

NOVÉ METÓDY A POZNATKY UPLATNENIA DPZ PRI ODVODENÍ INFORMÁCIÍ O ZDRAVOTNOM A EKOLOGICKOM STAVE LESA

TOMÁŠ BUCHA

Úvod

Satelitný diaľkový prieskum Zeme (DPZ) už vyše troch desaťročí ponúka bohatý obrazový informačný materiál, prakticky využiteľný vo viacerých oblastiach lesníctva. Súčasné možnosti jeho využívania ako technológie a nástroja na odvodenie informácií sú podmienené viacerými okolnosťami, akými sú:

- ponuka a cena satelitných produktov,
- rozpracovanie metód pre digitálnu klasifikáciu obrazu,
- správnosť a presnosť klasifikácie, ktoré tieto metódy môžu poskytnúť,
- transformácia informácií DPZ do užívateľskej formy pre rôzne úrovne (štátna správa; lesná prevádzka - užívatelia a majitelia lesov, zriaďovatelia lesa a lesnícky výskum),
- pripravenosť potencionálnych užívateľov využívať moderné technológie a ich schopnosť efektívne využiť nové poznatky.

V rokoch 1999 – 2002 bol na LVÚ Zvolen riešený čiastkový vedecko-technický projekt „Metódy monitoringu lesných ekosystémov prostriedkami DPZ“, financovaný MP SR. Hlavnými cieľmi výskumu bolo vyvinúť a prakticky overiť metodické postupy pre:

- vyhodnotenie zdravotného stavu lesných drevín na báze spektrometrických meraní pre hyperspektrálne letecké a satelitné záznamy,
- klasifikáciu zdravotného stavu zo satelitných snímok IKONOS,
- klasifikáciu zdravotného stavu a zmien zdravotného stavu zo satelitných snímok Landsat.

Cieľom referátu je poukázať na možnosti prístupu k satelitným údajom, prezentovať hlavné výsledky výskumu pri odvodení informácií o zdravotnom a ekologickom stave lesa a prezentovať dosiahnuté realizačné výstupy uplatniteľné v oblasti ochrany lesa.

Prístup k satelitným údajom

Prehľad satelitných snímok uložených v archíve LVÚ Zvolen zo skanerov Landsat TM a Landsat ETM+ pokrývajúcich celé územie Slovenska je uvedený v tab. 1.

Tabuľka 1. Zoznam scén Landsat TM (ETM+) v archíve LVÚ Zvolen

	Scéna	Dátum snímania				Nasnímkované územie
1	186/26	30.7. 1992	07.6. 1996	31.8. 1998	10.6. 2000	východné Slovensko
2	187/26	06.8. 1992	01.8. 1996	7.8. 1998	20.8. 2000	východné Slovensko
3	188/26	23.7. 1990	21.7. 1995	10.5. 1998*	26.5. 2001	stredné Slovensko
4	188/27	23.7. 1990	—		—	stredné Slovensko – južná časť
5	189/26	31.8. 1990	12.6. 1996	20.7. 1998*	2.8. 2000*	západné Slovensko
6	189/27	31.8. 1990	12.6. 1996			západné Slovensko – južná časť

* Plávajúca scéna zachytávajúca územie Slovenska z 2 originálnych scén

boldom sú označené snímky, ktoré sú vlastníctvom SAŽP Banská Bystrica

Tab. 2 udáva prehľad družíc so skanermi s veľkou priestorovou rozlišovacou schopnosťou, ktorých produkty sú komerčne prístupné. V tab. 3 sú uvedené ceny pre základné produkty vybraných satelitov.

Tabuľka 2. Prehľad vybraných funkčných družíc na orbite

Družica	Štát	Štart	Priestorové rozlíšenie (m) / Záber (km)			Cyklus snímání
			Panchro	Multispektrál	Radar	
ERS—2	ESA	21.4.1995	—	—	26/100	35 dní
Radarsat 1	KANADA	4.11.1995	—	—	7,6–100 / 50–500	24 dní
IRS—1D	INDIA	29.9.1997	5,8 m / 70 km	23,5–70,5 m / 148 km	—	24 dní
Spot 4	FRANCÚZSKO	24.3.1998	10 m / 117 km	20–1100 m / 117–2600 km	—	3–26 dní
Resurs O1—4	RUSKO	10.7.1998	—	30–161 m / 60–714 km	—	21 dní
Landsat 7	USA	15.4.1999	15 m / 185 km	30–60 m / 185 km	—	16 dní
UOSAT 12	VEĽ. BRITÁNIA	20.4.1999	10 m / 10 m	30 m / 60 km	—	—
Kitsat 3	KÓREA	26.5.1999	—	15 m / 50 km	—	?
Okean—O1	RUSKO	17.7.1999	—	50–820 m / 195–620 km	2 500 m / 455 km	5
Ikonos	USA	24.9.1999	1 m / 11 km	4 m / 11 km	—	1,5 dňa
TERRA	USA	18.12.1999	—	15–1 000 m / 60–2 330 km	—	16 dní
KOMPSAT	KÓREA	20.12.1999	—	30 m / 60 km	—	?
Tsinghua	ČÍNA	28.6.2000	—	39 m / 150 km	—	?
EO—1	USA	21.11.2000	—	15–60 m / 150 km	—	16 dní
SAC—C	ARGENTÍNA	21.11.2000	—	30–300 m / 70 km	—	?
EROS	IZRAEL	5.12.2000	1,8 m / 12 km	—	—	3–5 dní
QuickBird 2	USA	18.10.2001	0,6 m / 11 km	2,4 m / 11 km	—	2–4 dní
Meteor 3M—1	RUSKO	10.12.2001	80 m / 2 900 km	32 m / 76 km	—	1 deň
Envisat	ESA	1.3.2002	—	150 m / 600 km	15 m / 100 km	?
Spot 5	FRANCÚZSKO	4.5.2002	2,5 m / 60 km	10 m / 60 km	—	26 dní
NOAA 17	USA	24.6.2002	1,8 m / 12 km	1 100 m / 2 600 km	—	2× denne

Zdroj: www.gisat.cz

Tabuľka 3. Orientačné náklady na získanie údajov metódami DPZ

Produkt	Spektrálne charakteristika snímok	Cena v Sk na 1 ha	Rozlišovacia schopnosť
Letecké snímky (Lietadlo Z-43)	Infračervené a farebné snímky	2,0 – 4,0	20 cm pri mierke 1 : 17 000
Sat. snímky Landsat ETM+	Panchro + multispektrálne	0,02	30 × 30 m (15 × 15 m)
Satelitné snímky SPOT 5	Panchromatická snímka	0,6	2,5 × 2,5 m
	Multispektrálna snímka	0,3	10 × 10 m
Satelitné snímky IKONOS	Panchromatická snímka	11,6	1 × 1 m
	Multispektrálna snímka	7,2	4 × 4 m
Satelitné snímky QuickBird	Panchromatická snímka	9,0	0,9 × 0,9 m
Radarové snímky ERS	ČB radarová snímka	4,8	26 × 26 m

Ceny sa vzťahujú na základné, neortorektifikované snímky

Nové metodické postupy pre získanie informácií o zdravotnom stave lesa

Hyperspektrálne záznamy – nové možnosti klasifikácia zdravotného stavu porastov

Hyperspektrálne technológie patria v posledných rokoch k najviac rozvíjaným technológiám DPZ. Z lesníckeho hľadiska je dôležité, že technológia má potenciál detekcie prejavov zhoršeného stavu lesov, obsahu a fotosyntetickej aktivity pigmentov a sčasti aj anatomickej

štruktúry a chemického zloženia vegetácie (ALBRECHTOVÁ *et al.*, 2001). Hyperspektrálne skenery produkujú záznamy vo viacerých, obvykle 12 až 288 oddelených kanáloch v rámci spektrálneho rozsahu od 400 nm do 2 500 nm. Príkladom komerčne prístupného produktu sú hyperspektrálne záznamy z družice EO 1 (Skaner Hyperion), ktorá sníma súčasne s Landsat ETM+. Hyperion sníma v 220 spektrálnych kanáloch od 0.4 do 2.5 μm s 30 metrovým rozlíšením a šírkou záberu 7,5 km.

Aj keď záznamy môžu byť spracované tými istými postupmi ako multispektrálne snímky, preferujú sa iné postupy - spektrálna odraznosť zaznamenaná satelitným snímačom je porovnávaná s knižnicou laboratórne alebo terénne zistenej spektrálnej odraznosti.

