



## FOREST MAPPING USING AIRBORNE LASER SCANNING DATA

Miroslav Kardoš  
Technical university in Zvolen  
Faculty of Forestry  
T. G. Masaryka 24  
96001 Zvolen

### Abstract

*The use of airborne laser scanning technology is nowadays on the rise in Slovakia. The application of this technology in forestry is not lagging behind, and therefore it is important to examine and analyse the process of improvement and application of methods and their use in practice. Airborne laser scanning technology can penetrate under dense tree canopies and vegetation. We can map the terrain and the surface at the same time with relatively high accuracy. The main objective of this work is to validate the methodology of forest identification, comparison with the reference data of the Land Registry and identification of forests on non-forest land – so called white areas on the basis of freely available airborne laser scanning data. White areas are areas covered with forest trees that are registered in the land register for purposes other than forest functions. The survey plots were selected regarding parameters of structure of forest land, existence of white areas and non-forest land. The data were obtained from the Geodesy, Cartography and Cadastre Authority of the Slovak Republic. The forest classification method was evaluated using the criterion of minimum tree height of 5 m. By comparison with reference data, we identified 2.30 ha of white areas in the area of interest. In conclusion, we proposed solutions for their further management in Slovakia.*

### Keywords

*Airborne laser scanning, forest mapping, photogrammetry*

### 1. ÚVOD

V lesníckom mapovaní sú využívané dve základné skupiny metód merania a vyhodnotenia:

- Geodetické terestrické merania využívajúce globálne navigačné satelitné systémy (GNSS)
- Fotogrametrické vyhodnotenia, využitím digitálnej fotogrametrie

GNSS zariadenia sú špeciálne prijímacie zariadenia prostredníctvom ktorých, dokážeme určiť polohu v reálnom čase. Využívaním GNSS zariadení v lesníctve získavame informácie o polohe jednotlivých prvkov lesníckeho mapovania s vysokou presnosťou a efektívnosťou, pričom súčasne dokážeme získavať informácie o polohe a výške jednotlivých prvkov. Výhodou využívania GNSS technológie je, že v rámci mapovania sa nevyžaduje vzájomná viditeľnosť medzi geodetickými bodmi na rozdiel od iných terestrických metód. Využívanie GNSS je výhodné pri lokalizovaní a mapovaní kalamitných plôch, ohnisk poškodenia lesných porastov a zameriavaní lesných ciest.

V posledných rokoch sa v lesníckom mapovaní dobre uplatňuje aj využívanie smartfónov [1], kde autori porovnávali hodnotenie polohovej presnosti údajov získaných využitím smartfónov s priestorovými údajmi získanými pomocou zariadení využívajúcimi GNSS.

Za najpoužívanejšiu metódu lesníckeho mapovania môžeme považovať fotogrametriu, ktorá je využívaná v prevažnej väčšine mapovacích prác [2].

Vo svojej podstate sa jedná o proces získavania ako kvalitatívnych, tak aj kvantitatívnych informácií pozorovaním

skúmaných predmetov a javov. Interpretácia predstavuje postup získavania informácií jednoduchým alebo stereoskopickým zobrazením [3].

Výrazný rozvoj nastal využívaním digitálneho snímkovania, ktoré umožňuje pomocou jedného snímkového letu získať záznam rôznych častí spektra elektromagnetického žiarenia. Proces interpretácie obrazu je ovplyvnený aj geometrickými a spektrálnymi vlastnosťami LMS. Tieto vlastnosti môžu byť upravované panchromatickým zaostrovaním, ktoré predstavuje proces kombinácie panchromatických (čiernobielych) obrazov s vyšším rozlíšením a multispektrálnych (farebných) obrazov s nižším rozlíšením.

Vo všeobecnosti môžeme hovoriť o fúzií dvoch alebo viacerých obrazov pre vytvorenie novej snímky, použitím určitého algoritmu [4].

