

**Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta,
Ústav pro životní prostředí**

**Modelování změn krajinného pokryvu v opuštěné
krajině s využitím série leteckých snímků**

**Modelling of land cover change in abandoned landscape
using time series of aerial photography**

Diplomová práce

Josef Brůna



Vedoucí diplomové práce: Jaroslav Vojta

Září 2009

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

.....
Josef Brůna

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval svému školiteli Jardovi Vojtovi za seznámení s Doupovskými horami, jejichž kouzlo mě naprosto uchvátilo, nesčetné konzultace i maily a za zapojení do týmu lidí, kteří se svými pracemi výborně doplňují. Děkuji i celému týmu za přátelské a tvůrčí prostředí a za všechny sdělené informace, které mi mnohokrát pomohly, a především Evě za dlouhodobou podporu a konzultace botanické problematiky.

Dále Laboratoři DPZ a GIS Botanického Ústavu AV ČR v Průhonicích za možnost pracovat s objektově orientovanou klasifikací v programu Definiens Developer 7 a PCI Geomatica 10, především Honzovi Wildovi za konzultace při studiu jejich používání a Martinovi Adámkovi za rady pro používání programu PCI Geomatica pro ortorektifikaci snímků.

Poděkování patří i Ing. Luboši Matějčíkovi za prostor k práci v GISlabu, množství návodů k softwaru, knih a dokumentací a za přínosné konzultace tvorby a prezentace modelů.

Díky patří i Tomášovi Herbenovi, který mi umožnil proniknout lépe do psaní odborného textu, a mnohým anonymním diskutujícím na programátorských fórech, se kterými jsem řešil nejednu vzniklou komplikaci v C# kódu.

V neposlední řadě děkuji svým rodičům za podporu a pochopení a příjemné pracovní prostředí.

Část práce byla vypracována v rámci grantu GAČR, projekt 526/06/0818.



Obsah

OBSAH	1
SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ	3
TABULKY	3
OBRÁZKY A MAPY	3
ČESKÝ ABSTRAKT	4
ENGLISH ABSTRACT	5
1. ÚVOD	6
1.1. ZMĚNY V MODERNÍ KRAJINĚ, OPOUŠTĚNÍ ZEMĚDĚLSKÉ PŮDY	6
1.2. SEKUNDÁRNÍ SUKCESE	7
1.3. VYUŽITÍ METOD DÁLKOVÉHO PRŮZKUMU ZEMĚ	8
1.4. MODELOVÁNÍ DISTRIBUCE DŘEVIN	9
1.5. VÝZKUMNÉ OTÁZKY	14
1.6. CÍLE PRÁCE	14
2. METODIKA	15
2.1. LOKALITA	15
2.2. VZTAH SE SYSTÉMEM NATURA 2000	18
2.3. MATERIÁLY	21
2.3.1. <i>Historické letecké snímky</i>	22
2.3.2. <i>Digitální výškový model (DEM)</i>	24
2.3.3. <i>Státní mapa odvozená</i>	25
2.4. METODIKA	26
2.4.1. <i>Ortorektifikace</i>	26
2.4.2. <i>Mozaikování</i>	28
2.4.3. <i>Automatická klasifikace</i>	29
2.4.4. <i>Příprava dat</i>	32
2.4.5. <i>Použité proměnné</i>	34
2.4.6. <i>Analýzy</i>	37
2.4.7. <i>Jaké modely byly použity</i>	38
2.4.8. <i>Postup tvorby modelu</i>	39
2.4.9. <i>Srovnání modelů</i>	40
2.4.10. <i>Aplikace PEMZOK</i>	41
2.4.11. <i>Určení úspěšnosti modelu</i>	44
3. VÝSLEDKY	45
3.1. ZMĚNA KRAJINY	45
3.2. VÝVOJ DISTRIBUCE DŘEVIN	46
3.3. ORTOREKTIFIKACE A MOZAIKOVÁNÍ	48
3.4. AUTOMATICKÁ KLASIFIKACE	49
3.5. VLIV PROMĚNNÝCH NA DISTRIBUCI VEGETACE	49
3.6. VLIV PŮVODNÍHO LAND USE	51
3.7. SROVNÁNÍ MODELŮ POMOCÍ AIC	52
3.8. SROVNÁNÍ ÚSPĚŠNOSTÍ MODELŮ	53
3.9. SROVNÁNÍ MODELŮ A SKUTEČNOSTI	54
4. DISKUSE	61
4.1. VYUŽITÍ HISTORICKÝCH LETECKÝCH SNÍMKŮ	61
4.2. AUTOMATICKÁ KLASIFIKACE	61
4.3. MODELOVÁNÍ	62
4.4. VLIV FAKTORŮ PROSTŘEDÍ	63
4.5. PROSTOROVÉ PROMĚNNÉ	64
4.6. VLIV PŮVODNÍHO LAND USE	64
4.7. KDE HLEDAT ZBÝVAJÍCÍ VARIABILITU	65

4.8.	NATURA – VZTAH ZARŮSTÁNÍ A MANAGEMENTOVÝCH CÍLŮ	67
5.	ZÁVĚR	68
5.1.	VÝZKUMNÉ OTÁZKY	68
5.2.	CÍLE.....	69
6.	REFERENCE.....	70
6.1.	LITERATURA	70
6.2.	CITOVANÉ OBRÁZKY A FOTKY	76
7.	PŘÍLOHY	I
7.1.	MAPY.....	I
7.2.	PŘÍLOHA 10 POKYNY K PRÁCI S APLIKACÍ PEMZOK.....	XI
7.3.	PŘÍLOHA 11 DOKUMENTACE MATICE POUŽÍVANÉ V APLIKACI.....	XV
7.4.	PŘÍLOHA 12 PARAMETRY LMER MODELŮ	XVI
7.5.	PŘÍLOHA 13 C# ZDROJOVÉ KÓDY-HLAVNÍCH ALGORITMŮ	XVII
7.6.	PŘÍLOHA 14 CD	XXI

Používané zkratky

AIC – Akaikeho informační kritérium

BMP – bitmap picture - nekomprimovaný souborový formát pro ukládání rastrové grafiky

CA – celulární automat

CSV – comma separated value – souborový formát pro ukládání tabulkových dat oddělených středníky

ČÚZK - Český úřad zeměměřičský a katastrální

DEM – Digitální výškový model

EVL – Evropsky významná lokalita

EHS – Evropské hospodářské společenství

GCP – ground kontrol point - vlíčovací bod

GIS – geografický informační systém

HLI – heat load index - proměnná odvozená z DEM

IBM – individual based model - model založený na modelování jednotlivců

Lmer - zobecnění lineární model se smíšenými efekty z balíčku lme4 (Bates et al., 2008)

PEMZOK – Prostorově explicitní model zarůstání opuštěné krajiny (aplikace je součástí této práce)

RMS – root mean square - střední kvadratická chyba

RTF – rich text formát – souborový formát pro ukládání textů včetně formátování

S-JTSK – kartografický souřadný systém jednotné trigonometrické sítě katastrální

TIFF – tagged image format - nekomprimovaný souborový formát pro ukládání rastrové grafiky

TSI – terrain shape index - proměnná odvozená z DEM

TXT – souborový formát pro ukládání neformátového textu

VGHMÚř - Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad

VÚ – Vojenský újezd

WTI – wettness index - proměnná odvozená z DEM

Font Courier New je používán pro odlišení zdrojových kódů aplikace a zadání modelů pro R.

Seznam tabulek a obrázků

Tabulky

TAB. 1 POUŽITÉ LETECKÉ SNÍMKY	22
TAB. 2 PROMĚNNÉ POUŽITÉ V MODELECH.....	34
TAB. 3 RMS JEDNOTLIVÝCH BODŮ POUŽITÝCH PRO ORTOREKTIFIKACI. BODY JEJICHŽ ID ZAČÍNÁ G JSOU VLÍCOVACÍ BODY, T JSOU SPOJOVACÍ BODY. POČTY SE LIŠÍ KVŮLI RŮZNÝM POČTŮM SNÍMKŮ V JEDNOTLIVÝCH LETECH	48
TAB. 4 PODÍL DŘEVINA BEZLESÍ V ROCE 2005 PODLE JEDNOTLIVÝCH HLAVNÍCH LAND USE A NA PLOCHÁCH VYNECHANÝCH Z DŮVODU LIDSKÝCH ZÁSAHŮ BĚHEM DOBY SLEDOVÁNÍ MANAGEMENTU V PRŮBĚH A PODÍL NA CELKOVÉM BEZLESÍ A DŘEVINÁCH V ROCE 2005	51
TAB. 5 LEGENDA K VIZUALIZACÍM SROVNÁNÍ ÚSPĚŠNOSTI:.....	54
TAB. 6 "MAPY" SIGNIFIKANTNÍCH FAKTORŮ PROSTŘEDÍ	54
TAB. 7 VÝSLEDKY MODELŮ OBDOBÍ 1952 - 1962	55
TAB. 8 VÝSLEDKY MODELŮ OBDOBÍ 1962 - 1971	56
TAB. 9 VÝSLEDKY MODELŮ OBDOBÍ 1971 - 1984	57
TAB. 10 VÝSLEDKY MODELŮ OBDOBÍ 1984 - 1992	58
TAB. 11 VÝSLEDKY MODELŮ OBDOBÍ 1992 - 1999	59
TAB. 12 VÝSLEDKY MODELŮ OBDOBÍ 1999 - 2005	60
TAB. 13 DOKUMENTACE POUŽITÉ MATICE	XV

Obrázky a mapy

OBR. 1 KONCEPT VARIABILITY DISTRIBUCE DŘEVIN (PŘEVZATO A UPRAVENO) MILLER ET AL. 2007	11
OBR. 2 SCHEMATICKÁ MAPA LOKALITY (ČERVENÝ OBDĚLNÍK)	15
OBR. 3 NA POHLEDOVÉ FOTOGRAFII Z DOBY PŘED VZNIKEM VOJENSKÉHO PROSTORU A FOTOGRAFII Z ROKU 2009 JE JASNĚ VIDĚT ZMĚNA KRAJINNÉHO POKRYVU. FOTOGRAFIE: WWW.ZANIKLEOBCE.CZ A AUTOR	16
OBR. 4 VZTAH LOKALITY A EVROPSKY VÝZNAMNÝCH LOKALIT SYSTÉMU NATURA 2000. ŽLUTÉ OHRANIČENÉ OHROŽENÉ PLOCHY VÝCVIKOVÝCH ZAŘÍZENÍ MAJÍ VÝJIMKU Z MANAGEMENTOVÝCH OPATŘENÍ.	20
OBR. 5 UKÁZKA RASTROVÉHO EKVIVALENTU LETECKÉHO SNÍMKU 2999 Z ROKU 1952 VČETNĚ RÁMOVÝCH ZNAČEK ...	22
OBR. 6 DETAIL SNÍMKU Z ROKU 1971	23
OBR. 7 CENTRÁLNÍ ROLE DEM V MODELOVÁNÍ POMOCÍ DAT Z LETECKÝCH SNÍMKŮ (UPRAVENO PODLE GUISAN A ZIMMERMANN, 2000).....	24
OBR. 8 POZICE POUŽITÉHO LISTU SMO KARLOVY VARY 3-2	25
OBR. 9 ZNÁZORNĚNÍ PROCESU ORTOREKTIFIKACE 1) SNÍMACÍ KOMORA O ZNÁMÝCH VLASTNOSTECH, 2) LETECKÝ SNÍMEK, 3) DIGITÁLNÍ MODEL TERÉNU, 4) ORTOREKTIFIKOVANÝ SNÍMEK, 5) NAMOZAIKOVANÁ ORTOFOTOMAPA, 6) ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ	26
OBR. 10 SCHÉMA POZIC SNÍMKŮ Z ROKU 1962 PŘI ORTOREKTIFIKACI. MODŘE JE VYZNAČENO ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ. ČERVENĚ POUŽITÉ AUTOMATICKÉ DĚLÍČÍ LIE. ČERNĚ HRANICE JEDNOTLIVÝCH ORTOREKTIFIKOVANÝCH SNÍMKŮ. SNÍMKY 543 A 565 BYLY PŘIDÁNY KVŮLI SNADNĚJŠÍ GEOREFERENCI, JELIKOŽ JSOU NA NICH BUDOVY MIMO VOJENSKÝ PROSTOR, KTERÉ JSOU ZJISTITELNÉ I NA NEJNOVĚJŠÍCH SNÍMCÍCH.	28
OBR. 11 KLASIFIKAČNÍ TŘÍDY POUŽITÉ PŘI KLASIFIKACI, NELES A PODRUHE BYLY POUŽÍVÁNY PRO JEMNĚJŠÍ SEGMENTACI HRUBÉ AUTOMATICKÉ KLASIFIKACE	30
OBR. 12 PŘÍKLAD PROCESS TREE ZOBRAZUJÍCÍHO POSTUPY POUŽITÉ PŘI AUTOMATICKÉ KLASIFIKACI SNÍMKŮ	30
OBR. 13 UKÁZKA DRUHÉ ÚROVNĚ SEGMENTACE A KLASIFIKACE ČÁSTI SNÍMKU Z ROKU 1971. ZELENĚ STROMY, ZELENOMODŘE KŘOVINY, BÍLE BEZLESÍ. JEDNOTLIVÉ KŘOVINY BEZLESÍ BYLY KLASIFIKOVÁNY AŽ PO JEMNĚJŠÍ SEGMENTACI.	31
OBR. 14 UKÁZKA PRVNÍ ÚROVNĚ SEGMENTACE A KLASIFIKACE -1971 – ZELENĚ AUTOMATICKY KLASIFIKOVANÉ OBJEKTY NA PRVNÍ ÚROVNI SEGMENTACE. ČERVENÉ OBJEKTY JSOU URČENY K JEMNĚJŠÍ SEGMENTACI	31
OBR. 15 SROVNÁNÍ ORTOFOTA, KLASIFIKOVANÉ VRSTVY DŘEVIN VE FORMÁTU SHP A RASTRU DŘEVIN Z ROZLIŠENÍ 5M NA PŘÍKLADU ČÁSTI SNÍMKU Z ROKU 1952.....	32
OBR. 16 SCHÉMA POSTUPU MODELOVÁNÍ.....	39
OBR. 17 ZRCADLENÍ OBSAHU MATICE U HRANICE	43
OBR. 18 PODÍL BEZLESÍ A DŘEVIN NA UPRAVENÝCH KLASIFIKOVANÝCH SNÍMKÁCH.....	45
OBR. 19 PODÍL BEZLESÍ ZAROSTLÉHO ZA JEDEN ROK DŘEVINAMI Z BEZLESÍ NA ZAČÁTKU KAŽDÉHO SLEDOVANÉHO OBDOBÍ. PRO NÁZORNOST JE PROLOŽEN POLYNOM TŘETÍHO STUPNĚ.	45
OBR. 20 PODÍL ÚZEMÍ ZAROSTLÉHO ZA JEDEN ROK DŘEVINAMI Z PLOCHY CELÉ LOKALITY.....	46
OBR. 21 ŠÍŘENÍ DŘEVIN NA SLEDOVANÉ LOKALITĚ ZJIŠTĚNÉ Z KLASIFIKOVANÝCH LETECKÝCH SNÍMKŮ.....	47
OBR. 22 SROVNÁNÍ Vlivu PROMĚNNÝCH VE FAKTOROVÝCH MODELECH, KROUŽEK OZNAČUJE VYNECHÁNÍ PROMĚNNÉ	49
OBR. 23 SROVNÁNÍ Vlivu PROMĚNNÝCH V PROSTOROVÝCH MODELECH	50
OBR. 24 SROVNÁNÍ Vlivu PROMĚNNÝCH V CELKOVÝCH MODELECH, KROUŽEK OZNAČUJE VYNECHÁNÍ PROMĚNNÉ	50
OBR. 25 SROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH MODELŮ POMOCÍ STANDARDIZOVANÉHO A CENTROVANÉHO AIC	52
OBR. 26 SROVNÁNÍ UPRAVENÉ ÚSPĚŠNOSTI JEDNOTLIVÝCH MODELŮ VE SROVNÁNÍ SE SKUTEČNÝM STAVEM	53

Český abstrakt

Práce se zabývá modelováním změny krajinného pokryvu způsobené opouštěním krajiny. Studijní plocha o rozměrech 2,5 km × 2 km se nachází ve vojenském újezdu Hradiště, v okolí bývalé obce Tocov. Vzhledem k nedostatku historických dat o vegetaci na krajinné úrovni byly jako zdroj dat použity historické letecké snímky. Ty byly ortorektifikovány, mozaikovány a automaticky objektově klasifikovány do kategorií dřeviny a bezlesí. Postupné zarůstání krajiny bylo modelováno pomocí zobecněných lineárních modelů se smíšenými efekty (lmer) s použitím proměnných odvozených z digitálního výškového modelu, údajů o původním land use a prostorových proměnných získaných pomocí algoritmů na bázi celulárních automatů.

Za účelem ověření predikce modelů se skutečným stavem, interpretace a vizualizace výsledků byla vytvořena aplikace PEMZOK Prostorově Explicitní Model Zarůstání Opuštěné Krajiny, která je jedním z výsledků této práce.

Byla zjištěna stále rostoucí rychlost zarůstání zbylých bezlesí. Největší zjištěný vliv na šíření dřeviny měla vzdálenost k nejbližší dřevině a hustoty dřevin v blízkém okolí (15 m × 15 m) a širším okolí (105 m × 105 m) ve výchozím roce. Modely s těmito proměnnými a původním land use byly nejúspěšnější skupinou modelů. Faktory odvozené z digitálního modelu terénu vedly k poněkud horší predikci distribuce dřevin, i tak je však jejich vliv signifikantní, stejně jako vliv původního land use, který přispívá k vysvětlení prostorové distribuce dřevin poměrně malou měrou. Celkově však lze zjistit odlišné zarůstání jednotlivých typů. Nejlépe zarostla bezlesí na území bývalé vesnice, následovaná pastvinami, nejhůře zarůstají původní louky.

Výsledky ukazují důležitost znalosti prostorových vztahů při studiu vegetace na krajinné úrovni. Šíření dřevin je mnohem lépe predikovatelné pomocí samotných údajů o okolí, než pomocí topografických proměnných. Vliv původního land use je dodnes patrný, avšak poměrně malý. Výsledkem práce jsou též ortorektifikované letecké snímky lokality, které spolu s vyvinutou aplikací budou využity při dalším studiu na lokalitě.

Vytvořené prostorově explicitní modely poslouží k lepšímu pochopení sekundární sukcese na opuštěné půdě a při plánování dalšího terénního výzkumu na lokalitě. Zároveň mohou vést k flexibilnějšímu plánování managementu takových oblastí za účelem efektivního dosažení cílů ochrany přírody. Umožňuje provádět cílené místní zásahy, místo plošných opatření.

English abstract

This thesis deals with modelling of land cover change in abandoned landscape. The study site is located in the military area Hradiště, around the former village Tocov, it is 2,5 km long and 2 km wide. Due to lack of historical vegetation data on landscape scale, historical aerial photographs were used as a primary source of data. They were orthorectified, mosaicked and automatically object oriented then classified in two categories woodland and grassland.

Changes between two successive classified images were modelled with generalized linear models with mixed effects (lmer). Variables that were derived from digital elevation model, former land use and spatial variables computed with algorithms based on cellular automata were used.

In order to verify the model predictions with the actual situation and for easier interpretation and visualization of results, a new application PEMZOK (Spatially explicit model of overgrowth of abandoned landscape) was developed and is one of the results of this work.

Rapid rate of overgrowth of remaining grasslands was found. The largest observed effect on the spread of trees had the distance to the nearest tree or shrub and density of trees in the vicinity (15 m × 15 m) and the wider neighbourhood (105 m × 105 m). Models with these variables and land use were the most successful group of models. Factors derived from digital terrain model lead to somewhat poorer prediction of species distribution, but their impact was almost always significant, as well as the influence of the original land use, which helps to explain the spatial distribution of trees to a relatively small extent. Most suitable for forest succession were places in former village and pastures, least suitable were former meadows.

The results show the importance of spatial relationship information for studies of vegetation change on a landscape scale. Spatial information alone can help to predict the overgrowth patterns much better, than topographic variables. Influence of former land use is still noticeable, but very small. Results of the work are also orthorectified aerial photos, which together with the new application PEMZOK will be used for further studies on the site.

Created spatially explicit models will serve for better understanding of secondary succession in abandoned landscape, as well as help planning of further field research on the site. They may also lead to a more flexible planning of management of such areas in order to efficiently achieve conservation objectives. They allow use of targeted local interventions, instead of flat measures.

1. Úvod

1.1. Změny v moderní krajině, opouštění zemědělské půdy

V novodobé krajině se objevují trendy, které nemají v historii obdoby. Kromě šíření městské zástavby je to i proces naprosto odlišný, opouštění zemědělské půdy, které Baudry (1991) definoval jako změnu k méně intenzivnímu land use nebo úplné upuštění od využívání a managementu půdy. K tomuto procesu dochází v mnoha státech západní a jižní Evropy (Sluiter a de Jong, 2006; Pueyo a Beguería, 2007), ale i v severských zemích (Ihse, 1995) od 50. let 20. století. Na celé severní polokouli výrazně narůstá plocha opuštěné zemědělské půdy, která zarůstá lesem (FAO, 2007).

Nejčastěji jsou opouštěny méně kvalitní půdy (Sluiter a de Jong, 2007), půdy v horských (Corona et al., 2008) a okrajových oblastech (Pueyo a Beguería, 2007). Podle výzkumu Corona et al. (2008) ve střední Itálii jsou více opouštěny pastviny než pole, signifikantní vliv byl též prokázán pro délku lesních okrajů v okolí plochy. Velký vliv na tuto změnu má intenzifikace zemědělství i socioekonomické poměry (Ihse, 1995) včetně různých dotačních programů (např. agroenvironmentální programy), nebo zákony o lesích (Peterson et al., 2009).

V České republice lze tuto změnu sledovat v horských a hraničních oblastech (Dostálová, 2009) a ve velké míře též ve vojenských újezdech. Na opuštěných plochách dochází k sekundární sukcesi na plochách, mnohdy dlouhodobě ovlivněných lidskou činností. Vliv původního využití půdy je tudíž mnohdy zásadní pro její průběh (Vojta a Kopecký, 2006) a šíření jednotlivých druhů dřevin (Zajíčková, 2009).

Sluiter a de Jong (2007) při studiu vlivů na opuštění půdy v jižní Francii, pomocí série leteckých snímků, zjistili největší vliv půdních vlastností, dále pak zjistili průkazný vliv vzdálenosti od cest a městských oblastí, vlhkostního indexu, potenciální radiace, nadmořské výšky a svažitosti. Poukazují také na to, že modelování čerstvě opuštěných ploch neumožňuje správně rozpoznat pattern zarůstání. Ihse (1995), pomocí analýzy leteckých snímků, označila za hlavní důvod změny švédské krajiny za posledních 50 let intenzifikaci zemědělství spolu se scelováním pozemků a opuštěním méně úrodných oblastí. Jako jeden z důvodů označuje též změnu švédské zemědělské politiky v roce 1991.

1.2. Sekundární sukcese

Na opuštěné zemědělské půdě dochází k sekundární sukcesi (Riebsame et al., 1994), člověkem ovlivněné plochy postupně zarůstají druhy, které jsou lépe adaptované na prostředí bez lidských zásahů. Je obecně přijímaným předpokladem, že sukcese v temperátním klimatu vede ke vzniku lesa (Ellenberg, 1988). Průběh sukcese je přitom ovlivněn vlastnostmi prostředí, které řídí rychlost a směr a cílový stav (Odum, 1969).

Původní bezlesí postupně zarůstá křovinami a stromy a postupně se mění v les. Osbornová et al. (1990) vysledovali v českém krasu přechod od křovin dominovaných druhem *Prunus spinosa*, k dominanci rodu *Crataegus*, jehož porosty se po 47 letech začaly rozpadat a na jeho místech se začaly šířit semenáčky stromů *Acer campestre* a *Fraxinus excelsior*. Obdobný trend zjistil v oblasti Doupovských hor i Jelínek (1981), který uvádí jako dominantu mladých porostů rod *Rosa* a částečně i druh *Prunus spinosa*, následovaný rodem *Crataegus* a jednotlivými výskyty *Fraxinus excelsior*, *Acer campestre* a *Pyrus communis*, která se šíří ze starých zahrad.

Dřeviny se nejvíce šíří během prvních 20 let po opuštění (Prach, 1994). Dále lze sledovat dobré šíření v okolí samostatných stromů (Dzwonko a Loster, 1992) a podél liniových formací dřevin v krajině (Guth, 1998). Šíření dřevin může být blokováno půdními vlastnostmi nebo kompetičně silnými, hustě zapojenými trávníky (De Blois et al., 2004).

Často je studován vliv faktorů na druhové složení dřevin. Prach a Řehouňková (2006) uvádí review takových studií. Nejčastěji jsou signifikantními faktory okolní vegetace, makroklima, vlhkost půdy, množství dusíku a půdní textura. Menší vliv mají velikost disturbance, pH, organická hmota a množství fosforu. Prach a Řehouňková (2006) shrnují, že sukcese na konkrétním místě by neměla být studována bez krajinného kontextu. Jelínek (1981) označil za hlavní faktory, ovlivňující druhové složení dřevin v Doupovských horách nadmořskou výšku, svažitost a stáří pozemku. Vojta a Kopecký (2006) tamtéž zjistili vliv původního land use na druhové složení vegetace, přestože hlavním určujícím faktorem jsou podmínky prostředí (Kopecký a Vojta, 2009).

Pueyo a Beguería (2007) při studiu sekundární sukcese na opuštěných zemědělských plochách v Pyrenejích pomocí leteckých snímků zjistili největší vliv nadmořské výšky a potenciální radiace. Množství živin a vody již nebylo pro predikci rychlosti sukcese na opuštěné půdě tak významné. Domnívají se, že přidání prostorových proměnných a informací o nejbližším okolí by své modely mohli ještě zlepšit, neměli však k dispozici dostatečná data.

Rutherford et al. (2007) při studiu nejlepších metod sběru dat a modelování komplexních změn krajinného pokryvu zjistili, že nejčastěji byl prokázán signifikantní vliv nejbližšího okolí, průměrné roční teploty, potenciální radiace, množství srážek a kontinentality. Doporučují také

preferenci modelů s méně proměnnými, oproti složitějším modelům a použití méně kategorií při klasifikaci krajinného pokryvu k získání lepších výsledků.

Sukcese opuštěné půdy probíhá i v mediteránním ekosystému Izraele, tam Carmel a Kadmon (1999) zjistili signifikantní vliv svažitosti, orientace ke světovým stranám a jejich interakce na šíření vegetace. Pomocí těchto jednoduchých proměnných vysvětlili 56 % a 72 % variability při použití mnohonásobné regrese. Jako zdroj dat používali přesné letecké snímky s rozlišením 30 cm. Za další významné proměnné označili pastvu koz, topografii a výchozí vegetaci.

1.3. Využití metod dálkového průzkumu Země

S rozvojem metod dálkového průzkumu Země během posledních osmdesáti let se rozšířilo i jejich vědecké využití od prvních leteckých snímků používaných pro mapování a inventarizaci lesů v 30. letech 20. století, až po moderní satelity poskytující nepřetržitě detailní snímky zemského povrchu, jejichž uplatnění je mnohem širší.

Posouzení dlouhodobých změn v krajině se dříve neobešlo bez časově náročných studií. Díky leteckým snímkům je však dnes možné provádět podobné studie i v místech, kde dlouhodobé sledování neprobíhalo (Hannes et al., 2009). Často jsou využívány snímky z vojenských a státních archivů, které původně sloužily hlavně pro strategické účely. Stávají se novým cenným zdrojem informací o minulosti krajiny. Díky rozvoji výpočetní techniky a geografických informačních systémů (GIS) jsme schopni je analyzovat a získávat geograficky přesná data z velkých oblastí s relativně malými náklady. Metody dálkového průzkumu Země se dnes používají i pro mapování biodiverzity chráněných oblastí, které se nacházejí v nepřístupném terénu znemožňujícím terénní mapování (Hannes et al., 2009).

Nejvíce je dnes používáno satelitní snímkování, jehož náklady na pořízení a zpracování jsou nižší než u letecké fotografie. Jsou však k dispozici až od roku 1972, kdy byl vypuštěn satelit Landsat 1. Rozlišení snímků 80x56 m umožňovalo sledovat hlavně velké krajinné útvary. Dodnes se používají pro kvantifikaci fragmentace velkých lesních porostů. Výhodou je zejména obrovský archiv, který je dnes přístupný zdarma (USGS, 2008), a použití více spektrálních pásem, umožňující např. sledování evapotranspirace, množství chlorofylu. Nejpresnější dostupné satelitní snímky poskytuje od roku 2008 satelit GeoEye s rozlišením 0,41 m, komerčně zatím max. 0,5 m (Geoeye, 2009). Přesná data získaná pozemním průzkumem lze pomocí satelitních snímků extrapolovat a získat detailní informace o velkých oblastech (Bird et al., 2000).

Pro dlouhodobější studie je vhodné použít leteckou fotografii, která je na mnohých místech dostupná již od 30. let 20. století. Ještě starší zprávy o krajině poskytují historické mapy, jejich vypovídací hodnotu je však potřeba dobře zvážit, jelikož většinou nevznikaly pro sledování

vegetace (Brůna a Křováková, 2006). Pro hodnocení kvality vegetace je nejvhodnější infračervená fotografie, která se ale většinou pořizuje přímo pro potřeby dané studie a je tedy z hlediska dlouhodobého sledování nedostupná. Podobné výsledky poskytují i satelitní snímky v infračervené oblasti spektra (Carreiras et al., 2006), případně multispektrální data.

Letecké snímky je zpravidla potřeba ortorektifikovat, čímž se zajistí prorovná přesnost výsledných ortofotomap. Pro studium změny využití půdy, šíření dřevin, nebo sukcese na krajinné úrovni jsou používány různé způsoby klasifikace snímků. Manuální vektorizace a klasifikace ploch je pro použití na krajinné úrovni velmi náročná. Dnes se často používají různé způsoby automatické klasifikace. V zásadě lze odlišit dva hlavní typy: per – pixel klasifikaci, při které je klasifikován každý obrazový bod zvlášť, což je vhodné hlavně pro zpracování snímků nízkého rozlišení a objektově orientovanou klasifikaci, která umožňuje segmentovat obraz do objektů o daných vlastnostech (Definiens, 2007), a s těmi dále pracovat. Tvůrci jednoho z algoritmů pro objektově orientovanou klasifikaci tvrdí, že výsledné objekty odpovídají tomu, jak obraz vnímá člověk (Definiens, 2007).

Nejnovější studie ukazují, že kombinací počítačového zpracování a kvalitních leteckých či satelitních snímků lze zjišťovat přesnou polohu jednotlivých stromů včetně rozpoznání druhů (Atkinson et al., 2007), nebo invazních rostlin (Williams a Hunt, 2002) a poskytovat tak přesná data pro další ekologické studie.

1.4. Modelování distribuce dřevin

Ekologické systémy jsou velmi komplexní, jelikož obsahují velké množství různých objektů rozličných měřítek, které spolu různě interagují, prostředí, jehož vlastnosti se kontinuálně mění v čase i prostoru, který navíc definuje jejich možnosti pohybu a interakce. Jejich modelování tudíž vyžaduje složité modely, nebo určitá zjednodušení.

Výskyt dřevin je determinován vlastnostmi stanoviště, disturbančním režimem, konkurenčními vztahy mezi koexistujícími druhy, interakcí s herbivory a dalšími. Význam některých faktorů je však zřejmý až na větším prostorovém měřítku, je to zejména význam šíření druhů, distribuce historických refugií druhů, ale také mobilita herbivorů a rozsah disturbancí. Procesy probíhající na krajinném měřítku mohou výrazně modifikovat lokální děje. Znalost širšího krajinného kontextu je proto nutná pro pochopení vývoje dřevinné vegetace. Získání všech těchto proměnných do statistického modelu by bylo velmi obtížné. Proto se při modelování distribuce dřevin používají údaje získané z dálkového průzkumu Země, nebo interpretací leteckých snímků, interpolovaná klimatická data, topografické proměnné odvozené z digitálního modelu terénu, které souvisí s množstvím dopadajícího záření, vlhkostí a dalšími parametry, které by byly obtížně měřitelné (Franklin, 1995).

Modelování distribuce dřevin na krajinné úrovni slouží nejen ke snaze o pochopení procesů, které řídí změnu krajinného pokryvu, ale často i k predikcím budoucího vývoje vegetace, v poslední době hlavně v kombinaci s globální klimatickou změnou (Pueyo a Bequería, 2007). Může sloužit též k efektivnímu plánování managementu krajinných prvků, nebo simulaci následků určitých zásahů (Baker, 1989). Prostorově explicitní modely umožňují určení efektivních zásahů na jednotlivých plochách, místo plošných opatření.

Modely distribuce dřevin lze rozdělit na kvalitativní, které popisují možný průběh sukcese na základě znalosti mechanismů, ale nijak ji nekvantifikují, a kvantitativní, které bývají vyjádřeny pomocí matematických funkcí. Taylor et al. (2009) dělí tyto modely na mechanistické, empirické a hybridní. Mechanistické modely jsou založeny na jasných a snadno interpretovatelných vztazích, za cenu toho, že ne vždy vystihují variabilitu nejlépe. Empirické modely jsou naopak založeny na odpozorovaných datech o sukcesních změnách, které se snaží vysvětlit dostupnými proměnnými. Vhodným zdrojem dat pro tento typ modelů jsou i data z dálkového průzkumu Země. Hybridní modely pak kombinují výhody obou těchto postupů.

Pro predikci šíření vegetace se používá mnoho různých statistických postupů. Jedním z nejjednodušších jsou Markovovy přechodové modely, které využívají k popsání změny matrici, která vyjadřuje pravděpodobnost změny v kombinaci kategoriálních proměnných. Pro parametrizaci jsou využívána modelová území nebo náhodný výběr lokalit. Podobnou metodou jsou klasifikační stromy, kterých se často používá pro definici pravidel celulárních automatů.

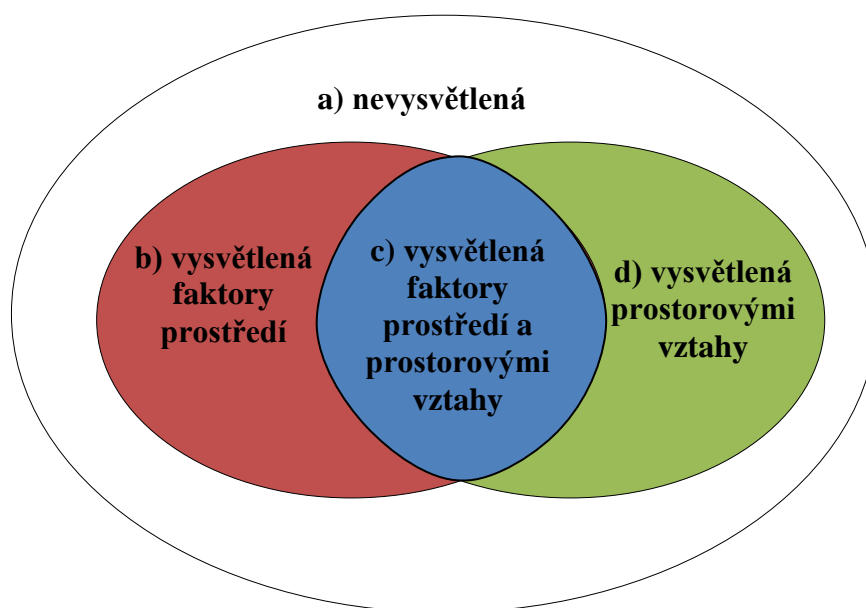
Další možností související s rozvojem statistických metod během posledních 40 let jsou zobecněné lineární (GLM; Nelder a Wedderburn, 1972) a zobecněné aditivní modely (GAM, Hastie a Tibshirani, 1990). Review jejich použití pro modelování distribuce druhů uvádí Guisan et al. (2002). Jde o zobecnění lineárních modelů, které umožňují nelineární a nekonstantní variabilitu dat, pomocí použití link funkcí. Je možné je použít i na binární data, což zvyšuje jejich použitelnost pro predikci vegetace oproti lineárním modelům (Guisan et al., 2002). GAM navíc používají vyhlazující funkce, díky které umožňují lepší popis variability např. u silně nelineárních a nemonotónních závislostí (Guisan et al, 2002). GLM lze použít také jako předstupeň GAM. Detailní review těchto a dalších, méně často používaných modelů, uvádí Guisan a Zimmermann (2000).

Doposud uvedené modely často narážejí na problém prostorové závislosti proměnných, plynoucího z Toblerova „prvního zákona geografie“ (Tobler, 1979), o tom, že všechno souvisí se vším, ale blízké věci spolu souvisí víc než ty vzdálené, který odporuje základním předpokladům velké části statistických modelů o nezávislosti měření (Legendre, 1993; Ricotta, 2007).

