



VYUŽITIE ÚDAJOV DPZ PRE ZACHOVANIE FUNKCIÍ LESA

THE USE OF REMOTE SENSING DATA TO PRESERVE FOREST FUNCTIONS

Peter Bobál

YMS, a. s.
Hornopotočná 1
917 01 Trnava
peter.bobal@yms.sk

Radovan Hilbert

YMS, a. s.
Hornopotočná 1
917 01 Trnava
radovan.hilbert@yms.sk

Radovan Sunega

YMS, a. s.
Hornopotočná 1
917 01 Trnava
radovan.sunega@yms.sk

Tomáš Mišovič

YMS, a. s.
Hornopotočná 1
917 01 Trnava
tomas.misovic@yms.sk

Boris Gemela

YMS, a. s.
Hornopotočná 1
917 01 Trnava
boris.gemela@yms.sk

Abstract

The forest is a natural system that fulfills different functions in relation to human society. To ensure long-term maintainability of forest functions it is necessary to monitor of forest on regular basis and subsequently to manage forests based on obtained data. Data from remote sensing are a significant resource for monitoring forests. Compared to other available methods, remote sensing has the advantage of providing contactless acquisition of data. It allows obtaining data from large areas in a short time. Technological improvement constantly brings new innovations also in the remote sensing area. There is a lot of available technologies, which are possible to use for forest monitoring as a whole or for monitoring of individual trees. This article deals with using remote sensing methods for preserving forest functions. The first part of the article is aimed at using remote sensing techniques for obtaining information about the forest. In the next part of the article most used remote sensing data sources for forest monitoring are noticed.

Keywords

Remote sensing, forest, forest functions, monitoring

1. Úvod

Les je prírodný systém, ktorý sa riadi prírodnými zákonmi. Zároveň však ide o prírodný zdroj, ktorý človek využíva na plnenie svojich potrieb. Lesy plnia rozličné funkcie vo vzťahu k ľudskej spoločnosti. Funkciami lesov sú úžitky, účinky a vplyvy, ktoré poskytujú lesy ako objekt hospodárskeho využívania a ako zložka prírodného prostredia (Žihlavič, 2005). Vo všeobecnosti možno rozlíšiť dve hlavné funkcie lesa:

- **produkčná funkcia**, ktorá sa zameriava na tvorbu produktov, ktoré sú predmetom obchodu
- **mimoprodukčná funkcia**, zameraná hlavne na využitie schopnosti lesa chrániť iné zložky prostredia

Každý lesný porast plní viacero funkcií. Pre plnenie jednotlivých funkcií musí byť porast vhodne obhospodarován. Niektoré funkcie porastov však môžu vyžadovať aby porast ostal neobhospodarován. Obhospodarovanie lesných porastov je zabezpečené rozdelením lesov na viacero kategórií a podkategórií. Na základe prevládajúcej funkcie lesa je možné porasty na Slovensku kategorizovať nasledovne:

Lesy hospodárske (primárnou funkciou je produkcia dreva)

Lesy ochranné (hlavná funkcia spočíva v ochrane pôdy pod porastom, brehových čiar alebo nižšie položeného porastu). Patria sem:

- Lesy na mimoriadne nepriaznivých stanovištiach

- Vysokohorské lesy pod hornou hranicou stromovej vegetácie
- Lesy v pásme kosodreviny
- Ostatné lesy s prevažujúcou funkciou ochrany pôdy

Lesy osobitného určenia. Možno sem zaradiť:

- Lesy v ochranných pásmach vodárenských zdrojov
- Kúpeľné lesy
- Rekreačné lesy
- Poľovnícke lesy
- Chránené lesy
- Lesy na zachovanie genetických zdrojov
- Lesy určené na lesnícky výskum a lesnícku výučbu
- Vojenské lesy

2. Monitoring lesného porastu využitím metód DPZ

Trvalo udržateľné lesné hospodárstvo vyžaduje synoptické a pravidelne dostupné biofyzikálne a biochemické údaje o vegetácii pre priestorovo rozsiahle oblasti za dlhé časové obdobie. Jedinou možnosťou ako získať takéto údaje je využitie diaľkového prieskumu Zeme. Žiadna iná technológia nedokáže

