VYHODNOTENIE STAVU SMREČÍN ZO SATELITNÝCH SNÍMOK

Tomáš Bucha • Ivan Barka

História a súčasnosť využitia údajov DPZ v lesníctve

História využitia údajov diaľkového prieskumu Zeme (DPZ) v praktickom lesníctve má už 60-ročnú tradíciu. Jej počiatok siaha do obdobia po druhej svetovej vojne a je spätá s využitím leteckých snímok. Novým impulzom v rozvoji DPZ bolo vypustenie prvej komerčnej družice Landsat v roku 1972. V lesníctve však satelitné snímky len postupne nachádzali širšie uplatnenia, a to až od začiatku 90. rokov, keď sa komerčne prístupnými stali snímky s priestorovou rozlišovacou schopnosťou pod 20 m. Veľkoplošnosť, nižšia prácnosť a možnosť priestorového opisu v rámci základných jednotiek priestorového rozdelenia lesa (JPRL) sú ďalšími stimulmi prispievajúcimi k súčasnému rozmachu aplikácií DPZ. Tabuľka 1 udáva prehľad družíc, z ktorých je možné získať komerčne prístupné snímky v priestorovej rozlišovacej schopnosti vhodnej pre praktické lesnícke veľkoplošné aplikácie.

Tabuľka 1 Prehľad družíc poskytujúcich snímky vhodné pre celoplošné aplikácie v lesníctve

Družica	Senzor	Typ dát	Počet pásiem	Priestorové rozlíšenie [m]	Archív od	Orientačná cena €/km²
RADARSAT-2	SAR	Radarové	1	3, 8, 12, 18, 25, 30, 40, 50, 100	2008	1,8 pre 8 m
TerraSAR-X	SAR	Radarové	1	1, 3, 16	2007	0,1 pre 16 m
ALOS	AVNIR-2	Optické	4	10	2006	0,1
ALOS	PALSAR	Radarové	1	10, 20, 30, 100	2006	0,1
FORMOSAT-2	MS	Optické	4	2, 8	2005	4,3
IRS-P6	LISS-III	Optické	4	23,5	2003	0,1
IRS-P6	LISS-IV	Optické	3	5,8	2003	0,6
Envisat	ASAR	Radarové	1	12,5	2002	0,15
SPOT 5	HRG	Optické	5	5, 10, 20	2002	0,75
EO-1	ALI	Optické	10	10, 30	2001	0,15
EO-1	Hyperion	Optické	220	30	2001	0,8
TERRA	ASTER	Optické	14	15, 30, 90	2000	0,02
Landsat 7	ETM+	Optické	8	15, 30, 60	1999	0,05
Hlavný zdroj: *http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/prehled-druzicovych-systemu*						
Letecké snímky	UltraCam X	Optické	4	0,2	2006	15

Využitie DPZ pri riešení problematiky hynutia smrečín

Zhoršujúci sa stav smrekových porastov je hlavným lesníckym problémom v posledných rokoch. Situácia sa zdramatizovala najmä po vetrovej kalamite z novembra 2004, keď sa vytvorili vhodné podmienky pre gradáciu podkôrneho hmyzu. Problém prerástol do doposiaľ nepoznaných rozmerov, keď vo viacerých regiónoch dochádza k postupnému plošnému rozpadu smrekových porastov, s negatívnym dopadom na ekologickú stabilitu krajiny a vážnymi sociálno-ekonomickými problémami. Nepriaznivou situáciou hynutia smrečín sa zaoberala aj vláda Slovenskej republiky. Vo svojom uznesení č. 990 z 21. novembra 2007 uložila Ministerstvu pôdohospodárstva SR v rokoch 2008 až 2013 zabezpečiť realizáciu opatrení na zabránenie zhoršovania zdravotného stavu lesných porastov. Jednou z úloh, ktorá vyplynula z Uznesenia vlády SR, bolo prostredníctvom metód DPZ vyhodnotiť aktuálny stav smrekových porastov podľa stupňov ich poškodenia a pravidelne monitorovať vývoj zdravotného stavu smrečín a podľa získaných poznatkov lokalizovať realizáciu navrhnutých opatrení.

