

# DIGITÁLNA OBRAZOVÁ ANALÝZA DÁT DPZ S VYSOKÝM PRIESTOROVÝM ROZLIŠENÍM A JEJ VYUŽITIE V LESNÍCTVE

Andrea Majlingová

Katedra protipožiarnej ochrany, Drevárska fakulta, Technická univerzita vo Zvolene,  
T.G. Masaryka 24,

960 53, Zvolen, Slovenská republika  
amajling@vsld.tuzvo.sk

**Abstrakt.** V príspevku je predstavený jeden z prístupov k digitálnej obrazovej analýze s využitím nástrojov GIS. Príspevok sa zaoberá lesníckou aplikáciou informácie o lese získanej z farebnej infračervenej leteckej snímky. Je tu predstavená metóda na identifikáciu jednotlivých korún stromov z ortorektifikovanej farebnej infračervenej snímky. V experimente boli použité výrezy zo snímky s priestorovým rozlíšením 0.4 m, 0.8 m, 1.6 m a 3.2 m. výsledky jednotlivých analýz boli vyhodnotené na základe tvaru a veľkosti výsledných objektov ako aj na základe ich počtu a následne porovnané s verifikačnou vrstvou. Verifikačnou vrstvou bola v tomto prípade vektorová vrstva obrysov korún stromov, ktoré boli manuálne vykreslené na podklade stereo modelu v prostredí MicroStation V8 s využitím 3D vnemu, ktorý ponúka prostredie Image Station SSK.

Na základe výsledkov identifikácie vrcholov a obrysov korún jednotlivých stromov, rovnako ako aj správnosti stanovenia počtu stromov bol následne urobená klasifikácia drevinového zloženia analyzovaných porastov v prostredí software eCognition. Klasifikované boli len tie obrazy, ktoré boli v predchádzajúcich analýzach pre jednotlivé porasty vyhodnotené ako najlepšie. Na základe týchto údajov potom bolo možné odvodiť ďalšie parametre lesa ako korunový zápoj, počet stromov v poraste, hrúbka a výška stromu ako aj približná zásoba porastu.

Predbežné výsledky ukazujú, že ide o jeden z možných spôsobov získania detailných informácií o lese oveľa rýchlejšie a efektívnejšie.

**Kľúčové slová:** Diaľkový prieskum Zeme, farebná infračervená letecká snímka, digitálna obrazová analýza, GIS, koruna stromu.

**Abstract.** DIGITAL IMAGE ANALYSIS OF HIGH RESOLUTION REMOTE SENSING DATA AND ITS USE IN FORESTRY

In this article, there is presented an approach to digital image analysis using GIS tools. This article is focused to forestry use of information obtained from color infrared aerial image. There is presented methodology for identification of individual tree crowns from ortho rectified color infrared aerial images. In experiment subplots of images were used with spatial resolution 0.4 m, 0.8 m, 1.6 m and 3.2 m. Results of individual analysis were evaluated based on objects form and size as on their count and compared with verification layer. Verification layer was represented by vector layer of tree crowns outlines that were manually drawn on base of stereo model using Microstation V8 and Image Station SSK software environments.

Based on results of tree tops and crowns identification and accuracy of tree number determination, there was produced tree species classification in eCognition software environment for images evaluated as the best ones. Based on these data can be derived also other forest stand parameters like canopy cover, number of trees in forest stand, tree width, tree height and forest stock.

Preliminary results show that this is one of possible ways to obtain detailed data about forests more quickly and effectively.

**Keywords:** Remote sensing, color infrared aerial image, digital image analysis, GIS, tree crown

**Acknowledgement:** APVT-51-037902, VEGA-1/0630/03

## 1 Úvod

Metóda a výsledky práce prezentované v tomto príspevku sú v podmienkach Slovenska jedným z prvých a zároveň nových prístupov zameraných na digitálnu analýzu dát s vysokým priestorovým rozlíšením. Tu prezentovaná metóda na extrakciu jednotlivých korún stromov z farebnej infračervenej leteckej snímky je časovo nenáročná a použiteľná s využitím štandardných GIS nástrojov, bez potreby programovania. Využitie spomenutej metódy sa predpokladá najmä v praxi hospodárskej úpravy lesov a to najmä v procese predodhadu taxačných charakteristík lesa. Len na základe správne vykonanej automatizovanej identifikácie jednotlivých korún stromov v poraste, ktorej správnosť súvisí najmä s priestorovým rozlíšením vstupného obrazu (vo vzťahu k veku porastu a predpokladanej veľkosti korún stromov, aj s ohľadom na druh dreviny) a vhodne zvolenému prahu pre oddelenie oblasti tieňa od oblasti vegetácie) vychádzajúc z histogramu spektrálnych hodnôt obrazu) je možné týmto postupom získané obrysy korún stromov využiť pre odvodenie základných taxačných charakteristík lesa akými sú výška stromu/porastu, hrúbka stromu/porastu, objem kmeňa, zásoba porastu.

## 2 Problematika

Identifikáciou jednotlivých korún stromov z materiálov DPZ sa vo svete zaoberajú viacerí odborníci a existuje aj viacero prístupov. Spomenúť možno prístup zameraný na separáciu korún stromov od tieňa, založený na hľadaní prahovej hodnoty (Gougeon, 1998) [1], ďalej prístup založený na hľadaní lokálnych maxím spektrálnych hodnôt obrazu (Larsen, 1999) [2], multirezolučná segmentácia obrazu, ktorú ponúka software eCognition od firmy Definiens a identifikácia obrysov korún stromov prostredníctvom vytvorenia akumuláčného povrchu, vychádzajúc z vopred identifikovaných vrcholov korún stromov - lokálne maximá (Šumbera, 2001) [4].