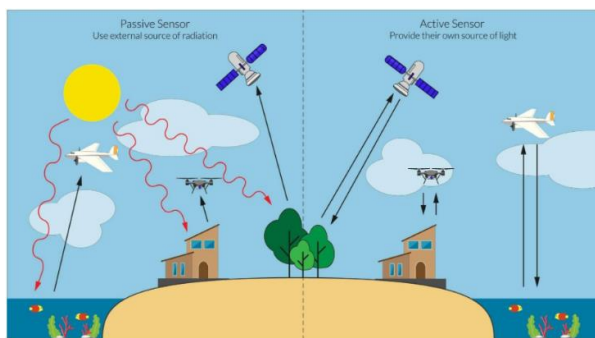
poskytnúť takéto údaje s primeranou cenou, presnosťou a úsilím (Franklin, 2001).

2.1. Diaľkový prieskum Zeme

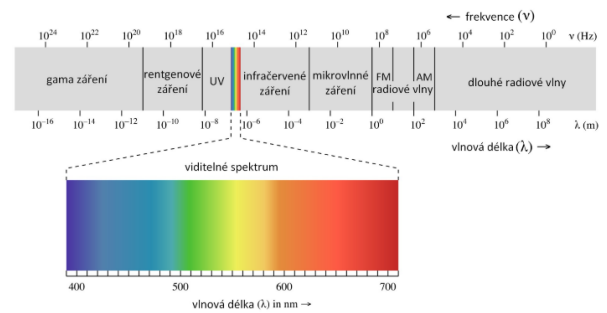
Diaľkový prieskum Zeme (DPZ) predstavuje metódu, ktorá umožňuje získavať informácie o objektoch, procesoch a javoch na diaľku, bez priameho kontaktu s nimi. Ide o skúmanie zemského povrchu, dolných vrstiev atmosféry, určitej vrstvy sedimentov a vodného stĺpca vrátane procesov a javov, ktoré v týchto miestach prebiehajú, na diaľku. K tomuto účelu sa využíva jeden alebo niekoľko intervalov vlnových dĺžok elektromagnetického žiarenia. Elektromagnetické žiarenie sa šíri priestorom prostredníctvom elektromagnetických vln a nesie v sebe informácie o objektoch od ktorých je odrážané alebo z ktorých je emitované. Elektromagnetické žiarenie emitujú alebo odrážajú všetky objekty, ktorých teplota je väčšia ako absolútna nula (Campbell, Wynne, 2011; Dobrovolný, 1998).

Postupom času sa vyvinulo množstvo zariadení, ktoré umožňujú elektromagnetické žiarenie zachytiť. Zariadenia ktoré elektromagnetické žiarenie snímajú môžu byť umiestnené na rôznych typoch nosičov. Tie možno rozdeliť do troch hlavných skupín: pozemné nosiče, letecké nosiče a satelitné nosiče. V súčasnosti sa ako nosiče najčastejšie využívajú satelity, lietadlá alebo bezpilotné lietadlá. Výber typu nosiča závisí predovšetkým na požadovanom priestorovom rozlíšení, veľkosti sledovaného územia ako aj od celkových nákladov potrebných na získanie údajov (Lillesand et al., 2015).

Podľa zdroja elektromagnetického žiarenia, ktoré je nositeľom informácie o objektoch je možné rozdeliť metódy DPZ na aktívne a pasívne. Pri pasívnych metódach DPZ je zdrojom informácie elektromagnetické žiarenie slnka alebo žiarenie emitované priamo objektami na zemskom povrchu. Úroveň odrazeného žiarenia zo slnka sa mení hlavne v závislosti od času a polohy. Žiarenie emitované samotnými objektami je ovplyvňované predovšetkým typom materiálu objektov samotných. Pri aktívnych metódach DPZ nie je zdroj žiarenia prirodzeného pôvodu ale žiarenie je umelo vysielané zo zdroja, ktorý je umiestnený na nosiči. Príkladom môže byť radar alebo lidar (Lillesand et al., 2015; Dobrovolný, 1998).