Farebné syntézy vytvorené panchromatickým zaostrovaním ponúkajú možnosť získavať detailnejšie informácie z väčších území. Ich využívaním tak dokážeme čiastočne posúdiť zdravotný stav lesa, identifikovať miesta vzniku ťažbových kalamitných plôch, lokalizovať lesné cesty a sklady alebo aj identifikovať poškodenie jednotlivých stromov [5]. Autori uvádzajú, že zlepšením spektrálnych a geometrických vlastností digitálnych snímok procesom panchromatického zaostrovania sa zlepšil samotný proces fotogrametrického vyhodnotenia a interpretácie obrazu.

#### 1.1. Fotogrametria v lesníckom mapovaní

Fotogrametria umožňuje získanie geometrických informácií o objektoch nachádzajúcich sa na fotogrametrických snímkach. Charakteristickou črtou fotogrametrie je jej možnosť zachytiť

časovo úzko ohraničený stav. Umožňuje tak vyhodnotenie objektov nachádzajúcich sa na fotogrametrickej snímke a následne ich kvalitatívne popísanie a identifikáciu na zemskom povrchu [6].

Pri popisovaní kvantitatívnych charakteristík ide najmä o veľkosť, orientáciu a pozíciu objektov. Z lesníckeho hľadiska sa jedná o výšku stromov, zásobu a priestorové súradnice neznámych bodov [7].

Využívanie metód digitálnej fotogrametrie v lesníctve smeruje k využívaniu informácií zachytených a nesených na snímkových materiáloch (farebné, infračervené alebo multispektrálne snímky), vplyvom ktorých značne stúpa množstvo získaných špeciálnych lesníckych informácií pre rôzne účely v rámci lesníckej činnosti.

Digitálna fotogrametria predstavuje najvyššiu formu geometrického spracovania LMS s výraznými prvkami automatizácie. Za výrazný prvok môžeme považovať digitálnu obrazovú koreláciu, ktorá rieši problémy automatickej vzájomnej orientácie, priradovania obrazov v pásme trojnásobného a priechneho prekrytu [8].

Letecké snímky ako hlavný podklad pre tvorbu ortofotomozaiky sú vyhotovované snímkovaním zemského povrchu počas letovej dráhy lietadla [9].

Letecké snímky predstavujú rastrový obraz zemského povrchu so svojou geometrickou presnosťou a rádiometricou správnosťou. Pomocou orientácie a spájaním niekoľkých snímok môžeme vytvárať ortofotomozaiky, ktoré v porovnaní so satelitnými snímkami opisujú celé územia zo zvyčajne väčším rozlíšením a presnejším zachytením detailu. Za ďalší dôležitý produkt digitálnej fotogrametrie sú považované digitálne modely terénu. Pre ich tvorbu je nevyhnutné disponovať spoľahlivým stereomodelom. Z výsledného stereomodelu je tak možné okrem polohopisných extrahovať aj výškopisné údaje, ktoré sú potrebné pre tvorbu digitálneho modelu terénu [10].

### 1.2. Prvky lesníckeho mapovania

Lesnícke mapovanie si z dôvodu jeho tematického zamerania vyžaduje získavanie kvalitných a presných informácií rôznorodého charakteru. Meranie na základe požadovanej presnosti tak možno rozdeliť do dvoch skupín:

- vlastnícke hranice lesných pozemkov, vyžadujúce meranie s presnosťou na základe katastrálneho mapovania,
- lesnícky detail, ktorý je podkladom tvorby účelových lesníckych máp s nižšími požiadavkami na presnosť [11].

Presnosť máp vychádza z presnosti mapovania a geografického zobrazovania alebo aj presnosti mapového podkladu. Táto presnosť sa potvrdzuje na základe hodnôt strednej chyby a krajných odchýlok. Podľa Slovenskej technickej normy STN 01 3410 je presnosť mapovania rozdelená do tried presnosti 1. až 5. S ohľadom na potreby lesníckeho mapovania sa štandardne v rámci lesníckeho mapovania využíva 5. trieda presnosti ( $m_{xy} = 0,50$  m). V prípadoch ak je potrebná presnosť katastrálneho merania (meranie vlastníckych hraníc), je nevyhnutné zabezpečiť meranie vo vyššej triede presnosti. Medzi základné objekty a prvky lesníckeho mapovania zaraďujeme:

- hranice a plochy lesa, jednotiek priestorového rozdelenia lesa a lesných pozemkov,
- lesné cesty,
- vodné toky, vodné plochy, prírodné prvky vytvorené alebo ovplyvňované vodou,
- budovy a stavebné objekty na lesných pozemkoch, zastavané územia, stavebné objekty mimo lesných pozemkov, dôležité pre orientáciu v teréne,
- značky charakterizujúce spôsob využívania lesných pozemkov, značky schematické, zobrazujúce prírodné a umelé prvky v krajine,
- výškopis,
- miestopis v súlade so štandardizáciou geografického názvoslovía, označenie plošných jednotiek lesa a lesných pozemkov, ďalšie spresňujúce texty a skratky,
- bodové pole meraných bodov, výrazne vylíšené hraničné body stromov a výškové body,
- ostatné popisné a spresňujúce kartografické prvky [12]

### 1.3. Definícia lesa

Hranice a plochy lesa predstavujú dominantný objekt vrámci lesníckeho mapovania. Pri každom určení výmery lesa stojíme pred otázkami: „Čo je les? Aké sú kritériá lesa?“ Na určenie lesa existuje viacero rôznych pohľadov a preto aj viacero kritérií. Laicky možno povedať, že les je plocha, kde rastú dreviny a sú na určitej minimálnej výmere v primeranej vzdialenosti od seba. V praxi sa ale stretávame s rôznymi názormi a preto definície môžeme rozdeliť do dvoch typov: administratívno-právne a ekologické. Administratívno-právna definícia lesa je zaradenie plochy do lesného pôdneho fondu. Typickým príkladom tejto definície je Kataster nehnuteľností, ktorý rozdeľuje parcely podľa druhu pozemku. V prípade lesa sa eviduje s číselným kódom 10, t. j. „lesné pozemky“. Tieto parcely sú tak stále evidované ako „lesy“ bez ohľadu na to či sa tam les reálne nachádza alebo nie. Potrebné je však spomenúť, že les sa tam nemusí nachádzať nezávisle od vôle človeka, zvyčajne kvôli kalamite, ktorá musela byť spracovaná do takej miery, že vznikla holina, avšak s obnovou lesa sa spravidla počíta rovnako ako aj s jeho ďalším obhospodarovaním. V lesnom hospodárstve sa preto aj tieto plochy považujú za les. Ďalej lesnými pozemkami sú pozemky slúžiace lesnému hospodárstvu – lesné škôlky, semenné sady, lesné sklady, lesné cesty a priesečky a pozemky nad hornou hranicou lesa vrátane kosodreviny. Rovnako za les sa považujú pozemky, ktoré boli dočasne vyňaté z plnenia funkcií lesov.

Ďalším príkladom administratívno-právnej definície lesa je zaradenie plochy do jednotky priestorového rozdelenia lesa (JPRL). Ako JPRL sú spravidla evidované lesné pozemky, no nie všetky lesné pozemky sú aj zaradené do JPRL. Pozemky evidované ako JPRL majú mimoriadny význam pre lesnícke disciplíny ako sú hospodárska úprava lesov, pestovanie lesa, ochrana lesa, lesná ťažba a pod. Evidujú sa po dielcoch v prvom rade podľa vekových tried. Každý dielec má svoje jedinečné číslo v rámci lesného celku (LC), ku ktorému sa ďalej eviduje drevinové zloženie, výmera, zakmenenie, zásoba, sklon,

približovacia vzdialenosť, lesný typ atď. Podobne ako lesné pozemky v katastri nehnuteľností (KN) aj JPRL sa môžu nachádzať v stave holiny nezávisle od vôle človeka, zvyčajne opäť kvôli kalamite.

Ekologických pohľadov na les existuje niekoľko. Jednou z ekologických definícií je, že „les je spoločenstvo organizmov žijúcich v lesnej pôde, stromov, bylín, húb a živočíchov, ktoré žijú vo vzájomných vzťahoch“. Dôležité sú však aj číselné kritériá – ekologické definície zvyknú stanovovať najnižšiu výšku stromov a minimálnu výmeru plochy, pri ktorej sa porast ešte považuje za les. Z výšok najčastejšie býva hranica 5 m, ale stále sa vedú diskusie, či sa má jednať o výšku dosiahnuteľnú v dospelosti alebo výšku aktuálnu. Minimálna výmera sa stanovuje tiež rôzne, zvyčajne 0,5 ha. Častejšie sa ale definujú aj menšie výmery. Pre vytvorenie klímy porastu je výmera 0,5 ha dostatočná [12].

