

Využití projektu LANDSAT v hydrologii pramenných oblastí

Vlastislav Krčmář
(ČVUT - Fakulta stavební)

Anotace

Klíčová slova (CZ):

Landsat, vodní bilance, vegetační index, NDVI

Abstrakt (CZ):

Prostorová struktura vegetačního povrchu je důležitým faktorem pro výpočet evapotranspirace a retence povodí. Cílem této studie je posouzení možnosti aplikace snímků LANDSAT při analýze změn půdně-vegetačního pokryvu, vlivem lesnických těžebních zásahů v pramenných oblastech Jizerských hor (Česká republika) a Oijusluoma (Finsko). Při tradičním způsobu lesní těžby holou sečí, prováděném v obou zájmových oblastech, byla nalezena téměř shodná změna normalizovaného vegetačního indexu NDVI. Radikální „energetická těžba“ (odstranění celých stromů včetně pařezů a části kořenového systému) v oblasti Oijusluoma vedla k významnému snížení hodnoty NDVI. Pro základní hydrologické a lesnické interpretace je rozlišení snímků 30 x 30 m na pixel dostačující.

Key words:

Headwater catchment, forestry practices, LANDSAT imagery, normalized difference vegetation index.

Extended abstract:

LANDSAT Project applications in hydrology of headwater areas.

(Vlastislav Krčmář)

Department of Hydrology, Czech technical University in Prague

Methods of remote sensing and image interpretation are already well respected in studies on forest hydrology, particularly in forested headwater catchment. The aim of this study is to evaluate the potential of the LANDSAT imagery in detecting changes in the vegetation cover with different forestry practices. The study focused on two headwater regions: the Jizera Mts. (Czech Republic) and Oijusluoma (Finland), represented with monocultures of Norway spruce (*Picea abies*). In the Jizera Mts., forestry practices have been affected by the acid atmospheric deposition culminating in the late 1980s – the extended forest clear-cut followed the canopy defoliation and the die-back of spruce plantations, and the reforestation faced rapidly growing herbaceous vegetation (*Calamagrostis* sp. dominant), [Křeček and Hořická (2010)]. In Oijusluoma, the special attention was paid to an intensive “forest logging for energy use” (included the whole-tree harvest with the removal of stumps and parts of the root system), [Kubin, Křeček, Kremsa and Murto (2013)].

From the archive of the LANSAT imagery, the normalized difference vegetation index (NDVI) was calculated for the spectral reflectance registered in the visible (red) and near-infrared bands. In both studied regions, the traditional forest clear-cut shows similar values of NDVI-index. In Oijusluoma (Finland), the rapid forest harvest (clear-cut with the whole-tree removal including stumps and roots) reflected to significantly decreased NDVI-values. The relatively slow reforestation found in the Jizera Mts. In the 1990s correspond still to the long-term impact of the acidification, and the role of relatively dense grass vegetation.

However, the interpretation of NDVI-index, calculated from the LANDSAT imagery, is limited with the forest re-growth. In the period of initial reforestation, NDVI-index corresponds with the development of the horizontal canopy development. Later, by the full horizontal canopy, NDVI does not correspond with changes in the spatial canopy structure.

This study was supported by the Earthwatch Institute (Mountain Waters of the Czech Republic), the Finnish Ministry of Agriculture and Forestry (Catchment Impacts of Whole-tree and Stump Harvesting), and by the Czech Technical University in Prague (SGS 14/128/OHK1/2T/11).

Úvod

Metody dálkového průzkumu Země jsou důležitým doplněním tradiční pozemní observace [Lillesand a Kiefer, (1987)]. Pro nárůst možností hydrologické interpretace dálkového průzkumu je zásadním 35-ti letý rozvoj projektu LANDSAT (<http://landsat.usgs.gov>). Cílem této studie je posouzení možnosti aplikace snímků LANDSAT při analýze změn půdně-vegetačního pokryvu, vlivem lesnických těžebních zásahů v pramenných oblastech Jizerských hor (Česká republika) a Oijusluoma (Finsko).

Projekt LANDSAT

Přehled použitých spekter v senzoru TM u projektů 5 a 8 je uveden v tabulce (Tab. 01 a Tab. 02). Snímače mají rozlišení 30 x 30 m na pixel. U projektů Landsat 7 a Landsat 8 je možno „zostřít“ snímky pomocí funkce „panchromatic sharpening“ ve vlnových délkách pro viditelné spektrum. Toto vychází z rozlišení panchromatického pásma, které má čtyřnásobnou podrobnost, tedy 15 x 15 m na pixel.

