

Automatická extrakcia lesnej pokrývky na podklade historických ortofotosnímkov

Ing. Zuzana Slatkovská,
Ing. Martin Zápotocký,
Technická univerzita vo Zvolene,
Lesnícka fakulta

Abstrakt

Príspevok sa zaoberá možnosťami automatickej extrakcie lesnej pokrývky s využitím metód objektovo-orientovanej klasifikácie na podklade čiernobielych a farebných ortofotosnímkov i s návrhom metodiky. Zároveň sa zhodnotila využiteľnosť historických ortofotosnímkov pre potreby zisťovania vývoja dynamiky lesnej pokrývky v časovom rade. Pre klasifikáciu lesnej pokrývky boli využité čiernobiele ortofotosnímkov z rokov 1949 a 1978 a farebné ortofotosnímkov z roku 2009. Extrakcia lesnej pokrývky bola spracovaná metódou založenou na tréningových množinách a rozhodovacom strome. Správnosť klasifikácií bola overená na základe rastrovej mapy získanej manuálnou vektorizáciou záujmového územia. Dosiiahnuté výsledky preukázali, že využitím metód objektovo-orientovanej klasifikácie dokážeme spoľahlivo identifikovať zmeny lesnej pokrývky, a to ako z čiernobielych tak aj farebných ortofotosnímkov.

Automatic Extraction of Forest Cover from Historical Orthophotos

Abstract

The article deals with the possibility of automatic extraction of forest cover using methods of object-oriented classification based on black and white and colour orthophotos proposing also methodology. Specification of the usability of historical orthophotos for detecting the evolution of forest-cover dynamics in a particular time series has been evaluated as well. For the classification of the forest cover, black and white orthophotos from years 1949 and 1978 and the colour orthophotos from the year 2009 were used. The extraction of the forest cover was processed with use of the method of training areas and decision tree. The accuracy of the classifications was verified with help of the manually vectorised raster map of the area of interest. The results shown that using the methods of object-oriented classification we can reliably identify the changes of the forest cover, both from black and white as well as colour orthophotos.

Keywords: object-oriented classification, training areas, photogrammetry, segmentation, decision tree

1. Úvod

Získavanie informácií o lesom poraste má v lesníctve už dlhoročnú tradíciu. V minulosti bol používaný predovšetkým dvojrozmerný (2D) obsah analógových ortofotosnímkov, a to pre manuálne alebo pre automatické vymedzenie lesných porastov. V súčasnosti sa väčšina lesníckeho mapovania vykonáva fotogrametrickými metódami. Lesnícke mapovanie tak prešlo výraznými zmenami, a to hlavne zavedením metód digitálnej fotogrametrie, ktorá je v dnešnej dobe považovaná za rutinnú metódu vyhodnotenia leteckých meračských snímkov [1]. Metódy digitálnej fotogrametrie uľahčujú náročné geodetické práce najmä v horských oblastiach, miestach po kalamitách a neprístupných terénoch. Oproti terénnemu meraniu tak umožňujú získavanie väčšieho množstva informácií za relatívne kratší čas [2]. Digitálna fotogrametria je považovaná za najvyššiu formu geometrického spracovania leteckej snímky s výraznými prvkami automatizácie. Letecká meračská snímka predstavuje hlavný snímkový podklad na získavanie informácií o reálnom stave mapovaného územia v čase jeho snímkovania, pričom zachytáva vzájomnú polohu a vzťahy fyzicko-geografických a antropogénnych zložiek krajiny [3].

Pre spoľahlivé získavanie informácií z historických a aktuálnych leteckých meračských snímkov sa do popredia dostávajú rôzne klasifikačné postupy.

Objektovo-orientovaná klasifikácia poskytuje adekvátne automatizované metódy na klasifikáciu obrazu s vysokým priestorovým rozlíšením [4]. Objektovo-orientovaná

klasifikácia kombinuje výhody ako vizuálnej interpretácie tak aj klasifikácie obrazu na základe pixela [5]. Využitie metód objektovo-orientovanej klasifikácie na mapovanie rôznych krajinných prvkov prostredníctvom leteckých meračských snímkov bolo čiastočne riešené v niekoľkých štúdiách [6], [7], [8]. Využívanie metód objektovo-orientovanej klasifikácie sa v prípade automatizovanej identifikácie objektov z leteckých meračských snímkov, javí ako najvhodnejšie. Na rozdiel od metód využívajúcich klasifikáciu na báze pixela, objektovo orientovaná klasifikácia využíva na klasifikáciu obrazu zároveň spektrálne a priestorové informácie obrazu. Jedná sa o dvojitý proces zahŕňajúci segmentáciu obrazu na menšie obrazové segmenty a následne klasifikáciu vytvorených obrazových segmentov [9].

