



Obrázek 19: Výpočet funkce Slope

V následujícím kroku je nutné provést reklasifikaci rastru sklonitosti. K tomu je vhodné použít funkci z nabídky *Reclass*, konkrétně *Reclassify*. Tuto funkci lze aplikovat pouze na data v rastrovém formátu. Pojmem reklasifikace myslíme rozdělení prvků do tříd, ne však pouhou vizualizací, ale fyzickým roztříděním a přeznačením hodnot. Důvodů pro reklasifikaci může být mnoho, např. nahrazení starých hodnot novými nebo spojení podobných hodnot či určitých tříd dohromady kvůli lepšímu zobrazení, což je i náš případ, kdy potřebujeme přidělit určitým intervalům nové hodnoty. Výstupem je potom rastr, který tematicky shrnuje rozložení zkoumaného fenoménu v prostoru do určitých oblastí (Štych a kol.2008). V našem případě reklasifikace znamená, že jednotlivým intervalům sklonitosti byla přiřazena hodnota 0 nebo 1, což znamenalo, že jev v této buňce nemůže/může nastat. V závislosti na předchozím rozdělení sklonitosti byl interval hodnot 0–14,9° označen kódem 0 a interval 15–58° kódem 1.

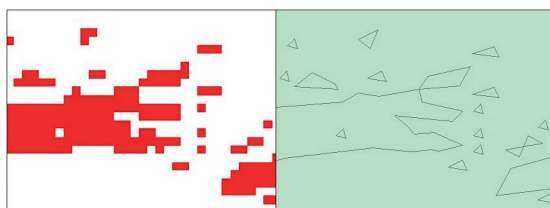


Obrázek 20: Reklasifikovaná vrstva sklonitosti povrchu

Pro další kroky při práci s vrstvou sklonitosti bylo třeba převést reklasifikovaný rastr do vektorové reprezentace a to z toho důvodu, aby se daly polygony rozdělit

na vyhovující a nevyhovující. Převedení z rastru na polygony bylo provedeno pomocí funkce *Raster to Polygon*, která konvertuje rastr na polygony bez ohledu na to, jakou má vstupní rastr velikost buňky. V atributové tabulce je pak obsažen sloupec „*grid code*“, ve kterém byly nové hodnoty, přiřazené při reklasifikaci.

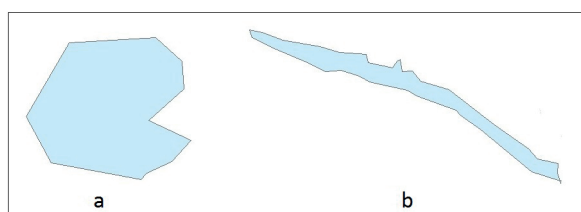
Pomocí funkce *Select* byly vybrány vyhovující polygony na základě nově přiřazené hodnoty a z nich byla vytvořena nová vrstva. Tímto způsobem tedy vznikla polygonová vrstva obsahující pouze polygony se sklonitostí větší než 15°.



Obrázek 21: *Raster to Polygon*

Převedením rastrové reprezentace do vektorové však vznikly polygony, které byly příliš malé, proto bylo třeba určit velikost nejmenších polygonů a znovu použít funkci *Select*, která oddělila do nové vrstvy pouze polygony splňující velikostní požadavky (Tab. 2). U referenčního území byla zvolena velikost nejmenšího polygonu 3 m².

Vzhledem k typickému tvaru polygonů, které by mohly představovat agrární valy nebo terasy, se ukázalo vhodné klasifikovat dále polygony podle jejich tvaru. Byly hledány dlouhé, protáhlé polygony, které by byly co nejméně podobné kruhu. Proto bylo využito vzorce pro výpočet podobnosti kruhu.

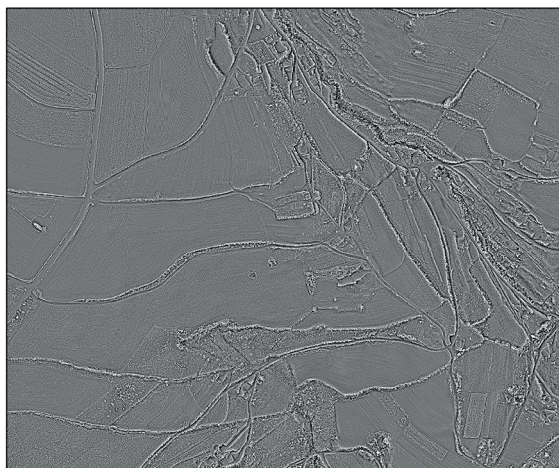


Obrázek 22: Ukázka polygonů podle koeficientu podobnosti ke kruhu $a = 1,2$ $b = 2,8$

Do atributové tabulky byl přidán další sloupec a pomocí *Field Calculator* byla pro každý polygon vypočítána podobnost ke kruhu. Výpočet vycházel ze vzorce:

$$D = (L/2\pi) \times \sqrt{(A/\pi)},$$

kde L je obvod polygonu a A je jeho obsah (Trembl 2012). Tento vzorec vychází z výpočtu tvaru krajinné plošky v rámci krajinné ekologie. Čím více se hodnota přibližuje číslu jedna, tím více je ploška podobná kruhu. Po testování byly pro referenční území vybrány polygony s hodnotou koeficientu podobnosti kruhu větší než 2 a znovu z nich byla vytvořena nová vrstva.



Obrázek 23: Výstup funkce *Curvature*

Křivost povrchu

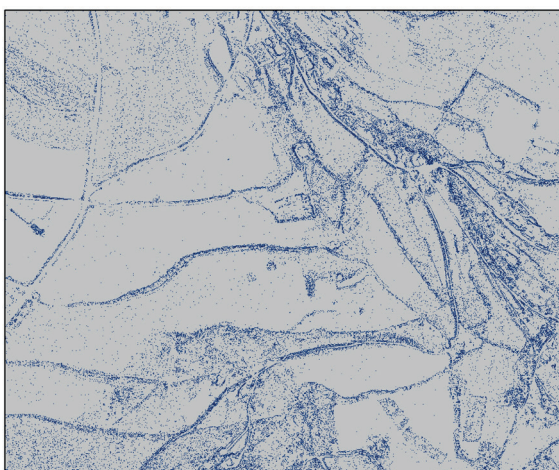
Jelikož na základě sklonitosti povrchu nelze jednoznačně určit všechny lokality, kde by se agrární tvary mohly nacházet, bylo nutné do analýzy terénu zařadit alespoň jednu další funkci, která by terén určitým způsobem charakterizovala. Mezi základní geomorfometrické analýzy se řadí také zakřivení (míra změny křivosti), (Štych a kol. 2008).

Tabulka 2: Parametry funkce *Slope*

	Maximální sklonitost [°]	Vyhovující interval sklonitosti [°]	Nejmenší velikost polygonu [m ²]	Podobnost ke kruhu
Křížlice	58,53	15–58,53	2,5	> 2,0
Horní Rokytnice n. /J.	75,18	13–75,18	1,5	>1,4
Strážné	81,69	20–81,69	2,0	> 1,4
Sklenářovice	75,90	20–75,90	3,0	> 1,6
Suchý Důl	79,81	20–79,81	4,0	> 1,4

Funkce *Curvature* je také ze sady nástrojů *3D Analyst* a jejím, hlavním výstupem je rastr zakřivení povrchu (obr. 23) vypočítaný na základě jedné buňky a osmi okolních buněk (tzv. Hornova metoda). Zakřivení se skládá ze dvou komponent a to: vertikálního zakřivení (*profile curvature*) a horizontálního zakřivení (*plan curvature*). *Profile curve raster* je rastr normálových křivostí ve směru spádnice. *Plan curve raster* je rast horizontálních křivostí. Dále je možné u této funkce nastavit parametr z-faktor (Štych a kol. 2008). Z-faktor upravuje jednotky měření v případě, že se liší od x a y jednotek vstupního rastru. Defaultně je to 1, v případě, že x a y jednotky jsou také rovny 1 (ESRI 2012). Nastavení Z-faktoru je třeba například v případě, že souřadnicový systém je v metrech a výška je

ve stopách. Profil křivosti je ve směru maximálního sklonu a normálově je kolmý na směr maximálního sklonu (Štych a kol.2008). Zakřivení může nabýt kladných i záporných hodnot. Záporné hodnoty znamenají, že terén je v této buňce konkávní směrem nahoru. Naopak pozitivní hodnoty zakřivení ukazují, že povrch v této buňce je směrem nahoru konvexní. Hodnota nula znamená, že je povrch plochý (ESRI 2012). V geomorfologii je konkávnost a konvexnost opačně, než v matematice. Konvexní tvary jsou vypuklé a konkávní vhloubené (Demek 1988).



Obrázek 24: Reklasifikovaná křivost povrchu

V našem případě nabyla křivost povrchu referenčního území hodnot $-506,012-453,986$. Po důkladném prohlédnutí míst výskytu agrárních tvarů bylo zjištěno, že nejčastější hodnoty v místech jejich výskytu mají hodnoty zhruba $-35-25$.