Termální pásma mají rozlišení násobně nižší než ostatní skupiny spektra. Povrchová teplota je počitatelná pomocí konstant K, které jsou definované pro každý snímač. Výpočet je realizován z radiance, tedy ze záření přicházejícího z povrchu země. Rovnice je popsána vztahem (Eq. 01).

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{Mr(\lambda)} + 1\right)}$$

$Mr(\lambda)$ - množství energie odraženého záření [$W \cdot m^{-2} \cdot srad^{-1} \cdot \mu m^{-1}$]

$K1, K2$ - konstanty pro snímač

T - teplota povrchu [K]

Eq. 01- Výpočet povrchové teploty

Thematic Mapper (TM)	Landsat 4-5	Pásmo (micrometr)	Rozlišení (metr)
	Band 1	0.45-0.52	30
	Band 2	0.52-0.60	30
	Band 3	0.63-0.69	30
	Band 4	0.76-0.90	30
	Band 5	1.55-1.75	30
	Band 6	10.40-12.50	120* (30)
	Band 7	2.08-2.35	30

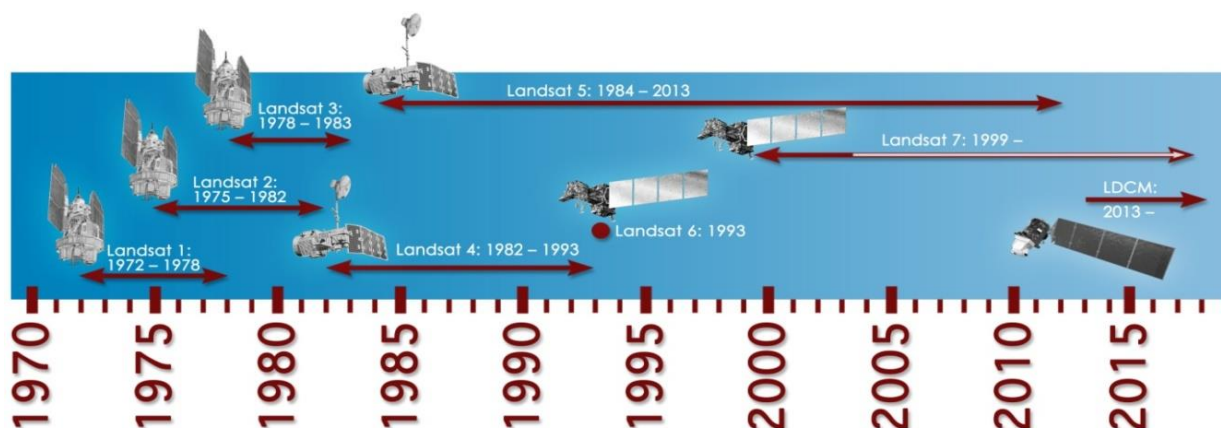
Tab. 01 – Přehled spektrálních pásem projektu LANDSAT 5

Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) Spuštěn 11. únor 2013	Landsat 8	Pásmo (micrometr)	Rozlišení (metr)
	Band 1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
	Band 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
	Band 3 - Green	0.53 - 0.59	30
	Band 4 - Red	0.64 - 0.67	30
	Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Band 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
	Band 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
	Band 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100 * (30)
	Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100 * (30)

Tab. 02 – Přehled spektrálních pásem projektu LANDSAT 8

Zdroj: (http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php)

Výhodou celého projektu je zpřístupnění snímků z celého mapovacího období pro veřejnost. Níže je uvedena časová osa (Obr. 01) trvání jednotlivých misí. Je vidět, že mise Landsat 4 má nejdelší trvání, v jejím archivu jsou dostupné snímky od 80 let až po rok 2013, kdy byl projekt ukončen. Jeho nástupcem je mise 8, která je vybavena více snímanými pásmy viz porovnání (Tab. 01, Tab. 02).



Obr. 01 - Historické nosiče projektu LANDSAT.