Obrázok 1: Základný princíp DPZ: aktívne a pasívne snímače (zdroj: <https://reefresilience.org>)



Obrázok 2: Elektromagnetické spektrum (zdroj: <https://kosmonautix.cz>)

DPZ predstavuje systém, ktorý pozostáva z dvoch základných subsystémov. Prvým je vyššie popísaný subsystém zberu a prenosu získaných údajov a druhý je subsystém, ktorý sa zoberá ich následnou analýzou a interpretáciou. Údaje, ktoré je možné pomocou metód DPZ získať je možné poskytovať v obrazovej podobe (napr. snímka) alebo neobrazovej forme (napr. vo forme grafu).

3. Využitie DPZ pri monitorovaní lesného porastu

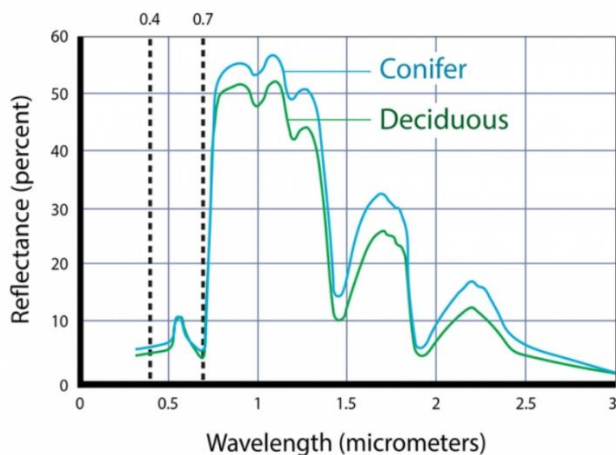
Diaľkový prieskum Zeme sa dlhodobo využíva ako účinný a efektívny nástroj pri hospodárskej úprave lesov. Jeho využitie je vhodné napr. pri lesnej inventarizácii, monitorovaní charakteristík lesných porastov, monitorovaní zdravotného stavu vegetácie, lesnom tematickom mapovaní, atď. Slovensko patrí medzi najzalesnenejšie krajiny európskej únie. Lesný porast sa nachádza takmer na každej snímke vytvorenej prostredníctvom DPZ. Na snímkach lesný porast vo väčšine prípadov vytvára homogénne plochy, ktorých príkladom sú monokultúry ihličnatého a listnatého lesa.

Pri monitorovaní lesného porastu využitím DPZ je dôležité poznať spektrálne chovanie vegetácie. Odlišný lesný porast môže vykazovať odlišné spektrálne chovanie avšak vo všeobecnosti vykazuje určité spoločné črty, ktoré sa dajú označiť pre vegetáciu (lesný porast) za typické. Spektrálny prejav lesného porastu je výsledkom odrazových a emisných vlastností rôznych častí porastu a prostredia okolo neho ale aj pod ním. Vo väčšine prípadov najdôležitejšiu úlohu zohráva odrazivosť listov porastu. Spektrálne vlastnosti listov určuje ich bunková tekutina, celulóza, tuky, lignín, proteíny, cukry a oleje. Odrazivosť povrchu listov taktiež závisí od uhla dopadu elektromagnetického žiarenia (Halounová, Pavelka, 2005; Dobrovolný, 1998).

Priebeh krivky spektrálnej odrazivosti vegetácie je možné rozdeliť na 3 oblasti:

- oblasť pigmentačnej absorpcie ($0,4 \mu\text{m} - 0,7 \mu\text{m}$) – v tejto oblasti zohráva najdôležitejšiu úlohu obsah pigmentačných látok a to predovšetkým chlorofyl a karotény.
- oblasť bunkovej štruktúry ($0,7 \mu\text{m} - 1,3 \mu\text{m}$) – najdôležitejším faktorom ovplyvňujúcim odrazivosť v tejto oblasti je morfológická štruktúra listov. Odrazivosť tejto časti spektra sa využíva hlavne na hodnotenie miery hustoty vegetácie ale taktiež k výpočtu množstva vegetačných indexov (napr. pre hodnotenie zdravotného stavu vegetácie).

- oblasť vodnej absorpcie (1,3 μm – 3,0 μm) – odrazivosť v tejto oblasti je nepriamo úmerná obsahu vody v listoch. Lokálne maximá odrazivosti sa vyskytujú vo vlnových dĺžkach 1,6 μm a 2,2 μm .