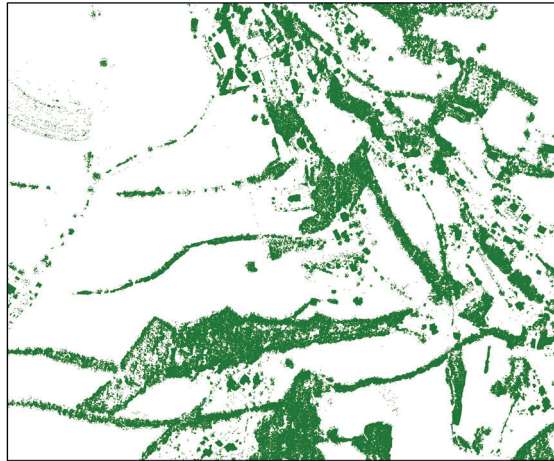
Pomocí *Reclassify* byla provedena reklasifikace stejně jako u funkce *Slope* a povrch byl rozdělen do tří intervalů. Následovaly stejné kroky jako v předchozím případě a to převedení rastrové reprezentace na polygony. Po převedení na polygonovou vrstvu byla z tohoto intervalu vytvořena nová vrstva (pomocí funkce *Select*) obsahující pouze polygony z daného vyhovujícího intervalu $-35-25$, kterým byla nově při reklasifikaci přiřazena hodnota 1 a také polygony splňující velikostní podmínky (nad $2,5 \text{ m}^2$).

Tabulka 3: Křivost povrchu ve všech katastrálních územích

	Interval křivosti celého území	Vyhovující interval křivosti	Nejmenší velikost polygonu [m^2]
Křížlice	$-506,012-453,986$	$-35-25$	2,5
Horní Rokytnice n. /J.	$-891,01-1597,2$	$30-100$	1
Strážné	$-1951,01-1803,998$	$30-150$	1
Sklenářovice	$-758,01-1511,99$	$-30-50$	1,2
Suchý Důl	$-1148,98-833,997$	$35-80$	1

5.1.3 Detekce agrárních valů a teras pokrytých vegetací

Většina agrárních tvarů byla v průběhu času pokryta vegetací. Bylo tedy třeba vytvořit co nejpřesnější vrstvu vegetace, která by mohla být dalším vodítkem při detekci agrárních valů a teras.



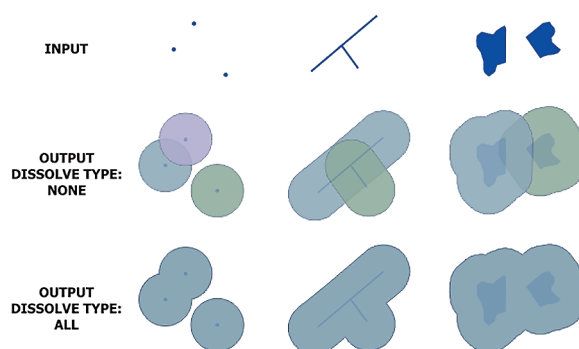
Obrázek 25: Vrstva vegetace

Jelikož digitální model povrchu v sobě má zahrnutou i vegetaci, ale digitální model reliéfu nikoliv, byl pomocí funkce *Minus* od modelu povrchu odečten model terénu. Hodnoty pixelů byly $-0,64-31,2$, bylo potřeba určit hranice intervalů, které by podaly informaci o tom, kde se nachází louky, křoviny a lesní porosty. Byly určeny hranice $0,5$ m a 3 m. Zanedbán byl tedy interval $-0,64-0,499$ m, protože právě v tomto intervalu se nachází louky a pastviny. Výsledkem byla vrstva vegetace, která byla následně pomocí funkce *Reclassify* rozklasifikována do tří intervalů ($-0,64-0,499$, $0,5-2,9$, $3-31,2$). Jelikož byl rastr značně členitý, bylo zapotřebí, nějakým způsobem rozšířit jednotlivé intervaly, aby bylo zajištěno, že třída vyšší vegetace bude v rastru souvislejší a bez obrovských mezer. Proto byla využita funkce *Expand*, která rozšíří vybrané intervaly funkce o příslušný počet buněk (ESRI 2012). Díky této funkci se podařilo rozšířit rozlohu vyšší vegetace o 2 buňky ze všech stran.

Následoval stejný postup jako v předchozích dvou případech, kdy byla rastrová reprezentace převedena na polygony a následně byly vyselektovány intervaly s „grid code“ 1. V případě vegetace ovšem nebyla stanovena žádná minimální velikost, podle které by byly polygony dále vybírány. Jelikož ale polygony vzniklé z rastru byly nesouvislé, často s malými mezerami, bylo zapotřebí je spojit na základě vzdálenosti jednoho od druhého. Proto byla použita funkce *Aggregate Polygons*. Ta zajistí, aby byly polygony, jejichž hranice jsou ve stanovené vzdálenosti od sebe, byly spojeny. Vzdálenost byla stanovena na 1 m. Dále lze u této funkce nastavit minimální plochu polygonu, který by měl být zachován a také minimální plochu zachovaných „děr“ (2012). Minimální veli-

kost plochy zachovaných polygonů byla nastavena na 5 m², stejná hodnota byla nastavena i pro minimální velikost plochy prostoru mezi polygony.

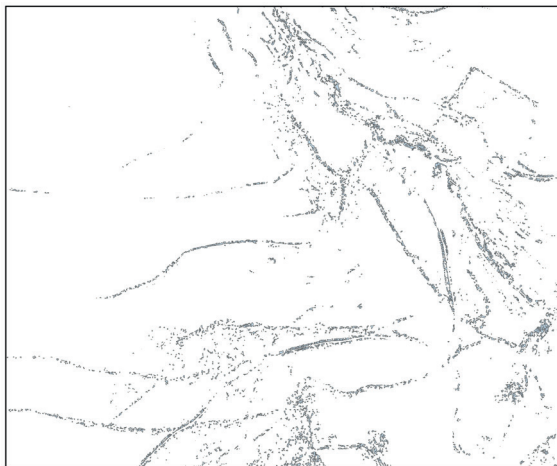
Podle našich předpokladů by se agrární formy reliéfu měly nacházet v místech s vyšší vegetací. Nutností tedy bylo zajistit, aby vybrané lokality byly v oblastech vegetace. K této analýze byla vhodná funkce *Intersect*, která vypočítá průnik vstupních vrstev. V atributové tabulce jsou pak uvedeny údaje z obou vrstev. U funkce *Intersect* lze také nastavit podobu výstupu (body, linie, polygony), (ESRI 2012). Touto funkcí bylo zajištěno, že se do jedné vrstvy spojí místa, kde je zároveň vyšší sklonitost, křivost a vzrostlá vegetace. Pro naše účely bylo nejvhodnější zvolit jako podobu výstupu polygonovou vrstvu.



Obrázek 26: Funkce *Buffer* (ESRI 2012)

Výstup této analýzy by již bylo teoreticky možné považovat za výsledek. Ale bylo ještě nutné vyloučit možnost, že by agrární valy byly zaměněny za relativně nedávno vytvořené terénní úpravy např. na zahradách domů. Nejprve bylo nutné nějakým způsobem zvětšit polygony budov (ZABAGED), k čemuž nám napomohlo použití funkce *Buffer*, která vytvoří kolem prvků námi vybrané vrstvy polygon v určité vzdálenosti od středu v případě bodu, od osy v případě linie nebo od hranice v případě polygonu (Obr. 26). Jednotky a hodnota vzdálenosti se nastaví při zadávání funkce. V případě, že vstupem do funkce je polygon, je možné nastavit, že po vytvoření bufferu se vstupní polygon smaže a tudíž bude výsledkem nově vytvořený zvětšený polygon (ESRI 2012). Polygony budov byly zvětšeny ve všech katastrálních územích o 10 m.

Posledním krokem bylo tedy odstranit z vrstvy s lokalitami vyšší sklonitosti, křivosti a vegetace polygony budov zvětšených bufferem. Bylo využito funkce *Erase*. Tato funkce odmaže ze vstupní vrstvy polygony, které jsou při zadání funkce označeny jako „*erase feature*“.



Obrázek 27: Výsledná vrstva průniku vyšší sklonitosti, křivosti a vegetace

V počátku provádění analýzy terénu, bylo záměrem po testování referenčního území sestavit pevný postup funkcí i s nastavenými parametry pomocí *Model Builderu*. To je aplikace v prostředí softwaru ArcGIS, která umožňuje vytvářet, upravovat a spravovat modely, což jsou pracovní postupy, které se provedou po zadání vstupních dat. Model je vlastně posloupnost funkcí, u kterých jsou zároveň zadány parametry pro jejich výpočty. Protože je ale každé území specifické, nelze dopředu určit hranice intervalů sklonitosti a křivosti. Proto nelze pro tento algoritmus sestavit *Model Builder* tak, aby bylo území objektivně vyhodnoceno. Stále tedy lidský faktor představuje důležitou složku pro výzkum.

5.1.4 Detekce agrárních hald

Východiskem pro nalezení agrárních hald bylo stejně jako u agrárních valů a teras to, že se charakteristikami povrchu budou nápadně lišit od svého okolí. Ať už vyšší sklonitostí nebo změnou křivosti v daném místě. Po provedení analýzy terénu z hlediska sklonu a křivosti se však v žádném místě nijak výrazně neprojeví oblasti, kde by se agrární haldy mohly nacházet.

