

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
Katedra fyzické geografie a geoekologie

Analýza změn krajinného pokryvu nástroji GIS a DPZ v povodí horní Chomutovky

**Analysis of landscape changes by means of GIS and RS in the
upper Chomutovka River catchment**

Bakalářská práce

Svatopluk Stoupa



Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Michal Jeníček PhD.

Září 2011

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a informací, na něž odkazuji.

.....
Svatopluk Stoupa

Poděkování

Rád bych poděkoval svému školiteli Dr. Jeníčkovi za velkou trpělivost, Ing. Jiřímu Kvasničkvi za seznámení s programem Hugin a Iloně Akulovich za osobní podporu a nezdolný optimismus.

Abstract

The aim of this work is to assess the suitability of selected tools of GIS and remote sensing for classification of black and white aerial photographs for the purpose of analyzing changes in land cover in the basin of the upper Chomutovka. Another objective is to evaluate changes in land cover, which in this area between the monitored years significantly changed. Area of interest is located in the highest parts of the Krušné hory Mountains, which have historically been significantly affected by the limit fallout, which resulted in massive dieback. The work is intended to quantify these changes as a potential input to hydrological modeling.

The main method of this work lies in the use of GIS and remote sensing tools, especially orthorectification, tessellation, and manual classification. Work is also considering the possibility of using Hugin, which does not fall into the category of GIS, but it can be used with satisfactory results for geographical purposes.

For the purposes of the work has been used black and white aerial photos of the two time sections 1975 and 1987, which define the period of the most significant dieback of vegetation in the area and their interpretation and comparison allows to capture these changes well. The output are two maps showing land cover in the years and statistical evaluation of changes in land cover with the main emphasis on changes in forest cover.

Obsah

1. ÚVOD	6
2. SOUČASNÝ STAV VÝZKUMU	7
2.1 Letecké Snímkování	7
2.2 Použití leteckých snímků	8
2.3 Sledování krajinných změn.....	9
2.4 Předchozí studie.....	9
3. METODIKA	11
3.1 Fyzickogeografická charakteristika zájmového území.....	11
3.2 Použitá Data.....	12
3.3 Ortorektifikace	13
3.4 Mozaikování.....	16
3.5 Klasifikace a analýza.....	20
4. VÝSLEDKY	22
5. DISKUSE	24
6. ZÁVĚR	25
7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	26
8. OBSAH PŘILOŽENÉHO CD	28
9. MAPOVÉ PŘÍLOHY	28

..

1. Úvod

Cílem této práce je posouzení vhodnosti vybraných nástrojů GIS a DPZ pro klasifikaci černobílých leteckých snímků pro účel analýzy změny krajinného pokryvu v povodí horní Chomutovky. Zároveň je i cílem zhodnotit změny krajinného pokryvu, který se v této oblasti mezi sledovanými roky výrazně proměnil. Zájmové území se nachází ve vrcholových partiích Krušných hor, které byly v minulosti postižené výrazným imisním spadem, který měl za následek mohutné odumírání vzrostlých porostů. Práce má za účel kvantifikovat i tyto změny s potenciálem vstupu do hydrologického modelování.

Sledované území se nachází v katastru obce Hora Sv. Šebestiána, má značně protáhlý tvar sledující rozvodnici a celkovou rozlohu 14,51 km².

Hlavní metoda práce spočívá ve využití nástrojů GIS a DPZ, především ortorektifikace, mozaikování a manuální klasifikace. Práce také zvažuje možnost využití programu Hugin, který sice nespadá do kategorie GIS, ale lze ho s uspokojivými výsledky použít i pro účely geografické.

K práci byly použity černobílé letecké snímky z dvou časových prořezů 1975 a 1987, které vymezují období, kdy došlo k nejvýraznějšímu odumírání porostů v dané lokalitě a jejich interpretací a porovnáním tak umožňuje dobře zachytit tyto změny.

Výstupem jsou dvě mapy zachycující krajinný pokryv v daných letech a statistické vyhodnocení změny krajinného pokryvu s hlavním důrazem na změny v lesním pokryvu.

2. Současný stav výzkumu

2.1 Letecké snímkování

Pro sledování krajinných změn se kromě tradiční vizuální interpretace a studia starých map v posledních několika desetiletích hojně využívá snímkování krajiny ze vzdušných nosičů. Vedle satelitního snímkování, které se dnes používá nejčastěji (Carrieras et al., 2006), se v hojné míře využívá i letecké snímkování. Pořizovací náklady družicových snímků jsou sice nižší než leteckých (Comber et al., 2004), nicméně družicové snímky svojí historií zasahují nejdále do r. 1972, kdy začala soustavně snímkovat zemský povrch družice Landsat 1 a pro studie, které potřebují pro svou práci starší data, musí spoléhat na leteckou fotografii, která je pro některá území k dispozici již od 30. let 20. st včetně České republiky. (Miller et al., 2000; Chmelová, 2007).

Historické letecké fotografie jsou vynikajícím zdrojem velice přesných informací, který je díky postupující digitalizaci stále více dostupný pro přesné analýzy a studie (Korpela, 2006; Miller et al., 2000).

Samotné letecké snímkování je dnes samostatný obor, který prodělal velice dynamický vývoj urychlený jeho vojenským využitím v obou světových válkách a i v pozdějších konfliktech (Kolář., 1997). Jsou velice vhodné i pro zpřesnění výsledků starších prací vycházející z tradičního pozemního průzkumu (Miller et al., 2000).

Se systematickým snímkováním území České republiky se začalo na sklonku třicátých let minulého století. Letecké snímkování bylo již od svých počátků doménou armády, ale snímkování celého území díky druhé sv. válce nebylo dokončeno. Soustavné celostátní letecké mapování bylo obnoveno až v roce 1946 (Chmelová, 2007).

Území státu bylo do poloviny 90. let minulého století celkem čtyřikrát celoplošně nasnímováno, od 80. let byly v některých případech pořizovány i snímky barevné. Převážná většina dnes již archivních snímků je uchovávána ve formě černobílých negativů, v menší míře barevných a spektrozónálních (Chmelová, 2007).

Dnes je za periodické snímkování celého území České republiky zodpovědný Český úřad zeměměřický, který provádí snímkování v tříletém intervalu a vytváří z něho barevné ortofotomapy (Šíma, 2007).

Přesnost informací získaných z leteckých snímků záleží hlavně na způsobu interpretace, přesnosti a rozlišení fotografie. Kvalita zpracování zvláště u manuální interpretace je otázkou především zkušenosti zpracovatele. V případě zpracování výpočetní technikou pak na kvalitě algoritmického zachycení postupu (Miller et. al). Výrazný vliv na kvalitu a možnosti zpracování má také fyzikální podstata snímkování. Např. černobílé letecké snímky panchromatické nejsou vhodné tam, kde jde o rozlišení vegetace. Tmavé tóny, které nahrazují zelenou navzájem splývají a znemožňují rozpoznat druh porostu nebo typ lesa. (Dobrovolný, 2008).

2.2 Použití leteckých snímků

Letecké snímky se dnes používají v celé řadě oborů, které se nějakým způsobem dotýkají krajiny. Díky tomu, že archivní letecké snímky zobrazují reálnou krajinu určité doby, mohou sloužit tak k zpětnému získání přesných informací pro specifické účely, např. pro účely archeologické (Bálek, 2002), pro sledování ekologické zátěže krajiny, např. rozšiřování odpadu (Nakashima et al., 2011) či ke geomorfologickým účelům, např. odhadování stržové eroze (J. B. Ries et al., 2003). Časté využití leží v monitorování stavu vegetace (Knapp et al., 1990). Nejčastěji ale pole využití leteckých snímků leží v sledování změn nejrůznějších krajinných prvků, často s přesahem do dalších sfér činností. Např. Zomeni et al. (2008) al. použil leteckých snímků k sestavení vegetační mapy, skrze niž sledoval změny ve zemědělském využití venkovské krajiny za účelem implementace poznatků v zemědělské politice a regionálním plánování.

Nejběžnější metodou analýzy leteckých snímků je klasické skenování a jejich následné zpracování v GIS. Často se data kombinují se vstupy z jiných zdrojů nebo využívají další přídavné metody, které obohacují získaná data ze snímků o data rozdílného charakteru a dodávají tak datům další dimenzi. Velice hojná je kombinace analýzy snímků se studiem historických map nejrůznějšího charakteru, často katastrálních (Skånes, 1997; Cousins, 2001).