Obrázok 3: Spektrálne chovanie ihličnatého a listnatého lesného porastu (zdroj: <https://www.e-education.psu.edu>)

Odrazivosť lesného porastu je závislá hlavne od obsahu vody. Platí to hlavne pre oblasti IR žiarenia. Vo všeobecnosti možno povedať, že s poklesom obsahu vody v listoch stromov dochádza k zvyšovaniu spektrálnej odrazivosti v oblasti viditeľného a infračerveného žiarenia. Naopak obsah vody v lesnom poraste zvyšuje hodnoty intenzity odrazeného žiarenia v mikrovlnnej časti elektromagnetického spektra. Ďalší faktorom, ktorý ovplyvňuje odrazivosť lesného porastu je aj obsah minerálov v pôde, ktoré majú vplyv na správny rast rastlín. Tento faktor sa najviac prejavuje v infračervenej časti elektromagnetického spektra. Dôležitým faktorom vplyvajúcim na odrazivosť lesného porastu je aj hustota porastu. V prípade riedkeho lesného porastu môže byť súčasťou odrazivosti vegetácie aj odrazivosť pôdy (Halounová, Pavelka, 2005; Dobrovolný, 1998).

4. Najpoužívanejšie zdroje dát DPZ monitoring lesného porastu

Pri dlhodobom monitorovaní lesného porastu sa najčastejšie využívajú **optické multispektrálne systémy**. Technologické inovácie, rozvoj metód pre spracovanie dát a dostupnosť údajov za dlhšie časové obdobie zvýšilo aj potenciál týchto údajov pre monitorovanie lesného porastu. Optické multispektrálne systémy nachádzajú uplatnenie v lesníctve hlavne pri odhade poškodenia lesného porastu, monitoringu drevinového zloženia porastu, monitoringu vekovej štruktúry porastu, odhadu zásob drevín, monitorovaní rozsahu a dynamiky zmien lesných ekosystémov, atď.

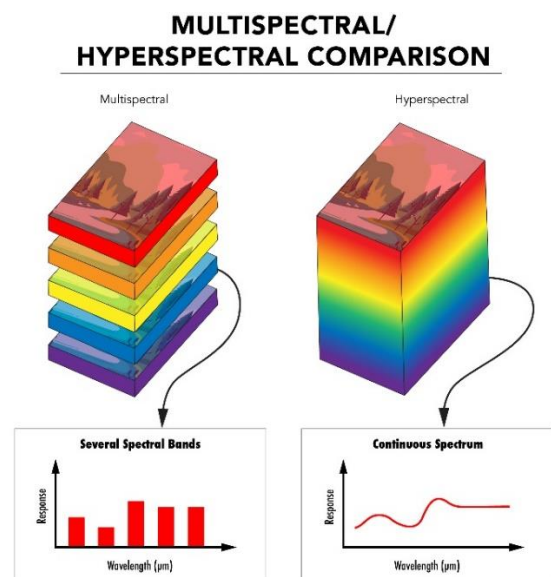
V minulosti boli k dispozícii predovšetkým optické multispektrálne snímky s priestorovým rozlíšením dosahujúcim niekoľko desiatok až stoviek metrov. Pri týchto snímkach sa zaznamenával stav rozľahlých lesných plôch kde odrazivosť reprezentovala príspevky viacerých stromov a ich okolia. Zvýšenie priestorového rozlíšenia snímkov na veľkosť menšiu alebo podobnú korune stromu (PLEIDES, IKONOS, QUICKBIRD, atď.) značne prispel k rozšíreniu možností využitia týchto údajov.

Dôležitým faktorom pre využiteľnosť optických snímkov je aj ich spektrálna rozlišovacia schopnosť. Ide o šírku a počet spektrálnych pásiem v ktorých je obrazový záznam vytváraný. Pri multispektrálnych dátach sa počet spektrálnych pásiem zvyčajne pohybuje v rozmedzí od 3 do 15. Znalosť spektrálneho chovania lesného porastu (viď predchádzajúca kapitola) nám umožňuje vybrať vhodný senzor disponujúci potrebným spektrálnym rozlíšením.

Dôležitú úlohu pri využiteľnosti optických multispektrálnych systémov zohráva aj časové rozlíšenie snímkov. Opätovné snímanie tej istej oblasti v priebehu niekoľkých dní výrazne prispieva k možnostiam sledovania vývoja a zmien na lesnom poraste. Príkladom môže byť družica SENTINEL-2, pri ktorej je možné získať snímku toho istého územia každých 5 dní, čo zabezpečujú dva satelity na obežnej dráhe.