Vygenerování vrstevnic

Nabízelo se zde tedy ještě jiné řešení, které by mohlo k nalezení agrárních hald v terénu přispět. Vychází z toho, že haldy jsou vyvýšeniny nad terénem a tudíž by vrstevnice v malém intervalu měly zaznamenat jejich přítomnost. Proto byly z digitálního modelu reliéfu pomocí funkce *Contour* vygenerovány vrstevnice o velmi malém intervalu (0,1 m).

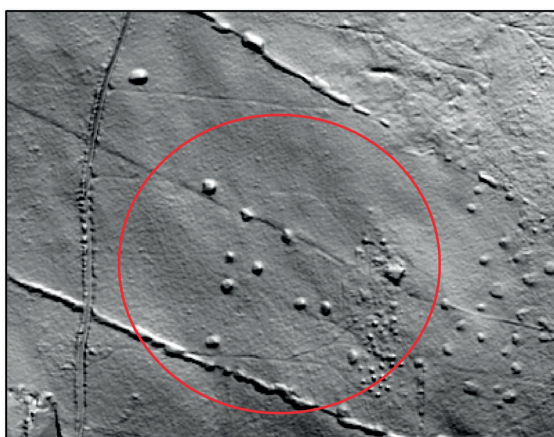
Aby byla vygenerována místa, kde jsou vrstevnice uzavřené a mají relativně pravidelný tvar, bylo nutné je převést na polygony funkcí *Feature to Polygon*. Tím byla odhalena místa, kde by se teoreticky mohly agrární haldy nacházet. Avšak porovnání

s mapou již zmapovaných agrárních tvarů i se stínovaným modelem reliéfu neprokázalo, že by se místa shodovala.

Detekce kamenných hald v terénu výše zmíněným automatickým způsobem je příliš obtížné, protože nedosahují takových rozměrů, aby mohly být takto rozpoznatelné.

Stínovaný model reliéfu

Dalším možným řešením, jak nalézt v terénu agrární haldy pomocí dat leteckého laserového skenování, bylo vytvoření několika stínovaných modelů reliéfu, ze kterých by se dalo zjistit, zda se v dané lokalitě agrární haldy nacházejí či nikoliv.



Obrázek 28: Oblast výskytu agrární haldy lokalizovaná pomocí stínovaného reliéfu (azimut 340°, výška zdroje světla 60°)

Stínování povrchu lze v softwaru ArcGIS provést dvěma způsoby. Jedním z nich je nastavení stínování přímo u samotné vrstvy, druhým je pak vytvoření rastru stínovaného povrchu funkcí *Hillshade*. Pro naše účely bylo vhodnější využít právě tuto funkci.

Tato funkce vytvoří z digitálního modelu povrchu rastr stínovaného reliéfu na základě osvětlení, umístění zdroje osvětlení je uvažováno v nekonečnu. Pro vytvoření rastru je nutné uvést azimut (horizontální úhel zdroje osvětlení) a zenit (vertikální úhel zdroje osvětlení). Rastr nabývá celočíselných hodnot od 0 do 255. Hodnoty zastíněného reliéfu jsou ovlivněny vztahem mezi pozicí slunce a orientací. Hodnota 0 je absolutní stín a hodnoty 1–255 jsou hodnoty přiřazené podle intenzity světla. Stínování může také napomoci zvýraznit obrazovou interpretaci rastrových dat (Štych a kol. 2008).

Po vytvoření několika rastrů stínovaného reliéfu (viz Tab. 4) bylo možné rozpoznat relativně pravidelné kruhovitě vyvýšeniny nad terénem (Obr. 28). Při porovnání s mapou zmapovaných agrárních tvarů se můžeme domnívat, že jde skutečně o agrární haldy.

Je zde ale také mnoho vyvýšenin, které mají podobný tvar a agrárními haldami nejsou, proto je nutné ověřit výstupy v terénu.

K výstupům rastru stínovaného reliéfu bylo přihlíženo i pro detekci agrárních valů a teras. Při jejich ruční editaci byly tedy zohledňovány také stínované modely reliéfu.

Tabulka 4: Nastavení parametrů funkce Hillshade

Rastr	Azimut [°]	Výška zdroje světla [°]
1	20	45
2	340	60
3	315	45
4	315	60

5.1.5 Ruční editace vygenerovaných agrárních tvarů

Jelikož výstupy v polygonové podobě byly příliš nepřehledné a rastry stínovaného reliéfu by nebyly vhodné k použití při následném terénním výzkumu, bylo nutné vygenerované tvary ručně zeditovat. Byly proto vytvořeny dvě nové vrstvy, liniová pro agrární valy a terasy a bodová pro agrární haldy. Ručně pak byly vytipované objekty překresleny do nové vrstvy, tím byly také značně zgeneralizovány.

5.2 Terénní průzkum

Pro verifikaci vygenerovaných agrárních forem reliéfu bylo nutné provést terénní průzkum, který by ověřil, že vygenerované výstupy analýzy skutečně odpovídají výskytu těchto tvarů v terénu. Pro terénní průzkum byla vybrána dvě území.

Prvním z nich byla část katastrálního území Strážné. Vzhledem k velikosti tohoto katastru bylo rozhodnuto, že terénní průzkum proběhne v nejdůležitější oblasti, kde by se agrární tvary měly nacházet a to v blízkosti budních enkláv nebo přímo v enklávách. Průzkum proběhl ve dvou enklávách, na Husích boudách a Lahrových boudách. Vybrané oblasti jsou od sebe odlišné, protože Lahrovy boudy jsou více otevřené do kraje a louky volně přecházejí do lesních porostů. Naopak Husí boudy jsou uzavřenější a les má zde celkem ostrou hranici bez přechodné zóny.

Druhou lokalitou pro terénní průzkum bylo katastrální území Suchý Důl v Krkonoších. Protože se jednalo o nejmenší ze zájmových území, proběhlo ověření výskytu agrárních forem reliéfu na celé jeho ploše. Katastr Suchý Důl byl vybrán proto, že na rozdíl od budních enkláv ve Strážném je většina území Suchého Dolu zakryta lesním porostem. Jedná se tedy o území, u kterého bylo prověřováno, zda jsou data leteckého laserového

skenování schopná odhalit lokality výskytu agrárních forem reliéfu i přesto, že jsou ukryty pod vegetací.

Při terénním průzkumu byly použity vytvořené mapy výstupů automatické detekce agrárních forem reliéfu. V terénu byly mapy porovnávány se skutečným stavem, který byl následně do map zanesen. Na základě toho byla vyhodnocena přesnost automatické detekce.

6 Výsledky

Hlavním výsledkem práce jsou mapy agrárních tvarů pro vybrané katastry v Krkonoších, které byly vytvořeny s využitím výše popsaného postupu. Mapy jsou v přílohách 1–6. Důležitým výsledkem, který svědčí o vhodnosti použitých dat a metod je také hodnocení přesnosti detekce agrárních tvarů. Komentář k výsledkům a k hodnocení přesnosti výsledků je shrnut v následující kapitole.

6.1 Výsledky automatické detekce agrárních tvarů v referenčním území katastru Křížlice

K vygenerování agrárních forem reliéfu v katastrálním území Křížlice byl využit postup zmíněný v kapitole 5.1. Na základě porovnání mapy v příloze 1 a obrázku 9, který zobrazuje výsledky terénního šetření provedeného v roce 2010, se můžeme přesvědčit, že se pomocí automatické metody navržené a použité v této práci podařilo v terénu nalézt většinu agrárních valů a teras. Detekce agrárních hald byla poněkud složitější a vzhledem k tomu, že jejich lokalizace proběhla pouze na základě vizualizace stínovaných reliéfů, mohlo dojít k tomu, že byly zaměněny za jiné terénní objekty např. hliněné kupky nebo jiné objekty vytvořené člověkem v nedávné době.

6.2 Hodnocení přesnosti detekce agrárních tvarů v referenčním území katastru Křížlice

Hodnocení přesnosti zvolených automatických metod detekce agrárních forem reliéfu s využitím dat leteckého laserového skenování bylo nejprve provedeno v referenčním území katastru Křížlice, pro nějž byly k dispozici výstupy analýzy agrárních tvarů na základě terénního průzkumu (Procházka 2010).

Přesnost byla vypočítána na základě délky agrárních valů zjištěné pomocí terénního průzkumu a délky agrárních valů detekovaných automatickými metodami. U agrárních hald byl postup podobný, byly porovnávány počty a správná lokalizace hald zjištěných pomocí terénního průzkumu s počtem a lokací hald, které byly nalezeny pomocí námi použitých metod.

Údaje vypovídající o úspěšnosti detekce agrárních tvarů v referenčním území můžeme vidět v tabulce 5. Oproti terénnímu průzkumu se pomocí automatických metod podařilo nalézt o 8 % menší délku agrárních valů a teras.