Okrem kritéria minimálnej výmery sa pre dosiahnutie presnejších výsledkov klasifikácie lesa aplikujú aj ďalšie kritériá ako minimálna šírka plochy 20 m, minimálna pokryvnosť 10 %. Kľúčovým v tomto prípade je postup pre identifikáciu korún stromov, ktorá je predpokladom pre určenie zápoja. Ten je jedným z kritérií pre určenie lesa podľa Technickej príručky HÚL [13]. Existuje niekoľko postupov pre identifikáciu vrcholov stromov pri identifikácii hraníc lesa. Väčšina výskumných aktivít pri spomínanej problematike sa opiera o identifikáciu lokálnych maxím, napr. [14], [15], [16].

#### 1.4. Biele plochy

Problematika bielych plôch má v lesníctve osobitné postavenie a význam. Jedná sa o pozemky (parcely) evidované v katastri nehnuteľností (katastrálnom operáte) nie ako lesná pôda ale napr. orná pôda, trvalé trávne porasty (TTP) a i., napriek tomu sa tam nachádza reálny les spĺňajúci kritériá ekologickej definície lesa. Biele plochy majú príznačný charakter lesných porastov. Ich výmera v posledných rokoch až desaťročiach stále stúpa. Hlavnou príčinou zvyšovania výmery bielych plôch je zanedbaná starostlivosť alebo neobrábanie poľnohospodárskej pôdy, ktorej výmera tak klesá a jej údaje o výmere na Slovensku môžu byť nadhodnotené. Výraznejší nárast nastal po roku 1989 po ktorom nasledovala vlna prinavracania majetkov a pôdy pôvodným vlastníkom resp. ich dedičom. Tento proces je známy pod názvom „reštitúcie“. Títo vlastníci sa však o pozemky nestarali, štátne orgány nepracovali efektívne a nepostihovali tieto porušenia [17].

Podľa zákona č. 220/2004 Z. z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy „je vlastníkom, nájomcom alebo správcou pozemku povinný starať sa o poľnohospodársku pôdu tak, aby nedochádzalo k jej chemickej, fyzikálnej či biologickej degradácii“. Vo výnimočných prípadoch boli tieto plochy založené umelou obnovou, ale prevažne sú porasty založené hlavne prirodzenou obnovou z oficiálne evidovaných lesných porastov a rokmi až desaťročiami sa stále viac rozširujú na úkor poľnohospodárskej pôdy či TTP. Tieto zarastené pozemky je potrebné rekultivovať späť, aby spĺňali kritériá evidovaného pozemku alebo ich preklasifikovať na lesné pozemky čím sa odstráni nezrovnalosť s katastrom nehnuteľností [18].

Následne potom môžu byť zaradené do JPRL a programu starostlivosti o les (PSL).

Cieľom práce bolo posúdiť možnosť identifikácie lesných pozemkov a s tým súvisiacich bielych plôch, najmä prostredníctvom technológie leteckého laserového skenovania aplikovaním výškového kritéria na klasifikované mračno bodov.

## 2. MATERIÁL A METÓDY

Záujmové územie (obr. 1), dostatočne členité, za účelom skúmania a zisťovania veľkosti bielych plôch bolo vybrané na Vysokoškolskom lesníckom podniku (VŠLP) pri Technickej univerzite vo Zvolene v katastrálnom území obce Sielnica.



Obrázok 1 - Záujmové územie pre overenie metodiky na klasifikáciu lesa z údajov leteckého laserového skenovania

Územie sme vyberali expertným výberom tak, aby sa na ňom nenachádzal len súvislý lesný porast ale aj poľnohospodárska pôda, o ktorej sme vedeli, že nie je poľnohospodársky udržiavaná a viditeľne zarastená lesným porastom. Na lesných pozemkoch sme sa snažili nájsť územie, ktoré tiež nie je úplne lesnaté ale s dočasne sa vyskytujúcou holinou (po ťažbe alebo kalamite). Tretím, hoci menej významným kritériom bol výskyt remízok alebo menších skupín stromov.