Využitelnost leteckých snímků závisí na technice jejich pořízení. Specifické fyzikální vlastnosti snímací komory umožňující snímat i v neviditelných částech spektra a spolu s kombinací vstupů z jiných zařízení např. radaru pak mají za následek využívání leteckých snímků v nových směrech, např. k měření výšky stromů (Suárez et al., 2005). Některé krajinné prvky lze nejlépe sledovat v jiné než viditelné části spektra (Kolář, 1997). Pro tyto účely slouží ale hlavně satelitní snímkování.

2.3 Sledování krajinných změn

Téma krajinných změn v souvislosti s celosvětovými změnami přírodního i společenského charakteru je dlouhodobě diskutováno a existuje nespočet prací na toto téma zabývajících se ať už příčinami změn jejich dopady či metodami jejich sledování. Např. existuje mnoho studií zabývajících se změnou krajiny zapříčiněné změnou sociálních poměrů, jedná se především o změny v obhospodařování půdy, nebo jejím opuštění (Hietel et. al., 2004, Sluiter et de Jong., 2007). Mnoho studií se specializuje na změny v tradiční krajině a její a její využívání a funkci (Eetvelde, 2004).

Studie změn krajiny mohou být buď krátkodobé zabývajících se změnou mezi dvěma časovými průřezy nebo zachycující dlouhodobý vývoj. Např. Cousins (2001) sledoval změny krajinného pokryvu v jihovýchodním Švédsku od 17. století až do roku 1981. Některé dlouhodobé studie se snaží i o následnou predikci vývoje do budoucnosti

Metody sledování krajinných změn ze značné části závisí na použitém zdroji dat. Využívají se všechny možné zdroje, které dokáží podat informace s prostorovou vazbou. Primárně jsou to historické mapy, letecké a satelitní fotografie a terénní průzkum.

Nejčastějším nástroji zpracování a analýzy dat jsou geografické informační systémy, které hrají dnes naprosto dominantní roli ve většině prací věnujících se krajinným změnám. Leckdy se používají zároveň se specifickými statistickými programy (Matsushita, 2006).

Pro řádné zhodnocení krajinných změn se často zdroje kombinují a uplatňují se na ně rozličné statistické metody, např. Reger et al. (2007) ke studii změn krajinného pokryvu v Evropě zkombinoval satelitní data s historickými údaji o landcoveru a aplikoval na ně shlukovou analýzu K-means. Skånes et al. (1997) na data z leteckých snímků a starých katastrálních map použil analýzu hlavních komponent.

Často se také interpretace leteckých snímků spojuje s vlastním terénním průzkumem (Zhou Zaizhi, 2000).

2.4 Předchozí studie

V Krušných horách a jeho okolí se studii krajinných změn za využití starých leteckých snímků věnuje několik autorů.

Brůna (2009) na modelovém území v okolí bývalé obce Tocov ve vojenské újezdu Hradiště v Doupovských horách studoval změny krajinného pokryvu způsobené opouštěním krajiny z pomoci historických leteckých snímků. Tyto snímky automaticky klasifikoval za pomoci objektově orientované klasifikace a na výsledky použil zobecněné lineární modely se smíšenými efekty (lmer). Data zkombinoval s údaji z landuse. Zjistil stále se zvyšující rychlost zarůstání bezlesích oblastí především v oblastech bývalé vesnice. Nejpomalejší zarůstání zaznamenal na původních loukách.

Elznicová (2008) řeší použití archivních leteckých snímků k identifikaci změn rozšíření agrárních valů během 20. století na modelových územích v okolí vrchu Oblík a části Verneřického středohoří a u Libouchec a Adolfova v Krušných horách.

Richter (2006) sledoval krajinné změny pomocí archivních leteckých snímků na modelovém území Klášterecka mezi lety 1964 až 1996, které analyzoval v prostředí GIS. Sledoval především rozrůstání zastavěné plochy do volné krajiny a ve vedení komunikací.

3. Metodika

3.1 Fyzickogeografická charakteristika zájmového území

Zájmová lokalita se nachází v hřebenových partiích Krušných hor a představuje nejhornější tok řeky Chomutovky. Celá západní část území se nachází na náhorní planině s malými sklony svahů (max. 5°), východní částí naopak probíhá hluboce zaříznuté údolí Chomutovky se sklony svahů přesahující 25°. Nadmořská výška se pohybuje mezi 658 a 914 m n.m.

Z hlediska geomorfologického členění území spadá do okrsku Přísečnická hornatina, podcelku Loučenská hornatina, celku Krušné bory.

Z geologického hlediska je jedná o oblast krušnohorskó-smrčinského krystalinika, geologickému podloží dominují dvojslídne a biotitické ruly, granity a metagranity.

Jedná se o chladnou oblast s prům. roční teplotou vzduchu 3 – 4° C. Průměrné roční srážky se pohybují v rozmezí 800 – 900 mm a sněhová pokrývka kolísá v rozmezí 15 – 25 cm. Dle Quittovy klasifikace území spadá do klimatické oblasti chladné, podoblasti CH 6.

Díky četným rašeliništím vyskytujícím se v zájmové lokalitě jsou významně zastoupeny organosoly, tedy organozemě a gleje, dále podzoly modální a kryptopodzoly kambické.

Koeficient odtoku z území je nízký (0,21 – 0,30 l.s⁻¹.km⁻²).

Z hlediska fyto geografického členění jde o oreofytikum (oblast montánní vegetace se zastoupením jehličnanů v přirozených lesích a s odlesněnými územími přeměněnými v louky a pastviny).

Z lesních vegetačních stupňů je zastoupen hlavně stupeň bukósmrkový, okrajově jedlobukový.

Dle mapy potenciální přirozené vegetace se jedná o oblast klimaxových a podmáčených smrčín a acidofilních bučin a jedlin.

(použity údaje z Atlasu krajiny České republiky, 2009)

Zájmová oblast stejně jako celé Krušné hory byla v minulosti silně zasažena imisemi. V 70. a 80. letech 20. století zde došlo k velkoplošnému chřadnutí a odumírání smrkových monokultur, které zde převážně tvořily lesní porosty. Odtěžením odumřelých a poškozených porostů vznikla téměř souvislá holina, která byla opět pomalu zalesňována. Vznikly zde porosty náhradních dřevin, kde převažujícími dřevinami jsou smrk pichlavý, modřín opadavý,

bříza bělokorá, olše lepkavá a jeřáb ptačí. Do 90. let nebyl v pásmu ohrožení A vysazován smrk ztepilý (Mauer et al., 2004).

3.2 Použitá data

Letecké snímky z roku 1975 a 1987 byly získány v digitální podobě ve formátu TIFF z Vojenského geografického a hydrometeorologického úřadu Dobruška. Danou lokalitu pokrývá v případě roku 1975 10 snímků (33967/75, 33981/75, 33983/75, 33985/75, 33992/75, 33994/75, 33996/75, 34003/75, 34005/75, 34007/75) (Obr. 1). V případě roku 1987 to bylo jen 5 snímků (19648/87, 19650/87, 19817/87, 19846/87, 19848/87). Rozdíl v počtu snímků je dán odlišným měřítkem, kdy snímky z roku 1975 jsou všechny v měřítku 1:12 840 (kromě snímku 33967/75, který je v měřítku 1:13 580), zatímco snímky z r. 1987 mají měřítko 1:26 770 (první dva snímky) respektive 1:26 860 (zbytek). Tyto snímky netvořily souvislou ortofotomapu a bylo potřeba je nejprve ortorektifikovat a následně spojit do jedné ortofotomapy.



