

VYUŽITÍ DIGITÁLNÍ STEREOFOTOGRAMMETRIE JAKO PODPŮRNÝCH DAT PRO AUTOMATIZOVANOU TVORBU LESNICKÝCH TEMATICKÝCH MAP

Filip HÁJEK¹, Radim ADOLT², Ondřej TOMANČÁK³, Klára STUDENÁ⁴, Markéta KANTOROVÁ⁵

^{1,3,5} Specializované pracoviště fotogrammetrie a DPZ, ÚHÚL pobočka Frýdek-Místek, Nádražní
2811, 738 025, Frýdek-Místek, ČR
hajek.filip@uhul.cz

^{2,4} Analytické centrum Národní inventarizace lesů, ÚHÚL pobočka Kroměříž, Náměstí Míru 498,
767 01, Kroměříž, ČR
adolt.radim@uhul.cz

Abstrakt

Sledování stavu a vývoje lesních ekosystémů je jednou z hlavních činností Ústavu pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem. Významným přínosem pro zajištění této činnosti je využití digitální stereo-fotogrammetrické interpretace CIR kompozitu leteckých měřických snímků. Pomocí této metody se realizuje šetření inventarizačních ploch v rámci projektu Národní inventarizace lesů. Primárním cílem tohoto šetření je kategorizace inventarizačních ploch. Algoritmus interpretace inventarizační plochy mimo jiné obsahuje také podrobné šetření typů objektů v pravidelném bodovém poli. Vzhledem k detailu základní inventarizační sítě (500 x 500m), a hustotě bodového pole každé inventarizační plochy, je identifikován typ povrchu u cca 5,5 miliónů objektů. Díky vysoké polohové přesnosti použité metody, optimální plošné distribuci inventarizačních ploch v rámci území České republiky a vysoké spolehlivosti vizuální interpretace objektů, lze tuto datovou sadu využít jako rozsáhlé trénovací množiny pro účely objektové klasifikace obrazu. Tímto způsobem je umožněno zpracování řady tematických mapových výstupů pro území České republiky, jako je např. mapa okrajů lesa, rozlišení listnaté a jehličnaté vegetace, či identifikace základních růstových fází lesa.

Abstract

Monitoring of forest state and development (a.k.a. National Forest Inventory - NFI) in the Czech Republic is the main activity of the Forest Management Institute Brandýs nad Labem. The stereo-interpretation of the colour-infrared aerial images is one of the main advantages to fulfil this goal. In the NFI2, the stereo image interpretation is used to conduct the survey on the inventory plots in the 500 x 500m grid. Primarily the categorization of the landuse/landcover classes is done here. Besides, the interpretation algorithm implements also the dedicated survey of the landcover classes on the so-called grid points. There is 16 points on each inventory plot, which results in totally 5, 5 million interpreted objects. Thanks to the high spatial precision of the method, the optimal spatial distribution of the inventory plots within the Czech territory and the high reliability of the visual interpretation of target objects, this dataset can be used as a unique training data for the object-based image classification. The paper describes the automated production of the forest thematic material such as maps forest borders, conifers/broadleaved forests, or maps of stand height classes. These maps are covering periodically the entire area of the Czech Republic.

Klíčová slova: NIL; CIR letecké snímky; stereo-interpretace; nDSM; objektová analýza obrazu; řízená klasifikace Random Forest

Keywords: NFI; CIR aerial images, stereo-interpretation; nDSM, object-based image analysis; supervised Random Forest classification

1. INTERPRETACE LETECKÝCH SNÍMKŮ V NIL2

Národní inventarizaci lesů (NIL) je možné v širším pojetí charakterizovat jako nezávislé šetření o skutečném stavu a vývoji lesů. První cyklus NIL, jejímž provedením byl pověřen Ústavu pro hospodářskou úpravu lesa Brandýs nad Labem (ÚHÚL), proběhl v letech 2001 - 2004 a jednalo se o výhradně pozemní šetření (ÚHÚL, 2007). V rámci druhého cyklu Národní Inventarizace Lesů (NIL2) se provádí fotogrammetrické šetření vybraných parametrů na inventarizačních bodech ve čtvercové síti 500 × 500 metrů (ÚHÚL, 2014). Na území ČR to představuje vyhodnocení cca 360 tisíc ploch. Aplikace postupů fotogrammetrické analýzy na takto husté síti přináší řadu výhod:

1. možnost zpřesnění bodových odhadů metodami postratifikace a dvoufázového výběru (double sampling for stratification);
2. zajištění přesných navigačních podkladů pro terénní skupiny;
3. pořízení precizních trénovacích dat pro řízenou klasifikaci obrazu – automatizovaná produkce celorepublikových (wall-to-wall) mapových výstupů
4. kompenzace okrajových efektů po provedení venkovního měření – využití možnosti zakreslení průběhu okraje lesa;
5. zajištění výstupů související s popisem krajiny bez vazby na pozemní šetření – metodika transektu DPZ;

Šetření na inventarizačních bodech se provádí na podkladu digitálních infračervených snímků UltraCam. Data primárně pořizovaná digitálně umožňují snímkování současně v kanálech viditelného světla, také v pásmu infračerveného záření. To výrazně usnadňuje interpretaci lesnických charakteristik a hodnocení stavu vegetace.

Postup šetření v prostředí stereoskopie

V první fázi fotogrammetrického šetření dochází k šetření v bodovém poli interpretačního čtverce. Interpretační čtverec má velikost 51 × 51 metrů (Obr. 1). Uvnitř čtverce je rovnoměrně rozmístěno 16 bodů, které tvoří tzv. gridové pole (Hájek a Adolt, 2010). Na každém z těchto bodů se ustanoví výška a typ povrchu.



Obr. 1. Interpretační čtverec 51 × 51 m pro šetření na inventarizačním bodě NIL2

Následuje vymezení okraje přítomného porostu jako podmínka pro zařazení inventarizační plochy do příslušné kategorie pozemku. Pro zařazení do kategorie pozemku dle NIL2 jsou použity dvě skupiny kritérií:

- Porostní kritéria (výskyt a vlastnosti porostu dřevin, tj. výška stromů/keřů, šířka porostu, mezera – resp. vzdálenost mezi stromy/keři, výměra pozemku, procentická pokrývnost stromy/keři).
- Skutečné využití pozemku (lesnické, zemědělské, městské a ostatní).

Výsledkem procesu interpretace je zařazení středu inventarizační plochy do kategorie pozemků dle definic NIL2 a LULUCF. Kategorizace pozemků v NIL2 vychází z definic dle ENFIN (Tomppo a kol., 2010). Pozemky jsou zařazovány do čtyř kategorií: Forest – Les, Other Wooded Land – Nelesní porosty dřevin (OWL), Other Land with Tree Cover – Ostatní pozemky pokryté stromy (OLWTC) a Other Land – Ostatní pozemky (OL). Pozemek je vždy zařazen do jednotlivých kategorií dle aktuálního, resp. potenciálního stavu a využití v době šetření, nezávisle na stavu v katastru nemovitostí, hospodářských plánech, mapách atd.

Na inventarizačních bodech zařazených do kategorie Les se dále pokračuje šetřením lesnických charakteristik. Všechny šetřené parametry jsou vztaženy na konkrétní porostní segment, tj. porost, do kterého padne inventarizační bod. Zde se hodnotí: druh pozemku plochy kategorie Les; poškození porostu; růstové fáze lesa; dřevinná skladba; typ zápoje; a způsob smíšení dřevin.

