



**ACTA
FACULTATIS
FORESTALIS
ZVOLEN**

**56 Suppl. 1
2014**

TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE

Editori:

Ing. Martin Lieskovský, PhD.
prof. Dr. Ing. Viliam Pichler
doc. Ing. Jaroslav Kmeť, PhD.

Posudzovatelia:

prof. Ing. Ladislav Paule, PhD.
Ing. Juraj Galko, PhD.
doc. Ing. Ladislav Zelinka, CSc.
Ing. Jan Parobek, PhD.
prof. Ing. Július Valtýni, DrSc.
prof. Ing. Jozef Kobza, CSc.

doc. Ing. Karol Gubka, CSc.
Ing. Andrea Majlingová, PhD.
Ing. Ivan Sačkov, PhD.
Ing. Jozef Meluš, PhD.
Bc. Ing. Ľuboš Halvoň, PhD.

Predseda redakčnej rady / Editor in Chief:

prof. Dr. Ing. Viliam Pichler

Vedecký redaktor / Executive editor

doc. Ing. Jaroslav Kmeť, PhD.

Redakčná rada / Editorial board:

doc. Ing. Marek Fabrika, PhD.
prof. Ing. Peter Garaj, CSc.
prof. Ing. Iveta Hajdúchová, PhD.
prof. Ing. Matúš Jakubis, PhD.

prof. Ing. Valéria Messingerová, CSc.
doc. Ing. Karol Ujházy, PhD.
prof. Ing. Milan Saniga, DrSc.
prof. Ing. Jaroslav Škvarenina, CSc.

ACTA FACULTATIS FORESTALIS ZVOLEN 56 Suppl. 1 2014

Vydala Technická univerzita, T. G. Masaryka 2117/24, 960 53 Zvolen, IČO 00397440

Vydanie I. – 2014 – december

Rozsah 236 strán, 15,37 AH, 15,52 VH

Náklad 100 výtlačkov

Tlač a grafická úprava Vydavateľstvo TU vo Zvolene

Rukopis neprešiel jazykovou úpravou

Vydanie publikácie schválené Edičnou radou TU vo Zvolene dňa 22. 1. 2014, číslo EP 40/2014

Periodikum s nepravidelnou periodicitou

Evidenčné číslo 3861/09

© Technická univerzita vo Zvolene

ISSN 0231-5785

Všetky práva vyhradené. Nižaká časť textu ani ilustrácie nemôžu byť použité na ďalšie šírenie akoukoľvek formou bez predchádzajúceho súhlasu autorov alebo vydavateľa.

OBSAH – CONTENTS – INHALT

Lalík, M., Pavlík M.: Biologická obrana proti imágam tvrdoňa smrekového (<i>Hylobius Abietis</i> L.)	7
Biological defense against adult large pine weevil (<i>Hylobius abietis</i> L.)	7
Voleková, M.: Genetická variabilita populácií v hybridogénnom komplexe <i>Abies alba</i> – <i>A. borisii-regis</i> – <i>A. cephalonica</i>	17
Genetic Variability in Populations of Hybridogenous Complex <i>Abies alba</i> – <i>A. borisii-regis</i> – <i>A. cephalonica</i>	17
Štulajterová, T.: Rôzne typy vzoriek a ich využitie vo forenzej genetike	29
Different types of samples and their use in forensic genetics	29
Kriaková, E., Homolák, M., Pichler, V., Gömöryová E.: Možnosti hodnotenia variability zásob pôdneho organického uhlíka v krajine s chladnou horskou klímou	39
Possibilities of evaluating the variability of soil organic carbon stock in landscape with cold mountain climate	39
Valent, P.: Vizualizácia lesa ako nástroj pre podporu rozhodovania a lesnícke vzdelávanie	49
Forest visualization as a tool for decision support and forestry education	49
Mokroš, M.: Metodika uplatnenia pozemného laserového skenovania pri zisťovaní stavu lesa	65
Methodics for application of terrestrial laser scanning for survey of forest condition	65
Soľanka, J.: Priame georeferencovanie v digitálnej fotogrametrii	83
Direct georeferencing in digital photogrammetry	83
Kurčíková, M.: Automatická identifikácia hraníc lesných porastov na digitálnych snímkach z vegetačného a nevegetačného obdobia	95
Automatic identification of forest stands boundaries on digital images of vegetation and non vegetation period	95
Smažák, Ľ.: Zvyšovanie efektívnosti merania hraníc lesných pozemkov s využitím metód družicovej a terestrickej geodézie	107
Improving the efficiency measurements of the forest land using the methods of satellite and terrestrial geodesy	107
Danko, M., Juško, V.: Zanášanie vodnej nádrže Hnusno II. a erózný potenciál povodia	125
Siltation of water reservoir Hnusno II. and erosion potential of catchment	125

Levická, M. – Juško, V.: Optimalizácia sprístupnenia lesa lesnou cestnou sieťou v LHC Čierny Váh	143
Optimization of forest access by forest road network in forest management unit Čierny Váh.....	143
Tisovská, D. – Halaj, D.: Využitie zeleného marketingu v managemente vybraných firiem na Slovensku	159
Implementation of the Green Marketing in chosen Enterprises in Slovakia.....	159
Weisz, R., Kodrík, M.: Monitorovanie početnosti lykožrúta jedľového (<i>Pityokteines Curvidens</i> Germ.) prostredníctvom feromónových lapačov vo vybraných lokalitách výskumu.....	171
Frequency monitoring of silver fir bark beetle (<i>Pityokteines curvidens</i> Germ.) via pheromone traps in selected research areas.....	171
Adam, A. M. A., Pichler, V.: Vplyv veľkých bylinožravcov na les a pastviny z hľadiska zhutnenia pôdy a rýchlosť infiltrácie vody v strednej a východnej Európe	189
Project of Determining Soil Compaction and Soil Water Infiltration Under Impact of large Herbivores.....	189
Arcybashev, A. J., Nikitin J. R.: Diagnostika pohonov mechanizmov s využitím neurónových sietí.....	201
Диагностирование приводов машин на основе нейронных сетей.....	201
Nurieva, E. G., Nikitin J. R.: Hodnotenie technického stavu drevoobrábacieho zariadenia	209
Оценка технического состояния деревообрабатывающего оборудования.....	209
Sergeev, L. S., Nikitin J. R.: Využitie neostrej logiky pri hodnotení technického stavu asynchrónnych motorov.....	215
Применение нечеткой логики для оценки технического состояния асинхронных двигателей	215
Shaklein, A. A., Tyurin A. P.: Riešenie akustických problémov v balíku ANSYS na príklade valcového vlnovodu	223
Решение задач акустики в пакете ANSYS на примере цилиндрического волновода	223
Zykov, A. M., Tyurin A. P.: Vyhodenie simulačno-meracieho stendu pre aktívne ovládanie akustických polí.....	231
Разработка имитационно-измерительного стенда по активному управлению акустическими полями.....	231

BIOLOGICKÁ OBRANA PROTI IMÁGAM TVRDOŇA SMREKOVÉHO (*HYLOBIUS ABIETIS* L.)

Michal L A L Í K – Martin P A V L Í K

Lalík M., Pavlík M.: Biological control against adults of the pine weevil (*Hylobius abietis* L.).
Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 56, Suppl. 1, 2013, 7–16.

The current research is focused on adults of the pine weevil species (*Hylobius abietis* L.) and their reactions to infection caused by entomopathogenic fungi species (*Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Isaria fumosorosea*).

Their morphology description, as well as bionomics and ecology, in addition to evaluation of their importance in the forest management were the key elements of this research. Actual research was based on infecting the pine weevil adults with spores of various fungal species. An important part of the research was to find out whether or not does the infection slow down or cease their feeding on wood samples, therefore evaluating their mortality rate caused by entomopathogenic fungi. The species *Beauveria bassiana* turned out to have the most significant effect on their food intake, in contrary to *Metarhizium anisopliae*, which had no effect on the beetles. Those affected by *Isaria fumosorosea* species had increased their food intake.

Fungal species *Beauveria bassiana* had the most significant effect on pine weevil mortality rate, the *Metarhizium anisopliae* has turned out effective as well. *Isaria fumosorosea* had little or no effect on pine weevil mortality rate.

Key words: pine weevil, *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Isaria fumosorosea*, biological control

1. ÚVOD

Ihličnaté lesy sú v posledných desaťročiach atakované rôznymi škodlivými činiteľmi, či sú to biotické alebo abiotické činitele. Najvýznamnejší abiotický činiteľ je vietor, ktorý dokáže počas krátkej doby zničiť veľké komplexy smrekových monokultúr. Dôkazom toho je kalamita v Tatrách z novembra 2004, ktorá zasiahla plochu 12 600 hektárov lesa. Po spracovaní tejto kalamity vznikla obrovská plocha na zalesnenie a tým pádom veľmi dobré podmienky pre tvrdoňa smrekového. Po tejto kalamite mali samičky tvrdoňa smrekového dostatok príjmu na kladenie vajíčok, čoho následkom bolo premnoženie tvrdoňa smrekového. Veľké škody môže spôsobiť vyrojený jedinec, ktorý vykonáva pohlavný žer na kmienkoch mladých sadeníc, na ktorých požiera kôru a tým dochádza k oslabeniu sadenice alebo až k jej odumretiu.

V našej práci sme sa zamerali na tvrdoňa smrekového, pričom sme testovali entomopatogénne huby, pri ktorých je dokázané, že hmyz úspešne hubia. Takýto spôsob boja má

výhodu v tom, že sa nepoužívajú žiadne chemické látky, ktoré by zaťažovali prírodné prostredie ale huby, ktoré sa vyskytujú vo voľnej prírode.

2. PROBLEMATIKA

2.1 Bionómia a morfológia tvrdoňa smrekového

Tvrdoň smrekový *Hylobius abietis* (L) (Coleoptera: Curculionidae) (obr. 1) je tmavohnedého sfarbenia, so svetlými škvrnami na krovkách. Jeho veľkosť sa pohybuje od 10–14 mm. Hlava je predĺžená do výrazného nosca s tykadlami a ústnym otvorom na jeho konci. Larva je belavá, beznohá, slabo oblúkovito ohnutá, dosahuje veľkosť 12 až 23 mm. Kukla je voľná, biela, mäkká, s pomerne dlhými a úzkymi prívieskami. Sú na nej zreteľné časti tela budúceho imága, vrátane nosa (KUNCA a kol. 2007).