V súčasnosti je už možné získať niektoré multispektrálne dáta bezplatne. Ide napríklad od dáta družice SENTINEL a LANDSAT, ktoré v mnohých prípadoch poskytujú dostatočný dátový zdroj pre monitorovanie lesných porastov. Tieto multispektrálne dáta disponujú priestorovým rozlíšením od 10 m a viac. V prípade potreby spracovávanie snímkov s vyšším priestorovým rozlíšením je možné využiť snímky komerčných družíc, ktorých cena závisí hlavne na dostupnom priestorovom a spektrálnom rozlíšení.

V niektorých prípadoch môžu byť rozdiely v odrazivosti lesného porastu a v odrazivosti jednotlivých stromov príliš jemné na to, aby sa dali pozorovať použitím „širokých“ multispektrálnych pásiem. Takáto informácia môže byť potrebná napríklad pre odlišenie druhov porastu, zistenie druhej bohatosti lesného porastu alebo pre získanie rôznych biochemických a biofyzikálnych parametrov porastov. V tomto prípade je vhodné použiť dáta s vyšším spektrálnym rozlíšením, hyperspektrálne dáta. **Optické hyperspektrálne systémy** sú relatívne novou, dynamicky sa značne rozvíjajúcou oblasťou DPZ. Využívajú množstvo úzkych (1 – 10 nm) a vzájomne tesne susediacich spektrálnych pásiem. Vďaka tomu je možné získať takmer spojitú spektrálnu informáciu o sledovaných objektoch (Pandey et al., 2020).



Obrázok 4: Porovnanie multispektrálnych a hyperspektrálnych dát (zdroj: <https://www.edmundoptics.com/>)

Ďalším zdrojom údajov pre monitoring lesného porastu sú **radarové dáta**. RADAR (Radio detecting and ranging) je založený na vysielaní krátkého a intenzívneho mikrovlnného signálu určitým smerom a zaznamenaní jeho odrazov od snímaných objektov. Dôležitou vlastnosťou radarových dát je to, že sú len minimálne ovplyvňované atmosférickými podmienkami (napr. oblačnosť, hmla). Aj keď spracovanie týchto dát je trochu komplikovanejšie ako pri optických snímkach, tieto dáta nachádzajú uplatnenie pri monitorovaní porastu napr. pri mapovaní veterných kalamít, lesných požiarov a iných živelných pohrôm.

Vo všeobecnosti platí, že najvhodnejšie vlnové dĺžky pre monitoring vegetácie prostredníctvom radaru sa pohybujú v rozmedzí okolo 2 až 6 cm. Na odrazivosť radarového signálu má výrazný vplyv obsah vody vo vegetácii. Lesný porast s vysokým obsahom vody odráža oveľa viac ako suchá vegetácia. Dôležitý je aj vplyv polarizácie radarového signálu, ktorá definuje orientáciu vektoru elektrickej vlny v rámci elektromagnetického žiarenia. Radarový signál s polarizáciou VV a HH preniká vegetáciou lepšie ako signál s polarizáciou VH a HV.

Na podobnom princípe ako radar je založená aj technológia **LIDAR** (Light Detection And Ranging) využívajúca laserový skener. Ide o aktívnu metódu diaľkového prieskumu Zeme, ktorá je založená na meraní vzdialenosti medzi objektom nachádzajúcim sa na zemskom povrchu a samotným skenerom. Výsledkom je množina presných georeferencovaných bodov, ktorá sa označuje ako bodové mračno. Pre využitie tejto technológie je k dispozícii pozemný laserový skener, ktorý môže byť buď stacionárny alebo mobilný, umiestnený na motorovom vozidle vrátane ťažobnej techniky. Ďalšou možnosťou je využitie leteckého laserového skeneru, ktorého nosičom je najčastejšie lietadlo (Dong, Chen, 2018).

Novinkou v oblasti laserového skenovania je multispektrálny lidar, ktorý umožňuje zaznamenať údaje vo viacerých pásmach elektromagnetického spektra. Keďže sa ale jedná o pomerne novú technológiu k dispozícii je len niekoľko štúdií, ktoré sa zaoberajú jej aplikovaním v oblasti lesníctva.