Tabulka 5: *Kvantifikace nalezených agrárních forem reliéfu v referenčním území*

	Délka agrárních valů a teras [km]	Množství určených agrárních hald	Absence agrárních hald	Špatná lokalizace
Terénní průzkum	4,90	35	—	—
Automatické metody	4,51	34	8	7

Výsledky detekce agrárních hald už nejsou tak uspokojivé jako v případě agrárních valů a teras. Terénním průzkumem bylo sice odhaleno 35 kamenných hald, což je o pouhých 2,8 % více než pomocí automatické detekce. Avšak z 34 nalezených hald pak bylo 7 (20 %) špatně lokalizováno a 8 hald (22,8 %) nalezených při terénním průzkumu nebylo při automatické detekci určeno vůbec.

6.3 Výsledky automatické detekce agrárních tvarů v katastrech Sklenářovice, Horní Rokytnice nad Jizerou, Strážné a Suchý Důl v Krkonoších

Sklenářovice

Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.2 týkající se charakteristiky zájmových území, tento katastr je z větší části pokryt lesním porostem. Podle ortofota můžeme na nezalesněných plochách vidět pozůstatky zemědělství a strukturu bývalé lánové vsi. Použité metody odhalily mnoho lokalit, které by mohly odpovídat výskytu agrárních valů, zhruba odpovídacích dřívějšímu lánovému členění a probíhajících až do dnes již zalesněných ploch. Automatickými metodami bylo vygenerováno celkem 19,8 km agrárních valů. Pomocí stínovaného modelu reliéfu byly také odhaleny menší okrouhlé vyvýšeniny, které by mohly být agrárními haldami, jejich počet byl 89. Všechny vyklasifikované tvary jsou zaneseny do mapy v příloze 5.

Horní Rokytnice nad Jizerou

V katastru bývalé lánové vsi – Horní Rokytnici, bylo vyklasifikováno 28 kilometrů agrárních valů. Toto relativně vysoké číslo je nejspíše způsobeno tím, že oddělení jednotlivých pozemků probíhalo podél celého lánu a do této oblasti bylo také kamení z polí shromažďováno. V okolí polí na nevyužívaných plochách pak můžeme najít agrární

haldy, které byly pomocí rastru stínovaného reliéfu odhaleny. Celkem jich bylo vyklasifikováno 128. Všechny vyklasifikované tvary viz mapa v příloze 6.



Obrázek 29: Agrární val na okraji enklávy Lahrovy boudy (foto: autorka)

Strážné

Již při pohledu na Základní mapu 1 : 10 000 můžeme zaznamenat, že po obvodu enklávy Husí boudy se patrně nachází řady nahromaděných kamenů (ČÚZK 2013). Přestože se na základě geomorfometrických charakteristik nepodařilo odhalit celou délku agrárních valů a teras, pomocí kombinace rastrů stínovaného modelu reliéfu se podařilo nalézt většinu lokalit výskytu agrárních tvarů. Očekávalo se, že agrární valy se budou nacházet na hranici lesa, ale vzhledem k dlouhému časovému vývoji již většina byla lesem téměř pohlčena. Určení umístění agrárních hald v terénu bylo na tomto území složitější a ne zcela se zdařilo. Vzhledem k přítomnosti budov a přilehlých pozemků bylo několik hald zaměněno za hromady hlíny. V jednom případě dokonce nebylo možné rozpoznat, proč bylo místo označené jako agrární halda, protože ani terén nenasvědčoval tomu, že by se něco podobného, mohlo v daném místě nacházet.

Při pohledu na ortofoto (ČÚZK 2013) můžeme po obvodu enklávy Lahrovy boudy vidět kamenné snosy. Při terénním průzkumu se potvrdila, podobně jako u Husích bud, domněnka, že podél obvodu enklávy se nacházejí kamenné valy a terasy. V případě této enklávy však můžeme konstatovat, že ne vždy byly valy na okraji lesního porostu, protože

jak již bylo výše zmíněno, v této oblasti louky pozvolna přecházejí v lesní porost a není zde tedy ostrá hranice.

Suchý Důl v Krkonoších

Podíváme-li se na ortofoto (ČÚZK 2013) Suchého Dolu, nelze na něm žádné agrární formy reliéfu rozpoznat, jelikož se většina katastrálního území nachází v lese. K detekci agrárních tvarů nám v tomto případě, ještě více než v předchozích napomohl stínovaný model reliéfu, který i přesto, že se území nachází v lesních porostech, ukáže průběhy agrárních valů a snadno podle něho mohou být lokalizovány agrární haldy.

6.4 Hodnocení přesnosti detekce agrárních tvarů v katastrech Strážné a Suchý Důl v Krkonoších

Na základě terénního průzkumu bylo provedeno hodnocení přesnosti pro dvě zájmová území. Jednalo se o část katastru Strážné a celé katastrální území Suchý Důl v Krkonoších. Podobně jako u hodnocení přesnosti detekce tvarů v referenčním území byly i v těchto dvou zájmových územích porovnávány délky valů vyklasifikovaných automatickými metodami s jejich skutečnou délkou. Stejně tak byly porovnávány počty agrárních hald nalezené s využitím stínovaného modelu reliéfu s počty hald nalezených v terénu.

Strážné

Vzhledem k velikosti katastru, byly pro terénní průzkum vybrány dvě oblasti z katastrálního území Strážné, které by měly mít vypovídající hodnotu o všech podobných částech tohoto území. Jednalo se o dvě budní enklávy – Husí a Lahrovy boudy.

Jak můžeme vidět v tabulce 6, v enklávě Husí boudy se podařilo celkem přesně vyklasifikovat průběh agrárních valů a teras. Pouze 5,7 % bylo špatně vyklasifikováno a zaměněno za jiný objekt. Nelze však opomenout, že zde vůbec nebylo nalezeno 0,64 km délky agrárních valů a teras. Horších výsledků pak bylo dosaženo v druhé enklávě – Lahrových boudách. Tam bylo vyklasifikováno chybně téměř 40 %. Na druhou stranu si můžeme všimnout toho, že chybělo pouze necelých 200 m určených valů.

V tabulce 7 můžeme vidět kvantifikaci úspěšnosti klasifikace agrárních hald. Na Husích boudách byla bohužel úspěšnost pouze 50 %. Agrární haldy zde byly zaměněny za objekty vytvořené zřejmě v nedávné době nebo místo průběhem terénu vůbec neodpovídalo rastru stínovaného reliéfu. U Lahrových bud můžeme říci, že výsledky dopadly nepoměrně lépe, pouze jedna halda byla zaměněna za jiný objekt, jinak všechny lokalizované tvary byly opravdu agrárními haldami, které v této enklávě tvoří nezaměnitelný ráz krajiny. Naopak jsme se zde setkali s faktem, že několik agrárních hald nebylo vůbec určeno.



Obrázek 30: Agrární haldy na Lahrových boudách (foto: autorka)

Suchý Důl v Krkonoších

V celém katastrálním území Suchého Dolu byla detekovaná délka agrárních valů 7,52 km, z toho však 30 % bylo vyhodnoceno špatně. Nejednalo se o valy a zídky, došlo zde k záměně za úvozy u cesty a strouhu. Nebyl zde však nalezen žádný chybějící agrární val. V Suchém Dole bylo dosaženo při detekci agrárních hald velmi dobrých výsledků. Bylo vyklasifikováno celkem 63 hald, z toho 90 % bylo vyklasifikováno správně. Došlo zde k záměně za větší kameny a v některých případech nebylo vůbec zřejmé, co bylo detekováno, protože se v terénu žádný objekt podobný agrární haldě nevyskytoval.

V dalších katastrálních územích hodnocení přesnosti neproběhlo vzhledem k reprezentativnosti dvou výše zmíněných a také z časových důvodů. Byly vybrány právě tyto dva katastry, jeden pokrytý lesním porostem a druhý bez porostu, aby bylo možné je porovnat. Hodnocení přesnosti v těchto dvou katastrech odhalilo obecné problémy použitých metod detekce agrárních tvarů. Patří mezi ně například častá záměna agrárních valů za úvoz cesty nebo odvodňovací strouhu.

Tabulka 6: Hodnocení přesnosti automatické detekce
agrárních valů a teras v části katastru Strážné a v katastru Suchý Důl

	Vyklasifikované AVaT ¹ [km]	Správně vyklasifikované AVaT ¹ [km]	Chybně vyklasifikované AVaT ¹ [km]	Chybějící AVaT ¹ [km]
Husí boudy	1,75	1,66	0,10	0,64
Lahrovy boudy	2,45	1,49	0,96	0,19
Suchý Důl v Krk.	7,52	5,23	2,29	—

Tabulka 7: Hodnocení přesnosti automatické detekce
agrárních hald v části katastru Strážné a v katastru Suchý Důl

	Počet vyklasifikovaných AH ²	Počet správně vyklasifikovaných AH ²	Počet chybějících AH ²
Husí boudy	10	5	—
Lahrovy boudy	35	34	4
Suchý Důl v Krk.	63	57	—

Na základě výše uvedených výsledků můžeme shrnout, že pokud se týká chyb v detekci, ve většině případů docházelo spíše k detekci tvarů, které ve skutečnosti agrárními valy, resp. zídkami nebyly, než k tomu, že by některé z nich chyběly. Navržené metody tedy byly schopny velmi dobře detekovat agrární valy a zídky a odhalit jejich průběh. Problémem a jistým omezením navržené metody, resp. využití tohoto datového zdroje v některých případech bylo, že byly vygenerovány i jim podobné útvary. U agrárních hald se jednalo o podobný problém, kdy docházelo k nadbytečnému vyklasifikování hald z důvodu záměny za jiný objekt. Avšak nastaly i případy, kdy agrární haldy nebyly vygenerovány vůbec.