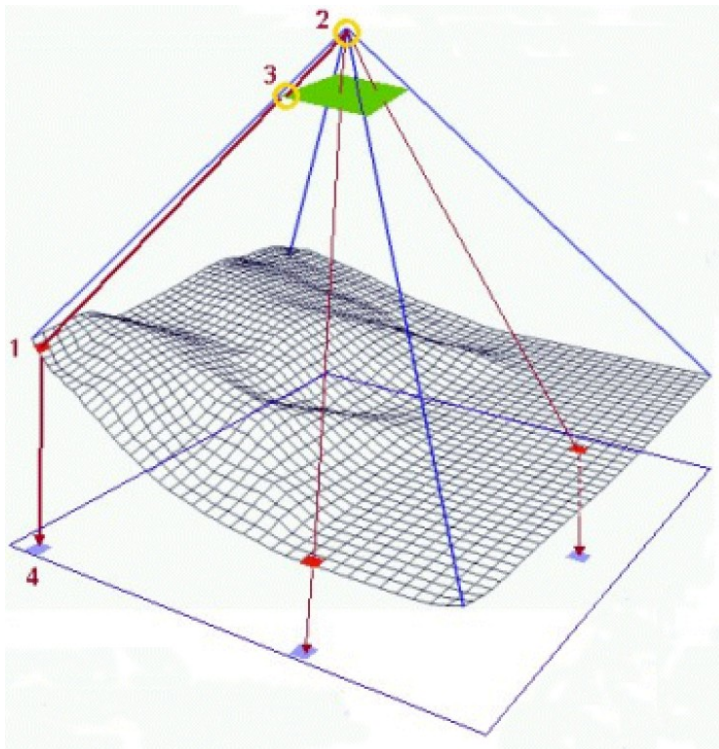
Obr. 1: Vzájemná poloha jednotlivých leteckých snímků z roku 1975. Červeně je zhruba vyznačena zájmová lokalita

Pro ortorektifikaci byl vyžadován digitální model terénu (dále jen DEM). DEM byl vytvořen na základě vrstevnic získaných ze ZABAGED (základní báze geografických dat) pro vybrané území v modulu OrthoEngine programu Geomatica. K vyhledávání vlíčovacích bodů byla použita barevná ortofota poskytnutá Českým úřadem zeměměřičským a katastrálním ve formátu TIFF. Z těchto snímků byla také načtena i mapová projekce. Všechna data byla zpracována v souřadném systému S-JTSK - Křovákovo zobrazení.

Jako základní vrstva vymezující zájmovou oblast byla školitelem dodána vektorová vrstva rozvodnice ve formátu shp, kterou byly následně oříznuty ortorektifikované snímky.

3.3 Ortorektifikace

Letecká fotografie ani jejich digitální forma nemohou být použity pro měření sledovaných veličin, protože vlivem centrální projekce a různé výšky snímaných objektů dochází k deformacím a zkreslením. Proto je nutné je nejdříve ortorektifikovat, tzn. zařadit do souřadného systému a vztáhnout k morfologii terénu neboli digitálnímu modelu terénu (Elznicová, 2008).



1. Pixel v digitálním modelu terénu (výška)
2. Parametry vnější orientace
3. Parametry vnitřní orientace a hodnota jasu založená na převzorkování původních bodů
4. Výška, vnější orientace, vnitřní orientace a DEM jsou použity k výpočtu umístění bodu, kterému se přiřadí hodnota jasu ze snímku

Obr. 2: Znárodnění procesu ortorektifikace [1]

Při ortorektifikaci se data z dvourozměrného obrazu ze snímací komory převedou pomocí digitálního modelu terénu do trojrozměrného modelu a výsledek se pomocí transformačních funkcí převede zpět do dvourozměrného obrazu (Obr. 2) s větší geometrickou přesností, než výchozí snímek.

K ortorektifikaci byl použit modul OrthoEngine programu Geomatica 10.0, v kterém je vestavěný matematický model pro ortorektifikaci leteckých snímků využívající všech potenciálně dostupných parametrů snímací komory a digitálního modelu terénu (DEM).

Aby byl snímek správně rektifikován, je potřeba znát parametry snímací komory neboli kalibrační protokol (ohnisková vzdálenost – tzv. konstanta komory, souřadnice rámových značek a radiální zkreslení objektu) a výšky letu (Elznicová, 2008). Tyto údaje však nebyly dostupné a u starších snímků všechny tyto hodnoty nejsou k dispozici. Od VGMÚř v Dobrušce bylo množné získat pouze konstantu komory. Ta v případě snímků z r. 1975 činila 151,74 mm, u snímků z r. 1987 byla 152,00 mm pro snímky 19648/87 a 19650/87, u ostatních snímků 153,08 mm.

Rozhraní modulu OrthoEngine však nutně nevyžaduje všechny parametry a stačí zadat jen konstantu komory a rozměry snímací desky. Yusake (2002) uvádí rovnici, dle které lze požadovaný rozměr vypočítat jen na základě znalosti rozlišení skenování a rozměrům rastrového ekvivalentu snímku:

$$r(\text{mm}) = (rp/\text{dpi}) \cdot 25,4$$

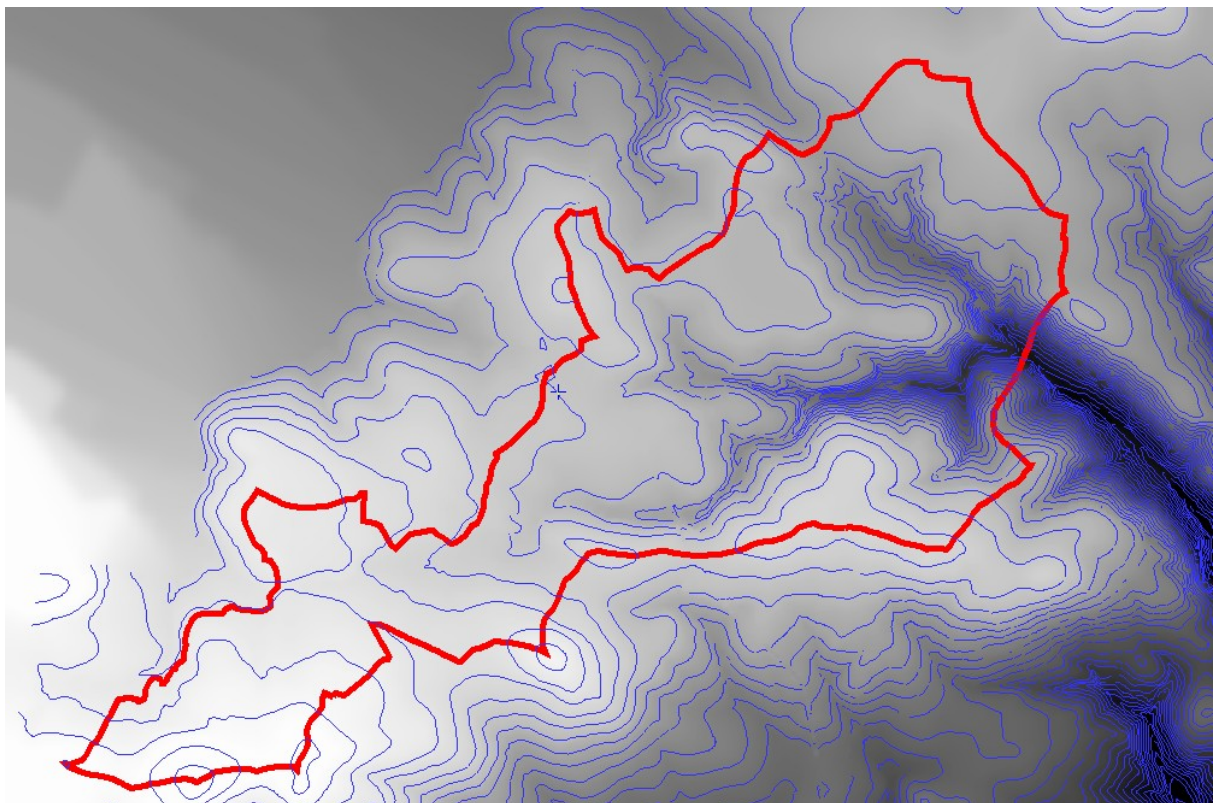
kde r je rozměr rastrového ekvivalentu, rp rozměr snímku udaný v pixelech, dpi je rozlišení skenování v bodech na palec a 25,4 je konstanta udávající rozměr palce v milimetrech.

Údaj rozlišení skenování byl dostupný zároveň jako doprovodná informace u TIFF souboru. Rozměr rastrového ekvivalentu lze získat změřením rozestupu rámových značek na snímku. Tyto rozměry pak poslouží pro výpočet souřadnic X a Y rámových značek. Vzhledem k tomu, že počátek souřadného systému leží v průsečíku diagonálních spojnic protilehlých značek, vypočítají se jejich výška a šířka vždy buď přičtením nebo odečtením poloviny hodnoty naměřeného rozměru dle polohy značky vzhledem k osám souřadného systému.