Všetky spomenuté prístupy sú založené na využití materiálov DPZ s vysokým priestorovým rozlíšením, najčastejšie na leteckých snímkach. V súčasnosti sú však na

trhu k dostupnosti nové materiály DPZ ako sú hyperspektrálne snímky, dáta VEXEL a snímky z laserového skenovania (LIDAR). Tieto je možné využiť ako pre proces identifikácie, tak aj pre proces odhadu parametrov lesa, nakoľko podávajú kvalitatívne ďaleko presnejšie výsledky ako doposiaľ používané materiály.

Snímky z laserového skenovania možno využiť na tvorbu digitálneho modelu povrchu (DSM). Produktom laserového skenovania je bodové pole, kde má každý bod poľa definovanú polohu (x, y súradnice) a výšku (súradnica z). Na základe tohoto poľa je možné jednoduchou procedúrou oddeliť plochu vegetácie od tieňa, príp. vylíšiť až jednotlivé koruny stromov. V oblasti vegetácie potom možno ďalej extrahovať jednotlivé body s maximálnou hodnotou výšky, ktorá predstavuje lokálne maximum v danej oblasti (predpokladaný vrchol koruny stromu). Z vytvoreného kompletného 3D modelu lesa je možný výpočet parametrov lesa ako výška jednotlivých stromov, stredná výška porastu, zásoba porastu, priemerná hustota porastu a priemerný objem podrastu v poraste.

Meranie a odhad stromových a porastových charakteristík s využitím leteckých snímok patrí medzi progresívne postupy. Na jednotlivých stromoch sa dá priamo na snímke zistiť ich výška. Hrúbku stromu nahrádza šírka koruny, ktorá sa potom môže spolu s výškou stromu využiť na odhad objemu stromu či zásoby porastu.

### 3 Metodika

#### 3.1 Experimentálne územie

Vzhľadom na komplikovanosť problematiky bolo predbežné overovanie popísanej metodiky vykonané len na výrezoch ortofotosnímkov.

Polesie Kováčová, z ktorého pochádzajú analyzované výrezy ortofotosnímkov, patrí organizačne do LHC Zvolen. Správu tohto územia vykonáva Vysokoškolský lesnícky podnik Technickej univerzity vo Zvolene. Celé územie patrí do oblasti stredoslovenských vyvrelín (Kremnické vrchy) a nachádza sa pod vplyvom panónskej klímy. Toto územie možno charakterizovať ako členité, s rozdielnymi klimatickými pomermi.

V analýzach boli použité obrazy porastov rozdielných vekov, drevinového zloženia a zakmenenia s nasledovnými taxačnými charakteristikami (údaje boli prevzaté z LHP):  
*Porast č.308a* – mladý zmiešaný porast: výmera 3.85 ha, sklon 35 %, expozícia SV, vek 25 rokov, druhové zloženie Bo, Db, Bk, Sc, Hb, Br, Sm, zastúpenie Bo 55, Db 15, Bk 10, Sc 5, Hb 5, Br 5, Sm 5, zakmenenie 0.9, stredná výška porastu ( $h_s$ ) 10.9 m, stredná hrúbka porastu ( $d_s$ ) 11.4 cm, zásoba 325 m<sup>3</sup>

*Porast č.310* – mladý listnatý porast: výmera 2.07 ha, sklon 40 %, expozícia JZ, vek 25 rokov, druhové zloženie Hb, Db, zastúpenie Hb 70, Db 30, zakmenenie 1.0, stredná výška porastu ( $h_s$ ) 10.5 m, stredná hrúbka porastu ( $d_s$ ) 8 cm, zásoba 190 m<sup>3</sup>

*Porast č.314* – dospelý zmiešaný porast: výmera 5.01 ha, sklon 40 %, expozícia Z, vek 80 rokov, druhové zloženie Jd, Sm, Bk, Hb, Db, zastúpenie Jd 40, Sm 20, Bk 20,

Hb 10, Db 10, zakmenenie 0.5, stredná výška porastu ( $h_s$ ) 22.8 m, stredná hrúbka porastu ( $d_s$ ) 29.2 cm, zásoba 1895 m<sup>3</sup>

*Porast č.365a* – dospelý listnatý porast: výmera 5.59 ha, sklon 30 %, expozícia S, vek 90 rokov, druhové zloženie Db, Hb, zastúpenie Db 95, Hb 5, zakmenenie 0.8, stredná výška porastu ( $h_s$ ) 17 m, stredná hrúbka porastu ( $d_s$ ) 18.5 cm, zásoba 1409 m<sup>3</sup>

*Porast č.365b* – dospelý ihličnatý porast: výmera 0.6 ha, sklon 30 %, expozícia S, vek 115 rokov, druhové zloženie Sm, Bo, Jd, zastúpenie Sm 85, Bo 13, Jd 2, zakmenenie 0.7, stredná výška porastu ( $h_s$ ) 31 m, stredná hrúbka porastu ( $d_s$ ) 46.3 cm, zásoba 383 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>

### 3.2 Experimentálny materiál

Farebné infračervené letecké snímky (CIR) č. 2, 3, 4, z územia Kováčovej, okr. Zvolen vyhotovila pre Aero Slovakia a.s. firma Argus Geo System s.r.o.