Tvrdoň smrekový je dlhoveký chrobák, dožívajúci sa až 3 rokov. Na jar (zvyčajne v 2. polovici apríla a za nepriaznivých poveternostných podmienok alebo vo vyšších polohách v I. polovici mája) sa objavuje na slnečných, čerstvých rúbaniskách, kam je lákaný živinicovou vôňou čerstvých pňov. Nástup a priebeh rojenia závisí na teplote. Chrobáky sú aktívne pri teplote nad 8 až 9 °C a lietat' začínajú pri teplote nad 13 až 16 °C (KŘISTEK, URBAN 2004).



Obr. 1 Tvrdoň smrekový *Hylobius abietis* L.

Fig. 1 Pine weevil *Hylobius abietis* L.

2.2 Entomopatogénne huby a ich vplyv na hmyz

Beauveria bassiana patrí k najdlhšie známym patogénom spôsobujúcim ochorenia hmyzu spomedzi entomopatogénnych húb. Dlhú dobu nebolo jasné, či druhy rodu *Beauveria* sp. patria k fakultatívnym patogénom, ktoré napádajú zoslabnuté, alebo dokon-

ca hynúce jedince hmyzu, alebo ide o pravé, agresívne patogény. Od polovice 19. storočia, aj vďaka Vittadiniho experimentom je jasné, že *Beauveria bassiana* dokáže aktívne napádať a zabíjať hmyz, pričom úspešnosť patogéna je priamo úmerná koncentrácii jeho spór. K nákaze hmyzu dochádza prostredníctvom konídií, ktoré kľčia na povrchu kutikuly a po krátkom raste na povrchu vnikajú kolmo do chitínovej vonkajšej kostry. Táto časť vývinu začína približne 10 hodín po kontakte a môže trvať niekoľko dní. Hýfové telieska, ktoré prenikli do tela hmyzu, sa po určitom raste oddeľujú od základu, ktorý zostal v pokožke. Vznášajú sa v hemolymfe a napádajú lymfocyty, ktoré postupne fagocytujú. Pri svojom raste hýfy získavajú živiny z hemolymfy, naopak vylučujú do nej metabolity. Pohyb hemolymfy sa postupne spomaľuje a resorbuje sa tukové teleso. Hmyz hynie v štádiu, keď je zničená väčšina jeho lymfocytov. Uhynuté telo hostiteľa je postupne vyplnené vláknami huby. Pri dostatku vlhkosti prerastajú na povrch tela mŕtveho hmyzu, na ktorom sa vyvíjajú vzdušné konídie (<http://www.scientica.sk/> 30.3 2014 13:30).

Keďže výtrusy ďalšej testovanej huby *Metarhizium anisopliae* sú zelené, hlavným znakom ochorenia je zelená farba napadnutého jedinca. Keď tieto mytotické (asexuálne) spóry prichádzajú do styku s telom hostiteľa hmyzu, začínajú kľčiť a hýfy, ktoré sa objavajú preniknú do pokožky. Huba sa potom vyvíja vo vnútri tela a nakoniec zabije hmyz po niekoľkých dňoch. Tento smrtiaci účinok je veľmi účinný a pomáhal pri výrobe insekticídnych cyklických peptidov. Pokožka na mŕtvom jedincovi často sčervená. Ak je okolitá vlhkosť dostatočne vysoká, biela forma potom rastie na mŕtvom chrobákovi a akonáhle sa zmení na zelenú farbu, spóry sú vytvorené. Väčšina hmyzu žijúceho v blízkosti pôdy si vyvinula prirodzenú obranyschopnosť proti entomopatogénnym hubám, ako je *Metarhizium anisopliae* (<http://www.biocontrol.entomology.cornell.edu> 30.3 2014 13:20).

Posledným testovaným druhom je *Isaria fumosorosea*. Táto huba je prirodzeným nepriateľom mnohých škodcov, ktoré patria do radov Hemiptera a Homoptera, v ktorom sú molice *Trialeurodes* a *Bemisia*. To má tiež účinok proti Diptera a Lepidoptera. Huba účinkuje v kontakte s hmyzom a začne produkovať baktériu, ktorá prechádza telom hmyzu a vylučuje toxíny, ktoré zabíjajú hostiteľa. Mumifikované pozostatky a mŕtvolky hmyzu sú pri vysokej vlhkosti vzduchu pokryté belavo-fialovým povlakom (<http://www.doctorobregon.com> 1.4 2014 9:41).

3. MATERIÁL A METODIKA

3.1 Odchyt tvrdoňa smrekového pre laboratórne pokusy z lapacích kôr

Imága tvrdoňa smrekového na tento výskum sme v spolupráci s OZ Liptovský Hrádok (Lesy SR, š.p.) a Lesníckou ochrannárskou službou v Banskej Štiavnici získavali z pripravených lapacích kôr na LS Čierny Váh a LS Liptovská Teplička počas roku 2013.

Umiestnenie kôry v teréne

- Kôry je potrebné začať klásť už v apríli a koniec kladenia je koncom septembra, resp. pokiaľ sa stále úspešne chytajú tvrdone a lykokazy (obr. 2).

- Ak sú v blízkosti pne, treba využiť ich atraktivitu a kôru priložiť k pňu. Spomalí sa vysychanie kôry (tieň) a zvýši sa odchyt chrobákov.
- Životnosť lapacích kôr je podľa rýchlosti ich presychania maximálne 14 dní, čo je ovplyvnené expozíciou, oslnením, zaburinením, zrážkami, hrúbkou kôry a pod. Kôry sa môžu čiastočne prikryť napr. hrabankou – predĺži sa životnosť kôry a spomalí sa ich presychanie.
- Do lapacej kôry je potrebné umiestniť pri každej kontrole čerstvú vetvičku borovice alebo smreka s priemerom aspoň 5–7 mm (tenšie vetvičky tvrdoň nežerie, nakoľko sú celé porastené ihličím).
- Lapáciu kôru treba zaťažiť kameňom alebo iným ťažkým predmetom.
- Pri obrannom nasadení lapacích kôr odporúčame umiestniť kôry do radov vo vzdialenosti 10 m od seba. Jednotlivé rady odporúčame umiestniť v rozstupoch 10–20 m, to znamená 50 až 100 kôr na hektár. Pri tomto nasadení kôr by sa malo výrazne znížiť poškodenie sadeníc tvrdoňom.
- Odporúčame miesto kladenia lapacej kôry označiť výraznou farebnou značkou, najjednoduchšie na najbližšom pni. Toto nám uľahčí orientáciu pri kontrole lapacích kôr na ploche GALKO (2012).



Obr. 2 Správne pripravená lapacia kôra (Foto: Galko)

Fig. 2 Correctly arranged catch bark (Foto: Galko)

3.2 Uskladnenie imág tvrdoňa smrekového

Imága pre experiment boli odchytené z terénu v jarných mesiacoch roku 2013. Do začiatku pokusu (júl) boli uložené v chladničke pri stálej teplote 4 až 6 °C. Všetky

imága boli umiestnené vo veľkom boxe s pravidelným prísunom potravy (konáriky smreka a borovice).

3.3 Infikovanie a hodnotenie biologickej účinnosti entomopatogénnych húb na imága tvrdoňa smrekového

3.3.1 Infikovanie imág tvrdoňa smrekového

Pre experiment sme si vybrali 150 životaschopných imág tvrdoňa smrekového, roztriedených podľa pohlavia. Pomer pohlaví bol 1:1 t.j. 75 samčekov a 75 samičiek. Znakom na rozpoznanie pohlavia sú chlčky na poslednom článku na zadočku, pričom samička má chlčky rovné a samček ich má vykrútené do vonkajšej strany. Imága sme infikovali entomopatogénnymi hubami *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Isaria fumosorosea*, vytvorila sa aj kontrolná, neinfikovaná vzorka:

- kontrola – 0,05 % roztok zmáčadla Tween 80, 30 ks, 15 samčekov, 15 samičiek,
- *Beauveria bassiana* – suchá aplikácia 30 ks, 15 samčekov, 15 samičiek, koncentrácia spór $1,58 \times 10^7$ /mililiter,
- *Beauveria bassiana* – suspenzia 30 ks, 15 samčekov, 15 samičiek, koncentrácia spór $1,58 \times 10^7$ /mililiter,
- *Metarhizium anisopliae* – suchá aplikácia 30 ks, 15 samčekov, 15 samičiek, koncentrácia spór $1,58 \times 10^7$ /mililiter,
- *Isaria fumosorosea* – suchá aplikácia 30 ks, 15 samčekov, 15 samičiek, koncentrácia spór $1,58 \times 10^7$ /mililiter.

Tento experiment sa uskutočnil od 16. júla do 6. septembra 2013. Imága boli infikované suchým aj mokrým spôsobom. Po infikovaní boli imága umiestnené do Petriho misiek, kde mali potravu – borovicové konáriky dlhé 80 mm a priemer konárika okolo 6 milimetrov a pre udržanie vlhkosti tam boli 2 kusy navlhčenej buničiny. Petriho misky s imágami boli umiestnené do miestnosti, v ktorej teplota kolísala od 18–24 °C a vlhkosť bola okolo 50 %.

3.3.2 Hodnotenie biologickej účinnosti použitých prípravkov a hodnotenie žeru imág v Petriho miskách

Pre hodnotenie účinnosti prípravkov sme si vytvorili stupnicu (tab. 1). Imága sme kontrolovali každé tri dni, alebo keď vyšla kontrola na víkend, tak každý druhý, respektíve štvrtý deň.