V rozhraní OrthoEnginu se po zadání rozměrů rastrového ekvivalentu spočítají rámové značky automaticky.

Tímto způsobem byly změřeny a zadány všechny potřebné parametry pro započítí samotného procesu ortorektifikace.

Dalším nutným krokem je nutnost vyhledat vlíčovací body neboli Ground Control Points (GCP), které mají shodný obraz jak na georeferencovaném podkladu (v tomto případě ortofotech), tak na ještě nerektilfikovaných snímcích. GCP mají známou geografickou polohu extrahovanou z podkladu a díky nim se rektifikovaný snímek ztotžňuje s podkladem. Zároveň se vstupního DEM vyzískají nadmořskou výšku. DEM byl vypočítán na základě vrstevnic ZABAGED přímo v modulu OrthoEnginu.



Obr. 3: Digitální model terénu s vrstevnicemi ZABAGED, červeně vyznačeno zájmové území

Pro ideální výsledek rektifikace je vhodné vlíčovací body rozložit rovnoměrně po celé ploše snímku. Tohoto požadavku však nebylo možné v dosáhnout z několika příčin. Vzhledem k tomu, že dodaná ortofota od ČÚZK se nekryla přesně s leteckými snímky a ty mnohdy zasahovaly daleko za území pokryté ortofoty, nebylo možné pokrýt vlíčovacími body celou plochu všech leteckých snímků. Toto se týkalo výhradně snímků na okraji scény, které buď zasahovaly na německé území, které principiálně není na poskytnutých ortofotech zachycené a nebo zasahovaly jen malou částí do zájmové oblasti a většina jejich záběru byla mimo oblast.

Dalším problémem stěžující hledání vlíčovacích bodů byl nekvalitní obraz leteckých snímků, kdy některé partie díky značné jasové nevyváženosti byly příliš tmavé a jen stěží v nich bylo možné rozeznat prvky v krajině. Taková místa vznikají nestejnou expozicí filmu v různé vzdálenosti od středu a různým odrazem světla od zemského povrchu (Holopainen et Wang, 1998). Dále se přidala i rozostřenost snímků, která stěžovala také přesnou identifikaci určitého bodu. Třetím problémem se pak ukázal charakter zájmového území, kde jsou rozsáhlé oblasti bez výraznějších rozlišovacích prvků, jedná se především o souvislé lesní porosty a rašeliniště. Navíc porosty se na hřebenových partiích Krušných hor výrazně změnilly. V oblastech, kde se nevyskytovaly žádné pevné body jako budovy apod. mohly být vzaty v potaz jako referenční body pouze křižovatky lesních cest, které však v průběhu času doznaly určitých změn a není vždy možné na nich přesně stanovit určitý bod. Bylo nutné hledat stabilní struktury, které se časem nemění.

Za GCP byly vybírány nakonec především dobře rozeznatelné stabilní prvky: rohy budov (v zájmové scéně jich však je velmi málo) a křižovatky cest. Výjimečně byl vybrán jiný prvek jako osamělý strom nebo kraj mostu (jediný v zájmovém území). Avšak ani u křižovatek cest nebyla situace tak jednoznačná. Zvláště na západ od Hory Sv. Šebestiána došlo k výrazným změnám ve vedení cest a prakticky žádnou z bývalých křižovatek nešlo použít, aniž by se do projektu nevnášeli úmyslné chyby.

Pro aspoň nějaké rovnoměrné rozložení bodů bylo potřeba v některých případech zvolit za GCP nepříliš jasný bod, který se na původně leteckých snímcích velice špatně hledal. Nakonec každý snímek průměrně pokrývalo asi 9 vlíčovacích bodů, i když u některých krajních jen 5.

V neposlední řadě vygenerovaný DEM z poskytnutých vrstevnic ZABAGED, které se přesně kryjí s ortofoty, bohužel nepokrýval celé území všech leteckých snímků, takže díky tomu musely být okrajové snímky buď ortorektifikovány pouze v oblasti pokryté DEM, nebo hodnota musela být v podstatě extrapolována. Vrstevnice ZABAGED byly získány prakticky přesně jen na území pokrývající zájmovou oblast, zatímco letecké snímky mají poměrně velký přesah mimo.

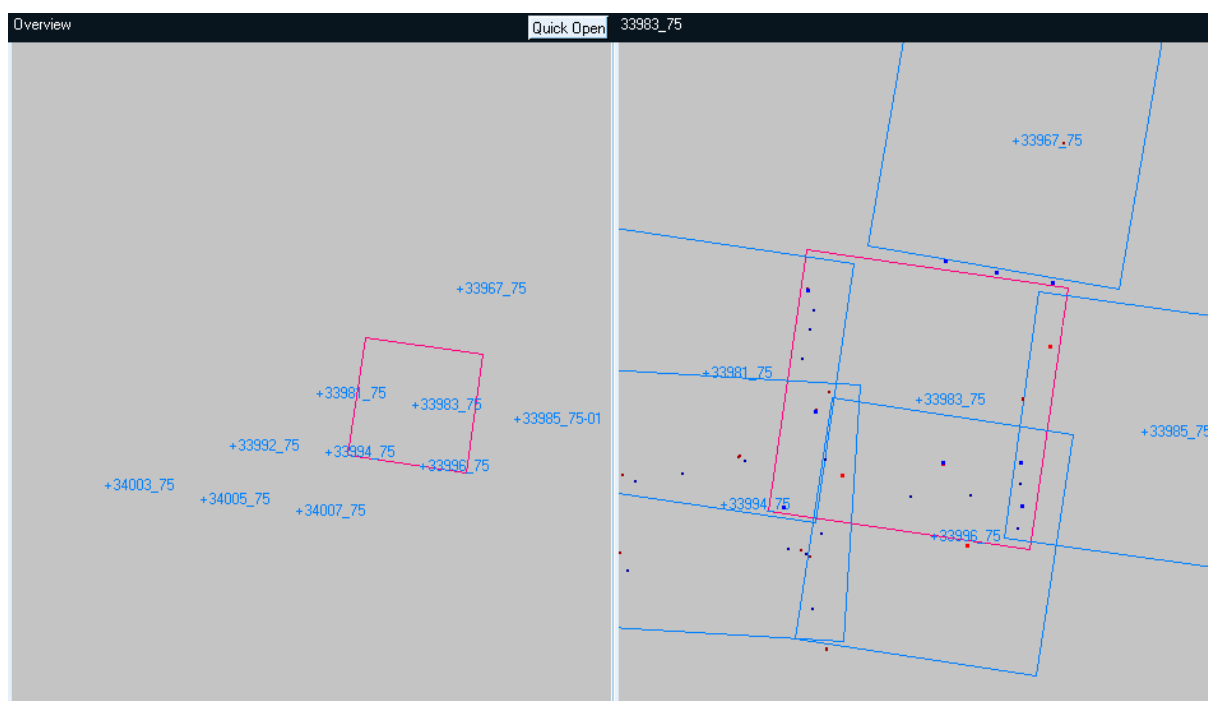
3.4 Mozaikování

Aby mohly být jednotlivé snímky použitelné jako jedna ortofotomapa, je potřeba je spojit dohromady. Tento proces se nazývá mozaikování a v modulu OrthoEnginu je pro něj

určen nástroj Mosaic. Pro to je nejdříve nutné zbavit černých okrajů s rámovými značkami, aby netvořily rušivý element v výsledné jednolitě ortofotomapě.

Následně bylo přistoupeno k následujícímu kroku spojování jednotlivých snímků v jeden celek pomocí vázacích bodů, tzv. Tie Points. Jedná se o společné body dvou sousedních snímků v místech překryvů, které identifikují místa vazby. Takové body je dobré hledat tak, aby v rozích snímků byly společné i pro všechny sousední snímky (tedy až 3).