Základné údaje:

- Dátum snímkovania: 3.8.1999
- Mierka snímky: 1:15 000
- Rozmer snímky: 23 x 23 cm
- Typ kamery: LMK 15
- Konštanta kamery: 152,138 mm
- Filter 500 nm
- Materiál: KODAK AEROCROME 2443

Skenovanie CIR snímok z územia Kováčovej bolo zabezpečené Vojenským topografickým ústavom v Banskej Bystrici fotogrametrickým skenerom na hustotu 1 200 dpi. V prostredí ImageStation bol z dvojíc snímok (stereopáry) č. 2 + č. 3 a č. 3 + č. 4 ďalej v Laboratóriu geodézie a fotogrametrie LF TU vo Zvolene vytvorený stereomodel, na základe ktorých boli ortorektifikáciou vytvorené ortofotosnímky. Vedľajším produktom ich tvorby bol aj digitálny model povrchu (Digital Surface Model).

### 3.3 Identifikácia jednotlivých korún stromov

V procese identifikácie jednotlivých korún bolo použité len infračervené pásmo (IR). Z dôvodu hľadania optimálnej rozlišovacej schopnosti obrazu pre proces identifikácie obrysov jednotlivých korún stromov z farebnej infračervenej leteckej snímky bol vstupný obraz (ortofotosnímka - IR pásmo) v prostredí IDRISI 32 ďalej prevzorkovaný na rozlišovaciu schopnosť z 1200 dpi pri veľkosti bunky 0.4m na 600 dpi pri veľkosti bunky 0.8 m, 300 dpi pri veľkosti bunky 1.6 m, 150 dpi pri veľkosti bunky 3.2 m, čím vznikli pre každý analyzovaný porast pre porovnanie 4 obrazy. Každý z nich bol spracovaný nižšie popísaným postupom.

Automatická identifikácia (segmentácia) jednotlivých korún stromov bola vykonaná v prostredí IDRISI 32. Vstupnými dátami pre spracovanie boli obrazy fokálnych maxím spektrálnych hodnôt daného výrezu leteckej snímky spolu s filtrovaným obrazom snímky, spracované v prostredí ARC/INFO. Podkladom pre tvorbu obrazu

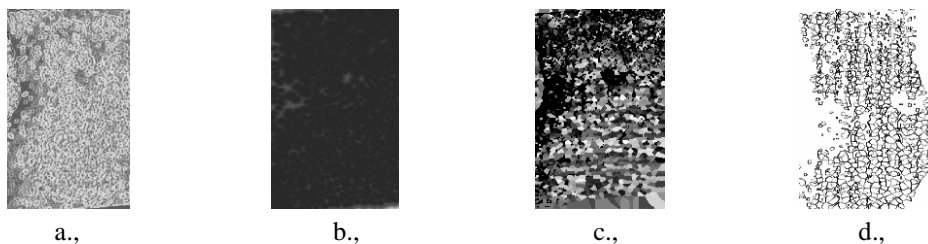
fokálneho maxima bol filtrovaný obraz snímky. Na filtráciu bol použitý filter aritmetického priemeru s veľkosťou okna 3 x 3 bunky (low pass filter).

Obraz fokálnych maxím bol použitý pre odvodenie vrcholov jednotlivých korún stromov. Vrcholy (lokálne maximá spektrálnych hodnôt výrezu snímky) boli získané odčítaním obrazu fokálnych maxím od filtrovaného obrazu výrezu snímky a jeho následnou reklasifikáciou – modul RECLASS. Výsledné vrcholy korún stromov sa získali prenasobením reklasifikovaného obrazu vrcholov korún stromov s obrazom tieňa na danej snímke.

Pre odvodenie pravdepodobných korún stromov boli použité vzdialenostné operátory – nákladové vzdialenosti (modul COST a jeho variant COSTPUSH). Modul COST generuje vzdialenostný/blízkostný povrch (nákladový povrch), kde je vzdialenosť meraná v zmysle najnižších nákladov (prekážky, náklady) pri prechádzaní cez frikčný povrch. Obrazom obsahujúcim zdrojové prvky, od ktorých sa počíta vzdialenosť bol obraz výsledných vrcholov korún stromov. Obraz frikčného povrchu predstavoval obraz fokálnych maxím výrezu snímky.

Následne prostredníctvom modulu ALLOCATE boli odvodené finálne obrysy jednotlivých korún stromov. Tento modul slúži na priradenie každej bunky k najbližšej triede prvkov. Používa sa následne po použití modulu COST. Vo výstupe z modulu COST je označená vzdialenosť každej bunky k najbližšej triede, ale nie názov prvku samotného. Práve túto úlohu plní modul ALLOCATE. Teda, každej bunke priradí jeden z identifikátorov pôvodných prvkov, od ktorých bola počítaná vzdialenosť. Obrazom nákladových vzdialeností bol obraz s pravdepodobnými obrysmi korún stromov (výstup z modulu COST), cieľovým obrazom bol obraz vrcholov korún stromov s priradenými identifikátormi (obraz sa získal spracovaním pôvodného obrazu v module GROUP).

Vektorová vrstva (Obr. 1d) jednotlivých korún stromov sa získala použitím modulu POLYVEC (konverzia polygónových prvkov z rastrového do vektorového tvaru).



**Obr 1:** Identifikácia vrcholov a obrysov korún stromov (porast č. 314):  
a. Inverzia vstupného filtrovaného obrazu  
b. Fokálne funkcie – nákladový vzdialenostný povrch  
c. Funkcie šírenia – alokácia buniek  
d. Vektorová vrstva jednotlivých korún stromov

Za účelom vytvorenia zvýšenia efektivity pracovného postupu identifikácie korún stromov z hľadiska času a vynaloženej námahy bol v prostredí ArcView vytvorený skript. Jednotlivé skripty nie sú súčasťou príspevku.

### 3.4 Klasifikácia drevinového zloženia

Prvým krokom pri práci v prostredí eCognition bolo založenie projektu. Táto činnosť pozostáva z definovania vstupných dát v rastrovom formáte a možnosti importovania tematickej vrstvy v rastrovej podobe s atribútovou tabuľkou alebo priamo výstupy zo softwarového prostredia ArcView.

