

Porovnanie správnosti klasifikácie lesného vegetačného krytu z obrazových multispektrálnych záznamov s rôznym priestorovým rozlíšením vo vysokohorskej krajine

Sedláková, H., Sitko, R., Petrovič, F.: Comparison of the Accuracy Vegetation Cover Classification on Multispectral Image Records with Different Spatial Resolution in High-mountain Landscape. Životné prostredie, 2011, 45, 2, p. 102 – 106.

This work introduces the aspects of vegetation cover classification using records with different resolution. Experimental data was comprised of multispectral aerial images of third level processing. The original spatial resolution (0.2 m/pixel) was recalculated to 3 different resolution levels of 0.4; 0.8 and 1.6 m/pixel. The area of study is located in the eastern part of West Tatra Mts – Liptovské Kopy, where sites with training polygons were marked and geolocated in the field, representing training site classes. In total, 234 polygons in 14 classes were defined, including: (1) mountain pine, (2) arolla pine, (3) spruce, (4) gravel, (5) meadows 1, (6) soil degradation, (7) meadows 2, (8) meadows 3, (9) tarmac, (10) water, (11) fallen forests, (12) dead spruce, (13) larch, (14) disturbed mountain pine. The aerial images were processed using different methods of digital image processing (PCA analysis, vegetation indexes, image texture analysis), producing 30 new image files for each spatial resolution level. Discrimination analysis and calculation of transformed divergence was used to classify 7 selected image files. Spectral signatures were calculated for all selected files and classification was achieved by using maximum likelihood classification. The accuracy of classification was evaluated in order to find the most suitable resolution for an automated classification of vegetation cover. The highest accuracy was reached at the resolution of 0.8 m/pixel, determined by Kappa index 62.9 %.

Key words: GIS, secondary landscape structure, multispectral aerial images, West Tatra Mts.

Využívanie leteckého snímokovania v rámci diaľkového prieskumu Zeme (DPZ) a rozvoj geografických informačných systémov (GIS) sú cennými nástrojmi na získavanie informácií, ich analýzu a následnú podporu rozhodovania v oblasti životného prostredia človeka (Levin, 1999). Zisťovanie pokrytia, resp. využitia krajiny, monitorovanie stavu lesa a hodnotenie biodiverzity patrí medzi najdôležitejšie oblasti aplikácie leteckých snímok. Vzhľadom k meniacim sa podmienkam prírodného prostredia je aktuálne sledovanie odozvy ekosystémov na rôzne zmeny, markantne pozorovateľné nielen v najintenzívnejšie využívaných

častiach nížin, ale aj vo vysokohorskej krajine. Letecký DPZ sa v súčasnosti orientuje najmä na záznamy s vysokým priestorovým a spektrálnym rozlíšením, pričom základným predpokladom pri riešení rôznych úloh je rozlíšenie jednotlivých objektov krajiny (resp. tried) pre krajinnú klasifikáciu. S tým súvisia otázky zlepšenia interpretovateľnosti sledovaných objektov a javov, získanie spektrálne vhodnejších údajov a definovanie vhodných metód pre ich klasifikáciu. Základnou myšlienkou práce bolo zistiť vplyv rôznej rozlišovacej schopnosti infračervených farebných snímok na výsledok klasifikácie biotických prvkov (les-

né porasty, trávne spoločenstvá, kalamita, poškodené a odumreté porasty) a abiotických prvkov (vodné toky, štrk, pôdno-deštrukčné javy). Ďalším cieľom bolo posúdenie možnosti a stanovenie postupu interpretácie vybraných štrnástich tried krajinej klasifikácie pomocou moderných metód a prostriedkov ako podkladu pre krajinné plánovanie. Vybrané modelové územie je charakteristické výškovou členitosťou, ktorá je základom vysokej variability biotických a abiotických zložiek. Vo výsledkoch práce uvádzame, do akej miery možno odvodzovať kvantitatívne a kvalitatívne veličiny v tomto špecifickom vysokohorskom prostredí.

Charakteristika modelového územia

Modelové územie patrí do geomorfologického celku Tatry a podcelku Západné Tatry.

