

# Satelitné snímky a potenciál ich využitia v lesníctve

*L. Scheer, R. Sitko: Satellite Images and Potential of their Utilization in Forestry. Život. Prostr., Vol. 43, No. 4, p. 220 – 223, 2009.*

In recent years, satellite remote sensing has become a new tool for estimation of forest condition. Summary information about potential application of satellite data in forestry is presented in the paper. The main areas of their application are focused to assessment of vegetation cover and tree species composition, forest damage, modeling of carbon cycle and assessment of some chemicals in vegetation. Another application is estimation of some stand variables (age structure, stocking, growing stock, production) employing spectral reflectance models derived from satellite data. With respect to recent research in this area, the models precision is not very favorable, but they are efficient tool for application of some sampling methods (two-phased sampling). The optimization of sampling could save about 40 % costs of the terrestrial estimation.

Poznanie aktuálneho stavu lesných ekosystémov je základom lesného hospodárenia a plánovania. Okrem klasických, terestrických metód zisťovania a monitorovania stavu lesa sa v posledných rokoch veľmi intenzívne vyvíjajú aj technológie založené na digitálnom spracovaní satelitných obrazových záznamov. Satelitný diaľkový prieskum Zeme (DPZ) má viacero výhod.

Určitou nevýhodou je ešte stále malý počet satelitov pre výskum prírodných zdrojov Zeme s vysokým priestorovým rozlíšením. Posledný vývoj prináša zlepšenie aj v tomto smere, avšak na úkor spektrálneho rozlíšenia, pretože údaje s priestorovým rozlíšením 1 – 2 m sú zaznamenávané väčšinou v panchromatickom móde. Zároveň sa s priestorovým rozlíšením úmerne znižuje veľkosť snímaného územia a dochádza k zvyšovaniu nákladov na 1 km<sup>2</sup>. Preto je pri lesníckych aplikáciách, pri ktorých sa využívajú satelitné údaje, veľmi dôležité nájsť optimálne riešenie s ohľadom na všetky ich vlastnosti.

Pri zisťovaní a monitorovaní stavu lesa sa najčastejšie používajú optické multispektrálne a v poslednom období nastupujú aj hyperspektrálne systémy. Na ich použitie môžeme vymedziť nasledovné oblasti:

- odhad poškodenia, drevinového zloženia, vekovej štruktúry, odhad zásob, produktívnosti porastov,

mapovanie plošných a líniových objektov lesnej krajiny,

- monitorovanie rozsahu a dynamiky zmien lesných ekosystémov,
- zisťovanie biodiverzity, druhovej diverzity, štruktúrnej diverzity lesa (hustoty, veľkosti, tvaru, disperzie) a pod.

Využitie nachádzajú aj radarové systémy, ktorých hlavnou výhodou je, že kvalitu ich záznamu neovplyvňujú poveternostné podmienky, ako napríklad oblačnosť. Na základe uvedenej vlastnosti je využitie takýchto systémov v lesníctve aktuálne najmä pri:

- okamžitom mapovaní lesných požiarov, mapovaní veterných polomov a iných živelných pohrôm,
- pri rozlíšení ihličnatého a listnatého typu lesa (použitím multitemporálnych analýz, resp. v kombinácii s multispektrálnymi snímkami z oblasti optického žiarenia),
- terénnych analýzach.

## Kozmické programy pre výskum prírodných zdrojov Zeme

Na lesnícke aplikácie sa najčastejšie využívajú satelitné snímky kozmických programov pre výskum prírodných zdrojov Zeme. Prehľad tých naj-