2. AUTOMATIZOVANÁ PRODUKCE CELOREPUBLIKOVÝCH MAPOVÝCH VÝSTUPŮ

VSTUPNÍ DATA

V rámci specializovaného pracoviště fotogrammetrie a DPZ ve Frýdku-Místku jsou veškeré fotogrammetrické procesy a odvozené produkty vyvíjeny na podkladu leteckých snímků pořizovaných v rámci národního snímkování ČÚZK, které ÚHÚL přebírá na základě meziresortní dohody. Zatímco do roku 2011 probíhalo každoroční snímkování po třetinách území ČR, od roku 2012 se snímkuje každý rok polovina území republiky. Díky moderní metodě extrakce výškové informace metodou obrazové korelace z optických dat leteckých snímků můžeme aktualizovat normalizovaný povrchový model (nDSM – Obr. 2) v časové řadě v dvouleté periodě. To přináší unikátní zdroj informací pro odvození změnových porostních veličin.



Obr. 2. Princip konstrukce normalizovaného digitálního modelu povrchu z leteckých snímků

Infračervené (CIR) ortofoto

Od roku 2010 se na ÚHÚL zpracovává také infračervená, neboli CIR (Color Infra-Red) ortofotomapa. V současné době jsou tedy ve formě CIR ortofota zpracovány data snímkování z let 2010 - 2013. Proces barevného vyrovnání probíhá v software ERDAS Imagine. V podstatě se jedná o spojení vstupních CIR ortofot, pomocí vytvořeného skriptu v Python, do mozaiky podle jednotlivých kladů SMO5. Tyto ortofotomapy jsou barevně ověřeny, jak v závislosti na pohledu v samotném SMO5, tak na celkovém náhledu kladu SMO50. Jelikož snímkování probíhá za různých světelných podmínek a s různými kamerami nelze docílit jednotitého barevného vyrovnání pro celou ČR.

Normalizovaný Digitální model povrchu (nDSM)

Spolu s překotným nárůstem výpočetního výkonu se v posledních letech do praxe prosazují postupy modelování povrchu objektů z leteckých snímků tzv. korelační metodou (image matching). Odečtením nadmořské výšky z digitálního modelu terénu (DMT) od digitálního modelu povrchu (Digital Surface Model - DSM) vznikne normalizovaný povrchový model nDSM, který reprezentuje výškovou informaci o porostech. Rastrový nDSM (Obr. 3) poskytuje unikátní vrstvu spojitého měření, která slouží k modelování

dendrometrických veličin, detekci a lokalizaci holin, k odhadům řady lesnicky atraktivních proměnných jako jsou celkové zásoby, zásoby po dřevinách, výše těžeb atp. Přístup, kdy se pro tvorbu nDSM využijí letecké snímky a laserové letecké skenování (LiDAR) se použije jednorázově pro získání přesného DMT, je již několik let praktikován např. ve švýcarské Národní inventarizaci lesů (Waser a kol, 2011, Ginzler a kol, 2011).



Obr. 3. Rastrový nDSM s hodnotami výšek porostů ve stupních šedi

Princip korelační metody spočívá ve vyhledávání identických bodů obrazu ve stereo-dvojici leteckých snímků (pořízených s min. 60% překryvem). Na tom je ostatně založena i běžná stereoskopická interpretace, kdy při pozorování stejného místa ve snímcích pořízených z rozdílné polohy vnímáme výšku objektu (3D). Autokorelační proces tak pouze přebírá schopnost lidského vnímání. Identické body vyhledává algoritmus obrazové analýzy a automaticky zaznamenává výškovou Z-souřadnici v cílovém souřadném systému (Kraus, 2007).

Možnost modelování povrchu porostů metodou korelace identických bodů ze stereo-dvojic leteckých snímků byla na ÚHÚL intenzivně testována od roku 2012, v roce 2013 bylo proces spuštěn v operativním modu. Obrazová korelace probíhá v rámci rozsahu území SMO50 v software PhoTopoL Corr, výsledky korelace se ukládají pro jednotlivé stereo-modely do textových souborů. Všechny textové soubory s body DSM jsou dále zpracovány v software LAsTools a výsledné rastry jsou nakonec mozaikovány do širšího území v ERDAS Imagine. Finální úpravy rastrů jsou prováděny nástrojem GDAL.