U mise Landsat 8 také došlo k zjednodušení výpočtu radiance a reflektance z hodnoty pixelu ve snímku. V kalibračním souboru *mtl.txt. jsou uvedeny přímo konstanty pro lineární přepočet hodnoty pixelu na skutečnou radianci a reflektanci. Je to zjednodušení oproti předchozím verzím, kde

$$\rho_{(\lambda)} = \frac{Mr_{(\lambda)}}{Mi_{(\lambda)}} \times 100$$

$Mr_{(\lambda)}$ - množství energie odraženého záření [$W * m^{-2} * srad^{-1} * \mu m^{-1}$]
 $Mi_{(\lambda)}$ - množství energie dopadajícího záření [$W * m^{-2} * srad^{-1} * \mu m^{-1}$]
 $\rho_{(\lambda)}$ - odrazivost pro danou vlnovou délku [%]

Eq. 02 – Odrazivost (reflektance)

bylo k přepočtu nutné do rovnic udávat vzdálenost země od slunce a zářivý výkon slunce pro danou vlnovou délku.

http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php

Analyza snímků - vegetační indexy

Samotné zpracování a analýzu snímků lze provádět dvěma základními způsoby. Prvním je zpracování vegetačních indexů. Vegetační indexy jsou počítány jako poměry odrazivosti jednotlivých vlnových délek. Nejznámějším indexem je NDVI [Rouse et al. (1974)], který definuje předpis (Eq. 03). Tento poměr je počítán z odrazivosti (Eq. 02) červené a blízké infračervené složky spektra.

$$NDVI = \frac{\rho(\lambda_{RED}) - \rho(\lambda_{NIR})}{\rho(\lambda_{RED}) + \rho(\lambda_{NIR})}$$

$\rho(\lambda_{RED})$ - odrazivost viditelné červené složky spektra [%]
 $\rho(\lambda_{NIR})$ - odrazivost viditelné blízké infračervené složky spektra [%]
 NDVI – Normalizovaný vegetační index [-]

Eq. 03 - vegetační index NDVI

Existují i jiné vegetační indexy založené na jiné kombinaci vlnových délek. Například **EVI** [Huete et al. (2002)] nebo **Iw** [Bastin et al., (1995); Wallace et al., (2006)], posledním ze jmenovaných je vegetační index, který je specifický pro australské vegetační poměry, kde respektuje suché australské podmínky.

Hodnota NDVI je závislá na typu vegetace. Existuje obecný předpoklad, že vyšší hodnota NDVI udává lepší stav vegetace, avšak různé typy vegetace mohou vykazovat rozdílné maximální NDVI. Toto se projevilo při sledování změn vegetace u lesního smrkového porostu v obou uváděných případech.

Další možností zpracování snímků je klasifikace. Tato metoda spočívá ve sdružení oblastí se stejnými vlastnostmi do jednotlivých tříd. Je možné provést klasifikaci bez dohledu uživatele. V tomto typu uživatel pouze rozhodne kolik tříd má program vytvořit. Druhou možností je klasifikace s dohledem, kde uživatel sám definuje vzorek pro danou třídu. Následně je zbytek snímku rozdělen dle těchto vzorů. V našem případě byla použita klasifikace s dohledem uživatele. Byly definovány vzorové plochy a dle jejich vlastností byl roztržěn zbytek snímku.

Detekce změn vegetačního pokryvu vlivem lesnických zásahů

Pro zájmová povodí Jizerských hor [Křeček a Hořická, 2010] a povodí Oijusluoma [Kubin, Křeček, Kremsa a Murto, 2013] byly analyzovány snímky archívu LANDSAT s cílem stanovení změny vegetačních indexů před a po zásahu, případně v kontextu s dlouhodobou porostní obnovou (Jizerské hory).