LESY SR, š. p. a Národné lesnícke centrum (NLC) riešili uvedenú problematiku v roku 2007 (Raši 2007) a v roku 2008 pomocou satelitných snímok SPOT a ASTER. Celkovo sa z roku 2008 podarilo zabezpečiť 8 satelitných snímok, z toho 6 z snímok SPOT a 2 snímky ASTER. Kvalita záznamov bola veľmi dobrá, okrem časti snímky pokrývajúcej región Oravy, ktorá bola ovplyvnená oblačnosťou. Priestorové rozlíšenie snímok SPOT je 10 × 10 m , snímok ASTER 15 × 15 m. Z pohľadu spektrálneho rozlíšenia pozostáva snímka SPOT zo 4 kanálov: zelený, červený, blízky a stredný infračervený kanál (IČ kanál). Snímka ASTER bola dodaná v 3 kaná-

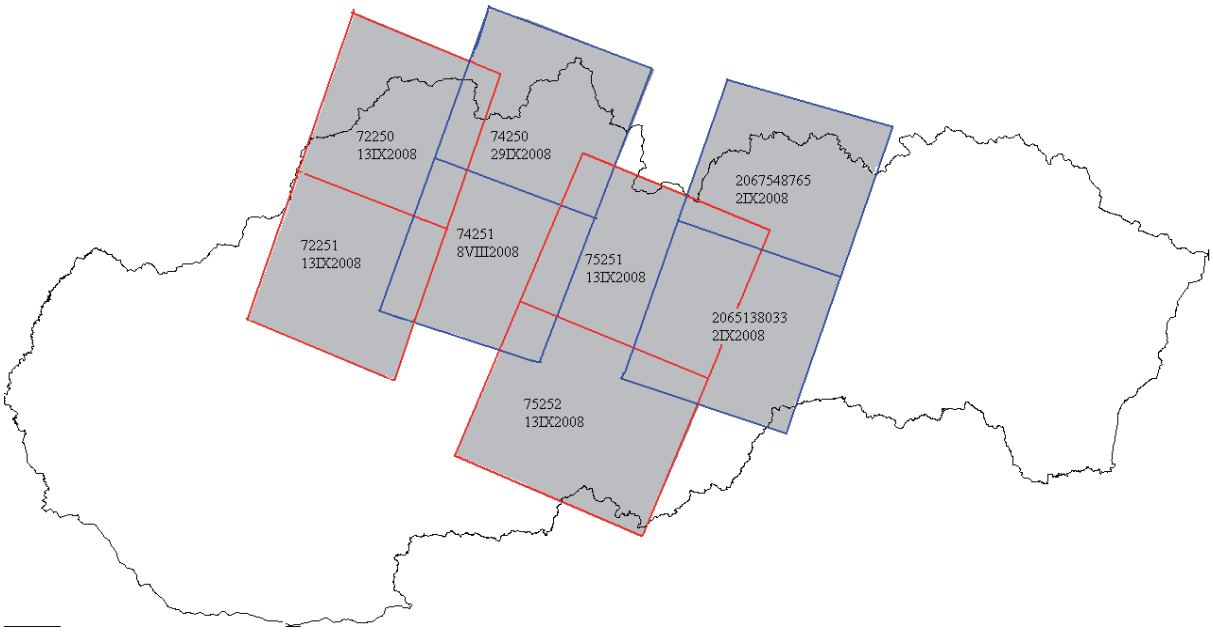
loch, zelený, červený a blízky infračervený. Základné informácie k zakúpeným snímkam sú uvedené v tabuľke 2. Klad zakúpených snímok je uvedený na obrázku 1.