Tab. 1. Družice pre výskum prírodných zdrojov Zeme

Družica/skener	Rok	Štát / organizácia	Priestorové rozlíšenie [m]/ záber [km]/ / časové rozlíšenie [dni]	
			Panchromatický mód	Multispektrálny mód
LANDSAT 7/ETM+	1999	USA	15	30-60 / 183x170 / 16
IKONOS	1999	USA	1	4 / 11 / 3
Terra / MODIS	1999	NASA	-	250, 500, 1000 / 2330x10 / 2
Terra / ASTER			-	15, 30, 90 / 60 / 16
EO-1 / Hyperion	2000	NASA	-	30 / 7,5x100 / 16
QuickBird	2001	Digitalglobe	0,60 / 16,5 / 3	2,44 / 16,5 / 1-3,5
PROBA/CHRIS	2001	Belgicko/ESA		18-36 / 14 / 13
SPOT 5 / HRG	2002	Francúzsko	2,5-5	10-20 / 60 / 2-3
SPOT 5 / HRS			5-10 / 60 / 2-3	-
SPOT 5 / VEG2			-	1000 / 2250 / 1
ENVISAT/ASAR	2002	ESA	C-kanál, 12,5 / 100 / 35	
IRS-P6 / LISS-4	2003	India	5,8 / 70	5,8 / 23,9 / 5-24
IRS-P6 / LISS-3			-	23,5 / 140 / 24
IRS-P6 / AWiFS			-	56-70 / 740 / 5-24
OrbView 3	2003	Orbimage	1	4 / 8 / 3
IRS-P5	2005	India	2,5 / 30-27 / 5	-
TopSat/RALCam	2005	Veľká Británia/ Sat-Industry	2,5 / 15	5 / 10 / 4
ALOS / AVNIR-2	2006	Japonsko	2,5 / 35 / 5	10 / 70 / 3
KOMPSAT-2	2006	Kórea/KARI	1	4 / 15 / 5
WorldView-1	2007	Digitalglobe	0,5/60x110/4,6	-
TerraSAR-X	2007	SRN/EADS	X-kanál 1,3,16 / 10x25,30x2,5t.,100x22,5t. / 3	
RADARSAT-2	2007	Kanada	C-kanál, 3 -100 / 50 - 500 / 24	
GeoEye-1	2008	GeoEye	0,5	2 / 15,2 / 2,1-8,3
NOAA-19/AVHRR	2009	NASA/NOAA	-	1 100 / 2 700 / 12 h

významnejších za posledné obdobie je v tab. 1. s uvedením priestorovej rozlišovacej schopnosti snímky, veľkosti jednej scény a časovej rozlišovacej schopnosti snímania. Radarové (aktívne) snímacie systémy sú umiestnené na družiciach RADARSAT-2, TERRAAR-X a ENVISAT so snímacou aparátúrou ASAR. Opticko-multispektrálne (pasívne) snímacie systémy majú pre lesnícke aplikácie širšie využitie, lebo v jednotlivých pásmach elektromagnetického spektra sú citlivé na rastlinné farbivá, štruktúru buniek stien vegetačných orgánov a obsah vody v rastlinách a pôde.

Priekopníkom vo využívaní DPZ v lesníctve je program LANDSAT, ktorého družice LANDSAT 1 až po poslednú realizovanú misiu LANDSAT 7 kontinuálne zbierajú údaje od r. 1972. Z pohľadu priestorového rozlíšenia bolo významným medzníkom vypustenie družice IKONOS v r. 1999 so snímacou aparátúrou s priestorovým rozlíšením povrchu Zeme 1 m v panchromatickom móde, v multispektrálnom móde so

4 m rozlíšením. Maximum, čo sa týka priestorového rozlíšenia, v súčasnosti poskytuje družica GEOEYE-1. V skúšobnej prevádzke je od septembra 2008 a údaje v panchromatickom móde sú distribuované s rozlíšením 0,5 m. V multispektrálnom móde je veľkosť obrazového prvku snímky 2 m.

Z družíc patriacich do skupiny opticko-multispektrálnych systémov je zaiste dôležitý program SPOT, ktorý má, podobne ako LANDSAT, tiež bohatú históriu. Program začala francúzska vesmírna agentúra v r. 1978. Zatiaľ poslednou misiou bolo vypustenie družice SPOT 5 v r. 2002. Program poskytuje bohatú škálu produktov, jedným z nich je aj digitálny výškový model územia vytvorený stereoskopickým prekrytím snímáčov.