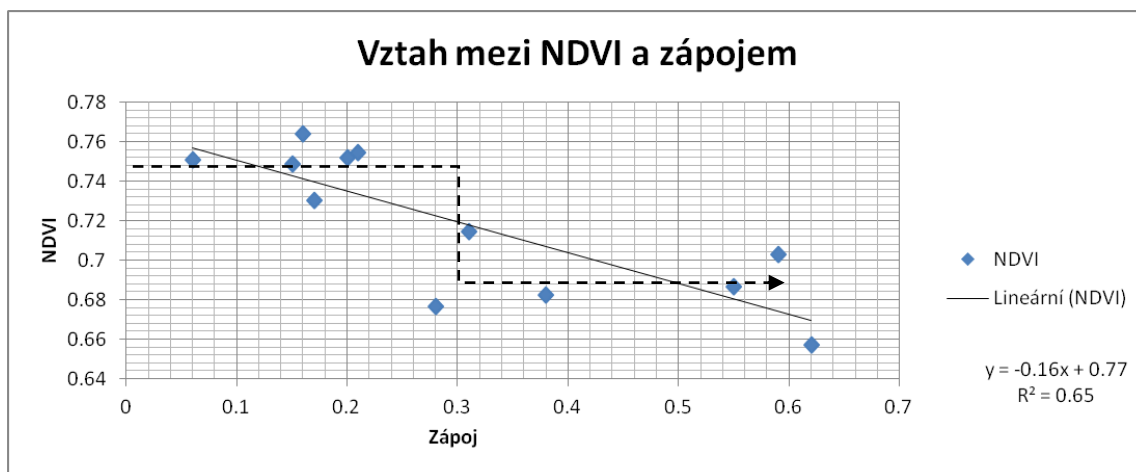
V případě analýz snímků pro Jizerské hory bylo využito právě archívu Landsat 5. Vzhledem k tomu, že archív časově pokrýval celou mapovanou oblast, možnosti snímků z archívu Landsat 7 (od roku 1999) nebylo využito. Byly zpracovány 4 snímky v cca 8 – 10-ti letých časových odstupech, které monitorují vývoj vegetace na našem povodí.

V oblasti Jizerských hor byla naše pozornost věnována především změnám vegetace v povodí vodních nádrží Bedřichov, Josefův Důl a Souš, v kontextu s dlouhodobým pozemním monitoringem povodí a nádrží [Křeček a Hořická, 2010], prováděným od roku 1982.

Na těchto změnách se projevuje synergie vlivu kyselé atmosférické depozice, defoliace smrkových porostů (*Picea abies*) a následné vynucené lesní těžby převážně holou sečí. Obnova porostu byla charakterizována změnami tradičních lesnických charakteristik (věk, počet stromů, zakmenění, zápoj, výška stromů) pozemním šetřením, a normalizovaného vegetačního indexu NDVI, stanoveného ze snímků LANDSAT. Vzhledem k tomu, že se v zájmových povodích vyskytují převážně smrkové monokultury, hodnoty indexu NDVI korespondují s horizontálním zápojem. Velikost zápoje zde také zásadně určuje vývoj obnovovaného porostu až do období, kdy se ztrácí schopnost detekce bylinného patra.

Při analýze korelace zápoje jehličnatých porostů a vegetačního indexu NDVI, jsme došli k negativnímu vztahu mezi indexem a zápojem. To bylo zapříčiněno stále větším zápojem jehličnatých porostů. Tráva, která vykazuje vyšší NDVI přestává „prosvítat“ mezi korunami vzrostlých jehličnatých stromů, tak klesá hodnota NDVI celé sledované oblasti. Vztah mezi zápojem a indexem NDVI byl sledován na experimentálním povodí J-1, které se nachází na povodí Jizerky.

Graf s korelací NDVI a zápoje (*Graf 01*) byl vytvořen na základě pozemního měření a satelitních snímků. Udává vztah mezi NDVI a zápojem. Na grafu je patrný skok (čárkovaná čára), který značí přechod od (travního porostu/méně vzrostlých smrků) k vzrostlému smrkovému porostu.



Graf 01. - Vztah mezi horizontálním zápojem porostu a indexem NDVI

Výsledky klasifikace snímků z oblasti jizerských hor

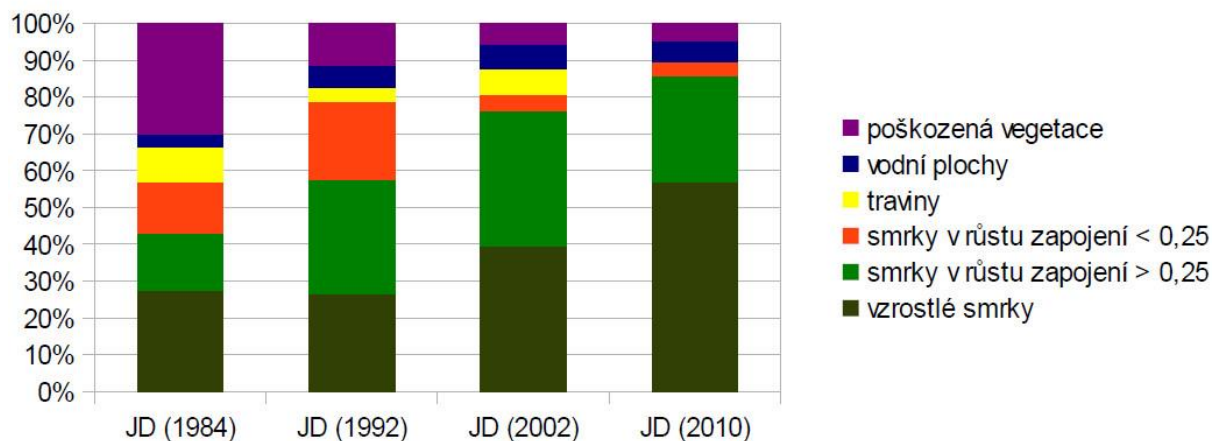
Dále byla provedena klasifikace těchto změn v rámci 30-ti letého období. Byly zjištěny plochy, které patří jednotlivým klasifikačním třídám (Tab. 03).