Postupem času byly aplikovány různé postupy jak s prostorovou závislostí dat pracovat, jejich detailní review uvádí Miller et al., (2007). Prvním řešením tohoto problému byla snaha o

odstranění jejich vlivu pomocí vhodného sběru vzorků (např. Davis a Goetz, 1990), což může být velmi obtížné vzhledem k závislostem velkého dosahu. Navíc nemusí vždy vést ke správným výsledkům, jak demonstruje Ricotta (2007) na příkladu hypotetické sloní stopy. Tento postup slouží hlavně k odhalení vlivu proměnných, pro prediktivní mapování je však důležitá i prostorová složka, která určuje vztahy dřevin mezi sebou, například šíření od zdrojů semen, nebo růst v zástínu.

Další možností je zahrnutí prostorových proměnných přímo do uvažovaného modelu. Vzniklý model tak má dvě skupiny proměnných - environmentální faktory a prostorové proměnné, v tomto případě většinou údaje o zeměpisné délce a šířce (Borcard et al., 1992; Legendre, 1993). Variabilitu pak lze konceptuálně rozdělit do kategorií, naznačených na schématu (Obr. 1). Striktní oddělování jednotlivých vlivů je však obtížné a mnohdy nemožné (Legendre a Legendre, 1998), zvláště když jsou v daném území nějaké vztahy na delší vzdálenost. Tyto modely navíc nedokáží vysvětlit detailní prostorovou variaci, způsobenou vznikem různě velkých plošek.



Obr. 1 Koncept variability distribuce dřevin (převzato a upraveno) Miller et al. 2007

Postupem času vznikaly metody, které umožňují přímé zahrnutí prostorové závislosti. Patří k nim autoregresní a geostatistické postupy. V autoregresních metodách je prostorová závislost vyjádřena pomocí různých proměnných odvozených z prostorových vztahů studovaných objektů. Často se jedná o průměrné hodnoty jiných proměnných v okolí. Dennis et al. (2002) zjistili, že takové modely jsou mnohem úspěšnější, než ty, které prostor popisují pomocí zeměpisných souřadnic, dále uvádí větší význam prostého okolí, oproti okolí váženém vzdáleností. Geostatistické metody využívají interpolačních technik, nejčastěji krigingu, který rozkládá variabilitu na deterministickou, autokorelační specifikovanou korelogramem a šumovou část

(Burrough a McDonnel, 1998). Miller a Franklin (2002) zjistili zlepšení výsledků modelů, predikujících výskyt čtyř různých vegetačních svazů v Kalifornské poušti po přidání krigingu. Zároveň však uvádí, že v modely, kde byl nastaven velký vliv krigingu, byly obtížněji zobecnitelné pro predikci v jiných oblastech.

Zahrnutí prostorových závislostí umožňují i zobecněné lineární modely se smíšenými efekty, kde lze prostorové proměnné definovat jako náhodný efekt. Geograficky vážené regrese rozšiřují běžné regresní metody o možnost lokální variability odhadů (estimates) parametrů. Celý model je tak rozdělen na více lokálních regresí. Nejedná se tedy o běžné zahrnutí prostorových proměnných (Miller et al., 2007)

Prostorově založené modely

Úplně jinou skupinou modelů tvoří celulární automaty (Wolfram, 1984) a modely postavené na jednotlivcích (IBM - individual based models; Lett et al., 1999). Základním prvkem obou těchto přístupů je prostor.

U celulárních automatů (CA) je dvourozměrný rozdělen do konečného počtu pravidelně rozmístěných plošek stejného tvaru, nejčastěji čtverců, nebo šestiúhelníků, takzvaných buněk (cells), existují však i trojrozměrné obdoby. Ve své podstatě se jedná o simulační modely, lze je však využít i v kombinaci s dalšími statistickými postupy. Colasanti et al. (2007) je nazývají spíše myšlenkovými experimenty než statistickou metodou. Většinou obsahují různě složitý soubor pravidel, podle kterých se vypočítává následující stav matice. I poměrně jednoduchá pravidla mohou generovat komplexní chování modelu, většinu složitých procesů lze rozložit do systému rozhodovacích pravidel (Molofstky a Bever, 2004). Lze odlišit rostoucí pravidla, která určují, ve kterých buňkách něco nového vznikne a zániková pravidla, která určují podmínky pro zánik objektu v dané buňce. Může se jednat o složité matematické funkce zahrnující postupně čerpané a obnovované zdroje (Colasanti et al., 2007), nebo jednoduché matematické funkce nebo vzory, které mohou být odpozorovány ze skutečného vývoje. Nejznámějším celulárním automatem postaveným na vzorech je Conwayův LIFE (Gardner, 1971). Moderní počítače umožňují rozpoznávat a učit se nové vzory, které následně používají k dalšímu rozvoji modelu. Zde je prostor pro kombinaci s jinými statistickými postupy. Pravidla obvykle vycházejí nejen ze stavu v dané buňce, ale i z jejího vztahu s okolím. Je možné použít i Markovovu přechodovou matici (Baltzer et al., 1998).

Často jsou v každé buňce stanoveny zdroje, které jsou postupem času čerpány, s ohledem na množství přítomných jedinců, což snižuje šanci dalšího rozvoje vegetace v dané buňce. Po odumření jedinců dochází k přibývání zdroje, dokud se do buňky nedostane další jedinec. Další možností je modelování kompetičních vztahů pomocí celulárních automatů. Silvertown et al.

(1992) modelovali vývoj vztahů 5 druhů rostlin, jejichž kompetiční vztahy byly zjištěny experimentálně Thórhallsdóttírem (1990).

Kombinace statistických modelů a celulárních automatů přináší nové možnosti do predikčního modelování sukcese, především nové proměnné získané z prostorových vztahů v buňkách automatu, ale i snadnou vizualizaci výsledků různých nastavení modelů. Při použití reálných prostorových dat je možné získávat prostorově explicitní výsledky, které lze díky použité matici, snadno vizualizovat v geografických informačních systémech pomocí rastru.

Modely postavené na jedincích (IBM - individual based models) pracují se spojitým prostorem a umožňují každému objektu přiřadit jednoznačné umístění. To umožňuje přesněji vystihnout vzdálenosti a prostorové vztahy, Lett et al. (1999) například počítal potenciální zastínění, ze znalosti polohy sousedních stromů a jejich výšky, ale zároveň znemožňuje použití jednoduchých pravidel ve vztahu s okolím, jako jsou různé vzory používané u celulárních automatů. Na rozdíl od nich zde není možné nastavit množství zdrojů pro plochu sdílenou více jedinci, ale každý jedinec zde má své vlastní zdroje. Jeho umístění lze ovlivnit v době šíření, kdy lze stanovit minimální vzdálenost od jiného jedince, s ohledem na konkurenci o stejné zdroje. Výpočetně IBM modely náročnější, jelikož výpočet okolí prověřuje polohu všech jedinců, kdežto u CA je okolí pevně definované. IBM modely umožňují sledovat až nekonečně mnoho jedinců, kdežto u CA je počet limitován počtem buněk a stanoveným maximálním počtem na jedné ploše.

Lett et al. (1999) srovnávali oba tyto typy modelů při predikci vývoje stromů v porostu v dlouhodobém horizontu. Zjistili, že IBM modely lépe vystihují shlukování dřevin, které lze sledovat i v reálných přirozených porostech. Také poukazují na snazší implementaci šíření pomocí živočichů a podobných interakcí s prostředím.

1.5. Výzkumné otázky

Za účelem zhodnocení probíhající změny krajinného pokryvu a zjištění vlivu různých proměnných na distribuci vegetace v průběhu doby od opuštění krajiny si v práci kladu následující otázky:

- Je rychlost zarůstání opuštěné krajiny konstantní?
- Má historické využití půdy dlouhodobý vliv na šíření dřevin?
- Je šíření dřevin víc ovlivněno faktory prostředí, nebo výchozím prostorovým uspořádáním?
- Šíří se dřeviny jen od okrajů stávajících dřevin, nebo vykazují i jiné pattern?
- Mění se význam jednotlivých faktorů prostředí nebo prostorových vztahů v průběhu sukcese?

1.6. Cíle práce

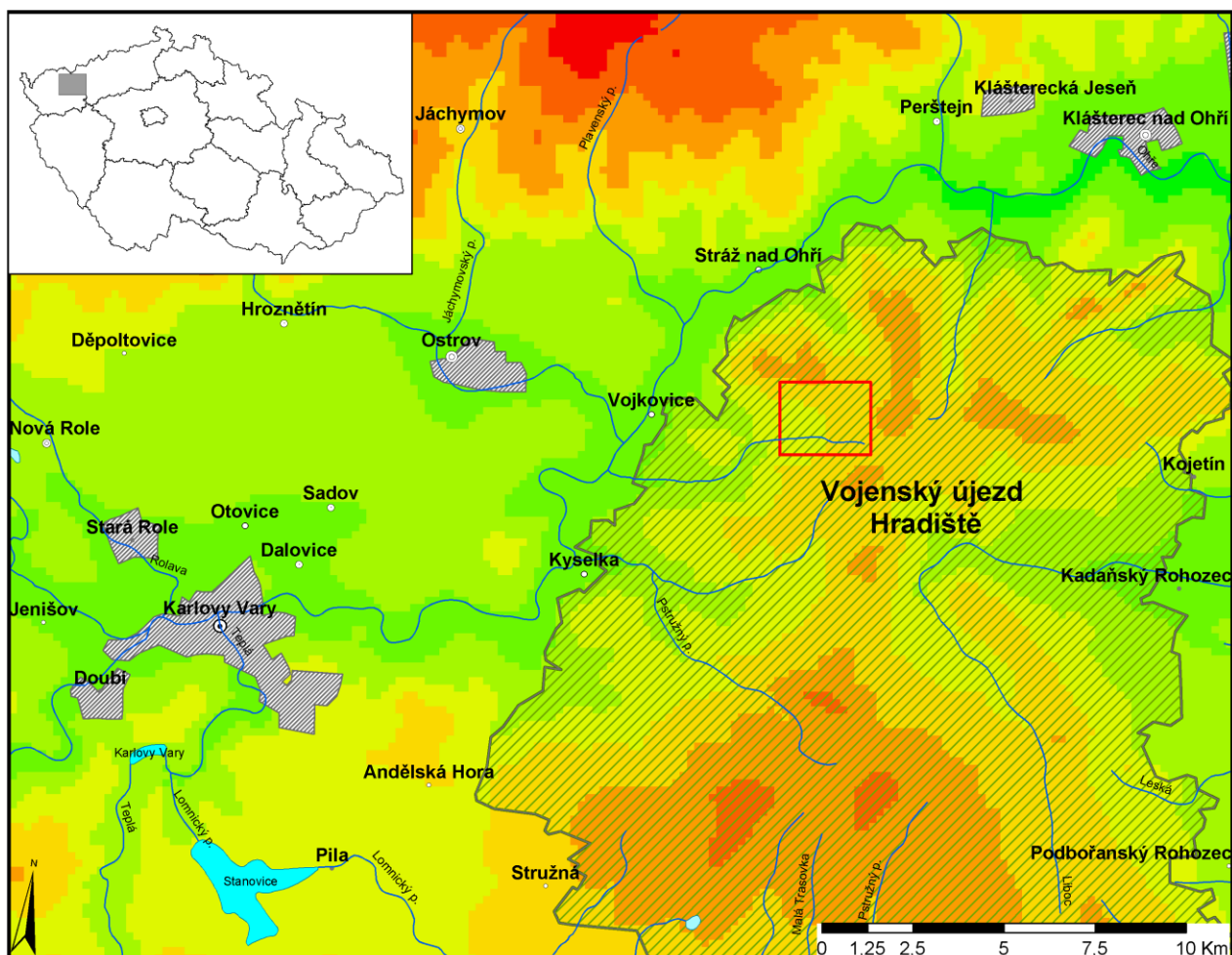
Kromě toho má práce ještě další cíle, které plynou ze způsobu jejího provedení pomocí prostorově explicitního modelování vývoje vegetace. Tím hlavním je rozšíření možností studia změn krajinného pokryvu v opuštěné krajině pomocí zpracovaných leteckých snímků a na nich založeném modelování. Dalšími jsou:

- Posouzení možnosti sledování sukcesního vývoje dřevinné vegetace pomocí série leteckých snímků a možnosti automatizace procesu.
- Posouzení sukcesního vývoje opuštěného území, zejména ustupující plochy bezlesí.
- Vytvoření modelu zarůstání zájmového území dřevinami pro lepší sledování a interpretaci probíhajících dlouhodobých změn. Tento model bude možno použít i na jiném území.
- Analýza prostorových, stanovištních a krajinných faktorů určujících rychlost zarůstání opuštěné krajiny dřevinami a jejich distribuci v prostoru.
- Analýza vlivu původního land use a prostorových vztahů dřevin na šíření dřevin v opuštěné krajině.
- Cílem využitelným i v jiných projektech je tvorba přesných historických ortofotomap studované lokality.

2. Metodika

2.1. Lokalita

Vhodným územím pro sledování změn krajinného pokryvu v opuštěné krajině jsou vojenské újezdy, kde došlo k jednorázovému velkoplošnému opuštění krajiny. Zvolená lokalita se nachází ve vojenském újezdu (VÚ) Hradiště v Doupovských horách (Obr. 1). Vojenský újezd o rozloze 33 161 ha zde vznikl v roce 1953, podle zákona 169/1949 Sb., o vojenských újezdech a je dnes největším vojenským újezdem v ČR. Jeho území bylo vysídleno (Augustin, 1994), značná část je od té doby nepřístupná a probíhá zde sekundární sukcese na rozsáhlých plochách (Vojta a Kopecký, 2006), přerušovaná vojenskou činností. Kromě vlastních cvičišť vznikly i „nárazníkové zóny“, kde je hospodaření omezeno nebo zcela vyloučeno a k výcviku vojsk nejsou využívány (Vojta et al, 2007). V této zóně je i studovaná lokalita o rozměrech 2,5 km × 2,0 km (Obr. 2). Jedná se o okolí bývalé obce Tocov, kde souběžně probíhá další výzkum pod vedením školitele.



Obr. 2 Schematická mapa lokality (červený obdélník)

Od opuštění se zde krajina výrazně změnila (Obr. 3), od antropogenně ovlivněné krajiny s obcí, polnostmi, loukami a několika lesy, přes mozaiku dřevin, luk a roztroušených křovin, až ke krajině s dominancí křovin a lesů s ostrůvky bezlesí. Na první pohled by se mohlo zdát, že krajina je plně v moci dřevin a u zbývajících bezlesí je jen otázka času, než zarostou. Při bližším prozkoumání je však uprostřed lesů a křovin vidět mozaika různých typů bezlesí a savanovitých luk s roztroušenými keři. K jejich vzniku a udržení přispěl člověk svým dlouhodobým hospodařením, lidské osídlení je v oblasti Doupovských hor doloženo již od pravěku. Některé plochy byly využívány i po uzavření vojenského prostoru, ty byly z výzkumu vyřazeny. Důvody setrvání některých bezlesí jsou patrné např. kamenité sutě a výchozy skal s mělkou půdou, jiné nejsou na první pohled vidět. K jejich odhalení přispívá i tato práce.



Obr. 3 Na pohledové fotografii z doby před vznikem vojenského prostoru a fotografii z roku 2009 je jasné vidět změna krajinného pokryvu. Fotografie: www.zanikleobce.cz a autor

Abiotické faktory

Lokalita je geomorfologicky poměrně heterogenní. Od východu k západu vedou dvě údolí jižní s Petrovským potokem a severní s pozůstatky bývalé obce Tocov. Severní část je tvořena svahem Velké Jehličné, jižní tvoří svahy okolních kopců. Ve střední části lokality je hřeben tvořený vrcholy Nad Kyselkou a Strážný vrch. Detailní vojenská mapa je v Příloze 2.

Z geologického pohledu jde o poměrně homogenní oblast, vzhledem k třetihornímu vulkanickému původu masivu Doupovských hor se zde nejčastěji vyskytují vrstvy pyroklastik s bazickými až ultrabazickými výlevnými horninami čedičového typu (Babůrek, 1998). Hlavním půdním typem jsou kambizemě s mocným humusovým horizontem s mírně kyselou reakcí, v malé části lokality lze najít nivní půdy (Tomášek, 1967). Pedologie ani geologie nebyla v modelování zahrnuta, jelikož území je z tohoto pohledu poměrně homogenní a sběr přesných dat pro celé území, na úrovni srovnatelné s podrobností zjištěných údajů o vývoji dřevin, by byl velmi náročný.

Dřeviny

Křoviny i nově vznikající lesy jsou složeny převážně z listnatých druhů, jehličnany se vyskytují prakticky výhradněji na místech původních lesů. Stromové patro tvoří převážně druhy *Fraxinus excelsior*, *Betula pendula* a *Acer pseudoplatanus*, dále lze nalézt *Carpinus betulus*, *Ulmus glabra* a *Quercus petraea* (Zajíčková, 2009).

Jelínek (1981) zjistil při průzkumu křovin Doupovských hor nejčastější výskyt rodu *Crataegus* a *Rosa* a druhů *Prunus spinosa*, *Fraxinus excelsior*, *Corylus avellana* a *Populus tremula*. Zjistil též závislost výskytu dřevin na nadmořské výšce, ve výškách nad 700 m n. m. byly dřeviny méně časté. V křovinách nad 750 m n. m. se objevuje *Salix caprea*, *Sorbus aucuparia*, *Sambucus racemosa*.

Porosty dřevin v místech bývalých vesnic a na mezích jsou dominovány druhy *Fraxinus excelsior* a *Acer pseudoplatanus* (Vojta a Kopecký, 2006). Na bývalých mezích roste často *Acer campestre*. V místech bývalých zahrad lze nalézt *Prunus avium*, a zástupce rodu *Pyrus* a *Malus*.

2.2. Vztah se systémem Natura 2000

Zájmové území se nachází uvnitř Evropsky významné lokality Hradiště, vyhlášené dle přílohy č. 133 nařízení vlády č. 132/2005 Sb., kterým se stanoví národní seznam evropsky významných lokalit (EVL), ve znění nařízení vlády č. 301/2007 Sb. (Smlouva o chráněném území, 2009) Podle Směrnice Rady Evropských společenství 92/43/EHS musí být všechny EVL do 6 let, od přijetí národního seznamu lokalit významných pro Společenství, zajištěny vyhlášením za některý typ zvláště chráněného území (ZCHÚ) podle zákona č. 114/1992 Sb., včetně povinného plánu péče (Roth a Lacina, 2007). Aktualizovaný seznam lokalit byl přijat 13. listopadu 2007 rozhodnutím Evropské komise (Seidl, 2007). Navrhovaná kategorie pro EVL Hradiště je NPP národní přírodní památka, nebo PP přírodní památka. Druhou možností je zajištění smluvní ochrany. Od sdělení Ministerstva životního prostředí ČR o EVL, publikovaného 5. března 2008 ve sbírce zákonů, běžela lhůta 30 dnů, kdy byla vlastníkům oznámena možnost uzavření smlouvy (upozornění vlastníků pozemků Čj. 20-8/2008/DP-1513-ŽP vyvěšené dne Újezdním úřadem VÚ Hradiště dne 14. 3. 2008), následovala lhůta 60 dnů pro doručení písemného rozhodnutí vlastníků, že chtějí uzavřít smlouvu. Na uzavření smluvní ochrany byla lhůta pouze 1 rok.

Dne 25. 3. 2009 byla uzavřena Smlouva o chráněném území podle ustanovení § 39 zákona č. 114/1992 Sb., O ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů a ustanovení § 159 a následujících, zákona č. 500/2004 Sb., správní řád, ve znění pozdějších předpisů. Je uzavřena na dobu neurčitou s jednoletou výpovědní lhůtou. (Smlouva o chráněném území, 2009)

Z předmětů ochrany se na území EVL Hradiště vyskytují tyto typy přírodních stanovišť (Smlouva o chráněném území, 2009) [v těchto závorkách jsou převedeny na biotop podle katalogu biotopů ČR (Chytrý et al., 2001)]:

* označuje prioritní typy stanovišť

6210 - Polopřirozené suché trávníky a facie křovin na vápenatých podložích (*Festuco – Brometalia*) [T3.3D Úzkolisté suché trávníky - porosty bez význačného výskytu vstavačovitých]

6510 - Extenzivní sečené louky nížin až podhůří (*Arrhenatherion, Brachypodio – Centaureion nemoralit*) [T1.1 Mezofilní ovsíkové louky]

8310 - Jeskyně nepřístupné veřejnosti [S3B Jeskyně nepřístupné veřejnosti]

9130 - Bučiny asociace *Asperulo – Fagetum* [L5.1 Květnaté bučiny]

9180* - Lesy svazu *Tilio – Acerion* na svazích, sutích a v roklích [L4 Suťové lesy]

91EO* - Smíšené jasanovo-olšové lužní lesy temperátní a boreální Evropy (*Alno-Padion, Alnion incanae, Salicion albae*) [L2.2A Údolní jasanovo-olšové luhy, typické porosty]

9110* - Eurosibiřské stepní doubravy [L6.4 Středoevropské bazifilní teplomilné doubravy]

A tyto druhy:

Kuňka obecná (*Bombina bombina*.)
Hnědásek chrastavcový (*Euphydrias aurinia*)
Modrásek bahenní (*Maculinea nausithous*)
Koniklec otevřený (*Pulsatilla patens*)
Losos atlantský (*Salmo salar*)

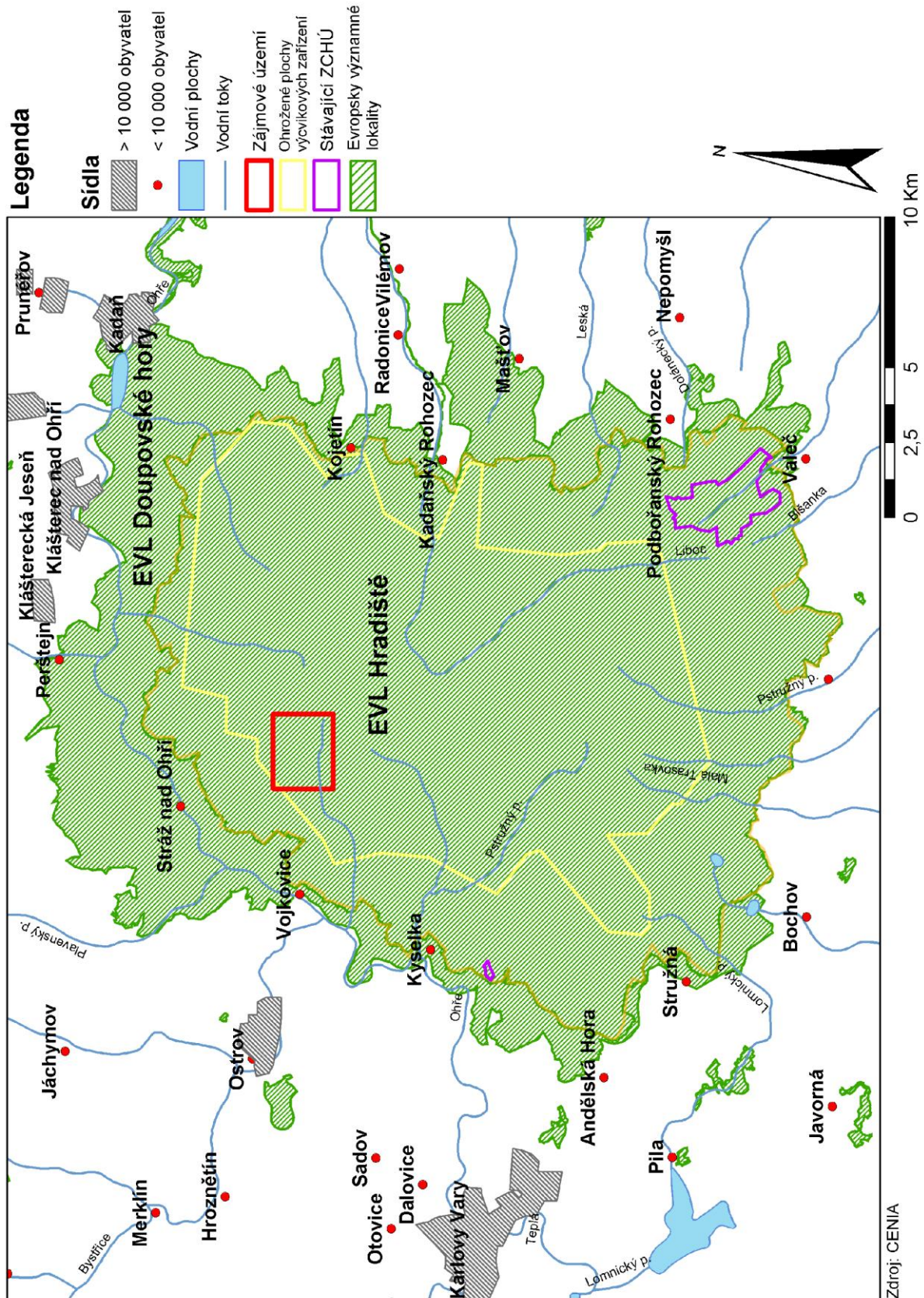
Smlouva stanoví závazná managementová opatření na udržení příznivého stavu přírodních stanovišť a druhů, které jsou předmětem ochrany. Mezi jinými i likvidaci náletu na loukách s výskytem hnědáška chrastavcového a modráška bahenního, kromě rozptýlených ostrůvků křovin, která budou sloužit jako závěťří; narušování drnu, sečení; ponechání starých a trouchnivějících stromů v lesních porostech a preferenci podrostního způsobu hospodaření.

Z důvodu ochrany stanovišť je zajímavé první opatření: rozvrhnout a zajistit provádění opatření ve prospěch udržení stavu xerothermních rostlinných společenstev (6210 Polopřirozené suché trávníky a facie křovin na vápnatých podložích /*Festuco-Brometalia*/) a stejné opatření i pro (6510 Extenzivní sečené louky nížin až podhůří /*Arrhenatherion, Brachypodio-Centaureion nemoralit*/), u něj navíc i zajištění alespoň občasného kosení a zabránění invazí. Opatřením by měla předcházet prioritní aktualizace mapování přírodních stanovišť. Smíšené jasanovo-olšové lužní lesy temperátní a boreální Evropy (91E0) mají být ve většině výskytů ponechány přirozené sukcesí.

Oddíl VI. Odstavec 4. Stanoví výjimku z provádění managementu:

Výjimku tvoří provádění managementu v lokalitách, které jsou v prostorech dopadových a ohrožených ploch střelnic. Tyto plochy jsou nebezpečné (nebezpečí ohrožení života) a je přísně zakázáno na ně vstupovat. Na těchto plochách bude cílený management prováděn výcvikem ozbrojených sil, případně údržbou cílových ploch nebo v rámci asanačních rekultivačních opatření, jejich vymezení je na Obr. 4 (Smlouva o chráněném území, 2009).

Více jak 99 % zájmového území této práce se nachází právě v této oblasti. Vzhledem k tomu, že na lokalitě prokazatelně nedochází k výcviku, může být otázkou, do jaké míry zde bude management vojenskými silami efektivní, nebo zda bude vůbec probíhat. Pokud by se prokázalo, že chráněná stanoviště 6210 a 6510 jsou schopna přirozeně odolávat sukcesnímu tlaku, nebylo by těchto zásahů ani zapotřebí. Vzhledem k dlouhodobému výzkumu přirozeného vývoje těchto ploch s minimálními zásahy člověka, umožňujícího dlouhodobé sledování přírodních procesů, by jakýkoliv takovýto zásah byl na škodu. Prostorově explicitní model zarůstání opuštěné krajiny předkládaný v této práci může pomoci identifikovat plochy bezlesí, které zůstávají z různých důvodů nezarostlé.



Obr. 4 Vztah lokality a Evropsky významných lokalit systému Natura 2000. Žlutě ohraničené Ohrožené plochy výcvikových zařízení mají výjimku z managementových opatření.

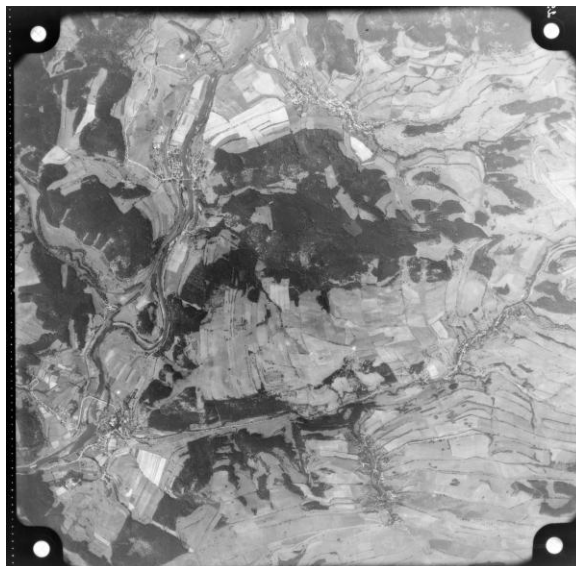
2.3. Materiály

Ve snaze o co největší využitelnost použité metodiky modelování změn krajinného pokryvu byly použity snadno dostupné materiály, které lze získat pro co největší část republiky.

Jako základní zdroj informací byly zvoleny historické a současné letecké snímky, jelikož jsou dostupné za celou dobu od opuštění lokality a poskytují cenná data o historické distribuci dřevin v krajině, státní mapa odvozená, která obsahuje údaje o využití území, a digitální model terénu, který umožňuje odvození dalších proměnných.

2.3.1. Historické letecké snímky

V ČR je hlavním zdrojem historických leteckých snímků archiv Vojenského geografického a hydrometeorologického úřadu (VGHMÚř) v Dobrušce. Lokalita byla snímkována každých 2 - 6 let. Z dostupných leteckých snímků lokality byly vybrány takové snímky, jejichž datum pořízení je pokud možno v průběhu hlavní vegetační sezóny a které mají pravidelný rozestup. Pro sledování změn vegetace je vhodné, aby data snímků byla v rozmezí 100 dní (GFW, 2006).



Obr. 5 Ukázka rastrového ekvivalentu leteckého snímku 2999 z roku 1952 včetně rámových značek

Vybrané snímky z let 1952, 1962, 1971, 1984, 1992 byly získány jako rastrové ekvivalenty leteckých měřických snímků v rozlišení 21 μm , což odpovídá 1210 dpi (Obr. 5). Toto rozlišení je dostačující pro rozeznávání jednotlivých dřevin (Obr. 6). Snímky z let 1999 a 2005 byly získány ve formě ortofotomap s rozlišením 0,5 m od ČÚZK. Informace o použitých snímcích jsou v tabulce 1.

Tab. 1 Použité letecké snímky

Rok	Datum	Čísla snímků	Poznámka	Forma	Typ	Zdroj
1952	22.7.	2960, 2962, 3001		Neorto- rektifikované snímky	Černobílé	VGHMÚ Dobruška
1962	22.4.	543, 545, 547, 565, 567, 569	Jarní termín snímkování – bez některých listnatých stromů			
1971	7.10.	26591, 26593, 26619, 26621, 26623	Chybí severozápadní roh			
1984	20.6.	8640, 8706				
1992	18.5.	3102, 3104				
1999	cca srpen	112206, 112207, 112211, 112212	Datum pořízení neznámé	Ortofotografie	Černobílé	ČÚZK
2005	cca září	KVAR32	Datum pořízení neznámé		Barvené	

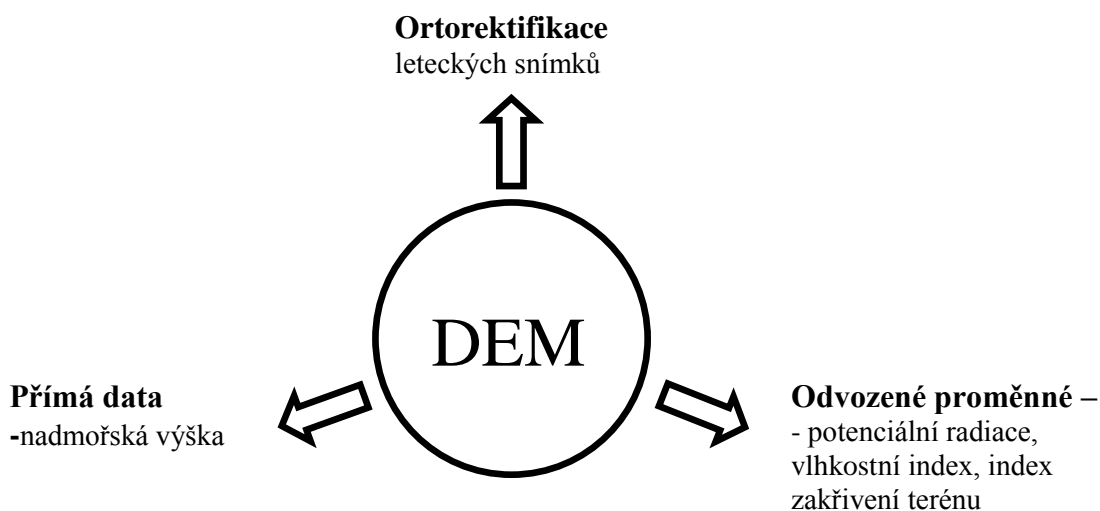
Z 60. let 20. století byl výběr pouze ze dvou snímkování 22. 4. 1962 a 13. 8. 1966. Byl vybrán rok 1962, přestože při jarním snímkování nejsou některé listnaté stromy rozlišitelné. U snímků z roku 1971 došlo k nepřesné lokalizaci studované lokality na neupravených snímkách, při jejich objednávání, takže severozápadní roh lokality nebyl vybranými snímky pokryt. Tento fakt byl zjištěn až po ortorektifikaci. Jedná se o 1,27 % studované plochy. U ortofotografií od ČÚZK jsou data snímkování neznámá, vizuálním posouzením byla odhadnuta doba snímkování na srpen u snímků z roku 1999 a září u roku 2005.



Obr. 6 Detail snímku z roku 1971

2.3.2. Digitální výškový model (DEM)

Centrální roli v modelech pro predikci distribuce vegetace pomocí leteckých snímků hraje digitální výškový model (Obr. 6), dále jen DEM (Guisan a Zimmerman, 2000). Pro ortorektifikaci a extrakci topografických proměnných byl použit DEM vytvořený z vrstevnic ZABAGED (ČÚZK, 2005) pomocí funkce Topo To Raster (Hutchinson, 1988) v prostředí ArcGIS 9.3 (ESRI Inc., 2008), která interpoluje hydrologicky korektní model terénu. Poskytuje údaje o nadmořské výšce každého bodu a byly z něj odvozeny další proměnné vstupujících do modelu – svažítost, nadmořská výška, HLI – heat load index, zakřivenost terénu, WTI – vlhkostní index a další indexy. Více o použitých proměnných v kapitole 2.4.5. Stejně jako všechny ostatní mapové podklady a výstupy, byl i DEM zpracován v souřadném systému S-JTSK – Křovákovo zobrazení.