Tab. 1 Hodnotenie biologickej účinnosti infekcie na imága tvrdoňa smrekového
 Tab. 1 Biological effectivity evaluation of the infection to pine weevil's adults

Stupnica pre hodnotenie (Rating scale):
1 – živý (live)
2 – mŕtvy, bez prerastania (dead, without overgrown)
3 – mŕtvy, prerastený do 1/3 (dead, overgrown to 1/3)
4 – mŕtvy, prerastený do 2/3 (dead, overgrown to 2/3)
5 – mŕtvy, prerastený viac ako 2/3 (dead, overgrown over 2/3)

Potrava v Petriho miskách bola dopĺňaná v pravidelných intervaloch 7–10 dní. Túto potravu sme evidovali, zmerali sme jej povrch (v mm²) a vyhodnotili sme veľkosť obhryzenej plochy. Výsledky sme vyhodnotili podľa druhu infekcie a v druhom experimente aj podľa pohlavia.

4. VÝSLEDKY A DISKUSIA

4.1. Účinnosť entomopatogénnych húb na mortalitu tvrdoňa smrekového

Pri vyhodnotení účinnosti jednotlivých druhov húb, vzhľadom na dosiahnutie mortality tvrdoňa smrekového, v daných podmienkach najlepšie výsledky dosiahla huba *Beauveria bassiana*, ktorú sme infikovali na imága suchou aplikáciou (tab. 2). Za šesť dní pri „suchej aplikácii“ spór uhynuli všetky samčie imága a za desať dní aj všetky samičie imága. Prerastenie imág hubou sme pozorovali od desiateho dňa od infekcie. Imága infikované „mokrou“ aplikáciou uhynuli pri samčom pohlaví za sedemnáť dní a u samičieho pohlavia za 28 dní.

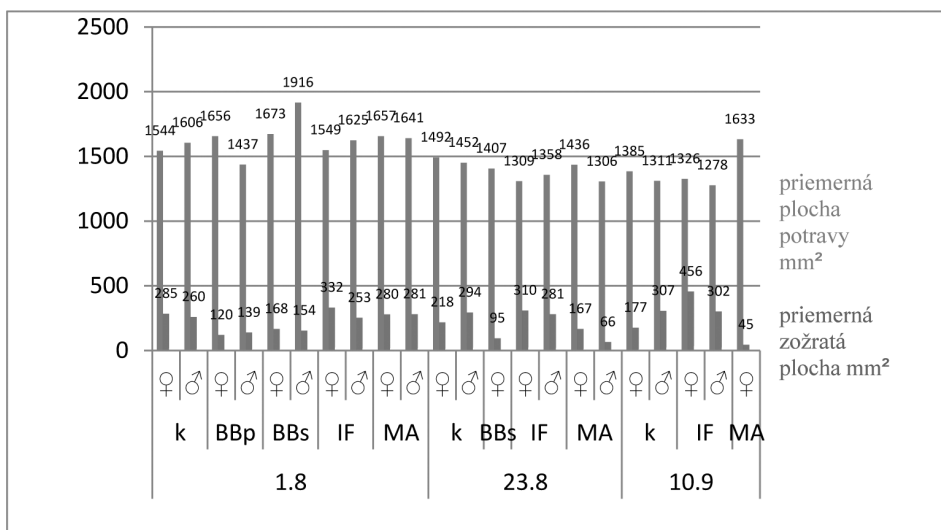
Hubou *Beauveria bassiana* sa zaoberalo množstvo autorov, z ktorých viacerí potvrdili jej patogénny účinok na rôznych druhoch hmyzu. MARKOVA, SIMSIANKOVA (1990) skúšali účinnosť na *Limania dispar*. DOBERSKI (1981) zistil, že huba *Beauveria bassiana* a *Metarhizium anisopliae* zabíjajú veľmi dobre imága *Scolytus scolytus*. Nedávno GUE-RRÍ-AGULLÓ a kol. (2010) preukázali, že „suché“ spóry huby *Beauveria bassiana* priľnú na kutikulu dospelého jedinca *Rhynchophorus ferrugineus* lepšie ako „mokré“ spóry.

Huba *Metarhizium anisopliae* v rámci pokusu zahubila všetky tvrdone až na 45. deň a prerastenie hubou sme pozorovali tiež až na 45. deň. Ale v tomto prípade došlo aj k infekcii hubou *Beauveria bassiana*. Infikovalo sa šesť samičiek a jeden samček. K tejto infekcii mohlo dôjsť tým, že všetky jedince boli v jednej miestnosti, alebo k tomu došlo pri výmene potravy. ANSARI, BUTT (2012), ktorí použili hubu *Metarhizium anisopliae*, na boj proti tvrdoňovi smrekovému, mali 100 %-nú úmrtnosť. Všetky imága im zahubila huba v priebehu dvanástich dní.

Huba *Isaria fumosorosea* nedosiahla dobrú účinnosť, keď usmrtila u samčiek iba jedného jedinca a len dve samičky. To, že táto huba na iné druhy účinkuje, potvrdili viacerí autori, ako napríklad PELL, VANDERBERG (2002), ktorí skúmali účinnosť tejto huby na voške *Diuraphis noxia*.

4.2. Vyhodnotenie prijímania potravy infikovaných imág tvrdoňa smrekového

Na obrázku č. 3 vidíme výsledky vyhodnotenia prijímania potravy tvrdoňom smrekovým. Zistili sme, že najlepšiu účinnosť na zníženie prijímania potravy mala huba *Beauveria bassiana*, ale to je spôsobené tým, že chrobáky infikované touto hubou nám uhynuli už po desiatich dňoch a my sme potravu menili po dvadsiatych dvoch dňoch. Je predpoklad, že keby sa dožili aj tvrdone pätnásť dní, tak by boli plôšky menšie ako pri kontrole. LALÍK (2013) tento náš predpoklad potvrdzuje chrobáky pri jeho experimente nemali takú úmrtnosť ako pri našom experimente, ale vyžraté plôšky oproti kontrole boli menšie. Huba *Metarhizium anisopliae* neovplyvnila veľkosť vyžratých plôšok pri pohlavnom žere. Pri našom experimente huba *Isaria fumosorosea* neovplyvňovala prijímanie potravy, ale naopak, ešte ho zvyšovala.



Obr. 3 Vyhodnotenie prijímania potravy infikovaných imág tvrdoňa smrekového

Fig. 3 Evaluation of food consuming by infected adults of pine weevil

Tab. 2 Úmrtnosť tvrdňov v závislosti od času pokusu, pohľavia a infekcie
 Tab. 2 Pine weevil's mortality depending on time, sex and infection

prípravok	pohľavie	dátum	19. 7	23. 7	26. 7	30. 7	2. 8	6. 8	9. 8	13. 8	16. 8	20. 8	23. 8	27. 8	30. 8	3. 9	6. 9
kontrola	♂	mŕtve/prerastené	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1/1 1i
	♀	mŕtve/prerastené	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1/0	1/1 1i
BBp	♂	mŕtve/prerastené	0	15/1	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15
	♀	mŕtve/prerastené	0	12/2	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15
BBs	♂	mŕtve/prerastené	0	0	5/2	14/12	15/14	15/14	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15
	♀	mŕtve/prerastené	0	0	2/1	10/7	13/9	14/11	14/12	15/14	15/14	15/14	15/14	15/14	15/14	15/15	15/15
MA	♂	mŕtve/prerastené	0	0	1/0	3/3	4/4	4/4	8/6	10/9 1i	11/10 1i	13/10 1i	14/13 1i	14/13 1i	15/15 1i	15/15 1i	15/15
	♀	mŕtve/prerastené	0	1/0	1/0	6/4 1i	8/4 3i	8/4 3i	9/7 1i	9/7 1i	12/11 3i	12/11 3i	14/14 4i	14/14 4i	15/15 6i	15/15 6i	15/15
IF	♂	mŕtve/prerastené	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1/1	1/1	1/1	1/1
	♀	mŕtve/prerastené	0	0	1/0	1/1	1/1	1/1	5/4	5/5	5/5 4i	5/5 4i	6/6 4i	6/6 4i	6/6 4i	6/6 4i	6/6 4i
		i – infekcia <i>Beauveria bassiana</i>															

Vysvetlivky: BBp – *Beauveria bassiana* v práškovej podobe (B. B. – powder form)
 BBs – *Beauveria bassiana* ako suspenzia (B. B – suspension)
 MA – *Metarhizium anisopliae*
 IF – *Isaria fumosorosea*

5. ZÁVER

Škody spôsobené činnosťou tvrdoňa smrekového vo viacerých európskych, no najmä v škandinávskych krajinách, ale aj na Slovensku, nás nútia zintenzívniť výskum v oblasti možných spôsobov ochrany semenáčikov a sadeníc proti tomuto škodcovi. Stav lesných porastov po veľkoplošných, ale aj rozlohou menších kalamiťach, vytvára vhodné podmienky na jeho rozšírenie a vznik významných škôd. Vzhľadom na obmedzené možnosti pre zabránenie vzniku vhodných podmienok pre jeho rozmnožovanie a šírenie, hľadajú sa možnosti aktívneho boja proti nemu. V tejto súvislosti sa ako jeden z najúčinnějších, a zároveň prírode blízkych, zdá byť biologický boj. Vyselektovaním z potenciálnych prirodzených nepriateľov tvrdoňa smrekového sa ako jedna z účinných možností javí možnosť využitia entomopatogénnych húb. Cieľom nášho výskumu bolo vyhodnotiť biologickú účinnosť troch druhov entomopatogénnych húb na imága tvrdoňa smrekového a vyhodnotiť prežívanie a prijímanie potravy infikovaných imág.

Práce v rámci aktuálneho výskumu boli realizované v laboratóriách Národného lesníckeho centra Zvolen, na pracovisku Lesníckej ochrannárskej služby v Banskej Štiavnici. Imága tvrdoňa smrekového na tento výskum sme v spolupráci s OZ Liptovský Hrádok (Lesy SR, š.p.) a Lesníckou ochrannárskou službou v Banskej Štiavnici získavali z pripravených lapacích kôr aj vďaka spolupráci s pracovníkmi lesnej správy Čierneho Váhu a lesnej správy Liptovská Teplička počas roku 2013.