Automatické spracovanie ortofotosnímkov podstatne zvyšuje efektívnosť ich interpretácie a relevantnosť výstupných údajov. Nové možnosti uplatnenia automatizovaných klasifikačných metód rastú s dostupnosťou stále kvalitnejších ortofotosnímkov. V prípade historických ortofotosnímkov je kvalita vstupných údajov otáznou.

Využívanie historických ortofotosnímkov sa vzťahuje najmä na štúdie zaoberajúce sa identifikáciou zmien lesnej pokrývky s použitím metód objektovo-orientovanej klasifikácie [10], [11], [12]. Historické ortofotosnímkov v spojení s efektívnymi metódami analýz obrazu prinášajú vhodný nástroj pre účely efektívneho posúdenia dynamiky lesného prostredia pre potreby lesníckeho výskumu, výučby a praxe [13]. Vytvorenie vhodného metodického postupu prinesie relevantný zdroj informácií pre odbornú verejnosť.

Cieľom príspevku bolo navrhnuť vhodný metodický postup automatizovanej klasifikácie lesnej pokrývky na podklade čiernobielych a farebných ortofotosnímkov.

2. Metodika práce

Využitím metód objektovo–orientovanej klasifikácie sme v prostredí programu eCognition Developer spoločnosti Trimble, identifikovali lesné a nelesné plochy na podklade čiernobielych ortofotosnímkov (1949 a 1978) a farebných ortofotosnímkov (2009). Proces segmentácie a klasifikácie obrazu ponúka niekoľko možností analýzy. Testovanie klasifikácie obrazu metódou trénovacích množín a rozhodovacieho stromu bolo vykonané na modelovom území Vysokoškolského lesníckeho podniku (VšLP) Technickej univerzity (TU) vo Zvolene.

2.1 Záujmové územie

Časť územia VšLP TU vo Zvolene, na ktorej bol testovaný predstavený metodický postup, sa rozprestiera v juhovýchodnej časti Kremnických vrchov (obr. 1).

Identifikácia lesnej pokrývky bola vykonaná na záujmovom území v tvare obdĺžnika s výmerou územia 12 805 ha. Vzhľadom na sledovaný časový rad vývoja lesnej pokrývky je dôležité uviesť zmenu spôsobu hospodárenia záujmového územia. Užívanie záujmového územia VšLP je spojené s príchodom Vysokej školy lesníckej a drevárskej (v súčasnosti TU vo Zvolene) do mesta Zvolen v roku 1952 (užívanie okolitých lesných porastov od roku 1958). S týmto obdobím je spojená zmena spôsobu hospodárenia v lesných porastoch, keď lesy v kategórii lesov hospodárskych primárne zameraných na produkciu drevnej hmoty boli zmenené na kategóriu lesov ochranných a lesov osobitného určenia. Je to spôsobené úmyselným potlačením hospodárskych funkcií lesa v prospech vedecko–výskumných a vzdelávacích činností Lesníckej fakulty. V súčasnosti predstavujú lesné porasty na záujmovom území v kategórii lesov ochranných 81 % a lesov osobitného určenia 13,9 % z celkovej výmery lesných porastov v užívaní VšLP. Z hľadiska

ostatných typov krajinej pokrývky sa na záujmovom území okrem lesnej pokrývky v okolí zastavaných plôch obcí rozprestiera prevažne orná pôda a trávne porasty a kroviny.

Z hľadiska drevinového zloženia záujmového územia tvoria prevažnú časť zmiešané lesné porasty. V južnej časti územia (národná prírodná rezervácia Boky) a východnej časti územia (diviacia zvernica Bieň) prevládajú listnaté dreviny *Quercus sp.*, *Carpinus betulus* a *Fagus sylvatica*. So zvyšujúcou nadmorskou výškou stúpa podiel ihličnatých drevín (*Picea abies*, *Abies alba*, *Pinus sylvestris*).