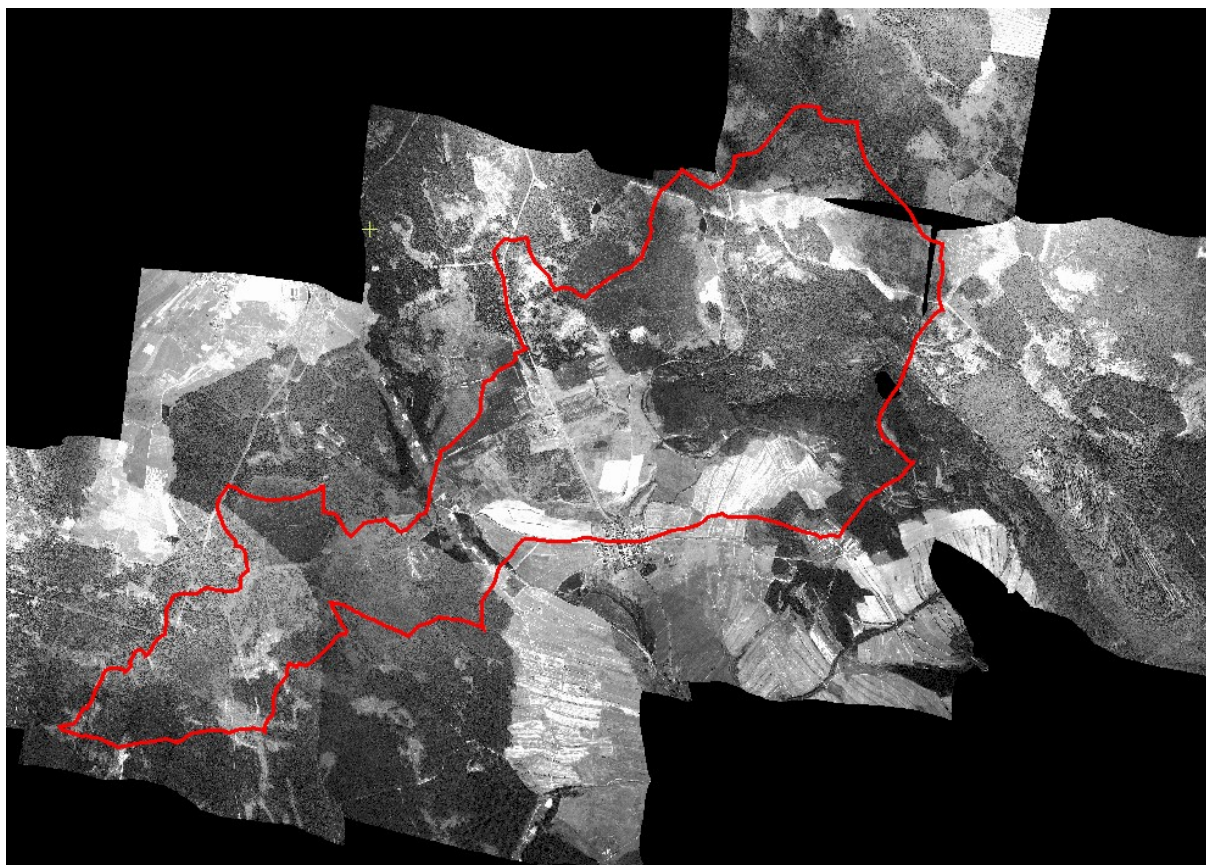
Většinou bylo vybráno kolem 6 vázacích bodů mezi sousedními snímky, nicméně u některých snímků byly natolik malé překryvy, že s obížením bylo možné najít více než 3 vázací body, jak je vidět na Obr. 4. mezi snímky 33967 a 33983.



Obr. 4. Pracovní okno nástroje Mosaic s vyznačením rozložení snímku a vázacích bodů.

Po výběru bodů nástroj Mosaic nabízí buď manuální nebo automatické mozaikování, kdy program automaticky sám zvolí dělicí linii a provede vyvážení histogramů. Bylo zvolené automatické mozaikování, aby bylo možné vidět, zda byly vlíčovací a vázací body stanoveny správně, i když pro konečný výsledek je vhodnější stanovit dělicí linii manuálně.

Výsledný obraz byl vygenerován do formátu TIFF. Hned při letmém pohledu je zřejmé, že došlo k značné deformaci snímků a tudíž i obsažených krajinných struktur a v partiích, kde dochází ke spojení snímků, se objevily mezery a prázdné artefakty dokonce v místech, kde byly stanoveny vázací body (viz. Obr. 5).



Obr. 5: Výsledné ortorektifikované a spojené letecké snímky (rok 1975)

Na základě všech výše zmiňovaných problémech s hledáním vlíčovacích bodů a výsledku mozaikování bylo rozhodnuto vyzkoušet obrácený postup, tedy nejdříve snímky spojit v jeden celek a ten celý následně co nejpřesněji ortorektifikovat.

K podobnému závěru dospěla i Elznicová (2008), která kvůli velké změně historické krajiny a malé možnosti nalézt na každém snímku minimálně 3 vlíčovací body nejdříve propojila všechny zpracovávané snímky každé oblasti pomocí spojovacích bodů a poté určila několik vlíčovacích bodů. Geografická poloha vlíčovacích bodů určila pomocí ortofota. Pro zjištění nadmořské výšky použila digitální model reliéfu vytvořený z vektorového souboru vrstevnic ZABAGED.

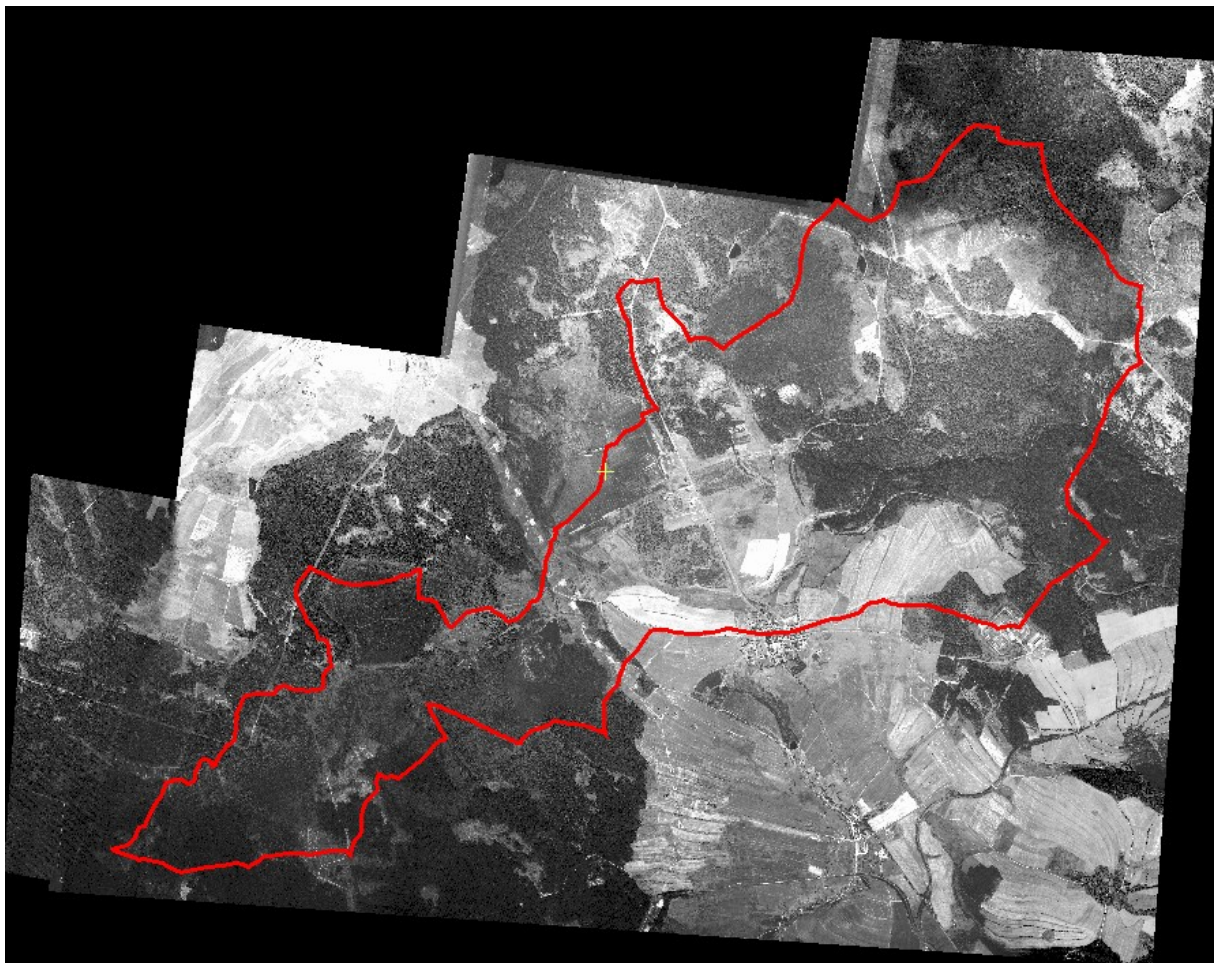
Když není DEM dostupný, vhodné použít transformaci vyššího řádu, případně využít grafický program Contex Eclipse, který umožňuje manuální místní deformaci mapy překryté přes referenční mapu (Cousins, 2000). Jedná se o poměrně rychlou a přesnou metodu.

