

Využitie satelitných snímok pri vyhodnotení stavu a vývoja smrekových porastov na Slovensku

T. Bucha: Use of Satellite Imageries in Evaluation of State and Development of Spruce Stands in Slovakia. Život. Prostr., Vol. 43, No. 4, p. 230 – 234, 2009.

The paper deals with an assessment of spruce decline using satellite imagery from SPOT, LANDSAT and ASTER. Their spatial resolution from 10 m to 30 m enables mapping at scale of 1 : 25 000 which is required for operational forestry. Regarding the radiometric properties, damage is better distinguishable if middle infrared band is disposable (fig. 1). Almost all area of present spruce occurrence was covered by images and classified. Two-phase regression sampling method was applied to analyse the relationship between spectral signatures derived from satellite data and defoliation. The empirical material consisted of 35 spruce stands where defoliation of trees was evaluated. The strong correlation coefficient $r = 0.89$ was found, however the standard error of the regression line is quite high $s_{yx} = \pm 15.1\%$. It means that defoliation predicted per pixel may vary in this range with 68 % confidence probability.

The digital classification of the actual images shows that 7.1 % of spruce forest was classified as heavily damaged or dying in 2008. The portion is even higher in small-scale protected areas, where it is 11.4 % (table 1). The output was processed in a form of thematic maps at scale 1 : 25 000 for each forest district (fig. 2).

A gradual increase of calamitous areas has been observed. Change analyses was carried out by visual interpretation of satellite image compositions, created by merging two images from the years 1979 – 1990, 1990 – 2002, 2002 – 2007 and 2007 – 2008. The results confirm that spruce is endangered in all area of its occurrence. The Government of the Slovak Republic dealt with worsening situations of spruce forest. The accepted measures are shortly described.

Zhoršujúci sa stav smrekových porastov je hlavným lesníckym problémom v posledných rokoch. Situácia sa zdramatizovala najmä po veternej kalamiťe v novembri 2004, keď sa vytvorili vhodné podmienky na gradáciu podkôrneho hmyzu. Problém prerástol do doposiaľ nepoznaných rozmerov, keď vo viacerých regiónoch dochádza k postupnému plošnému rozpadu smrekových porastov s negatívnymi dôsledkami na ekologickú stabilitu krajiny a vážnymi sociálno-ekonomickými problémami. Kulla a kol. (2003) určili podľa príčin a charakteristických znakov poškodenia tri typy odumierania, a to typ deštruktívny, fyziologický a biotický. Aj keď

sa jednotlivé typy navzájom prelínajú, jednotlivé regióny sa líšia dominantným typom odumierania. Na Kysuciach a Orave prevláda typ biotický v kombinácii s deštruktívnym. V centrálnych Karpatoch je najvýznamnejší deštruktívny typ, na Spiši a v Slovenskom rudohorí ide o kombináciu všetkých troch typov odumierania.

Nepriaznivou situáciou hynutia smrečín sa zaoberala aj vláda Slovenskej republiky. Vo svojom uznesení č. 990 z 21. novembra 2007 uložila Ministerstvu pôdohospodárstva SR v r. 2008 – 2013 zabezpečiť realizáciu opatrení na zabránenie zhoršovania zdravotného stavu lesných porastov. Jednou z úloh, ktorá vyplý-