Tvorí ho pohorie Liptovské Kopy, zo severozápadu ohraničené Tichou dolinou, z východu Kôprovou dolinou a na severe Červenými vrchmi. Najvyšším vrchom je Veľká Kopa s nadmorskou výškou 2 052 m n. m. V oblasti Kôprovej doliny prechádza zlom severovýchodno-juhozápadného smeru, ktorý odlišuje východnú od západnej časti Tatier rôznym zastúpením kryštalinických komplexov. Z hľadiska geomorfologických pomerov patrí územie do typu eróznodenučného, hôľneho, glaciálne-hôľneho až glaciálneho reliéfu, sklon reliéfu je väčší ako 21°. Centrálna časť Liptovských Kôp a Tichej doliny je tvorená leukokrátymi hercýnskymi granitoidmi (Atlas krajiny SR, 2002). Z pedologického hľadiska sa na väčšine záujmového územia vyskytujú podzoly modálne a humusovo-železité, sprievodné podzoly organozemné, litozeme a rankre. Priemerná ročná teplota (obdobie pozorovania 1961 – 1990) sa v závislosti od nadmorskej výšky pohybuje od 0 do 4 °C. Ročný úhrn zrážok sa pohybuje v rozmedzí od 1 000 do 2 000 mm. V záujmovom území prevažuje smrekový lesný vegetačný stupeň, ktorý tvoria prevažne spoločenstvá jarabinových smrečín (*Sorbeto picetum*) a smrekových lesov čučoriedkových (*Vaccinio-Piceenion*). Vo vyšších polohách sa nachádza kosodrevinový vegetačný stupeň so spoločenstvami kosodrevinových limbín (*Mugeto cembretum*) až kyslých kosodrevín (*Mugeto acidifillum*). V alpínskom a subalpínskom vegetač-



Obr. 1. Lúčne spoločenstvá s dominanciou druhu *Callamagrostis villosa* (lúky 1) (Tichá dolina, 2010). Foto: Helena Sedláková

nom stupni, na kyslých pôdach, sú najrozšírenejšie travinno-bylinné rastlinné spoločenstvá *Juncion trifidi*, *Festucion versicoloris* a *Calamagrostion villosa* (Atlas krajiny SR, 2002).

Použitý materiál a metodika

V práci sme použili multispektrálne letecké snímky lokality Tatry, dodané ako infračervené farebné kompozície v úrovni spracovania 3. Priestorové rozlíšenie snímok bolo 0,2 m/pixel, rádiometrické rozlíšenie 8 bitov/pixel. Snímky vznikli 19. 9. 2009 pri bezoblačnom počasí.

Postup práce možno rozdeliť do dvoch fáz. Prvou fázou bolo terénne meranie a druhou aplikácia metód digitálneho spracovania obrazu. Výber územia, na ktorom sa vykonávalo terénne meranie, ovplyvnili predošlé práce Sitka (2008) a Tučeka a kol. (2005). Na ich podklade sme zamerali trénovacie polygóny najmä priamo na území Liptovských Kôp, teda v dolinách Krížna, Kôprovica a v Španej doline. Preto bolo potrebné doplniť údaje terénnymi meraniami v Tichej, Tomanovej a Kôprovej doline a v okolí Podbanského. Na zameranie polohy trénovacích polygónov sme použili mobilný GPS prijímač Trimble GeoXH, ktorý patrí do série produktov GeoExplorer 2008. Údaje z terénneho merania sme spracovali v softvéri ArcGIS 10, s využitím modulu ArcMap, v ktorom prebehla tvorba polygónov a vizuálna kontrola



Obr. 2. Deštruované plochy v okolí turistických chodníkov na Kasprowom vrchu (hrebeň Červených vrchov na poľsko-slovenskej hranici, 2010). Foto: Helena Sedláková

ich polohy na farebnej kompozícii. Súbor polygónov sme pre potreby klasifikácie rozdelili na sadu referenčných údajov a sadu trénovacích množín v pomere 1 : 3 až 1 : 2. Spolu sme zaznamenali 234 polygónov v štrnástich klasifikačných triedach:

1. kosodrevina – reprezentovaná súvislými porastmi druhu *Pinus mugo*;
2. limba – jednotlivé stromy alebo skupinky stromov druhu *Pinus cembra*;
3. smrek – súvislé porasty druhu *Picea abies*;
4. štrk – trieda reprezentovaná kamennými úsypmi a sutinami;
5. lúky 1 – lúčne spoločenstvá s dominanciou druhu *Callamagrostis villosa* (obr. 1);
6. pôdna deštrukcia – plochy s odstránenou vegetáciou vplyvom pôdnej erózie (obr. 2, 3);
7. lúky 2 – lúčne spoločenstvá s dominanciou druhu *Juncus trifidus*;
8. lúky 3 – lúčne spoločenstvá kosených trávnych porastov;