Kvůli nedostupnosti jiného relevantního softwarového nástroje byl zvolen pro spojení snímků program Hugin s volnou licenci, který je primárně určen pro spojování panoramatických snímků [2]. Má velmi propracovanou metodiku založenou na korekci optických deformací, využívá ohniskovou vzdálenost a expozici.

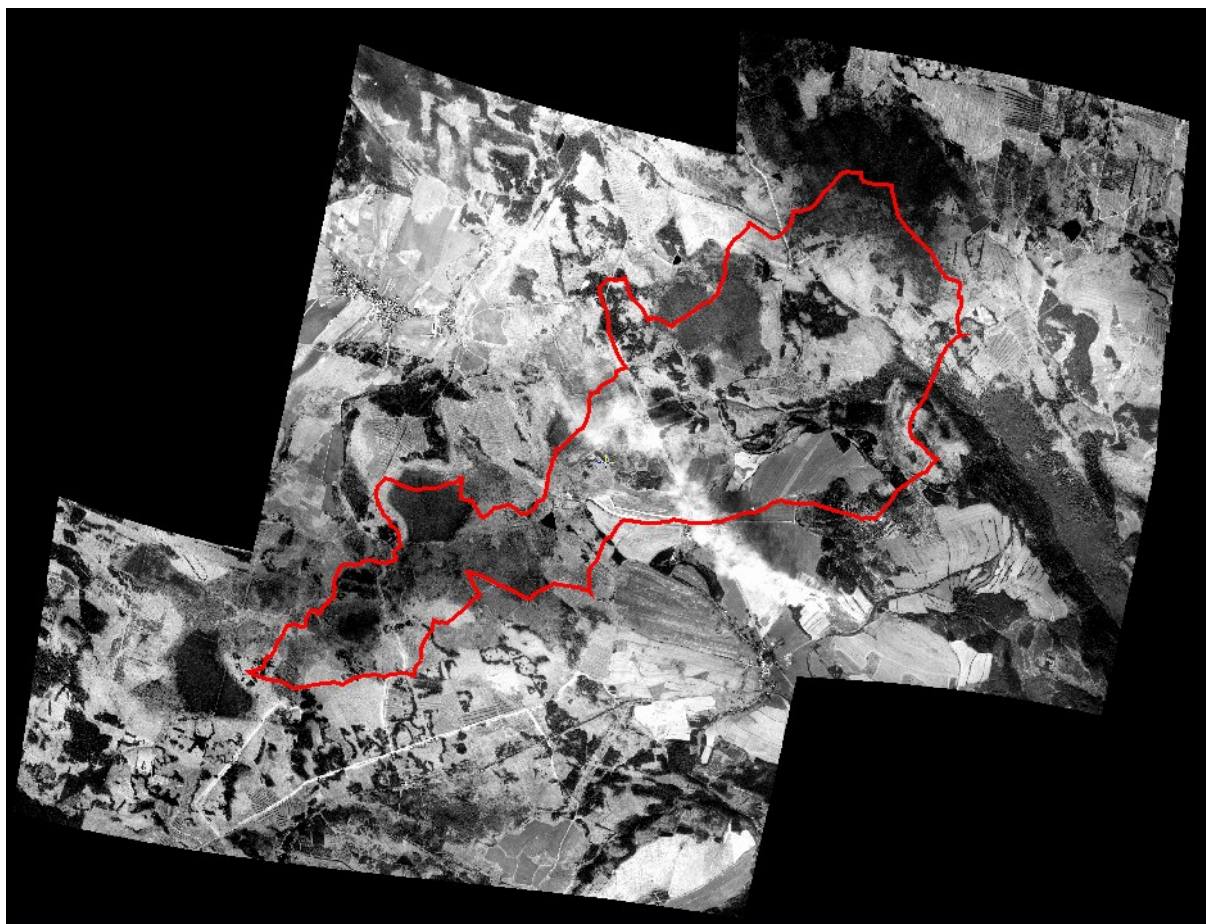
Spojování je prováděno tak, že v každém snímku se najdou klíčové body (keypoints, nebo také control points) - určitá malá část snímku, která se charakterizuje deskriptorem. Poté se porovnávají body ve snímcích a vyhodnocují se podobné body. Vznikne tak množina dvojic bodů, která se nachází ve 2 různých snímcích (cca 5 - 20 bodu mezi každými sousedními snímky). Tato množina se překontroluje. V jistých případech je nutné dohledat ručně další body. Pak se spočítá, jaké musí být parametry snímku (posun, otočení, zvětšení), aby všechny dvojice bodu měly co nejmenší odchylky (ideálně se překrývaly). Poté se upraví expozice (vintace objektivu, expozice, vyvážení bílé atd.). Výsledkem je prolnutí snímků.

Následná ortorektifikace pak byla provedena standardním způsobem pomocí modulu OrthoEngine. Bylo vybráno v celé scéně u obou ortofotomap cca 80 bodů, které byly nadále ještě zpřesňovány. Nakonec byl celý spojený snímek transformován polynomem 5. řádu.

Výsledná ortofotomapa tak byla mnohem více uspokojivější než při potupu obvyklým způsobem prvotní transformace a následného mozaikování.



Obr. 6: Výsledná ortofotomapa pro r. 1975



Obr. 7: Výsledná ortofotomapa pro r. 1987

3.5 Klasifikace a analýza

Klasifikace byla prováděna manuálně vizuální interpretací ploch porostů. Byla zvažována i polautomatizovaná klasifikace pomocí objektově orientované analýzy, ale pro její dobré provedení by bylo potřeba pečlivé vyvážení jasů na všech místech, což by bylo časově náročné. Proto bylo nakonec přistoupeno ke klasifikaci manuální.

Jednolivé krajinné pokryvy byly vektorizovány v programu ArcGIS 9.1 a následně statisticky zpracovány.

Protože výsledné ortofotomapy byly zmenšeny na $\frac{1}{4}$ kvůli zmenšení výpočetní doby, byly ke klasifikaci použity jako kontrolní reference původní nezmenšené snímky.

Bylo nakonec stanoveno 5 tříd pokryvu na obou ortofotomapách:

les – vysoký i nízký porost, hustěji zapojený

louky a pastviny – zahrnují i mýtiny v lesích a dále nerozlišený povrch bez porostu,

voda – pouze vodní nádrže

zástavba – buď jednotlivé budovy dostatečně velké, nebo souvislá zástavba (jedná se téměř výhradně o Horu Sv. Šebestiána)

rašeliniště – prokazatelné kompaktní výrazné plochy rašelinišť, porostlé nízkou řídkou vegetací víceméně trvalého charakteru

zemědělská půda – jedá se jen o jednu oblast v rámci studovaného území, které je evidentně extenzivně využívaná, ale ze snímků nebylo možné zjistit, jestli za účelem zemědělství či jiných hospodářských aktivit, přesto bylo území pojmenováno jako zemědělská půda

V těchto kategoriích byly klasifikovány obě vrstvy. Kategorie louky a pastviny nebyla samostatně klasifikována a vznikla jako doplněk k ostatním třídám

Mýtiny o velikosti menší, než cca 25 m v průměru nebyly zachyceny a zahrnuly se do kategorie les.

V případě, kdy lesní porost sice byl přítomný, ale řídký na to, aby se mohl být klasifikován jako klasický les, byl ponechán jako bezlesí. Často řídký porost přecházel plynule v hustý les. Pak byl subjektivně stanoveno za jaké hustoty porostu byla daná plocha považována ještě za les a kdy už za kategorii louky a pastviny.