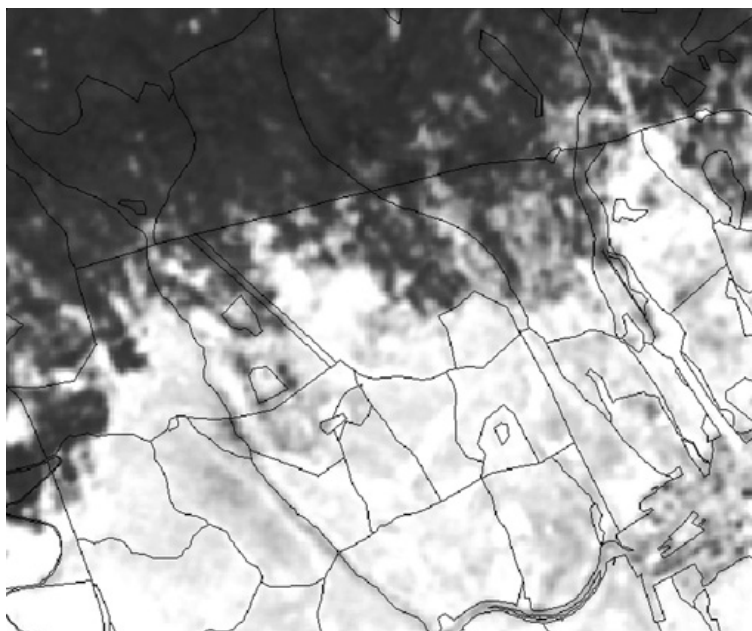
nula z uznesenia vlády, bolo prostredníctvom metód diaľkového prieskumu Zeme (DPZ) vyhodnotiť aktuálny stav smrekových porastov podľa stupňov ich poškodenia, pravidelne monitorovať ich vývoj a podľa získaných poznatkov lokalizovať realizáciu navrhnutých opatrení. Lesy SR, š. p., a Národné lesnícke centrum Zvolen (NLC) v r. 2007 a 2008 riešili uvedenú problematiku pomocou satelitných snímok SPOT a ASTER. Na účely grafickej dokumentácie kalamičných situácií a podchytenia dynamiky vývoja kalamičných plôch sme okrem aktuálnych snímok SPOT a ASTER využili aj archívne satelitné snímky LANDSAT z r. 1979, 1990 a 2002. Záujmové územia predstavujú lesné porasty so zastúpením smreka nad 25 %.

Kvalita väčšiny snímok bola veľmi dobrá, časti snímok ovplyvnené oblačnosťou sme vylúčili z klasifikácie. Priestorové rozlíšenie snímok SPOT je 10 x 10 m, snímok ASTER 15 x 15 m, snímok LANDSAT TM 30 x 30 m a LANDSAT MSS 80 x 80 m. Všetky satelitné snímky boli ortorektifikované v súradnicovom systéme JTSK a po relatívnej kalibrácii spojené pre daný rok do jednej mozaiky.

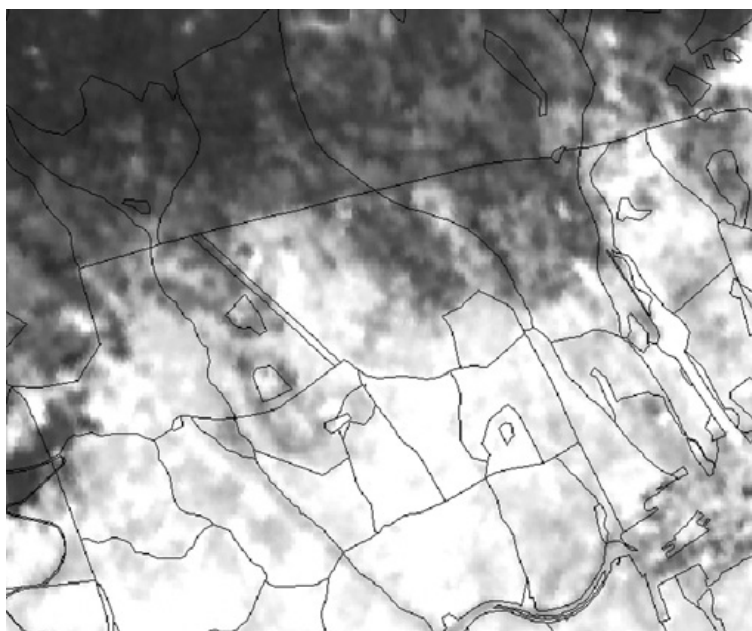
Vyhodnotenie aktuálneho stavu smrekových porastov v r. 2008

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

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 slabô. 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



Obr. 1. Porasty medzi Velickou dolinou (západný okraj) a Starým Smokovcom (juhovýchodný okraj) vo Vysokých Tatrách. Stredný infračervený kanál snímok SPOT s vloženými hranicami porastov. Hore: stav k 23. 9. 2007; dole: stav k 13. 9. 2008. Bielo až svetlosivo sa zobrazujú spracované kalamičné plochy po vetrovej kalamite. Sivo sa zobrazujú podkôrnym hmyzom silne poškodené a odumierajúce porasty. Tmavosivo až čierne sa zobrazujú zdravé a len slabô poškodené smrekové porasty a kosodrevina. Na snímke z r. 2008 je nad Starým Smokovcom zjavný nárast plochy lesa zobrazenej v sivej farbe. Ide o odumreté a hynúce smrekové porasty v dôsledku gradácie podkôrneho hmyzu, ktoré sa zastavilo až na kosodrevine. Veľkosť výrezu: ~ 2,8 x 2,3 km. Zdroj: CNES 2007 – 2008/SPOT Image



listov, preto sa vo viditeľnej časti spektra maximálna odrazivosť presúva zo zeleného pásma do červeného. 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 absorpcia žiarenia, spôsobená obsahom vody v pletivách. Na základe stavu pletív a obsahu vody v nich preto možno usudzovať o úrovni poškodenia a momentálnej vitalite porastov.

Pri terénnych zisteniach sme použili defoliáciu, čiže stratu asimilačných orgánov ako hlavný indikátor a základný vizuálny symptóm zdravotného stavu drevín. Vyjadruje množstvo chýbajúcich častí asimilačných orgánov k vzorovému, plne olistenému stromu. Vzťah medzi stratou asimilačných orgánov a spektrálnou odrazivosťou lesných porastov dokumentuje obr. 1, kde sú zobrazené ukážky satelitných snímok SPOT z r. 2007 a 2008 s rôznou intenzitou poškodených porastov nad Starým Smokovcom v Tatranskom národnom parku.

Hodnotenie straty asimilačných orgánov sme vykonali na 35 vybraných plochách v teréne. Získané údaje za plochu sme prepojili s hodnotou ich spektrálnej odrazivosti na satelitnej snímke. Získali sme tak súbor párových hodnôt defoliácia – spektrálna odrazivosť. Z nich sme pomocou lineárnej regresnej analýzy odvodili regresný model, podľa ktorého sme odhadli poškodenie porastu pre každý obrazový prvok (pixel) satelitnej snímky. Na správnosť a presnosť klasifikácie poukazuje korelačný koeficient a 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 $\pm 15\%$ pri 68% spoľahlivosti.

Defoliáciu sme podľa regresného modelu vypočítali pre každý obrazový prvok satelitného záznamu, klasifikovaný ako ihličnatý les, ktorý sa nachádzal v poraste s väčším zastúpením smreka 25% a viac. Výsledné hodnoty sme podľa % defoliácie zaradili do defoličných tried (tab. 1).

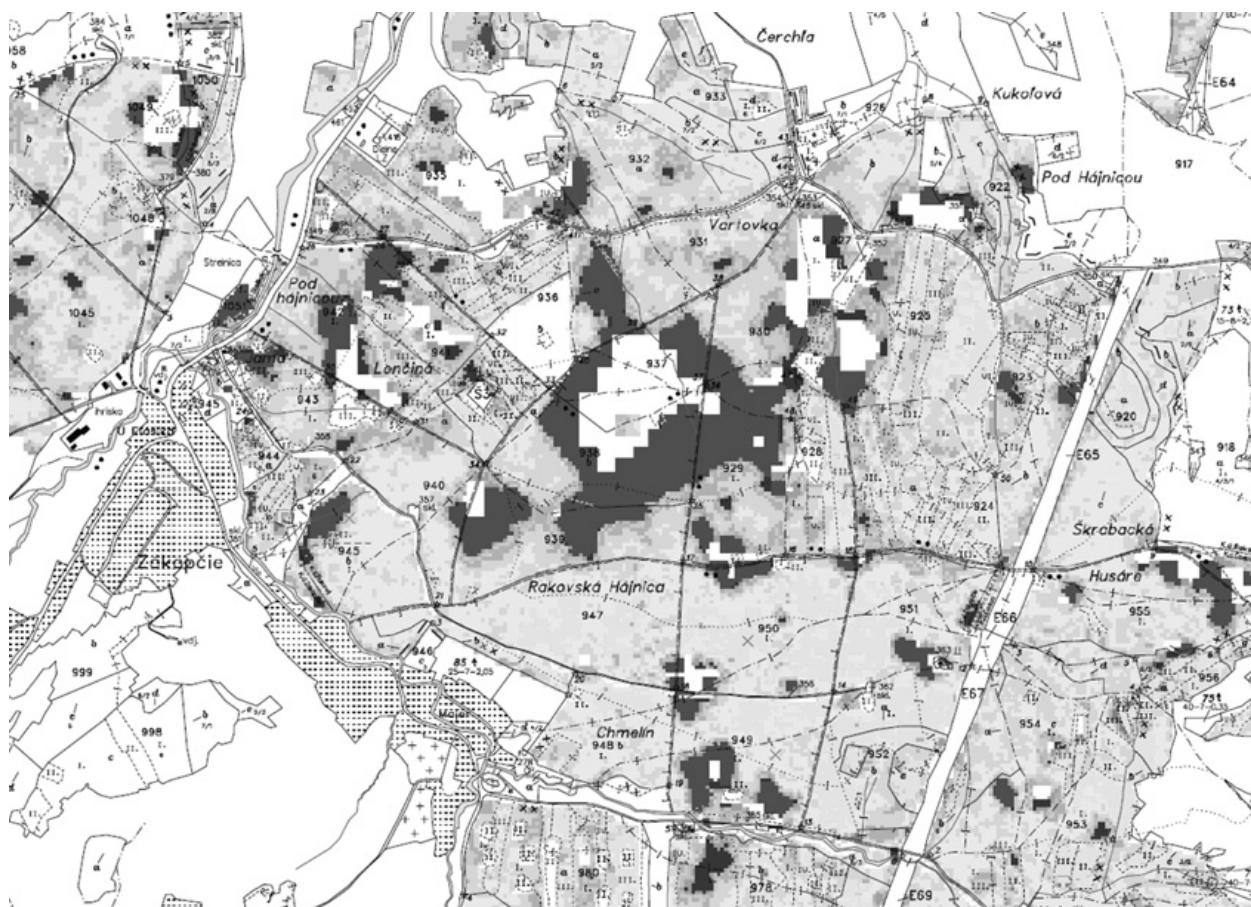
Klasifikácia stavu smrekových porastov v r. 2008 preukázala pretrvávajúcu nepriaznivú situáciu. Plošný rozpad, najmä v dôsledku premnoženia podkôrneho hmyzu a veterných kalamít pokračoval v podstate v celom areáli ich výskytu. Najintenzívnejší rozpad sa pozoroval v strednej a východnej časti Kysúc, na severe Oravy, vo Vysokých a Belianskych Tatrách, v severovýchodnej a juhovýchodnej časti Nízkyh 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 vyhodnotenej výmery smrekových porastov, čo predstavuje 4,8 tisíc ha. Vysoký je aj podiel porastov so silne poškodenými stromami s defoliáciou 60% – 90%. Plocha takto poškodených porastov je 24,4 tisíc ha, čo predstavuje 5,9% výmery smrekových porastov.

Aktuálny stav smrekových porastov vo 4. a v 5. stupni ochrany

V súvislosti s hynutím smrekových porastov vystúpila do popredia otázka ich stavu a zachovania v chránených územiach, predovšetkým vo 4. a v 5. stupni ochrany. Základnú informáciu o smrečinách nachádzajúcich sa v chránených územiach sme odvodili prekrytím výsledkov klasifikácie stavu smrekových porastov s hranicami chránených území (tab. 1).

Tab. 1. Vyhodnotenie stavu smrekových porastov v r. 2008 na základe defoliácie

Defoličná trieda [%]	Smrekové porasty spolu, z toho vo 4. a v 5. stupni ochrany prírody				Opis poškodenia porastov
	[tis. ha]	[%]	[tis. ha]	[%]	
0 – 10	18,5	4,4	0,38	1,4	zdravé a slabpoškodené 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 silno 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	silno 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	odhad ťažby v období 2007 – 2008 a nespracovaná kalamita
SPOLU	416,2	100	27,41	100	



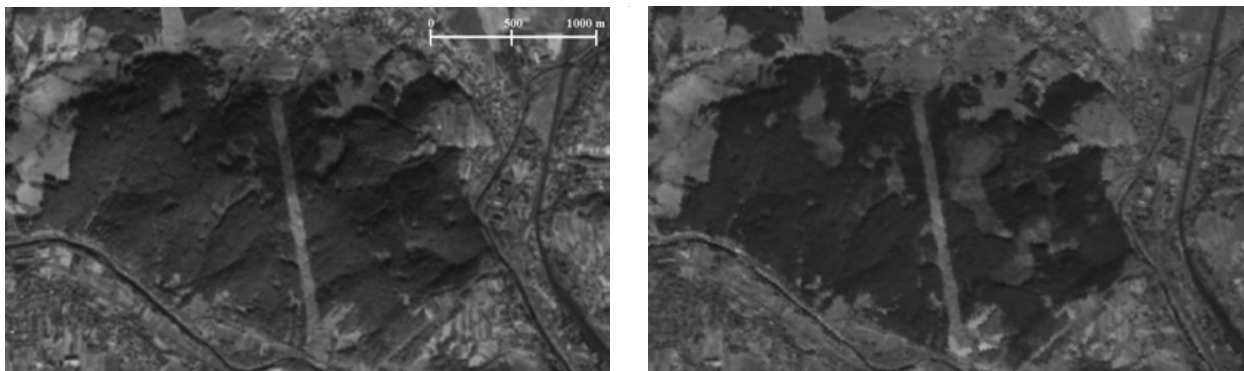
Obr. 2. Poškodenie smrekových porastov s vloženou porastovou situáciou. Ukážka je z lesného hospodárskeho celku Čadca, z porastov v správe Lesov SR, š. p. V tmavosivých odtieňoch je zobrazená kalamitná ťažba, odumierajúce a silno poškodené porasty, v odtieňoch svetlosivej farby sú zobrazené zdravé, slabé až stredne poškodené lesné porasty.

Celková vyhodnotená výmera chránených území so smrečninami je 27 410 ha, čo predstavuje 6,6 % z celkovej výmery smrečín. Z tab. 1 vyplýva, že s rastúcou mierou poškodenia, vyjadreného defoliáciou, rastie aj plošný podiel poškodenia smrečín v chránených územiach z celkovej výmery smrečín v danom stupni poškodenia. Zjavný je vyšší podiel silne poškodených smrečín s defoliáciou nad 60 % a odumierajúcich porastov v chránených územiach (11,4 %). Do istej miery je vyšší podiel poškodených porastov prirodzený, vzhľadom na to, že v chránených vo 4. a v 5. stupni ochrany sa hospodárske opatrenia nerealizujú, resp. len v obmedzenej miere na základe udelenej výnimky zo zákona č. 543/2002 Z. z. o ochrane prírody. Podrobnejšia analýza príčin zhoršeného stavu lesov v chránených územiach presahuje rámec tohto príspevku. Výsledky uvádzame ako kvantitatívny ukazovateľ využiteľný pri rozhodovaní

o procesoch o spôsobe ochrany a manažmente lesov v chránených územiach.

Dokumentácia časovej a priestorovej dynamiky hynutia smrekových porastov

Na dokumentáciu vzniku a vývoja kalamitných situácií sme využili jednoduché metódy opisu a porovnávania satelitných snímok. Z časového hľadiska sme vymedzili 4 obdobia: referenčné obdobie (1979 – 1990), druhé obdobie je vymedzené r. 1990 – 2002 a posledný vývoj je vyhodnotený zo satelitných snímok (2002 – 2007) a (2007 – 2008). Na účely vizuálnej interpretácie zmien stavu smrekových porastov sme vytvorili kompozície satelitných snímok z uvedených období a to tak, aby sa zvýraznili lokality, kde došlo v uvedenom období k silnému poškodeniu, rozpadu alebo odlesneniu spôsobenému ťažbou. Hynutie



Obr. 3. Výrezy z blízkeho infračerveného kanála satelitných snímok SPOT z r. 2007 – 2008 z oblasti severozápadne od Čadce. Vľavo stav z r. 2007, vpravo stav z r. 2008, kde vidno prírastok nových holín po náhodnej ťažbe odumierajúcich smrekových porastov. Kľúčovú úlohu pri ich odumieraní zohrávajú biotickí škodcovia, najmä podkôrnny hmyz. Zdroj: CNES 2007 – 2008/SPOT Image

a rozpad smrečín sme vyhodnotili podľa jednotlivých okresov, obdobie 2007 – 2008 podľa lesných hospodárskych celkov, pre ktoré sme pripravili mapové výstupy v mierke 1 : 25 000. Z časovej analýzy vyplýva, že plošný rozpad smrečín nastal už v 80. rokoch, a to v oblasti Spiša. Postupne sa zhoršoval ich zdravotný stav a koncom 90. rokov po veterných kalamitách došlo k rozsiahlejšiemu rozpadu smrekových porastov aj v oblasti Kysúc. Po veternej kalamite v r. 2004 a premnožení podkôrneho hmyzu nastalo plošné odumieranie smrekových porastov v takmer celom areáli ich súčasného výskytu. Na obr. 3 dokumentujeme prírastok nových holín po náhodných ťažbách v smrekových porastoch pri Čadci v období 2007 – 2008. Podrobnejšie sa možno oboznámiť s dokumentáciou o postupe hynutia smrekových porastov z údajov DPZ po jednotlivých okresoch na webovej stránke NLC Zvolen (Hlásny a kol., 2008). Pripravili sme aj webovú aplikáciu. Okrem vyhodnotených zmien v stave smrečín v období r. 2007 – 2008 možno využiť publikované satelitné snímky LANDSAT na vizuálnu interpretáciu aktuálneho stavu lesa (<http://www.nlcsk.org/stales>).

V príspevku sme prezentovali DPZ ako nástroj, metódu i zdroj údajov, ktorý prispieva do mozaiky riešených úloh súvisiacich s plošným hynutím smrekových porastov. Objektívne príčiny nepriaznivého stavu a vývoja smrečín vyplývajú zo zmenených existenčných podmienok lesných ekosystémov, najmä v dôsledku dlhodobého imisného zaťaženia a klimatickej zmeny. Ide jednak o oslabenie lesných ekosystémov a zníženie ich odolnosti, ako aj o zvýšenie agresivity škodlivých činiteľov. Túto situáciu nemožno podstatnejšie ovplyvniť, či zmeniť. Ako nevyhnutná a dlhodobá úloha sa javí dôsledná orientácia na prírode blízke lesníctvo a rekonštrukcie nepôvodných lesných spoločenstiev ohrozených zmenou prírodných podmienok (najmä

oteplovaním klímy a rastom rizika sucha) na ekologicky stabilnejšie ekosystémy (Hlásny a kol., 2008). Príčiny subjektívneho charakteru súvisia s konkrétnou lesníckou činnosťou, teda s tým, či sa dostatočne reaguje na novú situáciu a či sa využívajú všetky možnosti, ktorými možno nepriaznivý vývoj do istej miery zmeniť, resp. zmierniť. Zabezpečenie ochrany lesných porastov proti pôsobeniu škodlivých činiteľov je v tejto situácii najzávažnejšou úlohou lesníctva na Slovensku (Konôpka, 2007).

Výsledky prezentované v príspevku vznikli v rámci riešenia zmluvy o dielo č. 485/NLC/2008 medzi Lesmi SR, š. p., Banská Bystrica a Národným lesníckym centrom Zoolen.

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.: 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.
http://www.nlcsk.sk/nlc_sk/ustavy/lvu/vyskum/oeble/sluzby/prognozy_vyvoja_hynutia_smrecin_a_navrh_opatreni.aspx
- Konôpka, J., Konôpka, B.: Vývoj náhodnej ťažby dreva na Slovensku a jej prognóza pre vietor, sneh a námrazu. *Forestry Journal*, 53, 2007, 4, s. 273 – 291.
- Kulla, L., Jakuš, R., Turčáni, M.: Metodický postup Lesoprojektu pre mapovanie výskytu syndrómu „nešpecifického odumierania smrečín“. Zvolen : Lesoprojekt, 2003.

Dr. Ing. Tomáš Bucha, Národné lesnícke centrum, T. G. Masaryka 22, 960 92 Zvolen, bucha@nlcsk.org