

## HODNOTENIE STAVU A ROZPADU SMREKOVÝCH PORASTOV V ROKU 2009 ZO SATELITNÝCH SNÍMOK

Marek Garčár • Zuzana Feiková • Michal Vyšinský • Tomáš Bucha

### Využitie DPZ pri hodnotení stavu a rozpadu smrekových porastov

Zdravotný stav smrekových porastov na Slovensku sa vplyvom a kombináciou viacerých biotických a abiotických činiteľov v súčasnosti mení (zhoršuje) s výraznou dynamikou. Vo viacerých regiónoch dochádza postupne k veľkoplošnému rozpadu až hynutiu prevažne nepôvodných smrečín, ktoré je spôsobené súčasným alebo následným pôsobením viacerých škodlivých činiteľov v meniacich sa podmienkach prírodného prostredia. Dochádza tak k zhoršovaniu ekologickej stability lesných porastov i celého životného prostredia a k zvyšovaniu nárokov na operatívnu a efektívnu ochranu lesa i hospodársko-úpravníckom plánovaní.

Na pomerne rýchle vyhodnotenie aktuálneho stavu a zmien je preto vhodné použiť diaľkový prieskum Zeme (DPZ). Satelitné snímky sa začali v lesníctve vo väčšej miere využívať asi pred 20 rokmi, keď sa komerčne sprístupnili snímky s rozlišovacou schopnosťou pod 20 m. Ich výhodou oproti leteckým snímkam je veľkoplošnosť, nižšia prácnosť pri spracovaní a vyhodnocovaní a možnosť priestorového opisu v rámci rôznych priestorových jednotiek.

Riešená úloha je zameraná na klasifikáciu zdravotného stavu a vývoja smrečín zo satelitných snímkov SPOT a LANDSAT a nadväzuje na podobné úlohy z rokov 2007 a 2008.

### Vstupné údaje

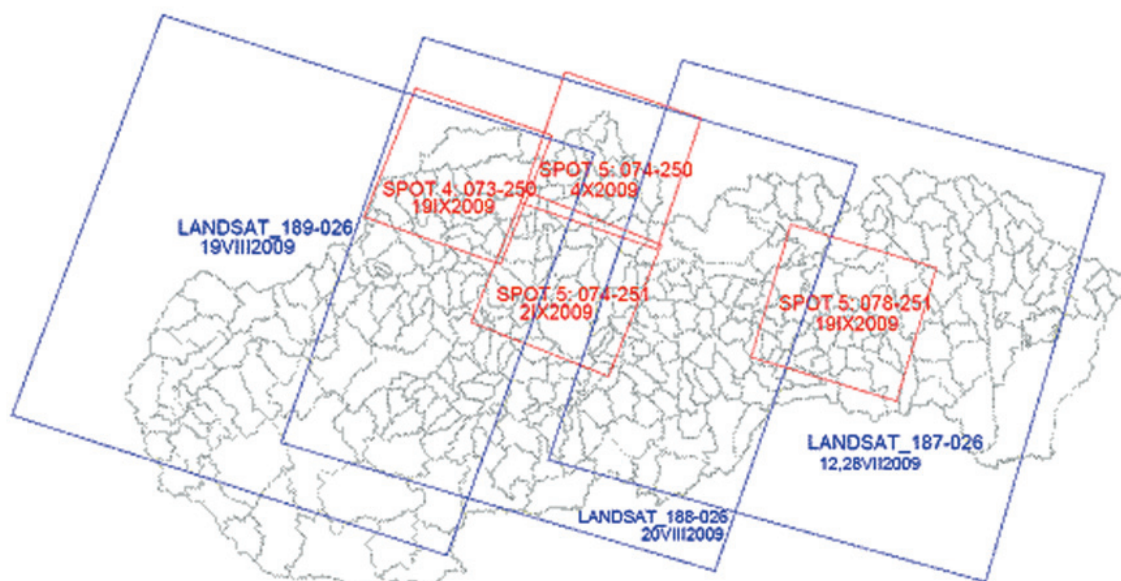
Záujmové územie predstavujú porasty so zastúpením smreka nad 25 %. Pre lokalizáciu porastov sme využili digitálnu mapu jednotiek priestorového rozdelenia lesa (JPRL) s informáciami z databázy LHP z Ústavu lesných zdrojov a informatiky NLC Zvolen.

Pre zabezpečenie úlohy boli použité 4 snímky zo satelitu SPOT a 4 snímky zo satelitu LANDSAT. Snímky SPOT 5 sú v rozlíšení 10 × 10 m, SPOT 4 v rozlíšení 20 × 20 m, pozostávajú zo 4 kanálov dodaných vo formáte SPOT DIMAP v poradí IR – R – G – SWIR (infračervený – červený – zelený – stredný infračervený). Snímky LANDSAT sú v rozlíšení 30 × 30 m, pozostávajú z 3 kanálov v poradí R – IR – SWIR (červený – infračervený – stredný infračervený).

Satelitné snímky SPOT boli dodané spoločnosťou Data Image s.r.o. Bratislava. Satelitné snímky LANDSAT boli získané ako voľne dostupné z web-stránky U.S.G.S. (<http://glovis.usgs.gov/ImgViewer/Java2ImgViewer.html>)

Tabuľka 1. Základné údaje o použitých satelitných snímkach

Senzor	Snímka	Dátum snímania	Úroveň predspracovania	Pokrytý región
SPOT 4	073 – 250	19. 9. 2009	Level 1A SAT 2	Kysuce, Žilina
SPOT 5	074 – 250	4. 10. 2009	Level 1A SAT 0	Orava
SPOT 5	074 – 251	2. 9. 2009	Level 1A SAT 0	Liptov, Horehronie
SPOT 5	078 – 251	19. 9. 2009	Level 1A SAT 1	Spiš
LANDSAT 7 ETM+	187 – 026	12. 7. 2009	Level 1T	Východné Slovensko
LANDSAT 7 ETM+	187 – 026	28. 7. 2009	Level 1T	Východné Slovensko
LANDSAT 7 ETM+	188 – 026	20. 8. 2009	Level 1T	Stredné Slovensko
LANDSAT TM	189 – 026	19. 8. 2009	Level 1T	Západné Slovensko



Obrázok 1. Schéma územia pokrytého satelitnými snímkami v roku 2009 s hranicami LHC

Jednotlivé satelitné snímky SPOT boli ortorektifikované s použitím digitálneho modelu terénu (DMT) s rozlíšením 30 m, ktorý je k dispozícii na NLC Zvolen. Stredná chyba ortorektifikácie snímok (RMS error) sa pohybovala v rozpätí 10 – 15 m. Výstupom boli ortorektifikované snímky v súradnicovom systéme S-JTSK. Snímky LANDSAT sme získali ortorektifikované v systéme UTM. Pre zjednotenie údajov v jednotnej kartografickej báze sme vykonali transformáciu do systému S-JTSK. Ďalším krokom bolo odstránenie údajov nevhodných na spracovanie - predovšetkým prekrytých alebo skreslených oblačnosťou, jej okrajmi, popr. tieňmi, a rôzne hustým oparom. Tieto časti snímok by následne ovplyvňovali vzájomnú kalibráciu i samotnú klasifikáciu snímok. Kvôli kompatibilitate údajov medzi snímkami z rôznych zdrojov sme zo snímok SPOT vypustili „zelený“ kanál (G) a zjednotili poradie ďalej analyzovaných kanálov (R – IR – SWIR).

Pre zjednodušenie klasifikácie sme z pôvodných ortorektifikovaných snímok vytvorili po relatívnej kalibrácii „mozaiku“, ktorá by v prípade dostatočnej homogenity snímok umožnila ďalej pracovať s celým územím naraz. Nevýhodou takto vytvorenej mozaiky je, že hodnoty odraznosti na niektorých snímkach sú aj viackrát prepočítavané, čo môže spôsobiť skreslenie údajov. Výslednú mozaiku v našom prípade bolo možné použiť len na kompozíciu pre potreby vizuálnej interpretácie zmien stavu smrekových porastov medzi rokmi 2008 a 2009, ale nie na klasifikáciu aktuálneho stavu v roku 2009. Tento sme klasifikovali na jednotlivých ortorektifikovaných a predpripravených snímkach s pôvodnou informačnou hodnotou.

## Klasifikácia poškodenia smrekových porastov v roku 2009

Vyhodnotenie zdravotného stavu, resp. poškodenia porastov sme vykonali metódou dvojfázového regresného výberu. Použitý postup vychádza z prác autorov (ŠMELKO 1995). V prvej fáze sme využili jednotlivé satelitné snímky, predovšetkým informácie obsiahnuté v IR a SWIR kanále, na odhad poškodenia porastov. Druhú fázu predstavovali údaje o poškodení drevín (defoliácii) zisťované na vybraných plochách v teréne. Tieto údaje sme použili na transformáciu hodnôt spektrálnej odraznosti, z ktorých následne odvodzujeme mieru poškodenia porastov.

Spektrálne charakteristiky vegetácie zaznamenané snímajúcimi senzormi sú pomerne komplexné, čo je spôsobené vplyvom interakcie žiarenia s bunkovými štruktúrami, chlorofylom a ďalšími pigmentmi. Všeobecne možno konštatovať, že obsah pigmentov súvisí s úrovňou poškodenia. Zdravá a vitálna vegetácia odráža viditeľnú časť spektra v modrej a červenej oblasti iba slabou. 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 listový materiál absorbuje iba malý podiel žiarenia. Táto časť spektra je ovplyvňovaná hrubou štruktúrou špongiovitého mezofylu vo vnútri listov. Silná absorpcia listami v infračervenom žiarení nad 1 300 nm je v dôsledku obsahu vody v pletivách. Na základe stavu pletív a obsahu vody v nich je taktiež možné usudzovať o súvislosti s mierou poškodenia a momentálnej vitality porastov.

Pri terénnych prácach sme použili ako hlavný faktor a základný vizuálny symptóm zdravotného stavu drevín defoliáciu (stratu asimilačných orgánov). Vyjadruje percentuálny podiel chýbajúcich častí asimilačných orgánov z ideálneho stavu asimilačného aparátu, alebo zo vzorového plne olisteného stromu. Strata asimilačných orgánov (SAO) sa hodnotila odhadom v percentách zo zaokrúhlením na 5 %, v zmysle metodiky medzinárodného UN-ECE ICP Forests programu. I keď je zrejmé, že indikátor poškodenia stromov zisťovaný v teréne a hodnota spektrálnej odraznosti zaznamenaná senzormi SPOT a LANDSAT nemajú identickú javovú podstatu, viaceré práce potvrdili medzi nimi úzky vzťah (STOKLASA 1993). Túto súvislosť sme využili pri klasifikácii zdravotného stavu smrekových porastov.

Defoliáciu sme hodnotili na 80 plochách na 15 najbližších úrovňových a nadúrovňových stromoch od stredu plochy. Okolo stredu každej plochy na snímke sme vytvorili zónu (tzv. buffer), pre ktorú sme vypočítali priemernú hodnotu spektrálnej odraznosti pre každý kanál. Túto spektrálnu charakteristiku sme prepojili s údajmi o priemernej defoliácii pre každú plochu, čím sme získali súbor párových hodnôt pre ďalšiu analýzu.

Pomocou lineárnej viacrozmernej regresie medzi údajmi prvej (satelitná snímka) a druhej fázy (terénne zisťovanie) sme odvodili model, pomocou ktorého sme priradili mieru poškodenia porastu pre každý obrazový prvok (pixel) prvej fázy. Vzhľadom na mieru vplyvu oblačnosti a oparu na snímkach sa nám použitie rôznych zvýrazňovacích komponentov (NSC) plošne neosvedčilo, a tak na tvorbu modelov sme použili iba kanály atmosférou čo najmenej ovplyvnené (IR a SWIR, čiže bez viditeľného spektra).

Pre každú snímku bol vytvorený samostatný regresný model vo všeobecnom tvare:

$$SAO = A + B \times IR + C \times SWIR,$$

kde A, B, C – koeficienty, IR a SWIR – hodnoty odraznosti v daných kanáloch.

Správnosť a presnosť klasifikácie je možné posúdiť na základe dosiahnutých parametrov regresnej analýzy (korelačný koeficient, stredná chyba regresnej priamky). Korelačný koeficient pre jednotlivé snímky sa pohyboval v rozmedzí od  $r = 0,79$  po  $r = 0,95$ , čo svedčí o výraznej miere súvislosti medzi prepájanými veličinami. Stredná chyba regresnej priamky bola v rozpätí od 6,8 do 16,0 %. To znamená, že odvodená defoliácia vo výstupnom spojenom zobrazení sa môže v závislosti od konkrétneho územia od skutočnej odlišovať v rozpätí  $\pm 6,8\%$  až  $16,0\%$  pri 68 % spoľahlivosti, a  $\pm 13,6\%$  až  $32,0\%$  pri 95 % spoľahlivosti.

V ďalšom kroku sme obrazové prvky zaradili do jednej z 11-tich tried defoliácie (tab. 2) podľa veľkosti defoliácie.

**Tabuľka 2.** Zaradenie obrazových prvkov do tried defoliácie (sumárne výsledky klasifikácie)

Trieda defoliácie	Strata asimilačných orgánov	% pixelov zaradených do triedy (plocha v tis. ha)	Opis poškodenia stromov v pixeli
1	0 – 10 %	12,5 (75,86)	Zdravé stromy
2	10 – 20 %	13,9 (84,30)	Slabo poškodené stromy
3	20 – 30 %	23,2 (140,64)	
4	30 – 40 %	22,4 (135,83)	Stredne poškodené stromy
5	40 – 50 %	12,9 (78,00)	
6	50 – 60 %	6,0 (36,33)	
7	60 – 70 %	3,3 (19,87)	Silne poškodené stromy
8	70 – 80 %	1,9 (11,72)	
9	80 – 90 %	1,2 (7,41)	
10	90 – 100 %	1,7 (10,28)	Odumierajúce a mŕtve stromy
11	-	0,9 (5,61)	Holíny po ťažbe
Spolu		100,0 (605,84)	

Výsledný výstup teda zobrazuje stratu asimilačných orgánov v rámci 11-tich tried na obrazových prvkoch (pixeloch), ktoré sa nachádzajú v porastoch so zastúpením smreka aspoň 25 %, aspoň na jednej z dostupných družicových snímok boli viditeľné bez výrazného vplyvu oblačnosti, vyhovujú kritériu smrekového, resp. ihličnatého porastu (maska ihličnatých porastov) a zároveň neboli už minulý rok vyhodnotené ako vyťažené časti porastov.



**Obrázok 2.** Ukážka mapového výstupu klasifikácie poškodenia smrekových porastov s vloženou organizačnou mapou. Intenzita poškodenia stúpa so stupňom sivej farby (viď tab. 2). Tmavosivá farba zodpovedá odumierajúcim a odumretým porastom a ploche, kde sa v roku 2009 realizovala ťažba

## Vizuálna interpretácia zmien stavu porastov medzi rokmi 2008 a 2009

Pre vizuálnu interpretáciu zmien v poškodení lesných porastov sme vytvorili kompozíciu satelitných snímok z rokov 2008 a 2009, k čomu sme využili mozaiky snímok z oboch rokov. Pritom

bolo potrebné zvýrazniť lokality, na ktorých došlo v danom období k silnému poškodeniu alebo odstráneniu porastov. Pri výbere kanálov sme vychádzali z predchádzajúcich prác (BUCHA, STIBIG 2008), kde sú uvedené spektrálne charakteristiky ihličnatých (smrekových) porastov a odlesnených plôch. Pre danú klasifikáciu sme ako optimálnu použili kompozíciu kanálov satelitných snímok pri RGB zobrazení v poradí **infračervený (2009) – infračervený (2008) – červený (2008)**.

Pri tejto kombinácii kanálov sú v odtieňoch červenej farby zobrazené zmeny z dôvodu prevažne náhodnej ťažby porastov medzi rokmi 2008 a 2009. Hrdzavočervenou (tehlovou) farbou sa zobrazujú plochy lesa, v ktorých došlo k výraznému zhoršeniu zdravotného stavu až odumretiu stromov počas porovnávaneho obdobia. Smrekový (ihličnatý) les, v ktorom nedošlo k podstatnejším zmenám stavu, sa zobrazuje v odtieňoch tmavofialovej, tmavomodrej až tmavohnedej farby, listnatý v odtieňoch svetlozelenej a zelenotyrkysovej farby.

## Záver a odporúčania

Zo záujmového územia bolo k dispozícii 8 snímok, z toho 4 snímky zo satelitu SPOT a 4 zo satelitu LANDSAT. Kvalita snímok v roku 2009, kvôli nepriaznivým meteorologickým podmienkam v čase požiadavky na snímkovanie, bola veľmi rôznorodá. Táto okolnosť sa prejavila ako v obtiažnosti ich spracovania, tak aj v čiastočnej nehomogenite výstupu (územie je „poskladané“ zo snímok s rôznym rozlíšením a viacerými dátumami snímkovania). Toto je taktiež dôležité mať na zreteli pri využívaní a interpretácii výstupov. V územiach, ktoré sú pokryté alebo ovplyvnené oblačnosťou dochádza ku kontaminácii žiarenia odrazeného od vegetácie, čo sa pri klasifikácii prejavuje spravidla ako nadhodnotenie poškodenia. Z tohto dôvodu bolo nutné identifikované plochy s takýmto ovplyvnením z hodnotenia vylúčiť.

Do budúcnosti odporúčame klásť veľký dôraz na výber vstupného materiálu – hodnotnejšia je snímka s minimálnymi atmosférickými vplyvmi, hoci aj s mierne horším rozlíšením (do istej hranice, primerane veľkosti najmenších vyhodnocovaných prvkov), ako naopak.

Defoliácia je určená s chybou v rozpätí  $\pm 6,8$  až  $16,0$  %, t. j. v závislosti od použitej snímky a regresného modelu sa defoliácia určená pre jednotlivý obrazový prvok môže pohybovať v rozpätí  $\pm 6,8$  až  $16,0$  % pri 68 % spoľahlivosti, a v rozpätí  $\pm 13,6$  až  $32,0$  pri 95 % spoľahlivosti.

Pri klasifikácii zdravotného stavu ihličnatých porastov zo satelitných snímok má na výsledok klasifikácie väčší vplyv parameter množstvo ihličia ako jeho kvalita (obsah vody, kvalita transpirácie). Pri listnatých porastoch okrem množstva lístia výrazne ovplyvňujú kvantifikáciu poškodenia aj stanovištné podmienky (predovšetkým vodný režim, vysychavosť lokality) a fenologická fáza, v ktorej sa listnatý porast nachádza (STOKLASA 1993). Z toho dôvodu je dynamika zmien zdravotného stavu listnatých porastov vyššia ako pri ihličnatých porastoch, a môže sa výrazne meniť aj v rámci jedného ročného obdobia – listnaté dreviny primiešané v ihličnatých porastoch môžu mať vplyv na klasifikáciu ich poškodenia.

Pre vizuálne overenie výsledkov klasifikácie sme využili údaje o defoliácii na TMP s prevažujúcim zastúpením smreka, a ďalšie údaje o defoliácii, ktoré boli v danom roku k dispozícii. Išlo hlavne o údaje získané počas samotných terénnych zisťovaní, a počas terénnych zisťovaní pracovníkov odboru KZSL a od ostatných kolegov zo spomenutého odboru.

Na základe vizuálnej kontroly a kontrolných konzultácií vyvodzujeme všeobecný záver o dobrej zhode klasifikácie poškodenia a rozpadu smrekových porastov s realitou. Zároveň očakávame postrehy a upozornenia, predovšetkým na nezrovnalosti a nedostatky, aj od všetkých subjektov, ktorým môže byť náš výsledný výstup nápomocný.

Výsledná mapa klasifikácie poškodenia smrekových porastov v roku 2009 a mapa zmien stavu porastov medzi rokmi 2008 a 2009 je zverejnená prostredníctvom webovej aplikácie NLC <http://www.nlcsk.org/stales/>.

## Podakovanie

Výsledky prezentované v tomto príspevku vznikli v rámci riešenia úlohy, ktorá bola súčasťou Dodatku č. 3 ku Kontraktu č. 608/2009–710 uzavretého medzi MP SR a NLC Zvolen.

## Použitá a citovaná literatúra

- BUCHA T., 2008: Spracovanie satelitných snímok SPOT a ASTER a klasifikácia zdravotného stavu smrekových porastov v roku 2008, Technická správa. Zvolen, NLC, november 2008, 16 s.
- , STIBIG H.-J., 2008: Analysis of MODIS imagery for detection of clear cuts in the boreal forest in north-west Russia. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 112/5, pp. 2 416–2 429.
- 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. Zvolen, NLC, december 2007, 11 s.
- STOKLASA M., 1993: Mapy zdravotního stavu lesů z kosmických snímků LANDSAT TM. *In* Zborník z medzinárodného sympózia „Aplikácia diaľkového prieskumu Zeme v lesníctve“. 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.
- ŽIHLAVNÍK Š. & SCHEER L., 1998: Diaľkový prieskum Zeme v lesníctve. Zvolen, Lesnícka fakulta TU Zvolen – skriptá, 164 s.

Ing. Marek GARČAR  
Ing. Zuzana FEIKOVÁ  
Ing. Michal VYŠINSKÝ

Národné lesnícke centrum - Ústav pre hospodársku úpravu lesov  
Bôrická 107  
SK – 912 10 Žilina  
e-mail: garcar@nlcsk.org; feikova@nlcsk.org; mvysinsky@nlcsk.org

Dr. Ing. Tomáš BUCHA

Národné lesnícke centrum - Lesnícky výskumný ústav Zvolen  
T. G. Masaryka 22  
SK – 960 92 Zvolen  
e-mail: bucha@nlcsk.org