Dokončení klasifikace bylo zkontrolováno překrytím vytvořených polygonů přes ortofotomapu.

Nakonec byla vytvořena vrstva, která se skládá pouze z polygonů společných pro obě klasifikace. Taková vrstva byla vytvořena pouze pro lesy, protože změny v této kategorii jsou nejsignifikantnější v rámci sledovaného území a u ostatních kategorií jsou spíše zanedbatelné (kromě vrstvy luk a pastvin, jejíž vývoj je přímo v návaznosti na vývoj lesů).

Pro všechny polygony pak byla spočítána plocha a následně sečteny pro danou kategorii. Ve výstupní tabulce pak byla spočítána relativní zastoupení daných kategorií v rámci studovaného území a dále relativní a absolutní změny jejich zastoupení. Všechny údaje byly zaokrouhleny na dvě desetinná místa.

4. Výsledky

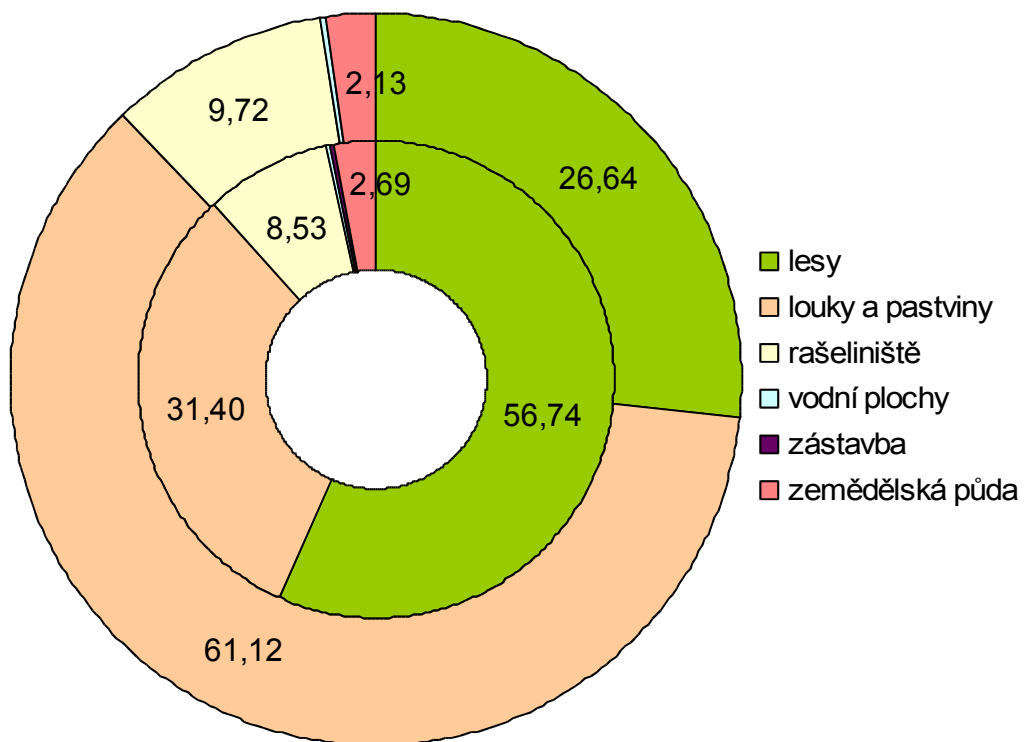
Změny krajinné struktury je zachycena v tabulce. Je z ní jasně patrný úbytek kategorie les, kdy v roce 1987 je na pouhých 47 % rozlohy lesů v roce 1975. V absolutních číslech to činí úbytek přes 4,3 km² v zájmovém území s celkovou rozlohou 14,5 km². Naopak kategorie louky a pastviny, tedy plochy bez lesního porostu, narostly prakticky přesně o stejnou rozlohu, o kterou lesy ubyly a jsou dnes na 195 % původní rozlohy. Tyto výsledky jasně dokazují, že téměř polovina lesů v zájmovém území v relativně krátkém časovém rozmezí 12 let zcela odumřela.

Ostatní kategorie zůstaly prakticky beze změny, což je dáno jejich charakterem. Pouze rašeliniště vzrostly o relativně signifikantní procento, což je dáno výrazným úbytkem vzrostlého lesa v okrajových partiích rašeliniště v pramenné oblasti Chomutovky.

Vygenerovaná vrstva překryvu, která zachycuje plochy porostlé lesem, které se mezi sledovanými roky nezměnily, ukazuje, že pouhých 22 % zájmového území neprošlo žádnou změnou. Toto území představuje rozlohu 3,112 km².

Tab.: Procentuální zastoupení jednotlivých kategorií pokryvu a jejich změny

	rozloha v km ²		rel. zastoupení v %		změna v km ²	změna v %	rel. změna v %
	1975	1987	1975	1987			
lesy	8,235	3,867	56,74	26,64	-4,368	-30,10	46,96
louky a pastviny	4,558	8,871	31,40	61,12	4,313	29,72	194,63
rašeliniště	1,238	1,410	8,53	9,72	0,172	1,18	113,89
vodní plochy	0,029	0,031	0,20	0,22	0,002	0,02	108,33
zástavba	0,064	0,026	0,44	0,18	-0,038	-0,26	40,36
zemědělská půda	0,390	0,309	2,69	2,13	-0,081	-0,56	79,15



Obr. 8: Koláčový graf zastoupení jednotlivých krajinných pokryvů

5. Diskuse

Ačkoliv se ortorektifikace v podstatě vydařila, přesto vznikly chyby ve výsledných ortofotomapách (lokální odchylky až 30 m) především v oblastech s minimem vizuálně identifikovatelných vlíčovacích bodů. Jistou roli hraje také obrácený postup, kdy se nejdřív snímky spojovaly a pak ortorektifikovaly. Výsledný spojený snímek před rektifikací jistě doznal jistých deformací a ty musely být napraveny rektifikací.

V klasifikaci se vyskytlo několik problémů, především s interpretací určitých krajinných pokryvů, kdy nebylo možné přesně rozeznat, o jaký druh pokryvu se jedná.

Dalším problémem bylo rozdílné vzezření určitých ploch, které byly zachyceny na dvou sousedních snímcích. Zatímco na jednom snímku na příklad jak dle vrženého snímku tak textury vypadaly jako pouhý křovinný porost, na druhém snímku ten samotný pokryv měl dlouhý stín a jeho textura spíše odpovídala vysokému lesu. I z tohoto důvodu bylo nakonec upuštěno od rozlišování kategorií nízký a vysoký porost.

V určitých situacích bylo složité určit, zda je daná oblast opravdu bez vegetace, nebo aspoň velice nízká vegetace na dané ploše se nalézá. Nakonec takové plochy byly většinou klasifikovány jako bezlesí. Nicméně stálo by za úvahu tuto kategorii speciálně vyčlenit.

Bylo by možné sledovat změny dle změnové matice, která zachycuje změny i v jednotlivých kategoriích krajinného pokryvu a která je v posouzení krajinného pokryvu nejpoužívanější (Taylor et al. 2000), ale díky ne zcela dokonalému překryvu rektifikovaných snímků by se při velkém množství malých polygonů mohla naakumulovat výraznější chyba a pak by vyčíslená změna byla spíše orientační než exaktní.

6. Závěr

Práce ukázala, že ortorektifikace podkladových snímků v modulu OrthoEngine programu Geomatica v případě značně jasově nevyvážených a nekvalitních snímků může být docela problematická v případě, kdy není příliš snadné získat dostatečný počet vlíčovacích bodů. Tento fakt zmiňuje i Elznicová (2002).

Použitá metoda, kdy se nejprve snímky spojí dohromady a následně ortorektifikují vícenásobnou polynomiální funkcí, se ukazuje jako dobře použitelná. Bylo využito primárně „neGISovského“ programu Hugin, ale s možností bohatého nastavení a s propracovaným automatickým vyhledáváním klíčových bodů, které jsou obdobou vlíčovacích bodů v případě Mosaicu, a který tento program nenabízí. Pro špatně interpretovatelné snímky se ukazuje být dobrým pomocníkem, i když výpočetní doba se v případě hloubky prohledávání velice razantně prodlužuje.