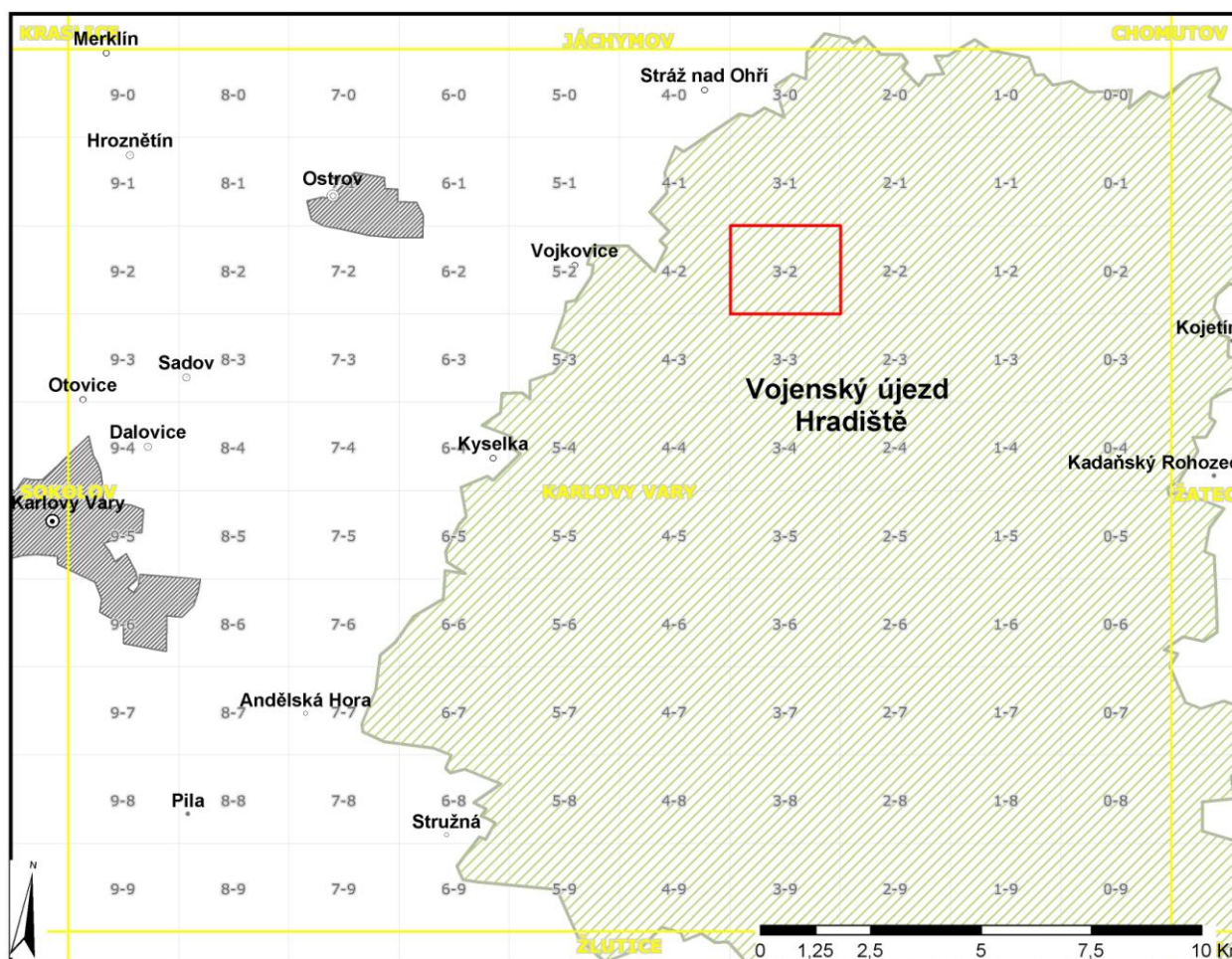


Obr. 7 Centrální role DEM v modelování pomocí dat z leteckých snímků (upraveno podle Guisan a Zimmermann, 2000)

2.3.3. Státní mapa odvozená

Státní mapa odvozená (SMO) v měřítku 1:5000, která vznikla v roce 1950 odvozením ze státní mapy hospodářské z roku 1946 (Kaplan et al., 2005), byla použita jako zdroj detailních informací o historickém využívání území (dále land use). Jednotlivé plochy a jejich land use vektorizovali Kopecký (2006) a Drhovská (2007). Celkem bylo rozlišeno 10 různých kategorií využití území na celkem 1859 plochách. Kopecký a Vojta (2009) prokázali vliv původního land use na množství organického uhlíku, dusíku a jejich poměru. Znalost původního využití půdy tudíž může sloužit jako zdroj informací o těchto půdních vlastnostech. Velikost jednoho listu státní mapy odvozené taky určuje velikost zájmové plochy 2,5 km x 2,0 km². Byl použit list Karlovy Vary 3-2 (Obr. 8).

Použitý list včetně zvýrazněného land use je v Příloze 1

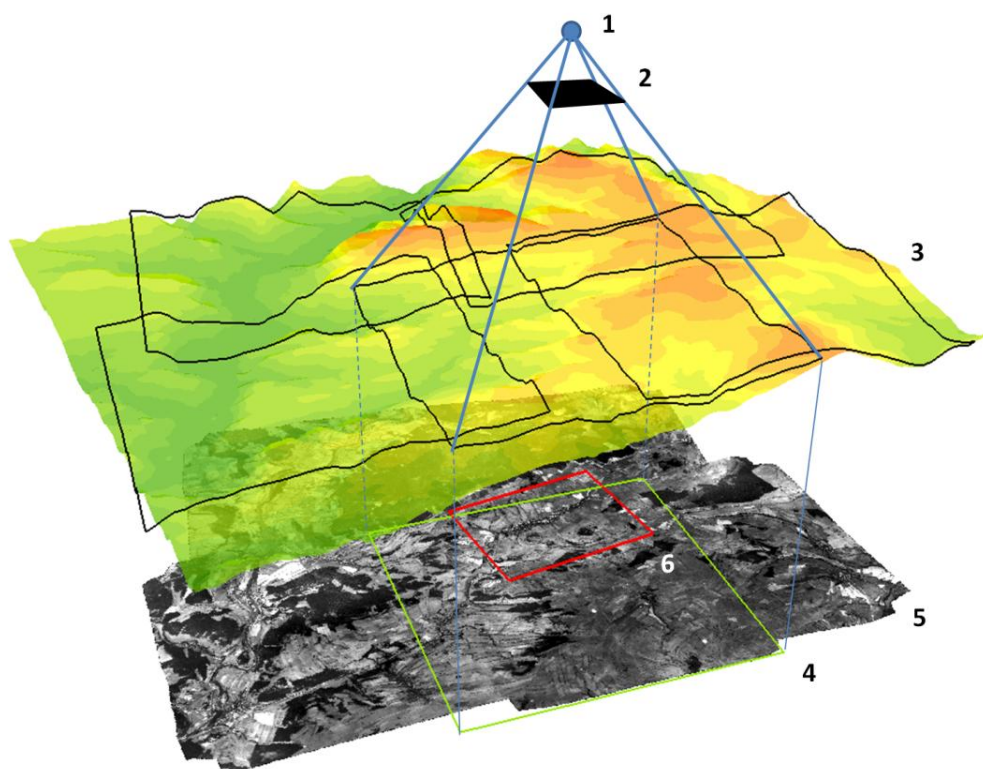


Obr. 8 Pozice použitého listu SMO Karlovy Vary 3-2

2.4. Metodika

2.4.1. Ortorektifikace

Letecké snímky z let 1952, 1962, 1971, 1984, 1992 byly georeferencovány a ortorektifikovány v programu PCI Geomatica Orthoengine 10.0.3 (PCI Geomatics Inc., 2008). Jednalo se vždy o 3-6 snímků (Tab. 1.). Pro georeferenci byla použita ortofotomapa lokality z roku 1999 pokrývající největší dostupný rozsah a DEM celé oblasti. Novější ortofotomapu místo katastrální mapy použili i Sluiter a de Jong (2007). Pro odstranění zkreslení vinou optické soustavy je třeba znát parametry snímacích komor. Z těchto parametrů byla známa pouze konstanta komory a rámové značky. Rozměry snímací desky byly spočítány díky znalosti rozlišení skenování a velikosti snímku v pixelech (Yusuke, 2002). Úhly odklonu od pravoúhlých souřadnic x, y, z byly z důvodu jejich nedostupnosti považovány za nulové (Leica, 2003). Proces ortorektifikace je znázorněn na obrázku 9. Jako pozemní kontrolní body (GCP - ground control points) byly voleny rohy budov, jelikož jsou nejméně proměnné v čase. V neobydlených oblastech byly voleny solitérní dřeviny menšího vzrůstu nebo kapličky, jelikož jejich ruiny v krajině setrvaly dodnes a lze je identifikovat z nových snímků. Celkově bylo dosaženo střední kvadratické chyby (RMS) < 3 m, na většině snímků RMS $< 1,5$ m (více v kapitole 3.3). Pro zpracování ortofotomapy bylo použito 5 - 9 rovnoměrně rozmístěných bodů na každý sledovaný rok. Program každému



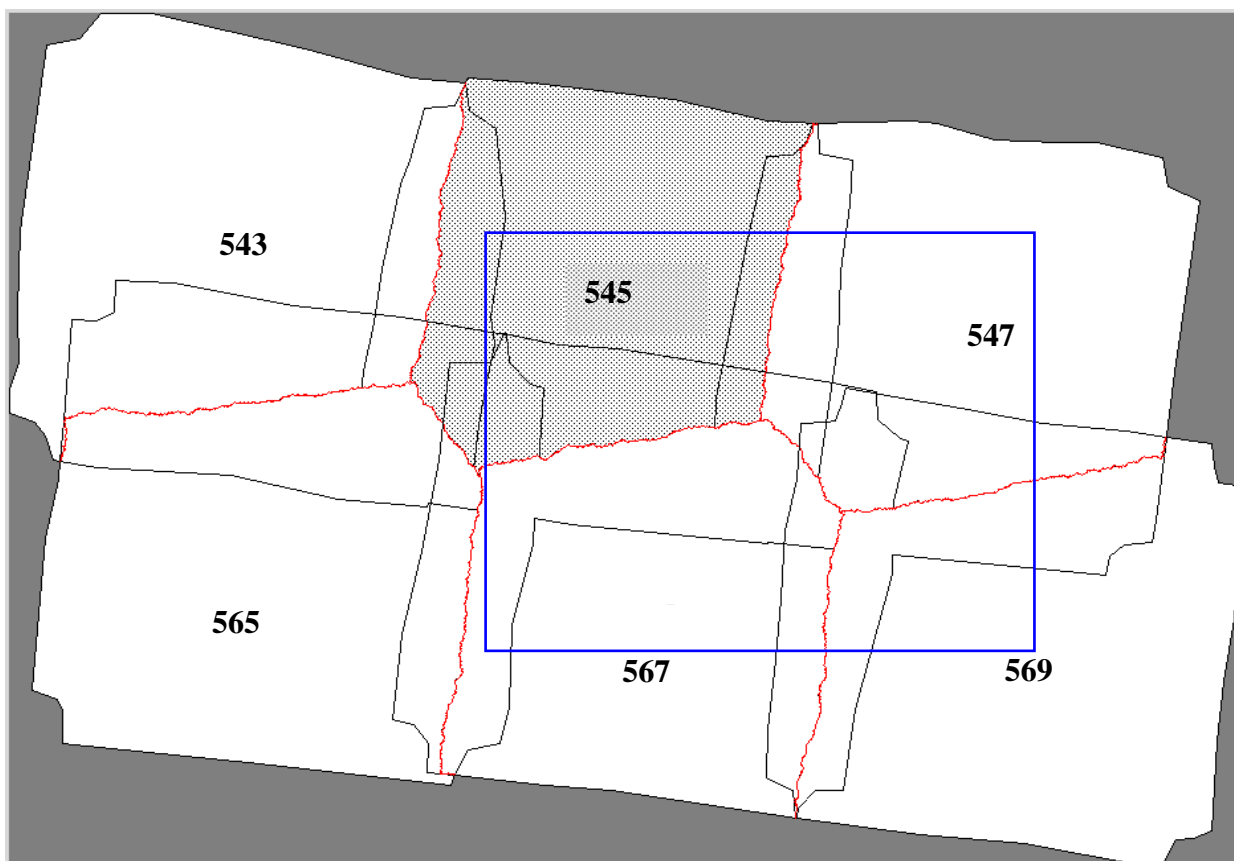
Obr. 9 Znáznornění procesu ortorektifikace 1) snímací komora o známých vlastnostech, 2) letecký snímek, 3) digitální model terénu, 4) ortorektifikovaný snímek, 5) namozaikovaná ortofotomapa, 6) zájmové území

bodů přiřadí jeho nadmořskou výšku z DEM. Většina bodů byla použita opakovaně pro různé ročníky, což zvýšilo srovnatelnost map. Jednotlivé snímky byly pospojovány pomocí tie-points, které určují stejné body na dvou sousedních snímcích, vždy byly použity 2 - 3 body na každém překryvu 2 snímků. Pro tyto účely byly vybírány rozlišitelné drobné křoviny. Výstupem byly jednotlivé ortorektifikované snímky ve formátu TIFF World s rozlišením 0,5 m na jeden pixel pro srovnatelnost s novějšími leteckými snímky. Pro převzorkování bylo použito metody Nearest neighbour, jelikož neprůměruje hodnoty pixelů, a tudíž nemění jas obrazu (Rocchini, 2004).

V průběhu práce byl testován sběr GCP přímo v terénu pomocí GPS s postprocessingem, ale celková přesnost byla mnohem horší kvůli nedostatku malých bodů, které by bylo možné zaměřit a zároveň přesně identifikovat na leteckém snímku.

2.4.2. Mozaikování

Vzhledem k různé kvalitě snímků a rozdílům ve vyvážení jednotlivých snímků v rámci jednoho roku bylo pro vytvoření ortofotomap použito programu Erdas Imagine 8.7 (Leica Geosystems GIS & Mapping, LLC, 2004). Ten umožňuje eliminovat barevné zkreslení leteckých fotografií vzniklé nestejnou expozicí filmu v různé vzdálenosti od středu snímku pomocí funkce Image dodging (Holopainen a Wang, 1998; Brůna, 2007) a pomocí funkce Histogram matching srovnat histogramy sousedních snímků. Barevné změny mohly vzniknout i během archivace (Korpela, 2006). Jednotlivé upravené ortorektifikované snímky byly namozaikovány pomocí automatických dělicích linií (Obr. 10). Pro zahlázení okrajů bylo použito funkce Feathering do vzdálenosti 10 m, která počítá hodnotu výsledného pixelu pomocí váženého průměru hodnot překrývaných pixelů, kdy váha je nepřímo úměrná vzdálenosti od dělicí linie (Brůna, 2007). Výsledná mapa byla exportována do formátu TIFF se stejným rozlišením jako vstupující snímky.



Obr. 10 Schéma pozic snímků z roku 1962 při ortorektifikaci. Modře je vyznačeno zájmové území. Červeně použité automatické dělicí linie. Černě hranice jednotlivých ortorektifikovaných snímků. Snímky 543 a 565 byly přidány kvůli snadnější georeferenci, jelikož jsou na nich budovy mimo vojenský prostor, které jsou zjištělné i na nejnovějších snímcích.

2.4.3. Automatická klasifikace

Automatická klasifikace byla provedena pomocí programu Definiens Developer 7 (Definiens AG, 2007), který umožňuje objektově orientovanou klasifikaci. Výsledné objekty by dle tvůrců programu měly odpovídat tomu, jak obraz vnímá člověk, nejen jako shluk bodů, ale jako objekty s různými vlastnostmi (Definiens, 2007).

Při klasifikaci multispektrálních dat se používají snímky z různých částí spektra, toho však nejde u černobílé fotografie využít. Pro zvýšení separability objektů byly tedy použity obrazové vrstvy vytvořené pomocí mediánového filtru (Halounová, 2004). Tyto vrstvy se používají hlavně pro snímky s vysokým prostorovým rozlišením, kde je extrémní heterogenita hodnot pixelů v rámci jednoho objektu. (Halounová, 2004). Byl zvolen mediánový filtr se zrnem 5 a 11 pixelů. Jelikož klasifikace hledá objekty jejich kontextu, jsou vrstvy se sníženým rozlišením vhodným zdrojem informací při klasifikaci detailních černobílých snímků. Barevná ortofotomapa z roku 2005 byla pro srovnatelnost převedena do černobílé.

Celý proces se zjednodušeně sestává ze dvou částí – segmentace a klasifikace. Segmentace vytvoří z obrazu objekty o daných podobných vlastnostech na základě nastavení scale parametru udávajícího velikost objektu (bezrozměrnou), dále shape parametru, který udává poměr vlivu tvaru k vlivu barvy a compactness, který ovlivňuje kompaktnost výsledných objektů. Dále lze zvolit vliv jednotlivých vstupních vrstev (zde vrstvy vytvořené mediánovým filtrem). Nastavení všech těchto parametrů je různé pro každá data a lze je zjistit pouze empiricky (Hájek, 2008). Tato část postupu je poměrně časově náročná a mnohdy odradí zájemce o automatickou klasifikaci (Hay et al., 2005).

Fáze klasifikace se sestává z volby vhodných parametrů, ve kterých se plochy s různou cílovou klasifikací liší. Na výběr je nepřehledné množství topologických, spektrálních a texturních informací (Benz, et al., 2004). Zde už může být nápomocná literatura. Některé vlastnosti lze navíc sledovat pro různé vstupní vrstvy. Pro klasifikaci černobílých leteckých snímků se běžně používá průměrný jas (Pillai et al., 2005; Hájek, 2008) a některé z Haralickových texturních funkcí (Haralick et al., 1973), označovaných souhrně GLCM (Grey level coocurance matrix). Halounová (2004) uvádí, že přidáním dalších Haralickových funkcí zvyšuje přesnost klasifikace. K dispozici jich je celkem 24 s možností nastavení směru vlivu (Halounová, 2004). Volba závisí hlavně na znalostech klasifikovaných objektů.

Segmentaci a klasifikaci lze kombinovat. Tohoto faktu se využívá k jemnější segmentaci částí prvotní hrubé segmentace, která má za cíl vyřadit z dalšího procesování velké homogenní oblasti (Definiens, 2007).

Nejprve byly snímky nahrubo segmentovány pomocí funkce Multiresolution segmentation (Baatz a Schäpe, 2000) s nastavením (scale 150, shape 0.2, compactness 0.4). Nastavení vychází z empirického poznání v rámci běžně používaných hodnot (Halounová, 2004; Hájek, 2008) a bylo použito u všech snímků. U všech tří vstupujících vrstev byl nastaven stejný vliv.

Při klasifikaci byly rozlišovány následující třídy objektů: les, křoviny, cesta, budovy, bezlesí a pomocné třídy neles a podruhe (Obr. 11). Les, některé křoviny, cesty a budovy byly nejprve klasifikovány automaticky, jelikož byly snadno odlišitelné. Přesné nastavení se kvůli rozdílům v jasu snímků z jednotlivých let liší. Ukázka výsledku první úrovně klasifikace a segmentace je na obrázku 13. Následně byly manuálně vybrány plochy bezlesí a křovin. Zbylé plochy se smíšeným obsahem byly klasifikovány do třídy neles a segmentovány na detailnější úrovni (scale 45, shape 0.3, compactness 0.5). Nově vzniklé objekty byly opět klasifikovány částečně automaticky a částečně manuálně. Třída podruhe sloužila k opravě segmentaci objektů, které byly mylně klasifikovány v předchozích krocích. Výsledek této finální segmentace a klasifikace je na obrázku 14. Je zde zřetelné zjemnění rozlišovací úrovně na příkladu roztroušených keřů.

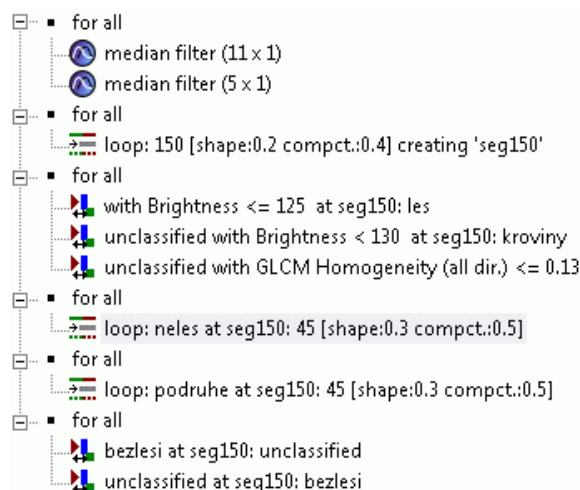


Obr. 11 Klasifikační třídy použité při klasifikaci, neles a podruhe byly používány pro jemnější segmentaci hrubé automatické klasifikace

Celý proces je znázorněn na obrázku 12 pomocí Process tree. Na závěr byly všechny neklasifikované plochy klasifikovány jako bezlesí a všechny objekty exportovány do formátu SHP včetně hlavních charakteristik.

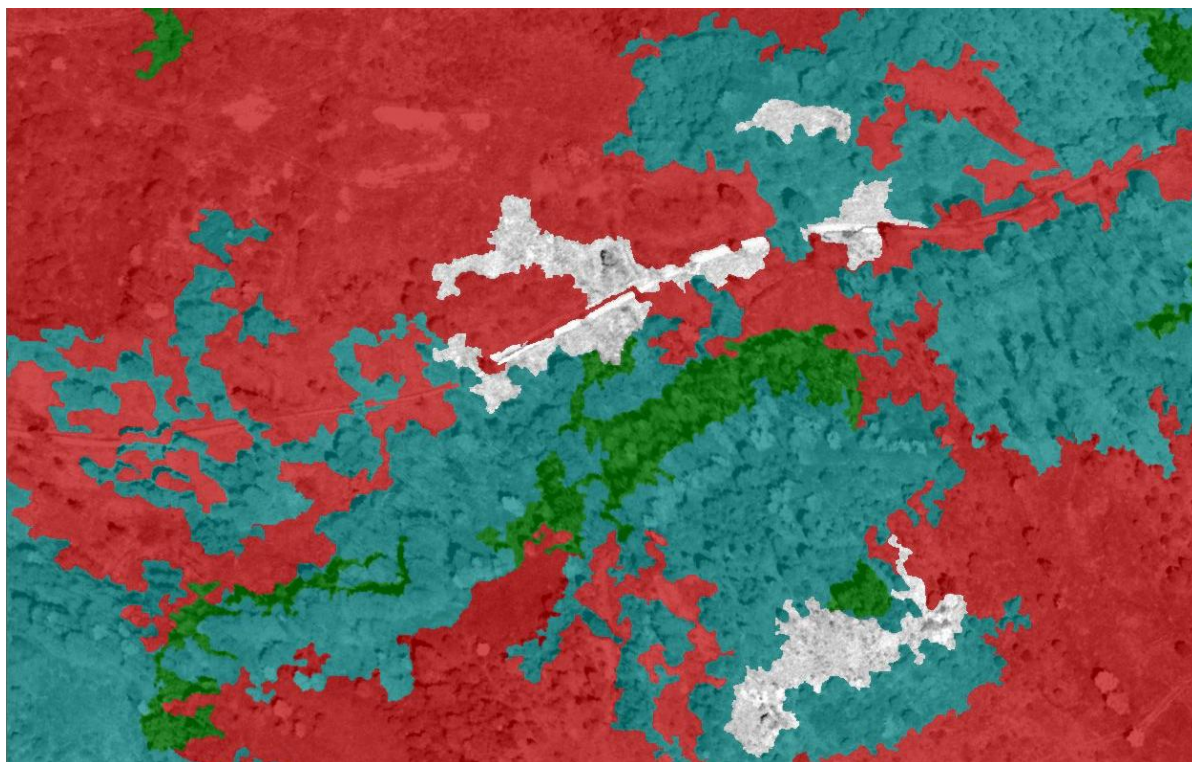
Pro automatickou klasifikaci byly používány údaje o průměrném jasu objektu (Brightness), které slouží k prvnímu odlišení vzrostlých lesů a GLCM Homogeneity (Haralick et al., 1973) s nastavením vlivu ze všech stran (All directions), která pomáhá rozlišit homogenní plochy bezlesí od texturně bohatých křovin (Pillai et al., 2005).

Výhodou automatické klasifikace je snadná a přesná delineace korun jednotlivých volně stojících stromů i složitějších a rozsáhlejších struktur. Byl tedy klasifikován i každý vzrostlejší samostatně stojící strom či keř. Takto detailní klasifikace by manuálně byla příliš náročná. Drobné keře byly zanedbány, stejně jako provedl Kubát (2008).

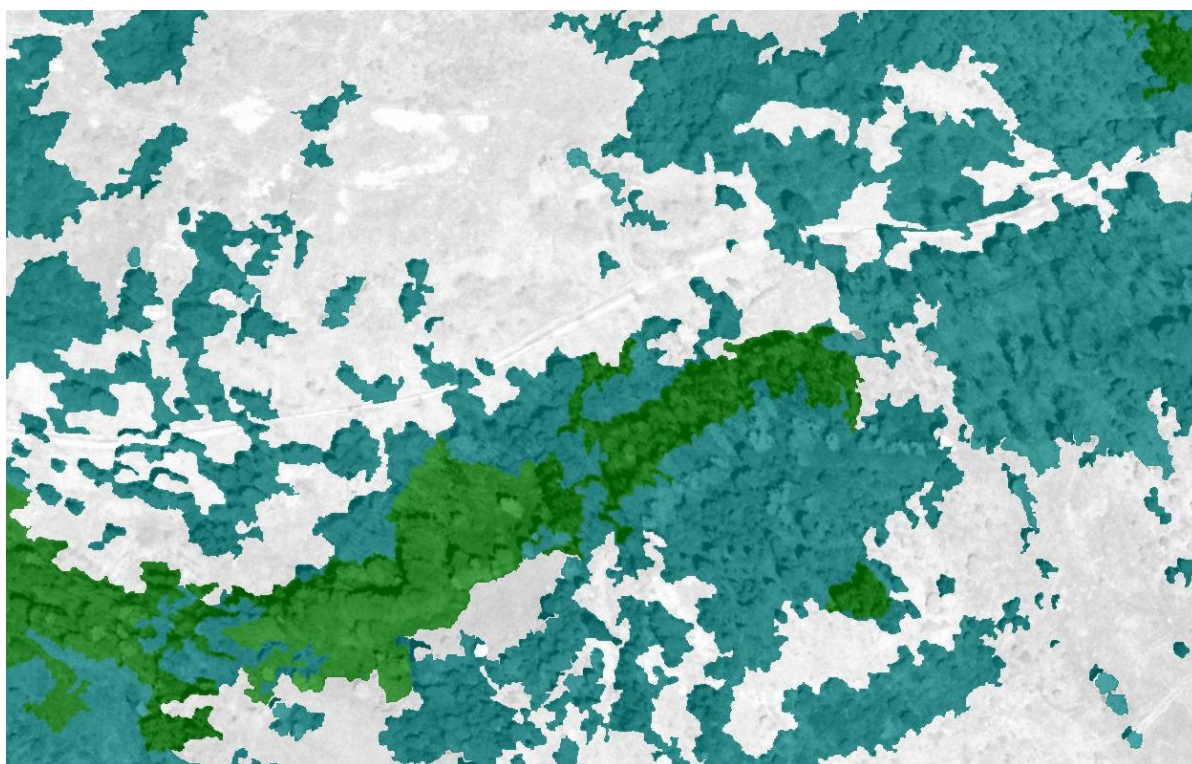


Obr. 12 Příklad Process tree zobrazujícího postupy použité při automatické klasifikaci snímků

Třídy cesta a budovy byly použity pro usnadnění práce se snímkem, jelikož byly většinou snadno automaticky klasifikovatelné díky vysokému průměrnému jasů.



Obr. 13 Ukázka první úrovně segmentace a klasifikace -1971 – zeleně automaticky klasifikované objekty na první úrovni segmentace. Červené objekty jsou určeny k jemnější segmentaci

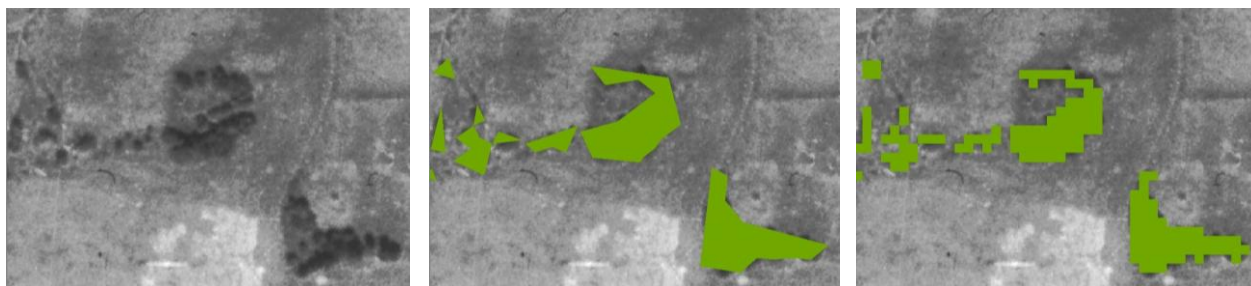


Obr. 14 Ukázka druhé úrovně segmentace a klasifikace části snímku z roku 1971. Zeleně stromy, zelenomodře křoviny, bíle bezleší. Jednotlivé křoviny bezleší byly klasifikovány až po jemnější segmentaci.

2.4.4. Příprava dat

Pro účely zpracování dat byly veškeré mapové údaje exportovány v rozlišení 5 m na jeden pixel do textových souborů (funkcí Raster to ASCII), které byly převedeny do jednotlivých sloupců tabulky ve formátu CSV, který lze načíst v aplikaci Microsoft Excel 2007 (Microsoft Corp., 2007a) i v prostředí R 2.9.0 (R Development Core Team, 2009). Toto rozlišení zachovává informace o naprosté většině objektů v krajině. Jsou na něm patrné cesty, meze i jednotlivé stromy (Obr. 15), zároveň je množství dat snadno zpracovatelné. Kdyby bylo zachováno rozlišení 0,5 m, znamenalo by to něco přes 27 milionů údajů na jednu datovou vrstvu., v rozlišení 5 m je to 200 000 údajů na jednu vrstvu. Pro práci s daty byl využit program Microsoft Excel 2007 (Microsoft Corp., 2007a), který na rozdíl od předchozích verzí dokáže pracovat až s 1 048 576 řádky.

Automaticky klasifikovaná vrstva pokryvu z každého roku byla převedena do binární formy (bezlesí/dřeviny). Důvodem k tomuto významného zjednodušení bylo snazší modelování binární proměnné pomocí modelů s binomickým rozložením.



Obr. 15 Srovnání ortofota, klasifikované vrstvy dřevin ve formátu SHP a rastru dřevin z rozlišení 5m na příkladu části snímku z roku 1952

Vzhledem k malé ploše vzrostlých lesních porostů (3,6 %) a krátkému časovému období modelu v porovnání s průměrnou délkou života dřevin byly veškeré plochy, kde podle klasifikovaných snímků dřeviny zmizely, označeny jako zarostlé. Tzn., jakmile se někde objeví dřevina, již na daném místě zůstane. Úprava proběhla na binárních datech v aplikaci Microsoft Excel (Microsoft Corp., 2007a) pomocí vzorce:

$$=KDYŽ(RC[-1]=0;KDYŽ(RC[-2]=0;0;1);1)$$

kde v předchozím sloupci (RC[-1]) je upravovaná vrstva, v prvním (RC[-2]) je předchozí vrstva.

Jedním z důvodů k úpravě je nepřesnost určení polohy lineárních dřevinných formací podél cest. Jejich přesné klasifikaci brání různý úhel dopadajícího slunce, který způsobuje posun klasifikace, přestože dřeviny jsou na snímcích na stejném místě. Druhým důvodem jsou lidské zásahy v lesních porostech, které byly tímto způsobem zanedbány. Tento postup také řeší problém

s nepřítomností rohu ortofotomapy z roku 1971. V části bez dat jsou použity údaje z roku 1952 a 1962.

Veškeré proměnné vycházející z prostorového rozložení dřevin jsou počítány z neupravené binární klasifikace včetně použití míst, kde docházelo k zásahům člověka, jelikož hlavní roli v těchto proměnných hraje reálná distribuce dřevin v okolí. Pouze u chybějícího rohu z roku 1971 byly použity upravené údaje, z důvodu již zmíněné absence dat.

Po vizuálním zhodnocení dostupných snímků byly určeny plochy, kde viditelně došlo k lidským zásahům. Jedná se hlavně o pastvu a kosení na některých plochách v 70. letech minulého století. Tento vliv výrazně ovlivnil vývoj dřevin na daných plochách a je patrný i na nejnovějších snímcích. Tyto plochy byly z modelování vyloučeny. Celkem se jedná o 5,93 % celkové plochy lokality.

Detailní informace o land use byly zjednodušeny zredukováním počtu kategorií. Všechny kategorie s celkovou plochou menší než 1 % plochy lokality byly sloučeny s nejbližší velkou plochou. Výsledkem je 6 kategorií: pole, pastvina, louka, vesnice, les a cesta, z nichž kategorie les do analýz nevstupuje, jelikož je od počátku pokryta dřevinami.

Pseudoreplikace vzniklé použitím prostorově souvislých dat, která nejsou nezávislá, byly vyřešeny přidáním ID plochy v SMO do části náhodných efektů zobecněných lineárních modelů se smíšenými efekty (Crawley, 2007). I plochy se stejnou kategorií land use, ale mající jiného vlastníka se mohou výrazně lišit ve využití půdy.

2.4.5. Použité proměnné

Z binárně kódované neupravené klasifikace dřevin jednotlivých snímků byla spočítána „hustota dřevin“ v okolí každého bodu v maticích 3×3 pixely až 25×25 pixelů (Moorovo okolí Weisstein, 1999). Nově vzniklá proměnná v intervalu 0 - 1, kdy nula značí naprosté bezlesí a 1 zapojený les, udává informaci o množství dřevin a okolí, což ovlivňuje možný budoucí vývoj dané plochy. Dále byla spočítána proměnná vzdálenost k nejbližší dřevině. Všechny výpočty proběhly pomocí aplikace PEMZOK. Všechny studované proměnné jsou uvedeny v Tabulce 2.

Tab. 2 Proměnné použité v modelech

Typ proměnné (rozsah)	Název (zkratka)	Původ	Popis	Citace nebo autoři	Poznámka
Kategoriální (1, 2, 3, 4, 5, 6)	Land use (lu52r)	Státní mapa odvozená (SMO list 3-2) (ČÚZK)	Způsob využití půdy před opuštěním plochy, člení se na parcely	Mapa vektorizována Kopecký (2006) a Drhovská (2007)	Okrajově zastoupené kategorie (<1 % plochy) byly sloučeny s okolními. Kategorie les byla vyloučena z modelování.
Kategoriální (74...1857) 930 hodnot	Číslo parcely (lu.id)	Státní mapa odvozená (ČÚZK)	Unikátní označení každé parcely	Mapa vektorizována Kopecký (2006) a Drhovská (2007)	Použity k odstranění pseudoreplikací
Spojité (505,6 m – 750,3 m)	Nadmořská výška (vyskaDem5)	Digitální model terénu (DEM) – přímý odečet (ZABAGED, ČÚZK, 2005)	Nadmořská výška z digitálního modelu terénu vytvořeného z vrstevnic		
Spojité (0,03° - 38,93°)	Svažitost (Slope)	DEM – odvozená proměnná	Sklon svahu	Funkce ArcGIS (ESRI Inc., 2008)	
Spojité (0,49 – 0,95)	Heat Load Index (HLI)	DEM – odvozená proměnná	Kombinuje informace o orientaci svahu a oslunění v průběhu roku	(McCune et Dylan, 2002)	Použita rovnoběžka 50,308
Spojité (-4,23 – 5,59)	Zakřivení terénu (Curvature)	DEM – odvozená proměnná	Popisuje zrychlení či zpomalení hypotetického vodního toku. Konkávní terén (deprese) má záporné hodnoty, konvexní kladné.	Funkce ArcGIS (Moore et al., 1991)	Kvůli neprůkaznosti byla vyřazena z modelů. Její vliv na vegetaci není znám

Spojité (záporné – kladné hodnoty)	Terrain Shape Index (TSI)	DEM – odvozená proměnná	Udává výšku bodu oproti průměrné výšce v určitém okolí do dané vzdálenosti – konvexní terén má TSI záporné, konkávní kladné, rovina má nulové	(McNab, 1989, 1993) Pomocí SAGA (Institute of Geography at the University of Hamburg, 2007).	Použity hodnoty spočtené z okolí 50 m, 250 m a 1000 m . Kvůli korelacím s nadmořskou výškou byly vyloučeny TSI250 a TSI1000.
Spojité (3,547 – 17,52)	Wettness Index (WTI)	DEM – odvozená proměnná	Index relativní vlhkosti. Relativní podíl hypotetického vodního toku do plochy a svažitosti plochy. Matematická aproximace půdní vlhkosti	(Moore et al., 1993), Pomocí SAGA (Institute of Geography at the University of Hamburg, 2007).	Kvůli korelaci s dalšími proměnnými byl z modelů vyloučen
Spojité (0-238,38 m)	Vzdálenost k nejbližší dřevině	Klasifikovaný letecký snímek z počátku zkoumaného období	Vzdálenost spočítána pomocí aplikace PEMZOK a ověřena s výsledky z ArcGIS funkce Distance (ESRI Inc., 2008)	Spočítána pomocí algoritmu (Zdrojový kód 2)	Pro každý výchozí rok počítáno zvlášť. Stejně jako následující proměnné.
Spojité (0-1)	Hustota dřevin v nejbližším okolí (m1) (Okoli_1) ¹	Klasifikovaný letecký snímek z počátku zkoumaného období	Podíl dřevin v okolních 8 bodech matice (3 × 3 pixely= čtverec 15 m × 15 m. Moorovo okolí ¹ o rozměru 1.	Spočítána pomocí algoritmu (Zdrojový kód 1)	Běžně používáno i v nejstarších celulárních automatech.
Spojité (0-1)	Hustota dřevin v širším okolí (m10) (Okoli_10) ¹	Klasifikovaný letecký snímek z počátku zkoumaného období	Podíl dřevin v okolních 440 pixelech matice (21 × 21 okolí) – čtverec 105 m × 105 m.	Spočítána pomocí algoritmu (Zdrojový kód 1)	Průkazná a málo korelovaná proměnná
Spojité (0-1)	Hustota dřevin v určitém okolí (mX) (Okoli_X) ¹	Klasifikovaný letecký snímek z počátku zkoumaného období	Podíl dřevin v okolních daných bodech matice	Spočítána pomocí algoritmu (Zdrojový kód 1)	Testovány byly matice do rozměru ¹ 15. Všechny kromě 1 a 10 byly vyřazeny kvůli korelacím nebo nesignifikanci

¹ Moorovo okolí (Weisstein, 1999), číslo vždy označuje rozměr (r) okolí, které je definováno:

$$N_{(x_0, y_0)}^M = \{(x, y) : |x - x_0| \leq r, |y - y_0| \leq r\}.$$

počet buněk odpovídá $(2r+1)^2 - 1$ (prostřední)

Veškerá data, kromě kategoriálních proměnných, byla z důvodu srovnatelnosti vlivu faktorů centrována² a standardizována³. Pro standardizaci bylo použito výpočtu směrodatné odchylky podle vzorce používaného v aplikaci Microsoft Excel (funkce STDEVPA; Microsoft Corp, 2007a).

$$s_{\text{std}} = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n}}$$

Standardizovaná a centrovaná proměnná má nulový průměr a jednotkovou směrodatnou odchylku. Díky tomu lze srovnat vliv různých faktorů, přestože jejich původní hodnoty mohou být diametrálně odlišné.