Dátové zdroje tvorili existujúce letecké snímky a ortofotomapy a tiež údaje leteckého laserového skenovania [19]. Výmera záujmového územia predstavovala 1,25 km<sup>2</sup>.

### 2.1. Klasifikácia objektov

Prvým krokom pri klasifikácii lesa z údajov LLS bola klasifikácia bodového mračna (prvotné údaje z LLS) do tried definovaných štandardom LAS. Za týmto účelom sme využili klasifikačné stratégie implementované v softvéri SCOP++. Výsledná klasifikácia územia predstavovala bodové mračno rozdelené do tried terén (ground, posledný odraz) a vegetácia (nízka, stredná, vysoká). Ďalším krokom bol export klasifikovaných údajov vo vektorovom tvare do GIS prostredia.

V prostredí GIS (ArcGis) nasledovali kroky pozostávajúce z nastavenia parametrov prostredia (jednotky, súradnicový systém), vytvorenie údajovej databázy, import klasifikovaných bodových mračen a výpočet ich štatistických charakteristík.

Na vytvorenie rastrových modelov terénu (DMT) a povrchu (DMP) potrebných pre ďalšiu analýzu a najmä vytvorenie normalizovaného digitálneho modelu povrchu (nDMP) sme použili konverznú metódu s maximálnymi hodnotami výšok z bodového mračna. Samotný nDMP predstavuje rozdiel vysokej

vegetácie a terénu, čo nám v ďalších fázach aplikovaného postupu umožnilo získať výšky stromov. Ako kritérium výšky sme použili hranicu 5 m, pričom reklasifikáciou vytvoreného nDMP sme odfiltrovali vegetáciu s nižšou výškou.

Za účelom identifikácie bielych plôch bolo potrebné porovnať reálny stav lesa oproti evidencii lesných pozemkov v katastri nehnuteľností. Selekcii parciel z vektorovej katastrálnej mapy sme realizovali v programe Kokeš, previazaním s databázou a filtráciou parciel s iným kódom druhu pozemku ako 10.

Identifikácie bielych plôch prebehala v GIS prostredí preložením a odčítaním vektorových vrstiev reprezentujúcich skutočný les podľa klasifikácie z údajov LLS a vektorovej katastrálnej vrstvy.

### 3. VÝSLEDKY

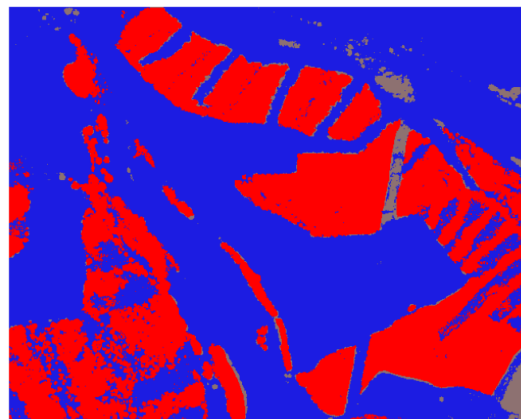
Výmery pozemkov na ktorých sa nachádza les, klasifikovaný podľa minimálneho výškového kritéria, stav lesných pozemkov podľa evidencie KN ako aj identifikovaný les nachádzajúci sa na nelesných pozemkoch podľa evidencie KN - tzv. biele plochy uvádzame v tabuľke č. 1. V tabuľke je okrem toho aj uvedená výmera celého záujmového územia.

Tabuľka 1 - Vyhodnotenie identifikácie lesa z údajov leteckého laserového skenovania a identifikácia bielych plôch

	Výmera (ha)	Percentuálny podiel (%)
Výmera celého územia	125,23	100,00
Skutočný les podľa klasifikácie LLS	47,91	38,26
Lesné pozemky podľa stavu KN	45,03	35,96
Biele plochy	2,88	2,30

Identifikované biele plochy predstavujú plochu o výmere 2,30 ha, čo je zvyčajne výmera niekoľkých dielcov (minimálna výmera dielca je definovaná na 0,5 ha). Podľa oficiálneho stavu KN je v tomto území lesnatosť cca 36 %, avšak v skutočnosti sa les podľa klasifikačného kritéria (5 m výška) nachádza na ploche takmer 48 ha, čo reprezentuje lesnatosť záujmového územia 38,26 % (obr. 2).

Je potrebné podotknúť, že do výmery identifikovaného lesa z údajov LLS sú zahrnuté aj plochy pokryté stromami (a ich korunami) aj mimo súvislých porastov, kde sa nachádzajú stromy jednotlivo alebo v hlúčkoch, avšak dosahujú minimálnu výšku 5 m. Celkovo sa nám ale potvrdila skutočnosť z národnej inventarizácie a monitoringu lesa, podľa ktorého je skutočná výmera lesov na Slovensku vyššia o 3 % ako oficiálne štatistiky (44 % namiesto 41% na celom Slovensku).



Obrázok 2 - Výstup klasifikácie lesa z údajov leteckého laserového skenovania po aplikácii minimálnej výšky stromov 5 m

### 4. Záver

Zisťovanie stromových resp., porastových charakteristík, výmer lesných pozemkov leteckým laserovým skenovaním má čoraz väčší zmysel, pretože nám umožňuje rýchle zmapovanie lesných porastov, zisťovanie objemu nadzemnej biomasy, ako aj nesúladov medzi evidenciami lesníckeho mapovania a katastra nehnuteľností. Keďže pri skenovaní dochádza k zachyteniu viacnásobného odrazu okrem samotného terénu, ľahko zistíme aj výšky stromov v poraste, resp. informácie o celkovej vertikálnej štruktúre stromov a porastov. Pri znalosti kritérií lesa a správnych postupov sa môžeme rýchlo dopracovať k výmere lesných pozemkov a ich skutočnému stavu, aktuálnemu k momentu zberu údajov laserového skenovania. Uvedené sú navyše dostupné prostredníctvom Úradu geodézie, kartografie a katastra SR [19], čím sa stáva aplikácia metodík na identifikáciu lesa dostupnejšou.

Lesy majú veľký význam pre krajinu a tiež pre lesné hospodárstvo. Keďže sa za posledné desaťročia zvyšuje ich výmera, treba zvýšiť pozornosť pri manažovaní lesných pozemkov v zmysle programov starostlivosti o lesy, pod ktoré však nespádajú tzv. biele plochy (les rastúci na nelesných pozemkoch podľa evidencie KN). Vhodným riešením problémov, ktoré sú spojené s manažmentom bielych plôch je vo väčšine prípadov ich preklasifikovanie do druhu lesných pozemkov (kód 10) v evidencii KN. Tento postup je jednoduchý v prípade, keď celá parcela je pokrytá lesom, dochádza tam k plneniu funkcií lesa, prípadne je plocha aj obhospodarovaná. Zložitejší je postup, keď je lesom porastená len časť parcely, vtedy je možným riešením jednu parcelu rozdeliť na dve nové parcely (s pôvodným a novým druhom pozemku).

### PodĎakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Výskum a vývoj bezkontaktných metód pre získavanie geopriestorových údajov za účelom monitoringu lesa pre zefektívnenie manažmentu lesa a zvýšenie ochrany lesov, kód ITMS 313011V465, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## Referencie

- [1] Tomastik, J., Mokros, M., Salon, S., Chudy, F., Tunak, D., 2017. Accuracy of Photogrammetric UAV-Based Point Clouds under Conditions of Partially-Open Forest Canopy. *Forests* 8, UNSP 151. <https://doi.org/10.3390/f8050151>
- [2] Kardoš, M., Tuček, J., Chudý, F., Tomašík, J., Slatkovská, Z., 2017. Aplikácie laserového skenovania v lesníctve. *Slovenský geodet a kartograf (recenzovaný odborný časopis Komory geodetov a kartografov SR)*, Bratislava 2017, ročník XXII, č. 4, p. 11 – 17. ISSN-1335-4019.
- [3] Žíhľavník, Š., 2009. Geodézia, fotogrametria a mapovanie v lesníctve. Vysokoškolská učebnica. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 388 s. ISBN 978-80-228-1977-0
- [4] Perko, R., Raggam, H., Gutjahr, K., Schardt, M., 2014. Assessment of the mapping potential of Pléiades stereo and triplet data. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences II-3*, 103–109. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-3-103-2014>
- [5] Šadibol, J., Chudý, F., 2013. Panchromatické zaostrovanie multispektrálnych snímok na získavanie kvantitatívnych a kvalitatívnych informácií v oblasti lesníckeho mapovania. [online]. In *Sborník Gis Ostrava 2013*. Ostrava. 2013. [cit.2019.1.5]. Dostupné na internete: <[http://gisak.vsb.cz/GIS\\_Ostrava/GIS\\_Ova\\_2013/sbornik/papers/gis2013508affc97d081.pdf](http://gisak.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2013/sbornik/papers/gis2013508affc97d081.pdf)>
- [6] Schenk, T., 2005. *Introduction to Photogrammetry*, Columbus: The Ohio State University. 2005. 95 p.
- [7] Schroedel, J. 2002. *Engineering and Desing Photogrammetric mapping*. Department of the Army U.S. Army Corps of Engineers. Washington, DC.: 2002. 371 p.
- [8] Chudý, F., Kardoš, M., Šadibol, J., 2012. Digitálna fotogrametria neoddeliteľná súčasť lesníckeho mapovania. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. 2012. 81 s. ISBN: 9788022823142.
- [9] Fabrika, M., Pretzsch, H., 2011. *Analýza a modelovanie lesných ekosystémov*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. 2011. 599 s. ISBN: 978-80-2281-0
- [10] Kardoš, M., 2006. *Nové trendy využitia fotogrametrie pri lesníckom mapovaní*. Dizertačná práca. Technická univerzita vo Zvolene, 2006. 130 s.
- [11] Halvoň, J. 2007. *Geodetický a kartografický obzor*. Praha: Český úrad zeměměřický a katastrální a Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky. 2007. 121 -148 s.
- [12] Národné lesnícke centrum: [www.forestportal.sk](http://www.forestportal.sk)
- [13] [árodné lesnícke centrum, 2009. *Technická príručka HÚL I*. Metodické pokyny. Zvolen: Národné lesnícke centrum, 2009. Dostupné na internete: <<http://www.nlcsk.sk/files/1316.pdf>>
- [14] Sačkov, I., Kardoš, M., 2014. Forest delineation based on LiDAR data and vertical accuracy of the terrain model in forest and non-forest area. In *Annals of forest research: journal of forestry and environmental sciences*. 2014, vol. 57, s. 119--136. ISSN 1844-8135. ITMS 26220120069 ; HUSK/1101/1.2.1/014
- [15] Argamosa, R., Paringit, E., Quinton, K., Tandoc, F., Faelga, R., Ibanez, C., Posilero, M., Zaragosa, G., 2016. Fully automated gis-based individual tree crown delineation based on curvature values from a LiDAR derived canopy height model in a coniferous plantation. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B8, 2016 XXIII ISPRS Congress, Prague, Czech Republic*
- [16] Eysn L., Hollaus, M., Schadauer, K., Pfeifer, N., 2012. *Forest delineation based on airborne LIDAR data*. *Remote Sensing* 4(3): 762-783. doi:10.3390/rs4030762
- [17] Pado, R., 2018. Biele plochy – slovenské Hic sunt leones. Dostupné online: <https://blog.sme.sk/pado/spolocnost/biele-plochy-slovenske-hic-sunt-leones>
- [18] Kurčíková, M., 2015. *Automatická identifikácia hraníc lesných porastov z materiálov digitálnej fotogrametrie a laserového skenovania: dizertačná práca*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. Lesnícka fakulta. 2015. 122 s. 16 príloh.
- [19] Úrad geodézie, kartografie a katastra SR, 2022. Dostupné na internete:
- [20] <https://www.geoportal.sk/sk/zbgis/lls-dmr/>