2.2 Materiál a podklady

Snímkovanie územia Slovenskej republiky koncom prvej polovice 20. storočia sprístupnilo sériu čiernobielych ortofotosnímkov pre vojenské účely Topografického ústavu v Banskej Bystrici.

Ich spracovaním vznikla Historická ortofotomapa Slovenska (vyhotovila spoločnosť GEODIS SLOVAKIA, s. r. o.), ktorá v súčasnosti nachádza uplatnenie na identifikáciu priestorového vývoja rôznych typov krajinej štruktúry (<http://mapy.tuzvo.sk/hofm>). Čiernobiela historická ortofotomapa s rozlíšením 50 cm bola obstaraná v rámci projektu Centrum excelentnosti pre podporu rozhodovania v lese a krajine, ITMS 26220120069, ktorého riešiteľom bola TU vo Zvolene v spolupráci s Národným lesníckym centrom (NLC) vo Zvolene. Farebnú ortofotomapu s rozlíšením 50 cm vyhotovili spoločnosti EUROSENSE, s. r. o. a GEODIS SLOVAKIA, s. r. o. Bola vyhotovená z leteckých meračských snímkov vytvorených z roku 2009. Čiernobiele ortofotosnímky s rozlíšením 50 cm z roku 1978 poskytl NLC – Ústav lesných zdrojov a informatiky vo Zvolene.

2.3 Príprava vstupných materiálov

Z ortofotosnímkov územia z jednotlivých období (1949, 1978 a 2009) sme vygenerovali súvislé ortofotomozaiky, na poklade ktorých bola vykonaná klasifikácia lesnej pokrývky v jednotlivých obdobiach. Z posudzovaného územia sme využili štandardných nástrojov geografických informačných systémov (GIS) pre zachovanie jednotnosti



Obr. 1 Záujmové územie – VšLP TU vo Zvolene

odstránili časti územia, ktoré tvorili prienik so zastavaným územiami obcí (ZÚO) a vodnými plochami na všetkých vytvorených ortofotomozaikách.

2.4 Vektorizácia lesnej pokrývky

Za účelom vyhodnotenia správnosti klasifikácie je nevyhnutné vytvorenie referenčných plôch vektorizáciou lesnej a nelesnej pokrývky na podklade ortofotosnímkov. Vzhľadom na obmedzené množstvo informácií o lesných porastoch z jednotlivých období (chýbajúca informácia o výške a zápoji lesných porastov) sme vnímali lesnú pokrývku zo širšej perspektívy. Pre potreby splnenia stanovených cieľom sme ako lesnú pokrývku zaradili upravené typy segmentov lesa [14]:

- súvislé lesné územia, ktoré formujú jednotky priestorového rozdelenia lesa,
- väčšie územia s hustejšie roztrúsenou stromovitou vegetáciou na otvorenej ploche a líniovými stromoradiami okolo ciest a vodných tokov, ktoré nie sú súčasťou jednotiek priestorového rozdelenia lesa.

Manuálna vektorizácia bola vykonaná v detailnom v rozsahu mierok od 1 : 1 500 od 1 : 3 000 modulom ArcMap systému ArcGIS for Desktop 10.2. Postup vektorizácie bol retrospektívny (*backdating*) začínajúci lesnou pokrývkou z roku 2009 a končiaci lesnou pokrývkou z roku 1949. Proces vektorizácie bol vykonaný osobou s pokročilými znalosťami v oblasti GIS, ktorá bola oboznámená s postupom vektorizácie a pravidlami charakterizujúcimi lesnú pokrývku na podklade ortofotosnímkov.

2.5 Objektovo-orientovaná klasifikácia

Využitie metód objektovo-orientovanej klasifikácie na identifikáciu lesnej a nelesnej pokrývky predstavuje určenie okrajových hraníc plôch, ktoré sú porastené drevinami.