Veškeré proměnné byly opět převedeny v rozlišení 5m na jeden pixel do textových souborů (funkcí Raster to ASCII; ESRI Inc., 2008) a pomocí aplikace PEMZOK převedeny do jednotlivých sloupců tabulky ve formátu CSV. Prostorové proměnné byly uloženy v samostatných tabulkách pro každý výchozí rok, ostatní proměnné byly uloženy v jedné společné tabulce.

Vysvětlovanou proměnnou bylo binární označení změny mezi výchozím a konečným stavem (0= bezlesí – bezlesí, 1= bezlesí – dřeviny). Všechny ostatní změny (2= dřeviny- dřeviny, -1= dřeviny – bezlesí zrušeny při úpravě, -9999= vynechané oblasti) byly z modelu vyloučeny.

Sloupec s touto změnou byl vygenerován pomocí aplikace PEMZOK.

² Centrování = odečtení průměru od každé hodnoty. Výsledná proměnná má nulový průměr.

³ Standardizace = vydělení každé hodnoty směrodatnou odchylkou. Výsledná proměnná má jednotkovou směrodatnou odchylku. Obvykle se provádí po centrování.

2.4.6. Analýzy

Pro veškeré statistické zpracování dat je používáno prostředí R (R Development Core Team, 2009), jelikož umožňuje snadnou práci s rozsáhlými datovými zdroji a nabízí mnoho předdefinovaných funkcí. Zadávat modely probíhalo pomocí skriptů editovaných v programu TINN-R (Faria et al., 2008)

Pro analýzu vlivů byly použity lineární modely se smíšenými efekty (lmer) z balíčku lme4 (Bates et al., 2008). Tyto modely umožňují nastavit náhodné efekty, které umožňují popsat náhodnou variabilitu na jiných úrovních než jednotlivá pozorování. Lze tedy analyzovat data, která nejsou úplně nezávislá (Šmilauer, 2007). Náhodné faktory lze řadit do hierarchie. Je možné použít binomické rozložení dat (family = binomial). Model používá logit transformaci. Pokud není specifikováno rozložení dat, je použit běžný zobecněný lineární model se smíšenými efekty. Správné nastavení náhodných efektů umožňuje snížení vlivu pseudoreplikací (Crawley, 2007).

Příklad nastavení modelu pro období 1952 – 1962 s land use, faktory prostředí a prostorovými proměnnými:

```
model1<-lmer(X52.62uu~ lu52r + HLI + vyskaDem5 + slope5 + tsir50 + m1 +  
m10 + distance + (1|lu52r/lu52.id), family=binomial)
```

Nevýhodou je, že výsledné modely lze srovnat pouze pomocí AIC, neposkytují podíl vysvětlené a nevysvětlené variability.

Za účelem zjištění vypovídací schopnosti modelů byla vytvořena aplikace PEMZOK, která je součástí této práce a umožňuje srovnání výsledků modelu se skutečným konečným stavem (Více v kapitole 2.4.11).

2.4.7. Jaké modely byly použity

Za účelem přesného modelování změny v průběhu času byly modely počítány pro každé období mezi jednotlivými klasifikovanými leteckými snímky: 1952 - 1962, 1962 - 1971, 1971 - 1984, 1984 - 1999, 1999 - 2005. Každé období je charakterizováno výchozím a konečným rokem a příslušnou změnou. Dalším důvodem pro volbu šesti samostatných modelů místo jednoho celkového byl zjištěný 87,10% úbytek původního bezlesí. Pro každé období byly počítány čtyři typy modelů:

FAKTOROVÝ

Pouze s faktory prostředí = proměnné odvozené z DEM a land use (Výška, svažitost, HLI, TSI50, TSI250, TSI1000, WTI)

PROSTOROVÝ

Pouze s prostorovými proměnnými = spočítané z klasifikovaných snímků na začátku každého modelovaného období a land use (Vzdálenost k nejbližší dřevině a hustoty v okolních bodech matic o rozměrech 1 – 15)

CELKOVÝ

Vznikl sloučením signifikantních proměnných z faktorového a prostorového modelu.

CELKOVÝ BEZ LAND USE

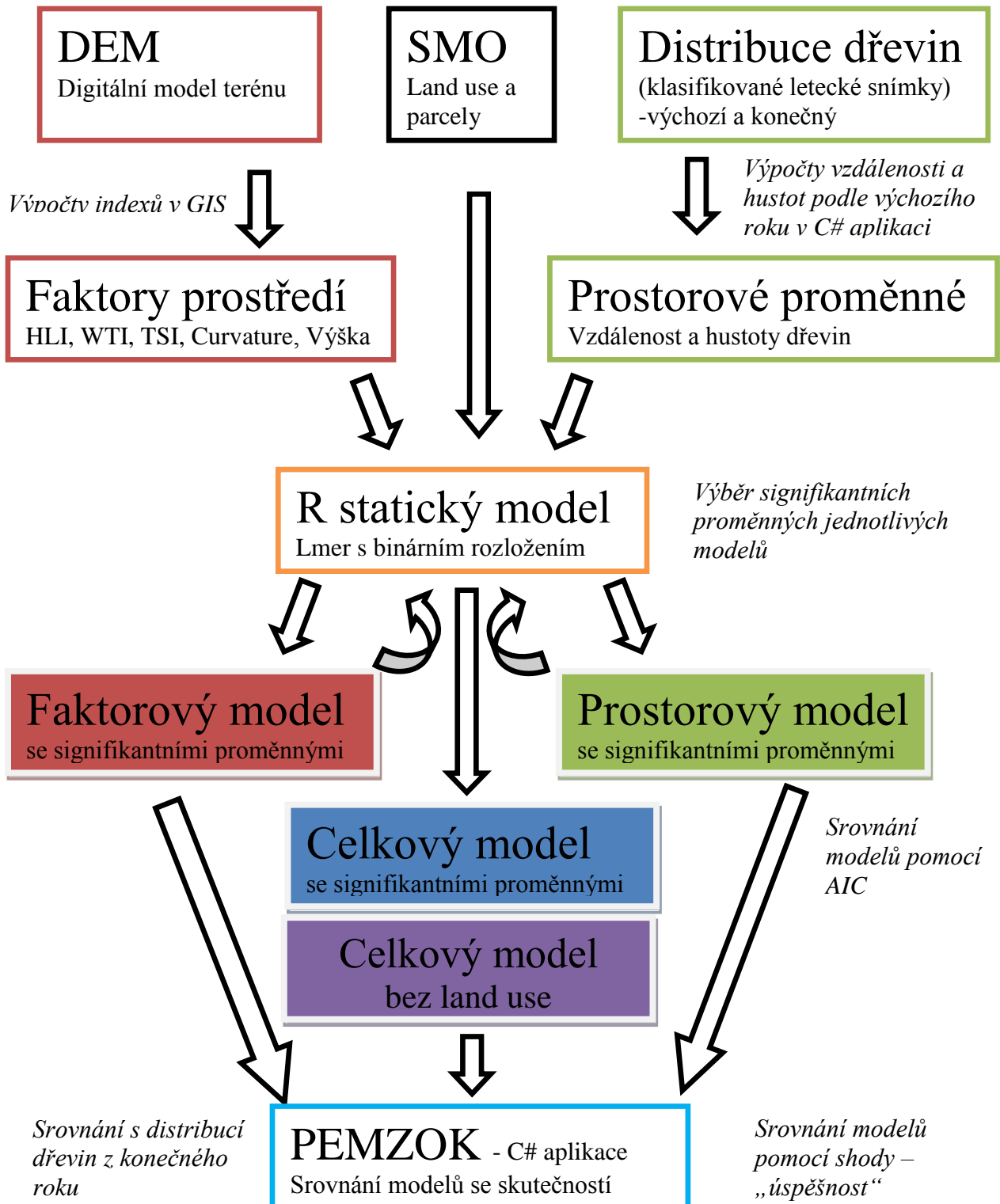
Vznikl z celkového modelu bez použití land use a slouží ke srovnání vlivu land use na distribuci vegetace.

Pomocí skriptu byly spuštěny postupně všechny modely daného typu. Následně byly vyloučeny nesignifikantní proměnné (na 5% hladině významnosti), nebo vysoce korelované proměnné (s korelačním koeficientem vyšším než 0,4). Oprávněnost odstranění proměnné byla vždy otestována pomocí ANOVY. Následně byl upravený skript spuštěn znovu. Pokud se modely signifikantně nelišily, byla proměnná vyloučena. Tímto postupem byly vybrány nejsignifikantnější proměnné pro faktorové a prostorové modely. Kvůli srovnatelnosti jednotlivých modelů byly vybrány stejné proměnné pro všechny modely. Při výběru proměnných bylo tedy přihlíženo k její signifikanci ve všech obdobích. Signifikance proměnných se však v různých obdobích příliš nelišila. Proměnná zakřivení terénu (curvature), jejíž vliv na vegetaci nebyl znám, potvrdila schopnost modelu odhalit nesignifikantní proměnnou i přes velké množství dat.

Výsledné vybrané modely měly tudíž stejné proměnné. V případě, že vliv faktoru nebyl v jednom období signifikantní, byl tento vyškrtnut z daného modelu a ten byl spočten znovu bez něj. Některé modely mají tudíž o jednu proměnnou méně. Ve snaze o snazší interpretaci výsledků a zjednodušení modelů nebyly uvažovány žádné interakce.

2.4.8. Postup tvorby modelu

Postup tvorby modelu včetně ověřování je znázorněn na zjednodušeném schématu (Obr. 16).



Obr. 16 Schéma postupu modelování

2.4.9. Srovnání modelů

Modely byly mezi sebou srovnávány pomocí AIC, neboli Akaikeho informačního kritéria (Akaike, 1974), které se používá pro srovnání „goodness of fit“ statistických modelů. Zohledňuje počet použitých parametrů, jelikož model s více parametry má zákonitě lepší fit. Lze podle něj srovnat modely s odlišnými parametry, i když jich mají různé počty. Slouží jako pomůcka pro výběr nejlepšího modelu. Model s nejnižším AIC je nejlepší. Jelikož hodnota AIC závisí na počtu měření, byly pro vizualizaci použity standardizované a centrované hodnoty AIC.

Toto srovnání však nelze zaměnit s vysvětlenou variabilitou. Jelikož model lmer neposkytuje podíl vysvětlené a nevysvětlené variability, byla za účelem srovnání modelů podle jejich vypovídací hodnoty vytvořena aplikace PEMZOK, která je součástí této práce a umožňuje srovnání výsledků modelu se skutečným konečným stavem.

2.4.10. Aplikace PEMZOK

Aplikace PEMZOK (Prostorově Explicitní Model Zarůstání Opuštěné Krajiny) vytvořená v rámci této práce byla naprogramována v objektově orientovaném jazyce C# platformy .NET Framework verze 3.5 SP1 (Microsoft Corp., 2007c). Pro tvorbu bylo použito prostředí Microsoft Visual C# Express Edition 2008 (Microsoft Corp., 2007b), poskytované zdarma.

Aplikace umožňuje ověřování výsledků modelů, srovnáním jejich predikce se stavem zjištěným z binárně klasifikovaných leteckých snímků. Jako vstupní parametry jsou použity klasifikované vrstvy dřevin výchozího a konečného roku sledovaného období, a dále mapy jednotlivých proměnných použitých v daném modelu. Proměnné prostředí lze v aplikaci přímo vypočítat z výchozího klasifikovaného snímku, nebo z jiného zdroje. Umožňuje též import dat z programu ArcGIS z ASCII formátu, který je výstupem funkce Topo To Raster (ESRI Inc., 2008). Tato data umožňuje převést do formátu používaného aplikací pro ukládání a načítání veškerých dat (jeden sloupec dat ve formátu TXT). Speciální vrstvou lze označit pixely, kde nemá být model počítán.

Libovolnou proměnnou či výsledky modelu a srovnání s realitou lze vizualizovat pomocí základního rozhraní přímo v modelu, vše lze samozřejmě exportovat do formy importovatelné do ArcGIS jako rastry (formáty BMP a TIFF), u kterých lze zvolit přidání world file (ESRI, 2008), které zajistí správné umístění v souřadném systému S-JTSK – Křovákovo zobrazení a do formátu ASCII s volitelnou hlavičkou určenou pro import do programu ArcGIS 9.3 (ESRI Inc., 2008), nebo do tabulky ve formátu CSV.

Do tabulky formátu CSV lze též exportovat všechny načtené proměnné, spočítané prostorové proměnné, a vrstvu rozdílu mezi výchozí a konečnou distribucí vegetace daného období a plochy, kde nemá být model počítán. Tento výstup je vhodný jako zdroj dat používaných v analýzách pomocí statistických programů.

Veškerá načtená data jsou převedena do třírozměrné matice, který je základem celé aplikace a ve které probíhají veškeré výpočty. První dva rozměry představují dva rozměry studované plochy, třetí rozměr je použit pro ukládání jednotlivých vstupních a výpočtových informačních vrstev. Schéma informačních vrstev včetně stručných popisků je v příloze 11.

Rozměry studované plochy v pixelech matice jsou 500 × 400 pixelů, což při rozlišení 5 m na 1 pixel představuje 2,5 km × 2,0 km studovaného území. Matici podobných vlastností vytvořila Münzbergová et al. (2005) pro studium vlivu fragmentace a byl použit též při studiu prostorové dynamiku druhu *Succisa pratensis* na krajinné úrovni (Herben et al., 2006). Velikost jednoho pixelu a geografické souřadnice jsou plně nastavitelné (pouze v rámci S-JTSK – Křovákovo

zobrazení), rozměry zatím nastavitelné nejsou, jelikož ovlivňují přímo velikost matice, která je definována při startu programu.

Popis výpočtu modelu

Při určování predikce modelu prochází aplikace postupně všechny pixely matice, které nebyly označeny k vynechání a na kterých bylo v počátečním období bezlesí a sčítá v nich hodnoty jednotlivých proměnných, násobené nastaveným vlivem každé proměnné. Tím získá přímé výsledky, které je třeba transformovat, vzhledem k logit transformaci použité v binárních modelech, která brání koncentraci hodnot na koncích rozsahu (De Smith et al., 2007). Princip jejího fungování je vidět na vzorci:

$$z = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right), p \in [0,1]$$

Zpětná transformace je prováděna pomocí vzorce:

$$p = \left(\frac{e^z}{1 + e^z}\right)$$

Tímto postupem získá aplikace pravděpodobnosti zarůstání dřevinami pro každý pixel. Kvůli srovnatelnosti jednotlivých modelů mezi obdobími, kdy docházelo k různé míře zarůstání, není pro změnu na dřeviny stanovena fixní pravděpodobnost, při jejímž překročení by byl pixel označen za zarostlý. Následně je nalezena hodnota, která oddělí všechny dosažené hodnoty na část nejvyšších dosažených hodnot, které budou určeny jako zarostlé, přičemž počet pixelů zařazených do této části odpovídá množství skutečně zarostlých pixelů v daném roce, a na část pixelů, které budou určeny jako setrvávající bezlesí (Zdrojový kód 3).

Pokud není nalezena jednoznačná hodnota, je do modelu přidána znáhodňující proměnná random, která pomůže zvýšit heterogenitu pravděpodobností, její vliv lze taktéž nastavit, implicitně je nastaven malý vliv 0.01.

Následně jsou srovnány výsledky modelu se stavem zjištěným z klasifikovaných leteckých snímků na konci modelovaného období. Jsou odlišeny pixely, které model určil správně jako zarostlé, ty které určil jako zarostlé, přestože ve skutečnosti zde bylo bezlesí, pixely zarostlé ve skutečnosti, které model nepredikoval, správně predikované bezlesí a pixely, kde byly ve výchozím roce dřeviny, a ty, kde model neprobíhal z důvodu vynechání.

Aplikace umožňuje načtení vlivů jednotlivých proměnných spočítaných pomocí statistického softwaru, upravených do jednoduchého formátu (více v příloze 10).

Nastavením vlivu jednotlivých proměnných lze snadno měnit, nebo proměnné vyřazovat z modelu a sledovat změny míry a pattern zarůstání.

Do modelu lze snadno zadat jiné území a ověřit, zda dochází k podobnému zarůstání.

Detailní pokyny pro práci s aplikací PEMZOK jsou v příloze 10.

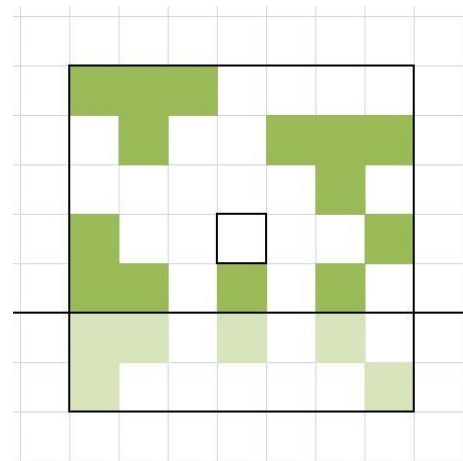
Aplikace v současné verzi podporuje pouze data s desetinou tečkou (přiložena), jelikož je tento formát nejuniverzálnější pro použití v různých statistických programech a dokáže tato data z TXT načítat i na systémech, kde je jiné regionální nastavení. Výstupy jsou zatím možné pouze s desetinou tečkou.

Postup výpočtu prostorových proměnných

Algoritmus pro nalezení nejbližší dřeviny prohledává postupně čtvercové okolí po blocích $1 \times X$ pixelů na každou světovou stranu, kde $X = (2 \text{ krát velikost aktuálně zkoumaného okolí}) + 1$. V případě úspěchu zaznamená hodnotu vzdálenosti a projde aktuálně zkoumané okolí do konce, pokud najde menší vzdálenost, nahradí jí tu původní. Po neúspěšném průchodu všech čtyřech bloků zvýší velikost aktuálně procházeného okolí o 1. V případě úspěchu zbývá zjistit, zda se za hranicemi čtvercového okolí nenachází bližší dřevina. Algoritmus tedy ověří ještě 1,5 násobek úspěšně prozkoumaného okolí, což přibližně odpovídá vzdálenosti nejvzdálenějšího rohu zkoumaného okolí. Dál se již bližší dřevina vyskytovat nemůže. Zde už se při úspěchu okolí nezvětšuje. Tento algoritmus zaručí efektivní projití matice (každý bod je testován jen jednou) a u bodů, kde je dřevina blízko, není třeba prohledávat velké okolí. (Zdrojový kód 2)

Algoritmus pro počítání hustot dřevin v daném okolí nejprve vyhodnotí, zda je v buňce dřevina, pokud ne, projde čtvercové okolí o hraně dané velikostí zkoumaného okolí a spočte počet pixelů s dřevinami, tento součet vydělí počtem projitých buněk minus jedna (prostřední buňka). Výsledná proměnná nabývá hodnoty 1 pro kompletně zarostlé okolí bezlesé buňky a hodnoty 0 pro úplné bezlesí. (Zdrojový kód 1)

Oba algoritmy používají stejný postup při nakládání s okraji matice. Okrajové body postrádají některé údaje o svém okolí. Vzhledem k odlišnostem v distribuci dřevin na různých světových stranách studované lokality nebyl použit běžný postup pomocí zacyklení matice do tvaru anuloidu (též „torus“, Lett et al., 1999), ale algoritmus při dosažení hranice zrcadlí obsah matice podle hrany. (Obr. 17) Tento postup funguje i v rozích.



Obr. 17 Zrcadlení obsahu matice u hranice

2.4.11. Určení úspěšnosti modelu

Prostou úspěšnost modelu lze spočítat podílem součtu správně určených bodů změny z bezlesí na les a všech proběhlých změn z bezlesí na les. Tato úspěšnost je však ovlivněna údajem o podílu změn. I náhodný model totiž generuje určitý počet správných bodů, jejichž podíl oproti všem změnám odpovídá právě podílu změn.

Model proto používá upravenou úspěšnost spočtenou podle vzorce uvedeného pod tímto odstavcem., která za nulovou úspěšnost považuje právě úspěšnost náhodného modelu = podíl změny a maximum plně úspěšný model, který se nemýlí ani v jediném předpověděném pixelu má 100% úspěšnost. Modely mohou tedy mít i zápornou upravenou úspěšnost a to tehdy, když mají horší predikční schopnost než náhodný model. Většinou je to způsobeno opačným vlivem některé proměnné (záporným místo kladným a naopak). Výsledky samotných náhodných modelů mají normální rozložení výsledků kolem nulové hodnoty.

$$\text{úspěšnost} = \left(\frac{\text{správné}}{\text{zarostlé}} - \frac{\text{zarostlé}}{\text{všechny}} \right) * \frac{\text{všechny}}{(\text{všechny} - \text{zarostlé})}$$

Zdrojový kód:

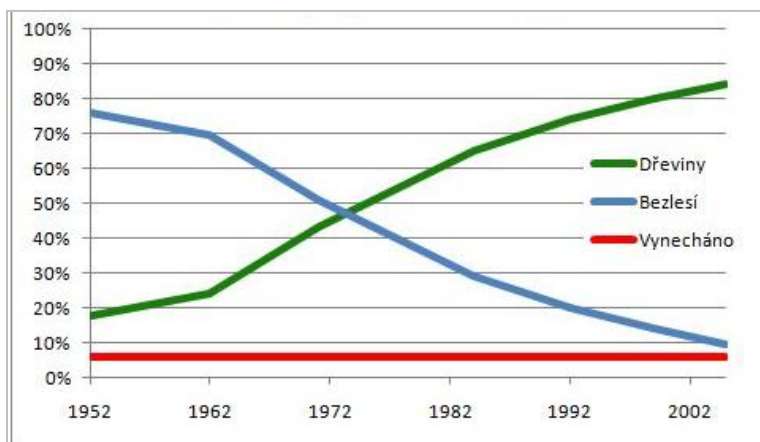
```
double vysledekMod=(((spravne/pocetNovych) -
(pocetNovych/(pocetBezlesi)))*((pocetBezlesi)/((pocetBezlesi-pocetNovych))));
```

Tato metoda sice neprodukuje závratné výsledky, jako bez jejího použití, jsou však srovnatelné mezi sebou, přestože množství zarostlých ploch se mění. Například hypotetický model s upravenou úspěšností 40 % při predikci zarůstání 40 % bezlesí dosahuje neupravené úspěšnosti 64 %.

3. Výsledky

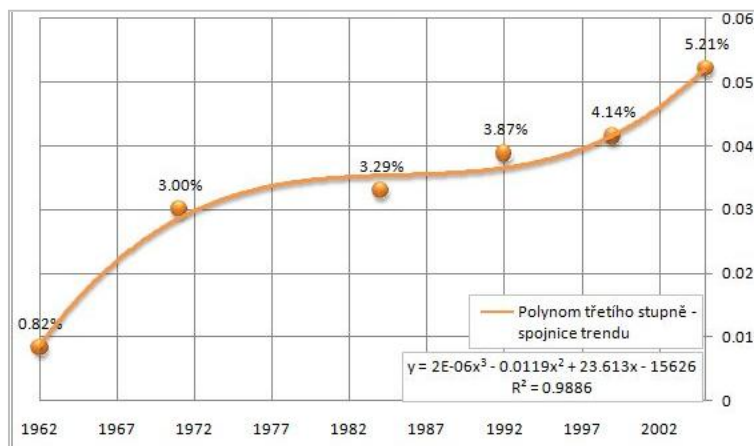
3.1. Změna krajiny

Krajina na sledované lokalitě se za studovaných 53 let od jejího opuštění člověkem výrazně změnila. Původní, lidskou činností udržované bezlesí, bylo nahrazeno mozaikou křovin, lesů a plošek bezlesí, která z různých důvodů odolávají sukcesi. Nejvýraznější změna se odehrála v průběhu v 70. let minulého století, kdy se dominantní složkou krajiny staly dřeviny (Obr. 18). Od té doby se původně propojená bezlesí stávají izolovanými ostrůvky mezi propojenými plochami dřevin.



Obr. 18 Podíl bezlesí a dřevin na upravených klasifikovaných snímkách

Zajímavým údajem je podíl plochy, která zarostla z bezlesí na začátku sledovaného období, přepočtená na jeden rok, kvůli srovnatelnosti různě dlouhých časových období mezi jednotlivými klasifikovanými snímky (6-12 let). Tento podíl od opuštění krajiny roste jak je vidět na obrázku 19. Během prvního desetiletí zarůstalo pouze 0,82% bezlesí ročně. V období mezi roky 1999 a 2005 to již bylo 5,21 % ročně. Je zde vidět výrazné zrychlení mezi prvním a druhým sledovaným obdobím (1952 - 1962 a 1962 - 1971) Podíl zarostlé plochy bezlesí se zvýšil z 0,82 % ročně na celá 3 % ročně. Následovalo zpomalení tohoto trendu, patrně z důvodu změny konektivity krajiny a od roku 1999 zarůstání opět zrychluje.



Obr. 19 Podíl bezlesí zarostlého za jeden rok dřevinami z bezlesí na začátku každého sledovaného období. Pro názornost je proložen polynom třetího stupně.

Podíl plochy, která zarostla za 1 rok z celé lokality, je velmi podobný počáteční rychlosti. Ročně přibývá přibližně 1-2 % plochy dřevin (Obr. 20). I zde je patrné výrazné zrychlení zarůstání v období 1962-1971. Od té doby již tento podíl klesá. Oba grafy pak poukazují na stále rostoucí plochu dřevin na úkor původního bezlesí.



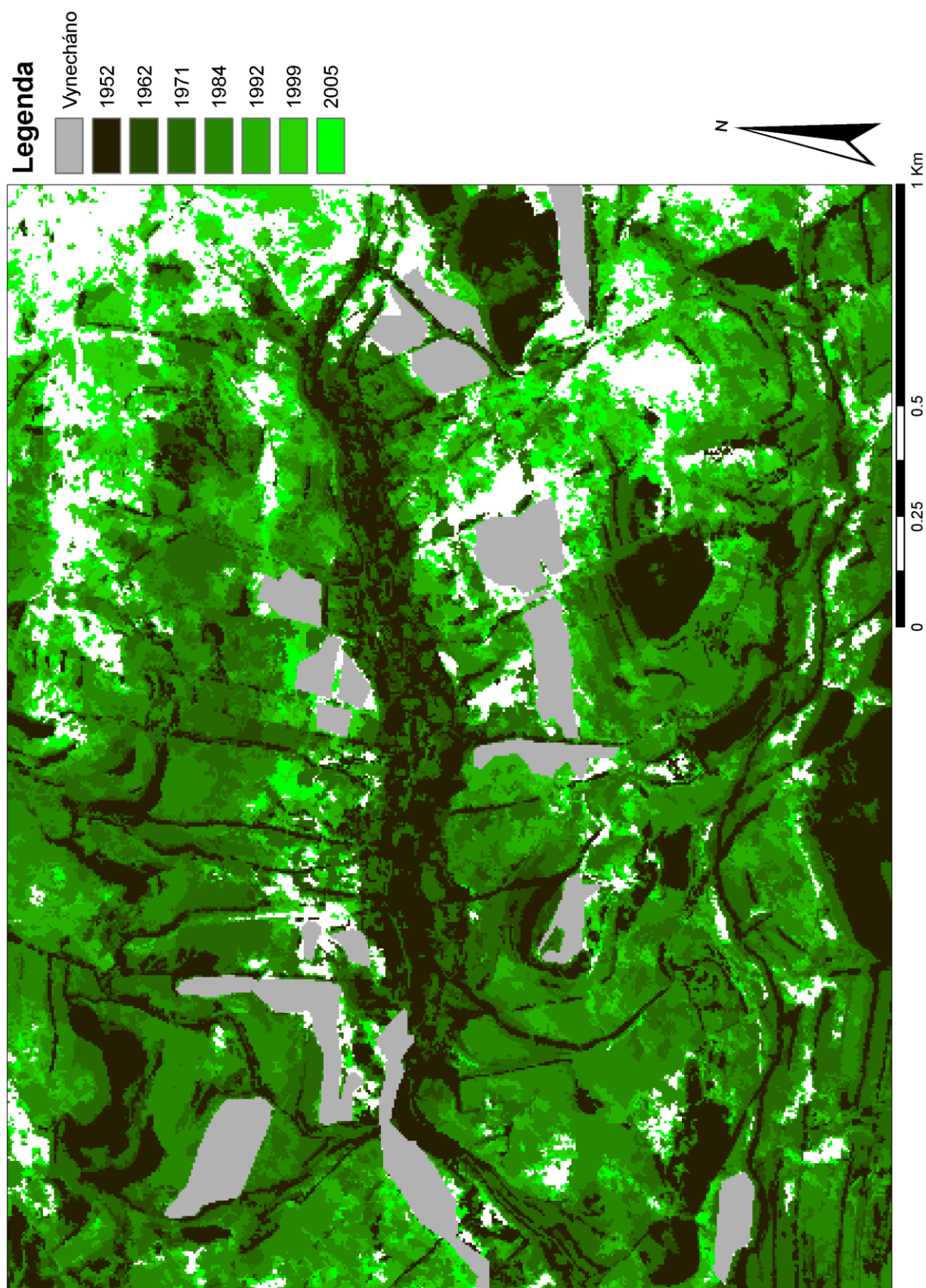
Obr. 20 Podíl území zarostlého za jeden rok dřevinami z plochy celé lokality

3.2. Vývoj distribuce dřevin

Na mapě složené z klasifikovaných snímků z jednotlivých let (Obr. 21) je patrné, že se dřeviny šíří od původně zarostlých míst, která byla takřka rovnoměrně rozšířena po celé sledované ploše. Tento trend je patrný v libovolném studovaném období. Jsou zde však i plochy, které nezarůstají, přestože u nich dřeviny jsou (SV roh), a rozsáhlé plochy, které naopak zarůstaly v poměrně krátkých časových úsecích. (SZ roh a Z střed)

K viditelné změně došlo mezi roky 1971 a 1984, kdy se dominantní složkou krajiny staly dřeviny, místo do té doby převládajícího bezlesí.

Většina ploch vynechaných z modelování kvůli lidské činnosti je dnes obklopena dřevinami.



Obr. 21 Šíření dřevin na sledované lokalitě zjištěné z klasifikovaných leteckých snímků

3.3. Ortorektifikace a mozaikování

Jedním z výsledků práce jsou historické ortofotomapy lokality. Díky použití spojovacích bodů a vhodných lícovacích bodů pro celé území, nikoliv pro každý snímek zvlášť, bylo dosaženo $RMS < 3$ m, na většině snímků $< 1,5$ m (Tab. 3), což je srovnatelné s kvalitními komerčními produkty (Geodis, 2009).

Tab. 3 RMS jednotlivých bodů použitých pro ortorektifikaci. Body jejichž ID začíná G jsou vličovací body, T jsou spojovací body. Počty se liší kvůli různým počtům snímků v jednotlivých letech

1952		1962		1971		1984		1992	
Point ID	RMS (m)	Point ID	RMS (m)	Point ID	RMS (m)	Point ID	RMS (m)	Point ID	RMS (m)
G0002	1,686	G0001	1,024	G0001	0,623	G0001	2,008	G0001	0,809
G0003	0,847	G0002	1,214	G0002	1,066	G0002	1,27	G0002	0,577
G0005	1,948	G0003	0,752	G0003	0,462	G0003	0,435	G0003	0,867
G0007	1,227	G0004	1,713	G0005	0,548	G0007	2,523	G0005	0,625
G0009	1,541	G0005	1,008	T0001	0,249	G0008	2,344	G0006	0,741
G0011	0,721	G0008	1,126	T0001	0,209	G0012	0,213	G0008	0,755
G0013	0,813	T0001	0,431	T0002	0,419	G0013	2,648	G0010	0,68
G0015	1,929	T0001	0,288	T0002	0,347	G0014	1,287	T0001	0,405
G0016	1,212	T0002	0,086	T0003	0,675	G0015	0,601	T0001	0,362
G0017	0,906	T0002	0,069	T0003	0,63	T0001	2,722	T0002	1,116
G0018	0,575	T0003	0,127	T0004	0,468	T0001	1,911	T0002	1,098
G0019	3,054	T0003	0,109	T0004	0,39	T0002	0,272	T0003	0,395
G0027	2,175	T0004	0,548	T0005	1,225	T0002	0,238	T0003	0,332
G0028	2,384	T0004	0,473	T0005	0,673	T0003	0,57	T0015	1,072
G0029	1,993	T0005	0,407	T0006	0,192	T0003	0,538	T0015	0,864
G0033	0,181	T0005	0,359	T0006	0,14				
T0001	0,551	T0006	0,215	T0007	0,63				
T0001	0,511	T0006	0,122	T0007	0,591				
T0002	2,378	T0007	0,089	T0008	1,147				
T0002	1,741	T0007	0,078	T0008	1,131				
T0003	0,837	T0008	0,21	T0009	0,989				
T0003	0,373	T0008	0,08	T0009	0,841				
T0004	1,936	T0009	0,307	T0010	0,582				
T0004	1,86	T0009	0,193	T0010	0,58				
T0018	0,803	T0010	0,542	T0011	0,724				
T0018	0,62	T0010	0,291	T0011	0,683				
T0019	1,128	T0011	0,926	T0012	0,811				
T0019	0,987	T0011	0,926	T0012	0,665				
T0020	1,07	T0012	0,142	T0013	1,233				
T0020	0,858	T0012	0,105	T0013	0,613				
T0021	0,568	T0013	0,566	T0014	0,412				
T0021	0,538	T0013	0,312	T0014	0,331				
		T0014	0,06	T0015	0,197				
		T0014	0,03	T0015	0,185				
		T0015	1,008	T0016	0,166				
		T0015	0,46	T0016	0,099				
		T0016	1,237						
		T0016	0,939						
		T0017	0,154						
		T0017	0,153						
		T0018	1,194						
		T0018	0,877						
		T0019	0,408						
		T0019	0,343						
		T0020	0,059						
		T0020	0,046						
		T0021	0,084						
		T0021	0,083						
		T0022	0,874						
		T0022	0,773						

3.4. Automatická klasifikace

Použitý způsob automatické klasifikace leteckých snímků výrazně urychlil a zpřesnil celý postup. Oproti vizuální interpretaci a klasifikaci leteckých snímků nabízí snazší zpracování velkých ploch s heterogenní mozaikou dřevin a bezlesí, kde může docházet k velkým chybám (Brůna, 2007).

Díky snadné automatizaci procesu lze zpracovat velké množství dat v krátkém čase. Výsledná mapa má 100 % pokrytí celé lokality, i bez dodatečného použití topologických pravidel.

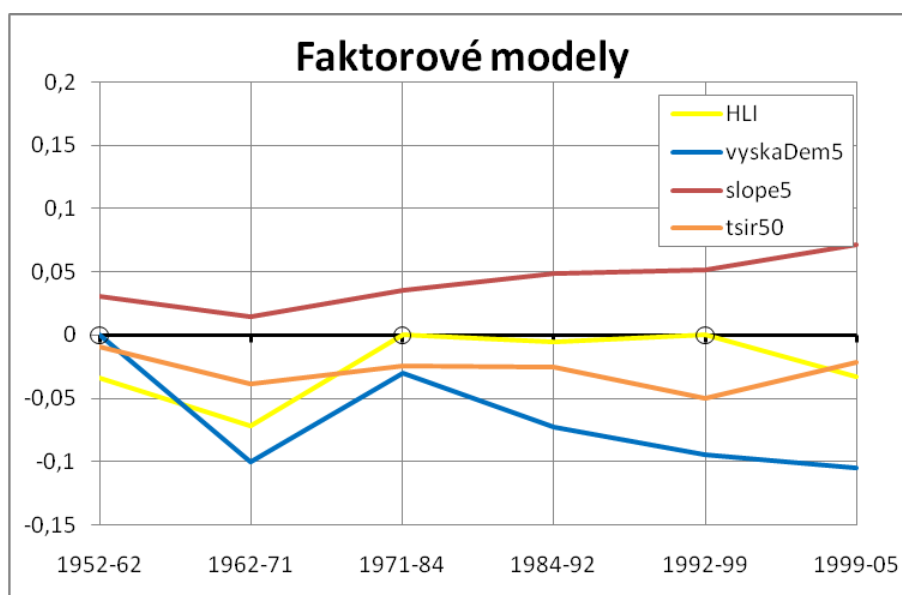
3.5. Vliv proměnných na distribuci vegetace

Vliv jednotlivých proměnných na distribuci vegetace lze díky standardizaci a centrování vstupních dat snadno srovnat podle velikosti směrnice přímků (vlivu) příslušné proměnné (estimate). Jelikož byly vybrány nekorelované proměnné, je jejich vliv v různých modelech podobný. V průběhu času se však jejich některých proměnných mění. Vliv jednotlivých kategorií land use nebyl zařazen do grafů, jelikož jde o kategoriální proměnnou.