¹ Agrární valy a terasy

² Agrární haldy

7 Diskuze

V následující kapitole budou zhodnocena data, pracovní postupy a nakonec výsledky získané analýzou terénu.

7.1 Data

Dodaná data z projektu „KRKONOŠE v INSPIRE – společný GIS pro ochranu přírody“ nasnímaná společností Geodis jsou velmi podrobná a hustota naměřených 5 bodů/m² je velmi vysoká. Jak uvádí Dolanský (2004), pro nejběžnější skener s výškou letu kolem 500 m při rychlosti 70 m/s je přibližná hustota 1,6 bodu/m². Ale například v rámci rakouského projektu „LIDAR na podporu prospekce v lese“ byla hustota měřených bodů až 8 bodů/m², což může velmi přispět ke kvalitním výsledkům (Doneus a Bries 2006).

Rozložení bodů v terénu ale není přesně stanoveno a má relativně náhodný charakter, který vychází z použité metody skenování. Vzdálenost bodů závisí na výšce letu a skenovací frekvenci, v podélném směru také na frekvenci letu. Pseudonáhodný charakter rozložení bodů způsobuje různou hustotu bodů na terénu v různých místech náletové řady. Z hlediska podrobnosti můžeme tedy označit data jako velmi vyhovující pro účel vyhledávání poměrně malých terénních útvarů (Dolanský 2004).

7.2 Metodika

Hlavní složkou této práce byla část praktická, při které bylo nutné analyzovat digitální model terénu a povrchu pomocí softwaru ArcGIS 10.0. K detekci agrárních tvarů byl využit především digitální model reliéfu. Digitální model povrchu byl využit pouze k vytvoření podrobné vrstvy vegetace. K analýze digitálního modelu reliéfu byly využity především dvě funkce, které počítají geomorfometrické charakteristiky povrchu (sklonitost a zakřivení povrchu). Výstupní rastry byly dále reklasifikovány podle vyhovujících intervalů a překonvertovány do vektorové reprezentace. Ve vektorové podobě byly vzniklé polygony dále klasifikovány na základě tvaru nebo velikosti. Z vyhovujících polygonů byl poté proveden průnik funkcí *Intersect* a tímto způsobem vznikla nová vrstva kombinující místa s lokalitami vyšší sklonitosti a křivosti. Jak již bylo výše zmíněno, odečtením digitálního modelu terénu od digitálního modelu povrchu vznikla přesná vrstva vegetace,

funkcí *Intersect* tedy mohly být vybrány oblasti, které mají vyšší sklonitost a zakřivení a jsou zároveň skryty pod vegetací.

V mnoha případech ale došlo k tomu, že vytvořením průniku značná část lokalit, kde se teoreticky mohly agrární tvary nacházet, zanikla. Bylo to způsobeno tím, že na jednom místě se nenacházely současně polygony vyšší sklonitosti a zakřivení. Nastala tedy situace, že při průniku těchto dvou charakteristik se v nové vrstvě nenacházelo nic, protože se lokality vyšší sklonitosti a zakřivení povrchu neshodovaly. Tento fakt byl ale napraven po vytvoření stínovaných modelů reliéfu, protože díky stínované vizualizaci vynikl třetí rozměr povrchu a bylo tak možné určit průběhy agrárních valů a teras.

Výpočtem geomorfometrických charakteristik se však podařilo odhalit pouze místa výskytu agrárních valů a teras nikoliv agrárních hald, které byly taktéž zahrnuty do výzkumu. Proto bylo k lokalizaci hald použito jiných metod. Předpoklad, že po vykreslení vrstevnic s intervalem 10 cm a jejich převedení na polygony, bude možné uzavřené vrstevnice vyhodnotit jako agrární haldy, byl mylný. Proto bylo využito vizualizace prostorových dat pomocí stínovaného reliéfu. Bylo vytvořeno několik rastrů stínovaného reliéfu. Jejich kombinacemi, případným zprůhledněním a přeložením přes sebe bylo dosaženo vyhovující vizualizace terénu. Z tohoto výstupu již bylo možné agrární haldy rozpoznat. Stejně dobře patrné byly i agrární valy i terasy.

Podobnou metodu použil i Vaverka (2012), když využil stínovaného modelu reliéfu i v případě vyhledávání archeologických památek ukrytých v lesních porostech. To zda je vůbec možné nalézt menší útvary i přes to, že se nachází v lese a v hustém porostu se snažil zjistit také Sittler (2004), který se snažil v lesním porostu nalézt pozůstatky zemědělství ve formě hřebínků a brázd (30–60 cm vysoké). Podařilo se mu to také pomocí stínovaného digitálního modelu reliéfu, ale dále pak použil ještě 3D vizualizaci dané oblasti (okolí Rastattu). Provedení 3D vizualizace našich zájmových území by mohlo být provedeno pomocí extenze ArcGIS 10.0 ArcScene, jejíž prostředí umožňuje překrytí několika vrstev v trojrozměrném formátu. S vrstvami lze následně snadno manipulovat a otáčet a je možné nastavit vyšší hodnotu převýšení, aby vynikly tvary na povrchu. Pro účely této práce však postačilo pracovat v extenzi ArcMap.

V práci nejsou rozlišovány rozdíly mezi agrárními valy a agrárními terasami. Je to z toho důvodu, že z dat leteckého laserového skenování nelze rozpoznat rozdíl mezi těmito dvěma odlišnými agrárními tvary. V terénu však můžeme zaznamenat, že agrární valy v některých místech plynule přechází v agrární terasy či zídky postavené bez jakéhokoliv pojivového materiálu.

7.3 Příčiny nepřesností

Rozdíly mezi délkou agrárních valů a teras nalezených terénním průzkumem a délkou těch, které byly automaticky detekovány, mohou být zapříčiněny několika fakty. První skutečností může být nepřesné změření délek v mapě z roku 2010. Dalším důvodem pak může být fakt, že v některých místech jsou agrární valy nebo terasy dvojité, což se nepodařilo odhalit při automatické analýze a tím mohl narůst rozdíl mezi zjištěnými délkami.

Důvodem absence detekovaných agrárních hald mohl být stejně jako u agrárních valů a teras fakt, že v některých případech byly agrární haldy v těsné blízkosti a nebylo tedy možné určit, že se jedná např. o pět hald v řadě nikoliv pouze o tři. Množství špatně lokalizovaných hald může být ovlivněno přítomností podobných terénních útvarů antropogenního původu, které však nijak s agrárními haldami nesouvisí nebo původu jiného.

Předpokládaným zdrojem chyb bylo v několika případech to, že některé agrární formy reliéfu byly automatickou metodou špatně vyhodnoceny a jako agrární tvary byly identifikovány jiné objekty.

K nejčastější záměně agrárních tvarů za jiný objekt docházelo v případě, že vygenerované agrární valy resp. terasy vedly podél cesty. Jednalo se totiž ve většině případů o úvoz, který se zařezával do terénu. Vzhledem k vypočítaným geomorfometrickým charakteristikám mohlo jít skutečně o agrární formu reliéfu, avšak terénní průzkum odhalil, že v některých případech nemůžeme, ani přes vypočítané charakteristiky rozpoznat agrární val či terasu, jedná se sice o antropogenně vzniklý tvar, avšak nikoliv agrární. To je omezení použité metody.

K další záměně došlo v případě, určení agrární haldy z rastrů stínovaného reliéfu. Nastaly případy, kdy byly agrární haldy zaměněny za malou skálu nebo větší kámen.

Dále došlo k záměně agrární terasy s odvodňovací strouhou (Lahrový boudy). Tento fakt byl nejspíše způsoben špatným odhadnutím terénu z rastru stínovaného reliéfu.

Oblasti vytipované jako místa s vysokou hustotou malých kamenných kupek se ukázaly jako špatně vyklasifikované. Na jejich místě se nacházely nově osázené paseky. K tomu, že došlo k mylnému označení takové lokality, mohlo dojít například tím, že po těžbě dřeva, která předcházela osázení lokality, došlo k vyklučení pařezů. Tím vznikl

velmi nerovný terén, který při vizualizaci stínovaného reliéfu mohl vypadat jako oblast plná malých kamenných kupek.

V některých případech také vlivem času došlo k tomu, že se agrární terasy rozpadly a jejich předchozí přítomnost je možné poznat pouze ze zvýšené koncentrace kamení.

7.4 Vegetace

Vlivem dlouhého vývoje došlo k tomu, že většina agrárních tvarů je zcela nebo alespoň částečně pokryta vegetací. Například na Husích boudách jsou valy těžko rozeznatelné od terénních stupňů, které jsou tvořeny pouze půdou. Agrární haldy jsou také téměř vždy pokryté půdou a vegetací takže je velmi obtížné rozeznat je od normálních terénních útvarů. Při bližším prozkoumání je pak patrné, že jejich základ tvoří opravdu kamenné snosy, které byly vlivem času pokryty nanesenou půdou a následně zarostly vegetací. Při terénním průzkumu v Suchém Dole byl také zjištěn fakt, že většina agrárních hald, které se nachází v lesních porostech, je porostlá listnatými stromy, což v jinak zcela jehličnatém lese usnadňuje vyhledání těchto tvarů. V enklávách jsou pak haldy porostlé travinami a borůvkám.