Základným krokom v procese klasifikácie lesnej pokrývky bolo stanovenie správnosti klasifikácie, s čím priamo súviselo vytvorenie referenčnej vrstvy lesnej a nelesnej pokrývky. Výsledok klasifikácie bol hodnotený pomocou vygenerovaných kontingenčných tabuliek programom eCognition Developer od spoločnosti Trimble. Kontingenčné tabuľky vychádzali z použitej TTA masky (Test and Training Area Matrix) prezentujúcej rastrový obraz záujmového územia vytvoreného manuálnou vektorizáciou. Uvedeným spôsobom sme okrem porovnávacieho etalónu na posúdenie správnosti klasifikácie získali aj skutočný stav lesnej pokrývky nachádzajúcej sa na záujmovom území v jednotlivých obdobiach.

2.5.1 Segmentácia lesnej pokrývky

Objektovo-orientovaná klasifikácia si na svojej základnej úrovni vyžadovala segmentáciu obrazu. V rámci prvého rozhodovacieho kroku bol vybraný algoritmus viacúrovňovej segmentácie, ktorá spája časti obrazu s podobnými hodnotami pixelov alebo existujúcich obrazových prvkov do obrazových prvkov nazývaných obrazové segmenty. Z hľadiska správnej identifikácie okrajových hraníc lesnej pokrývky bolo potrebné správne definovať tvar a veľkosť obrazových segmentov. V rámci procesu viacúrovňovej segmentácie obrazu boli homogénne plochy zlúčené do väčších obrazových segmentov a heterogénne do menších.

Na dosiahnutie vhodnej homogenity obrazu bol celý proces segmentácie ovplyvňovaný stanovením optimálnych parametrov (mierka 100, hladkosť 0,5 a kompaktnosť 0,5).

2.5.2 Klasifikácia lesnej pokrývky

Proces klasifikácie obrazu predstavoval priradovanie jednotlivých pixelov obrazu do vytvorených tried. Z dôvodu klasifikácie lesnej pokrývky boli vytvorené triedy *lesnej a nelesnej pokrývky*. Klasifikácia obrazu bola vykonaná využitím metódy trénovacie množiny a metódy rozhodovacieho stromu. Na obr. 2 je znázornený pracovný postup predstavenej klasifikácie obrazu.

Klasifikácia metódou trénovacie množiny si vo svojom východiskovom kroku vyžadovala manuálne vytvorenie 40 vzorov známych prvkov z vytvorených obrazových objektov a ich radenie do tried *lesnej a nelesnej pokrývky*. Využitím metódy trénovacie množiny sme automaticky zo zadaných vzorov vygenerovali viacrozmerné funkcie členstva a postupne klasifikovali neznáme obrazové segmenty na všetkých troch vytvorených ortofotomozaikách.