U faktorových modelů (Obr. 22) měla největší vliv na pravděpodobnost zarůstání nadmořská výška

a svažitost, jejíž vliv v průběhu doby postupně narůstá, jako jediná měla kladný vliv (čím větší sklon svahu, tím spíše se zde objevily dřeviny). Nadmořská výška, HLI i TSI50 měly vliv záporný. Vliv většiny faktorů měl výrazný výkyv v období 1962 - 1971, jinak byl poměrně stabilní.

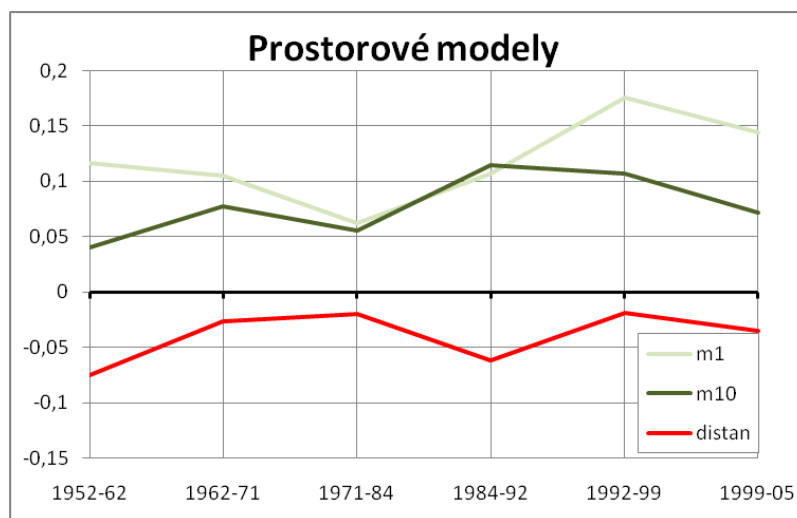
Nadmořská výška nebyla signifikantní v modelu z období 1952 - 1962, od období 1971 - 1984 její vliv roste. Celkově je nelepším vysvětlujícím proměnnou ze všech studovaných faktorů. Vliv HLI nebyl signifikantní v období 1971 - 1984 a 1992 - 1999, v období 1984 - 1992 byl jeho vliv velmi nízký.



Obr. 22 Srovnání vlivu proměnných ve faktorových modelech, kroužek označuje vynechání proměnné

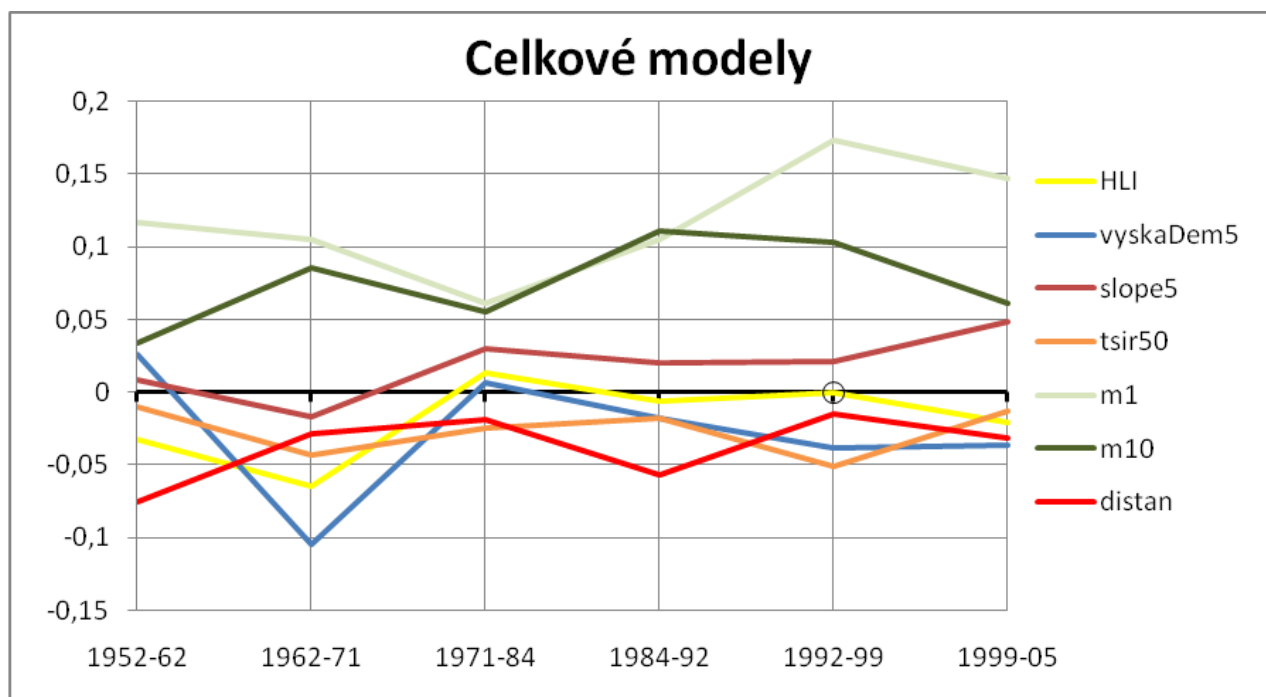
U prostorových modelů

Obr. 23) měla největší vliv hustota dřevin v okolních 3×3 pixelech (čtverec o straně $15 \text{ m} \times 15 \text{ m}$ okolo dané plochy), spolu s hustotou v okolních $105 \text{ m} \times 105 \text{ m}$. Vzdálenost od nejbližší dřeviny měla vždy záporný vliv. Všechny tyto proměnné byly ve všech modelech signifikantní.



Obr. 23 Srovnání vlivu proměnných v prostorových modelech

V celkových modelech (Obr. 24) měly proměnné velmi podobný vliv jako v samostatných modelech. Zajímavá je změna vlivu svažitosti v období 1962 - 1971. Je nejspíš způsobena již tak nízkým vlivem této proměnné v daném období. Je zde jasně vidět srovnání vlivu jednotlivých proměnných a velký vliv prostorových proměnných. Hustoty dřevin mají výrazně vyšší vliv než jakákoliv jiná proměnná. Vliv vzdálenosti je srovnatelný s faktorovými proměnnými.



Obr. 24 Srovnání vlivu proměnných v celkových modelech, kroužek označuje vynechání proměnné

3.6. Vliv původního land use

Ve všech modelech kromě 1984-1992 byl původní land use signifikantní proměnnou. Jednotlivé kategorie se od sebe liší množstvím dřevin před opuštěním (Tab. 4). Pole mají pouze 9,22 % dřevin (převážně remízky a meze), louky 13,58 %, avšak pastviny byly pokryty dřevinami až z 32,55 %. Do kategorie vesnice spadají i zahrady okolo domů, proto zde již od počátku bylo 60,52 % lesů. 27,13 % dřevin v cestách jsou způsobeny zastíněním cest okolními stromy a alejemi.

Nejlépe během 53 sledovaných let zarostly vesnice, kde již zbývá jen 0,47 % bezlesí. Druhým nejlépe zarůstajícím typem land use jsou pastviny. Zarostlo zde 91,78 % původního bezlesí v této kategorii a zbývá zde již jen 5,54 % bezlesí. Nejhůře ze všech typů land use zarostly louky, i když i zde zarostlo 72,33 % plochy, zbývá zde 23,91 % bezlesí. Z hlediska rozlohy byly na sledované lokalitě nejdůležitější pole, kterých bylo celkem 62,91 %, i přes poměrně vysoké zarůstání (88,25 %) jsou dnes nejčastějším bývalým land use současných bezlesí.

Plochy, kde byl během sledované doby zjištěn management, byly již v počátku prakticky bez dřevin (pouze 3,72 %) a díky zásahům je na nich nejnižší míra zarůstání (46,21 %). Tvoří tak druhou nejčastější plochu, kde se dnes vyskytuje bezlesí, které je však odlišné od ostatních bezlesí, především nižší druhovou diverzitou.

Tab. 4 Podíl dřevina bezlesí v roce 2005 podle jednotlivých hlavních land use a na plochách vynechaných z důvodu lidských zásahů během doby sledování managementu v průběhu a podíl na celkovém bezlesí a dřevinách v roce 2005

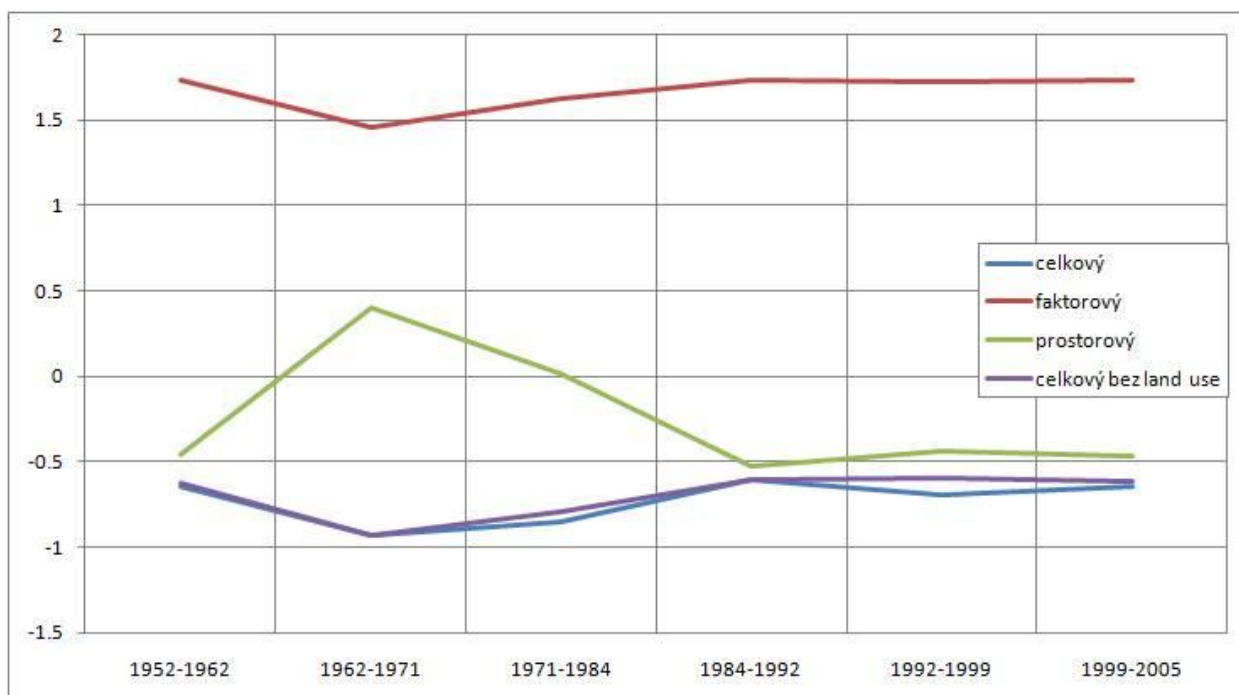
		Plocha	Dřeviny		Bezlesí 2005	Zarostlo	Dřevin z celku	Bezlesí z celku
			1952	2005				
Land use 1952	pole	62,91%	9,22%	89,34%	10,66%	88,25%	56,21%	6,71%
	pastvina	10,37%	32,55%	94,46%	5,54%	91,78%	9,79%	0,57%
	louka	9,35%	13,58%	76,09%	23,91%	72,33%	7,11%	2,24%
	vesnice	4,49%	60,52%	99,53%	0,47%	98,81%	4,46%	0,02%
	les	4,07%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%	4,07%	0,00%
	cesta	2,88%	27,13%	90,51%	9,49%	86,97%	2,61%	0,27%
Vynecháno		5,93%	3,72%	48,21%	51,79%	46,21%	2,86%	3,07%

Vliv jednotlivých land use byl zkoumán též srovnáním úspěšnosti celkových modelů s a bez land use. Výsledky tohoto srovnání jsou v kapitolách 3.8 a 3.9. Jiná kombinace modelů nebyla za tímto účelem testována.

3.7. Srovnání modelů pomocí AIC

Nejhůře podle AIC dopadly faktorové modely, celkové a prostorové modely se zpočátku odlišovaly, ale od modelu z let 1971-1984 jsou jejich AIC velmi podobné. Ve všech případech byly nejlepší modely celkové (Obr. 25).

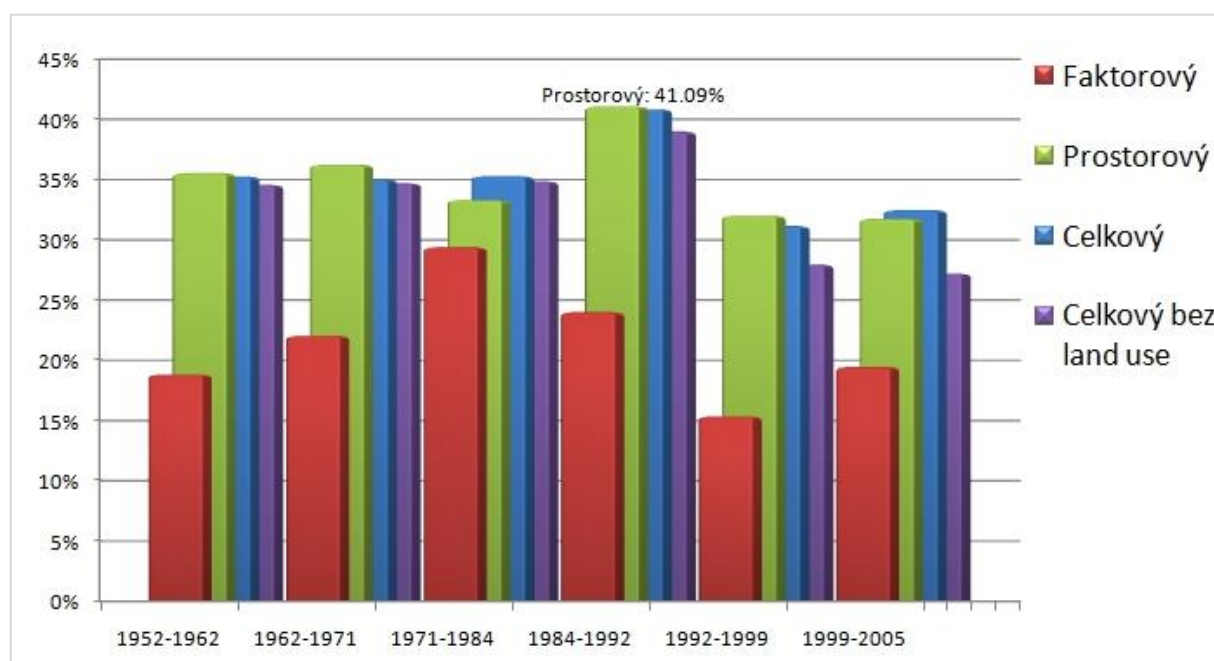
Jak již bylo řečeno, toto srovnání nevypovídá o reálné schopnosti modelů vysvětlit variabilitu, slouží pouze jako pomůcka pro výběr modelů. Z tohoto srovnání vychází velmi dobře prostorové a celkové modely. Za účelem srovnání vypovídací hodnoty byly modely srovnány pomocí úspěšnosti spočítané v aplikaci PEMZOK.



Obr. 25 Srovnání jednotlivých modelů pomocí standardizovaného a centrovaného AIC

3.8. Srovnání úspěšností modelů

Srovnání modelů pomocí AIC nevypovídá o vysvětlené variabilitě modelu. Tuto hodnotu neposkytuje ani použitý lmer model z package lme4 (Bates et al., 2008). Z toho důvodu byla pomocí aplikace PEMZOK zjišťována úspěšnost modelu. Jedná se o poměr správně určených a mylných předpovědí dřevin modelem. Vzhledem k závislosti tohoto poměru na podílu zarostlé plochy, byla tato hodnota upravena tak, aby nulové úspěšnosti odpovídal výsledek modelu s náhodnými hodnotami a 100% úspěšnosti ideální model, který nemá jedinou mylnou predikci.



Obr. 26 Srovnání upravené úspěšnosti jednotlivých modelů ve srovnání se skutečným stavem

Na obrázku 26 lze sledovat velký vliv použití prostorových proměnných na úspěšnost modelu. Většina prostorových modelů s land use je dokonce úspěšnější, než stejné modely, do kterých byly přidány faktory prostředí. Vliv faktorů prostředí z počátku roste, ale od období 1971-1984 oproti ostatním faktorům klesá.

Vliv land use naopak s postupem času stoupá. V počátcích sukcese lze velkou část variability vysvětlit pomocí prostorových proměnných a land use nehraje velkou roli, postupem času však vysvětlená variabilita ztracená při odebrání land use z modelu roste.

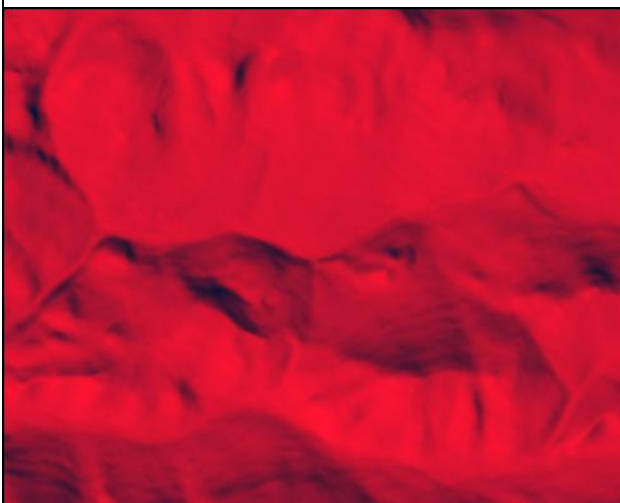
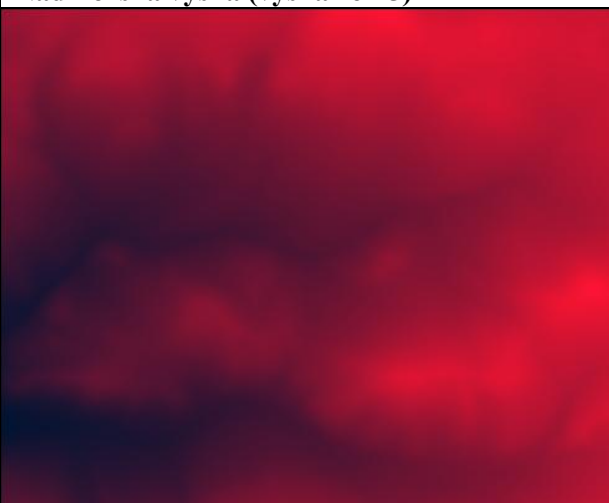
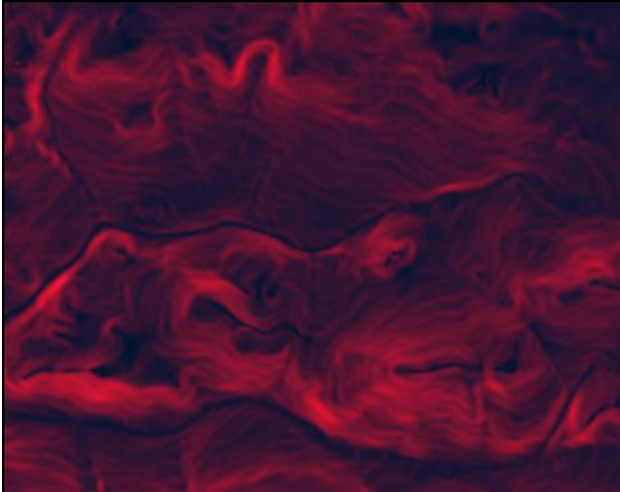
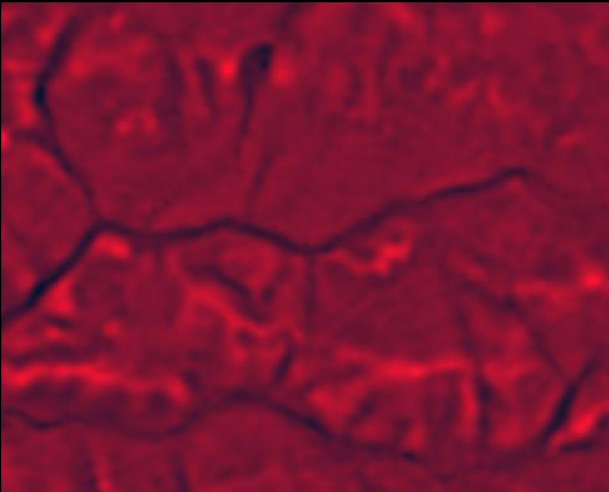
3.9. Srovnání modelů a skutečnosti

Pro interpretaci výsledků byla použita srovnání vygenerovaná aplikací PEMZOK, mapa jednotlivých proměnných odvozených z DEM a nadmořské výšky (Tab 6) a letecké snímky, umožňující např. rozlišit porosty křovin od lesů. (Příloha 3 - 9). Výsledky modelů jednotlivých modelů jsou na následujících stránkách v tabulkách 7 až 12.

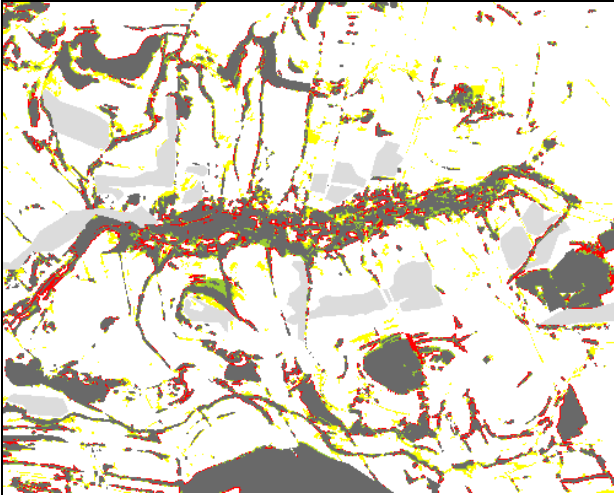
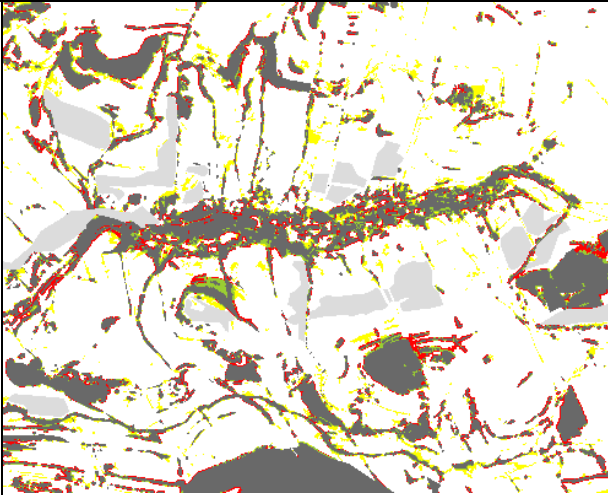
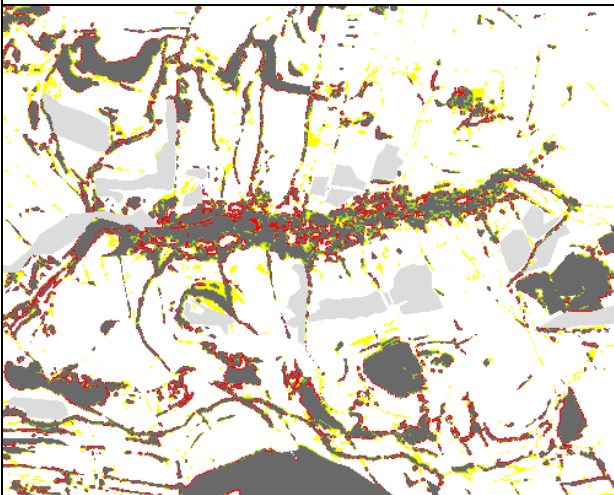
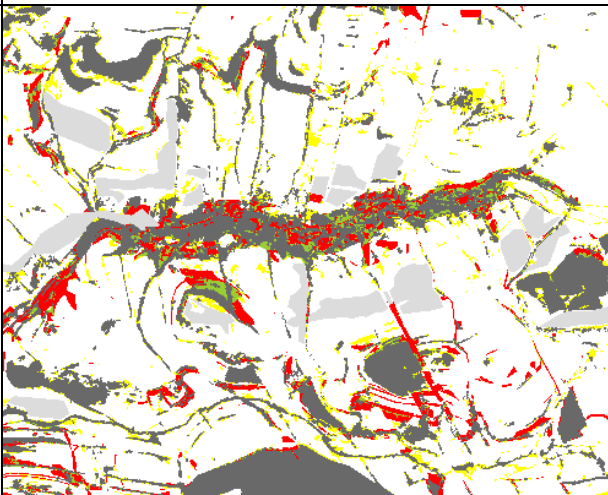
Tab. 5 Legenda k vizualizacím srovnání úspěšnosti:

	Predikován o modelem	Skutečný stav Výchozí rok	Skutečný stav Konečný rok	Poznámka
	Bezlesí	Bezlesí	Bezlesí	Správně (nepočítá úspěšnost)
	Dřeviny	Dřeviny	Dřeviny	Model nepočítá
	Dřeviny	Bezlesí	Dřeviny	Správně (počítá úspěšnost)
	Dřeviny	Bezlesí	Bezlesí	Špatně (počítá úspěšnost) Ve skutečnosti nezarostlo
	Bezlesí	Bezlesí	Dřeviny	Chyba, ve skutečnosti zarostlo Stejný rozsah jako předchozí
	Vynecháno kvůli zásahům člověka			

Tab. 6 "Mapy" signifikantních faktorů prostředí

HLI	Nadmořská výška (vyskaDem5)
	
Svažitost (slope5)	TSI50
	

Tab. 7 Výsledky modelů období 1952 - 1962

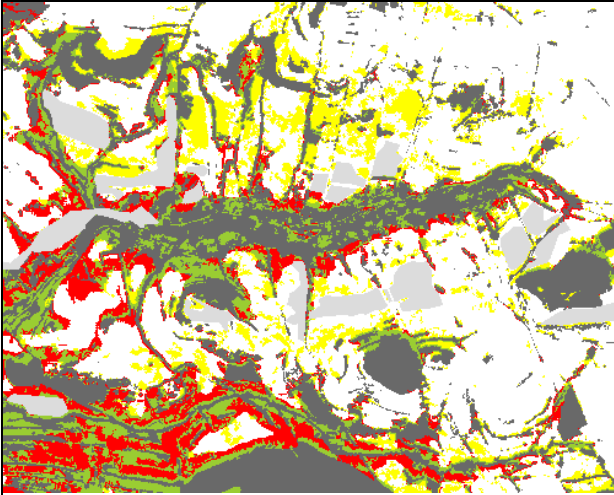
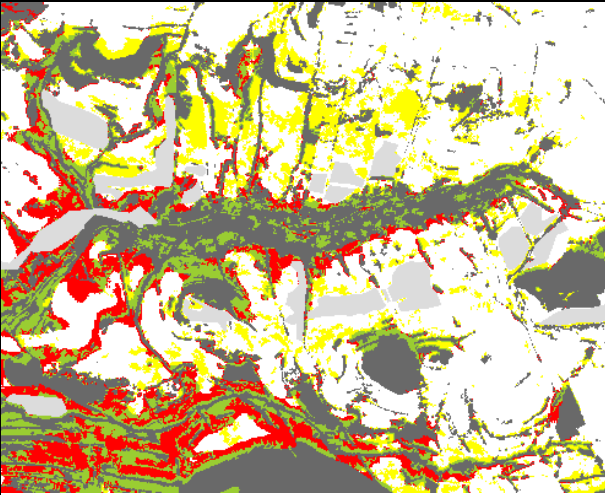
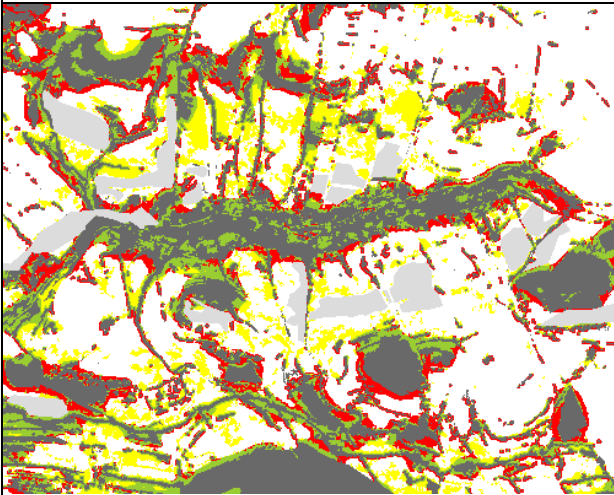
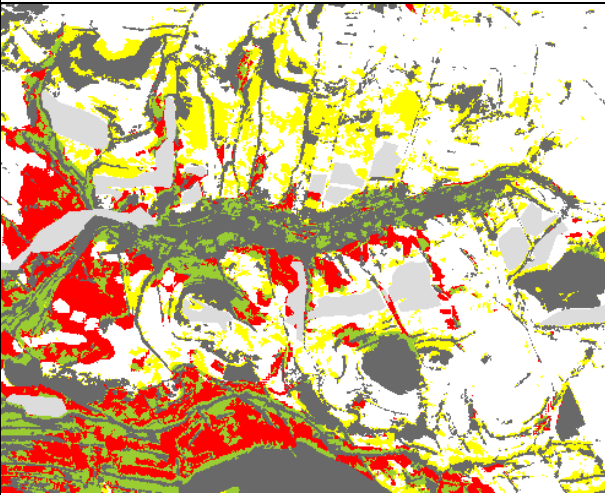
	
Úspěšnost: 35,26 %	Úspěšnost: 34,56 %
(1952 - 1962) Faktory a prostor s land use (1952-1962) ~ -2.78703 + land use (Pastvina 0.79689 Louka 0.38266 Vesnice 0.70783 Cesta 0.83338) -0.32532*HLI + 0.25946*vyskaDem5 + 0.08496*slope5 - 0.10358*TSI50 - 0.75348*Vzdálenost + 1.1643*Okoli_1 + 0.34236*Okoli_10	(1952 - 1962) Faktory a prostor (1952-1962) ~ -2.41634 -0.32056*HLI + 0.25706*vyskaDem5 + 0.08884*slope5 -0.10209*TSI50 -0.75702*Vzdálenost + 1.16812*Okoli_1 + 0.34171*Okoli_10
	
Úspěšnost: 35,54 %	Úspěšnost: 18,82 %
(1952 - 1962) Prostor s land use (1952-1962) ~ -2.74439 + land use (Pastvina 0.77647 Louka 0.30461 Vesnice 0.5955 Cesta 0.77738) -0.74786*Vzdálenost + 1.165*Okoli_1 + 0.40105*Okoli_10	(1952 - 1962) Faktory s land use (1952-1962) ~ -3.00724 + land use (Pastvina 1.19241 Louka 0.52838 Vesnice 2.04094 Cesta 1.10273) -0.34101*HLI + 0*vyskaDem5 + 0.30326*slope5 -0.09076*TSI50

Souhrn všech modelů období 1952 - 1962:

Během tohoto období zarostlo pouze 8,24 % původního bezlesí. Všechny modely nejlépe předpověděly výskyt dřevin na území bývalé vesnice, v okolí velkých celků dřevin a u liniových prvků. Modely nebyly schopné predikovat výskyt dřevin na okrajích původních pozemků. Ve skutečnosti tak vzniklo velmi mnoho nových osamocených ploch dřevin.

Faktorový model přikládá velký vliv land use, zvláště původním pastvinám, což vedlo k velkému množství špatných predikcí. Celkově byl vliv proměnných odvozených z digitálního modelu velmi nízký.

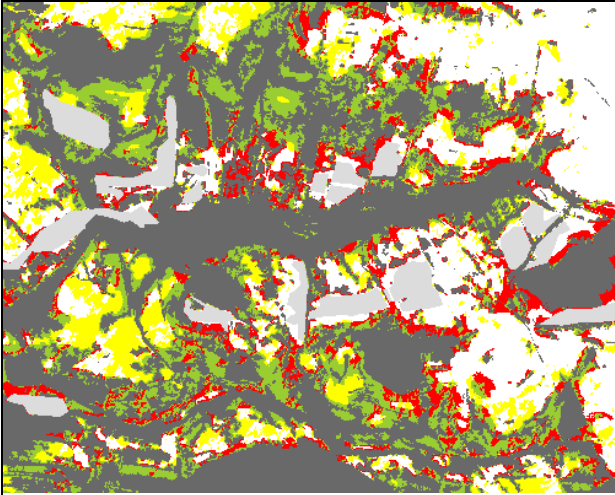
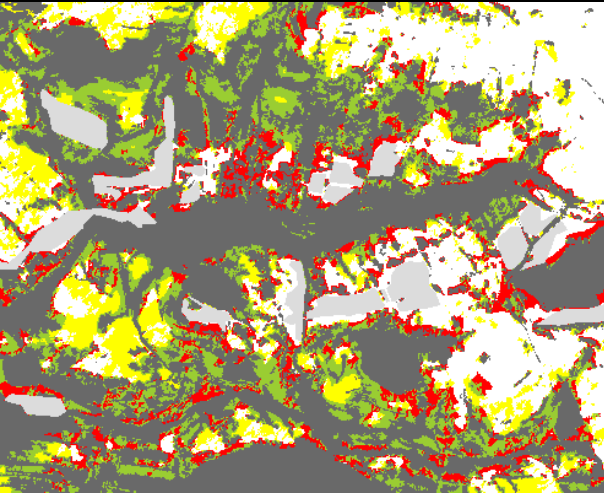
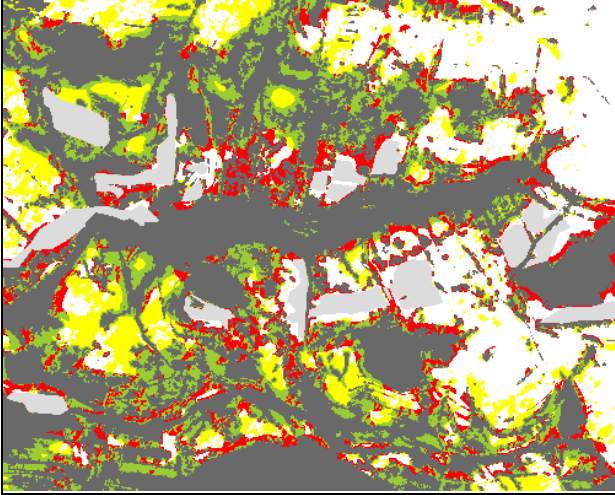
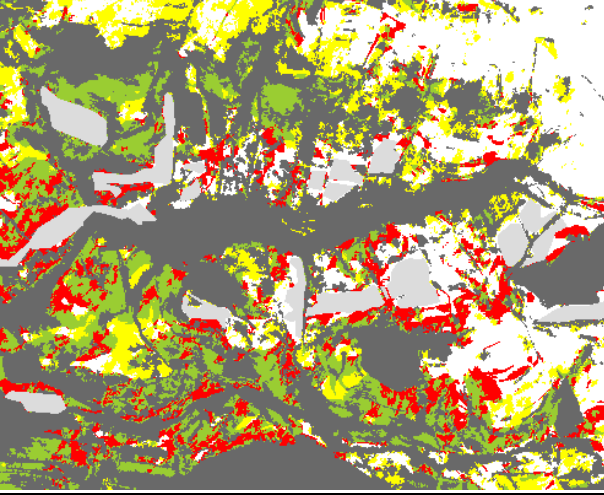
Tab. 8 Výsledky modelů období 1962 - 1971

	
Úspěšnost: 35,04 %	Úspěšnost: 34,70 %
(1962 - 1971) Faktory a prostor s land use (1962-1971) ~ -0.940686 + land use (Pastvina 0.619229 Louka 0.360868 Vesnice 1.612565 Cesta -0.001115) -0.586211*HLI -0.939724*vyskaDem5 -0.150221*slope5 -0.387148*TSI50 -0.258918*Vzdálenost + 0.949508*Okoli_1 + 0.767898*Okoli_10	(1962 - 1971) Faktory a prostor (1962-1971) ~ -0.6733 -0.5857*HLI -0.94266*vyskaDem5 -0.15003*slope5 -0.38719*TSI50 -0.25946*Vzdálenost + 0.95146*Okoli_1 + 0.76914*Okoli_10
	
Úspěšnost: 36,24 %	Úspěšnost: 22,04 %
(1962 - 1971) Prostor s land use (1962-1971) ~ -0.14613 + land use (Pastvina -0.26661 Louka 0.01602 Vesnice 1.39757 Cesta -0.0187) -0.23952*Vzdálenost + 0.9459*Okoli_1 + 0.69386*Okoli_10	(1962 - 1971) Faktory s land use (1962-1971) ~ -1.15591 + land use (Pastvina 0.79264 Louka 0.44937 Vesnice 2.84907 Cesta -0.11763) -0.64816*HLI -0.90599*vyskaDem5 + 0.13271*slope5 -0.3495*TSI50

Souhrn všech modelů období 1962 - 1971:

Během tohoto období zarostlo celých 27,02 % původního bezlesí. Predikce výskytu dřevin na území bývalé vesnice a v jejím okolí, jakož i v okolí velkých celků dřevin byla opět velmi dobrá. V severní části území vznikly velké plochy dřevin, které žádný model nepostihuje. Faktorový model má oproti ostatním výrazně nižší vliv svažitosti, která je ovšem kompenzována velkým vlivem HLI. Obě tyto proměnné vedly k rozsáhlé mylné predikci dřevin na severních svazích v jižní části lokality. Prostorový model, který tyto proměnné neobsahuje, zde naopak velmi dobře předpověděl distribuci dřevin, kromě některých ploch opět zarostlých křovinami. Naopak v severní části lokality předpověděl větší šíření, než ke kterému došlo.