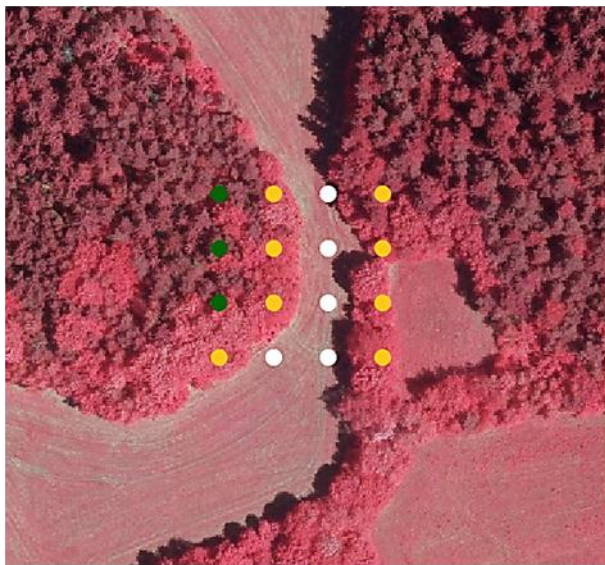
V roce 2013 byly do formy povrchového modelu zpracovány letecké snímky z let 2010 – 2012. V roce 2014 již proběhlo operativní zpracování nDSM ze snímků 2013 (ZÁPAD). Dále byly provedeny zásadní kroky pro automatizované zpracování archivních analogových LMS z let 2003 – 2009. Bylo zapotřebí ujednotit definice analogových a digitálních kamer, odladit automatizované zakládání projektů pro analogové snímky, navrhnout metodu sběru vlíčovacích bodů pro získání přesných parametrů vnějších orientací a zprovoznit korelaci stereo-dvojic LMS s parametry vhodnými pro analogové snímky.

Trénovací množiny - sběr dat pomocí aplikace PhoNIL

Vizuální stereoskopická interpretace NIL2 probíhá současně na 6-ti operátorských stanicích v prostředí aplikace zvané PhoNIL. Jedná se o nadstavbu programu PhoTopoL (Topol Software s.r.o.), která implementuje schéma a pravidla vyhodnocení vyvinuté specialisty NIL. Postup šetření je řízen funkcemi na straně databáze PostgreSQL, kam se také ukládají výsledky šetření. Pomocí databázových funkcí jsou dále

zajištěny také kontrolní mechanismy FTGM šetření. Aplikace i databázové schéma je navrženo tak, aby bylo možné efektivně plánovat průběh prací s ohledem na výjezdy pozemních skupiny NIL.

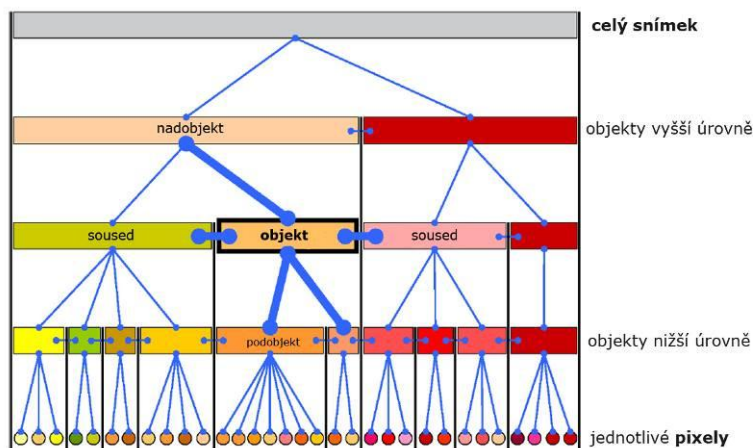
Jako trénovací množiny jsou v této práci využity data šetření v bodovém poli interpretačního čtverce 51×51 metrů a dále data zařazení středu inventarizační plochy do kategorie pozemků dle definic NIL2. V případě interpretace gridového pole získáme detailní informaci o základním typu povrchu, tj. jestli se jedná o strom jehličnatý, strom listnatý, keř, povrch terénu a ostatní (Obr. 4). V rámci území ČR je tímto způsobem identifikován typ povrchu u cca 5.5 miliónů objektů, což představuje optimální trénovací sadu pro tvorbu mapy distribuce listnatých/ jehličnatých porostů. Informace o kategorii pozemku na středu inventarizační plochy se zase využijí pro řízenou klasifikaci tříd Les, OLWTC, Ostatní, a případně další prvky roztroušené vegetace v krajině (tzv. stromy mimo les).