Pro navržené metody detekce agrárních tvarů však vegetace nepředstavuje žádný problém, jelikož s využitím digitálního modelu reliéfu je zcela odfiltrována.

7.5 Ochrana agrárních forem reliéfu

Podle Procházky (2010) jsou agrární tvary často rozebírány lidmi jako levný zdroj stavebního nebo dekorativního kamene. Tato skutečnost se děje i v rámci zájmových území této práce, protože velmi často můžeme v blízkosti budov vidět kamenné zídky nebo skalky vytvořené právě z rozebraného kamení agrárních forem reliéfu. Stejně tak můžeme konstatovat, že v některých místech se tyto tvary mění ve skládky odpadu nebo přebytečného stavebního materiálu (obr. 31).

Potřebná ochrana agrárních tvarů by měla být zajištěna také v případě, že se nachází v lese. Velký negativní vliv na existenci agrárních forem reliéfu má např. těžba dřeva, kdy při odtahování kmenů může docházet k narušování agrárních tvarů. Takový případ je možný pozorovat např. v zájmovém území Suchý Důl.



*Obrázek 31: Agrární val jako skladiště přebytečného
stavebního materiálu na Lahrových boudách (foto: autorka)*

8 Závěr

Tématem a cílem této bakalářské práce bylo zjistit, zda jsou data leteckého laserového skenování vhodná k detekci a mapování agrárních forem reliéfu v terénu. Již po provedení analýzy digitálního modelu terénu v oblasti referenčního území s využitím metodiky navržené v práci bylo dosaženo celkem uspokojivých výsledků, kdy se většina vygenerovaných lokalit opravdu shodovala s reálným umístěním agrárních tvarů. Dále byl stejný postup proveden i na čtyřech zájmových územích a ve dvou z nich byl proveden také terénní průzkum za účelem ověření přesnosti navrženého postupu detekce agrárních tvarů. I na základě výsledků dosažených v zájmových územích, můžeme konstatovat, že data leteckého laserového skenování lze využít pro detekci agrárních tvarů pomocí automatických metod a to i v případě, že se agrární tvary nachází v lesích. Dosažené výsledky můžeme na základě porovnání vyklasifikovaných tvarů a skutečnosti označit jako velmi uspokojivé. Nedostatkem navržených metod je, že v některých případech mohou být vygenerovány i jiné objekty, které s agrárními tvary mají společný pouze tvar.

Verifikace detekovaných tvarů v terénu je proto k vytvoření přesných map agrárních tvarů ve většině případů potřebná. Automatická detekce však může celý proces mapování jednoznačně urychlit a zjednodušit. Navržený postup může tedy významně pomoci při mapování a správě agrárních tvarů v Krkonoších.

Vzhledem k funkčnosti navržených metod by bylo v budoucnu možné zpracovat stejným způsobem i další katastrální území, v nichž se nachází větší množství agrárních tvarů, resp. kde je předpoklad, že by tyto tvary mohly být touto metodou odhaleny.

Správa Krkonošského parku může výstupy práce (navrženou metodiku, výsledky hodnocení přesnosti a mapy antropogenních tvarů) využít ke kvantifikaci a inventarizaci tvarů, případně jejich managementu a ochraně, vzhledem k tomu, že se jedná o místa, kde se nachází evropsky významná společenstva rostlin a živočichů.

Seznam zdrojů

Seznam literatury

- BACHMAN, C. G. (1979): Laser radar systems and techniques. Artech House, s. 203
- BAŠTA, J. (2013): Krkonošský národní park 1963–2013. Krkonoše a Jizerské hory, roč. 46, č. 5, s. 7–11
- BRÝDL, I. (2012): Tvorba 3D modelu Pravčické brány a jeho integrace do 2.5D TIN modelu terénu. Bakalářská práce. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie PŘF, Univerzita Karlova v Praze, s. 66
- DEMEK, J. (1988): Obecná geomorfologie. SPN, Praha, s. 476
- DONEUS, M.; BRIESE, CH. (2006): Full wave-form airborne laser scanning as a tool for archeological reconnaissance [online]. 2006 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://w3.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/Doneus_ROME_01.pdf
- DOLANSKÝ, T. (2001): Laserové skenování – DMT za letu [online]. 2001 [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2001/Sbornik/Referaty/dolansky.htm
- DOLANSKÝ, T. (2004): Lidary a letecké laserové skenování. Univerzita J. E. Purkyně, Ústí nad Labem, s. 100
- DVOŘÁK, J. (2009): Přírodní památka Sklenářovické údolí. Krkonoše a Jizerské hory, roč. 42, č. 11, s. 4–9
- GEIST, T.; LUTZ, E.; STÖTTER, J. (2003): Airborne laser scanning technology and its potential for applications in glaciology [online]. 2003 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.155.3829&rep=rep1&type=pdf>
- GOJDA, M. (2006): Zaniklá krajina – pohled z výšky, laserový skener v archeologii. Vesmír, roč. 85, č. 10, s. 614–616, [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.kar.zcu.cz/texty/gojda/GojdaVesmir.pdf>
- HÓFLE, B.; VETTER, M.; PFEIFER, N.; MANDLBURGER G.; STÖTTER, J. (2009): Water surface mapping from airborne laser scanning using signal intensity and elevation data [online]. 2009 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/esp.1853/pdf>
- JOHN, J. (2011): Letecké laserové skenování (ALS/LIDAR) a možnosti jeho využití v archeologii – úvodní informace o projektu. Počítačová podpora v archeologii III, Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň, s. 28

- KOLÁŘ, J.; HALOUNOVÁ, L.; PAVELKA, K. (1997): Dálkový průzkum Země 10. ČVUT, Praha, s. 164
- KRIPNER, J. (2001): Historie a současnost Sklenářovic. Veselý Výlet, roč. 17, č. 1, s. 7
- LYSÁK, J. (2013): Dokumentace k digitálnímu povrchu reliéfu a digitálnímu modelu povrchu z oblasti Krkonoš. Univerzita Karlova v Praze, Praha 2013
- MALTAMO, M.; PACKALÉN, P.; PEUHKURINEN, J.; SUVANTO, A.; HYPPA, J. (2007): Experiences and possibilities of ALS based forest inventory in Finland, University of Joensuu, Joensuu, s. 9
- PAVELKA, K. (2006): Laserové skenování – nová technologie sběru prostorových dat. České vysoké učení technické v Praze, Praha, s. 32
- PILOUS, V. (2000): Člověk místo eroze?. Krkonoše a Jizerské hory, roč. 33, č. 5, s. 18
- PILOUS, V. (2001): Krkonoše skal a kamení. Správa KRNAP, Vrchlabí, s. 32
- PILOUS, V. (2013): Neživá příroda Krkonoš. Živa, roč. 160, č. 4, s. 160–163
- PROCHÁZKA, M. (2010): Agrární formy reliéfu v Krkonoších na příkladu katastrálního území Křížlice. Bakalářská práce. Katedra geografie PŘF Univerzity J. E. Purkyně, Ústí nad Labem, s. 57
- POTŘEBOVÁ, L. (2013): Využití prostředí ArcGIS pro zpracování dat leteckého laserového skenování. Diplomová práce. Katedra matematiky, Fakulta aplikovaných věd. Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň, 2013. s. 99
- PUCHRIK, L., NÝDRLE, J. (2013): Snímkování a letecké laserové skenování Krkonošského národního parku. Geodis news, roč. 12, č. 1, s. 24
- RADOVÁ, R. (1980): Antropogenní ovlivnění některých složek přírody modelového území ve vrcholové části východních Krkonoš. Diplomová práce. Katedra kartografie a fyzické geografie PŘF UK Praze, Praha, s. 81
- SHAN, J. ; TOTH, C. (2008): Topographic laser ranging and scanning: principles and processing. CRC Press, s. 590
- SITTLER, B. (2004): Revealing historical landscapes by using airborne laser scanning [online]. 2004 [cit.2014-05-14]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?rep=rep1&type=pdf&doi=10.1.1.215.5975>
- SOOYOUNG, K.; McGAUGHEY, R. J.; ANDERSEN, H. E.; SCHEUDER, G. (2009): Tree species differentiation using intensity data derived from Leaf-on and leaf-off airborne laser scanner data [online]. 2009 [cit.2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425709000947>

ŠTYCH, P. A KOL. (2008): Vybrané funkce geoinformačních systémů. CITT Praha Akademie kosmických technologií oblast Galileo, GMES, Praha, s. 181

TREML, V. (2012): Popis krajinné struktury – Metody ve fyzické geografii I., Univerzita Karlova v Praze, Praha 2012

VAVERKA, P. (2012): Využití DMR z leteckého laserového skenování pro detekci archeologických a kulturních památek. Bakalářská práce. Fakulta stavební. Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň, s. 51

ZAPLETAL, L. (1969): Úvod do antropogenní geomorfologie I., Univerzita Palackého, Olomouc, s. 278