Naše merania poukazujú, že spektrálna odraznosť smreka vykazuje značnú závislosť od úrovne defoliácie. V modrej oblasti svetla je najtesnejšia závislosť pri vlnovej dĺžke $\lambda = 490 \text{ nm}$ ($r = 0,44$), v zelenej oblasti pri $\lambda = 540 \text{ nm}$ ($r = -0,52$), v červenej oblasti pri $\lambda = 690 \text{ nm}$ ($r = 0,73$), v blízkej infračervenej oblasti pri $\lambda = 800 \text{ nm}$ ($r = -0,910$). V blízkej infračervenej oblasti, kde odraznosť ovplyvňuje predovšetkým množstvo biomasy, bunková štruktúra a súvisí aj s obsahom vody, pri absorpčnom minime ($\lambda = 980 \text{ nm}$) je korelačný koeficient $r = -0,870$. Záporná regresná závislosť je spôsobená výraznejším vplyvom množstva biomasy a nevystihuje podstatu spektrálnej signatúry v tejto oblasti, preto je lepšie využiť novo odvodený index bunkových štruktúr $WII = R_{980}/((R_{920}+R_{1060})/2)$, ktorý vykazuje najlepšiu koreláciu s defoliáciou, $r = 0.94$. Index $(R_{540}-R_{688})/(R_{540}+R_{688})$ vykazuje najtesnejšiu koreláciu z indexov využívajúcich viditeľnú časť spektra ($r = -0.83$) a pomer R_{750}/R_{700} má najtesnejšiu koreláciu z indexov využívajúcich viditeľnú časť a NIR časť spektra ($r = -0.93$). Pre derivovanú odraznosť bola najtesnejšia korelácia s defoliáciou ($r = -0.95$) nájdená pre vlnovú dĺžku 730 nm (D_{730}). Úzke spektrálne indexy je možné využiť pri spresnení klasifikácii defoliácie na základe laboratórnych meraní vzoriek, alebo pri klasifikácii hyperspektrálnych záznamov.

Tabuľka 4 Hodnoty korelačných koeficientov (r) závislosti spektrálnej odraznosti smreka od úrovne defoliácie pri jednotlivých vlnových dĺžkach (λ) v nanometroch

λ	R	λ	r	λ	R	λ	r	λ	r	λ	r	λ	r	λ	r	λ	r	λ	r	λ	r
400	0.31	450	0.32	500	0.43	550	-0.51	600	0.31	650	0.69	700	0.32	750	-0.90	800	-0.91	850	-0.91	900	-0.90
410	0.36	460	0.35	510	0.23	560	-0.45	610	0.45	660	0.73	710	-0.41	760	-0.91	810	-0.91	860	-0.91	910	-0.89
420	0.35	470	0.38	520	-0.24	570	-0.26	620	0.58	670	0.73	720	-0.72	770	-0.91	820	-0.91	870	-0.91	920	-0.87
430	0.33	480	0.42	530	-0.48	580	0.02	630	0.62	680	0.73	730	-0.84	780	-0.91	830	-0.91	880	-0.90	930	-0.87
440	0.30	490	0.44	540	-0.52	590	0.20	640	0.65	690	0.73	740	-0.89	790	-0.91	840	-0.91	890	-0.90	940	-0.89