Obr. 4. Interpretace gridového pole ve stereoskopickém šetření NIL2

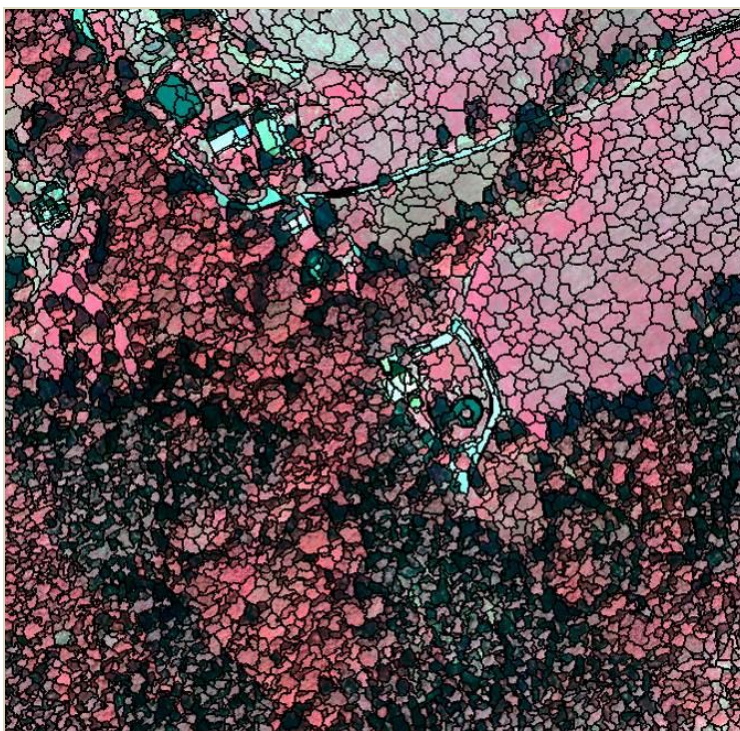
Objektová klasifikace obrazu

Předpokladem pro automatizovanou tvorbu výstupů v celorepublikovém pokrytí byl vývoj aplikace pro klasifikaci dat leteckého snímkování v prostředí objektové analýzy obrazu (OBIA) (Hay a kol, 2005). Technologicky se jedná o řízenou klasifikaci CIR ortofota a nDSM s využitím trénovacích dat nasbíraných během fotogrammetrické interpretace operátorkami v NIL2. Při objektové analýze je snímek nejdříve rozdělen do homogenních shluků více pixelů a klasifikace pak vyhodnocuje vlastnosti těchto objektů namísto původních pixelů. Segmentace se provádí do několika úrovní podle velikosti zájmových prvků, např. koruny a shluky stromů, porostní skupiny, nebo typy krajinného krytu. Zatřídění objektů do stanovených tříd pak probíhá na základě jejich barvy, ale navíc lze uplatnit i geometrický tvar, či typický kontext (vzájemné vztahy) v rámci objektové hierarchie (Obr. 5). Jak poukazuje Benz et al. (2004), správnost klasifikace je podmíněna porozuměním typickému kontextu a hierarchickým vztahů na různých úrovních měřítka. Využití těchto vztahů umožňuje analýzu a hlubší pochopení různých typů krajinných struktur (Burnett & Blaschke 2003). Díky definované prostorové návaznosti umožňuje objektová klasifikace také snadné propojení napojení na geografické informační systémy (GIS), například využitím stávajících tematických vrstev pro klasifikaci lesních porostů (Förster & Kleinschmit 2006, Hájek, 2008). Výhody propojení řízené klasifikace metodou Random Forest (Breiman, 2001) s objektovou analýzou obrazových dat popisuje (Watts & Lawrence, 2008).