9. asfalt – dolinové cesty;
10. voda – reprezentovaná vodnými tokmi;
11. kalamita – trieda reprezentovaná plochami po nespracovanej veternej kalamite;
12. odumreté smrek – súvislé plochy vyschnutých stojacich smrekov;
13. smrekovec – reprezentovaná súvislými plochami druhu *Larix decidua*;
14. poškodená kosodrevina – súvislé plochy kosodreviny, reprezentované na snímke viditeľne odlišnou spektrálnou odraznosťou od zdravých porastov kosodreviny.

Všetky práce sme vykonávali v softvéri Idrisi Andes. Výslednú mozaiku tvorí 14 snímok územia, pričom sme použili tri kanály R – červený, G – zelený a NIR – blízky infračervený. Priestorová rozlišovacia schopnosť snímok (0,2 m/pixel) bola pre potreby tejto práce veľmi veľká. Z dôvodu porovnania

správnosti klasifikácie vegetačného krytu z obrazových súborov s rôznym rozlíšením sme ju upravili na 0,4, 0,8 a 1,6 m/pixel. V druhej fáze (digitálneho spracovania obrazu) sme využili rôzne metódy vylepšovania obrazu, a to operácie multiobrazovej manipulácie (vegetačné indexy) a metódu hlavných komponentov (PCA). Ďalšími operáciami sme odvodili pomocnú veličinu textúra. Spolu sme vytvorili tridsať obrazových súborov pre každú úroveň rozlíšenia, ktoré boli vstupnými údajmi pre krokovú diskriminačnú analýzu. Touto sme vybrali sedem najvhodnejších obrazových súborov. Následne sme vypočítali spektrálne signatúry a na ich základe vykonali klasifikáciu metódou maximálnej pravdepodobnosti.

Zhodnotenie klasifikácie obrazov s rôznou rozlišovacou schopnosťou

Správnosť klasifikácie sme posúdili v kontingenčných tabuľkách jednak ako podiel správne klasifiko-

Tab. 1. Porovnanie správnosti a presnosti klasifikácie

Obrazové súbory s rôznym rozlíšením	n	n _s	p %	Δw (95 %)	KHAT (%)
0,4 m/pixel	1 758 371	1 172 650	66,7	± 0,07%	57,2
0,8 m/pixel	439 586	315 533	71,8	± 0,13%	62,9
1,6 m/pixel	109 882	74 652	67,9	± 0,28%	58,2

vaných prvkov z celého súboru a tiež indexom Kappa (KHAT). Tab. 1 pre jednotlivé úrovne rozlíšenia uvádza hodnoty celkového počtu obrazových prvkov (n) a počtu správne klasifikovaných prvkov (n_s), percentuálny podiel správne klasifikovaných prvkov (p %), presnosť klasifikácie (Δw) s 95 % spoľahlivosťou a Kappa index (KHAT v %).

Z porovnania Kappa indexov (KHAT) a podielu správne klasifikovaných prvkov (p %) pri jednotlivých rozlíšeniach vyplýva, že najlepšie výsledky sme dosiahli pri priestorovom rozlíšení 0,8 m/pixel (62,9 %). Správnosť klasifikácie vegetačného krytu obrazu s rozlíšením 1,6 m /pixel (58,2 %) bola iba o 1 % vyššia ako správnosť klasifikácie obrazu s rozlíšením 0,4 m/pixel (57,2 %).

Na základe týchto výsledkov teda nemožno jednoznačne potvrdiť lineárnu závislosť medzi priestorovým rozlíšením a správnosťou klasifikácie.