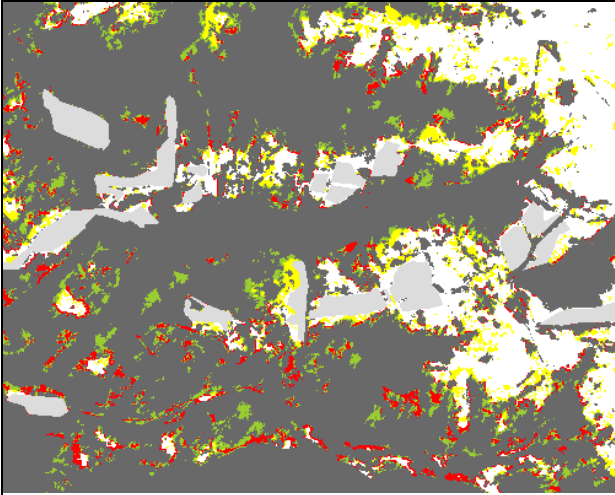
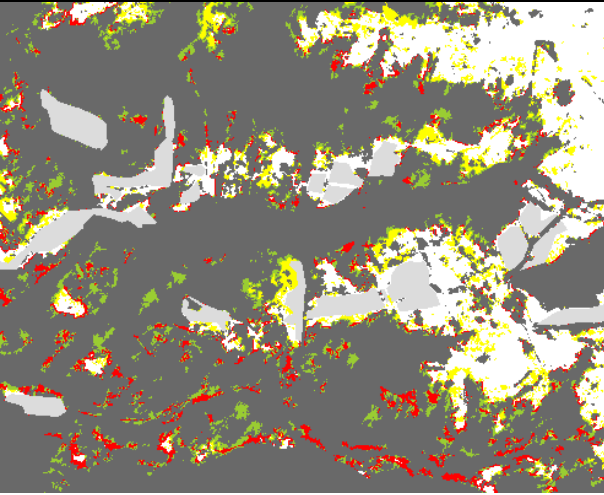
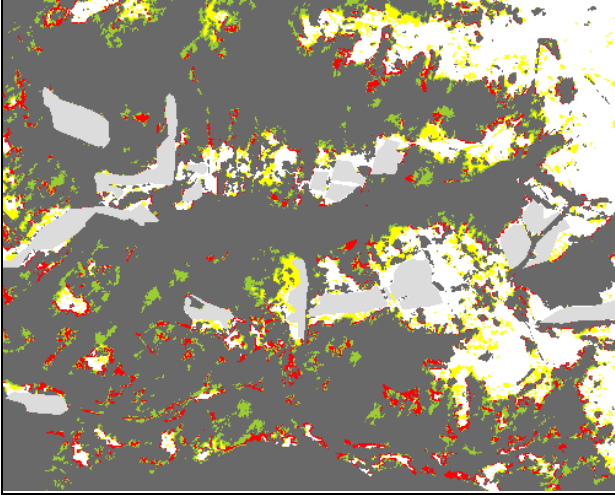
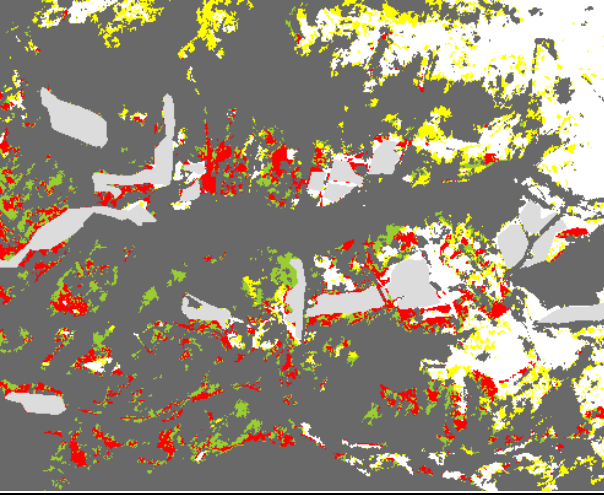
Tab. 9 Výsledky modelů období 1971 - 1984

	
Úspěšnost: 35,28 %	Úspěšnost: 34,86 %
(1971 - 1984) Faktory a prostor s land use (1971-1984) ~ 0.71409 + land use (Pastvina 0.52399 Louka -0.82547 Vesnice -1.62839 Cesta 0.04487) + 0.17071*HLI + 0.08987*vyskaDem5 + 0.38493*slope5 -0.31496*TSI50 -0.2471*Vzdálenost + 0.79594*Okoli_1 + 0.72325*Okoli_10	(1971 - 1984) Faktory a prostor (1971-1984) ~ 0.62027 + 0.17608*HLI -0.02016*vyskaDem5 + 0.40374*slope5 -0.27983*TSI50 -0.25391*Vzdálenost + 0.72665*Okoli_1 + 0.65855*Okoli_10
	
Úspěšnost: 33,31 %	Úspěšnost: 29,39 %
(1971 - 1984) Prostor s land use (1971-1984) ~ 0.60877 + land use (Pastvina 0.76268 Louka -0.6555 Vesnice -1.52647 Cesta 0.22535) -0.25342*Vzdálenost + 0.80657*Okoli_1 + 0.72039*Okoli_10	(1971 - 1984) Faktory s land use (1971-1984) ~ -0.07674 + land use (Pastvina 1.01881 Louka -0.40717 Vesnice -0.976 Cesta 0.15269) -0.38765*vyskaDem5 + 0.46654*slope5 - 0.3154*TSI50

Souhrn všech modelů období 1971 - 1984:

V tomto období došlo k největší změně, zarostlo celých 42,83 % původního bezlesí a dřeviny se staly dominantní složkou krajiny. Všechny modely správně předpověděly další úbytek roztroušených bezlesí v severní části lokality, prostorový model byl v tomto směru konzervativnější a předpovídal pouze postupné zarůstání okrajů. Na severním okraji většina modelů vzniklé dřeviny nepředpověděla. Faktorový model, na rozdíl od ostatních správně předpověděl nové velké plochy dřevin na západním okraji lokality. Ve skutečnosti se začínají objevovat skupinky dřevin v severo-západním cípu lokality, tato část však stále zůstává bezlesím s roztroušenými dřevinami. Modely v této části výskyt dřevin nepredikovaly. Faktorový model predikoval zarůstání bezlesí ve východní části, které však nadále zůstává bez výrazného rozvoje dřevin. Zajímavá je změna vlivu kategorie land use vesnice, který je od tohoto období záporný, kromě období 1992 - 1999. Je to pravděpodobně způsobeno úbytkem těchto ploch. Zbylé plochy vesnic již nezarůstají pravděpodobně z jiných důvodů. Faktorový model zde dosáhl své nejvyšší úspěšnosti.

Tab. 10 Výsledky modelů období 1984 - 1992

	
Úspěšnost: 40,84 %	Úspěšnost: 39,00 %
(1984 - 1992) Faktory a prostor s land use (1984-1992) ~ 0.814 + land use (Pastvina 0.09192 Louka -0.60825 Vesnice -0.53599 Cesta 0.1514) -0.05059*HLI -0.1452*vyskaDem5 + 0.16261*slope5 -0.14555*TSI50 -0.45784*Vzdálenost + 0.83818*Okoli_1 + 0.89138*Okoli_10	(1984 - 1992) Faktory a prostor (1984-1992) ~ 0.74958 -0.04899*HLI -0.14155*vyskaDem5 + 0.16596*slope5 - 0.14287*TSI50 -0.45899*Vzdálenost + 0.83908*Okoli_1 + 0.89121*Okoli_10
	
Úspěšnost: 41,09 %	Úspěšnost: 24,00 %
(1984 - 1992) Prostor s land use (1984-1992) ~ 0.77701 + land use (Pastvina 0.05803 Louka -0.56232 Vesnice -0.45832 Cesta 0.15123) -0.49122*Vzdálenost + 0.85317*Okoli_1 + 0.91609*Okoli_10	(1984 - 1992) Faktory s land use (1984-1992) ~ -0.43489 + land use (Pastvina 0.45927 Louka -0.69175 Vesnice -0.93395 Cesta -0.19179) -0.04264*HLI -0.58091*vyskaDem5 + 0.39085*slope5 -0.20023*TSI50

Souhrn všech modelů období 1984 - 1992:

Toto období je nejkratším modelovaným obdobím. Za 6 let zarostlo 30,93 % původního bezlesí. V celé západní polovině byly již na začátku období kompaktní porosty dřevin s ostrůvky bezlesí. Některá zanikla, ale mnoho z nich zarostlo jen z části. Všechny modely předpovídali jejich zánik, nebo mnohem větší zarůstání, než ke kterému došlo. Naopak ve východní polovině lokality, v setrvávajících rozsáhlých bezlesích se začaly objevovat ostrůvky dřevin, které žádný model dostatečně přesně nepredikoval. Částečně byly předpovězeny faktorovým modelem, avšak s horší lokalizací. Zarůstání bezlesí v severo-západním cípu lokality bylo částečně predikováno prostorovým modelem, ne však v takovém rozsahu, k jakému došlo. Za povšimnutí stojí zarostlé bezlesí ve střední části, blízko vynechaných ploch, které téměř kompletně zarostlo, což bylo predikováno pouze faktorovým modelem. Všechny modely kromě faktorového zde zaznamenali své největší úspěchy. Prostorový model tohoto období byl vůbec nejúspěšnějším modelem celé práce s 41,09 % upravené úspěšnosti.

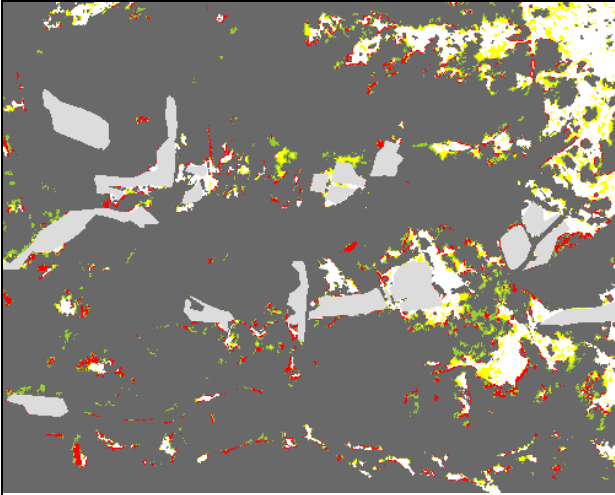
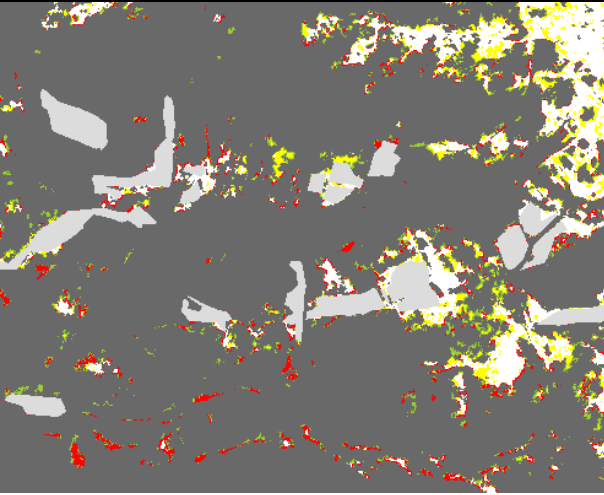
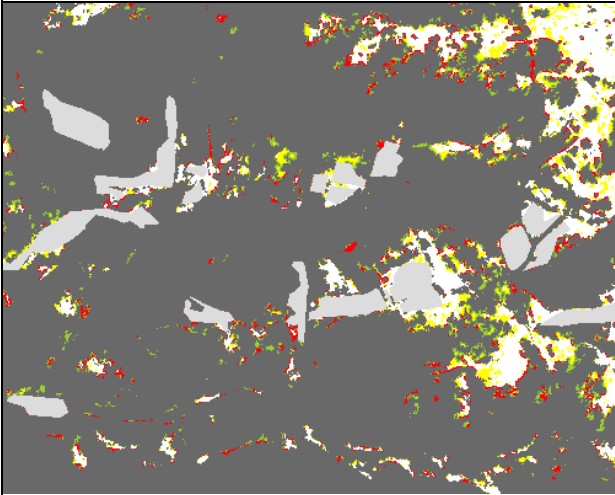
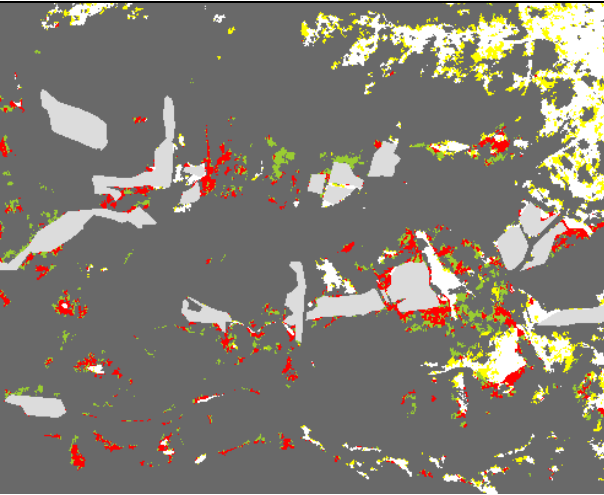
Tab. 11 Výsledky modelů období 1992 - 1999

Úspěšnost: 31,16 %	Úspěšnost: 27,95 %
(1992 - 1999) Faktory a prostor s land use (1992-1999) ~ 1.36617 + land use (Pastvina 0.11663 Louka -1.21515 Vesnice 1.77375 Cesta -0.46419) -0.2688*vyskaDem5 + 0.14624*slope5 -0.35495*TSI50 -0.10608*Vzdálenost + 1.2167*Okoli_1 + 0.72008*Okoli_10	(1992 - 1999) Faktory a prostor (1992-1999) ~ 1.21824 -0.28215*vyskaDem5 + 0.15364*slope5 -0.34713*TSI50 -0.1053*Vzdálenost + 1.21985*Okoli_1 + 0.72459*Okoli_10
Úspěšnost: 32,02 %	Úspěšnost: 15,35 %
(1992 - 1999) Prostor s land use (1992-1999) ~ 1.264678 + land use (Pastvina -0.001931 Louka -0.981352 Vesnice 1.97428 Cesta -0.371506) -0.133872*Vzdálenost + 1.229485*Okoli_1 + 0.747067*Okoli_10	(1992 - 1999) Faktory s land use (1992-1999) ~ -0.24689 + land use (Pastvina 0.27548 Louka -1.4642 Vesnice 1.08695 Cesta -0.86173) -0.66128*vyskaDem5 + 0.36381*slope5 -0.35176*TSI50

Souhrn všech modelů období 1992 - 1999:

Během sedmi let tohoto období zarostlo 28,97% původních bezlesí a došlo k podstatnému zarůstání bezlesí ve východní polovině lokality, které ve výsledném rozsahu nepredikoval žádný model. Zánik drobnějších bezlesí v jiho-východní části lokality byl správně predikován ve všech modelech obsahujících prostorové proměnné, faktorový model namísto toho určil k zániku mnohá drobná bezlesí severně od bývalé vesnice, která se však ve skutečnosti i podle ostatních modelů pouze zmenšovala. V kompaktních bezlesích jiho-západní části lokality zmizela některá drobná bezlesí, modely mylně predikovaly zánik většiny z nich.

Tab. 12 Výsledky modelů období 1999 - 2005

	
Úspěšnost: 32,47 %	Úspěšnost: 27,21 %
(1999 - 2005) Faktory a prostor s land use (1999-2005) ~ 1.49289 + land use (Pastvina -0.55657 Louka -1.199 Vesnice -0.79588 Cesta -0.11062) -0.12355*HLI -0.21639*vyskaDem5 + 0.29311*slope5 -0.07735*TSI50 - 0.19025*Vzdálenost + 0.88086*Okoli_1 + 0.36513*Okoli_10	(1999 - 2005) Faktory a prostor (1999-2005) ~ 1.18397 + -0.12528*HLI -0.21901*vyskaDem5 + 0.29968*slope5 -0.06942*TSI50 -0.18974*Vzdálenost + 0.88346*Okoli_1 + 0.36538*Okoli_10
	
Úspěšnost: 31,76 %	Úspěšnost: 19,46 %
(1999 - 2005) Prostor s land use (1999-2005) ~ 1.35787 + land use (Pastvina -0.5301 Louka -1.18715 Vesnice -0.78773 Cesta -0.12424) -0.21203*Vzdálenost + 0.86641*Okoli_1 + 0.42993*Okoli_10	(1999 - 2005) Faktory s land use (1999-2005) ~ -0.04241 + land use (Pastvina -0.324 Louka -1.33552 Vesnice -0.59878 Cesta -0.21882) -0.19554*HLI -0.6282*vyskaDem5 + 0.42916*slope5 -0.12638*TSI50

Souhrn všech modelů období 1999 - 2005:

Během posledního studovaného období zaniklo 31,28 % původního bezlesí. V kompaktních plochách dřevin na většině lokality zůstala jen drobná bezlesí. Podle modelů měla většina z nich zaniknout, pouze větší bezlesí měla zarůst jen z části. Zarůstání severo-východního cípu pokračovalo, v tomto období však již prostorový model poměrně velkou část změn v této oblasti predikoval. Velká bezlesí ve středu východní části nadále zarůstala dřevinami. Nejlépe to predikoval faktorový model. Model bez land use mylně předpověděl zarůstání zbylých bezlesí v nivě Petrovského potoka (liniová bezlesí v jižní části lokality), modely, kde byl land use zahrnut, toto zarůstání nepredikovaly do takové míry.

4. Diskuse

4.1. Využití historických leteckých snímků

Historické letecké snímky posloužily jako přesný zdroj informací o vývoji vegetace na lokalitě. Byl použit standardní postup jejich zpracování pomocí ortorektifikace a mozaikování, který zaručil prostorovou přesnost i odpovídající polohu jednotlivých dřevin na všech snímcích, díky použití GCP (vlícovacích bodů) z kvalitní ortofotomapy z roku 1999. Díky tomu bylo možné při klasifikaci rozlišovat jednotlivé stromy. Jelikož snímkování neprobíhalo za účelem zjišťování vegetace, data snímkování se výrazně liší, což byl jeden z důvodů pro rozlišení pouze dvou kategorií dřeviny bezlesí. Pro sledování dřevin je vhodné, aby se data snímkování lišila maximálně o 100 dní (GFW, 2006). Vliv vegetační doby je patrný hlavně u klasifikované vrstvy z jara roku 1962, která podceňuje skutečný stav, jelikož neobsahuje všechny listnaté dřeviny, které ještě nebyly rozeznatelné. Některé jarní snímky umožňují odlišení výrazných druhů, například porostů kvetoucích hlohů.

Modelování sukcese pomocí leteckých fotografií neodhaluje přímo hnací síly, které stojí za změnou krajiny, ale umožňuje při sledování zahrnutí většího kontextu, než při běžném terénním průzkumu. Snadno lze odhalit plochy, jejíž zarůstání neodpovídá běžným trendům a na nich dále provádět terénní průzkum.

4.2. Automatická klasifikace

Vyzkoušená metoda automatické objektově orientované klasifikace vedla ke zrychlení a zpřesnění klasifikace dřevin, oproti manuální interpretaci snímků, použité v bakalářské práci (Brůna, 2007).

Použití mediánových filtrů zvýšilo separabilitu objektů a umožnilo klasifikaci detailních černobílých leteckých snímků, i přes vysokou heterogenitu pixelů spadajících do jednoho objektu (Halounová, 2004). Použití Haralickových funkcí (Haralick, 1973) umožnilo klasifikovat heterogenní porosty křovin.

Některé plochy bezlesí byly klasifikovány jako dřeviny, jelikož na dané ploše byla dřevin převaha. Vizualně i funkčně je těžké odlišit, kdy se ještě jedná o bezlesí s křovinami a kdy se jedná o křoviny s bezlesím. Řízená automatická klasifikace poskytuje výhodu srovnatelnosti všech klasifikovaných ploch. Otázkou zůstává, zda mez nastavená pro rozlišení křovin a bezlesí odpovídá skutečnosti. Této problematice se věnuje kolega Kubát, který pomocí fytoecologických snímků zjišťuje zastoupení heliofilních druhů bezlesí v různě zarostlém prostředí ve střední části studované lokality. V bakalářské práci (Kubát, 2008) zjistil vliv pokrývnosti keřového patra na druhové složení vegetace. Podle výsledků jeho diplomové práce bude možné rozlišit, jak se liší

porosty dřevin o různé hustotě. Také on při popisu okolí zanedbává drobné keře, které pravděpodobně neovlivňují velkou část svého okolí.

4.3. Modelování

Vzniklý prostorově explicitní model zarůstání umožňuje přesnou lokalizaci ploch, které dlouhodobě odolávají sukcesí, přestože jiné plochy s obdobnou kombinací sledovaných faktorů zarostly. Díky tomu je možné omezit další terénní výzkum vlivů brzdících sukcesí jen na tyto plochy a vynechat plochy, kde lze bezlesí vysvětlit i kombinací faktorů, což výrazně zvyšuje efektivitu práce.

Spojení zobecněných lineárních modelů se smíšenými efekty a zpracování dat v matici na bázi celulárního automatu umožnilo přidání prostorových dat o nejbližším a širším okolí, které výrazně přispěly k vypovídací hodnotě modelu. Kontinuálního prostor matice umožnil využití velkého množství prostorově explicitních dat, což přineslo riziko závislosti jednotlivých hodnot blízkých bodů, která odporuje základnímu předpokladu nezávislosti pozorování při statistickém testování. To vedlo k přidání prostorových proměnných a ke snaze snížit počet pseudoreplikací přidáním údaje o čísle parcely do hierarchické struktury náhodných efektů lmer modelů. Dalším krokem bylo vytvoření aplikace, která umožňuje vizualizaci výsledků modelů a sledování vlivu jednotlivých proměnných.

Horší výsledky faktorových modelů lze vysvětlit i vysokou autokorelací dat, která nebyla dostatečně ošetřena. Pak by správným výsledkem, zohledňujícím faktory prostředí, byly modely celkové, které její část obsahují v prostorových proměnných (Borcard et al, 1992; Legendre, 1993). Problémem může být i mnohonásobné použití stejných dat. Modely v každém období probíhají pouze na místech, kde v předchozím období zůstalo bezlesí.

Zastoupení křovin je na lokalitě poměrně vysoké, v roce 2005 dosahovalo 34,6 % lokality (Brůna, 2007). Model může, díky sloučení kategorie stromy a křoviny, nadhodnocovat rychlost šíření dřevin. Při zobecňování modelu na krajiny s menším zastoupením křovin by bylo třeba tento nedostatek ošetřit, například použitím dvou různých modelů pro křoviny a lesy.

Při hodnocení úspěšnosti modelu je vždy určeno, že má zarůst stejný podíl zájmového území, jako ve skutečnosti. Hranice, která určuje nejnížší pravděpodobnost potřebnou pro změnu na dřeviny, je tudíž počítána pro každý model zvlášť a pohybuje se v rozsahu 14 % - 40 %, nejčastěji však okolo 33 %. Pokud by byla stanovena pevná hranice, model by předpovídal jiný podíl nových dřevin než ve skutečnosti, což by znemožňovalo srovnání modelů, ale možná by lépe predikoval místa, kde plocha skutečně zarostla. Takové nastavení by určitě stálo za další výzkum.

Nárůst úspěšnosti modelů s postupem času na začátku sekundární sukcese může být způsoben neidentifikovatelností pattern sekundární sukcese v době po opuštění půdy, jak zjistili

Sluiter a de Jong (2007) při studiu změn opuštěné půdy v jižní Francii. Od období 1984 - 1992 však úspěšnost modelů opět klesá. Vzhledem neustálému zmenšování plochy zbylých bezlesí je pravděpodobné, že vliv některých faktorů, které nejsou zahrnuty v modelu a udržují některá bezlesí, narůstá a naopak vliv studovaných faktorů klesá.

4.4. Vliv faktorů prostředí

Byl zjištěn celkově negativní vliv nadmořské výšky, potvrzující viditelný stav, kdy nejvíce bezlesí setrvává v nejvyšších polohách lokality. Potvrzuje to také zjištění Jelínka (1981) o nižším šíření dřevin ve výškách nad 700 m n. m. Patrně souvisí s klimatem a menším species poolu dřevin ve vyšších výškách. Negativní vliv TSI50 značí, že místa, která jsou v okolí 50 metrů nejvyšší (vyvýšeniny) zarůstají pomaleji než sníženiny ve stejném okolí. To lze vysvětlit rozdílným mikroklimatem takových útvarů, nebo například hloubkou půdy.

Svažitost ovlivňuje zarůstání pozitivně, nejspíš proto, že dané pozemky již před opuštěním nebyly příliš intenzivně využívány a dřeviny zde mohly být blokovány pouze pastvou, po jejímž skončení se mohly rychle šířit. To odpovídá i obecné tendenci opuštění využívané půdy s vysokou svažitostí (Rieckebusch et al., 2007). Nejmenší signifikantní vliv na šíření dřevin měl HLI, který v několika modelech ani nebyl signifikantní, což může být způsobeno i závislostí HLI na sklonu, přestože korelační koeficienty byly rozumně nízké. Jeho záporný vliv lze přisoudit rychlejšímu šíření dřevin na stinných místech oproti výslunným. Carmel a Kadmon (1999) označili svažitost a upravenou orientaci ke světovým stranám jako hlavní faktory ovlivňující pattern šíření dřevin mediteránní části Izraele. Na studované lokalitě však byla významnější proměnnou nadmořská výška. To je pravděpodobně způsobena nesrovnatelností reliéfu obou krajín.

Prostorové proměnné vysvětlují šíření dřevin na studované lokalitě lépe než faktory prostředí. Přesto jsou faktory prostředí odvozené z digitálního modelu cenným zdrojem informací při predikci distribuce vegetace. Je též možné, že kdyby byly rozlišovány jednotlivé druhy dřevin, byly by tyto proměnné mnohem důležitější, jak poukazují výsledky studií (Vojta a Kopecký, 2006) pro jednotlivé druhy dřevin a rostlin.

Vzhledem k tomu, že lokalita byla opuštěna ještě před intenzifikací zemědělství, zobecnění zjištěných výsledků není jednoduché. V krajině, kde dlouhodobě docházelo k přehnojování za účelem většího zisku z méně kvalitních půd, bude sekundární sukcese pravděpodobně mnohem méně ovlivněná topografickými proměnnými, jak shrnují (Kopecký, 2006; Vojta et al., 2007; Kopecký a Vojta, 2009).

4.5. Prostorové proměnné

Zjištěný vliv negativní vzdálenosti hustot dřevin v okolí odpovídá klasickému šíření dřevin od zdrojů semen, které bylo zjištěno i na studované lokalitě pomocí mapování dřevin a semenáčků vybraných druhů (Zajíčková, 2009). Silný vliv vzdálenosti od zdrojů semen prokázali též Pueyo a Alados (2007), kteří vyvozují, že fragmentace vegetace zpomaluje její šíření. Tím by se dal vysvětlit nárůst rychlosti zarůstání poté, co se dominantní složkou krajiny staly dřeviny (od období 1971 - 1984).

K většímu vlivu prostorových proměnných pravděpodobně přispívá i prostorová autokorelace dat, kterou se nejspíš nepodařilo úplně eliminovat. Snížení signifikance po přidání prostorových proměnných zjistili Lichstein et al. (2002). V použitých modelech však nebylo výrazné snížení signifikance pozorováno. Velký vliv prostorových vztahů však není v rozporu s obdobnými studii (např. Pueyo s Alados, 2007; Rieckebusch et al., 2007).

Obecně lze výsledky zjednodušit do tvrzení, že zarůstají především plochy blízko původních dřevin. Při šíření na delší vzdálenosti pak hrají roli i podmínky prostředí a původní land use.

Mnoho zbylých bezlesí se nachází v nejvyšších částech studované lokality (severovýchodní část lokality), kde je zároveň málo dřevin, od kterých by se mohly nové dřeviny šířit a navíc jsou zde poměrně hustě zapojené trávníky, které brání rozvoji dřevin. Je dosti pravděpodobné, že tato bezlesí budou nadále odolávat sukcesi i bez managementu, přestože se jejich plocha bude pravděpodobně velmi pomalu zmenšovat.

4.6. Vliv původního land use

Kopecký a Vojta (2009) uvádějí původní land use jako důležitý ekologický faktor, který může hrát zásadní roli při vzniku sekundárních porostů. Přestože se studovaná lokalita z velké části překrývá, vliv jednotlivých land use na krajinné úrovni byl ve všech modelech průkazný, avšak ne příliš velký. Může to být způsobeno prací na krajinném měřítku, jelikož Kopecký a Vojta (2009) zjistili signifikantní rozdíly mezi lokalitami. To může být způsobeno i nerozlišováním jednotlivých druhů dřevin, které naopak Kopecký a Vojta rozlišovali. Zajíčková (2009) zjistila větší vliv původního land use na starší jedince, což by poukazovalo na klesající vliv land use v průběhu času. V použitých modelech však vliv land use spíše stoupá. V počátcích sukcese lze velkou část variability vysvětlit pomocí prostorových proměnných, land use nehraje velkou roli, postupem času však vysvětlená variabilita ztracená při odebrání land use z modelu roste.

Ze zjištěného souhrnu vývoje za celou dobu sledování vyplývá, že nejhůře zarůstají původní louky, což lze interpretovat přítomností zapojených trávníků s nízkou mírou disturbance, které neumožňují vyklíčení dřevin (De Blois et al., 2004). Nejlépe naopak zarůstají místa v bývalé vesnici, což může být způsobeno vysokou mírou disturbance při její destrukci, ale i obecně dostatkem disturbovaných ploch v opuštěné vesnici (Vojta et al., 2007). Druhým nejlépe zarůstajícím typem land use jsou bývalé pastviny, což souvisí s jejich nejčastějším umístěním na svazích a již zmíněným vlivem pastvy šíření dřevin a existencí reziduálních porostů dřevin. Tomu by odpovídal i jejich celkově klesající příspěvek v modelech, obzvláště od období 1971-1984, kdy již pravděpodobně většina pastvin byla zarostlá.

Z managementového hlediska je zajímavé srovnání vývoj na plochách, které byly během sledovaného období ovlivněny lidskou činností a které nebyly zahrnuty do modelu. Z klasifikovaných leteckých snímků je zřejmé, že plochy, které byly v 70. letech koseny a paseny, zarůstají poměrně pomalu, na mnohých dodnes setrvává bezlesí. Případné zásahy k udržení bezlesí tudíž nemusí být nijak časté. Nesmí být ovšem tak intenzivní jako ty, ke kterým zde docházelo, jelikož vedly ke snížení diverzity, a dnešní bezlesí na těchto plochách jsou odlišná od těch, kde k žádným zásahům nedocházelo.

4.7. Kde hledat zbývající variabilitu

Rozhodně nelze veškerou nevysvětlenou variabilitu považovat za nevysvětlitelnou. Horší predikci zarůstání rozsáhlých ploch v některých obdobích lze pravděpodobně vysvětlit rychlým šířením některých zoochorně se šířících druhů (Cook et al., 2005), zvláště zástupců rodu *Crataegus*. Zahrnutím informací o druzích by šlo tuto závislost zkoumat. Některé porosty hlohů by bylo možné klasifikovat z použitých snímků, jelikož jsou snadno odlišitelné díky bílé barvě květů, bohužel ne všechny porosty kvetou ve stejnou dobu. Nárůst šíření zoochorně se šířících druhů na lokalitě zjistila Zajíčková (2009), která ho vysvětluje i lepším šířením těchto druhů v zarostlé krajině z důvodu přítomnosti více živočichů šířících semena v zarostlé krajině.

Vojta a Kopecký (2006) zjistili, že porosty křovin rodu *Crataegus*, spolu s druhem *Acer campestre*, se typicky vyskytují na bývalých polích a pastvinách, v místech zaniklých vesnic pak lze najít převážně druhy *Fraxinus excelsior* a *Acer pseudoplatanus*. Méně úživné pastviny zarůstají převážně druhy *Corylus avellana*, *Carpinus betulus* a vzácněji i *Betula pendula*. Přidání informací o druzích by pravděpodobně zvýšilo vliv původního land use na predikci.

Rostoucí vliv prostorových proměnných vyjadřujících množství dřevin v blízkém i rozsáhlejších okol, zjistili i Cook et al. (2005). Díky studiu jednotlivých druhů navíc zjistili, že některé druhy se do bezlesí šíří z velké vzdálenosti pomocí přenosu semen ptáky, přestože v okolí je dostatek jiných druhů. Další zajímavou proměnnou, použitou v tomto výzkumu je velikost

plošky, která pomáhá lépe modelovat rychlé zarůstání velkých ploch v počátku sekundární sukcese i setrvání drobných ploch bezlesí.

Model, který by byl schopen zohlednit individuální šíření dřevin, by mohl výrazně lépe predikovat zarůstání celé krajiny. Pro tento způsob modelování by se nejlépe hodilo použít modelů individuálních dřevin ve spojitém prostoru (IBM modely). Vhodným zdrojem dat by byla práce Zajíčkové (2009), která byla prováděna na některých částech lokality.

Jedním z nezahrnutých faktorů jsou i půdní vlastnosti, jejichž přesné zjištění by bylo v používaném měřítku velmi náročné. Sluiter a de Jong (2007), při modelování změn na území 20 km² a 30 km², označili za nejdůležitější proměnnou pro modelování změny krajinného pokryvu právě půdní vlastnosti, které získali digitalizací mapy půdních vlastností v měřítku 1:100 000. Při zvětšení modelovaného území by bylo vhodné takovéto údaje zahrnout. Pro studovanou lokalitu však ani dostupná mapa v měřítku 1:50 000 (AOPK, 2005) neposkytuje dostatečně podrobné informace z důvodu pedologické homogenity lokality, více variability lze zde vysvětlit pomocí topografie.

Drobná bezlesí mezi křovinami, která podle většiny modelů měla vymizet, nadále setrvávají v krajině, maximálně se pomalu zmenšují, což může být též způsobeno nepřesnou klasifikací v případě jiného směru stínu dřevin. Setrvání bezlesí je zde však pravděpodobně podmíněno jinými faktory, než těmi zahrnutými v modelu. Může se jednat o vliv mikroreliefu, např. mělké půdy, přítomnost konkurenčně silných trávníků blokujících šíření dřevin nebo např. vliv zvěře.