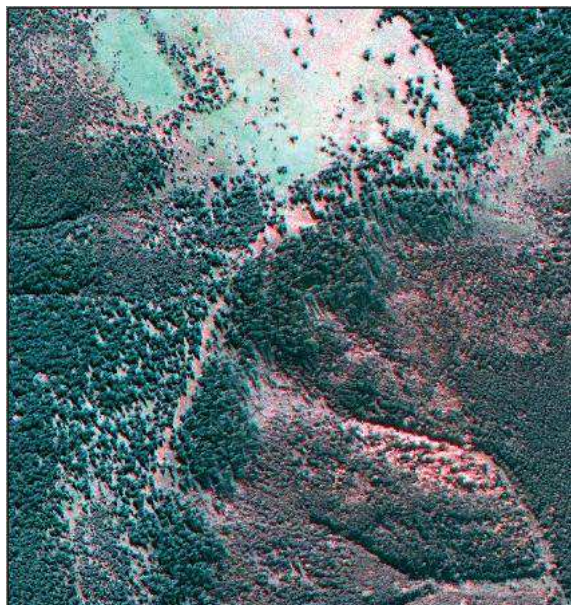
Počet meraní $n = 164$

Objektovo orientovaný prístup klasifikácie záznamov IKONOS

Satelitné snímky IKONOS so svojou rozlišovacou schopnosťou $1 \times 1 \text{ m}$ a možnosťou vytvoriť stereoskopické dvojice, sú pre lesnícke aplikácie potencionálne využiteľným produktom. Cieľom výskumu bolo overiť ich využiteľnosť pri klasifikácii poškodenia lesných porastov. Pri spracovaní obrazu sa však preukázalo, že klasická spektrálna klasifikácia obrazu nie je vyhovujúca, pretože nepodchycuje štruktúralno-texturálne charakteristiky lesných porastov. Tento nedostatok rieši nový prístup v analýze obrazových dát, ktorým je definovanie a analýza obrazových objektov. Navyše objektovo orientovaný prístup umožňuje okrem farby, textúry a tvaru objektov, pracovať aj s prvkami, ktoré popisujú objekt cez jeho vzťahy k iným objektom na tej istej, vyššej alebo nižšej úrovni segmentácie. Na tento účel bol vyvinutý softvér eCognition.

Možnosti nového metodického postupu klasifikácie sme overovali na modelovom území v Lomnistej doliny na lokalite Struhár, na ktorej boli vykonané najpodrobnejšie terénne šetre-

nia. Na lokalite veľkosti cca. 76 ha sa nachádzajú prevažne smrekové porasty rôznych vývojových štádií a s rôznym zdravotným stavom od zdravých, cez silne poškodené až po úplne rozpadnuté porasty. Prvou etapou riešenia bola dvojúrovňová segmentácia obrazu. Prvá úroveň segmentácie bola veľmi podrobná a výsledok sa vizuálne nelíšil od pôvodného obrazu. V rámci druhej úrovne segmentácie sa vytvorili väčšie ale texturálne a štrukturálne homogénne objekty. Výrez snímky a výsledok segmentácie sú zobrazené na obr. 1 a 2.



Obr. 1. Satelitná snímka Ikonos – lokalita Struhár



Obr. 2. Výsledok segmentácie obrazu na úrovni II

V druhej etape riešenia boli vyklasifikované základné kategórie nachádzajúce sa na snímke. Išlo o klasifikáciu ihličnatých porastov, listnatých porastov, lúk a pastvín a vylíšenie tieňov. V rámci tretej etapy riešenia boli definované porastové textúry na úrovni častí porastov vylíšených v rámci 2. úrovne segmentácie. Ich popis je daný v tab. 5 s využitím terminológie pre popis porastových textúr a štruktúr horských lesov (MORAVČÍK *et al.*, 2002).

Tabuľka 5. Definovanie porastových textúr v lokalite Struhár v Lomnistej doline

Kód	Popis porastovej textúry
1	Vysokohorské pastviny so solitérmi smreka
2	Sukcesné štádium smrečín na bývalých vysokohorských pastvinách
3	Mladé sukcesné štádium nezapojeného lesa – po kalamitnom rozpade porastov
4	Zmiešané dorastajúce porasty (sm-bk-jv-jb) v dobrom zdravotnom stave
5	Mladé smrekové porasty v dobrom zdravotnom stave – 1. a 2. veková trieda
6	Staršie smrekové porasty v dobrom zdravotnom stave – veková trieda 3 a viac
7	Prírodné rozvoľnené vysokohorské jarabinové smrečiny s jednotlivým až hlúčikovým odumieraním smreka (spravidla veková trieda 6 a staršie)
8	Rozpadajúce sa, prevažne ešte kompaktné smrekové porasty so skupinovým až plošným úhynom stromov
9	Rozpadnuté, rozpojené prevažne smrekové porasty s plošným úhynom stromov
10	Kalamitné holiny so stojacimi suchármi, čiastočne zalesnené alebo s nástupom sukcesných štádií lesa