Hyperspektrálne satelitné snímky sú technológiou, ktorá sa v súčasnosti ešte len rozvíja. Medzi prvé snímače tohto druhu patrí MODIS (*Terra*) 1999 a HYPERION, ktorý bol v r. 2000 umiestnený na palubu družice EO-1 (*Earth Observing*). Aj keď nie je

presne definovaná hranica medzi multispektrálnymi a hyperspektrálnymi systémami, prevláda názor, že systémy obsahujúce desiatky až stovky kanálov s veľmi blízkym spektrálnym rozlíšením (niekoľko desiatok nanometrov), sa označujú za hyperspektrálne. Vzhľadom na veľký počet spektrálnych kanálov ťažisko výskumu využitia takýchto údajov sa presúva na detailnejšie zisťovanie kvalitatívnych vlastností lesného prostredia a jeho zložiek, napr. zisťovanie obsahu chemických látok vo vegetácii, sledovanie kolobehu uhlíka a pod.

### Aplikácie satelitných snímok v lesníctve

V technologicky vyspelých krajinách s extenzívnym spôsobom lesného hospodárenia poskytujú letecké a kozmické snímky hlavný, často jediný zdroj informácií o stave lesa.

V krajinách s intenzívnym hospodárením v lese, medzi ktoré patrí i Slovensko, treba satelitné snímky chápať ako podporné prostriedky, ktorých použitie za určitých podmienok, v kombinácii s terestrickým meraním smeruje k zníženiu prácnosti a nákladov zisťovania stavu lesa. Ich presnosť zatiaľ v porovnaní s klasickými terestrickými metódami často nepostačuje, a preto sa využívajú hlavne na zisťovanie charakteristík, ktoré sa pomocou nich interpretujú ľahko a pozemnými meraniami, s použitím rôznych výberových postupov, sa potom spresňujú.

• **Rozlíšenie vegetačného krytu, lesných drevín a určenie ich zastúpenia.** Typy vegetačného krytu sú základnou kvalitatívnou informáciou o krajine a aplikácie zaoberajúce sa ich mapovaním boli významným motivačným prvkom vývoja v oblasti DPZ. Dnes sa preto stretáme s mnohými prístupmi a využitím rôznorodých materiálov na účely rozlíšenia vegetačného krytu. Príkladom je projekt CORINE, ktorý koordinuje Európska environmentálna agentúra (EEA) a sú do neho zapojené všetky štáty Európy, okrem Švajčiarska. Jeho výsledným produktom sú mapy krajiny pokrývky odvodené zo satelitných údajov LANDSAT v mierke 1 : 100 000.

Otázkou podrobného mapovania drevinového zloženia z obrazových údajov LANDSAT TM sa v podmienkach lesov Slovenska zaoberali Bucha a Vladovič (1998). Vychádzajúc z dosiahnutej správnosti automatizovanej klasifikácie drevinového zloženia (79,6 %), považujú autori tieto aplikácie za vhodné pre mierku 1 : 200 000 a menšiu. Na mapovanie s využitím máp väčších mierok (1 : 50 000 a 1 : 25 000), ktoré sú vhodnejšie pre prax, treba využiť algoritmy s aplikáciou priestorových apriórnych poznatkov o výskyte kategórií, ktoré poskytujú výrazné možnosti na zlepšenie správnosti klasifikácie.

Sitko a Scheer (2004) priestorovo definovali apriórne pravdepodobnosti na základe poznatkov o vertikálnom rozšírení pre štyri dreviny (smrek, kosodrevina, limba a jarabina). V rámci klasifikácie drevinového zloženia zo snímky IKONOS, v podmienkach členitého územia horských lesov bol podiel správne klasifikovaných obrazových prvkov 89 %. Použitie ďalšej charakteristiky, vytvorených obrazov textúry, pomohlo zlepšiť výslednú klasifikáciu.