Obr. 5. Prostorové vztahy jsou v rámci objektové hierarchie jednoznačně určeny

V rámci této práce měly vstupní rastrové vrstvy sjednocené prostorové rozlišení 2 metry /pixel. Multi-úrovňová segmentace byla provedena na třech úrovních, parametry velikosti a tvaru segmentů byly nastaveny s ohledem na třídy krajinného krytu (landuse/landcover). Nejvyšší úroveň (větší segmenty) sloužila pro klasifikaci území do kategorií pozemků dle NIL2. Řízená klasifikace byla provedena metodou Random Forest ve dvou cyklech s natrénováním pomocí fotogrammetrické interpretace kategorií pozemku na středu inventarizační plochy. Další dva cykly RF byly použity na nižší úrovni (drobné segmenty – Obr. 6), kde se za využití trénovacích dat z gridového pole zatřídily objekty do kategorií listnatá jehličnatá vegetace, nepropustné povrchy, a ostatní.



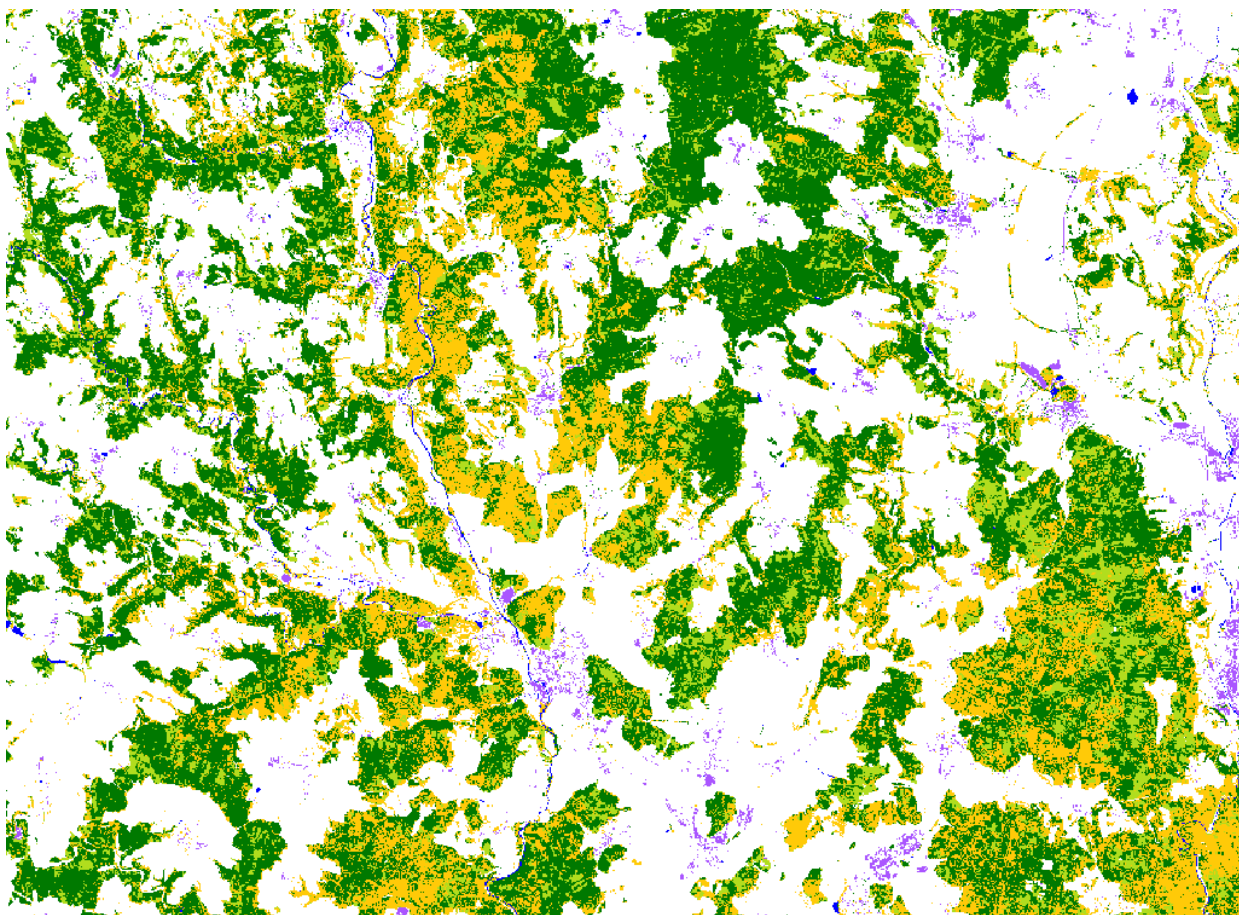
Obr. 6. Segmentace CIR ortofota na úrovni velikosti korun (shluků) stromů