V ďalšej fáze tejto etapy sme pre definované porastové textúry hľadali charakteristiky, ktoré by ich vhodne popisovali. Softvér poskytuje množstvo preddefinovaných spektrálnych, texturálnych, tvarových a relačných charakteristík, ktoré je možné kliknutím na charakteristiku okamžite vizualizovať. Do štatistického vyhodnotenia sme zahrnuli nasledovné charakteristiky:

- Priemerné spektrálne hodnoty definovaných porastových textúr pre všetky 3 originálne kanály Ikonos a celkový jas definovaný ako súčet hodnôt pixelov jednotlivých kanálov.
- Relačné charakteristiky odvodené z klasifikácie na I úrovni segmentácie: 1. relatívna plocha ihličnatých porastov, 2. relatívna plocha listnatých porastov, 3. relatívna plocha tieňov, 4. relatívna plocha lúk. Všetky tieto charakteristiky boli vypočítané pre obrazové objekty definované v rámci druhej úrovne segmentácie.

V poslednej etape riešenia sme použili viacrozmerne štatistické metódy na posúdenie možnosti rozlíšenia definovaných porastových textúr. Pomocou diskriminačnej analýzy sme určili najvhodnejšie premenné a odvodili sme diskriminačný model na odlíšenie jednotlivých porastových textúr. Dosiahnutá správnosť klasifikácie je 90 %.

Dokumentovaný prístup môže slúžiť ako návod pre efektívnu objektovú klasifikáciu obrazových záznamov s vysokou priestorovou rozlišovacou schopnosťou so zameraním na klasifikáciu poškodenia porastov.

Metódy veľkoplošnej klasifikácie satelitných snímok Landsat

Program Landsat ponúka od roku 1972 cenovo veľmi prijateľné produkty. Posledný z radu skanerov Landsat ETM+ má rozlišovaciu schopnosť 30×30 m v multispektrálnej časti spektra (7 kanálov) a 15×15 m v pachromatickej časti. Snímky sú využiteľné pre veľkoplošne lesnícke mapovanie. Predmetom riešenia vedecko-technického projektu bol návrh metodického postupu klasifikácie poškodenia lesov a zmien poškodenia lesov.

Kvalitu klasifikácie poškodenia a multitemporálnej analýzy ovplyvňuje úspešné vyriešenie štyroch na seba naväzujúcich úloh. Ide o 1. rektifikáciu obrazových záznamov, 2. kalibráciu záznamov (topografická normalizácia, relatívna kalibrácia), 3. určenie optimálnej kombinácie kanálov pre klasifikáciu poškodenia a časovú analýzu zmien a 4. kvantifikácia zmien.

Z dosiahnutých výsledkov z problematiky rektifikácie a kalibrácie snímok vyplýva:

- Z pohľadu časových analýz, pri predpoklade nemennosti letových trás družice Landsat, je dôležité realizovať rektifikáciu snímok z rôznych období rovnakými metódami.
- Z hľadiska polohovej presnosti odporúčame uplatniť metódu ortorektifikácie snímok a to predovšetkým v horských oblastiach.
- Hodnoty jasu vegetačných indexov a niektorých syntetických kanálov nie sú závislé na topografii terénu a pre klasifikáciu poškodenia lesov topografická normalizácia nezvyšuje správnosť klasifikácie.

Pri klasifikácii poškodenia je možné uplatniť viacero alternatív výberu kanálov:

- Prvou možnosťou je použitie indexu odvodeného z blízkeho infračerveného a stredného infračerveného kanálu: $(4-5)/(4+5)$.
- Vhodnou metódou odvodenia nových kanálov je analýza hlavných komponentov (PCA). Analýzu základných komponentov je potrebné vykonať len nad pixelami, ktoré sú klasifikované ako les. Prvý komponent zvyčajne rozdiely medzi drevinami, druhý komponent nesie informáciu o poškodení lesných porastov. Tretí komponent najlepšie koreluje s vekom porastov.