Po vytvorení projektu a následnej vizualizácii obrazu snímky sa pristúpilo k ďalšiemu dôležitému kroku – *segmentácii obrazu* – vytvoreniu obrazových objektov rozličných veľkostí a tvarov. Segmentácia je proces prerozdelenia obrazu do separovaných oblastí. Jedným z dôležitých parametrov vstupujúcich do procesu segmentácie je Parameter veľkosti. Tento určuje maximálnu dovolenú úroveň heterogenity výsledných objektov. Upravovaním hodnoty tohto parametra možno ovplyvniť veľkosť výsledných objektov.

Samotná *klasifikácia* bola vykonaná s použitím klasifikátora štandardného najbližšieho suseda a s definovaním vzorov z TTA masky, ktorá bola vytvorená v prostredí ArcView na podklade verifikačnej vektorovej vrstvy obrysov korún (zo stereo modelu). TTA masku predstavujú jednotlivé koruny stromov v gridovom formáte, kde každá koruna má priradený identifikátor, ktorým je číselný kód druhu dreviny.

Správnosť klasifikácie bola vyhodnotená na základe výpočtu kontingenčnej tabuľky, kde boli porovnané výsledky klasifikácie so vstupnou TTA maskou, ktorá v tomto prípade predstavovala zároveň vrstvu referenčných polygónov pre stanovenie správnosti klasifikácie.

Výsledky klasifikácie možno využiť v procese stanovenia objemu jednotlivých stromov a zásoby porastu.

### 3.5 Stanovenie výšky jednotlivých stromov v poraste a odvodenie strednej výšky porastu

Cieľom tejto analýzy bolo odvodenie výšky jednotlivých stromov v poraste a na základe týchto výšok stanovenie výšky stredného kmeňa. Jednotlivé stromy, v tomto prípade ich vrcholy, predstavoval obraz lokálnych maxim, ktorý bol jedným z priebežných výsledkov procesu automatizovanej identifikácie korún stromov.

Výška jednotlivých stromov sa stanovila na základe rozdielu hodnôt výšok digitálneho modelu povrchu (DSM) a digitálneho modelu terénu (DMT). Digitálny model terénu bol získaný z Vojenského Topografického ústavu, Banská Bystrica. Jeho priestorové rozlíšenie je 10 m.

Z výsledného obrazu rozdielu týchto dvoch výškových modelov sa extrahovali hodnoty pre body predstavujúce lokálne maximá – vrcholy korún stromov analyzovaných porastov. Tieto hodnoty predstavujú predpokladané výšky jednotlivých stromov.

Práca bola vykonaná v prostredí IDRISI 32. Nástrojmi mapovej algebry (IMAGE CALCULATOR) boli spracované obrazy digitálneho modelu povrchu a digitálneho

modelu reliéfu (DSM - DMR). Digitálny model povrchu pochádza z procesu ortorektifikácie snímky v prostredí ImageStation SSK, odkiaľ bol exportovaný v .txt formáte do prostredia Idrisi 32.

Na extrakciu výšok pre jednotlivé stromy – ich vrcholy bol použitý modul EXTRACT. Vstupným súborom bol obraz vrcholov korún stromov s priradenými identifikátormi. Obrazom pre spracovanie bol obraz rozdielu DSM a DMR. Typ pre sumarizáciu sa použil *min* a typ výstupu *hodnotový súbor*. Pre priradenie hodnôt z hodnotového súboru do obrazu (identifikovaným vrcholom korún stromov) bol použitý modul ASSIGN.

Stredná výška porastu sa vypočítala ako aritmetický priemer výšok porastu extrahovaných z obrazu rozdielu.

### 3.6 Stanovenie hrúbky jednotlivých stromov v poraste a odvodenie strednej hrúbky porastu

Pre stanovenie hrúbky porastu možno použiť vzorec pre výpočet parametra najširšieho priemeru koruny (Pretzsch, 2002) [3] pre jednotlivé druhy drevín zastúpené v poraste:

$$cd = e^{\left( a_0 + a_1 \cdot \ln(d_{1.3}) + a_2 \cdot h + a_3 \cdot \ln \frac{h}{d_{1.3}} \right)}$$

kde: cd – najširší priemer koruny v m

$d_{1.3}$  – hrúbka stromu v cm, v našom prípade je to stredná hrúbka porastu

h – výška stromu v m, príp. stredná výška porastu

$a_0, a_1, a_2, a_3$  – koeficienty rovníc vychádzajúce z danej tabuľky:

**Tab 1:** Koeficienty rovníc stanovené pre ihličnaté dreviny

Koeficient		SM	JD	BO
cd	a0	0.21954275	0.10707748	-0.55146480
	a1	0.25451189	0.45057263	0.64682262
	a2	0.00898311	0.00085076	-0.00624902
	a3	-0.67350486	0.09745272	-0.19041388

**Tab 2:** Koeficienty rovníc stanovené pre listnaté dreviny

Koeficient		BK	DB
cd	a0	0.58564663	0.37370441
	a1	0.42985194	0.11682797
	a2	-0.00345519	0.02840191
	a3	-0.32380843	-0.93399208

Tento vzorec bolo potrebné modifikovať, a to z dôvodu, že v tomto prípade je známa hodnota najširšieho priemeru koruny, potrebné bolo vypočítať hodnotu hrúbky ( $d_{1.3}$ ):

$$d_{1.3} = \left( cd \cdot e^{-a_0 - a_2 h} \cdot h^{-a_3} \right)^{\frac{1}{a_1 - a_3}}$$

Drevinové zloženie porastu bolo stanovené na základe výsledkov klasifikácie drevinového zloženia v prostredí ECOGNITION.