Vo všeobecnosti môžeme konštatovať, že horná hranica správnosti klasifikácie drevinového zloženia sa v podobných prístupoch pohybuje okolo hodnoty 90 %. Testujú sa však aj novšie prístupy a materiály, ktoré sľubujú lepšie výsledky. Jedným z nich je objektovo orientovaný prístup klasifikácie. Základným rozdielom je, že predmetom klasifikácie nie je obrazový prvok a jeho spektrálna odrazivosť, ale individuálny objekt (napr. koruna stromu), ktorý sa získa segmentáciou obrazu na rôznych hierarchických úrovniach a pre ktorý sa okrem spektrálnych hodnôt a textúry zohľadňujú aj ďalšie rozmerové charakteristiky (plocha, šírka a pod.). Prísľubom na zlepšenie klasifikácie drevinového zloženia je aj využívanie hyperspektrálnych satelitných snímok, ktoré dokážu lepšie zaznamenávať jemné rozdiely spektrálnych signatúr niektorých drevín.

• **Klasifikácia poškodenia lesa.** Ďalšou dôležitou kvalitatívnou charakteristikou lesa je jeho zdravotný stav, rozsah a intenzita poškodenia, ktoré môžu spôsobovať biotické a abiotické činitele. Poškodenie sa môže prejavovať vizuálnymi zmenami, avšak výhodou niektorých materiálov DPZ (z blízkej infračervenej oblasti spektra) je to, že dokážu rozlíšiť počiatočné, latentné tzv. predvizuálne zmeny poškodenia, čo môže pomôcť hlavne pri ich prevencii.

Najčastejšie aplikácie satelitného DPZ v tejto oblasti smerujú k interpretácii poškodenia spôsobeného podkôrnym hmyzom, znečisteným ovzduším, ktoré sa prejavujú chlorózou a farebnými zmenami listov a ihlíc. Interpretáciou poškodenia lesa v oblasti hornej Oravy s využitím satelitných snímok LANDSAT TM a SPOT XS sa zaoberal Scheer (1995). Výsledná správnosť klasifikácie poškodenia smrekových porastov bola 88 %, resp. 82 %. Časté sú aj aplikácie zaoberajúce sa interpretáciou snehových a veterných kalamít s výslednými tematickými mapami, zaznamenávajúcimi rozsah poškodených území.

• **Odhad niektorých porastových veličín.** V súvislosti so zlepšovaním priestorovej rozlišovacej schopnosti satelitného DPZ je aktuálne zisťovať aj niektoré kvantitatívne charakteristiky stavu lesa. Pre túto oblasť aplikácií sa najčastejšie používajú

Tab. 2. Parametre modelov spektrálnej odraznosti pre odhad hektárovej zásoby

Závislá premenná	Nezávislá premenná	Model	SE %	Koeficient determinácie	F
Zásoba na hektár (V · ha <sup>-1</sup> )	RVI	1	±31,61 %	41,1 %	33,7***
	CTVI	2	±31,65 %	40,9 %	37,3***
	MSAVI	3	±31,51 %	41,6 %	35,7***
	TTVI	4	±31,72 %	41,0 %	34,8***
	MSAVI2/ Vek	5	±29,83 %	47,5 %	21,6***
	NIR2/ Vek	6	±28,75 %	51,2 %	16,5***

empirické modely spektrálnej odrazivosti na odhad veku, zásob a produktivnosti porastov. Tab. 2 uvádza príklad modelov spektrálnej odrazivosti na odhad hektárovej zásoby smrekových porastov z údajov snímky IKONOS (Scheer a Sitko, 2005). Ako nezávislé premenné sa použili rôzne druhy spektrálnych indexov. Z výsledkov vyplýva, že presnosť uvedených modelov nie je dostatočná, uvádzaný prístup môže zefektívniť zisťovanie zásob porastov, a to aplikáciou viacfázových výberových postupov. V prvej fáze sa odhadne zásoba menej presnou (snímkovou) metódou a v druhej fáze sa spresní menším počtom terestrických meraní, čo môže priniesť zníženie nákladov a zároveň porovnateľnú presnosť s terestrickým zisťovaním.