Klasifikační třída	Popis klasifikační třídy
1 a 2	vzrostlé plně vyvinuté smrky (zápoj > 0,65)
3 a 4	na 50% - 75 % vzrostlé, středně husté smrky (zápoj 0,25 - 0,65)
5 a 6	smrky v růstu traviny zde mají značné zastoupení (zápoj 0,15 - 0,25)
7	tráva (zápoj < 0,15)
8	vodní plochy
9,10,11	poškozená vegetace

Tab. 03 - Popis klasifikačních tříd vegetačního pokryvu

U takto klasifikovaných ploch byla zjištěna jejich velikost a následně změny v průběhu sledovaného období byly vyneseny do grafu. Graf (Graf 02) vyjadřuje procentuální zastoupení jednotlivých ploch a jejich změnu v průběhu zvolené časové periody, tedy v období let 1984 až 2010. Jsou vyobrazeny změny na povodí Josefova Dolu podle let pořízení. Procento vyznačuje % plochy z celkové polchy povodí. Na ostatních sledovaných povodí byly výsledky obdobné, proto je zde neuvádím.

U povodí Josefova Dolu došlo mezi léty 1984 až 1992 k výraznému odlesnění. Převážná část tohoto odlesnění se týkala ploch označených v textu jako poškozená vegetace. Na multispektrálních snímcích se tato vegetace zobrazuje růžově s načervenalým nádechem. Je třeba si uvědomit, že ke správné klasifikaci je vedle kombinace skupin 7, 4, 2 (číslo odpovídá spektru BAND v Tab. 01, číselná kombinace pak udává spektra z kterých je barevný snímek poskládán) vhodné ještě použít skupinu 5, 3, 1 jako pomoc při rozeznání poškozené vegetace a nového travního porostu. Vývoj vegetace v letech 1992 až 2002 stagnuje. Mezi léty 2002 až 2010 dochází k významné obnově smrkového porostu. Na grafu (Graf 02) je toto znázorněno silným úbytkem oranžové a žluté části, které znázorňují travní porost (žlutá) a počínající smrkový porost (oranžová). Na následovaném období, tedy v roce 2010 se oblast jeví jako téměř zalesněná.



Graf 02 - Vývoj obnovy smrkového porostu v povodí nádrže Josefův Důl

Z grafu (*Graf 02*) lze odečíst, že v časové periodě 10-ti let se obnoví cca 20 % lesních porostů. Toto zjištění koresponduje s růstovou rychlostí smrků. Současně nám poskytuje i kontrolu relevantnosti výsledků.

V pramenné oblasti Oijusluoma (Finsko) je studován vliv „energetické těžby“ srmových porostů (odstranění celých stromů, včetně pařezů a části kořenového systému), [Kubin, Křeček, Kremsa a Murto (2013)]. Environmentální dopady této těžební technologie v boreálním klimatu jsou srovnávány s dopady tradiční holosečné těžby (*Obr. 03*). Analýzou snímků LANDSAT byly stanoveny hodnoty vegetačního indexu NDVI (*Obr. 02*) před a po těžebním zásahu, provedeného v období 2010 – 2011.

Způsob těžby	Oblasti na mapě (Id)
Oblast bez těžby včetně vytrhnutí pařezu:	1,7,8,2,3
Oblast s těžbou včetně vytrhnutí pařezu :	9

Tab. 04 – Interní identifikace oblastí

Vzhledem k časté vysoké oblačnosti v zájmové oblasti byly analyzovány snímky ze dnů 06. 09. 2005 (před zásahem) a 25. 07. 2014 (po zásahu), které jsou téměř bez oblačnosti.