Koeficienty, pre jednotlivé dreviny, uvedené v tabuľke 1 a 2 sú vypočítané na základe meraní v Nemecku a boli prevzaté z modelu biometrického modelovania tvaru koruny z rastového simulátora SILVA 2.2.

Hodnoty najširšieho priemeru koruny sa získali výpočtom (skript) v prostredí ARCVIEW z obrysov jednotlivých korún stromov získaných predchádzajúcimi procedúrami.

### **3.7 Stanovenie objemu jednotlivých stromov v poraste a odvodenie celkovej zásoby porastu**

Proces stanovenia objemu jednotlivých stromov a nakonie zásoby celého porastu predpokladá predchádzajúce stanovenie výšky a hrúbky jednotlivých stromov v poraste ako aj stanovenie ich druhu (dub, buk a pod.). Na základe uvedených parametrov je potom možné stanoviť objem jednotlivých drevín niekoľkými spôsobmi:

- *rastové tabuľky drevín*
- *tabuľky jednotných objemových kriviek (JOK)*
- *objemové tabuľky*

### **3.8 Stanovenie zápoja porastu**

Zápoj bol stanovený pre každý porast ako podiel plochy korún k celkovej ploche porastu. Analýza sa vykonala v prostredí IDRISI 32 na rastrových obrazoch nástrojmi mapovej algebry. V práci bol pre výpočet plochy použitý modul AREA. Výmera bola počítaná v bunkách. Podiel plôch korún k celkovej ploche porastu bol vypočítaný prostredníctvom modulu IMAGE CALCULATOR.

## **4 Výsledky a diskusia**

Originálne farebné infračervené snímky č. 2, 3 a 4 boli ortorektifikované v prostredí IMAGESTATION SSK. Výsledkom procesu boli ortofotosnímky. Presnosť ortorektifikácie možno charakterizovať parametrom - stredná polohová chyba (RMS), ktorá bola v tomto prípade 0.73 cm.



V prostredí IMAGESTATION SSK bola na podklade stereo modelu z originálnych farebných infračervených snímok (1200 dpi) ďalej urobená vektorizácia jednotlivých korún stromov vo vybraných porastoch, ktoré boli neskôr použité ako verifikačná vrstva pre stanovenie správnosti automatizovaného procesu identifikácie korún stromov nástrojmi GIS. Podkladom pre vektorizáciu bol stereomodel vytvorený na základe stereo párov – snímky 2 a 3, 3 a 4.

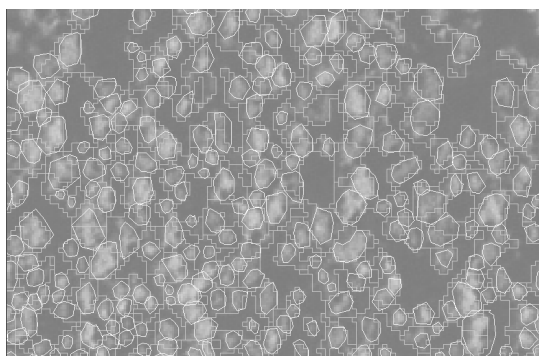
#### 4.1 Identifikácia jednotlivých korún stromov

Výsledky procesu identifikácie jednotlivých korún stromov na snímkach (obrazoch) vyjadrené počtom identifikovaných stromov v jednotlivých korún stromov sú uvedené v tabuľke č. 3. V tabuľke sú uvedené najlepšie výsledky pre jednotlivé porasty.

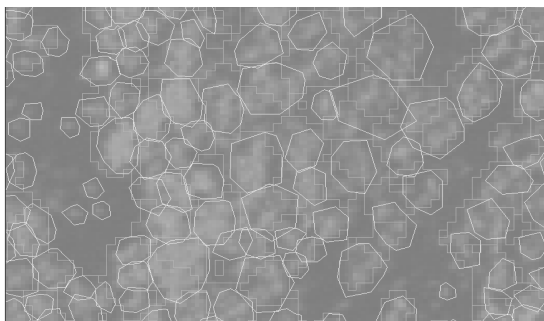
Výsledky procesu identifikácie jednotlivých korún stromov na snímkach (obrazoch) s priestorovým rozlíšením 0.4 m, 0.8 m, 1.6 m a 3.2 m sú uvedené v nasledovných tabuľkách a obrázkoch:

**Tab 3: Výsledky procesu automatickej identifikácie korún stromov v jednotlivých porastoch**

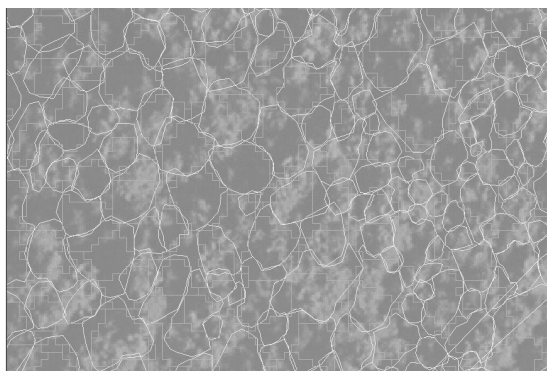
Porast číslo	Priest. rozlíšenie obrazu	Počet korún stereo model	Celkový počet automatizovane identifikovaných korún	Rozdiel oproti vizuálne identifik. korunám zo stereo modelu
308a	0.8 m	766	1150	384
310	0.8 m	512	458	-54
314	1.6 m	939	929	-10
365a	1.6 m	390	404	+14
365b	0.4 m	158	190	+32