LIDAR umožňuje mapovať lesné porasty až na úroveň jednotlivých stromov. V lesníctve má táto technológia z tohto dôvodu široké využitie. Je možné ju použiť napríklad pri mapovaní priestorových zmien na porastoch, mapovanie disturbancií, určenie výšky korunovej vrstvy porastov, identifikáciu hraníc porastov, atď.

Ďalšou technológiou využiteľnou v oblasti lesníctva je **termovízia**. Je založená na monitorovaní tepelného vyžarovania objektov k čomu sa využívajú vlnové dĺžky stredného a vzdialeného infračerveného pásma elektromagnetického spektra. Nosičom pre senzory zaznamenávajúce teplotné charakteristiky porastu môžu byť satelity, lietadlá alebo bezpilotné letecké prostriedky.

Rozloženie a dynamika teploty patrí medzi ľahko identifikovateľný vonkajší prejav zmien, ktoré je možné pozorovať na lesnom poraste. Teplota patrí medzi najdôležitejšie ukazovatele stresu rastlín. Teplotné rozdiely môžu byť dobrým indikátorom výskytu odlišností a rizík v lesnom poraste. Akékoľvek poruchy v metabolizme lesného porastu, poškodenia koreňovej sústavy alebo zníženie vlhkosti sa prejavujú v prehrievaní porastu. Termovízia umožňuje tieto

charakteristiky porastu efektívne identifikovať (Jakuš, Blaženec, 2015; Bucha et al., 2014).

5. Záver

V súčasnosti je k dispozícii množstvo zdrojov dát z diaľkového prieskumu Zeme pre sledovanie stavu lesného porastu. Výber dát je závislý od konkrétneho účelu na ktorý majú byť použité. Častokrát je nutné kombinovať dáta z rôznych zdrojov aby sme dostali požadované informácie. Dôležité je aby používateľ poznal dáta s ktorými bude pracovať. Pre výber vhodného dátového zdroja je nutné mať znalosti o spektrálnom chovaní objektov, ktoré sú predmetom skúmania a o charaktere dostupných dátových zdrojov. Dôležitú úlohu zohrávajú samozrejme aj finančné možnosti. V dnešnej dobe je však už možné získať pomerne kvalitné údaje pre monitorovanie lesných porastov zdarma. (Sentinel, Landsat).

PodĎakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: „Výskum a vývoj bezkontaktných metód pre získavanie geopriestorových údajov za účelom monitoringu lesa pre zefektívnenie manažmentu lesa a zvýšenie ochrany lesov“ (kód ITMS2014+ 313011V465), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



EURÓPSKA ÚNIA
Európsky fond regionálneho rozvoja
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



Referencie

- Bucha, T. et al., 2014. Satelity v službách lesa. Zvolen: Národné lesnícke centrum
- Dobrovolný, P., 1998. Dálkový průzkum Země: digitální zpracování obrazu. Brno: Masarykova univerzita
- Campbell, J. and Wynne, R., 2011. Introduction to remote sensing. 5th ed. New York: The Guilford Press.
- Dong, P. and Chen, Q., 2018. LiDAR remote sensing and applications. New York: CRC Press.
- Franklin, S., 2001. Remote sensing for sustainable forest management. Boca Raton, FL: Lewis Publishers
- Halounová, L., Pavelka, K., 2005. Dálkový průzkum Země. Praha: Vydavatelství ČVUT
- Jakuš, R., Blaženec, M. 2015. Princípy ochrany dospelých smrekových porastov pred podkôrnym hmyzom. Ústav ekológie lesa, Slovenská akadémia vied
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., Chipman, J. W. Remote Sensing And Image Interpretation. 7. John Wiley, 2015. ISBN 978-1-118-34328-9.

Pandey, P., Srivastava P., Balzter, H., Bhattacharya, B.,
Petropoulos, G. 2020. Hyperspectral Remote Sensing:
Theory and Applications. 1. Elsevier

Scheer, L., Sitko R. 2009. Satelitné snímky a potenciál ich
využitia v lesníctve. *Životné prostredie*, 43(4), 220-
223

Žíhľavník, A. 2005. Hospodárska úprava lesov: Vysokoškolská
učebnica. Technická univerzita vo Zvolene