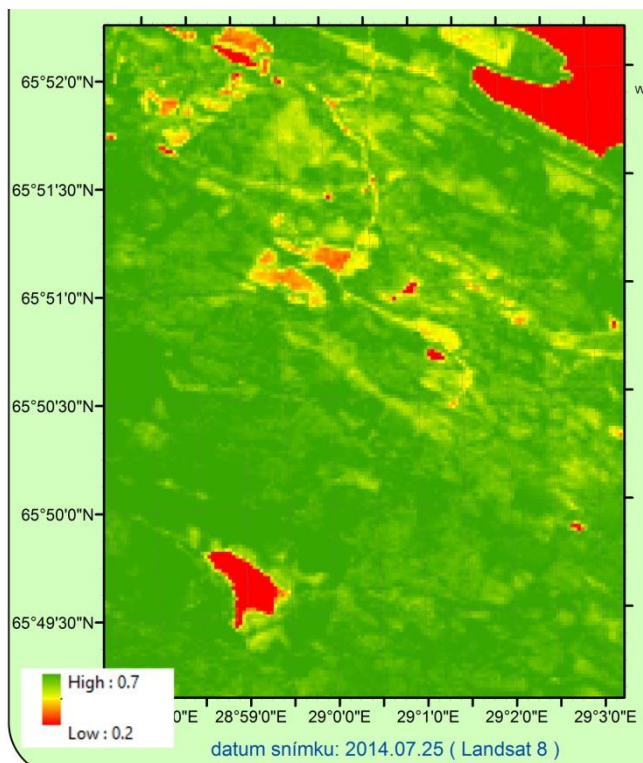
Při tradičním způsobu lesní těžby holou sečí, prováděné v povodích Jizerských hor (ČR) a povodí Oijusluoma (Finsko), byla nalezena téměř shodná změna normalizovaného vegetačního indexu NDVI. Radikální „energetická těžba“ v oblasti Oijusluoma vedla k významnému snížení hodnoty NDVI (*Tab. 05*)

Typ povrchu	min NDVI	max NDVI
Těžba s vytržením pařezů	0.3	0.4
Těžba s ponecháním pařezů	0.4	0.5
Vzrostlý smrkový porost	0.6	0.7
Travní porost	0,7	-

Tab. 05 – Hodnoty NDVI pro lesní těžbu v povodí Oijusluoma (Finsko)

V tabulce (Tab. 05) je uvedeno rozhraní mezi travním porostem a smrkovým porostem na hranici NDVI 0.7. Toto zjištění odpovídá oblasti Jizerských hor, kde je tento skok také patrný (Graf 01)

ze skoku znázorněném černou lomenou šipkou. Tomuto skoku se dá přiřadit zápoj 0.3.



Obrázek (Obr. 02) znázorňuje oblast ve Finsku jako škálu indexu NDVI. Oranžové oblasti ukazují na oblasti těžby bez ponechání pařezů. Oblasti červené jsou vodní plochy. Žlutá oblast je plocha s těžbou s ponecháním pařezů. Odstíny zelené pak vyjadřují vegetaci.

Dále byly porovnávány změny v čase. Pro toto porovnání byly zvoleny snímky z roku 2005 a 2014. Sledování změn probíhá na oblasti ohraničené na obrázku (Obr. 03), žlutou čarou jsou ohraničena místa, kde probíhala sledovaná těžba.

Je patrné odlesnění zájmových oblastí. Toto odlesnění probíhalo v letech 2010 a 2011.

Obr. 02 – Hodnoty NDVI v oblasti Oijusluoma (Finsko)