Z tab. 2 vyplýva, že rozlíšiteľnosť tried *smrek - limba - smrekovec - poškodená kosodrevina* nie je veľmi veľká, čo možno prisúdiť veľkej podobnosti spektrálnych charakteristík drevinovej vegetácie. K ich lepšiemu rozlíšeniu pravdepodobne prispela charakteristika textúry. Pomerne malá rozlíšiteľnosť tried *odumreté smrek - poškodená kosodrevina* je najmä na úkor triedy *kalamita*, čo sa dá odôvodniť podobnou spektrálnou odraznosťou poškodených a odumierajúcich porastov drevín a odraznosťou suchého nespracovaného dreva na kalamitných plochách. Očakávané spektrálne prekrytie týchto tried však nebolo natoľko výrazné, aby sme ich museli zlúčiť. Naopak, myslíme si, že je vhodné, aby sa vzhľadom k zdravotnému stavu porastov a ich odumieraníu s týmito triedami aj v budúcnosti počítalo. V nasledujúcom období sa dá očakávať zmena spektrálnych charakteristík kalamitných plôch ich zarastaním najmä porastmi jarabiny a vysokých tráv. Ďalšie výraznejšie chyby sú v triedach *asfalt - pôdna deštrukcia*, do ktorých bolo nesprávne zaradených najviac prvkov najmä z tried *štrk* a *voda*, čo mohli spôsobiť podobné charakteristiky textúry týchto tried. Vzhľadom na postupujúce odlesnenie, odumieranie porastov kosodreviny a smreka v oblastiach s turistickými chodníkmi by bolo vhodné sledovať najmä deštruované plochy v dlhšom časovom horizonte a následne definovať negatívne vplyvy pôsobiace v území. Vo všetkých rozlíšeniach vykazovala najlepšie hodnoty KHAT z pohľadu podhodnotenia klasifikácie (od 93,7 % do 96,9 %) trieda *lúky 3* tvorená lúkami s charakteristickou textúrou. Tým sa poukazuje na pozitívny príspevok textúry eliminovať podobnosť s inými triedami tvorenými lúčnymi spoločenstvami.

Rôzne expozície štítov a hrebeňov môžu spôsobovať výrazné rozdiely v hodnotách jasu. Veľké priestorové rozlíšenie snímok (0,2 m/pixel) umožňuje

Tab. 2. Kontingenčná tabuľka klasifikácie vegetačného krytu obrazu s priestorovým rozlíšením 0,8 m/pixel

Trieda	Referenčné údaje													Spolu	E2	KHAT	
	KS	LB	SM	Štrk	Lúky 1	Deštr.	Lúky 2	Lúky 3	Asfalt	Voda	Kal.	Od. sm	SMC				Poš. ks
KS	168443	469	2331	0	22	0	22	0	0	0	0	16	59	352	171714	0,019	0,962
LB	13001	4754	11160	0	231	0	39	38	0	1	3850	8	281	176	33539	0,858	0,129
SM	6002	214	6264	0	115	0	23	19	0	2	157	3	34	15	12850	0,513	0,455
Štrk	236	0	26	8390	0	121	0	0	21	180	32	0	0	0	9006	0,068	0,930
Lúky 1	801	17	170	0	20589	0	1241	520	0	0	1535	9	6	13	24901	0,173	0,812
Deštr.	2468	0	2	427	64	472	6	0	16	47	227	34	0	0	3763	0,875	0,124
Lúky 2	131	2	0	0	1444	0	15074	0	0	8	723	39	0	120	17541	0,141	0,853
Lúky 3	0	7	0	2	9794	0	0	19029	0	0	124	0	1	0	28957	0,343	0,641
Asfalt	0	0	0	2407	0	14	6	0	740	253	3982	85	0	0	7487	0,901	0,097
Voda	0	0	0	945	0	0	0	0	37	2858	10	0	0	0	3850	0,258	0,740
Kal.	770	307	282	13	1148	0	322	159	58	1	63242	322	5	61	66690	0,052	0,935
Od. sm	9	0	13	334	70	78	417	0	170	52	12970	1072	0	3	15188	0,929	0,067
SMC	18075	795	6062	0	64	0	0	69	0	0	274	0	599	8	25946	0,977	0,021
Poš. ks	9706	89	266	0	872	0	1561	0	0	0	16262	22	5	4007	18154	0,779	0,212
Spolu	219642	6654	26576	12518	34413	687	18711	19834	1042	3402	88768	1594	990	4755	439 586		
E1	0,233	0,286	0,764	0,330	0,402	0,313	0,194	0,041	0,290	0,160	0,288	0,328	0,395	0,157		0,282	
KHAT	0,618	0,691	0,213	0,663	0,574	0,684	0,798	0,957	0,705	0,839	0,661	0,661	0,580	0,836			0,629