Elektronické zdroje

CENIA (2009): Použití mapových služeb externími aplikacemi [online]. 2009 [cit. 2012-05-10]. Dostupné z: <http://kontaminace.cenia.cz/>

ČÚZK (2013): Informace o produktu – Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED®) – polohopis [online]. 2013 [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: [http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(j2av3cuynwsgxnqfjgde2l2u\)\)/default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=zabaged&metadataID=CZ-CUZK-ZABAGED-VP&mapid=8&menu=241](http://geoportal.cuzk.cz/(S(j2av3cuynwsgxnqfjgde2l2u))/default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=zabaged&metadataID=CZ-CUZK-ZABAGED-VP&mapid=8&menu=241)

ČÚZK (2013): Prohlížeč služba WMS: Ortofoto [online]. 2013 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx

ČÚZK (2013): Prohlížeč služba WMS: ZM 10 [online]. 2013 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM10_PUB/WMSservice.aspx

ČÚZK (2013): Prohlížeč služba WMS: Správní a katastrální hranice ČR [online]. 2013 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_SPH_PUB/WMSservice.aspx

ESRI (2012): ArcGIS Resource center [online]. 2012 [cit. 2014-04]. Dostupné z: http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Welcome_to_the_ArcGIS_Help_Library/00r90000001n000000/

POINT OF BEGINNING (2010): LMS-Q680i – Class 1 for FAA Rotocraft [online]. 2010 [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://www.pobonline.com/articles/94979-lms-q680i-class-1-for-faa-rotocraft>

Seznam příloh

Příloha 1: Agrární formy reliéfu na části referenčního území Křížlice

Příloha 2: Agrární formy reliéfu – Lahrovy boudy (část katastrálního území Strážné)

Příloha 3: Agrární formy reliéfu – Husí boudy (část katastrálního území Strážné)

Příloha 4: Agrární formy reliéfu – Katastrální území Suchý Důl v Krkonoších

Příloha 5: Agrární formy reliéfu – Katastrální území Sklenářovice

Příloha 6: Agrární formy reliéfu – Katastrální území Horní Rokytnice nad Jizerou

AGRÁRNÍ FORMY RELIÉFU

část referenčního území Křížlice

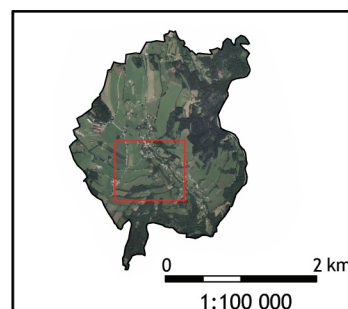


0 250m

1 : 7 500

● agrární haldy

— agrární valy a terasy

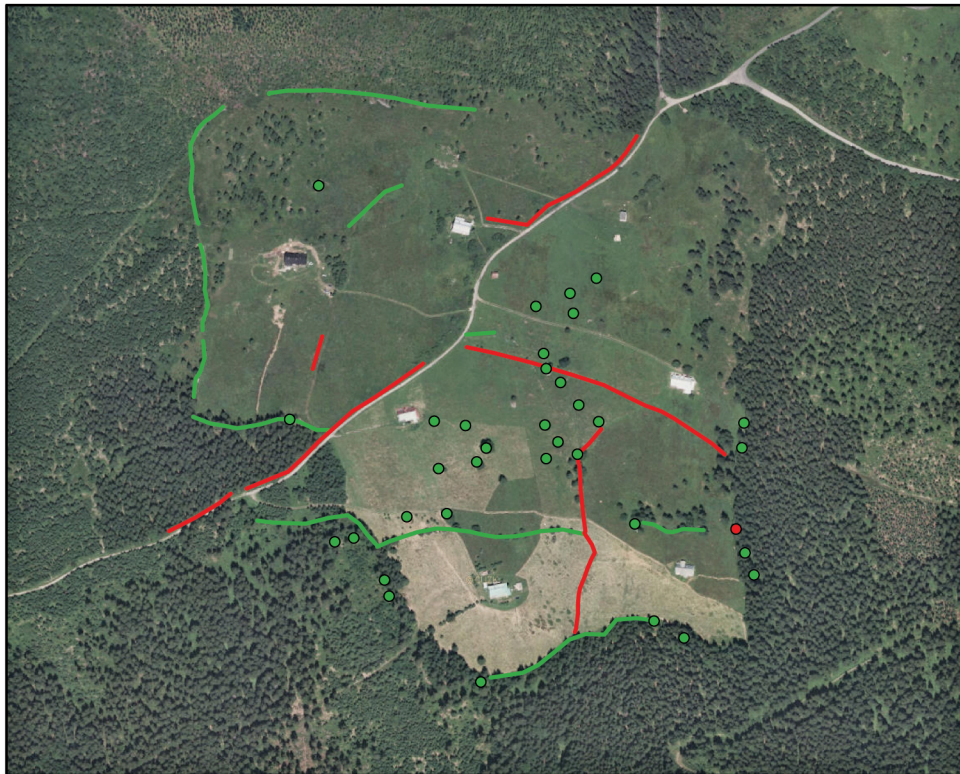


podkladová mapa: ČÚZK (2013): Prohlížečská služba WMS:
Ortofoto [online], dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx, [staž. 2014-05-10]

Lucie JEBAVÁ
2014

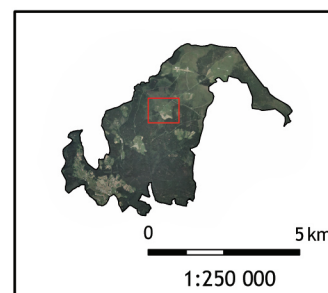
AGRÁRNÍ FORMY RELIÉFU

Lahrovy boudy - katastrální území Strážné



0 250m
1:8 000

- správně vyklasifikované agrární haldy
- chybně vyklasifikované agrární haldy
- správně vyklasifikované agrární valy a terasy
- chybně vyklasifikované agrární valy a terasy

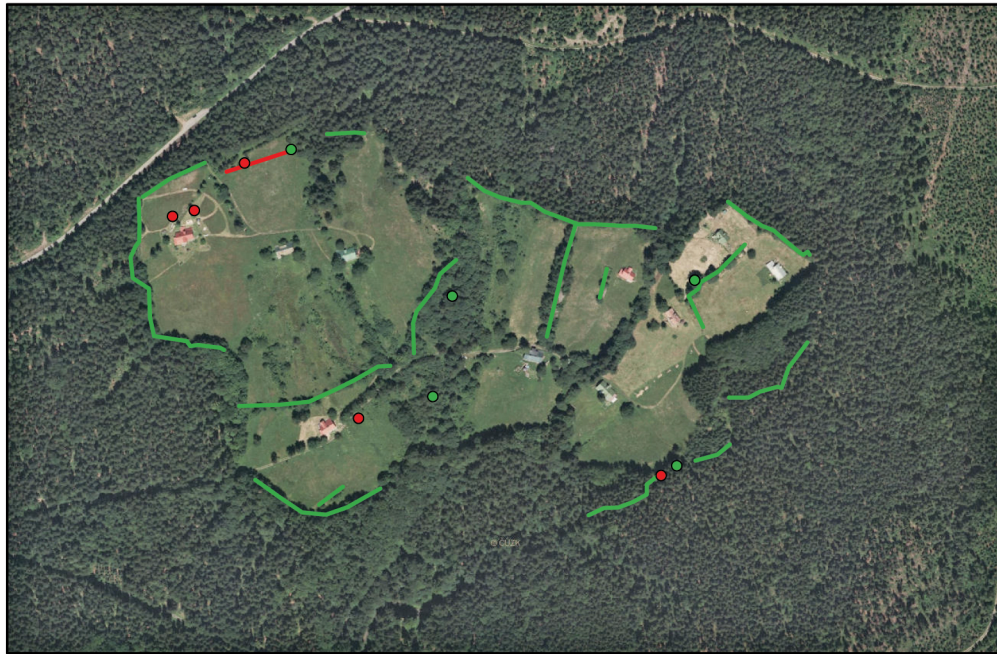


podkladová mapa: ČÚZK (2013); Prohlížečící služba WMS:
Ortofoto [online], dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx, [staž. 2014-05-10]

Lucie JEBAVÁ
2014

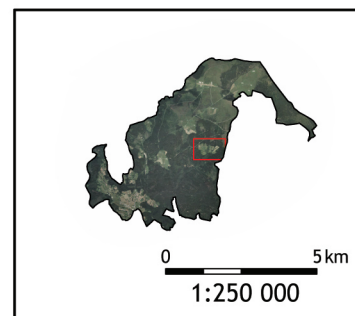
AGRÁRNÍ FORMY RELIÉFU

Husí boudy - katastrální území Strážné



0 250 m
1:8 000

- správně vyklasifikované agrární haldy
- chybně vyklasifikované agrární haldy
- správně vyklasifikované agrární valy a terasy
- chybně vyklasifikované agrární valy a terasy