Zahrnutí vlivu zvěře do modelu by bylo velmi obtížné, jelikož zvěř je, na rozdíl od dřevin, mobilní a její chování nelze snadno predikovat. Výzkumu vlivu zvěře na semixeroterní trávnický zbývajícího bezlesí se věnuje kolegyně Horčíčková na části studované lokality (v místě největšího množství malých bezlesí). Ve své bakalářské práci zjistila, že 3,32 % lokality je v jeden okamžik viditelně narušeno činností zvěře, především se jedná o divoká prasata, jež jsou zde nejpočetnějším druhem divoké zvěře. Podstatnou část přitom tvoří cestičky 2,97 % a menší pak přímé rytí 0,35 % (Horčíčková, 2007). Cook et al. (2005) si setrvání malých plošek bezlesí v experimentálním systému vysvětlují jejich vysokou citlivostí k disturbancím, která může snižovat schopnost zakořenění a vysokou úmrtnost semen. Pokud by přerývání těchto zabraňovalo šíření dřevin, mohlo by to vysvětlit princip udržování těchto bezlesí. Ani zde by tedy management nebyl nutný. Přerývání však může mít i pozitivní vliv, například v zapojených trávnicích, kde je šíření dřevin blokováno silnou konkurencí trav. Jeho vliv je tedy nutné studovat v kombinaci s údaji o vegetaci.

4.8. Natura – vztah zarůstání a managementových cílů

Managementová opatření v uzavřené smlouvě o ochraně přírody odpovídají běžně používaným postupům pro zachování daných typů lokalit (Chytrý et al., 2001). Z důvodu ochrany druhů je navržena likvidace náletů na loukách s výskytem hnědáška chrastavcového a modráška bahenního, kromě rozptýlených ostrůvků křovin, která budou sloužit jako závětrří; narušování drnu a sečení. Z důvodu ochrany stanovišť je navrženo provádět opatření ve prospěch udržení stavu xerothermních rostlinných společenstev (6210 Polopřirozené suché trávníky a facie křovin na vápnatých podložích /*Festuco-Brometalia*/) a stejné opatření i pro (6510 Extenzivní sečené louky nížin až podhůří /*Arrhenatherion, Brachypodio-Centaureion nemoralit*/), u něj navíc i zajištění alespoň občasného kosení a zabránění invazí (Smlouva o chráněném území, 2009).

Jak již bylo uvedeno, některé cenné plochy bezlesí však mají potenciál k dalšímu setrvání i bez managementových opatření, jelikož dlouhodobě odolávají sukcesním tlakům, přestože jsou topografickými faktory i svoji polohou předurčeny k zarůstání. Některé plochy bezlesí bez zásahu člověka pravděpodobně zmizí, ale i přes toto riziko, je výzkum zbylých bezlesí jedinečnou příležitostí k pochopení procesů, které ovlivňují udržování pestré mozaiky dřevin a bezlesí v bezzásahové krajině. Jejich znalost by výrazně přispěla k zjednodušení managementu takových území.

Prostorově explicitní model zohledňující tyto procesy by mohl sloužit k efektivnímu plánování managementových zásahů, které by vedly k dosažení cílů ochrany s vynaložením minimálních nákladů.

5. Závěr

5.1. Výzkumné otázky

- **Je rychlost zarůstání opuštěné krajiny konstantní?**

Z klasifikovaných historických leteckých snímků byla zjištěna rostoucí rychlost zarůstání, pokud je počítána jako relativní úbytek bezlesí. Celkově zarůstalo v období 1999 – 2005) každým rokem průměrně pouze 0,74 % lokality, což je mnohem méně než průměrných 2,10 % ročně v období 1962 – 1971. Jelikož však bezlesí neustále ubývá, je i toto číslo poměrně vysoké. Celkem zbývá na lokalitě pouze 9,81 % bezlesí bez viditelných zásahů člověka. Tímto tempem by do 14 let zmizelo úplně, to by znamenalo konec bezlesí v roce 2019. Díky existenci procesů a vlivů, které se nepodařilo pomocí modelování identifikovat, však pravděpodobně vydrží déle.

- **Má historické využití půdy dlouhodobý vliv na šíření dřevin?**

I déle než 50 let po opuštění půdy byly údaje o původním land use signifikantní proměnnou, vysvětlující distribuci dřevin. V celkových modelech sice nepřispívaly takovou měrou k úspěšnosti modelů, jako jiné proměnné, vždy však trochu zlepšovaly úspěšnost.

- **Je šíření dřevin víc ovlivněno faktory prostředí, nebo výchozím prostorovým uspořádáním?**

Ve všech modelech vysvětlovalo prostorové uspořádání výchozích dřevin více variability distribuce dřevin, než faktory prostředí odvozené z digitálního výškového modelu. Ve většině období byly modely založené na prostorových proměnných úspěšnější, než modely založené na prostorových proměnných v kombinaci s faktory prostředí. To může být způsobeno vysokou prostorovou autokorelací dat, která nebyla dostatečně ošetřena.

- **Šíří se dřeviny jen od okrajů stávajících dřevin, nebo vykazují i jiné pattern?**

Dřeviny se šíří od okrajů stávajících dřevin, avšak některé velké plochy zarůstají velmi rychle, bez ohledu na vzdálenost k původním porostům. To může být způsobeno šířením některých druhů pomocí zvěře, která zvětšuje možnosti prostého šíření dřevin. Toto pattern nebylo modely predikováno, nebylo zjištěno z klasifikovaných leteckých snímků.

- **Mění se význam jednotlivých faktorů prostředí nebo prostorových vztahů v průběhu sukcese?**

Význam jednotlivých proměnných byl v průběhu studovaných 53 let od opuštění půdy poměrně stabilní. Postupem času roste vliv nejbližšího okolí a nadmořské výšky.

5.2. Cíle

- **Posouzení možnosti sledování sukcesního vývoje dřevinné vegetace pomocí série leteckých snímků a možnosti automatizace procesu.**

Byl ověřen postup pro využití historických leteckých snímků pro sledování vývoje distribuce vegetace, který byl z části automatizovaný, což celý proces urychlilo. Do budoucna by bylo vhodné najít přesnější algoritmy, aby ubylo manuální editace automatických výsledků, jejich hledání je však velmi časově náročné.

- **Posouzení sukcesního vývoje opuštěného území, zejména ustupující plochy bezlesí.**

Posouzením sukcese byl zjištěn poměrně rychlý trend úbytku zbylého bezlesí, který nebyl pouhým okem patrný. Změna probíhá v poslední době rychleji, než se předpokládalo.

- **Vytvoření modelu zarůstání zájmového území dřevinami pro lepší sledování a interpretaci probíhajících dlouhodobých změn. Tento model bude možno použít i na jiném území.**

Použitý postup modelování se osvědčil. Navíc vznikla aplikace PEMZOK, která umožňuje prostorově explicitně srovnat vliv stejných proměnných na zarůstání opuštěné krajiny i pro jiná území. Toto srovnání by pomocí statistických programů nebylo možné.

- **Analýza prostorových, stanovištních a krajinných faktorů určujících rychlost zarůstání opuštěné krajiny dřevinami a jejich distribuci v prostoru.**

Pomocí použitých proměnných bylo v každém období vysvětleno přes 30 % variability distribuce dřevin. Nejlepší modely dosahovaly až 40 % upravené úspěšnosti.

- **Analýza vlivu původního land use a prostorových vztahů dřevin na šíření dřevin v opuštěné krajině.**

I po více než 50 letech od opuštění půdy je bývalý land use významnou složkou, která pomáhá vysvětlit šíření vegetace v prostoru. Prostorové vztahy byly ze všech prediktorů nejdůležitější. Algoritmy použité při jejich výpočtu z klasifikovaných snímků navíc umožní jejich výpočet pro libovolné studované území. Kromě běžně používané vzdálenosti k nejbližší dřevině, lze navíc počítat i hustoty dřevin v okolí.

6. Reference

6.1. Literatura

- Akaike, H. (1974)** A new look at the statistical model identification. *System identification and time-series analysis. IEEE Trans. Automatic Control AC-19*, 716-723.
- AOPK (2005)** Půdní mapa ČR list 11 – 22 Kadaň. *Agentura ochrany přírody a krajiny*. Dostupné online: http://www.nature.cz/publik_syst2/files15/1122n.pdf (28.8.2009).
- Atkinson, P. M., Foody, G. M., Gething, P. W., Mathur, A., Kelly, C. K. (2007)** Investigating spatial structure in specific tree species in ancient semi-natural woodland using remote sensing and marked point pattern analysis. *Ecography* 30, 88-104.
- Augustin, M. (1994)** Akce D - vysídlení Doupovska v letech 1953-1954. *Historický sborník Karlovarska 2, 1994, s. 295-310*.
- Baatz, M., Schäpe, A. (2000)** Multiresolution segmentation— an optimization approach for high quality multiscale image segmentation. *In: Strobl J et al (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg, September 2000, Karlsruhe, Herbert Wichmann Verlag, 12–23*.
- Babůrek J. (1998)** Geologie Doupovských hor. *in: Augustin (eds). Historický sborník Karlovarska VI: 5–14*.
- Baker, W.L., (1989)** A review of models of landscape change. *Landscape Ecology* 2, 111–133.
- Baltzer, H., Braun, P.W., Kohler, W. (1998)** Cellular automata models for vegetation dynamics. *Ecological Modelling* 107, 113–125.
- Bates, D., Maechler, M., Dai, B. (2008)** Package lme4: Linear mixed-effects models using S4 classes. R package version 0.999375-28. <http://lme4.r-forge.r-project.org/> (19.8.2009).
- Baudry, J. (1991)** Ecological consequences of grazing, extensification and land abandonment: Role of interactions between environment, society and techniques. *In: J Baudry, RGH Bunce (eds) Land abandonment and its role in conservation, 13–19*.
- Benz, U. C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I., and Heynen, M. (2004)** Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 58, 239-258.
- Bird, A. C., Taylor, J. C., Brewer, T. R. (2000)** Mapping National Park landscape from ground, air and space. *International Journal of Remote Sensing* 21, 2719–2736.
- Borcard, D., Legendre, P., Drapeau, P. (1992)** Partialling out the spatial component of ecological variation. *Ecology* 73, 1045–1055.
- Brůna, J. (2007)** Využití GIS pro posouzení změny krajinného pokryvu na modelovém území v Doupovských horách. *Bakalářská práce Depon. in Knihovna Ústavu pro životní prostředí PřF UK, Praha*.
- Brůna, V., Křováková, K. (2006)** Využití starých map středního a velkého měřítka pro sledování vývoje lesů. *In: Neuhöferová P (ed.): Historie a vývoj lesů v českých zemích, sborník referátů. 111-118. Katedra pěstování lesů FLE ČZU v Praze, Srní*.
- Burrough, P., McDonnell, R. (1998)** Principles of Geographical Information Systems. *Oxford University Press, Oxford*.
- Carmel, Y., & Kadmon, R. (1999)** Effects of grazing and topography on long-term vegetation changes in a Mediterranean ecosystem in Israel. *Plant Ecology* 145, 243–254.

- Carreiras, J. M. B., Pereira, J. M.C., Pereira, J. S. (2006)** Estimation of tree canopy cover in evergreen oak woodlands using remote sensing. *Forest Ecology Management* 223, 45-53.
- Colasanti, R. L., Hunt, L., Watrud, L. (2007)** A simple cellular automaton model for high-level vegetation dynamics. *Ecological Modelling* 203, 363–374.
- Cook, W. M., Yao, J., Foster, B. L., Holt, R. D., Patrick, L. B. (2005)** Secondary succession in an experimentally fragmented landscape: community patterns across space and time. *Ecology* 86, 1267-1279.
- Corona, P., Calvani, P., Mugnozza, G. S., Pompei, E. (2008)** Modelling natural forest expansion on a landscape level by multinomial logistic regression. *Plant Biosystems* 142, 509-517.
- Crawley, M. J. (2007)** The R Book. Wiley.
- ČÚZK (2005)** Základní báze geografických dat ZABAGED®
http://www.cuzk.cz/Dokument.aspx?PRARESKOD=998&MENUID=0&AKCE=DOC:30-ZU_ZABAGED (25.8.2009).
- Davis, F., Goetz, S. (1990)** Modeling vegetation pattern using digital terrain data. *Landscape Ecology* 4, 69–80.
- De Blois, S., Brisson, J., Bouchard, A. (2004)** Herbaceous Covers to Control Tree Invasion in Rights-of-Way: Ecological Concepts and Applications. *Environmental Management* 33, 606–619.
- De Smith, M. J., Goodchild, M. F., Longley, P. A. (2007)** Geospatial Analysis (2nd Edition): A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools (2 ed.).
Troubador Publishing. Leicester: Matador.
- Definiens (2007)** Definiens Developer 7 - User Guide. *Definiens AG, München Germany*
- Definiens AG. (2007)** Definiens Developer 7, <http://earth.definiens.com/products/definiens-developer> (25.8.2009).
- Dennis, R.L.H., Shreeve, T.G., Sparks, T.H., Lhonore, J.E. (2002)** A comparison of geographical and neighbourhood models for improving atlas databases. The case of the French butterfly atlas. *Biology Conservation* 108, 143 - 159.
- Dostálová, A. (2009)** Tree seedlings: how do they establish in spontaneously developed forests? A study from a mountainous area in the Czech Republic. *Biodiversity Conservation* 18, 1671- 1684
- Drhovská, L. (2007)** Význam historické struktury krajiny pro současnou vegetaci křovin.
Diplomová práce Depon. in Knihovna katedry botaniky PřF UK, Praha.
- Dzwonko, Z., Loster, S. (1992)** Species richness and seed dispersal to secondary woods in southern Poland. *Journal of Biogeography* 19, 195–204.
- Ellenberg, H. (1988)** Vegetation ecology of central Europe, 4th edn. *Cambridge University Press, Cambridge.*
- ESRI (2008)** FAQ: What is the format of the world file used for georeferencing images?
<http://support.esri.com/index.cfm?fa=knowledgebase.techarticles.articleShow&d=17489>
(18.8.2009).
- ESRI Inc. (2008)** ArcGIS 9.3 - ArcEditor- ArcMap, ArcScene.
<http://www.esri.com/software/arcgis/arceditor/index.html> (25.8.2009).
- FAO (2007)** The agriculture-forest interface. *Committee on Forestry, XVIIIth Session, Inf. 5, Rome.*

- Faria, J.C., Grosjean, P., Jelihovschi, E. (2008)** TINN-R 2.2.0.2, TINN-R GUI/Editor for R language and Environment, <http://www.sciviews.org/Tinn-R/> (25.8.2009).
- Franklin, J. (1995)** Predictive vegetation mapping: geographic modeling of biospatial patterns in relation to environmental gradients. *Progress in Physical Geography* 19, 474–499.
- Gardner, M. (1971)** On cellular automata, self-reproduction, the garden of Eden and the game ‘life’. *Scientific American* 224, 112–117.
- Geodis (2009)** <http://www.geodis.cz/sluzby/fastorto> (20.4.2009).
- GeoEye (2009)** http://www.geoeye.com/CorpSite/assets/docs/brochures/GeoEye-1_Fact_Sheet.pdf (22.8.2009).
- Guisan, A., Edwards, T. C., Hastie, J. T. (2002)** Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: Setting the scene. *Ecological Modelling* 157, 89–100.
- Guisan, A., Zimmermann, N. (2000)** Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135, 147–186.
- Guth J (1998)** Evaluation of a landscape story along the former “Iron curtain”. In: Kovář P, Pušová R, Kulišek P (eds) *Present and historical nature-culture interactions in landscapes (experience for the 3rd millenium) — International conference program and abstract book*. Karlova univerzita, Praha, 190–195.
- GWF: Global Forest Watch Canada (2006)** Forest landscape change analysis: boreal foothills ecoprovince. http://www.globalforestwatch.ca/WBWL/ab-foothills/Alberta_Methodology_and_Definitions.pdf (18.5.2007).
- Hájek, F. (2008)** Process-based approach to automated classification of forest structures using medium format digital aerial photos and ancillary GIS information. *European Journal of Forest Research* 127, 115–124.
- Halounová, L. (2004)** The Automatic Classification of B&W Aerial Photos. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 34, Part XXX.
- Hannes, F., Schmidlein, S. (2009)** Mapping continuous fields of forest alpha and beta diversity. *Applied Vegetation Science* publ online 20.5.2009 in advance of print.
- Haralick R, Shanmugam K, Dinstein, I. (1973)** Textural features for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 3, 610– 621.
- Hastie, T. J, Tibshirani, R. J. (1990)** Generalized Additive Models. *Chapman & Hall/CRC*.
- Hay, G. J. , Castilla, G., Wulder, M. A., Ruiz, J.R. (2005)** An automated object-based approach for the multiscale image segmentation of forest scenes. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 7, 339–359.
- Herben, T., Münzbergová, Z., Mildén, M., Ehrlén, J., Cousins, S. A. O., Eriksson, O. (2006)** *Journal of Ecology* 94, 131–143.
- Holopainen, M., Wang, G. (1998)** The calibration of digitized aerial photographs for forest stratification. *International Journal of Remote Sensing* 19, 677–696.
- Horčíčková , E. (2007)** Vliv velkých savců na vývoj a diverzitu vegetace. *Bakalářská práce Depon. in Knihovna Ústavu pro životní prostředí PřF UK, Praha*.
- Hutchinson, M.F. (1988)** Calculation of hydrologically sound digital elevation models. *Paper presented at Third International Symposium on Spatial Data Handling at Sydney, Australia*.

- Chytrý M., Kučera T., Kočí N. (eds) (2001)** Katalog biotopů České republiky, *Agentura ochrany přírody a krajiny ČR*.
- Ihse, M. (1995)** Swedish agricultural landscapes—patterns and changes during the last 50 years, studied by aerial photos. *Landscape and Urban Planning* 31, 21–37.
- Institute of Geography at the University of Hamburg (2007)** SAGA 2.0.0, System for Automated Geoscientific Analyses, <http://www.saga-gis.org> (28.8.2009).
- Jelínek, F. (1981)** Sukcese a struktura vegetace na úhorech Doupovských hor. *Disertační práce, Depon. in Knihovna katedry botaniky PřF UK, Praha*.
- Kaplan, V., Keprtová, K., Konečný, M., Podhrázský, Z., Stachoň, Z., Tajovská, K. (2005)** Multimediální učebnice Kartografie a Geoinformatiky, Geografický ústav PřF MU Brno, <http://www.geogr.muni.cz/ucebnice/kartografie/index.php> (16.8.2009).
- Kopecký M., Vojta, J. (2009)** Land use legacies in post-agricultural forests in the Doupovské Mountains, Czech Republic. *Applied Vegetation Science* 12, 251–260.
- Kopecký, M. (2006)** Historický pohled na vegetaci sekundárních lesů v Doupovských horách. *Diplomová práce Depon. in Knihovna katedry botaniky PřF UK, Praha*.
- Korpela, I. (2006)** Geometrically accurate time series of archived aerial images and airborne lidar data in a forest environment. *Silva Fennica* 40, 109–126.
- Kubát, M., (2008)** Diverzita heliofních druhů bylin v opuštěné krajině. *Bakalářská práce Depon. in Knihovna katedry botaniky PřF UK, Praha*.
- Legendre, P. (1993)** Spatial autocorrelation: problem or new paradigm? *Ecology* 74, 1659–1673.
- Legendre, P., Legendre, L. (1998)** Numerical Ecology, *2nd English ed. Elsevier, Amsterdam*.
- Leica (2003)** ERDAS IMAGINE Tour Guide. Leica Geosystems GIS & Mapping, LLC, Atlanta, Georgia.
- Leica Geosystems GIS & Mapping, LLC (2004)** ERDAS Imagine 8.7, <http://www.erdas.com> (25.8.2009).
- Lett, CH., Silber, C., Barret, N. (1999)** Comparison of a cellular automata network and an individual-based model for the simulation of forest dynamics. *Ecological Modelling* 121, 277–293.
- Lichstein, J.W., Simons, T.R., Shriner, S.A., Franzreb, K.E. (2002)** Spatial autocorrelation and autoregressive models in ecology. *Ecological Monographs* 72, 445–463.
- McCune B, Dylan K (2002)** Equations for potential annual direct incident radiation and heat load. *Journal of Vegetation Science* 13: 603 – 606.
- McNab, H.W. (1989)** Terrain shape index: Quantifying effect of minor landforms on tree height. *Forest Science* 35, 91-104.
- McNab, W.H. (1993)** A topographic index to quantify the effect of mesoscale landform on site productivity. *Canadian Journal of Forest Research* 23, 1100-1107.
- Microsoft Corp. (2007a)** Microsoft Office 2007 – Microsoft Excel, <http://www.microsoft.com/cze/office/programs/default.aspx> (27.8.2009).
- Microsoft Corp. (2007b)** Microsoft Visual C# 2008 Express, <http://www.microsoft.com/express/vcsharp/> (27.8.2009).
- Microsoft Corp. (2007c)** Microsoft .NET Framework 3.5 SP1, <http://msdn.microsoft.com/en-us/netframework/default.aspx> (27.8.2009).

- Miller, J., Franklin, J. (2002)** Modelling the distribution of four vegetation alliances using generalized linear models and classification trees with spatial dependence. *Ecological Modelling* 157, 227–247.
- Miller, J; Franklin, J; Aspinall, R (2007)** Incorporating spatial dependence in predictive vegetation models. *Ecological Modelling* 202, 225-242.
- Molofsky, J., Bever, J.D. (2004)** A new kind of ecology? *BioScience* 54, 440–446.
- Moore I. D., Grayson R. B. & Ladson A. R. (1991)** Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. *Hydrological Processes* 5, 3–30.
- MSDN (2009)** Microsoft Developer Network, C# Programmer's Reference, [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/678hzkk9\(VS.71\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/678hzkk9(VS.71).aspx) (16.8.2009).
- Münzbergová, Z., Herben, T., Mildén, M. & Ehrlén, J. (2005)** Fragmentation effects and conservation strategies assessed by means of a realistic spatially-explicit dynamical model. *Ecological Applications* 15, 1377–1386.
- Nelder, J., Wedderburn, R. (1972)** "Generalized Linear Models". *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)* 135, 370–384.
- Odum, E. P. (1969)** The strategy of ecosystem development: an understanding of ecological succession provides a basis for resolving man's conflict with nature. *Science* 164, 262–270.
- Osbornová, J., Kovářová, M., Lepš, J., Prach, K. (1990)** Succession in Abandoned fields: Studies in Central Bohemia, Czechoslovakia. *Kluwer Academic Publisher, Dordrecht/Boston/London (Printed in the Netherlands)*.
- PCI Geomatics Inc. (2008)** PCI Geomatica 10.0.3 - Orthoengine, <http://www.pcigeomatics.com> (26.8.2009).
- Peterson, L. K., Bergen, K.M., Brown, D.G., Vashchuk, L., Blam, Y. (2009)** Forested land-cover patterns and trends over changing forest management eras in the Siberian Baikal region. *Forest Ecology and Management* 257, 911–922.
- Pillai, R. B., Weisberg, P.J., Lingua, E. (2005)** Object-oriented classification of repeat aerial photography for quantifying woodland expansion in Central Nevada. *Proceedings of the 20th biennial workshop on aerial photography, videography and high resolution digital imagery for resource assessment. Weslaco, Texas. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*.
- Prach K. (1994)** Vegetation succession on river gravel bars across the northwestern Himalayas, India. *Arctic Alpine Research* 26, 349–353.
- Prach, K., Řehouňková, K. (2006)** Vegetation succession over broad geographical scales: which factors determine the patterns? *Preslia* 78, 469 – 480.
- Pueyo, Y., Alados, C.L. (2007)**. Effects of fragmentation, abiotic factors and land use on vegetation recovery in a semi-arid Mediterranean area. *Basic Applied Ecology* 8, 158–170.
- Pueyo, Y.; Begueria, S. (2007)** Modelling the rate of secondary succession after farmland abandonment in a Mediterranean mountain area. *Landscape And Urban Planning* 83, 245-254.
- R Development Core Team (2009)** R 2.9.0, R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org> (24.8.2009).

- Rickebusch, S., Gellrich, M., Lischke, H.; Guisan, A.; Zimmermann, N.E. (2007)** Combining probabilistic land-use change and tree population dynamics modelling to simulate responses in mountain forests. *Ecological Modelling* 209, 157-168.
- Ricotta, C. (2007)** Random sampling does not exclude spatial dependence: the importance of neutral models for ecological hypothesis testing. *Folia Geobotanica* 42, 153-160
- Riebsame, W.E., Meyer, W.B., Turner, B.L. (1994)** Modelling land use and cover as part of global environmental change. *Climatic Change* 28, 1-10.
- Rocchini, D. (2004)** Misleading information from direct interpretation of Geometrically Incorrect aerial photographs. *Photogrammetric Record* 19, 138-148.
- Roth, P., Lacina, D., (2007)** Soustava Natura 2000. In: Čihař, M., Hřebík, Š., Růžičková, J., Třebický, V. (Eds.): *Udržitelný management přírodě blízkých oblastí, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Ústav pro životní prostředí, 118-123.*
- Rutherford, G.N., Guisan, A., Zimmermann, N.E. (2007)** Evaluating sampling strategies and logistic regression methods for modelling complex land cover changes. *Journal of Applied Ecology* 44, 414-424.
- Seidl, V. (2008)** NATURA 2000, *Vojenské lesy a statky* 5, 14-15.
- Silvertown, J., Holtier, S., Johnson, J., Dale, P. (1992)** Cellular automaton models of interspecific competition for space - the effect of pattern on process. *Journal of Ecology* 80, 527-534.
- Sluiter, R., de Jong, S. M. (2007)** Spatial patterns of Mediterranean land abandonment and related land cover transitions. *Landscape Ecology* 22, 559-576.
- Smlouva o chráněném území (2009)**, uzavřená v Praze dne 25.3.2009 mezi VLS ČR, s.p. (Vojenskými lesy a statky ČR, s.p.), VUSS Praha (Vojenskou ubytovací a stavební správou), SVBF Praha (Správou vojenského bytového fondu) jako vlastníky pozemků a ÚÚřVÚ (Újezdním úřadem vojenského újezdu Hradiště) jako orgánem ochrany přírody.
- Šmilauer, P. (2007)** Moderní regresní metody. *Biologická fakulta JU, České Budějovice*, Dostupné online: <http://regent.jcu.cz/MRM.pdf> (16.8.2009).
- Taylor, A. R., Chen, H. Y. H., VanDamme, L. (2009)** A Review of Forest Succession Models and Their Suitability for Forest Management Planning. *Forest Science* 55, 23 -36.
- Thórhallsdóttir, T. E. (1990)** The dynamics of five grasses and white clover in a simulated mosaic sward. *Journal of Ecology* 78, 909 - 923.
- Tobler, W. (1979)** Cellular geography. In: *Gale, G.O.S. (Ed.), Philosophy in Geography. Reidel, Dordrecht, 379-389.*
- Tomášek M. (1967)** Půdy na zvětralinách čedičů a čedičových pyroklastik na území Čech. *Disertační práce, Depon. in ÚVÚRV, Praha.*
- USGS (2008)** http://landsat.usgs.gov/products_data_at_no_charge.php (22.8.2009).
- Vojta J, Kopecký M, Drhovská L (2007)** Diverzita rostlin v křovinaté krajině vojenského újezdu Hradiště. In: *Petříček P. et Kuchařová P (eds.): Ochrana přírody a krajiny ve vojenských újezdech, sborník z konference, Libavá 3.-4.května 2006, Praha, 187-194.*
- Vojta, J., Kopecký, M. (2006)** Vegetace sekundárních lesů a křovin Doupovských hor. *Zprávy ČBS* 41, 209-225.
- Weisstein, E. W. (1999)** "Moore Neighborhood." MathWorld--A Wolfram Web Resource. <http://mathworld.wolfram.com/MooreNeighborhood.html> (16.8.2009).
- Wolfram, S. (1984)** Cellular automata as models of complexity. *Nature* 311, 419-424.

Yusuke, N. (2002) Creating Orthorectified Aerial Photography Without A Camera Calibration Report. *ESRI Japan*. http://gi.leica-geosystems.com/documents/pdf/Aerial_photo.pdf (24.8.2009).

Zajíčková, L. (2009) Faktory ovlivňující rozšíření dřevin v opuštěné krajině. *Diplomová práce Depon. in Knihovna katedry botaniky PřF UK, Praha*.

6.2. Citované obrázky a fotky

Obrázek 3 – fotografie Tocova z doby před opuštěním, zdroj: **www.zanikleobce.cz**, dostupný online: <http://www.zanikleobce.cz/index.php?detail=4970> (20.8.2009).

Necitované obrázky jsou dílem autora práce © Josef Brůna 2009.







7. Přílohy

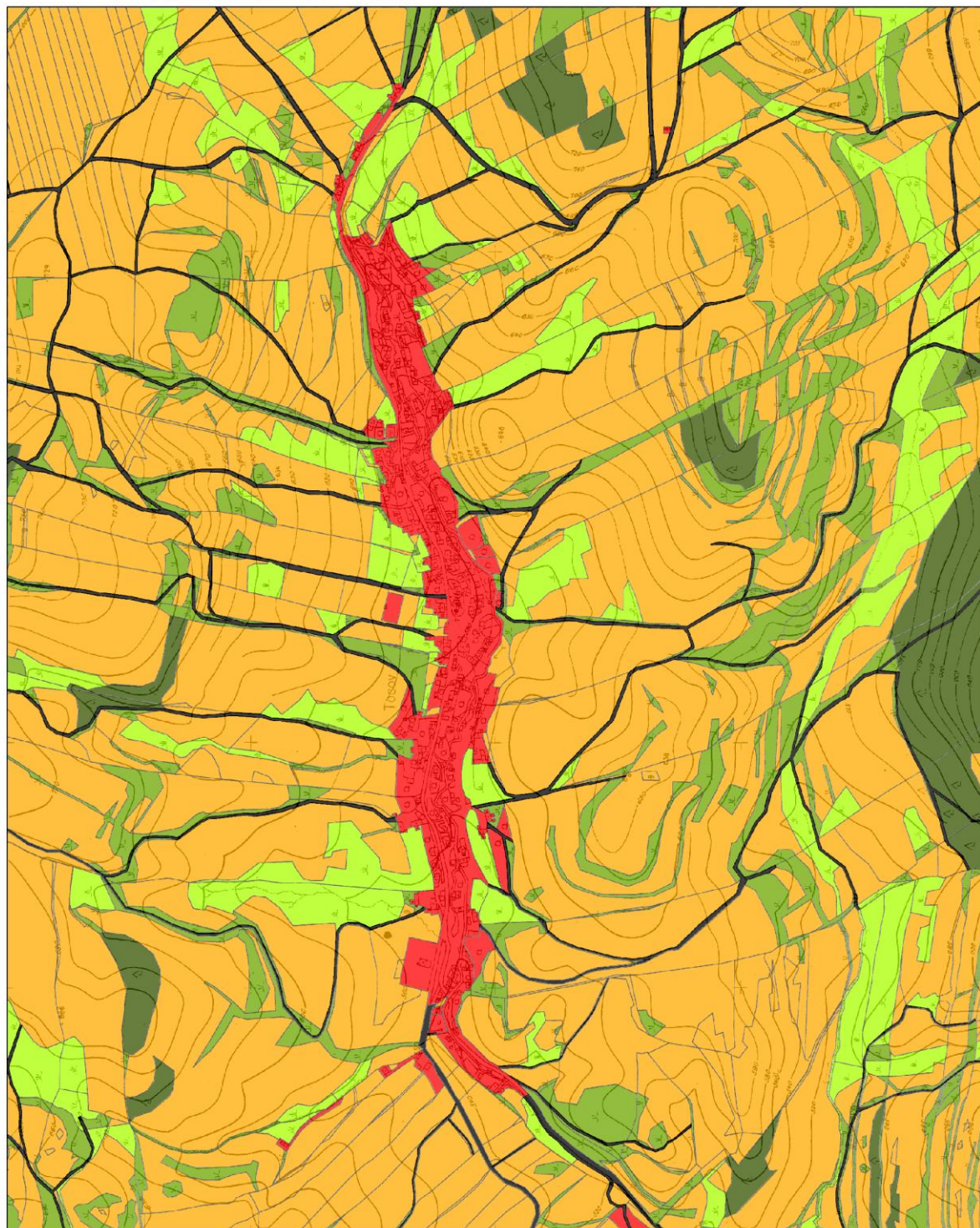
Seznam

7. PŘÍLOHY	I
7.1. MAPY	I
PŘÍLOHA 1 LAND USE PŘED OPUŠTĚNÍM LOKALITY, NA POZADÍ SMO	II
PŘÍLOHA 2 VOJENSKÁ MAPA ÚZEMÍ 1:25 000.....	III
PŘÍLOHA 3 VYTVOŘENÁ ORTOFOTOMAPA LOKALITY V ROCE 1952.....	IV
PŘÍLOHA 4 VYTVOŘENÁ ORTOFOTOMAPA LOKALITY V ROCE 1962.....	V
PŘÍLOHA 5 VYTVOŘENÁ ORTOFOTOMAPA LOKALITY V ROCE 1971.....	VI
PŘÍLOHA 6 VYTVOŘENÁ ORTOFOTOMAPA LOKALITY V ROCE 1984.....	VII
PŘÍLOHA 7 VYTVOŘENÁ ORTOFOTOMAPA LOKALITY V ROCE 1992.....	VIII
PŘÍLOHA 8 ORTOFOTOMAPA LOKALITY V ROCE 1999 OD ČÚZK	IX
PŘÍLOHA 9 ORTOFOTOMAPA LOKALITY V ROCE 2005 OD ČÚZK	X
7.2. PŘÍLOHA 10 POKYNY K PRÁCI S APLIKACÍ PEMZOK	XI
7.3. PŘÍLOHA 11 DOKUMENTACE MATICE POUŽÍVANÉ V APLIKACI.....	XV
7.4. PŘÍLOHA 12 PARAMETRY LMER MODELŮ.....	XVI
7.5. PŘÍLOHA 13 C# ZDROJOVÉ KÓDY-HLAVNÍCH ALGORITMŮ	XVII
ZDROJOVÝ KÓD 1 VÝPOČET HUSTOTY DŘEVIN V MOOROVĚ OKOLÍ DANÉHO ROZMĚRU.....	XVII
ZDROJOVÝ KÓD 2 VÝPOČET VZDÁLENOSTI K NEJBLIŽŠÍ DŘEVINĚ	XVII
ZDROJOVÝ KÓD 3 HLEDÁNÍ DĚLÍCÍ HODNOTY	XX
7.6. PŘÍLOHA 14 CD	XXI

7.1. Mapy

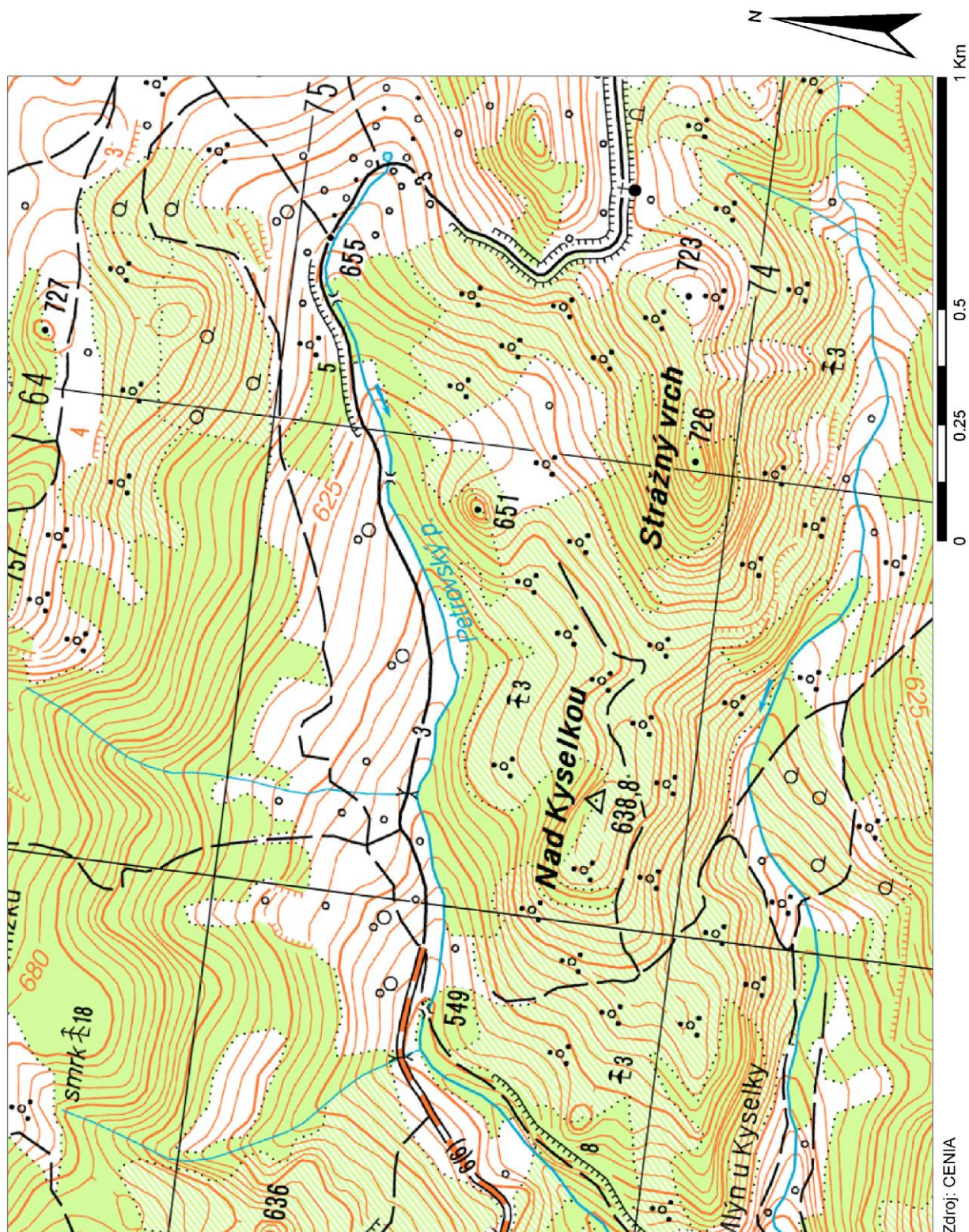
Legenda

Land use	
Pole	
Pastvina	
Louka	
Vesnice	
Les	
Cesta	



SMO poskytli ČÚZK, vektorizoval Kopecký (2006) a Drhováská (2007)