Najlepšie výsledky pri vyhodnotení mortality a aj pri zhodnotení vplyvu na zrelosť žer tvrdoňa mala huba *Beauveria bassiana*. Dobrú účinnosť na mortalitu mala aj huba *Metarhizium anisopliae*, ale jej vplyv na znižovanie intenzity zrelosti žeru bol minimálny. Druh *Isaria fumosorosea* mal minimálny účinok na mortalitu tvrdoňa a jeho infekcia nemala žiadny vplyv na intenzitu zrelosti žeru.

Podakovanie

Práca vznikla v súvislosti s riešením projektu APVV-0744-12.

Zoznam použitej literatúry

- ANSARI, M. A., BUTT, T. M., 2012: Susceptibility of different developmental stages of large pine weevil *Hylobius abietis* (Coleoptera: Curculionidae) to entomopathogenic fungi and effect of fungal infection to adult weevils by formulation and application methods. Swansea University, 33–40.
- DOBERSKI, J. W., 1981. Comparative laboratory studies on three fungal pathogens of the elm bark beetle *Scolytus scolytus*: Pathogenicity of *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, and *Paecilomyces farinosus* to larvae and adults of *S. scolytus*. J. Invertebr. Pathol. 37, p. 188–194.
- GALKO, J. a kol.: Usmernenie ku kontrole, ochrane a obrane pred poškodením tvrdoňom smrekovým *Hylobius abietis* a lykokazmi rodu *Hylastes*. 2012 Lesnícky výskumný ústav, Zvolen, 2–7.
- GUERRI-AGULLÓ, B., GÓMEZ-VIDAL, S., ASENSIO, L., BARRANCO, P., LOPEZ-LLORCA, L. V., 2010: Infection of the red palm weevil (*Rhynchophorus ferrugineus*) by the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*: A SEM study. Microsc. Res. Tech. 73, p. 714–725.
- KŘISTEK, J., URBAN, J., 2004: Lesnícká entomologie 358–359 vyd. ACADEMIE 2004. ISBN 80-200-1052-1, 358–359.
- KUNCA, A., ZUBRIK, M., NOVOTNÝ, J., 2007: Škodlivé činitele lesných drevín a ochrana pred nimi. Národné lesnícke centrum, Zvolen 2007. s. 132–134.

- LALÍK, M., 2013: Vplyv vybraných entomopatogénnych húb na mortalitu tvrdého smrekového (*Hylobius abietis*). Bakalárska práca. TU vo Zvolene, 39–46.
- MARKOVA, G., SIMSIANAKOVA, A., 1990: Laboratory studies on the effect of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* on larvae of *Lymantria dispar*. Nauka za Gorata 27, p. 81–84.
- PELL, J. K., VANDENBERG, J. D., 2002: Interactions among the aphid *Diuraphis noxia*, the entomopathogenic fungus *Paecilomyces fumosoroseus* and the coccinellid *Hippodamia convergens*. Biocontrol Sci. Technol. 12, p. 217–224.
- <http://www.scientica.sk/documents//Aktualita%202020fin%20MK%209-5-2012.pdf> 30.3 2014 13:30
- <http://www.biocontrol.entomology.cornell.edu/pathogens/Metarhizium.html> 30.3 2014 13:20
- <http://www.doctorobregon.com/Pages/Pacilomycesfumosoroseus.aspx> 1.4 2014 9:41
-

Adresa autorov:

Bc. Michal Lalík

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

Masarykova 24, 960 53 Zvolen

Ing. Martin Pavlík, PhD.

Katedra ochrany lesa a poľovníctva

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

Masarykova 24

960 53 Zvolen

Biologická obrana proti imágam tvrdého smrekového (*Hylobius abietis* L.)

Abstrakt

Aktuálny výskum bol zameraný na štúdium reakcie dospelého jedinca tvrdého smrekového (*Hylobius abietis* L.) (Coleoptera: Curculionidae) na infekciu rôznych druhov entomopatogénnych húb (*Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Isaria fumosorosea*).

Základom práce bol popis morfológie, bionómie, ekológie tvrdého smrekového a zhodnotenie jeho významu v rámci lesného hospodárstva. Vlastný výskum bol založený na infekcii dospelých jedincov tvrdého smrekového spórmi jednotlivých druhov húb. Dôležitou časťou výskumu bolo pozorovanie intenzity prijímania potravy chrobákmi infikovanými rôznymi druhmi húb. Zásadným výsledkom je vyhodnotenie vplyvu entomopatogénnej huby na mortalitu tvrdého smrekového.

Najvýraznejší účinok na zníženie prijímania potravy mala huba *Beauveria bassiana*, huba *Metarhizium anisopliae* nemala na prijímanie potravy žiadny účinok a chrobáky infikované hubou *Isaria fumosorosea* mali ešte zvýšený príjem potravy.

Mortalitu tvrdého smrekového zvyšovala najvýraznejšie huba *Beauveria bassiana*, a dobrú účinnosť v tomto smere mala aj huba *Metarhizium anisopliae*. Huba *Isaria fumosorosea* nemala na mortalitu tvrdého smrekového skoro žiadny účinok.

Kľúčové slová: tvrdý smrekový, *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Isaria fumosorosea*, biologický boj

GENETICKÁ VARIABILITA POPULÁCIÍ V HYBRIDOGÉNNOM KOMPLEXE *ABIES* *ALBA* – *A. BORISII-REGIS* – *A. CEPHALONICA*

Michaela VOLEKOVÁ

Voleková, M.: Genetic Variability in Populations of Hybridogenous Complex *Abies alba* – *A. borisii-regis* – *A. cephalonica*. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 56, Suppl. 1, 2013, 17–27.

Analyzed hybridogenous complex occurs in southern Balkans. It consists of parapatric taxons *Abies alba* Mill., *A. cephalonica* Loud. and *A. borisii-regis* Mattf. which are able to hybridize naturally. It is difficult to differentiate these taxons according to their morphological traits. Eighteen fir populations of the hybridogenous complex were analyzed using mitochondrial marker *nad 5–4*. The result is the geographical distribution of maternally inherited mitochondrial DNA haplotypes. Two haplotypes were found in the studied populations; in *A. alba* populations from Bulgaria, Macedonia and Greece only the 150 bp haplotype was revealed, whereas in *A. cephalonica* population from Greece the 341 bp one. All populations of *A. borisii-regis* originate in Greece. The northern *A. borisii-regis* populations show only the *A. alba* haplotype. The southern populations show a low rate of the *A. alba* haplotype and the haplotype of *A. cephalonica*. Geographical distribution of haplotypes in *A. borisii-regis* populations is quite strict. It indicates a hybrid zone with extremely narrow cline along the latitudinal gradient. The center of the cline is located at 39°07'N, its width represents only 31 km. *A. borisii-regis* is probably the species of a hybrid origin from recent hybridization of its parental species *A. alba* and *A. cephalonica*. *A. borisii-regis* creates a hybrid swarm in the contact zone of the parental species.

Key words: *Abies alba* Mill., *Abies cephalonica* Loud., *Abies borisii-regis* Mattf., mitochondrial DNA, hybrid origin

ÚVOD

Ihličnany rodu *Abies* sú dôležitou súčasťou európskych ekosystémov. Prispievajú k ich stabilite, sú na ne viazané mnohé zložky prírodného prostredia. Sú tiež pestované pre ich ekonomický význam. Dôležitosť jedlí z ekologického a ekonomického hľadiska je známa, ich pôvod však doposiaľ nebol úplne objasnený.

Rod *Abies* je v porovnaní s ostatnými rodmi čeľade Pinaceae druhým najväčším z hľadiska počtu taxónov (XIANG et al. 2009). FARJON (2010) uvádza 59 druhov rozdelených do dvoch podrodov a 14 sekcií. Ich areály prirodzeného rozšírenia sa rozprestierajú na severnej pologuli v subarktickom, miernom a subtropickom pásme v Európe, Ázii, Severnej Amerike a v Severnej Afrike. Je známe, že v rámci rodu *Abies* je možné umelé kríženie aj prirodzená hybridizácia medzi príbuznými druhmi. Klasifikácia v rámci rodu je preto zložitá a nejasná.

Stredomorské druhy jedlí sú geneticky blízko príbuzné. Je medzi ne zaradovaný náš pôvodný druh *Abies alba* Mill., tiež druhy *A. cephalonica* Loud. a *A. borisii-regis* Mattf. Na Balkánskom polostrove susedia ich areály rozšírenia. KLAHN, WINIESKI (1962) uvádzajú, že spomedzi druhov rodu *Abies* sú druhy stredomorskej oblasti obzvlášť náchylné na hybridizáciu. Pôvod druhu *A. borisii-regis* je sporný. Z hľadiska morfológie má veľa prechodných znakov medzi druhmi *A. alba* a *A. cephalonica* (KLAHN, WINIESKI 1962). Po prvýkrát bol druh objavený v roku 1883, vedecký názov však pripomína cára Borisa III. (AUDERS, SPICER 2012), ktorý vládol v čase, keď bola jedľa *A. borisii-regis* v roku 1925 popísaná Mattfeldom. Ten študoval morfológické odchýlky balkánskych jedlí a zistil, že niektoré populácie *A. alba* z pohoria Rodopy v Bulharsku boli vlastne populáciami *A. borisii-regis* (FADY et al. 1992).

O pôvode *A. borisii-regis* boli vyslovené tri hypotézy (SCALTSOYIANNES et al. 1999): 1. *A. borisii-regis* možno považovať za fylogeneticky starú genetickú líniu v rámci rodu *Abies*, ktorá sa po ľadovej dobe geneticky rozdelila na dva druhy s výskytom *A. alba* na severe a *A. cephalonica* na juhu; 2. *A. borisii-regis* možno považovať za samostatný taxón paralelného pôvodu s *A. alba* a *A. cephalonica*; 3. *A. borisii-regis* reprezentuje výsledky dávneho kríženia medzi *A. alba* a *A. cephalonica*. Tretia hypotéza je prijímaná najčastejšie, avšak názory na vznik *A. borisii-regis* sa u odlišných autorov značne rôznia.