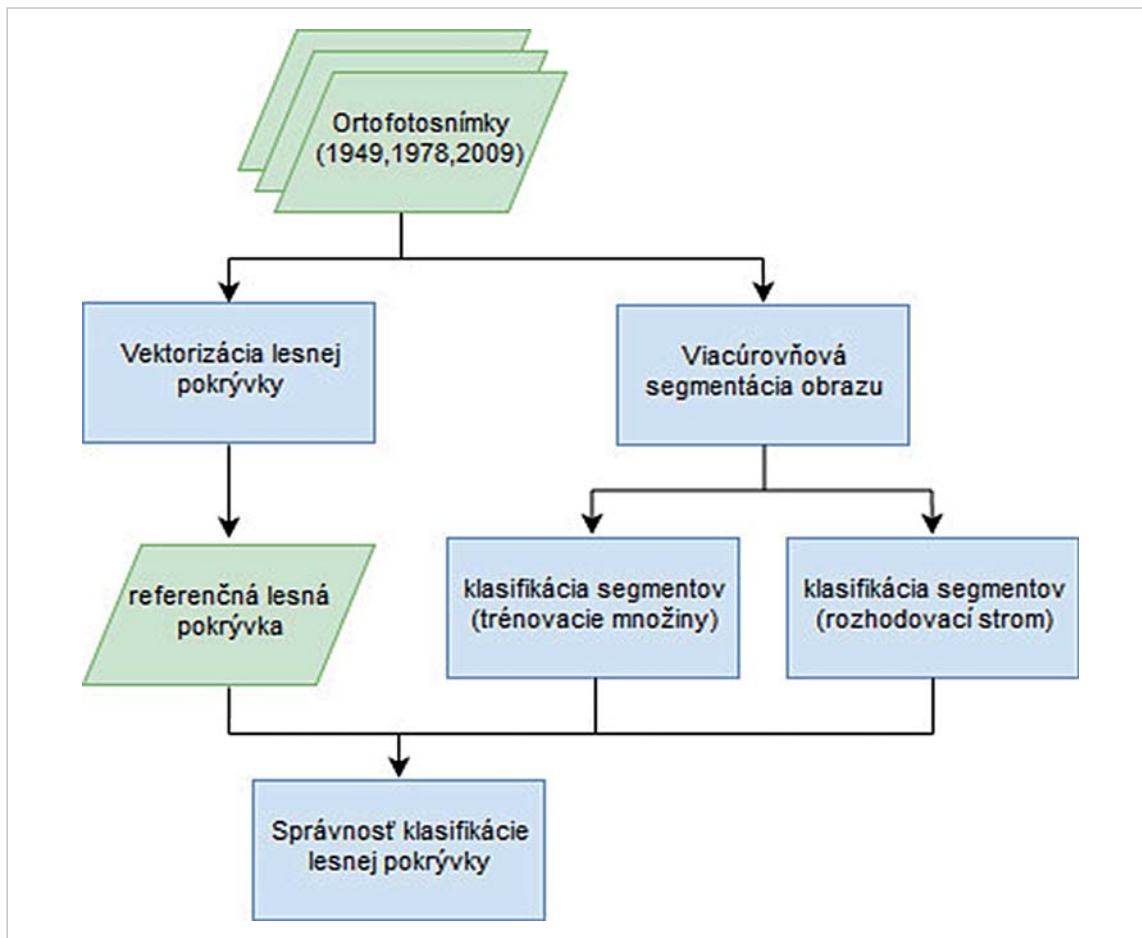
Metódou rozhodovacieho stromu boli obrazové segmenty zaradené do nami vytvorených tried využitím plne automatizovanej klasifikácie. Procesom klasifikácie bol identifikovaný komplex informácií obsiahnutých v obraze, ktoré boli následne využité pri definovaní kritérií určujúcich triedy *lesná a nelesná pokrývka*. V prípade čiernobielych ortofotosnímkov sme ako určujúce kritérium na zaradenie obrazových segmentov do jednotlivých tried využili parameter GLCM (*Grey-Level Cooccurrence Matrix*), ktorý sa využíva na opísanie textúry obrazu. Po analýze obrazových segmentov sme pre ich zaradenie do triedy lesná pokrývka zvolili hodnotu parametra GLCM < 100 pre ortofotomozaiky z rokov 1949 a 1978. Následne v ďalšom kroku sme na základe stanovenia inverznej podmienky definovali triedu *nelesná pokrývka*.

V prípade farebnej ortofotomozaiky sme z dôvodu dosiahnutia čo najreprezentatívnejšieho výsledku klasifikácie využili kritérium spektrálnej hodnoty pixela obrazovej vrstvy s hodnotou parametra < 90 pre triedu *lesná pokrývka*. Pri určovaní triedy *nelesná pokrývka* sme postupovali ako v prípade čiernobielych ortofotosnímkov, zadaním inverznej podmienky.