Byl prokázán výrazný úbytek lesů mezi sledovanými lety o více než polovinu a téměř až dvojnásobné rozšíření nezalesněných ploch, čímž se potvrdil předpoklad klasifikace.

Výsledná kvantifikace mapových výstupů je využitelná v dalších oborech, jako vstup do hydrologických modelů, ale stálo by za pokus více rozlišit jednotlivé kategorie lesů, které ovšem za současného stavu fotografií by nebylo spolehlivé.

7. Seznam použité literatury

- Atlas krajiny České republiky*. Praha: Ministerstvo životního prostředí České republiky; Průhonice: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, 2009.
- BÁLEK, M. *Výsledky leteckého snímání na Moravě v roce 2002*. Ústav archeologické památkové péče Brno, 2002, PV 44, s. 133-135.
- BELLEMARE, J., MOTZKIN, G., FOSTER D. R. Legacies of the agricultural past in the forested present: an assessment of historical land-use effects on rich mesic forests. *Journal of Biogeography*, 2002, vol. 29, bo. 10-11, s. 1401–1420.
- BRŮNA, J. *Modelování změn krajinného pokryvu v opuštěné krajině s využitím série leteckých snímků*. Praha: [Univerzita Karlova. Ústav pro životní prostředí](#), 2009. Vedoucí diplomové práce Jaroslav Vojta.
- CARREIRAS, J. M. B., PEREIRA, J. M.C., PEREIRA, J. S. Estimation of tree canopy cover in evergreen oak woodlands using remote sensing. *Forest Ecology Management*, 2006, vol. 223, no. 1-3, s. 45-53.
- COMBER, A.J., LAW, A.N.R., LISHMAN, J.R. Application of knowledge for automated land cover change monitoring. *International Journal of Remote Sensing*, 2004, vol. 25, no. 16, s. 3177-3192.
- COUSINS, S. A. O. Analysis of land-cover transitions based on 17th and 18th century cadastral maps and aerial photographs. *Landscape Ecology*, 2001, vol. 16, no. 1, s. 41–54.
- DOBROVOLNÝ, P. *Konvenční (fotografické) metody snímání zemského povrchu* [online]. Brno: Masarykova univerzita. 2008. [cit. 2011-8-11]. <http://www.geogr.muni.cz/archiv/vyuka/DPZ_CVICENI/Texty/DPZ_05_konvencni_2.pdf>
- EETVELDE, V., ANTROP, M. [Analyzing structural and functional changes of traditional landscapes—two examples from Southern France](#). *Landscape and Urban Planning*, 15 March 2004, vol. 67, no. 1-4.
- ELZNICOVÁ, J. *Zpracování archivních leteckých snímků pro identifikaci změn rozšíření agrárních valů během 20. století* [online]. Litoměřice: Severočes. Přír. 2008. [cit. 2011-8-18] <<http://fzp.ujep.cz/projekty/qh82126/V001/clanek4.pdf>>.
- HIETEL, E., WALDHARDT, R., OTTE, A. Analysing land-cover changes in relation to environmental variables in Hesse, Germany. *Landscape Ecology*, 2004, vol. 19, no. 5, s. 473–489.
- KNAPP, P. A., P.L. WARREN, AND C.F. HUTCHINSON. The use of large-scale aerial photography to inventory and monitor arid rangeland vegetation. *Journal of Environmental Management*, July 1990, vol. 31, no. 1.

- KOLÁŘ, J., HALOUNOVÁ, L., PAVELKA, K. *Dálkový průzkum Země 10*, Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997. 164 s. ISBN 80-01-01567-X.
- KORPELA, I. Geometrically accurate time series of archived aerial images and airborne lidar data in a forest environment. *Silva Fennica*, 2006, vol. 40, no. 1, s. 109–126.
- MATSUSHITA, B., XU, M., FUKUSHIMA, T. [Characterizing the changes in landscape structure in the Lake Kasumigaura Basin, Japan using a high-quality GIS dataset](#) Original Research Article. *Landscape and Urban Planning*, 9 November 2006, vol. 78, no. 3, s. 241-250.
- MAUER, O., PALÁTOVÁ, E., RYCHNOVSKÁ, A. *Vývin a zdravotní stav kořenového systému smrku ztepilého v imisní oblasti krušných hor* [online]. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Lesnická a dřevařská fakulta. Prosinec 2004. <mze-vyzkum-infobanka.cz/DownloadFile/3248.aspx>.
- MILLER, D., QUINE, C., HADLEY, W. An investigation of the potential of digital photogrammetry to provide measurements of forest characteristics and abiotic damage. *Forest Ecology and Management*, 2000, vol. 135, no.1-3, s. 279–288.
- NAKASHIMA, E., ISOBE, A., MAGOME, S., KAKO, S., DEKI, N. Using aerial photography and in situ measurements to estimate the quantity of macro-litter on beaches. *Marine Pollution Bulletin*, April 2011, vol 62, no. 4, s. 762-769.
- PAVELKOVÁ CHMELOVÁ, R., NETOPIIL, P. Historické letecké snímky v geografickém výzkumu – problémy při jejich zpracování a možná řešení. *Miscellanea Geographica*, č. 13, Plzeň: ZČU, 2007, s. 129–136.
- REGER, R., OTTE, A., WALDHARDT, R. [Identifying patterns of land-cover change and their physical attributes in a marginal European landscape](#). *Landscape and Urban Planning*, May 2007, vol 81, no 1-2.
- RIES, J. B., MARZOLFF, I. Monitoring of gully erosion in the Central Ebro Basin by large-scale aerial photography taken from a remotely controlled blimp. *CATENA*, 1 January 2003, vol. 50, no. 2-4.
- RICHTER, P. *Využití leteckých snímků k analýze a monitoringu na modelové oblasti Klášterecko*. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, 2006. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jitka Prchalová.
- SKÅNES, H. M., BUNCE, R. G. H. [Directions of landscape change \(1741–1993\) in Virestad, Sweden — characterised by multivariate analysis](#). *Landscape and Urban Planning*, October 1997, vol. 38, no. 1-2.
- SLUITER, R., DE JONG, S. M. Spatial patterns of Mediterranean land abandonment and related land cover transitions. *Landscape Ecology*, 2007, vol. 22, no. 4, s. 559-576.

SUÁREZ, J. C., ONTIVEROS, C., SMITH, S., SNAPE, S. [Use of airborne LiDAR and aerial photography in the estimation of individual tree heights in forestry](#). *Computers & Geosciences*, March 2005, vol. 31, no 2, s. 253-262.

ŠÍMA, J. *Na počátku éry digitálního fotogrammetrického snímování území České republiky* [online]. GEOS 2007. [cit: 2011-8-12]
<http://www.vugtk.cz/odis/sborniky/jine/geos07/paper/42_sima_j/paper/42_sima_j.pdf>

TAYLOR, J.C., BREWER, T.R., BIRD, A.C. Monitoring landscape change in the national parks of England and Wales using aerial photo interpretation and GIS. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 21, no. 13-14, s. 2737–2752.

YUSUKE, N. *Creating Orthorectified Aerial Photography Without A Camera Calibration Report* [online]. ESRI Japan. [cit 2010]
<ftp://updates.lggm.com/Updates/Web/PRO/Niwa_Report.pdf>.

ZAIZHI, Z. [Landscape changes in a rural area in China](#). *Landscape and Urban Planning*, 20 February 2000, vol. 47, no. Issues 1-2.

ZOMENI, T., TZANOPOULOS, J., PANTIS, J. D. [Historical analysis of landscape change using remote sensing techniques: An explanatory tool for agricultural transformation in Greek rural areas](#). *Landscape and Urban Planning*, 12 May 2008, vol. 86, no. 1.

Internetové zdroje:

[1] *Orthorectification* [online]. Satellite imaging corporation. [cit. 2011-8-20]
<<http://www.satimagingcorp.com/svc/orthorectification.html>>.

[2] *Hugin* [online]. [cit. 2010] <<http://wiki.panotools.org/Hugin>>.

8. Obsah CD

- i) Bakalářská práce
- ii) Mapové výstupy
- iii) Jednotlivé shapefiley klasifikace pro daná léta

9. Mapové přílohy

- i) Mapa krajinného pokryvu 1975
- ii) Mapa krajinného pokryvu 1987
- iii) Nezměněné lesní porosty
- iv) Ortofotomapa 1975
- v) Ortofotomapa 1987