LIU (1971) uvádza výskyt hybridov medzi druhmi *A. alba* a *A. cephalonica*, ktoré sa vyskytujú od vrchu Oxya v strednom Grécku po hranice Grécka s Macedónskom a Bulharskom (SCALTSOYIANNES et al. 1999). ZIEGENHAGEN et al. (2005) uvádzajú, že sa medzi druhmi *A. alba* a *A. cephalonica* vyskytlo kríženie, pretože preukázali, že niektoré stromy morfológicky popísané ako *A. cephalonica* sú materskými potomkami *A. alba*, ktoré pravdepodobne získali opakovaným spätným krížením fenotyp *A. cephalonica*. PANGAN (1999) uvádza, že *A. borisii-regis* je spontánnym krížencom *A. alba* × *A. cephalonica*.

Postupné ochladzovanie svetovej klímy počas pliocénu vyústilo do kvartérneho striedania glaciálov a interglaciálov. Predpokladom vzniku hybridov je kontakt medzi jednotlivými druhmi. Je pravdepodobné, že k nemu došlo počas striedania ľadových dôb, kedy pevninský ľadovec vytlačal vegetáciu do južnejších oblastí. Ustavičné klimatické zmeny viedli k opakovanej fragmentácii a izolácii populácií jedlí, následkom mohla byť diverzifikácia a vznik nových druhov (LIEPELT et al. 2010). Migrácii drevín smerom na juh v Európe, na rozdiel od Severnej Ameriky alebo Ázie, bránili pohoria (FARJON 2008). Určitým druhom sa podarilo uniknúť do refúgií, ale Európa sa z pravdepodobne počas treťohôr na ihličnany najbohatšej oblasti mierneho pásma stala najchudobnejšou (FARJON 2008). Druhy, ktoré sa uchýlili do oblasti Stredozemného mora tu našli svoje refúgiá alebo sa vyvinuli a adaptovali na miestne podmienky (FARJON 2008).

Pri presune *A. alba* južným smerom a do nižších nadmorských výšok bol druh v rámci Európy rozdelený do viacerých izolovaných refúgií. LIEPELT et al. (2009) uvádzajú, že jedno glaciálne refúgium *A. alba* sa vyskytovalo na juhu alebo juhovýchode Balkánskeho polostrova, zavádzajú zároveň novú hypotézu o severobalkánskom resp. západobalkánskom refúgiu, pre jej potvrdenie sú potrebné ďalšie genetické a fosílné dáta. TERHÜRNEBERSON et al. (2004) na základe fosílnych nálezov uvádzajú výskyt refúgií jedle bielej v južnom Taliansku, Grécku, Pyrenejách a potenciálne v juhovýchodnom Francúzku

a severozápadnom Taliansku. Z dôvodu nedostatku fosílnych záznamov doposiaľ nebola poloha refúgia v oblasti Balkánu presne určená (LIEPELT et al. 2009).

LIEPELT et al. (2010) uvádzajú, že jednoznačne došlo k sekundárnemu kontaktu druhov *A. alba*, *A. cephalonica* a *A. borisii-regis* po ich speciácii, ale nie je preukázané, či k výmene genetickej informácie došlo medzi dvoma alebo tromi druhmi, a teda existuje možnosť, že sa jedná o tri druhy, ktoré sa vyskytujú v tesnej blízkosti.

Genetické vzťahy medzi druhmi sú kľúčovým faktorom poskytujúcim informácie o mozgnej prirodzenej klasifikácii (FARJON 2008). Štúdium genetických a evolučných následkov udalostí, ktoré spôsobili značnú variabilitu morfológických znakov jedlí, umožňujú genetické markéry. Jedle, ako aj ostatné ihličnany čeľade Pinaceae, preukazujú uniparentálnu dedičnosť genómov organel, pri ktorej je celý genóm organely (mitochondriálna a chloroplastová DNA) prenesený ako haploidný klon bez rekombinácie. Genetické markéry mtDNA reprezentujú materské línie, pretože sú rozširované výhradne semenami, čo zjednodušuje štúdium toku génov prostredníctvom semien (LIEPELT et al. 2009, LIEPELT et al. 2010).

Cieľom práce je objasniť geografické rozmiestnenie genetických línií v rámci hybridogénneho komplexu *A. alba* – *A. borisii-regis* – *A. cephalonica* na juhu Balkánskeho polostrova na základe rozdelenia maternálne dedených haplotypov mtDNA a prispieť k overeniu hypotézy o hybridogennom pôvode druhu *A. borisii-regis*.

MATERIÁL A METÓDY

Vzorky rastlinného materiálu pochádzali z celkom 18 mediteránnych populácií jedle z južného Balkánu (tab. 1). Pretože hranica výskytu *A. borisii-regis* je nejasná, bolo 10 populácií z Bulharska, 2 populácie z Macedónska a 1 populácia z Grécka zaradených k *A. alba*. Štyri populácie zo stredného Grécka boli zaradené k *A. borisii-regis* a 1 populácia z južného Grécka (Peloponéz) k *A. cephalonica*. Z každej populácie bolo analyzovaných približne 30 jedincov. Jednoročné konáriky boli odobierané z dospelých stromov do papierových vrecúšok, bezprostredne po odbere boli vysušené v silikagéli a takto skladované až do izolácie DNA.

Tab. 1: Zoznam skúmaných populácií

Tab. 1: List of studied populations

Číslo	Druh	Pôvod	Názov	Zemepisná šírka	Zemepisná dĺžka
1	<i>A. cephalonica</i>	GR	Vytina	37°40'	22°10'
2	<i>A. borisii-regis</i>	GR	Tymfristos	38°54'	21°54'
3	<i>A. borisii-regis</i>	GR	Rentina	39°03'	21°58'
4	<i>A. borisii-regis</i>	GR	Pertouli	39°33'	21°29'
5	<i>A. borisii-regis</i>	GR	Anilio	39°45'	21°10'
6	<i>A. alba</i>	GR	Olympus	40°11'	22°16'
7	<i>A. alba</i>	MK	Pelister	41°03'	21°06'

Tab. 1: Zoznam skúmaných populácií – pokračovanie
 Tab. 1: List of studied populations – continued

Číslo	Druh	Pôvod	Názov	Zemepisná šírka	Zemepisná dĺžka
7	<i>A. alba</i>	MK	Pelister	41°03′	21°06′
8	<i>A. alba</i>	BG	Kirkovo	41°17′	25°22′
9	<i>A. alba</i>	BG	Slavjanka	41°25′	23°38′
10	<i>A. alba</i>	BG	Trigrad	41°35′	24°22′
11	<i>A. alba</i>	BG	Pamporovo	41°39′	24°41′
12	<i>A. alba</i>	MK	Mavrovo	41°42′	20°48′
13	<i>A. alba</i>	BG	Devin	41°44′	24°23′
14	<i>A. alba</i>	BG	Bansko	41°48′	23°27′
15	<i>A. alba</i>	BG	Jundola	42°03′	23°51′
16	<i>A. alba</i>	BG	Rilski monastir	42°07′	23°20′
17	<i>A. alba</i>	BG	Borovec	42°15′	23°36′
18	<i>A. alba</i>	BG	Ribaritsa	42°49′	24°20′

GR = Grécko; MK = Ma cedónsko; BG = Bulharsko.

Na extrakciu DNA bola použitá upravená metóda podľa DOYLEA, DOYLEA (1987). Rastlinný materiál v podobe dvoch až troch usušených ihlíc bol vložený do 1,5 ml mikroskúmaviek. Po pridaní volfrámovej guličky boli ihlice pomocou nej rozdrvené vo vi-bračnom mlyne. Následne bolo pridaných 1000 µl extrakčného roztoku 2× CTAB (2 % CTAB, 1,4 M NaCl, 20 mM EDTA II, 100 mM Tris-HCl (pH 0,8), 1 % PVP-40T, 0,2 % β-merkaptotanol) predhriateho na 65 °C a zmes sa zahrievala v termomixéri pri teplote 65 °C po dobu 30 minút. Po zahrievaní bolo potrebné ponechať zmes vychladnúť na izbovú teplotu. Následne bolo pridaných 200 µl „mokrého“ chloroformu (24 dielov chloroformu, 1 diel oktan-1-olu). Zmes bola centrifugovaná 2 minúty pri 15 000 ot.min⁻¹. V skúmavkách vznikli dve fázy, vrchná vodná fáza bola odpipetovaná do nových skúmaviek. Do hornej fázy bolo ďalej pridaných 600 µl izopropylalkoholu s teplotou -24 °C. Po premiešaní boli skúmavky vložené na 30 minút do mraziaceho boxu, kde komplex nukleových kyselín a CTAB vytvoril zrazeninu. Po následnom dvojminútovom centrifugovaní pri 15 000 ot.min⁻¹ sa tekutý obsah skúmaviek (supernatant) odstránil vyliatím a odparením jeho zvyšnej časti. Bol pridaný 1 ml premývacieho pufru (76 % etanol, 10 mM octan amónny), obsah skúmaviek sa premiešal a skúmavky boli uložené na 60 minút do chladničky. Skúmavky boli ďalej centrifugované 2 minúty pri 15 000 ot.min⁻¹, supernatant sa opäť vylial a zvyšný sa nechal odpariť. K zrazenine nukleovej kyseliny bolo pridaných 100 µl TE pufru (10 mM Tris-HCl (pH 7,4), 1 mM EDTA II) a vzorky sa pri izbovej teplote ponechali odstáť 2 hodiny. Po pridaní TE môžu byť vzorky skladované pri teplote 4 °C do jedného mesiaca, dlhodobo je možné ich skladovať pri teplote -20 °C.

PCR bola vykonaná podľa upraveného postupu LIEPELTA et al. (2002). PCR reakčná zmes (tab. 2) obsahovala *Taq* DNA polymerázu, PCR pufor, MgCl₂, BSA (Bovine serum albumin), každý zo štyroch dNTP (deoxyribonukleozid-trifosfáty dATP, dCTP, dGTP, dTTP) a priamy a reverzný primer. Sekvencie použitých primerov sú 5'-GGACAATGACGATCCGAGATA-3' a 5'-CATCCCTCCCATTGCATTAT-3' (LIEPELT et al. 2002). Reakčná zmes bola v skúmavkách uložená do termocykléru. Iniciálna denaturácia prebiehala počas 15 minút pri 94 °C, nasledovalo 30 cyklov denaturácie (30 s pri 94 °C), annealingu (1 min pri 52,5 °C) a predĺžovacej fázy (80 s pri 72 °C). Záverečná predĺžovacia fáza mala dĺžku 8 min pri 72 °C.