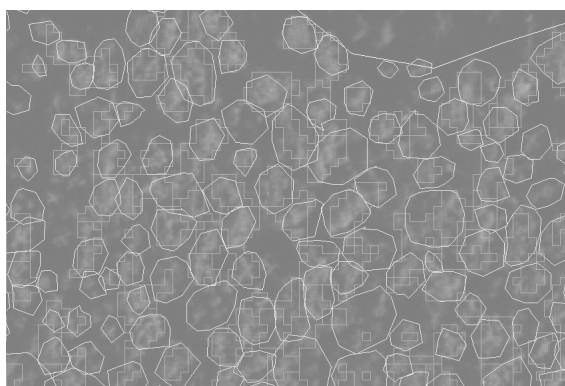
**Obr 2:** Výsledok automatizovanej identifikácie korún stromov v poraste č. 308a (detail), 0.8 m



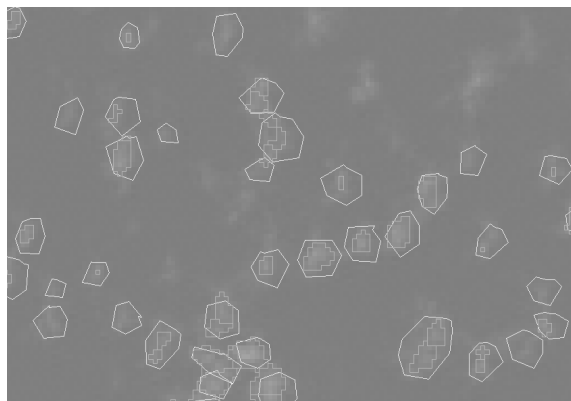
**Obr 3:** Výsledok automatizovanej identifikácie korún stromov v poraste č. 310 (detail), 0.8 m



**Obr 4:** Výsledok automatizovanej identifikácie korún stromov v poraste č. 314 (detail), 1.6 m



**Obr 5:** Výsledok automatizovanej identifikácie korún stromov v poraste č. 365a (detail), 1.6 m



**Obr 6:** Výsledok automatizovanej identifikácie korún stromov v poraste č. 365b (detail), 0.4 m

V nasledovnej tabuľke (Tab 4) je uvedený prehľad správnosti procesu identifikácie korún stromov, vzhľadom na počet správne identifikovaných korún v prostredí Idrisi 32 k počtu korún stromov vo verifikačnej vrstve.

**Tab 4: Prehľad správnosti výsledkov identifikácie korún stromov vzhľadom na počet správne identifikovaných korún v jednotlivých porastoch**

Porast č.	Celkový počet verifikačných korún	Počet ident. korún stromov	Počet správne ident. korún	Počet nesprávne ident. korún stromov	Počet neident. korún
308a	766	565	489	76	115
310	512	364	308	56	30
314	939	624	430	194	18
365a	390	292	231	61	15
365b	158	125	85	40	10

Do úvahy boli v prípade tvorby tejto tabuľky (Tab 4) vzaté len koruny stromov označené za najpresnejšie vzhľadom na zistený počet stromov.

### 4.3 Klasifikácia drevinového zloženia

Klasifikácia drevinového zloženia porastov bola robená za účelom stanovenia hrúbky ( $d_{1,3}$ ) jednotlivých stromov, strednej hrúbky a nakoniec zásoby porastu.

V prostredí eCognition bol pre každý analyzovaný vstupný obraz založený nový projekt. Vstupnými obrazmi boli obrázky jednotlivých porastov, ktoré boli označené za „najsprávnejšie“ z hľadiska počtu identifikovaných korún stromov. Na týchto obrazoch bol spustený segmentačný proces. Segmentačné parametre pre jednotlivé porasty sú uvedené v nasledovnej tabuľke (Tab 5):

**Tab 5: Vstupné parametre pre proces segmentácie v prostredí eCognition**

Porast č.	Rezolúcia obrazu	Mierkový parameter	Kritérium farby	Kritérium tvaru		
				Tvaru	Vyhladenosť	Kompaktnosť
308a	0.8 m	5	0.8	0.2	0.9	0.1
310	0.8 m	5	0.8	0.2	0.9	0.1
314	1.6 m	3	0.8	0.2	0.9	0.1
365a	1.6 m	3	0.8	0.2	0.9	0.1
365b	0.4 m	3	0.8	0.2	0.9	0.1

Klasifikácia bola urobená voľbou bez definovania vzťahov medzi prvkami triedy („Without Class Related Features“).

Celková správnosť klasifikácie a správnosť klasifikácie na základe KHAT indexu a celkovej miery správnosti bola vyhodnotená na základe porovnania výsledkov klasifikácie s TTA maskou modulom Accuracy Assessment (Tools / Accuracy Assessment). Výsledky správnosti klasifikácie jednotlivých obrazov boli u jednotlivých porastov nasledovné (Tab 6):

**Tab 6: Výsledky správnosti klasifikácie**

Porast č.	Počet hodnotených korún	Celková Správnosť [%]	KHAT Index [%]
308a	2762	72	54
310	713	82	61
314	916	64	42
365a	739	80	48
365b	1050	84	68

KHAT index je štatistickou mierou zhody medzi referenčnými a klasifikovanými údajmi, vylučujúc zhodu z titulu náhody. Správnosť klasifikácie charakterizuje náhodnú zložku chyby, ktorú môžeme očakávať pri klasifikácii z titulu pôsobenia náhodných faktorov.

Najlepšie výsledky sa v klasifikačnom procese dosiahli v prípade porastu 365a, kde KHAT index dosiahol v percentuálnom vyjadrení hodnotu 68%, pričom celková miera správnosti bola takmer 84%. Avšak aj v tomto prípade došlo v klasifikácii k chybám, pretože v procese klasifikácie nebola nájdená trieda Jedľa. Dá sa predpokladať, že na základe podobnosti došlo k jej zatriedeniu do triedy Smrek. Treba pripomenúť, že už v procese tvorby TTA masky nebolo možné ani zo stereo modelu správne identifikovať jednotlivé druhy drevín. Správnosť klasifikácie by v tomto, ale i v ostatných prípadoch zlepšilo priame overenie jednotlivých vzorových korún a drevín v poraste.