Třetí úroveň vznikla na základě segmentace rastru nDSM. Zde šlo o vylíšení základních růstových fází lesa nastavením intervalů dle průměrných hodnot výšek objektů v nDSM, tj. třídy: holina, kultura - do 2,5m; tyčkovina - 2,5 - 8m; tyčkovina - 8 - 20 m; kmenovina - nad 20m.

Výsledek automatické klasifikace (výstup DPZ) bylo nutné GISově upravit dle využití mapy na straně uživatele. Mapa okrajů lesa z pohledu projektu NIL musí zohledňovat jak fyziognomické znaky jako minimální rozlohu, či šířku porostu, tak převažující využití pozemku. S ohledem na dané definice byla navržena řada kroků pro úpravy vektorové vrstvy na straně databáze PostgreSQL a dále v prostředí objektové analýzy (eCognition). Jednalo se především o editaci pomocí geometrických a kontextuálních pravidel, finální vektorové výstupy byly nakonec upraveny morfologickými operacemi. V další fázi se počítá také s provedením vizuální kontroly a manuálních oprav případných nedostatků.

3. VÝSLEDKY A DISKUZE

Výstupem klasifikace dat DPZ je primárně vrstva vysoké vegetace – dle definic NIL se jedná o okraje kategorií LES a OLWTC, ale také prvky roztroušené vegetace v krajině a v zástavbě, tj. liniové porosty, aleje, samostatné stromy. Tato „surová“ vrstva se může v rámci objektové klasifikace dále upravovat dle geometrických pravidel s ohledem na definici lesa. Dalšími výstupy jsou mapy rozlišení listnatých /jehličnatých dřevin (Obr. 7) a mapa základních růstových fází. Hodnoty produkční správnosti klasifikace RF simulované v balíku R na území jednoho SMO50 ilustruje chybová matice (Tab. 1).



Obr. 7. Mapa rozlišení listnatých /jehličnatých dřevin

Tab 1. Chybová matice klasifikace DPZ – produkt mapa listnaté/jehličnaté

Klasifikace / Pozemní pravda	jehličnaté	listnaté	nepropustné	ostatní	Producentická správnost
jehličnaté	400	33	0	17	88,9%
listnaté	58	180	0	20	69,8%
nepropustné p.	6	0	10	16	31,3%
ostatní	24	19	0	478	91,7%

Cílem příspěvku bylo popsat způsob tvorby výstupů založené na klasifikaci CIR ortofot a digitálního povrchového modelu (nDSM) získaného z leteckých snímků řízenou klasifikací s daty fotogrammetrické interpretace bodů NIL2. Díky unikátní sadě lesnických dat šetřených v prostředí stereoskopické interpretace je možné vyvinout plně automatizovaný postup pro opakované mapování lesnických atraktivních proměnných v celorepublikovém rozsahu. Různým použitím a kombinací datových derivátů leteckého snímání tak naplno využijeme potenciál těchto dat. Klasifikační postup je možné dále přenést (rozšířit) na jiná data DPZ jako např. multispektrální družicové snímky, radarová, či LiDARová data. Dvouletá periodicitu pokrytí republiky leteckými snímky (LMS 2012 – 2013) umožňuje výstup zpracovat po polovinách území s časovou známkou 2012 pro oblast východ a 2013 pro oblast západ ČR. Vyšší tematickou správnost klasifikace dřevin lze očekávat od zařazení spektrální informace ze MSI senzoru družice ESA Sentinel-2 v roce 2016 (ESA, 2014).

4. LITERATURA

Kapitola v monografiích:

Benz U.C., Hoffmann P., Willhauck G., Lingenfelder I. & Heyen M., (2004) Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS - ready information. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 58: 239-258.

Burnett, C. & Blaschke, T., (2003) A multi-scale segmentation / object relationship modelling methodology for landscape analysis. *Ecological Modelling*, 168: 233-249.

Breiman, L. (2001) Random Forests. *Machine Learning*, 45(1): 5-32.

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*, Volume 127, Number 2. 2008

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

Kraus, K. (2007) *Photogrammetry, Geometry from images and laser scans*. Berlin, New York, Walter de Gruyter, 2007. ISBN-13: 978-3110190076

Tomppo, E., Gschwantner, Th., Lawrence, M. & McRoberts, R.E. (eds.) (2010) *National Forest Inventories - Pathways for common reporting*. Springer, 612 p. ISBN 978-90-481-3232-4

Waser, L.T.; Ginzler, C.; Kuechler, M.; Baltsavias, E.; Hurni, L., (2011) Semi-automatic classification of tree species in different forest ecosystems by spectral and geometric variables derived from Airborne Digital Sensor (ADS40) and RC30 data. *Remote Sensing of Environment*. 115: 76-85.

ÚHÚL Kol. autorů (2007) *Národní inventarizace lesů v České republice 2001-2004. Úvod, metody, výsledky*: http://www.uhul.cz/images/nii/NIL_CR_2001-2004_NFI_CZ_2001-2004.pdf

Článek z konference:

Ginzler C., a kol., (2011) High resolution digital surface models for forest monitoring, a photogrammetric approach fo photogrammetric approach for large areas. 1st Forestry Workshop:Operational Remote Sensing in Forest Management, Czech Technical University, CTU), Czech Republic, Prague

Hájek, F., Adolt, R., (2010) Digital Photogrammetric Survey in The National Forest Inventory (NFI) in Czech Republic. Proceedings of the 30th EARSeL Symposium, 31 May – 3 June 2010, Paris

Förster M. a Kleinschmit, B., (2006) Integration of Ancillary Information into Object-based Classification for Detection of Forest Structures and Habitats. In: Lang, S., Blaschke, T. and Schöpfer, E. (eds): 1st International Conference on Object-based Image Analysis. ISPRS Vol. XXXVI – 4/C42, Salzburg, Austria: 1-6.

Watts, J.D., and R.L. Lawrence. (2008). Merging Random Forest classification with an object-oriented approach for analysis of agricultural lands. ISPRS 2008 Annual Conference, Beijing. July 3-11. 5 pp.

Odkaz na www stránku:

Breiman, L., and A. Cutler (2005) https://www.stat.berkeley.edu/~breiman/RandomForests/cc_home.htm
Random Forests

ÚHÚL (2014) <http://nil.uhul.cz/uvodni-informace/projekt-nil> Projekt NIL - Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem)

ESA (2014) http://www.esa.int/About_Us/ESA_Publications/ESA_SP-1322_2_Sentinel_2, ESA Sentinel-2 publication