Tab. 2: Zloženie PCR reakčnej zmesi

Tab. 2: Components of PCR reaction mixture

Zložky	Koncentrácia zásobných roztokov	Použité množstvo [μl]
DNA	50 μg/μl	1,00
<i>Taq</i> DNA polymeráza	5 U/μl	0,06
PCR pufor	10 X	1,00
MgCl ₂	50 mM	0,30
BSA	8 μg/μl	1,00
dTNP	10 mM	0,20
Primery <i>nad 5–4</i>	10 μM	0,20
H ₂ O		6,240

Pre vykonanie elektroforézy bol pripravený 2 % agarózový gél, ktorý pozostával z 5 g práškovej agarózy doplnených do 250 ml pufrom 0,5× TBE (10× TBE: 216 g Tris, 110 g kyselina boritá, 18,6 g EDTA, doplnené vodou do 2000 ml; 0,5× TBE: 0,5 ml 10× TBE doplnené vodou do 100 ml). Agarózový gél bol varený v mikrovlnnej rúre, následne bolo potrebné ho ochladiť a vyliat' do pripravenej vaničky s hrebeňom pre horizontálnu agarózovú elektroforézu. Po jeho stuhnutí a odstránení hrebeňa bola vanička vložená do elektroforetického zariadenia a zaliate 0,5× TBE. Do otvorov po hrebeni bolo podľa hrúbky použitého hrebeňa pipetovaných 3,5 μl alebo 5 μl PCR produktu zmiešaných s 1,5 μl dvojzložkového farbiva (10 mM NaOH, 0,25 % brómfenolová modrá, 0,25 % xylén etanol FF) s prídavkom farbiva GelRed pre zobrazenie DNA pri UV žiarení. Ako rebrík bol použitý 50 bp DNA Ladder od spoločnosti SBS pozostávajúci z ôsmich fragmentov DNA s dĺžkou 100–500 bp v intervale po 50 bp. Napätie bolo nastavené na 120 V (70 mA), migrácia prebiehala približne 40 min, na záver bol gél presvietený pomocou UV žiarenia na transiluminátore.

Fragment, ktorý bol amplifikovaný pomocou PCR má názov *nad 5–4* (LIEPELT et al. 2002), je umiestnený vo štvrtom intróne v podjednotke 5 mitochondriálnej NADH-dehydrogenázy. *A. alba* a *A. cephalonica* sa líšia v jeho dĺžke. Na základe rozdielu počtu báz fragmentov jednotlivých druhov bolo možné ich rozlíšiť pomocou elektroforézy. Následne bolo geografické rozdelenie haplotypov zobrazené pomocou softvéru ArcView 3.2.

Vzhľadom na postupnú zmenu frekvencií haplotypov pozdĺž gradientu zemepisnej šírky bola pre odhad pozície a šírky hybridnej zóny použitá metodika podľa SZYMURU, BARTONA (1986). Frekvencie haplotypov boli vyrovnané sigmoidnou funkciou (1) metódou najmenších štvorcov, kde d predstavuje vzdialenosť populácie od stredu hybridnej zóny ($stred$) a šírka predstavuje šírku hybridnej zóny. Pre výpočty bol použitý k tomu navrhnutý QuickBASIC program (GÖMÖRY et al. 2012).

$$p = \left[0,5 + \tanh \left(\frac{d - stred}{šírka} \right) \right] \quad (1)$$

VÝSLEDKY

Analýzou mtDNA markéra *nad 5–4* v 18 populáciách troch mediteránnych druhov jedlí Balkánskeho polostrova boli zistené dva haplotypy s rôznym počtom básových párov. Prvý s dĺžkou 150 bp bol identifikovaný v štúdií LIEPELT et al. (2002), druhý s dĺžkou 341 bp identifikovali ZIEGENHAGEN et al. (2005).

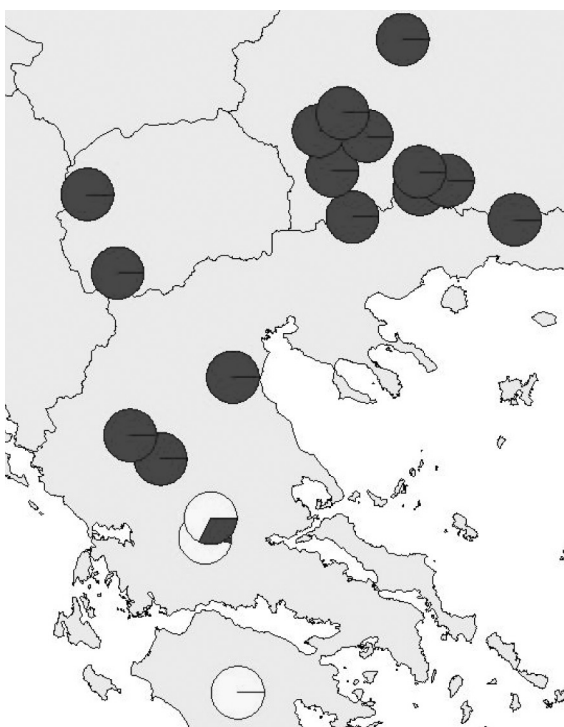
Bulharské a macedónske populácie *A. alba* a populácia Olympus, rovnako zaradená k *A. alba*, obsahovali výlučne haplotyp s menším počtom básových párov. Naopak populácia Vytina z Peloponézskeho polostrova druhu *A. cephalonica* obsahovala iba haplotyp s väčším počtom básových párov. V populáciách zaradených k *A. borisii-regis* sa vyskytovali oba haplotypy. V severne lokalizovaných populáciách Tymfristos a Rentina bol zistený haplotyp typický pre *A. alba*. V južných populáciách *A. borisii-regis* sa vyskytli oba haplotypy, ale s podstatne vyššou frekvenciou haplotypu typického pre *A. cephalonica* (tab. 3, obr. 1). Geografické rozdelenie jednotlivých haplotypov v populáciách *A. borisii-regis* je teda pomerne striktné, naznačuje existenciu hybridnej zóny s veľmi úzkym klinálnym prechodom v smere gradientu zemepisnej šírky (obr. 2). Vyrovnanie haplotypových frekvencií sigmoidnou funkciou naznačuje, že stred klinálneho prechodu je lokalizovaný na 39°07' s. š. a jeho šírka 17' predstavujúcich 31 km je veľmi malá.

Tab. 3: Haplotypy skúmaných populácií
Tab. 3: Haplotypes of studied populations

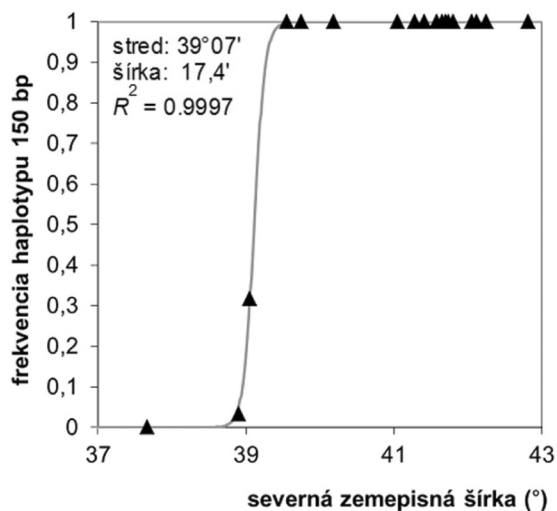
Číslo	Druh	Názov	Haplotyp 1	Haplotyp 2
1	<i>A. cephalonica</i>	Vytina	0	30
2	<i>A. borisii-regis</i>	Tymfristos	1	29
3	<i>A. borisii-regis</i>	Rentina	7	15
4	<i>A. borisii-regis</i>	Pertouli	30	0
5	<i>A. borisii-regis</i>	Anilio	30	0
6	<i>A. alba</i>	Olympus	30	0
7	<i>A. alba</i>	Pelister	30	0
8	<i>A. alba</i>	Kirkovo	30	0

Tab. 3: Haplotypy skúmaných populácií – pokračovanie
 Tab. 3: Haplotypes of studied populations – continued

Číslo	Druh	Názov	Haplotyp 1	Haplotyp 2
9	<i>A. alba</i>	Slavjanka	30	0
10	<i>A. alba</i>	Trigrad	30	0
11	<i>A. alba</i>	Pamporovo	30	0
12	<i>A. alba</i>	Mavrovo	30	0
13	<i>A. alba</i>	Devin	30	0
14	<i>A. alba</i>	Bansko	30	0
15	<i>A. alba</i>	Jundola	30	0
16	<i>A. alba</i>	Rilski monastir	30	0
17	<i>A. alba</i>	Borovec	30	0
18	<i>A. alba</i>	Ribaritsa	30	0



Obr. 1: Mapa rozmiestnenia haplotypov skúmaných populácií
 Fig. 1: Map of haplotypic distribution of studied populations



Obr. 2: Rozdelenie frekvencií haplotypov podľa zemepisnej šírky a ich vyrovnanie sigmoidnou funkciou

Fig. 2: The distribution of haplotypic diversity along the latitudinal gradient modeled using the sigmoid function

DISKUSIA

Na základe tvrdení mnohých autorov možno konštatovať, že medzi mediteránnymi druhmi jedlí sa vyskytujú slabé reprodukčné bariéry, preto je možné ich umelé kríženie, zároveň možno predpokladať aj ich spontánnu hybridizáciu. Predpokladom prirodzeného kríženia je kontakt populácií, ku ktorému mohlo dôjsť počas ľadových dôb, kedy druhy zdieľali svoje areály rozšírenia v glaciálnych refúgiách. Ku kontaktu medzi druhmi *A. alba* a *A. cephalonica* dochádza dodnes, pretože sa nachádzajú v parapatrickej situácii. Areál rozšírenia *A. borisii-regis* pokrýva ich kontaktnú zónu. SCALTSOYIANNES et al. (1999) uvádzajú tri najčastejšie hypotézy o pôvode *A. borisii-regis*.