Tabuľka 2 Charakteristika informácie o zakúpených scénach SPOT a ASTER

Senzor	Snímka (granula)	Dátum snímania	Úroveň predspracovania	Pokrytý región
SPOT 5	072–250	13. IX. 2008	Level 1B SAT 1	Kysuce, Žilina
SPOT 5	072–251	13. IX. 2008	Level 1B SAT 1	Bytča – Prievidza
SPOT 5	074–250	29. IX. 2008	Level 1A SAT 0	Orava
SPOT 4	074–251	8. VIII. 2008	Level 1A SAT 0	Ružomberok – B. Bystrica
SPOT 5	075–251	13. IX. 2008	Level 1B SAT 1	Vysoké Tatry – Nízke Tatry
SPOT 5	075–252	13. IX. 2008	Level 1B SAT 1	Poľana – Novohrad
ASTER	2067548765	2. IX. 2008	AST_L1A.003	Stará Ľubovňa – Poprad
ASTER	2065138033	2. IX. 2008	AST_L1A.003	Spiš, Gemer

Všetky satelitné snímky boli ortorektifikované v súradnicovom systéme JTSK a po relatívnej kalibrácii spojené do jednej mozaiky.

Záujmové územia predstavujú lesné porasty so zastúpením smreka nad 25 %. Pre výber a lokalizáciu týchto porastov sme využili digitálnu mapu JPRL s databázou z opisu porastov z Ústavu lesných zdrojov a informatiky NLC Zvolen.



Obrázok 1 Schéma územia pokrytého satelitnými snímkami zo SPOT a ASTER v roku 2008. Horný rad predstavuje identifikačný kód radu a stĺpca snímania pre SPOT, resp. číslo granule pre ASTER. V dolnom rade je uvedený dátum snímania

Vyhodnotenie aktuálneho stavu smrekových porastov v roku 2008

Metodický postup klasifikácie je založený na dvojfázovom regresnom výbere. Princíp tohto výberu spočíva v tom, že v prvej fáze výberu sa zvolí vhodná kombinácia kanálov satelitnej snímky, z ktorých sa približne určí poškodenie porastov. V druhej fáze sa využijú presnejšie údaje o poškodení drevín (strate listov alebo ihlíc) z pozemného hodnotenia zdravotného stavu lesa. Z týchto údajov sa cez regresný model spresní určenie zdravotného stavu zo satelitných snímok (Šmelko 1995).

Spektrálne charakteristiky vegetácie sú výsledkom interakcie žiarenia s bunkovými štruktúrami, chlorofylom a ďalšími pomocnými pigmentmi. Zdravá a vitálna vegetácia odráža viditeľnú časť spektra v modrej a červenej oblasti iba slabo. V zelenej časti v okolí vlnovej dĺžky 550 nm je pre zdravú vegetáciu typická mierne zvýšená

odrazivosť dopadajúceho žiarenia. Chronické poškodenie alebo dlhodobá záťaž vedú k degradácii chloroplastov, táto zmena vo fyziológii sa prejavuje žltnutím listov, preto sa vo viditeľnej časti spektra maximálna odrazivosť presúva zo zeleného pásma do červeného (Kmeť, Blaho 1996). V pásme blízkeho infračerveného žiarenia zdravý asimilačný aparát absorbuje iba malý podiel žiarenia a väčšinu žiarenia odrazí alebo prepustí. Pre oblasť infračerveného žiarenia nad 1 300 nm je typická silná absorbcia žiarenia, spôsobená obsahom vody v pletivách. Na základe stavu pletív a obsahu vody v nich je preto možné usudzovať na úroveň poškodenia a momentálnu vitalitu porastov.

Pri terénnych šetreniach sme použili stratu asimilačných orgánov (SAO) za hlavný indikátor a základný vizuálny symptóm zdravotného stavu drevín. Vyjadruje percentuálny pomer chýbajúcich častí asimilačných orgánov k vzorovému, plne olistenému stromu. Aj keď je zrejmé, že indikátor poškodenia stromov zisťovaný v teréne (defoliácia) a hodnota spektrálnej odraznosti zaznamenaná senzormi SPOT (ASTER) nemajú identickú javovú podstatu, existuje medzi nimi úzky vzťah (Stoklasa 1993). Túto súvislosť sme využili a testovali pri klasifikácii zdravotného stavu smrekových porastov. Okrem zdrojových kanálov snímok sme použili aj z nich ortogonálnou transformáciou odvodený komponent (ďalej NSC), optimalizovaný pre zvýraznenie poškodenia:

$$NSC = -0{,}586 * IČ\ kanál + 0{,}544 * Zelený\ kanál + 0{,}246 * Červený\ kanál + 0{,}548 * Stredný\ IČ\ kanál$$

Hodnotenie SAO sme vykonali na 35 vybraných plochách v teréne. Získané hodnoty za plochu sme prepojili s hodnotou ich spektrálnej odrazivosti na satelitnej snímke. Tím sme získali súbor párových hodnôt. Z nich sme pomocou lineárnej regresnej analýzy odvodili regresný model, podľa ktorého sme odhadli poškodenie porastu pre každý obrazový prvok (pixel) satelitnej snímky. Pri využití komponentu NSC sme defoliáciu odvodili podľa vzťahu:

$$Defoliácia = -43{,}33 + 3{,}034 * NSC$$

Na správnosť a presnosť klasifikácie poukazujú korelačný koeficient, stredná chyba regresnej priamky. Dosiahli sme vysokú hodnotu korelácie $r = 0{,}89$ so strednou chybou regresnej priamky $s_{yx} = \pm 15{,}1\ \%$. To znamená, že skutočná defoliácia v obrazovom prvku sa od vypočítanej hodnoty môže líšiť o ± 15 % pri 68 % spoľahlivosti.

Defoliáciu sme podľa regresného modelu vypočítali pre každý obrazový prvok satelitného záznamu, ktorý bol klasifikovaný ako ihličnatý les a ktorý sa nachádzal v poraste so zastúpením smreka 25 % a viac. Výsledné hodnoty sme podľa veľkosti defoliácie zaradili do 11 defoliačných tried. Prehľadný výsledok je uvedený v tabuľke 3.

Tabuľka 3 Vyhodnotenie stavu smrekových porastov v roku 2008 na základe stupňa defoliácie

Defoliačná trieda	Smrečiny spolu		Z toho MCHÚ (4. a 5. st. ochrany)		Opis poškodenia porastov
	tis. ha	%	tis. ha	%	
0–10 %	18,5	4,4	0,38	1,4	Porasty zdravé a slabo poškodené porasty
11–20 %	66,1	15,9	3,17	11,5	
21–30 %	107,8	25,9	6,35	23,2	
31–40 %	118,2	28,4	8,31	30,3	Stredne silne poškodené porasty
41–50 %	48,3	11,6	3,73	13,6	
51–60 %	22,3	5,3	1,81	6,6	
61–70 %	12,4	3,0	1,26	4,6	Silne poškodené porasty
71–80 %	7,2	1,7	0,72	2,6	
81–90 %	4,8	1,2	0,49	1,8	
91–100 %	4,8	1,2	0,65	2,4	Odumierajúce a mŕtve porasty
	5,8	1,4	0,54	2,0	Ťažba, nespracovaná a ponechaná kalamita z obdobia 2007–2008
Spolu	**416,2**		**27,41**	**100**	

Klasifikácia stavu smrekových porastov v roku 2008 preukázala pretrvávajúcu nepriaznivú situáciu. Plošný rozpad, najmä v dôsledku premnoženia podkôrneho hmyzu a vetrových kalamít pokračoval v podstate v celom areáli ich výskytu. Najintenzívnejší rozpad bol pozorovaný v strednej a východnej časti Kysúc na severe Oravy, vo Vysokých a Belianskych Tatrách, v severovýchodnej a juhovýchodnej časti Nízkych Tatier, v severnej časti Veporských vrchov a v celej oblasti Spiša. Alarmujúci je vysoký podiel porastov s odumierajúcimi a mŕtvymi stromami. Tento podiel je 1,2 % z nami vyhodnotenej výmery smrečín, čo predstavuje plochu 4,8 tis. ha. Vysoký

je aj podiel porastov so silne poškodenými stromami s defoliáciou od 60 % do 90 %. Plocha takto poškodených porastov je 24,4 tis. ha, čo predstavuje 5,9 % výmery smrečín.

Na obrázku 2 je uvedená ukážka výsledok klasifikácie poškodenia smrečín Z LHC Čadca spracovaná vo forme mapového výstupu v mierke 1 : 25 000. Mapy boli pripravené pre LHC. Mapový výstup umožňuje identifikovať rôznu mieru poškodenia aj vo vnútri základných JPRL a lokalizovať tak problémové miesta v rámci porastu.

Obrázok 2 Ukážka mapového výstupu klasifikácie poškodenia smrekových porastov s vloženou porastovou situáciou z LHC Čadca, z porastov v správe Lesov SR, š. p. – Intenzita poškodenia stúpa so stupňom šede. Tmavosivá farba zodpovedá odumierajúcim a odumretým porastom a porastom, kde sa v roku 2008 realizovala ťažba

Aktuálny stav smrečín v MCHÚ

V súvislosti s hynutím smrečín vystúpila do popredia otázka ich stavu a zachovania v chránených územiach, predovšetkým v štvrtom a piatom stupni ochrany. Základnú informáciu o smrečinách nachádzajúcich sa v maloplošných chránených územiach (MCHÚ) sme odvodili prekrytom výsledkov našej klasifikácie stavu smrekových porastov s hranicami MCHÚ. Celková nami vyhodnotená výmera MCHÚ so smrečinami je 27 410 ha, čo predstavuje 6,6 % z celkovej výmery smrečín. Z tabuľky vyplýva, že s rastúcou mierou poškodenia, vyjadrenou defoliáciou, rastie aj plošný podiel poškodenia smrečín v MCHÚ k celkovej výmere smrečín v danom stupni poškodenia. Zjavný je vyšší podiel silne poškodených smrečín s defoliáciou nad 60 % a odumierajúcich porastov. Tento podiel je 11,4 %. Do určitej miery je vyšší podiel poškodených porastov prirodzený, vzhľadom na to, že v chránených územiach v 4. a 5. stupni ochrany sa hospodárske opatrenia nerealizujú resp. sú realizované v obmedzenej miere na základe udelenej výnimky zo zákona o ochrane prírody. Podrobnejšia analýza príčin zhoršeného stavu lesov v chránených územiach s vyšším stupňom ochrany presahuje rámec príspevku orientovaného na využitie DPZ. Výsledky uvádzame ako kvantitatívny ukazovateľ využiteľný pri rozhodovacích procesoch o spôsobe ochrany a menežmente týchto lesov.

Dokumentácia časovej a priestorovej dynamiky hynutia smrekových porastov

Pre účely grafickej dokumentácie kalamitných situácií a podchytenia dynamiky vývoja kalamitných plôch sme okrem aktuálnych snímok SPOT a ASTER využili archívne satelitné snímky Landsat z rokov 1979, 1990 a 2002, ktoré boli na NLC k dispozícii. Pre dokumentáciu vzniku a vývoja kalamitných situácii sme využili jednoduché metódy opisu a porovnávania satelitných snímok. Z časového hľadiska sme vymedzili 4 obdobia. Re-

ferenčné obdobie sa vzťahuje k rokom 1979–1990. Druhé obdobie je vymedzené rokmi 1990–2002. Posledný vývoj je vyhodnotený zo satelitných snímok z obdobia 2002–2007 a 2007–2008. Pre účely vizuálnej interpretáciu zmien stavu smrekových porastov sme vytvorili kompozície kanálov satelitných snímok z uvedených období a to tak, aby sme zvýraznili lokality, kde došlo k silnému poškodeniu, rozpadu alebo odlesneniu. Hynutie a rozpad smrečín sme vyhodnotili podľa jednotlivých okresov, pre obdobie 2007–2008 podľa LHC, pričom výstupom sú tematické mapy v mierke 1 : 25 000 s vloženou porastovou situáciou z organizačnej mapy. Podrobnejšie je možné oboznámiť sa s dokumentáciou o postupe hynutia smrečín z údajov DPZ podľa jednotlivých okresoch na stránke NLC: *http://www.nlcsk.sk/nlc_sk/ustavy/lvu/vyskum/oeble/sluzby/prognozy_vyvoja_hynutia_smrecin_a_vavrh_opatreni.aspx,* a to v rámci materiálu „Prognózy hynutia smrečín a návrh opatrení" podľa jednotlivých regiónov (Hlásny *a kol.* 2008).

Záver a odporúčania

Zo záujmového územia (porasty s prevahou smreka) sa v roku 2008 podarilo zabezpečiť 8 satelitných snímok, z toho 6 snímok SPOT a 2 snímky ASTER. Štyri satelitné snímky SPOT sa získali objednaním snímkovania, 2 snímky sa získali z archívu (74–250 a 74–251). Kvalita snímok z archívu bola kvôli oblačnosti podstatne nižšia ako snímok získaných objednaním snímkovania. Je tomu tak z dôvodu, že pri objednaní snímkovania, zhotoviteľ snímok dokáže zvoliť optimálny (bezoblačný) čas snímkovania, vychýliť senzor a nasnímkovať záujmové územie aj z pozície, keď je satelit mimo nadiru. Odporúčame preto do budúcna, včas objednať snímkovanie tým predĺžiť snímkované obdobie a vyhnúť sa tak v ďalšom ťažko riešiteľným problémom pri klasifikácii oblačných snímok. Archívne snímky z ASTER boli vo veľmi dobrej kvalite.

Pre aplikácie, v ktorých sa porovnáva stav medzi dvomi rokmi je nutné vykonať čo najpresnejšie polohové zjednotenie. Pre ortorektifikáciu snímok SPOT je možné priamo použiť len snímky 1A úrovne spracovania, snímky 1B je nutné spätne transformovať na úroveň 1A.

Potvrdil sa úzky vzťah medzi defoliáciou hodnotenou na plochách a odrazivosťou zaznamenanou senzorom. Korelačný koeficient r = 0,89. Defoliácia je určená s chybou 15 %, t. j. podľa regresného modelu určená defoliácia v obrazovom prvku sa môže pohybovať v rozpätí ±15 % od vypočítanej hodnoty pri 68 % spoľahlivosti a ± 30 % pri 95 % spoľahlivosti.

Klasifikácia stavu smrekových porastov v roku 2008 preukázala pretrvávajúcu nepriaznivú situáciu. Najintenzívnejší rozpad bol pozorovaný v strednej a východnej časti Kysúc, na severe Oravy, vo Vysokých a Belianskych Tatrách, v severovýchodnej a juhovýchodnej časti Nízkych Tatier, v severnej časti Veporských vrchov a v celej oblasti Spiša. Alarmujúci je 1,2 % podiel porastov s odumierajúcimi a mŕtvymi stromami, čo predstavuje plochu 4,8 tis. ha.

V územiach, ktoré sú pokryté alebo ovplyvnené oblačnosťou dochádza ku kontaminácii žiarenia odrazeného od vegetácie oblačnosťou, čo sa pri klasifikácii spravidla prejavuje nadhodnotením poškodenia. Z toho dôvodu sme na základe klasifikácie oblačnosti takto ovplyvnené plochy vylúčili z klasifikácie.

Okrem monitorovacích plôch sme pre overenie výsledkov klasifikácie využili aj údaje a informácie získané počas terénnych šetrení a konzultácií s lesnou prevádzkou, najmä s pracovníkmi z LHC Predajná a LHC Červená Skala. Na ich základe vyvodzujeme všeobecný záver o dobrej kvalite a zhode klasifikácie poškodenia a rozpadu smrekových porastov s realitou. Zároveň sme však boli upozornení na určité nezrovnalosti a nedostatky. Ide napríklad o chýbajúcu klasifikáciu starších, ešte nespracovaných kalamít, ktoré neboli zahrnuté v klasifikácii, pretože boli odfiltrované v procese tvorby masky ihličnatých porastov. Ďalej problematické ostalo rozlíšenie porastov, v ktorých sa už realizovala kalamitná ťažba od kalamitných ohnísk s ešte stojacimi suchármi. Taktiež sme sa nezaoberali elimináciou tieňov vrhnutých stromami alebo oblačnosťou. Pri využívaní mapových výstupov je potrebné mať tieto skutočnosti na zreteli a zohľadniť ich pri ich interpretácii.

Poďakovanie

Výsledky prezentované v príspevku vznikli v rámci riešenia zmluvy o dielo č. 485/NLC/2008 medzi Lesmi Slovenskej republiky, štátny podnik Banská Bystrica a Národným lesníckym centrom Zvolen, a v rámci úlohy č. 24 z Dodatku č. 1, ku Kontraktu č. 5267/2007-710 z 31. 12. 2007 medzi MP SR a NLC Zvolen.

Citovaná literatúra

Hlásny T., Bucha T., Konôpka J., Kulla L., Petráš R., Tutka J., Vladovič J., Hudecová D., Lupták I., Mecko J., Sitková Z., Šebeň V., Konôpka M., Kovalčík M., Kunca A., 2008: Vypracovanie krátkodobých a strednodobých prognóz ako podkladu pre rozhodovacie procesy, na základe zhodnotenia doterajšieho priebehu vývoja hynutia smrečín a kalamít podkôrneho hmyzu. Úloha č. 24 z Dodatku č. 1, ku Kontraktu č. 5267/2007-710 z 31. 12. 2007. Zvolen: NLC, 2008, 108 s.

Dostupné na internete: http://www.nlcsk.sk/nlc_sk/ustavy/lvu/vyskum/oeble/sluzby/prognozy_vyvoja_hynutia_smrecin_a_navrh_opatreni.aspx

Kmeť J., Blaho J., 1996: Obsahy fotosyntetických pigmentov v ihliciach smrekov (*Picea abies* [L.] Karst.) z rôznej nadmorskej výšky. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, XXXVIII, s. 29–38.

Raši R., 2007: Vyhodnotenie stavu smrekových porastov z kozmických snímok. Technická správa. NLC Zvolen, december 2007, 11 s.

Stoklasa M., 1993: Mapy zdravotního stavu lesů z kosmických snímků LANDSAT TM. *In* Aplikácia diaľkového prieskumu Zeme v lesníctve. Zborník z medzinárodného sympózia. Zvolen, september 22.–24., s. 34–39.

Šmelko Š., 1995: Možnosti uplatnenia dvojfázového výberového postupu pre zobjektívnenie odhadu poškodenia korún stromov v procese monitorovania stavu lesa. Lesnictví-Forestry, **41**(1): 19–24.

Adresy autorov:

Dr. Ing. Tomáš Bucha, Mgr. Ivan Barka, PhD.

Národné lesnícke centrum, T. G. Masaryka 22, 960 92 Zvolen, e-mail: bucha@nlcsk.org; barka@nlcsk.org