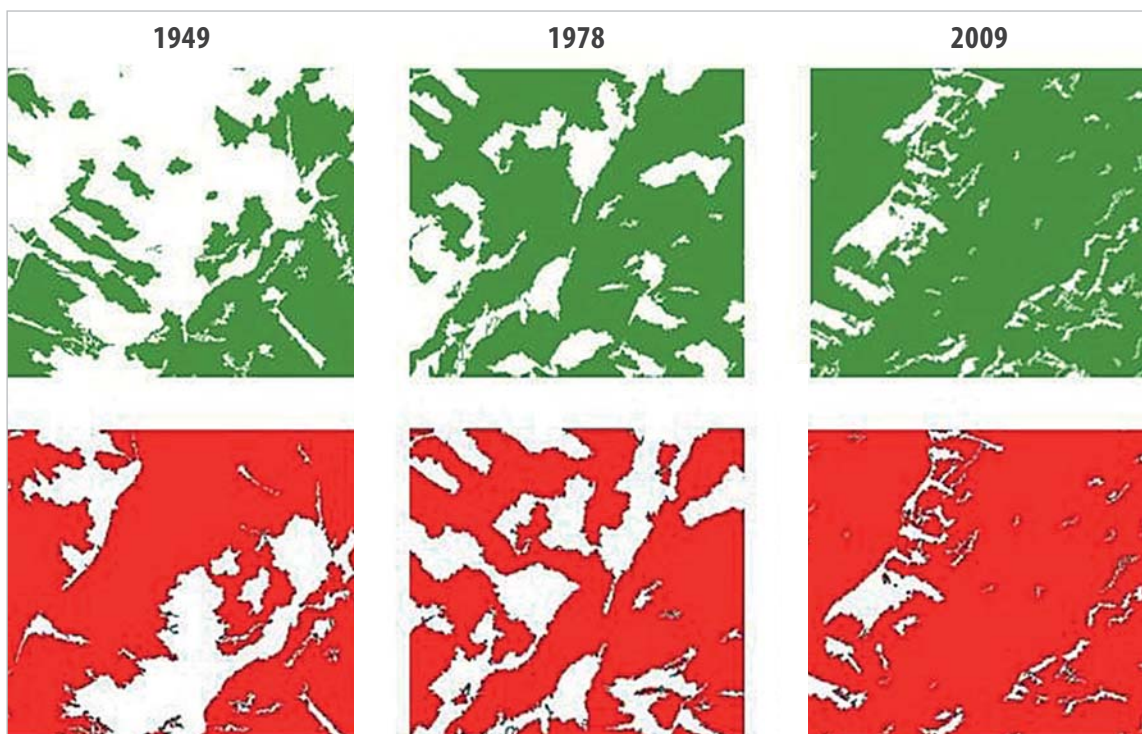
3. Výsledky

Použité metódy klasifikácie ortofotosnímkov boli hodnotené na základe správnosti, získaných z vygenerovaných kontingenčných tabuliek. Pri kontrole správnosti klasifikácií sme vychádzali z referenčných hodnôt (TTA maska), ktoré boli porovnávané s procesom klasifikácie. Hodnota celkovej správnosti vyjadruje relatívny pomer počtu správne klasifikovaných obrazových segmentov do jednotlivých tried k ich celkovému počtu. KHAT index predstavoval štatistickú mieru diferencie medzi referenčnými a klasifikovanými obrazovými segmentmi. Vychádzal z predpokladu, že aj pri náhodnej klasifikácii je časť výsledkov správna. Vyjadruje proporcionálnu redukciu chyby, ktorá by vznikla pri úplne náhodnom procese klasifikácie [15].

Z výsledkov klasifikácie (obr. 3) môžeme konštatovať, že na podklade ortofotosnímkov z roku 1949 použitím metódy najbližšieho suseda bola dosiahnutá hodnota celko-



Obr. 2 Pracovný postup klasifikácie obrazu



Obr. 3 Klasifikácia metódou trénovacie množiny (zelená), klasifikácia metódou rozhodovacieho stromu (červená) v sledovaných obdobiach

Tab. 1 Hodnoty celkovej správnosti a KHAT indexu pre použité metódy klasifikácie v sledovaných obdobiach

Metóda / Obdobie	Trénovacie množiny	Rozhodovací strom
	Celková správnosť (KHAT index)	Celková správnosť (KHAT index)
Ortofotomozaika rok 1949	0,805 (0,598)	0,894 (0,767)
Ortofotomozaika rok 1978	0,777 (0,492)	0,808 (0,525)
Ortofotomozaika rok 2009	0,907 (0,731)	0,906 (0,705)

vej správnosti 0,805 (pri súčasnej hodnote KHAT indexu 0,598). Použitím metódy rozhodovacieho stromu dosiahla celková správnosť hodnotu 0,894 (pri súčasnej hodnote KHAT indexu 0,767).

V rámci hodnotenia ortofotosnímkov z roku 1978, sme v procese klasifikácie využívajúcej metódu trénovanie množiny dosiahli hodnotu celkovej správnosti 0,777 (pri súčasnej hodnote KHAT indexu 0,492). Zároveň využitím metódy rozhodovacieho stromu bola výsledná hodnota celkovej správnosti 0,808 (pri súčasnej hodnote KHAT indexu 0,525).

V prípade posudzovania farebných ortofotosnímkov z roku 2009 pri klasifikácii založenej na metóde trénovanie množiny bola dosiahnutá celková miera správnosti 0,907 (pri súčasnej hodnote KHAT indexu 0,731) a v rámci klasifikačného procesu rozhodovacieho stromu bola hodnota celkovej správnosti 0,906 (pri súčasnej hodnote KHAT indexu 0,705).

S určených hodnôt celkovej správnosti (tab. 1) môžeme konštatovať, že procesom klasifikácie založenej na metóde rozhodovacieho stromu dosahujeme v porovnaní s metódou trénovanie množiny väčšie hodnoty celkovej správnosti v rokoch 1949 a 1978. V prípade roku 2009 boli dosiahnuté menšie hodnoty celkovej správnosti avšak až na 3 desatinnom mieste vplyvom zaokrúhľovania výsledkov. Hodnoty KHAT indexu dosiahli v prípade metódy rozhodovacieho stromu väčšie hodnoty vo všetkých troch rokoch.

V prípade klasifikácie založenej na metóde trénovanie množiny sú jednotlivé obrazové segmenty priradené do tried na základe širokého spektra vlastností obrazových segmentov, ktoré sú vybrané ako trénovacie množiny. V procese klasifikácie založenej na metóde rozhodovacieho stromu sú obrazové segmenty priradené do jednotlivých tried na základe konkrétneho parametra, resp. prahovej podmienky, ktorá dosahuje najvyhovujúcejšie výsledky klasifikácie.

Z uvedených výsledkov vyplýva, že použitie čiernobielych ortofotomozaik v porovnaní s farebnou ortofotomozaikou vykazuje menšie hodnoty celkovej správnosti klasifikácie, a to ako v prípade klasifikácie založenej na metóde trénovanie množiny, tak aj pri metóde rozhodovacieho stromu. Z výsledkov zároveň vyplýva, že v prípade ortofotomozaiky z roku 1978 boli v porovnaní s ortofotomozaikou z roku 1949 dosiahnuté nižšie hodnoty správnosti aj napriek skutočnosti, že sa jedná o novšie ortofotosnímkov. Čo sa potvrdilo aj pri klasifikácii založenej na metóde rozhodovacieho stromu. Je to spôsobené skutočnosťou, že pri použití čiernobielych ortofotosnímkov sa vo všeobecnosti jedná o ortofotosnímkov s menším rozsahom farieb použiteľných pre klasifikáciu. V prípade čiernobielej ortofotomozaiky z roku 1978 je okrem vyššie uvede-

ného potrebné poukázať na zníženú možnosť rozoznávania farebných rozdielov medzi plochami s lesným porastom a otvorenými plochami.

4. Záver

V príspevku sme sa zaoberali klasifikáciou lesnej pokrývky na podklade čiernobielych ortofotosnímkov z rokov 1949 a 1978 a farebných ortofotosnímkov z roku 2009. Predložená metodika predstavuje možnosti automatizovanej klasifikácie lesnej pokrývky. V navrhovanej metodike sú predložené viaceré spôsoby automatizovanej klasifikácie lesnej pokrývky. Na podklade vygenerovaných ortofotomozaik bol vykonaný proces klasifikácie s využitím metódy trénovacích množín a rozhodovacieho stromu. Na základe dosiahnutých výsledkov môžeme konštatovať, že v prípade oboch metód klasifikácie lesnej pokrývky boli dosiahnuté uspokojivé výsledky. V prípade metódy rozhodovacieho stromu boli dosiahnuté presnejšie výsledky celkovej správnosti, čo môžeme pripísať skutočnosti, že šlo o zadanie kritéria, ktoré dosahuje najvyhovujúcejšie výsledky klasifikácie. Z uvedených výsledkov taktiež vyplýva, že v prípade metódy rozhodovacieho stromu je potrebné brať ohľad na druh použitého podkladového materiálu. V prípade farebnej ortofotomozaiky nie je možné využitie rovnakého kritéria ako v prípade čiernobielych ortofotomozaik. Súvisí s tým najmä menší rozsah hodnôt pixela použiteľných pre klasifikáciu v prípade čiernobielych ortofotosnímkov. Uvedeným spôsobom môžeme klasifikovať rozsah lesnej pokrývky na podklade farebných a čiernobielych ortofotosnímkov za určité časové obdobie, čím získame vývoj dynamiky lesnej pokrývky počas sledovaného obdobia.

LITERATÚRA:

- [1] ŽIHLAVNÍK, Š.: Geodézia a fotogrametria v lesníctve. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene, 2009, 378 s.
- [2] KARDOŠ, M.: Digitálna fotogrametria a laserové skenovanie v lesníckom mapovaní. Bratislava, Slovenská technická univerzita, 2015, 95 s.
- [3] BĚLKA, L.: Popis ortofotomap. [online], Sborník GIS Ostrava 2007. Ostrava [cit. 20018-05.22]. Dostupné z: http://gisak.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2007/sbornik/Referaty/Sekce7/Belka.pdf.
- [4] LANG, S.: Object-based Image Analysis for Remote Sensing Applications: Modeling Reality – Dealing with Complexity. Object – Based Image Analysis. Berlin. Heidelberg: Springer, 2008, pp. 3-29.
- [5] VELJANOVSKI, T.–KAJIR, U.–OSTIK, K.: Object-based image analysis of remote sensing data. Geodetski vestnik, 4, 2011, 55, pp. 678-688.

- [6] FERRAZ, A.-MALLET, C.-CHEHATA, N.: Large-scale road detection in forested mountainous area using airborne topographic LIDAR data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2016, 112, pp. 23-36.
- [7] GERARD, F.-BUGÁR, G.-GREGOR, M.-HALADA, Ľ.-HAZEU, G.-HUITU, H.-KOHLENER, T.-KOLAR, J.-LUWUE, S.-MUCHER, C. A.-OLSCHOFSKY, K.-PETIT, S.-PINO, J.-SMITH, G.-THOMSON, A.-WACHOWICZ, M.-BEZÁK, P.-BROWN, N.-BOLTIŽIAR, M.-DE BADTS, E.-RODA, F.-ROSCHEER, M.-SUSTERA, J.-TUOMINEN, S.-WADSWORTH, R.-ZIESE, H.-HERRAULT, P. A.: Determining Europe's land cover changes over the past 50 years using aerial photographs. *Progress in Physical Geography*, 2010, 34, pp. 183-205.
- [8] ROMPORTL, D.-CHUMAN, T.-LIPSKÝ, Z.: Landscape typology of Czechia. *Geografie*, 118, 2013, 1, pp. 16-39.
- [9] STANKOVÁ, H.: Object-oriented classification of Landsat imagery and aerial photographs for land cover mapping. *Proceedings—Symposium GIS Ostrava*, 2010, pp. 24-27.
- [10] MARTINEZ, J. R.-MARTHA, T. R.-KERLE, N.-VAN WESTEN, C. J.-JETTEN, G. V.-KUMAR, K. V.: Object-oriented analysis of multi-temporal panchromatic images for creation of historical landslide inventories. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 2012, 67, pp. 105-119.
- [11] DISSANSKA, M.-BERNIER, M.-PAYETTE, S.: Object-based classification of very high resolution panchromatic images for evaluating recent change in the structure of patterned peatlands. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 35, 2009, 2, pp. 189-215.
- [12] XU, M.-CAO, C.-ZHANG, H.-GUO, J.-NAKANE, K.-HE.Q.-GUO, J.-CHAN, Y.-BAO, Y.-GAO, M.-LI, X.: Change detection of an earthquake-induced barrier lake based on remote sensing image classification. *International Journal of Remote Sensing*, 31, 2010, 13, pp. 3521-3534.
- [13] ZÁPOTOCKÝ, M.-SLATKOVSKÁ Z.-KOREŇ, M.: Identifikácia dynamiky lesnej pokrývky z časového radu ortofotosnímkov. *Kartografické listy*, 25, 2017, s. 1-12.
- [14] SKALOŠ, J.-ENGSTOVÁ, B.-TRPÁKOVÁ, I.-ŠANTRŮČKOVÁ, M.-PODRÁZSKÝ, V.: Long-term changes in forest cover 1780–2007 in central Bohemia, Czech Republic. *European Journal of Forest Research*, Vol. 131, No. 3, pp. 871-884.
- [15] ŽIHLAVNÍK, Š.-SCHEER, Ľ.: *Dialkový prieskum Zeme v lesníctve*. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene, 2001, 289 s.

Do redakcie došlo: 13. 6. 2018

Lektoroval:
Ing. Róbert Fencík, PhD.,
Slovenská technická univerzita
v Bratislave