Podľa prvej z hypotéz možno považovať daný druh za predchodcu súčasných druhov *A. alba* a *A. cephalonica*, ktorého výskyt v oblasti pretrval až do súčasnosti. V prípade správnosti tejto hypotézy by na základe rozdelenia haplotypov mtDNA skúmaných populácií mali byť jednotlivé haplotypy v populáciách *A. borisii-regis* rozmiestnené rovnomerne alebo náhodne.

Druhá z hypotéz považuje *A. borisii-regis* za samostatný taxón paralelného pôvodu s druhmi *A. alba* a *A. cephalonica*. Ak by bola táto hypotéza správna, mala by *A. borisii-regis* preukazovať samostatný haplotyp, ale podľa výsledkov obsahuje haplotypy druhov *A. alba* a *A. cephalonica*.

Podľa tretej z hypotéz, ktorá je rôznymi autormi uznávaná najviac, je pôvod druhu *A. borisii-regis* výsledkom dávnej hybridizácie jeho dvoch rodičovských druhov. K jeho

vzniku došlo na základe sekundárneho kontaktu a priamych genetických výmen medzi druhmi *A. alba* a *A. cephalonica* v dávnej minulosti. Zistené geografické rozdelenie haplotypov nenasvedčuje úplnú správnosť ani poslednej z hypotéz, pretože haplotypy *A. alba* a *A. cephalonica* by mali byť v populáciách *A. borisii-regis* rozdelené rovnomerne.

Zistené výsledky sa najviac približujú tretej hypotéze. Ak je *A. borisii-regis* recentný hybrid vyskytujúci sa na styku areálov dvoch parapatrických rodičovských druhov, možno očakávať postupný prechod alebo ostrú hranicu rozdelenia maternálnych línií. Výsledky preukazujú druhý prípad. Hranica medzi mitochondriálnymi haplotypmi je lokalizovaná okolo 39°07's.š., pričom severné populácie *A. borisii-regis* obsahujú výlučne haplotyp *A. alba*, južné populácie obsahujú nízky podiel tohto haplotypu. Tieto výsledky plne potvrdzujú obmedzený rozsah toku génov migráciou semien ponad hranicu stretu migračných prúdov pozorovaný v karpatských populáciách *A. alba* (GÖMÖRY et al. 2004, 2012).

Z dôvodu jednoznačného výskytu haplotypu *A. alba* v severných populáciách *A. borisii-regis* a haplotypu *A. cephalonica* v južných populáciách možno predpokladať, že hybridný druh *A. borisii-regis* tvorí hybridný roj, ktorého pôvod nesiaha do poslednej ľadovej doby ako sa pôvodne predpokladalo, ale vznikol v neskoršom období. Definitívne potvrdenie tejto hypotézy si však vyžaduje analýzu jadrových markérov. Pokiaľ by sa potvrdil výskyt dvoch typov genofondu v populáciách jedlí južného Balkánu a postupný prechod ich frekvencií od čistej *A. cephalonica* cez *A. borisii-regis* k *A. alba*, bol by to silný argument v prospech hypotézy introgresie ako mechanizmu vzniku *A. borisii-regis*.

ZÁVER

Na základe rozdelenia maternálne dedených haplotypov mtDNA bol objasnený výskyt a geografické rozmiestnenie genetických línií hybridogénneho komplexu *A. alba* – *A. borisii-regis* – *A. cephalonica*. Haplotyp *A. alba* sa vyskytuje v severných populáciách *A. borisii-regis*, južné populácie preukazujú zmes haplotypov s výraznou prevahou haplotypu druhu *A. cephalonica*. Výsledky potvrdzujú hybridogénny pôvod druhu *A. borisii-regis*. Podľa analýzy genetického markéra mtDNA *nad 5–4* sa nepotvrdila úplná pravdivosť doposiaľ uznávaných hypotéz o pôvode hybridného druhu *A. borisii-regis*. Na základe výsledkov možno predpokladať, že *A. borisii-regis* tvorí hybridný roj recentného pôvodu, pre definitívne potvrdenie je potrebné vykonať analýzu jadrových markérov.

Druh *A. borisii-regis* v súčasnosti rastie v klimatických podmienkach, ktoré zodpovedajú budúcim podmienkam, aké majú postupne v strednej Európe nastať vplyvom klimatických zmien sprevádzajúcich globálne otepľovanie. Pokiaľ by sa ukázalo, že náš pôvodný druh *A. alba* sa nedokáže meniacim sa podmienkam prostredia prispôbiť, možno uvažovať o medzidruhovej hybridizácii či introdukcii hybridného druhu do našich lesov ako o riešení tohto problému (GREGUSS et al. 1994), avšak iba v okrajových oblastiach s obmedzeným genofondom a veľmi zhoršenými ekologickými podmienkami, kde by mohlo medzidruhové kríženie pomôcť vytvoriť nové adaptované genotypy (WOLF 2003).

Pod'akovanie

Príspevok vznikol v rámci riešenia vedeckého projektu SK-BG-0029-10 (Agentúra na podporu výskumu a vývoja).

Zoznam použitej literatúry

- AUDERS, A. G. – SPICER, D. P. 2012. *Royal Horticultural Society Encyclopedia of Conifers: a Comprehensive Guide to Cultivars and Species, Volume I*. Nicosia: Kingsblue Publishing, 2012. 780 s. ISBN 978-1-90705-715-1.
- DOYLE, J. J. – DOYLE, J. L. 1987. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. In *Phytochemical Bulletin*. 1987, roč. 19, č. 1, s. 11–15.
- FADY, B. – ARBEZ, M. – MARPEAU, A. 1992. Geographic variability of terpene composition in *Abies cephalonica* Loudon and *Abies* species around the Aegean: hypotheses for their possible phylogeny from the Miocene. In *Trees*. ISSN 1432-2285, 1992, roč. 6, č. 3, s. 162–171.
- FARJON, A. 2008. *A natural history of conifers*. Portland: Timber Press, 2008. 304 s. ISBN 978-0-88192-869-3.
- FARJON, A. 2010. *A handbook of the world's conifers*. Leiden: Brill Academic Publishers, 2010. 1112 s. ISBN 978-9004177185.
- GÖMÖRY, D. – LONGAUER, R. – LIEPELT, S. – BALLIAN, D. – BRUS, R. – KRAIGHER, H. – PARPAN, V. I. – PARPAN, T. V. – PAULE, L. – STUPAR, V. I. – ZIEGENHAGEN, B. 2004. Variation patterns of mitochondrial DNA of *Abies alba* Mill. in suture zones of postglacial migration in Europe. In *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*. ISSN 0001-6977, 2004, roč. 73, č. 3, s. 203–206.
- GÖMÖRY, D. – PAULE, L. – KRAJMEROVÁ, D. – ROMŠÁKOVÁ, I. – LONGAUER, R. 2012. Admixture of genetic lineages of different glacial origin: a case study of *Abies alba* Mill. in the Carpathians. In *Plant Systematics and Evolution*. ISSN 0378-2697, 2012, roč. 298, č. 4, s. 703–712.
- GREGUSS, L. – LONGAUER, R. – KRAJNÁKOVÁ, J. 1994. Progress in the breeding program of specific hybridization of firs. In *EDER, W. (ed.): Ergebnisse des 7. IUFRO-Tannensymposiums der WP S. 1.01-08 „Ökologie und Waldbau der Weisstanne“*. s. 144–153.
- KLAHN, F. U. – WINIESKI, J. A. 1962. Interspecific hybridization in the genus *Abies*. In *Silvae Genetica*. 1962, roč. 11, č. 5/6, s. 130–142.
- KORMUŤÁK, A. 1985. *Study on species hybridization within the genus Abies*. Bratislava: Veda, 1985. 128 s.
- LIEPELT, S. – BIALOZYT, R. – ZIEGENHAGEN, B. 2002. Wind-dispersed pollen mediates postglacial gene flow among refugia. In *Proceedings of the National Academy of Science*. ISSN 0027-8424, 2002, roč. 99, č. 22, s. 14590–14594.
- LIEPELT, S. – CHEDDADI, R. – DE BEAULIEU, J.-L. – FADY, B. – GÖMÖRY, D. – HUSSENDÖRFER, E. – KONNERT, M. – LITT, T. – LONGAUER, R. – TERHÜRNE-BERSON, R. – ZIEGENHAGEN, B. 2009. Postglacial range expansion and its genetic imprints in *Abies alba* (Mill.) — A synthesis from palaeobotanic and genetic data. In *Review of Palaeobotany and Palynology*. ISSN 0034-6667, 2009, roč. 153, č. 1–2, s. 139–149.
- LIEPELT, S. – MAYLAND-QUELLHORST, E. – LAHME, M. – ZIEGENHAGEN, B. 2010. Contrasting geographical patterns of ancient and modern genetic lineages in Mediterranean *Abies* species. In *Plant Systematics and Evolution*. ISSN 1615-6110, 2010, roč. 284, č. 3–4, s. 141–151.
- LIU, T. S. 1971. *A monograph of the genus Abies*. Taipei: National Taiwan University 1971. 608 s.
- PAGAN, J. 1999. *Lesnícka dendrológia*. 2. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 1999. 378 s. ISBN 80-228-0821-0.
- SCALTSOYIANNES, A. – TSAKTSIRA, M. – DROUZAS, A. D. 1999. Allozyme differentiation in the Mediterranean firs (*Abies*, *Pinaceae*). A first comparative study with phylogenetic implications. In *Plant Systematics and Evolution*. ISSN 1615-6110, 1999, roč. 216, č. 3–4, s. 289–307.
- SZYMURA, J. M. – BARTON, N. H. 1986. Genetic analysis of a hybrid zone between the fire-bellied toads, *Bombina bombina* and *B. variegata*, near Cracow in southern Poland. In *Evolution*. ISSN 0014-3820, 1986, roč. 40, č. 6, s. 1141–1159.
- TERHÜRNE-BERSON, R. – LITT, T. – CHEDDADI, R. 2004. The spread of *Abies* throughout Europe since the last glacial period: combined macrofossil and pollen data. In *Vegetation History and Archaeobotany*. ISSN 1617-6278, 2004, roč. 13, č. 4, s. 257–268.