• **Zisťovanie a monitorovania stavu niektorých ďalších zložiek lesa.** Ďalšími potenciálnymi aplikáciami satelitného DPZ je zisťovanie a monitorovanie ťažby, obnovy lesných porastov a ich sprístupnenie existujúcou lesnou cestnou sieťou, zisťovanie biodiverzity lesa na úrovni lesnej krajiny, ale aj na úrovni stanovišťa biotopu. Kombináciou satelitných údajov s údajmi terestrického zisťovania s využitím metód priestorového modelovania v prostredí GIS môžeme tiež identifikovať a zaraďovať rôzne funkcie lesa.

\*\*\*

Lesný ekosystém je dôležitou zložkou prírodného prostredia, v ktorej treba pravidelne sledovať prebiehajúce zmeny – monitorovať ho. Keďže ide väčšinou o komplexné, dlhodobé a opakované zisťovania, DPZ sa stal už tradičným nástrojom, ktorým možno veľmi efektívne monitorovať najmä rozsiahle alebo málo prístupné lesné oblasti. Satelitné snímky možno v súčasnosti považovať za hlavný zdroj informácií pri monitorovaní zmien stavu lesa na globálnej, ale i regionálnej úrovni. Medzi najvýznamnejšie aktivity v tejto oblasti na Slovensku patrí monitorovanie zdravotného stavu lesov v sieti 16 x 16 km, ktoré prebieha od r. 1986 v rámci európskeho monitorovacieho

programu ICP FORESTS a zabezpečuje ho Národné lesnícke centrum vo Zvolene, aj s využívaním satelitných údajov (Bucha a kol., 2002). Toto pracovisko sa v súčasnosti zaoberá aj problematikou odhadu produkcie lesných ekosystémov a modelovaním produkcie uhlíka na báze satelitných hyperspektrálnych údajov MODIS.

*Táto práca bola podporená finančnými prostriedkami vedeckého projektu č. 1/0534/09 VEGA pre poľnohospodárske, lesnícke a veterinárne vedy.*

#### Literatúra

- Bucha, T. a kol.: Metódy monitoringu zdravotného stavu lesov prostriedkami DPZ. Výskumná úloha č. 2729-01. Zvolen : LVÚ, 2002, 100 s.
- Bucha, T., Vladovič, J.: DPZ a nová mapa drevinového zloženia lesov Slovenska. GEO-Info, 2, 1998, s. 42 – 44.
- Sitko, R., Scheer, L.: Využitie družice IKONOS pre klasifikáciu drevinového zloženia lesných porastov. Zborník zo seminára Aktuálne problémy fotogrametrie a DPZ. Praha : ČVUT, 2004, s. 175 – 183.
- Scheer, L.: Satellite Remote Sensing for Forest Damage Estimation. Acta Facultatis forestalis, 37, 1995, p. 121 – 131.
- Scheer, L., Sitko, R.: Growing Stock Assessment and Regionalization Employing IKONOS Satellite Data. Remote Sensing and Geographical Information Systems for Environmental Studies, Application in Forestry, Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 138, 2005, s. 303-311.

**Prof. Ing. Lubomír Scheer, CSc.,** [scheer@vsld.tuzvo.sk](mailto:scheer@vsld.tuzvo.sk)  
**Ing. Roman Sitko, PhD.,** [sitko@vsld.tuzvo.sk](mailto:sitko@vsld.tuzvo.sk)  
**Katedra hosp. úpravy lesov a geodézie Lesníckej fakulty Technickej univerzity, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen**