

Využití dálkového průzkumu Země pro monitoring lesů na Šumavě

M. Hais: Use of Remote Sensing for Forest Monitoring in the Šumava Mts. *Život. Prostr.*, Vol. 43, No. 4, p. 216 – 219, 2009.

The forest disturbances represent an important factor, which significantly influences the character of forest ecosystem. The aim of this study was to assess the spectral response of two types of forest disturbance using both thermal and optical remote sensing in the central part of Šumava National Park. The first disturbance type includes the stands affected by bark beetle (*Ips typographus*) outbreak during the last 20 years. The clear cut areas represent the second type of disturbance. When assessing spectral response of deforested areas using spectral indices it turned out, that clear cut areas show more significant change compared to the values of original living forest than decayed forest. Moreover, the change dynamic of clear cut areas and decayed forest is quite different: while the change was gradual in the case of decayed forests, the change was sudden in the case of clear cut areas. It is likely caused by the fact, that the original herbal vegetation is partly removed or destroyed in the case of clear cut areas. The results of assessment of temperature changes as a consequence of deforestation show, that temperature increased during summer days with radiation weather on the both clear cut and decayed forest areas. When comparing both types of deforestation, clear cut areas show significant higher increase of temperatures than decayed forests.

Problém lýkožrouta smrkového na Šumavě

Přemnožení lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*) na Šumavě během posledních 20 let vyvolalo řadu otázek týkajících se ochrany přírody a managementu lesa. Za původ recentního přemnožení lýkožrouta smrkového na Šumavě lze považovat r. 1983 a 1984, ve kterých došlo vlivem vichřic v Národním parku (NP) Bavorský les v Německu k polomům o rozloze 173 ha (Heurich et al., 2001; Skuhřavý, 2002). Nezpracované ležící kmeny v NP Bavorský les poskytly dobré podmínky pro vývoj lýkožroutů, které pak v r. 1986 napadli i živé stromy. K akceleraci rozpadu smrčín vlivem lýkožrouta došlo v r. 1995, kdy plocha rozpadlých smrčín v NP Bavorský les v jednom roce poprvé přesáhla 200 ha a výsledný úbytek činil 367 ha. V letech 1997 – 2000 se pohybovaly roční ztráty lesních porostů vlivem lýkožrouta v rozsahu 400 – 600 ha. V r. 2001 bylo zpracováním leteckých snímků zjištěno pouze 55 ha nových rozpadlých smrčín (Heurich et al., 2001). Na české straně lze považovat za začátek rozpadu horských smrčín rok 1992, kdy byly na leteckých snímcích v oblasti mezi Špičnickem, Blatným vrchem směrem k Roklanu identifikovány jednotlivé napadené

stromy a ve 12 případech i větší 15 – 20 stromů) ohniska (Skuhřavý, 2002). V r. 1995 byla Správou NP Šumava vyhlášena a v r. 1997 rozšířena bezzásahová zóna na jih od silnice mezi Roklanskou hájenkou a Březníkem o celkové rozloze 1 450 ha (obr. 1). Maxima napadení bylo dosaženo r. 1996, kdy se rozšířilo na 80% celkové plochy. V druhé polovině 90. let přistoupila správa NP Šumava k opatření holosečné těžby v okolí bezzásahového pásma s cílem zabránit dalšímu šíření lýkožrouta. Obnova lesů zahrnuje přirozenou regeneraci v rozpadlých smrčínách i umělou výsadbu dřevin v oblastech zásahového managementu NP Šumava i Bavorský les. Ze srovnání Jonášové a Pracha (2004) v NP Šumava vyplývá, že vývoj počtů semenáčků (přirozeného zmlazení) v rozpadlých smrčínách je vyšší než na holých sečích.

Oblast největšího plošného rozpadu horských smrčín na Šumavě v okolí Březníku s přesahem do Německa směrem k Luznému a Roklanu představuje zájmové území této studie (2 020 ha). Toto území bylo vymezeno maximálním rozsahem napadení smrčín v r. 2002. Do zájmového území dále patří pásmo holých sečí (320 ha) obklopující rozpadlé smrčiny. Jejich vymezení opět odpovídá maximálnímu rozsahu v r. 2002.

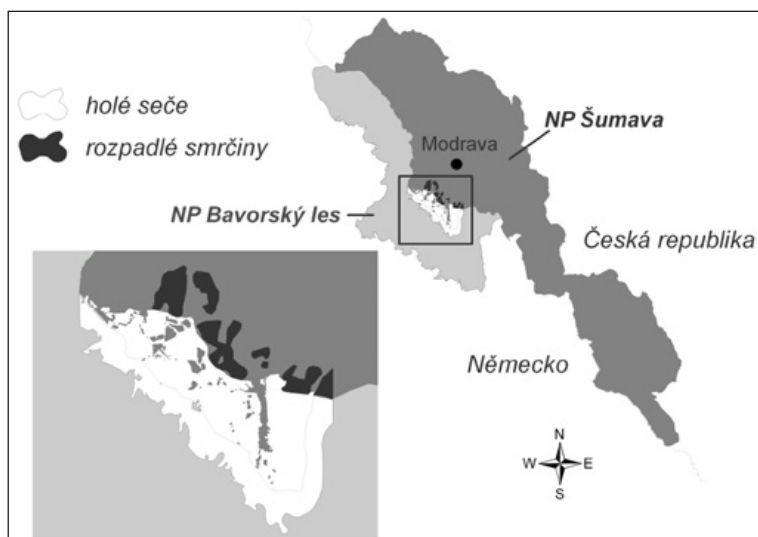
Dálkový průzkum Země a výzkum lesa

Další cenné poznatky týkající se výzkumu lesa může přinést Dálkový průzkum Země (DPZ). DPZ znamená v širším pojetí soubor metod, které umožňují zkoumat daný objekt bez přímého kontaktu (Jensen, 2000). V užším slova smyslu je DPZ považován za pořizování dat pomocí letadel, balónů a družicových systémů a jejich následné zpracování a interpretace (Dobrovolný, 1998).

Přestože je DPZ dnes již nezbytnou součástí celé řady oborů, ve výzkumu lesa má významné postavení zejména v zemích s velkými plochami lesních porostů. Důvodem unikátnosti DPZ pro výzkum lesa je možnost pořizování datového záznamu pro rozsáhlé plochy od desítek po milióny km². V souvislosti s velikostí snímaného území se uplatňuje i prostorové rozlišení pořizovaných dat, které určuje i velikost identifikovatelných objektů. V případě lesa je to úroveň od jedince (strom), přes porost až po rozsáhlé lesní celky typu biomů (např. pás boreálního lesa). Kromě výhody velkoplošného snímání dat je pro výzkum lesa též výhodný systematický datový záznam, což v praxi znamená pořizování dat v pravidelném časovém intervalu (např. u družice LANDSAT TM 5 je to 16 dní) bez ohledu na zakázky uživatelů. To umožňuje srovnání předchozího stavu na lokalitách, kde došlo k nepredikovatelným změnám.

Ke snímání lesa dochází z určité výšky nad porostem (u letadel několik set metrů, u družic několika set až tisíc km). To může být na jedné straně výhodou, lze takto získávat data spektrálního projevu korunového patra. Na druhé straně je to limitujícím faktorem, například při určité míře zapojenosti korun nelze získávat plnohodnotnou spektrální informaci o bylinném patru apod.

První studie lesních porostů pomocí DPZ připadají na třicátá léta dvacátého století a byly založeny na zpracování leteckých snímků. Tyto úlohy byly často spojeny s mapováním celého krajinného krytu a v případě lesů se jednalo o stanovení ploch lesních porostů, pasek, případně následků škod po vichřicích apod. K těmto účelům se letecké snímání používá dodnes. Kromě kvantitativních ukazatelů se brzy začalo využívat i přesné vymezených spektrálních pásem pro hodnocení kvalitativních změn, jako je například identifikace porostů se sníženým zdravotním stavem lesa v blízkém infračerveném spektru. Vývoj nových technologií družicového snímání se v posledních desetiletích projevuje v celé škále řešených problémů. Pro odhady biomasy lesních porostů se tak využívá laserového skenování (LIDAR). Pro určení rizik požárů se využívá termálních



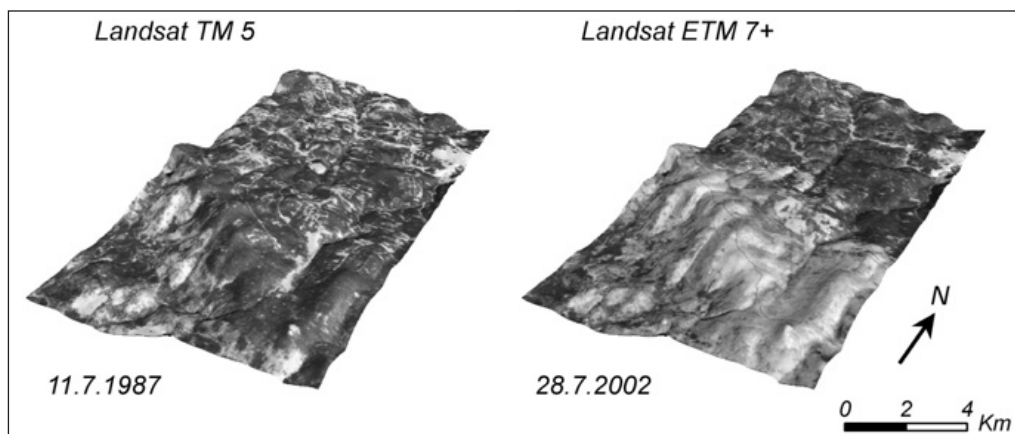
Obr. 1. Zájmové území se zobrazením rozpadlé smrčiny vlivem lýkožrouta a holých sečí.

dat. K hodnocení zdravotního stavu lesa na úrovni jednotlivých stromů jsou využívána hyperspektrální data (data s vysokým počtem spektrálních pásem o krátké vlnové délce).

Družicová data a jejich předzpracování

Pro účely této studie byly hlavním datovým vstupem scény systému LANDSAT TM 5 a ETM+7. Družicový systém LANDSAT je velmi výhodný pro hodnocení časových změn, protože první družice byla uvedena do provozu již v r. 1972 pod názvem ERTS 1 (dodatečně pojmenována jako LANDSAT 1). Dnes plnohodnotná data pořizuje už jen družice LANDSAT TM 5, která je v provozu od r. 1984 (Jensen, 2000). LANDSAT TM 5 je multispektrální družicí, která snímá kromě viditelného pásma též v oblasti blízkého, středního a vzdáleného (termálního) infračerveného spektra. Prostorové rozlišení je 30 m s výjimkou termálního pásma, které je 120 m. Novější typ LANDSAT ETM+7 poskytuje data díky technické závadě od r. 2003 pouze v omezené kvalitě. Vypuštění nového LANDSATu pod názvem LDCM (*Landsat Data Continuity Mission*) je plánováno na r. 2011.

Scény družice LANDSAT použité v této studii byly nejprve zbaveny nežádoucích vlivů atmosféry (např. vysoká oblačnost o malé mocnosti) prostřednictvím atmosférických korekcí. Pro tyto účely byl využit modul ATCOR. Dále byly provedeny geometrické korekce, tj. rektifikace družicových dat do souřadnicového systému S-JTSK podle vzorové scény, kterou tvořila Družicová mapa ČR. Na obr. 2 je ukázka zájmového území na



Obr. 2. Černobílá kompozice výřezu scén pořízených družicemi LANDSAT TM 5 a LANDSAT ETM+ 7. Mezi r. 1987 – 2002 je patrný rozpad horské smrčiny a tvorba holých sečí.

výřezu družicových scén LANDSAT TM 5 a ETM+ 7 z let 1987 a 2002.

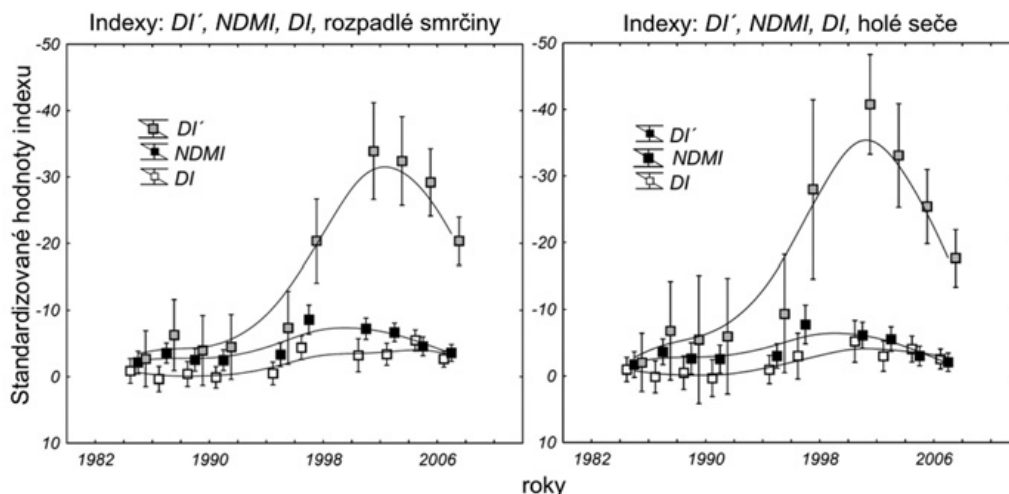
Spektrální projevy disturbance lesa ve viditelném, blízkém a středním infračerveném spektru

Spektrálních pásmem viditelného, blízkého a středního infračerveného spektra (IČ) se používá při hodnocení lesních porostů z hlediska jejich plošných změn, při klasifikaci druhů nebo při hodnocení spektrálních projevů v souvislosti s fyziologickými změnami stromů vlivem napadení škůdci, houbami nebo v důsledku kyselé depozice. Prvním typem disturbance je rozpad horských smrčín vlivem lýkožrouta smrkového, druhým typem jsou holé seče vytvořené jako obrana proti jeho dalšímu šíření. Princip hodnocení změn spektrálního projevu vegetace je založen na tom, že fotosyntetizující části rostlin mají charakteristický průběh reflektance (nazývaný spektrální signatura) v daných vlnových délkách a odchylky od tohoto stavu mohou indikovat i změnu fyziologického stavu rostliny (např. vlivem vodního stresu, degradace chlorofylu apod.). Největší rozdíl reflektance vegetace oproti jiným povrchům (holá půda, zastavěné plochy) se projevuje v blízkém a středním IČ. V blízkém IČ odrážejí rostliny nejvíce záření, někdy dokonce více než holá půda. Tím se brání proti nadměrnému přehřívání (Jensen, 2000). Značnou část dopadajícího záření odrážejí i rostliny ve středním IČ. Prvotní studie zaměřené na spektrální projev lesních porostů byly založeny na sledování hodnot zvláště pro obě výše zmíněná spektrální pásma. V dalším vývoji se přistoupilo k vytváření různých spektrálních indexů, které vznikly různou matematickou kombinací spektrálních pásem, zejména v blízkém a středním IČ. Nejznámější a nejpoužívanější je v tomto ohledu index NDVI (*Normalized Difference Vegetation*

Index). Postupem doby se ukázalo, že v případě lesních porostů je výhodnější využívat indexy, které dávají vyšší váhu střednímu IČ oproti blízkému IČ. Důvodem je prostý fakt, že v případě lesního porostu se na spektrální informaci podílí bylinné patro i kůra kmenů a větví. Zatímco kůra stromů reflektanci snižuje, vlivem bylinného patra, je naopak, zvyšována. Proto je spektrální projev lesa v blízkém IČ často nepredikovatelný. Naopak, ve středním IČ je reflektance kůry i bylinného patra oproti jehlicím vyšší. Proto Healey et al. (2005) navrhnul pro detekci lesních disturbance index označovaný DI, který dává vyšší váhu středním IČ délkám. Tento index pro podmínky Šumavy upravil Hais et al. (2009). Na obr. 3 je znázorněno porovnání vývoje vybraných indexů DI a DI' na holých sečích a rozpadlých smrčínách. Nejcitlivěji v obou případech na průběh disturbance reaguje index DI'. Navíc, na holých sečích dochází k větší změně všech indexů oproti původním hodnotám.

Spektrální projevy disturbance lesa ve vzdáleném (termálním) IČ spektru

Hodnocení změn v termální části spektra je oproti kratším vlnovým délkám mnohem komplikovanější, neboť teploty krajinného krytu jsou závislé na více faktorech, z nichž nejsilnějším je vliv počasí. V podstatě je možné využít dvou základních principů. Prvním je sledování teplotních změn v čase, tj. porovnat družicový datový záznam před a po změně, v tomto případě disturbance lesa. Aby nebyl hodnocen vliv počasí, je nutné převést hodnoty teplot do relativní škály, např. hodnoty standardizovat. Tento přístup má celou řadu nevýhod, zejména nemožnost kvantifikovat rozdíl v absolutních jednotkách (např. °C) a riziko odlišné distribuce teplot v obou datových záznamech. Výhodnější je proto princip založený na



Obr. 3. Vývoj hodnot spektrálních indexů v místě rozpadu horské smrčiny a na holých sečích.

modelování teplot na jedné scéně. Zjednodušeně si lze celý princip představit tak, že porovnáme teploty zdravého lesního porostu a lokality, na níž proběhla disturbance lesa. Protože se takové plochy v horském prostředí Šumavy nacházejí na plochách s rozdílnou nadmořskou výškou, sklonem a orientací svahů, je nutné tyto faktory zohlednit. Potom lze počítat mnohorozměrnou lineární regresi, kde nezávislými proměnnými jsou nadmořská výška a index ozářenosti svahu (Hillshade). Výpočtem regresních koeficientů a jejich zpětným dosazením do regresní rovnice je možné data extrapolovat na lokality lesních disturbance. Odečtením modelovaných hodnot teplot od teplot získaných z družicových dat pak vyjádříme rozdíl způsobený disturbance lesa. Podrobný popis tohoto přístupu je uveden v práci Hais a Kučera (2008). V této práci je též srovnání teplotních změn holých sečí a rozpadlých smrčín, přičemž holé seče vykazují mnohem vyšší teploty oproti zdravému porostu v porovnání s rozpadlými smrčínami.

Ze srovnání dvou typů disturbance lesa (rozpadlých smrčín a holých sečí) pomocí družicových dat vyplývá, že holé seče představují závažnou změnu lesního ekosystému oproti rozpadlé smrčíně. To se projevilo ve viditelném, blízkém a středním IC, kde odstranění bylinného patra při holosečné těžbě způsobilo větší změnu spektrálních vegetačních indexů oproti původním hodnotám než v případě rozpadlých smrčín. Totéž ukazují i výsledky srovnání pomocí termálních družicových dat. Holé seče se přehřívají mnohem více, než rozpadlé smrčiny. Přehřívání společně s letními přísušky může mít vážné důsledky pro obnovu lesních porostů.

Literatura

- Dobrovolný, P.: Dálkový průzkum Země, digitální zpracování obrazu. Brno : Scriptorum, 1998.
- Hais, M., Kučera, T.: Surface Temperature Change of Spruce Forest as a Result of Bark Beetle Attack: Remote Sensing and GIS Approach. *European Journal of forest Research*, 2008, 127, p. 327 – 336.
- Hais, M., Jonášová, M., Langhammer, J., Kučera.: Comparison of Two Types of Forest Disturbance Using Multitemporal Landsat TM/ETM+ Imagery and Field Vegetation Data. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113, p. 835 – 845.
- Healey, S. P., Cohen, W. B., Yang, Z., Krankina, O. N.: Comparison of Tasseled Cap-Based Landsat Datastructures for Use in Forest Disturbance Detection. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 97, p. 301 – 310.
- Heurich, M., Reinelt, A., Fahse, L.: Die Buchdrucker Massenvermehrung im Nationalpark Bayerischer Wald. In: Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald: Waldentwicklung im Bergwald nach Windwurf und Borkenkäferbefall. Bayerische Staatsforstverwaltung, 2001, p. 9 – 48.
- Jensen, J. R.: *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*, Upper Saddle River: Prentice-Hall, 2000.
- Jonášová, M., Prach, K.: Central-European Mountain Spruce Forests: Regeneration of Tree Species after a Bark Beetle Outbreak. *Ecological Engineering*, 2004, p. 23, 15 – 27.
- Skuhřavý, V.: *Lýkožrout smrkový a jeho kalamity. Der Buchdrucker und seine Kalamitäten*. Praha : Agrospoj, 2002.

RNDr. Martin Hais, PhD., Katedra biologie ekosystémů Přírodovědecké fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, Branišovská 31, 370 05 České Budějovice, martin.hais@seznam.cz