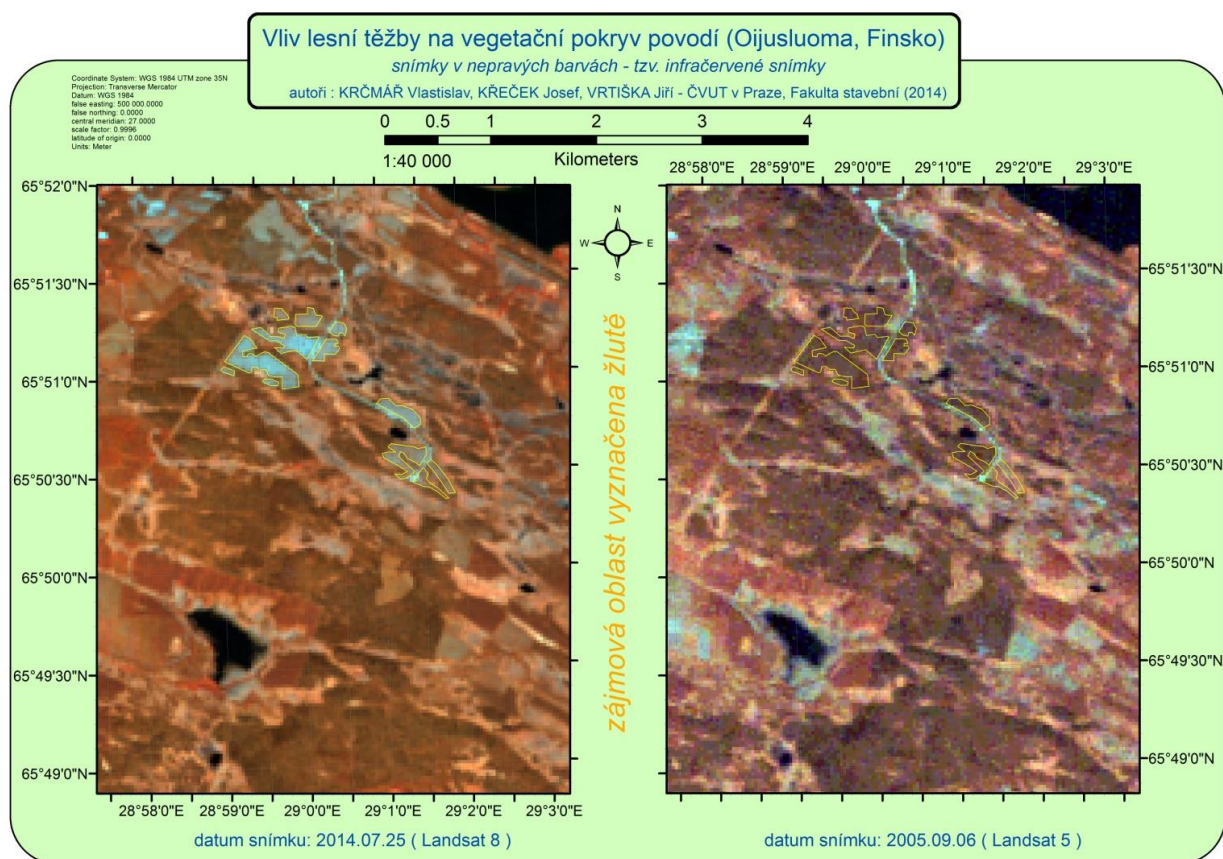
Snímek je vytvořen v tzv. nepravých barvách, t. j., že jedna nebo více komponent snímku (červená, zelená, modrá) znázorňuje okem neviditelné spektrum. V tomto případě je snímek tvořen kombinací viditelné modré a zelené, červená složka obrázku vyjadřuje blízké infračervené spektrum. Jedná se o tzv. infračervenou fotografii.

Z pohledu satelitních snímků, zpracovaných do indexu NDVI (Obr. 02), se jeví spektrální charakteristiky povrchu „bez odstranění pařezů“ a „povrchu s odstraněním pařezů“ rozdílně. Na snímku s vegetačním indexem se tento rozdíl jeví jako žlutý (těžba s ponecháním pařezů) a oranžový odstín (těžba s odstraněním pařezů).

Výše uvedené nastínění barev je samozřejmě závislé na škále, kterou jsme pro index NDVI zvolili. V našem případě to byla lineární stupnice od červené přes žlutou až po zelenou. Rozsah jsme zvolili mezi 0.2 a 0.7. Tedy oblasti na snímku, které mají NDVI nižší než 0.2 se jeví jako červené. Na obrázku (Obr. 02) jsou těmito oblastmi vodní plochy.

Měsíc	Typ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	SUM 1-12
Monthly T průměr [mm]	F	0.1	0.1	0.1	0.2	25.2	68.8	86.8	60.6	26.9	5.8	0.2	0.1	275
	R	0.1	0.1	0.1	0.1	10.4	48.1	65.2	46.7	20.8	4.2	0.1	0.1	196
	T	0.1	0.1	0.1	0.1	14.6	52.2	68.7	50.3	22.4	4.4	0.1	0.1	213

Tab. 06 - Potenciální evapotranspirace (Monteith-Penman): F – dospělý smrkový porost, R – „energetická těžba“, T – tradiční těžba holou sečí (Kubin, Křeček, Kremsa a Murto, 2013).



Obr. 03 – Srovnání změn ve vegetaci ve finsku (tzv – infračervený snímek), na snímcích jsou vyznačeny žlutě zájmové oblasti.

Z pohledu evapotranspirace [Monteith, J.L. (2006)] se změna projevila pro rok 2013 (*Tab. 06*) u tradiční těžby poklesem výparu na 80 % zdravého smrkového porostu a u energetické těžby poklesem na 75 % zdravého smrkového porostu.

Závěr a diskuze

Provedená analýza snímků projektu LANDSAT 8 je účinným nástrojem ke stanovení vlivu lesní těžby na stav vegetačního pokryvu v zájmových povodích (Jizerských hor v ČR a Oijusluoma ve Finsku). Tuto těžbu lze sledovat jak z pohledu časového (vývoj a obnova), tak z pohledu kvantitativního (velikost odtěžené plochy), a díky vegetačním indexům z pohledu kvalitativního (způsob těžby ve vztahu ke stavu povrchu a rozsahu zbytkové vegetace bylinného patra).

Z pohledu rozlišení jsou snímky 30 x 30 m na pixel pro tento účel dostačující. Ve fázích projektu LANDSAT 7 a 8 lze využít panchromatické pásmo pro „zostření“ na 15 x 15 m na pixel. Ale vzhledem k vlnovému rozsahu panchromatického pásma (přes viditelné spektrum) je tento přístup vhodný pouze pro viditelné spektrum. Pro výpočet indexů z jiných vlnových délek než viditelných není nutné snímek přepočítávat na „ostřejší“.

Archiv snímků lze využít do 80 let minulého století viz obrázek (*Obr. 01*).

Z pohledu obnovy lesního porostu, jak v oblasti Jizerských hor, tak v zájmové oblasti Finska lze říci, že v Jizerských horách obnova probíhá a lze očekávat obdobný průběh ve Finsku na oblastech se stejným způsobem těžby. Index NDVI se mění v závislosti na poměru smrkového porostu a travního pokryvu. Při analýze oblastí, kde se nacházejí smíšené porosty je třeba důkladně zvážit jednotlivé spektrální charakteristiky a vhodnost využití indexu NDVI, který pracuje pouze se dvěma vlnovými délkami. Landsat nabízí i snímky v jiných pásmech, tak je možné v rámci klasifikace využít i jiné kombinace. Při identifikaci dospělých smrkových porostů je nutné doplňující pozemní šetření (evidence tradičních porostních charakteristik, případně pozemní fotografie).

Poděkování

Tato studie vznikla s podporou grantových projektů Earthwatch Institute (Mountain Waters of the Czech Republic), Finnish Ministry of Agriculture and Forestry (Catchment Impacts of Whole-tree and Stump Harvesting) a SGS-ČVUT 14/128/OHK1/2T/11.

Zdroje

- [1] Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W., Harlan, J. C., Monitoring the vernal advancements and retrogradation of natural vegetation. *NASA/GSFC, Final Report, Greenbelt, MD, USA*. 1974, str. 1-137
- [2] Bastin, G., Pickup, G., Pearce, G. Utility of AVHRR data for land degradation assessment: a case study. *International Journal of Remote Sensing* 16. 1995, str. 651-672
- [3] Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., Ferreira, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices.. *te Sens. Environ.* 83. 2002, str. 195-213
- [4] Křeček, J., Hořická, Z. Recovery of headwater catchments and lakes affected by the acid atmospheric deposition. In *Integrated watershed management*. Springer, Dordrecht, 2010, str.200-207.
- [5] Kubin, E., Křeček, J., Kremsa, J., Murto, T. Effects of forest harvest on water quality in the Boreal environment. In: *Water Research in the University of Oulu*, Proceedings of the Oulu University, 2013, str. 123-125.
- [6] Lillesand, T., Kiefer, R. W. Remote sensing and image interpretation. Second edition. Wiley, New York, 1987, 719 s.
- [7] Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W., Harlan, J. C., Monitoring the vernal advancements and retrogradation of natural vegetation. *NASA/GSFC, Final Report, Greenbelt, MD, USA*. 1974, str. 1-137
- [8] Monteith, J. L. *Evaporation and environment*. 19th Symposium, vol. 19. University Press. Society for Experimental Biology, Cambridge. 1965, str. 205-234