#### 4.4 Stanovenie výšky jednotlivých stromov v poraste a odvodenie strednej výšky porastu

Stredná výška porastu bola stanovená ako aritmetický priemer hodnôt výšok jednotlivých stromov získaných v predchádzajúcom kroku. Stredné výšky porastu ( $h_s$ ) a stanovenie presnosti sú uvedené v nasledovnej tabuľke (tab 7) :

**Tab 7: Presnosť stanovenia strednej výšky porastov zvolenou metódou**

Porast č.	$h_s$ [m]	$h_s$ (LHP) [m]	Rozdiel [m]
308a	16.2	10.9	+5.3
310	9.0	10.5	-1.5
314	22.2	22.8	-0.6
365a	24.5	17	+7.5
365b	23.7	31	-7.3

Z výsledkov vyplýva, že s použitím uvedenej metódy nemožno očakávať dosiahnutie prijateľných výsledkov čo sa týka odvodenia výšky stromu či porastu. Z hľadiska presnosti stanovenia strednej výšky porastu touto metódou bola najvyššia presnosť dosiahnutá v prípade porastu č. 314, kde došlo len k 3 % - nej chybe z podhodnotenia. V prípade porastu č. 310 došlo k podhodnoteniu strednej výšky porastu (-14 %). U ostatných porastov bola chyba z podhodnotenia či nadhodnotenia väčšia ako 20 %.

Napriek tu dosiahnutým výsledkom je treba povedať, že uvedená metóda sama o sebe nie je nevhodná. V tomto prípade nie veľmi vhodným, dostatočne presným, zdrojom pre spracovanie bol obraz digitálneho modelu povrchu (DSM). Veľmi vhodným a presným zdrojom by bol v tomto prípade obraz DSM z laserového skenovania povrchu. V tom prípade by sa dali očakávať oveľa vyššie hodnoty presnosti stanovenia výšky ako jednotlivých stromov, tak i celých porastov.

#### 4.5 Stanovenie hrúbky jednotlivých stromov v poraste a odvodenie strednej hrúbky porastu

Stanovenie hrúbky stromu nadväzuje na predchádzajúce kroky – klasifikáciu drevinového zloženia porastov a stanovenie výšok jednotlivých stromov v poraste. V kapitole Metodika je uvedený vzťah pre výpočet hrúbky stromu na základe najširšieho priemeru koruny, výšky stromu a regresných koeficientov vypočítaných pre jednotlivé druhy drevín. Koeficienty sú vypočítané len pre dreviny Sm, Jd, Bo, Bk a Db. V prípade výpočtu hrúbky stromu pre iný druh dreviny bolo potrebné priradiť ho, podľa príbuznosti, k jednej z uvedených drevín.

Pre stanovenie hrúbky jednotlivých stromov a na ich základe aj strednej hrúbky porastu boli použité údaje, ktoré bolo možné odvodiť priamo zo získaných obrýsov korún stromov – maximálnych priemerov korún stromov.

Výsledky analýzy sú uvedené v tabuľke 8.

**Tab 8: Priemery korún stromov vypočítané z automatizovane identifikovaných korún stromov**

Porast č.	Počet korún	$d_{\max}$ [m]	$d_s$ [m]	$\sigma$
308a	776	8.50	4.82	0.85
310	512	8.62	4.20	0.87
314	939	17.86	8.02	2.22
365a	393	13.28	6.64	1.36
365b	190	5.20	2.04	0.50

#### 4.6 Stanovenie objemu jednotlivých stromov v poraste a odvodenie celkovej zásoby porastu

Objem jednotlivých stromov a zásoba porastu možno stanoviť na základe parametrov korún stromov získaných automatizovanou identifikáciou v prostredí Idrisi 32 a porovnať s údajmi z LHP, príp. s terénnymi meraniami zo skusných plôch. V práci je uvedený len popis metódy pre odvodenie zásoby porastu, nakoľko vstupné údaje pre jej stanovenie v analyzovaných porastoch, boli už dopredu zaťažené meračskou chybou, čím by došlo vo výraznej miere k nadhodnoteniu či podhodnoteniu zásoby porastu.

Stanovenie zásoby porastu sa urobí na základe stanovenia objemu jednotlivých kmeňov. Objemy jednotlivých kmeňov sa stanovujú s použitím objemových tabuliek, na základe zistenej výšky stromu ( $h$ ) a jeho hrúbky ( $d_{1,3}$ ). Súčtom objemov jednotlivých kmeňov sa stanoví celková zásoba porastu. Zásoba porastu na 1 ha sa stanoví ako podiel celkovej zásoby porastu a plochy porastu.