- Treťou skupinou premenných, ktoré je možné využiť pri klasifikácii poškodenia a jeho zmien sú syntetické kanále odvodené lineárnou kombináciou originálnych kanálov. Príkladom je odvodenie syntetického kanálu NSC2:

$$NSC2 = 0,1283*TM1 + 0,1126*TM2 + 0,3487*TM3 - 0,5011*TM4 + 0,5352*TM5 + 0,5581*TM7$$

- Všeobecne možno konštatovať, že druhý komponent analýzy PCA, realizovanej nad maskou lesa, resp. ako alternatíva syntetický komponent NSC2, nesú hlavnú informáciu o poškodení lesov a prinášajú stabilné výsledky klasifikácie poškodenia.
- PC2 komponent a syntetický kanál NSC2 silnejšie korelujú s poškodením lesov ako vegetačné indexy alebo pôvodné kanály Landsat TM (ETM+).
- Novodovodený syntetický kanál NSC2 lepšie vyjadruje zmeny stavu lesa ako iné kanály alebo indexy. Je stabilnejší a menej „zašumený“ ako vegetačné indexy.

Transformácia informácií do užívateľskej podoby

Dôležitou súčasťou uplatnenia výsledkov výskumu je transformácia informácií DPZ do užívateľskej formy. Výstupom riešenia čiastkového projektu sú mapové výstupy prístupné pre užívateľov. Ide o:

- Tematické mapy zdravotného stavu lesov SR z družice Landsat z rokov 1990, 1996, 1998 a 2000. Mapy sú k dispozícii v digitálnom tvare s rozlíšením 30 × 30 m a v analógovom tvare v mierke 1 : 500 000. Tematické mapy umožňujú získať celoslovenský pohľad na zdravotný stav lesov. V kombinácii so zisťovaniami LOS sa vytvorili predpoklady pre spresnenie identifikácie intenzity a rozsahu výskytu škodlivých činiteľov.
- Tematické mapy zmien zdravotného stavu lesov SR z Landsatu z rokov 1990-1996, 1990-2000 a 1996-2000. Mapy sú k dispozícii v digitálnom tvare rozlíšením 30 × 30 m a v analógovom tvare v mierke 1 : 500 000. Tematické mapy umožňujú získať celoslovenský pohľad na zmeny zdravotného stavu lesov, ich dynamiku a rozsah pôsobenia škodlivých činiteľov. V kombinácii so zisťovaniami LOS sa vytvorili predpoklady pre spresnenie prognózovania vývoja škodlivých činiteľov.

Záver

Dokumentované výsledky výskumu v oblasti uplatnenia DPZ môžu slúžiť ako návod pre aktualizáciu existujúcich metodických postupov používaných pri zisťovaní a monitorovaní zdravotného stavu lesa. Ďalší vývoj technológií DPZ smeruje k zvýšeniu priestorovej rozlišovacej schopnosti, rádiometrickej rozlišovacej schopnosti, stereoskopickým aplikáciám, radarovými aplikáciám akými sú, napr. radarová interferometria – technika pre extrakciu trojrozmerných informácií. Ďalším výrazným prvkom v oblasti DPZ je vývoj špeciálnych snímacích zariadení pre globálne monitorovanie stavu prírodného prostredia s využitím výsledkom aj pre oblasť lesníctva. Široké možnosti využitia ponúka družica Envisat s 10 snímacími aparatúrami, z ktorých napríklad senzor GOMOS globálne monitoruje ozón a jeho prekursor. Ich uplatnenie je závislé od rozvoja informačných technológií v lesníckej praxi, bez ktorého sa ich využívanie nemôže stať v blízkej budúcnosti praktickou realitou.

Literatúra

ALBRECHTOVÁ, J., ROCK, B.N., SOUKUPOVÁ, J., ENTČEVA, P., ŠOLCOVÁ, B., POLÁK, T., 2001. *Biochemical, histochemical, structural and reflectance markers of damage in Norway spruce from the Krušné hory Mts. Used for interpretation of remote sensing data.* Journal of forest science, 2001, roč. 47, (Special issue): pp. 26-33.

MORAVČÍK, M., a kol., 2002. *Hospodárska úprava horských lesov z hľadiska ekologizácie lesného hospodárstva*. ZS ČVTP 2730-06, Zvolen : LVÚ, 217 s.

Kontaktná adresa:

Dr. Ing. Tomáš BUCHA

Lesnícky výskumný ústav Zvolen

T. G. Masaryka 22

960 92 Zvolen

e-mail: <tomas.bucha@fris.sk>