Poznámka: KS – kosodrevina, LB – limba, SM – smrek, SM – smrek, Deštr. – pôdna deštrukcia, Kal. – kalamita, Od. sm – odumreté smrek, SMC – smrekovec, Poš. ks – poškodená kosodrevina



Obr. 3. Zameranie pôdnej deštrukcie prístrojom GPS v záujmovom území Liptovské Kopy (2010). Foto: Helena Sedláková

zachytávať aj tie neosvetlené časti korún stromov a iné skutočnosti (presvitanie podrastu medzi drevinami), čo môže mať za následok zvýšenie variability hodnôt spektrálnej odraznosti. Z hľadiska zvýšenia správnosti by bolo potrebné aj kvôli veľkej topografickej členitosti územia overiť klasifikáciu s použitím apriórnych poznatkov o vertikálnom rozšírení klasifikovaných tried. Ich použitím by sa správnosť klasifikácie mohla zlepšiť o 10 %, čo uvádzajú vo svojich prácach viacerí autori (Sitko, Scheer, 2005; Tuček a kol., 2005; Sitko, 2008). Definovaním ďalších podmienok, ako napr. rozdelenie územia na triedu les a bezlesie, by sa eliminovala podobnosť tried tvorených drevinami a ostatnej krajinej pokrývky s podobnou odraznosťou a textúrou.

Výhodou infračervených farebných snímok (CIR) je ich využitie pri zisťovaní zdravotného stavu vegetácie. Poškodená vegetácia (s nižším obsahom chlorofylu)

je na snímkach viditeľne farebne odlišná od zdravej. Takto sa veľmi rýchlo a presne dajú zistiť už počiatkové štádiá odumierania porastov, najmä smreka a kosodreviny.

Výsledkom klasifikácie vegetačného a krajinného krytu sú obrazové súbory, ktoré možno využiť napr. pri sledovaní zmien v krajine z dlhodobejšieho časového hľadiska. Výhodou je automatizovaný postup, ktorý je časovo aj ekonomicky menej náročnejší ako pozorovanie a meranie v teréne. Samotné výsledky klasifikácie možno využiť ako podklady pre tematické mapovanie a tvorbu máp, alebo na podporu krajinného plánovania a terestrického získavania údajov o danom území.

Prezentovaný výskum bol realizovaný za podpory projektov VEGA 1/0557/09 Súčasný morfoloģodynamický procesy a zmeny krajinej štruktúry Tatier a VEGA 1/0534/09 Zisťovanie, monitorovanie stavu lesa a prognóza jeho vývoja.

Literatúra

- Atlas krajiny Slovenskej Republiky. 1. vyd. Bratislava : Ministerstvo životného prostredia SR, Banská Bystrica : Slovenská agentúra životného prostredia. 2002, 344 s.
- Levin, N.: Fundamentals of Remote Sensing. [online] 1st Hydrographic Data Management course. GIS Unit, the Society for the Protection of Nature in Israel. 1999, 225 s.
- Sitko, R., 2008: Využitie geoinformatiky pri identifikácii, hodnotení a rajonizácii funkcií lesa. Dizertačná práca. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, 2008, 149 s.
- Sitko, R., Scheer, L.: Možnosti využitia družicových snímok IKONOS pre klasifikáciu vegetačného krytu v horských podmienkach. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, 2005, XLVII, s. 99 – 110.
- Tuček, J., Schmidt, M., Celer, S.: Klasifikácia vegetačného krytu vo vysokohorských podmienkach z materiálov DPZ s vysokým rozlíšením pri uplatnení apriórnych poznatkov. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, XLVII, 2005, s. 83 – 98.

Ing. Helena Sedláková, h.sedlakova@gmail.com

Doc. RNDr. František Petrovič, PhD., fpetrovič@ukf.sk

Katedra ekológie a environmentalistiky Fakulty prírodných vied Univerzity Konštantína Filozofa v Nitre, Tr. A. Hlinku 1, 949 74 Nitra

Ing. Roman Sitko, PhD., sitko@vsld.tuzvo.sk

Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie Lesníckej fakulty Technickej univerzity vo Zvolene, T. G. Masaryka 2117/24, 960 53 Zvolen