#### 4.7 Stanovenie zápoja porastu

Jednou zo základných taxačných charakteristík lesa je aj zápoj porastu. Zápoj porastu bol v tomto prípade stanovený ako podiel plochy korún porastu [bunky] k celkovej ploche porastu [bunky]. Hodnoty zápoja pre analyzované porasty sú uvedené v tabuľke 9:

**Tab 9: Výsledky stanovenia zápoja porastov**

Porast č.	Vek porastu [roky]	Plocha korún [bunky]	Celková plocha [bunky]	Zápoj
308a	25	27363.807	38945.303	0.7
310	25	7627.214	10978.893	0.7
314	80	52423.014	90909	0.6
365a	90	13259.846	28759.447	0.5
365b	115	628.476	7079.574	0.1

V tabuľke je farebne vyznačený záznam, ktorý možno z hľadiska získanej hodnoty zápoja označiť za kontroverzný. To, že hodnota zápoja je pre porast 365b nízka je

zapríčinené viacerými faktormi. V tomto prípade ide najmä o faktor drevinového zloženia. V tomto prípade je porast tvorený ihličnatými drevinami (Sm 85%, Bo 13%, Jd 2%). To sa prejavilo aj na snímke porastu, kde nebolo možné identifikovať všetky koruny stromov, čím došlo k podhodnoteniu počtu stromov a zároveň redukcii ich korunovej plochy, a to sa odrazilo v hodnote zápoja odvodenej práve z korunovej plochy porastu. Hodnoty zápoja stanovené pre zvyšné porasty možno označiť za zodpovedajúce veku porastu.

## 5 Záver

V príspevku popísaná metóda pre automatizovanú identifikáciu korún stromov prostriedkami GIS je vhodná pre prácu s obrazmi jednotlivých porastov. Nepredpokladá sa jej využitie v procese analýzy celej snímky naraz. Jej využitie je vhodné najmä pre porasty homogénne čo sa týka veku a drevinového zloženia. Aj keď výsledky poukazujú na možnosť jej použitia aj v prípade porastov zmiešaných či vekovo diferencovaných, je potrebné uvedomiť si, že analýzy je potrebné vykonávať na jednotlivých porastoch – relatívne homogénnych častiach snímky, čo umožňuje pri výbere obrazu vhodného priestorového rozlíšenia, vychádzajúc z kritérií pre jeho výber, identifikovať jednotlivé koruny stromov na obraze a následne je možné na základe získaných obrysov korún stromov odvodiť ďalšie parametre stromu a následne celého porastu.

Z hľadiska výberu vhodného priestorového rozlíšenia vstupného obrazu sa na základe výsledkov jednotlivých analýz odporúča používať snímky s vysokým priestorovým rozlíšením (pod 1 m) v prípade analýzy obrazu mladších porastov. Pre dospelé a staré porasty je vhodné používať snímky s priestorovým rozlíšením viac ako 1m, okolo 1.6 m vychádzajúc z výsledkov. V prípade použitia snímok s vyšším priestorovým rozlíšením u dospelých porastov dochádza k roztriešteniu jednotlivých korún na menšie časti a naopak použitie snímok s nižším priestorovým rozlíšením v prípade mladých porastov (okolo 20 – 25 rokov) znemožňuje identifikáciu všetkých korún v poraste.

V príspevku je ďalej uvedená metóda pre odvodenie druhového zloženia porastu prostredníctvom klasifikácie obrazu v prostredí eCognition. V prípade použitia klasifikátora štandardného najbližšieho suseda ide o časovo nenáročnú metódu. Dôležitým predpokladom úspešného výsledku klasifikačného procesu je vhodne zvolený mierkový parameter v procese segmentácie, ktorá predchádza samotnej klasifikácii a vhodne zvolené vzory (samples) jednotlivých tried, predstavujúce jednotlivé druhy stromov na obraze. Veľkosť mierkového parametra je potrebné voliť s ohľadom na vek porastu, drevinové zloženie a teda parametre očakávanej koruny stromu.

Pre zlepšenie výsledkov identifikácie jednotlivých korún stromov, ale najmä stanovenia taxačných parametrov stromov a porastu či zisťovanie zdravotného stavu lesa, odporúčam do budúcnosti sa zamerať na nové materiály DPZ ako sú hyperspektrálne snímky a hlavne snímky z laserového skenovania (LIDAR).

Z hľadiska zlepšenia výsledkov klasifikácie druhového zloženia v poraste je potrebné overovanie vzorov jednotlivých druhov drevín priamo v poraste s ich následným vylíšením na leteckej snímke.

V prípade stanovenia základných taxačných charakteristík lesa (ale aj jednotlivých druhov drevín) bude v budúcnosti vhodné a potrebné v procese ich stanovenia zamerať sa na štatistické prostriedky – dvojfázový, príp. viacfázový výber, kde sa v prvej fáze odhadnú tieto charakteristiky zo snímky a v druhej fáze sa na vybratých jednotkách (jednotlivých stromoch priamo v poraste, príp. skusných plochách) urobí presnejšie zistenie hodnôt cieľovej veličiny, čím dôjde k jej spresneniu.

Digitálna analýza obrazu ponúka pre oblasť lesníctva racionálnu alternatívu k doterajším terestrickým postupom používaným v praxi hospodárskej úpravy lesov. Príspevok predkladá metódu na extrakciu korún stromov z leteckých snímok a na ich základe metódu následného odvodenia základných taxačných parametrov lesa ako je výška stromu/porastu, hrúbka stromu/porastu, objem kmeňa, zásoba porastu a korunový zápoj.

## Referencie

1. GOUGEON, F.A.: Automatic Individual Tree Crown Delineation Using a Valley-Following Algorithm and Rule-Based System. In: *Automated Interpretation of High Resolution Digital Imagery for Forest*. Natural Resource Canada, Victoria, British Columbia, 1998.
2. Larsen, M.: Individual Tree Top Position Estimation by Template Voting. In: *Proceedings of the Fourth International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition / 21<sup>st</sup> Canadian Symposium on Remote Sensing*. vol. II. p. 83-90; ERIM International. Inc., Ann Arbor. USA, 1999.
3. Pretzsch, H.: Application and evaluation of the growth simulator SILVA 2.2 for forest stands, forest estates and large regions. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 121, Göttingen, 2002.
4. Šumbera, S.: Digitální klasifikace druhové a prostorové skladby lesních porostů z materiálů DPZ. Dizertačná práca. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. 2001.