Příloha 1 Land use před opuštěním lokality, na pozadí SMO



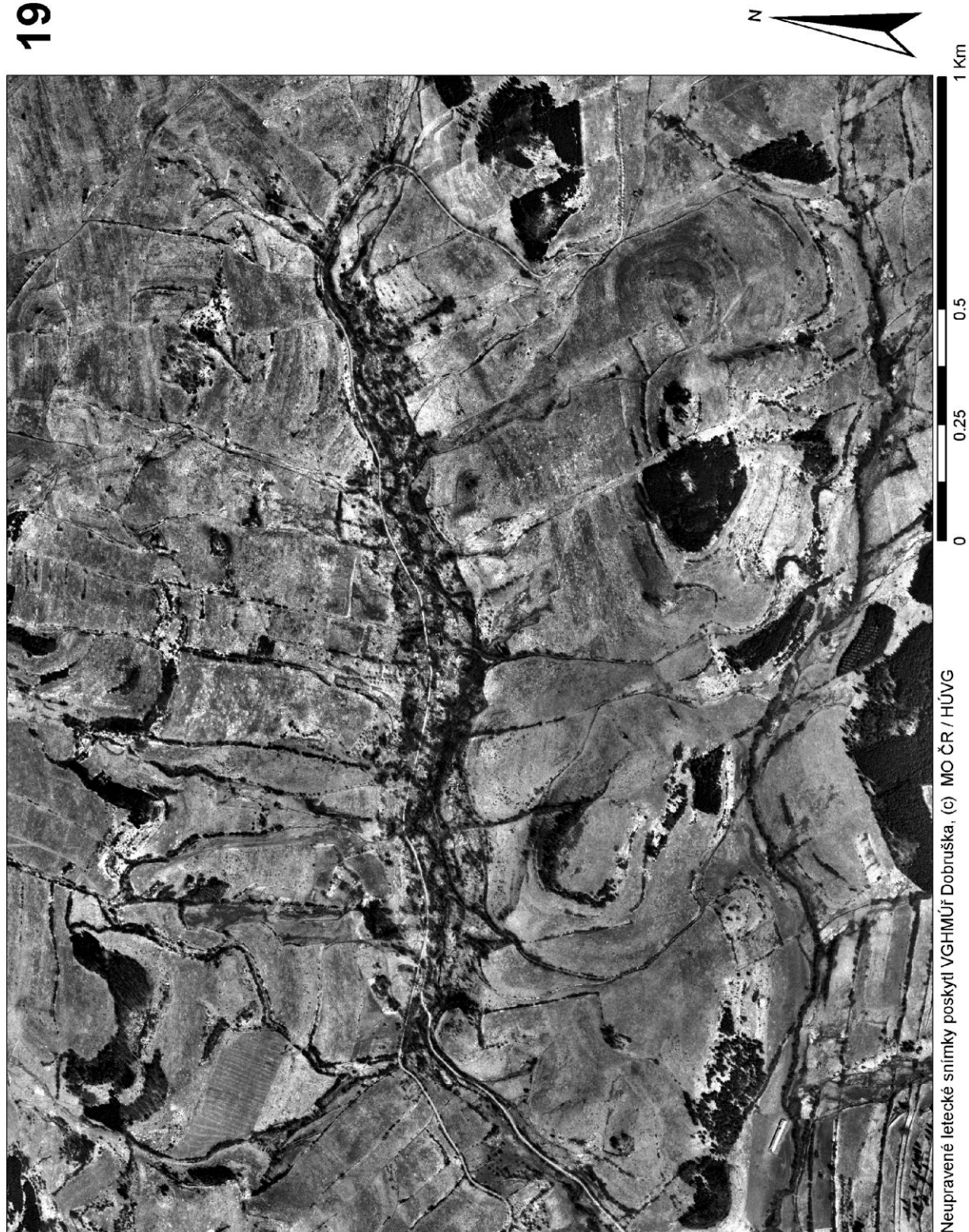
Příloha 2 Vojenská mapa území 1:25 000

1952



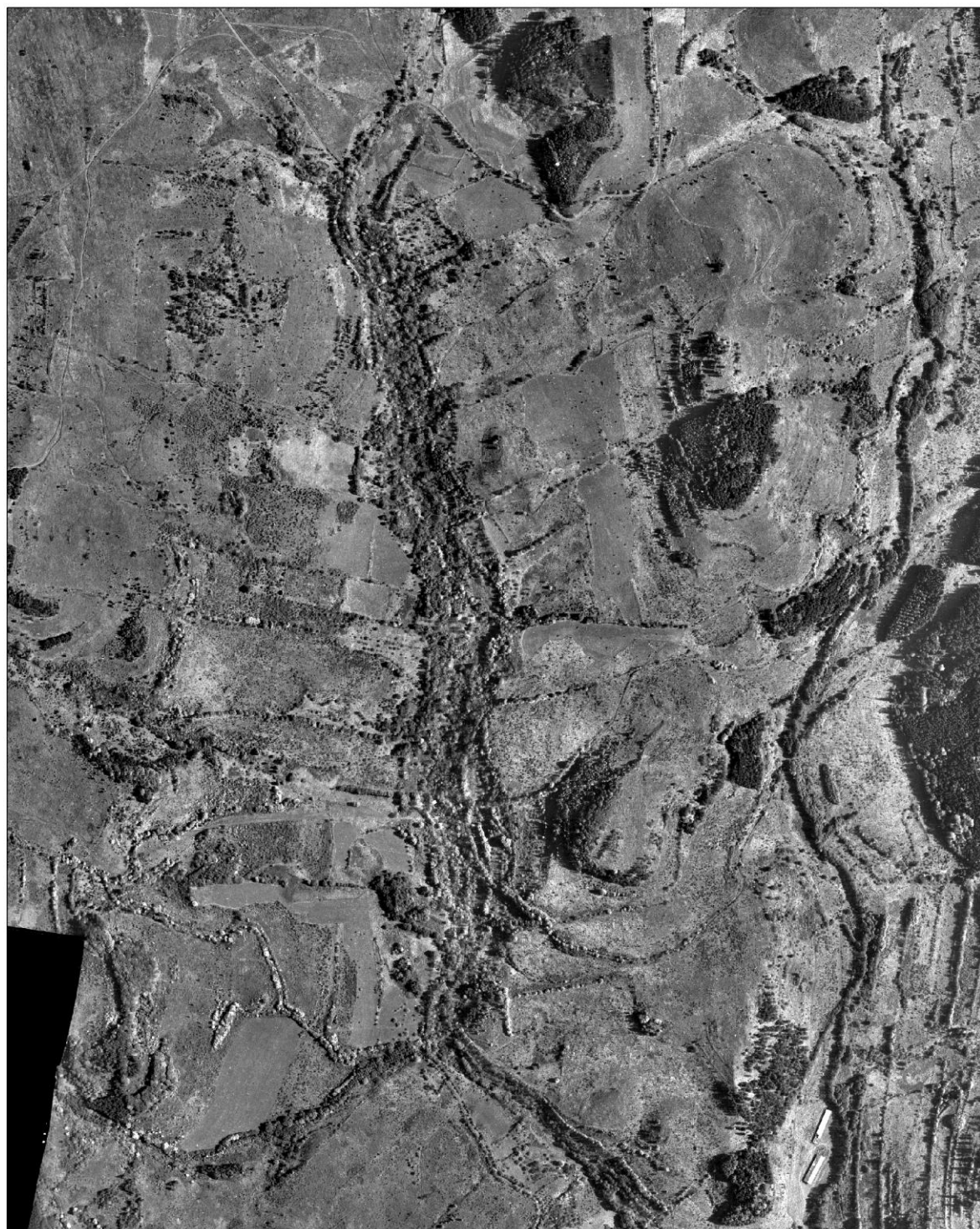
Příloha 3 Vytvořená ortofotomapa lokality v roce 1952

1962



Příloha 4 Vytvořená ortofotomapa lokality v roce 1962

1971



Neupravené letecké snímky poskytl VGHMÚř Dobruška, (c) MO ČR / HÚVG

Příloha 5 Vytvořená ortofotomapa lokality v roce 1971

1984



Neupravené letecké snímky poskytl VGHMÚř Dobruška, (c) MO ČR / HÚVG

Příloha 6 Vytvořená ortofotomapa lokality v roce 1984

1992



Neupravené letecké snímky poskytl VGHMÚř Dobruška, (c) MO ČR / HÚVG

Příloha 7 Vytvořená ortofotomapa lokality v roce 1992

1999



Příloha 8 Ortofotomapa lokality v roce 1999 od ČÚZK

2005



Příloha 9 Ortofotomapa lokality v roce 2005 od ČÚZK

7.2. Příloha 10 Pokyny k práci s aplikací PEMZOK

Nahrávání dat

Před nahráváním dat je vhodné nastavit vstupní a výstupní adresář v menu Nastavení. Aplikace používá pro načítání dat textový soubor ve formátu TXT. Každý řádek smí obsahovat jedno číslo, které lze převést do datového typu double⁴. Jako desetinný oddělovač je použita tečka. V prvním řádku může být záhlaví, pak je třeba zaškrtnout políčko „**Má zdroj záhlaví?**“ v části Načítání - volby. Údaje ze záhlaví nejsou nikde

používány. Pro popis jakékoliv načtené vrstvy se používá název souboru. Soubory obsahující **distribuci dřevin v určitém roce mohou mít pouze číselný název** odpovídající danému roku. Jednotlivé vrstvy lze nahrát do části **dřeviny**. Je zde celkem 7 míst pro nahrání dřevin, aby bylo možné snadno měnit nastavení časového období modelu. Je třeba nastavit výchozí a konečnou vrstvu. Model spočítá jejich rozdíl, který je možné si zobrazit tlačítkem „Ukázat změnu.“ Podíl nově zarostlé plochy je použit při výpočtu dělicí hodnoty. Tento údaj není možné zadat.

Land use musí mít pouze dané kategorie se stejným číselným označením.

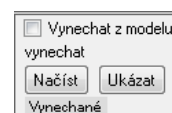
Faktory prostředí musí být exportovány z GISU do formátu ASCII přesně v rozlišení 500 × 400 pixelů. Po importu stačí načíst vytvořený soubor. Jeho název se použije pro označení proměnné. Je vhodné volit názvy do 10 znaků, kvůli přehlednosti. Během načítání lze data standardizovat a centrovat (zaškrťovací políčka v části Načítání - volby, tyto volby fungují jen pro načítání faktorů prostředí a prostorových proměnných). Veškerá vstupní data přiložená k této práci jsou již standardizována a centrována.

Prostorové proměnné lze načíst (opět je možné standardizovat a centrovat), nebo spočítat, ke spuštění výpočtu slouží tlačítko Spočítat v příslušné části. Lze zvolit jiný zdroj dat v části Jiný zdroj dat pro prostor, zde je vhodné nahrát neupravené distribuce dřevin včetně lidských zásahů, jelikož při prostorových vztazích již nepřítomnost dřevin, i když způsobená člověkem, má vliv. Pokud není jiný zdroj vybrán, je použita výchozí vrstva dřevin. K nastavení

⁴ Datový typ double má rozsah hodnot $\pm 5.0 \times 10^{-324}$ to $\pm 1.7 \times 10^{308}$ a přesnost 15-16 číslic (MSDN, 2009)

standardizace a centrování vypočítávaných proměnných slouží samostatná zaškrťávací políčka v části prostor, pro výpočty modelu je oboje nastavení doporučené. Velikost počítaných matic lze nastavit, po změně rozměru je třeba kliknout na tlačítko Zvolit u příslušného nastavení. Výpočet prostorových proměnných je poměrně náročný. Jeho průběh lze sledovat na blízkém progress baru. Nad ním je název vrstvy, jejíž data jsou aktuálně uložena v aplikaci (byla spočítána naposledy). Během výpočtu lze s aplikací nadále pracovat (nahrávat data apod. spouštění výpočtu modelu není vhodné).

V části vynechat z modelu lze načíst binárně kódované plochy, kde nemá být model počítán, 1= vynechat, 0= lze modelovat.

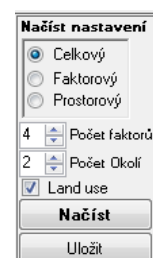


Nastavení modelu

Po nastavení výchozího a koncového roku modelování je třeba zvolit a nahrát příslušné proměnné a jejich vliv. V jednotlivých částech je třeba načíst jednotlivé faktory. Zda bude faktor zahrnut lze ovlivnit zaškrťávacím políčkem nalevo od názvu faktoru. Části Land use, Faktory a Prostor mají nahoře zaškrťávací políčko „**Použity**“, tím lze snadno vyřadit z modelu celou jednu část.

Je možné nastavit Intercept, jeho velikost však na úspěšnost modelu nemá vliv, pouze zvyšuje pravděpodobnosti všech bodů. Další nastavitelnou položkou je „Random.“ Jde o náhodně generovanou proměnnou v rozsahu $<-1; 1>$ s nulovým průměrem a jednotkovou směrodatnou odchylkou, která může znáhodnit výsledky. Na úspěšnost modelu má minimální vliv. Model spuštěný pouze s Random faktorem mívá úspěšnost $<-0,2 \%; 0,2 \%$ což ukazuje správnost výpočtu upravené úspěšnosti.

Následně je třeba nastavit vliv jednotlivých proměnných do textových polí za názvem dané proměnné. Zde je opět jako desetinný oddělovač použita tečka. Vlivy lze také načíst ze souboru TXT v části „**Načíst nastavení**“. Zde je třeba dobře zvolit typ nahrávaného modelu, počet faktorů, a zda je zahrnut i land use a intercept. Formát vstupního souboru je TXT, kde jsou řádky pouze s číselnými hodnotami. Každý řádek opět obsahuje 1 hodnotu, kterou lze převést na datový typ double v pořadí: Intercept, Land use – jednotlivé kategorie (celkem 4), faktory – až 8 dle nastavení a prostor – vzdálenost a 0 - 2 hustoty dřevin (Počet okolí). Načítací algoritmus není schopen načíst hodnoty v jiném než tomto pořadí, proto je třeba správně nastavit načítání. Soubor tohoto formátu lze získat jednoduchým zkopírováním buněk s jednotlivými údaji z aplikace Microsoft Excel (Microsoft Corp., 2007a) a jejich vložením do poznámkového bloku. Je vhodné zkontrolovat, zda jsou všechny proměnné, kterým je přiřazen vliv opravdu načtené (nejlépe vizuálně pomocí tlačítka ukázat). Tlačítko pro načtení nastavení žádná data nenahrává, pouze vyplňuje nastavení vlivů. Správnost zadání modelu lze zkontrolovat pomocí tlačítka „**Ukázat text modelu**,“



v blízkém textovém poli je pak k nahlédnutí zjednodušená formulace modelu podobná zadání modelu v prostředí R (R Core Development Team, 2009), ale jsou zde navíc vlivy jednotlivých proměnných. Vliv kategoriální proměnné Land use je vyjádřen pomocí hodnot v závorce, oddělených znakem „|“. Pokud zde některá proměnná nemá název, znamená to, že pro ni nejsou načtena data.

Spuštění modelu

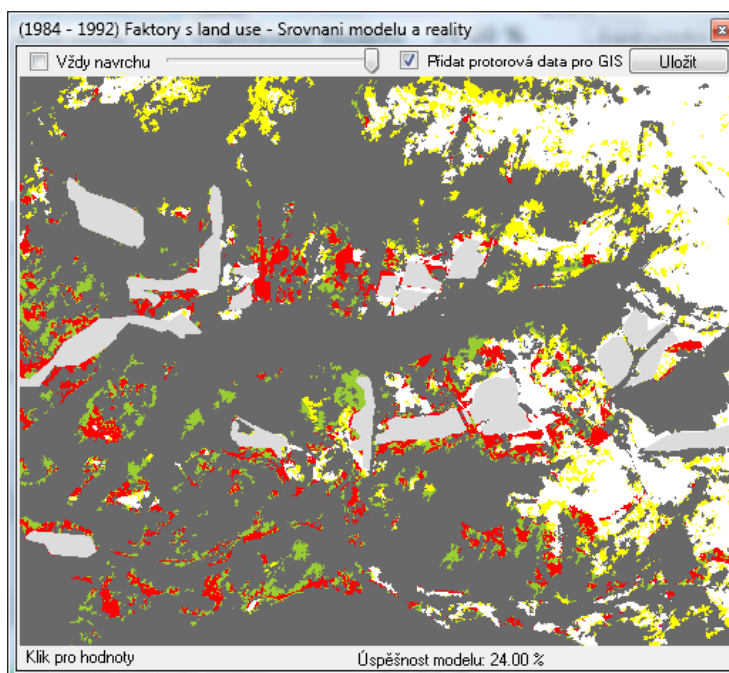
Tlačítko „Spustit model“ spustí výpočet, o jeho průběhu informuje blízký progress bar. Pokud nebyl zvolen dostatek



faktorů, nebo dané faktory s danými vlivy nevytváří dostatečně heterogenní pravděpodobnosti, model přidá náhodnou proměnou „Random“ s vlivem 0.01.

Jednotlivé výsledky modelu lze zobrazit v dalších oknech. Na výběr jsou přímé výsledky (hodnoty pro jednotlivé body před odlogitováním), pravděpodobnosti, reziduály modelu a binární model, který zobrazuje pouze předpovězené dřeviny, což je vhodné pro srovnání pomocí překryvu s jinými proměnnými či výsledky.

Tlačítka ukázat vždy vytvoří nové okno, kde je vidět mapa dané proměnné. V záhlaví lze zvolit, aby okno zůstávalo vždy navrchu, průhlednost okna pomocí posuvníku a zaškrtačací políčko ovlivňující přidávání prostorových souřadnic k ukládáním obrázkům pro použití GISu. K tomu je použit soubor typu world file (ESRI, 2008). Je použit souřadný systém S-JTSK – Křovákovo zobrazení. Umístění jednotlivých rohů a velikost pixelu je



možné nastavit v menu Nastavení, velikost matice zatím není možné nastavit., jelikož určuje rozměry výpočetní matice, která se vytváří při startu programu. Na pravé straně je tlačítko umožňující uložení dané mapy do CSV, TXT, BMP a TIFF. Ve spodní části jsou údaje o minimální a maximální hodnotě (pokud mají smysl), nebo úspěšnost daného modelu. Po kliknutí na určitý pixel se jeho hodnota zobrazí v levé spodní části okna. Pokud jsou data standardizována a centrována, slouží tento údaj jen pro srovnání.

Výsledky všech spuštěných modelů lze průběžně ukládat do logu (Zaškrťovací políčko „Ukládat Log“, výsledky jednotlivých modelů lze exportovat i samostatně pomocí tlačítka Export u výsledků. Aplikaci si uchovává výsledek nejlepšího modelu v takzvané „historii“, ten lze kdykoliv exportovat pomocí tlačítka v historii. Historii lze kdykoliv uložit (Menu soubor), pokud není uložena, při dalším spuštění modelu načte pouze naposledy uložené hodnoty. Historii lze také smazat v menu nastavení. Tato funkce slouží k srovnání dosažených výsledků. Pokud je model úspěšnější než nejlepší model v historii, aplikace na tuto skutečnost upozorní.

V menu soubor je možné si prohlédnout aktuální naplnění výpočtové matice modelu.

Import slouží k načtení ASCII dat exportovaných z ArcGIS pomocí funkce Raster to ASCII. Převádí tento formát na formát používaný v aplikaci (sloupec hodnot s jednou hodnotou na řádku). Export umožňuje exportovat obsah výpočtové matice do CSV, se kterou lze dále pracovat v tabulkovém editoru (vzhledem k množství řádků je vhodné použít Microsoft Excel 2007; Microsoft Corp., 2007a), tento formát lze také zobrazit pomocí běžných textových editorů.

V menu Nápověda je odkaz umožňující kontrolu aktuální verze programu pomocí webové stránky programu. Pokud je nalezena novější verze, program upozorní a nabídne návštěvu stránek s aktualizací.

Aktuální verze aplikace jsou dostupné na webu: <http://sites.google.com/site/pemzok/>

Použití zdrojového kódu je možné pouze se souhlasem autora. Kontakt je možný na webu nebo pomocí e-mailové adresy: bruna1@natur.cuni.cz

7.3. Příloha 11 Dokumentace matice používané v aplikaci

Aplikace PEMZOK je založena na třírozměrné matici. Jejich dva rozměry tvoří prostorové souřadnice, třetí rozměr slouží k ukládání jednotlivých vrstev dat.

Tab. 13 Dokumentace použité matice

Číslo	Typ	Název	Poznámka
0	Vstupní	Dřeviny	Alternativní zdroj pro výpočet prostorových charakteristik – neupravené
1		Dřeviny	Vyhrazeno datům z klasifikovaných leteckých snímků – převedené do binární podoby 01 – bezlesí/dřevina
2		Dřeviny	
3		Dřeviny	
4		Dřeviny	
5		Dřeviny	
6		Dřeviny	
7		Dřeviny	
8	Výpočetní	Změna	
9	Vstupní	Land use	Kategoriální proměnná o historickém využití půdy
10	Vstupní	Vynecháno	Definuje místa, kde je důvod model nepoužít – například zásahy člověka
11		Faktor 1	Jednotlivé faktory prostředí odvozené z digitálního modelu terénu, nebo i jiné. Předpokladem je spojitost proměnné
12		Faktor 2	
13		Faktor 3	
14		Faktor 4	
15		Faktor 5	
16		Faktor 6	
17		Faktor 7	
18		Faktor 8	
19	Vstupní/ výpočetní *	Vzdálenost	
20		M1 – Nejmenší okolí	Hustota dřevin v blízkém (M1) a větším okolí (M2) – velikosti obou okolí lze změnit
21		M2 – Střední okolí	
22	Výpočetní	Hrubý součet modelu	Bez odlogitování
23		Pravděpodobnosti (p hodnoty)	P hodnoty modelu pro jednotlivé pixely – odpovídají pravděpodobnostem, že v dané buňce dojde ke změně
24		Binární 01 model	Pixely s největší pravděpodobností změny převedené na 1, ostatní 0
25		Srovnání	Srovnání modelu a skutečnosti - zdroj pro základní srovnávací obrázek
26	Výpočetní **	Random	Náhodná proměnná generovaná při spuštění programu – Bílý šum
27	Výpočetní	Reziduály	Reziduály modelu
28	Vstupní/ výpočetní *	M3- Velké okolí	Hustota dřevin v okolí – velikost lze opět nastavit, přidána pro účely testování modelu

* Tyto vrstvy lze nahrát, nebo nechat spočítat ze zvolené výchozí nebo alternativní vrstvy

** Vrstva je generována náhodně, k výpočtu v ní nedochází

7.4. Příloha 12 Parametry lmer modelů

Výsledky lmer modelů (estimaty vlivu jednotlivých proměnných) sloužící pro nastavení aplikace PEMZOK. Je použita desetinná tečka, z důvodu kompatibility s aplikací.

	1952-1962	1962-1971	1971-1984	1984-1992	1992-1999	1999-2005
Celkový						
(Intercept)	-2.78703	-0.940686	0.71409	0.814	1.36617	1.49289
Pastvina	0.79689	0.619229	0.52399	0.09192	0.11663	-0.55657
Louka	0.38266	0.360868	-0.82547	-0.60825	-1.21515	-1.199
Vesnice	0.70783	1.612565	-1.62839	-0.53599	1.77375	-0.79588
Cesta	0.83338	-0.001115	0.04487	0.1514	-0.46419	-0.11062
HLI	-0.32532	-0.586211	0.17071	-0.05059	0	-0.12355
výška	0.25946	-0.939724	0.08987	-0.1452	-0.2688	-0.21639
svažitost	0.08496	-0.150221	0.38493	0.16261	0.14624	0.29311
TSI50	-0.10358	-0.387148	-0.31496	-0.14555	-0.35495	-0.07735
Vzdálenost	-0.75348	-0.258918	-0.2471	-0.45784	-0.10608	-0.19025
Okolí_1	1.1643	0.949508	0.79594	0.83818	1.2167	0.88086
Okolí_10	0.34236	0.767898	0.72325	0.89138	0.72008	0.36513
Celkový bez land use						
(Intercept)	-2.41634	-0.6733	0.62027	0.74958	1.21824	1.18397
HLI	-0.32056	-0.5857	0.17608	-0.04899	0	-0.12528
výška	0.25706	-0.94266	-0.02016	-0.14155	-0.28215	-0.21901
svažitost	0.08884	-0.15003	0.40374	0.16596	0.15364	0.29968
TSI50	-0.10209	-0.38719	-0.27983	-0.14287	-0.34713	-0.06942
Vzdálenost	-0.75702	-0.25946	-0.25391	-0.45899	-0.1053	-0.18974
Okolí_1	1.16812	0.95146	0.72665	0.83908	1.21985	0.88346
Okolí_10	0.34171	0.76914	0.65855	0.89121	0.72459	0.36538
Prostorový						
(Intercept)	-2.74439	-0.14613	0.60877	0.77701	1.264678	1.35787
Pastvina	0.77647	-0.26661	0.76268	0.05803	-0.00193	-0.5301
Louka	0.30461	0.01602	-0.6555	-0.56232	-0.98135	-1.18715
Vesnice	0.5955	1.39757	-1.52647	-0.45832	1.97428	-0.78773
Cesta	0.77738	-0.0187	0.22535	0.15123	-0.37151	-0.12424
Vzdálenost	-0.74786	-0.23952	-0.25342	-0.49122	-0.13387	-0.21203
Okolí_1	1.165	0.9459	0.80657	0.85317	1.229485	0.86641
Okolí_10	0.40105	0.69386	0.72039	0.91609	0.747067	0.42993
Faktorový						
(Intercept)	-3.00724	-1.15591	-0.07674	-0.43489	-0.24689	-0.04241
Pastvina	1.19241	0.79264	1.01881	0.45927	0.27548	-0.324
Louka	0.52838	0.44937	-0.40717	-0.69175	-1.4642	-1.33552
Vesnice	2.04094	2.84907	-0.976	-0.93395	1.08695	-0.59878
Cesta	1.10273	-0.11763	0.15269	-0.19179	-0.86173	-0.21882
HLI	-0.34101	-0.64816	0	-0.04264	0	-0.19554
výška	0	-0.90599	-0.38765	-0.58091	-0.66128	-0.6282
svažitost	0.30326	0.13271	0.46654	0.39085	0.36381	0.42916
TSI50	-0.09076	-0.3495	-0.3154	-0.20023	-0.35176	-0.12638


```

if (matice[i, j, vstup] == 1) //pokud tam dřevina je tak je vzdálenost 0
    matice[i, j, porad] = 0;
else //jinak je třeba ji spočítat
{
    hotovo = false;
    int okoli = 1;
    int maximum = 65; //stanoveno empiricky, jako největší vzdálenost na lokalitě,
    omezuje maximálně uvažované okolí menší číslo by zrchlilo algoritmus
    while (okoli < maximum) //pro pocítání ve veškerém okolí
    { //postup procházení okolí po blocích
        for (im = (i - okoli); im <= (i + okoli); im++) //horní řádek
        { //vyřeší outy
            jm = j + okoli;
            if (im < 0) imu = -im - 1;
            else if (im >= (konecSloupce)) imu = (2 * konecSloupce - im - 1);
            else imu = im;

            if (jm < 0) jmu = -jm - 1;
            else if (jm >= (konecRadku)) jmu = (2 * konecRadku - jm - 1);
            else jmu = jm;
            //outy vyřešeny, teď vzdálenost
            if (matice[imu, jmu, vstup] == 1)
            {
                hotovo = true;
                if (!prvni) maximum = Convert.ToInt32(okoli * 1.5);
                prvni = true;
                int a, b;
                a = Math.Abs(i - im);
                b = Math.Abs(j - jm);
                vzdalenost = Math.Sqrt((a * a) + (b * b));
                if (vzdalenost < matice[i, j, porad]) matice[i, j, porad] =
vzdalenost;
            }
        } //konec horního řádku
        for (jm = (j - okoli); jm <= (j + okoli); jm++) //pravý sloupec
        { //vyřešíme outy
            im = i + okoli;
            if (im < 0) imu = -im - 1;
            else if (im >= (konecSloupce)) imu = (2 * konecSloupce - im - 1);
            else imu = im;
            if (jm < 0) jmu = -jm - 1;
            else if (jm >= (konecRadku)) jmu = (2 * konecRadku - jm - 1);
            else jmu = jm;
            //outy vyřešeny, teď vzdálenost
            if (matice[imu, jmu, vstup] == 1)
            {
                hotovo = true;
                if (!prvni) maximum = Convert.ToInt32(okoli * 1.5);
                prvni = true;
                int a, b;
                a = Math.Abs(i - im);
                b = Math.Abs(j - jm);
                vzdalenost = Math.Sqrt((a * a) + (b * b));
                if (vzdalenost < matice[i, j, porad]) matice[i, j, porad] =
vzdalenost;
            }
        }
    } //konec pravého sloupce
    for (im = (i - okoli); im <= (i + okoli); im++) //dolní řádek
    { //vyřešíme outy
        jm = j - okoli;
        if (im < 0) imu = -im - 1;
        else if (im >= (konecSloupce)) imu = (2 * konecSloupce - im - 1);
        else imu = im;

        if (jm < 0) jmu = -jm - 1;
        else if (jm >= (konecRadku)) jmu = (2 * konecRadku - jm - 1);
        else jmu = jm;
        //outy vyřešeny, teď vzdálenost
        if (matice[imu, jmu, vstup] == 1)
        {

```

```

        hotovo = true;
        if (!prvni) maximum = Convert.ToInt32(okoli * 1.5);
        prvni = true;
        int a, b;
        a = Math.Abs(i - im);
        b = Math.Abs(j - jm);
        vzdalenost = Math.Sqrt((a * a) + (b * b));
        if (vzdalenost < matice[i, j, porad]) matice[i, j, porad] =
vzdalenost;
    }
}
//konec dolního řádku
for (jm = (j - okoli); jm <= (j + okoli); jm++)//levý sloupec
{ //vyřešíme outy
    im = i - okoli;
    if (im < 0) imu = -im - 1;
    else if (im >= (konecSloupce)) imu = (2 * konecSloupce - im - 1);
    else imu = im;
    if (jm < 0) jmu = -jm - 1;
    else if (jm >= (konecRadku)) jmu = (2 * konecRadku - jm - 1);
    else jmu = jm;
    //outy vyřešeny, teď vzdálenost
    if (matice[imu, jmu, vstup] == 1)
    {
        hotovo = true;
        if (!prvni) maximum = Convert.ToInt32(okoli * 1.5);
        prvni = true;
        int a, b;
        a = Math.Abs(i - im);
        b = Math.Abs(j - jm);
        vzdalenost = Math.Sqrt((a * a) + (b * b));
        if (vzdalenost < matice[i, j, porad]) matice[i, j, porad] =
vzdalenost;
    }
}
//konec levého sloupce
okoli = okoli + 1;
} //konec while
} //konec počítání vzdálenosti
} //konec procházení řádku
} //konec procházení sloupce
}

```

Popis průběhu modelu

Nejprve jsou spočítány příspěvky jednotlivých použitých proměnných v každém pixelu, následuje odlogitování, které vede k matici pravděpodobností. V ní je určena dělicí hodnota tak, že odděluje stejný počet pixelů s nejvyšší pravděpodobností, jako odpovídá počtu zarostlých pixelů ve skutečnosti (Zdrojový kód 3). Díky této hodnotě je vytvořena binární matice určující, kde model predikuje zarůstání a reziduály pro jednotlivé pixely. Predikce je porovnána se skutečností a je spočtena upravená úspěšnost modelu. Pokud vstupní proměnné neprodukují dostatečně heterogenní hodnoty, umožňující nalezení dělicí hodnoty, je navrženo přidání random proměnné s vlivem 0.01, která heterogenitu zvyšuje, aniž by příliš ovlivňovala výsledky.

Zdrojový kód 3 Hledání dělicí hodnoty

```

private void najit_delici_hodnotu(int vrstva)//parametrizace umožňuje v případě
potřeby hledat hodnotu i v jiné vrstvě, přestože to zatím není využíváno
{//cílem je najít hodnotu, která iodděluje tolik větších hodnot, jako odpovídá počtu
nově zarostlých ploch
double dolni = 0;
double horni = 1;
double stred = (horni + dolni) / 2;
int maZarust = pocetNovych;// pocet novych pixelů dřevin známý ze srovnání výchozího
a konečného roku
int maxPresnost=35;//počet maximálních dělení hodnoty 1/(2 na maxPresnost udává
nejmenší rozlišitelnou hodnotu)
int presnost=1;
int pocetVetsich=0;//počet hodnot oddělených danou hranicí
double hranice = 1 / 2; //pomocná proměnná
double pocVec=0; //pomocná proměnná

while (presnost<maxPresnost)//presnost je dana 2 na kolikatou je nejmensi rozlisitelna
jednotka
{
pocetVetsich = 0;
for (int i = 0; i < (konecSloupce); i++)
{
for (int j = 0; j < konecRadku; j++)
{
int xx = Convert.ToInt32(matice[i, j, vrstva]);
switch (xx)
{
case -9999://vynecháno
break;
case -9991://dřeviny zmizely
break;
case -9992://dřeviny-dřeviny
break;
default:
if (matice[i, j, vrstva] > stred) pocetVetsich++;
break;
}
}
}
if (pocetVetsich > maZarust)//pokud je hodnot málo, sníží se dělicí hodnota
{
horni = stred;
stred = (horni + dolni) / 2;
pocVec = pocetVetsich;
}
else
{
if (pocetVetsich > maZarust)
{
dolni = stred;
stred = (horni + dolni) / 2;
pocVec = pocetVetsich;
}
else if (pocetVetsich == maZarust) //pokud byla nalezena, algoritmus se ukončí
{
presnost = maxPresnost;
pocVec = pocetVetsich;
}
}
presnost++;//pokud nebyla nalezena, je její hodnota zpřesněna
}
}
//konec while
hranice = stred;
deliciHodnota = hranice; // uložení do globální proměnné
label42.Text= hranice.ToString();
minProJedna = deliciHodnota;
label95.Text = (pocVec/pocetBezlesi).ToString("p");//ukazuje kolik procent zarostlo,
pro kontrolu se skutečným stavem
}

```

7.6. Příloha 14 CD

Struktura obsahu:

DP.pdf	vlastní text práce
Aplikace	
Aplikace\Instal	Instalační soubory aplikace
Aplikace\MS.NET_3.5	potřebná instalace Microsoft .NET Framework 3.5 SP1
Aplikace\Zdroj	RTF verze všech zdrojových kódů aplikace a složka s projektem pro Microsoft Visual C# 2008 Express Edition
Nastaveni	Nastavení jednotlivých modelů, která lze pomocí aplikace načíst
Ortofoto	ortofotomapy v nízkém rozlišení ve formátu TIFF vytvořené z leteckých snímků z roku 1952, 1962, 1971, 1984, 1992, získaných od VGHMÚř Dobruška © MO ČR/ HÚVG
VstupniData	Data v potřebném formátu TXT pro import do aplikace (i v podsložkách) – zde binární klasifikace leteckých snímků
VstupniData\Factory	Použité vysvětlující proměnné
VstupniData\Neupravene	Neupravené verze klasifikace leteckých snímků (zde mohou dřeviny i mizet) – vhodné pro výpočet vzdáleností a hustot dřevin
Vysledky	Rastry srovnání modelů a skutečnosti

Aktuální verze aplikace jsou dostupné na webu: <http://sites.google.com/site/pemzok/>

Použití zdrojového kódu je možné pouze po kontaktu autora. To je možné pomocí webu nebo na e-mailové adrese: bruna1@natur.cuni.cz