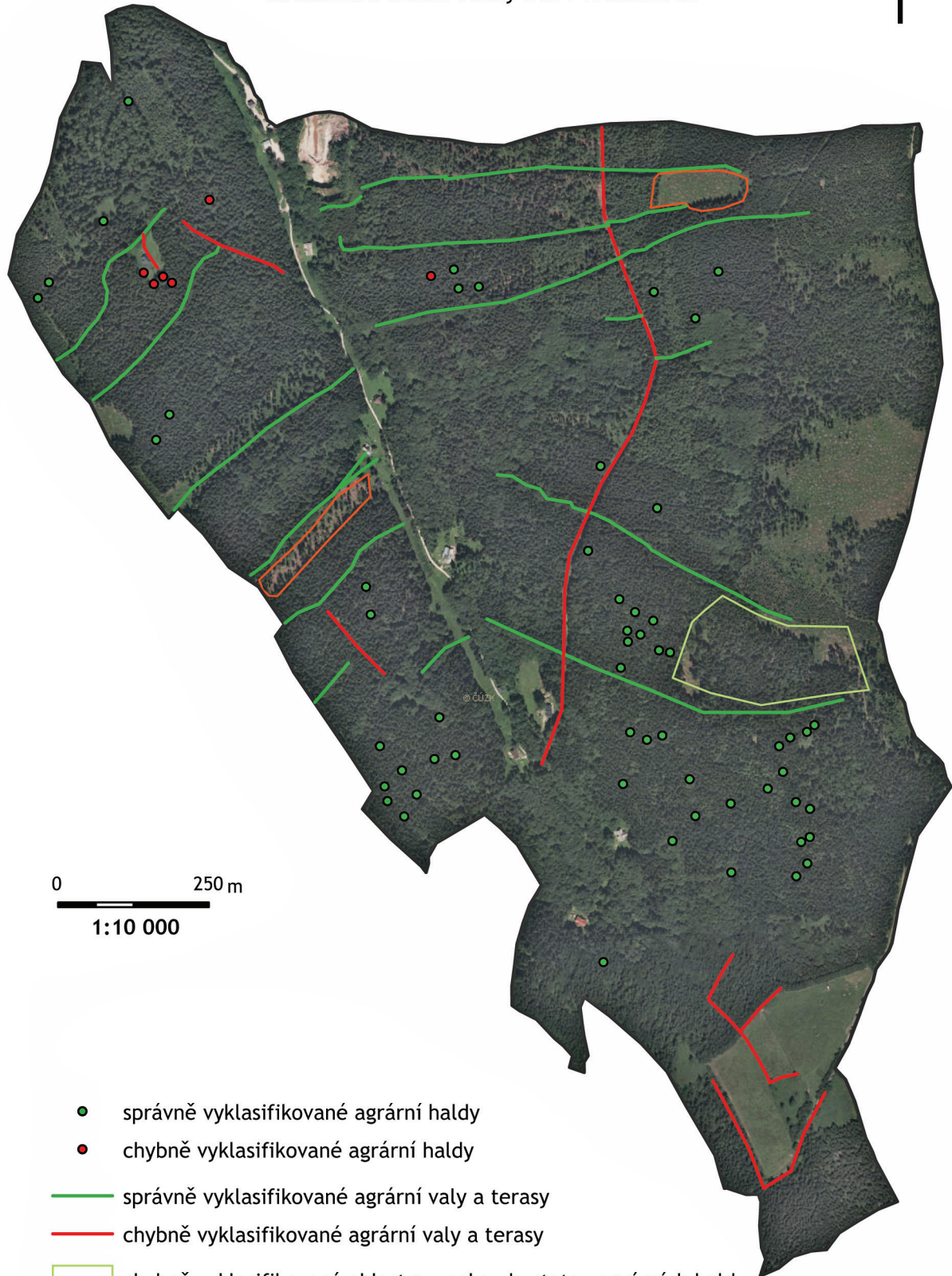


podkladová mapa: ČÚZK (2013): Prohlížečská služba WMS:
Ortofoto [online], dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx, [staž. 2014-05-10]

Lucie JEBAVÁ
2014

AGRÁRNÍ FORMY RELIÉFU

katastrální území Suchý Důl v Krkonoších



0 250 m
1:10 000

- správně vyklasifikované agrární haldy
- chybně vyklasifikované agrární haldy
- správně vyklasifikované agrární valy a terasy
- chybně vyklasifikované agrární valy a terasy
- chybně vyklasifikovaná oblast s vysokou hustotou agrárních hald
- správně vyklasifikovaná oblast s vysokou hustotou agrárních hald
- hranice katastrálního území

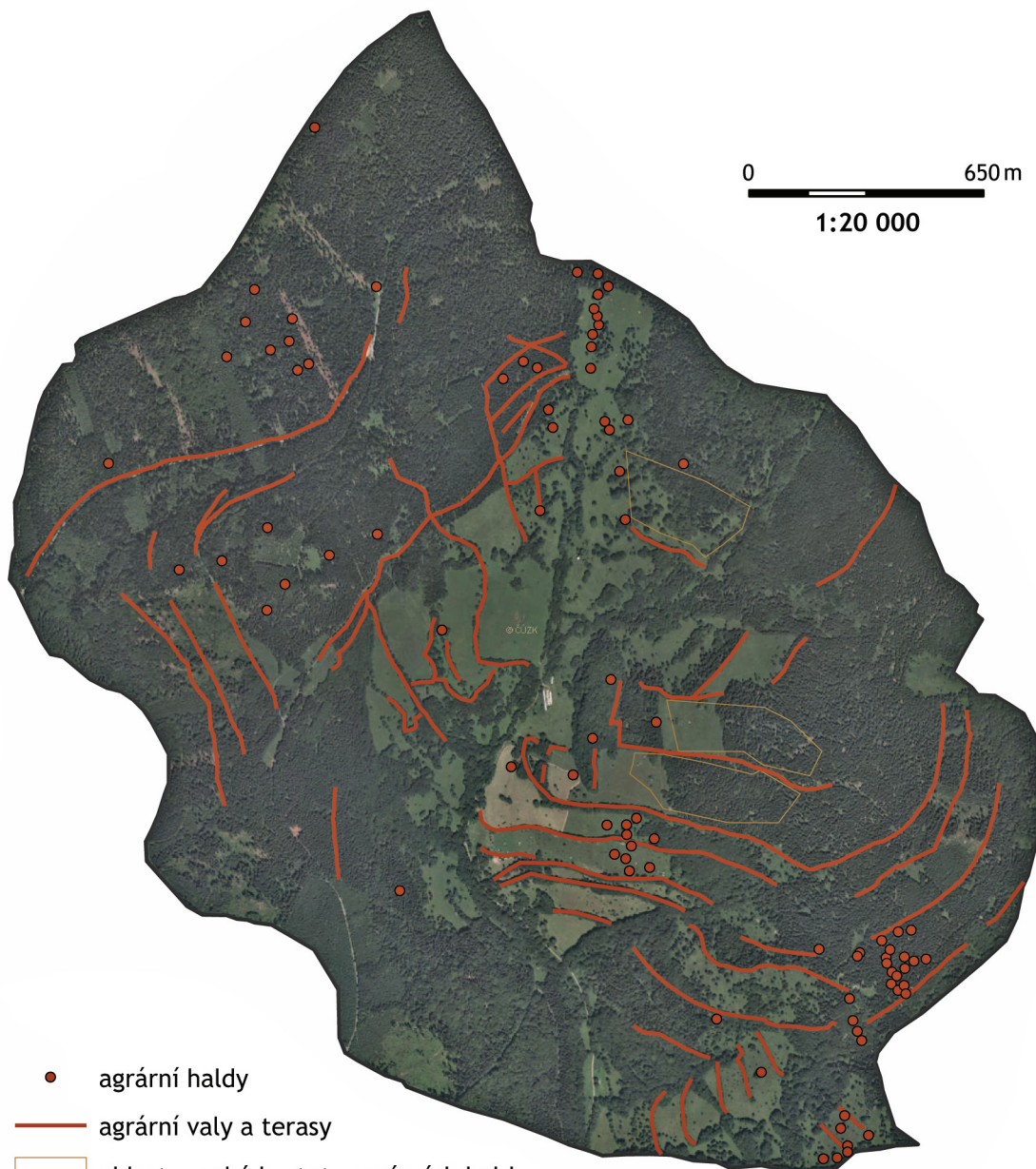
podkladová mapa: ČÚZK (2013): Prohlížečská služba WMS:
Ortofoto [online], dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx, [staž. 2014-05-10]

Lucie JEBAVÁ
2014

AGRÁRNÍ FORMY RELIÉFU katastrální území Sklenářovice



0 650 m
1:20 000



- agrární haldy
- agrární valy a terasy
- ▭ oblast vysoké hustoty agrárních hald
- ▭ hranice katastrálního území

podkladová mapa: ČÚZK (2013): Prohlížečská služba WMS:
Ortofoto [online], dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx, [staž. 2014-05-10]

Lucie JEBAVÁ
2014

AGRÁRNÍ FORMY RELIÉFU

katastrální území Horní Rokytnice nad Jizerou

S



● agrární haldy

— agrární valy a terasy

□ hranice katastrálního území

0 1 km

1:27 000

podkladová mapa: ČÚZK (2013): Prohlížečská služba WMS:
Ortofoto [online], dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx, [staž. 2014-05-10]

Lucie JEBAVÁ
2014