- WOLF, H. 2003. *EUFORGEN Technical guidelines for genetic conservation and use for silver fir (Abies alba)*. Rome: International plant genetic resources institute, 2003. 6 s. ISBN 92-9043-607-7.
- XIANG, Q.-P. – XIANG, Q.-Y. – GUO, Y.-Y. – ZHANG, X.-CH. 2009. Phylogeny of *Abies* (Pinaceae) inferred from nrITS sequence data. In *Taxon*. ISSN 0040-0262, 2009, roč. 58, č. 1, s. 141–152.
- ZIEGENHAGEN, B. – FADY, B. – KUHLENKAMP, V. – LIEPELT, S. 2005. Differentiating groups of *Abies* species with a simple molecular marker. In *Silvae Genetica*. ISSN 0037-5349, 2005, roč. 54, č. 3, s. 123–126.
-

Adresa autora:

Bc. Michaela Voleková

Katedra fytológie

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

Masarykova 24

960 53 Zvolen

Slovenská republika

e-mail: michaela.volekova@gmail.com

Genetická variabilita populácií v hybridogénnom komplexe

Abies alba* – *A. borisii-regis* – *A. cephalonica

Abstrakt

Analýzovaný hybridogénny komplex vyskytujúci sa v južnej časti Balkánskeho polostrova pozostáva z parapatrických taxónov *Abies alba* Mill., *A. cephalonica* Loud. a *A. borisii-regis* Mattf., medzi ktorými existujú podmienky pre prirodzené kríženie. Na základe morfológických znakov je dané taxóny v oblasti náročné rozlíšiť. Pomocou mitochondriálneho markéra *nad 5–4* bolo analyzovaných 18 populácií jedlí skúmaného hybridogénneho komplexu. Výsledkom je geografické zobrazenie rozdelenia maternálne dedených haplotypov mitochondriálnej DNA. V súbore populácií boli zistené dva haplotypy: v populáciách *A. alba* pochádzajúcich z Bulharska, Macedónska a Grécka bol identifikovaný výlučne haplotyp s dĺžkou 150 bp, v populácii *A. cephalonica* z Grécka iba haplotyp 341 bp. Všetky populácie *A. borisii-regis* pochádzajú z Grécka, pričom severné populácie preukazujú výlučne haplotyp *A. alba*, južné populácie obsahujú nízky podiel haplotypu *A. alba* a zároveň haplotyp druhu *A. cephalonica*. Geografické rozdelenie haplotypov v populáciách *A. borisii-regis* je pomerne striktné, naznačuje existenciu hybridnej zóny s veľmi úzkym klinálnym prechodom v smere gradientu zemepisnej šírky. Stred klinálneho prechodu je lokalizovaný na 39°07' s. š., jeho šírka predstavuje len 31 km. Druh *A. borisii-regis* pravdepodobne pochádza z recentného kríženia jeho rodičovských druhov *A. alba* a *A. cephalonica*, v oblasti ich kontaktu tvorí hybridný roj.

Kľúčové slová: *Abies alba* Mill., *Abies cephalonica* Loud., *Abies borisii-regis* Mattf., mitochondriálna DNA, hybridný pôvod

RÔZNE TYPY VZORIEK A ICH VYUŽITIE VO FORENZNEJ GENETIKE

Tatiana ŠTULAJTEROVÁ

Štulajterová, T.: Different types of samples and their use in forensic genetics. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 56, Suppl. 1, 2013, 29–38.

The aim of this study was to compare the quality of DNA extracted from animal samples after different methods of their thermal treatment. We used samples from distal parts of limbs from wild boar (*Sus scrofa*). Raw, cooked and baked muscles, skins, bones and hairs were compared. DNA was extracted by modified CTAB method and commercially available extracting kit NucleoSpin® Tissue Kit. Concentration of DNA was measured and diluted approximately to the same concentration ($50 \text{ ng} \cdot \mu\text{l}^{-1}$) for PCR amplification. Subsequently after PCR, the fragment analysis of microsatellites (STR) was performed. GeneMapper software was used to visualize the outputs from the fragment analysis. Quality of extracted DNA and suitability of different types of samples in forensic genetics was evaluated. Results from this work are solving problems related to wildlife forensic genetics. They are able to help with crime preventions and become helpful tool in crime investigations.

Key words: forensic genetics, thermal preparing, microsatellites

1. ÚVOD A PROBLEMATIKA

Forenzná genetika, alebo forenzná DNA analýza, je relatívne mladým, viac-menej už samostatným a špecifickým vedným odborom, ktorý využíva znalosti ako zo všeobecnej, tak predovšetkým molekulárnej genetiky k vykonávaniu genetických výskumov pre rôzne dôkazné skúmania, najmä súdne.

Forenzná genetika voľne žijúcich živočíchov, ako aplikovaná vedná disciplína, spája poznatky vedných disciplín od biochémie po evolučnú genetiku s cieľom posilniť vývoj a využitie forenzných analytických metód (OGDEN 2010).

Na konci osemdesiatych rokov dvadsiateho storočia sa možnosť identifikácie osôb prostredníctvom genetickej analýzy stala podobnou kriminalistickou revolúciou ako pred sto rokmi daktyloskopia. Takzvaná biologická stopa, teda biologický materiál rastlinného, živočíšneho alebo ľudského pôvodu, je veľmi častým typom stopy nachádzajúcim sa priamo na mieste činu. Použitím techniky jej genetickej analýzy sa umožnilo jednoznačné spájanie páchateľov s miestami činu.

Zdokonalenie týchto techník malo za následok takisto zvýšenie ich prístupnosti pre aplikácie mimo ľudské kriminalistické vyšetrovanie. Jednou z aplikácií forenznej DNA

analýzy je vyšetrovanie zločinov súvisiacich s ochranou voľne žijúcich živočíchov, voľne rastúcich rastlín a ich produktov (MCGRAW 2012).

Voľne žijúce živočíchy a ich produkty sú po zbraniach a drogách treťou najviac nelegálne obchodovanou komoditou na svete (MANEL *et al.* 2002).

V roku 1995 v USA boli mačacie mikrosatelitné markéry použité v prvom súdnom spore, ktorý zahŕňal genetické analýzy živočíchov ako dôkaz. Vďaka tomu, že tento prípad využil zviera ako forenzný dôkaz, začala hrať genetika živočíchov oveľa väčšiu úlohu v medzinárodnom súdnom systéme (CASSIDY & GONZALES 2005).

Metódy forenzej genetickej analýzy boli použité taktiež pri vyšetrovaní prípadov zahŕňajúcich ilegálny obchod s rôznymi produktami ako mäso z veľrýb, kaviár, slonovina, olivový olej, ryža, drevo a rôzne tradičné medikamenty (OGDEN 2008).

Rapidne rastúce pole pôsobnosti genetiky voľne žijúcich živočíchov sa snaží postupne zdokonaľovať techniky a sprísniť kontroly pri dôkazných stíhaniach pašovania a pytlactva voľne žijúcich živočíchov a ich produktov (MCGRAW *et al.* 2012).

Bohužiaľ, aj napriek týmto faktom má len málo krajín sveta vo svojich zložkách zameraných na vyšetrovanie týchto druhov kriminality špecializované skupiny, ako je tomu pri iných druhoch kriminality, kde existujú skupiny vyšetrovateľov špecializovaných napríklad na omamné látky alebo na obchodovanie s ľuďmi (LINACRE 2009).

3. MATERIÁL A METODIKA

3.1 Získavanie experimentálneho materiálu

Ako experimentálny materiál boli použité vzorky z distálnych častí končatín 20 jedincov diviaka lesného (*Sus scrofa*), pochádzajúcich z lesného závodu Topoľčianky. Pre izoláciu DNA zo vzoriek v surovom stave boli použité vzorky svaloviny, kože, kosti a srsti.

Pre porovnanie izolácie DNA v závislosti od tepelnej úpravy vzoriek, bola použitá úprava varením a pečením. Pre izoláciu DNA z varených a pečených vzoriek boli použité vzorky svaloviny, kože a kosti. Vzorky distálnych častí končatín sa varili osobitne vo vodnom kúpeli od dosiahnutia vnútornej teploty 100 °C počas 20 minút. Následne boli odobraté vzorky svaloviny, kože a kosti. Aj pri tepelnej úprave pečením boli použité celé vzorky distálnych častí končatín, ktoré sa jednotlivo piekli po dosiahnutí vnútornej teploty 200 °C počas 20 minút. Rovnako aj v tomto prípade boli následne odobraté vzorky svaloviny, kože a kosti.

Vzorky sa z končatín odoberali v špeciálnom laboratóriu, použitím jednorazových gumených rukavíc a nástrojov, ktoré sa starostlivo dezinfikovali alkoholom a následným žihaním nad plameňom, aby sa zabránilo kontaminácii cudzorodou DNA. Vzorky boli označené aby nedošlo k zámene. Následne boli vzorky vložené do skúmaviek s 96 % etanolom a uložené v mraziacom zariadení pri teplote –20 °C. Vzorky srsti boli uskladnené v suchých papierových obálkach.

3.2 Izolácia DNA

Na izoláciu DNA z mäkkých tkanív, svaloviny a kože, bola použitá modifikovaná metóda podľa DOYLA & DOYLA (1987), ktorá bola ďalej modifikovaná pre použitie na izoláciu DNA zo živočíšnych vzoriek (OLIVEIRA *et al.* 2007). Zo vzoriek boli sterilnými nástrojmi oddelené časti s hmotnosťou 25 mg, z ktorých bola následne vyizolovaná DNA podľa protokolu uvedenej metódy.

Na izoláciu DNA sa často používajú komerčne dostupné izolačné sady. Ich použitím je možné získať v pomerne krátkom čase DNA z veľkého počtu vzoriek. Veľkou výhodou týchto sád je, že na rozdiel od klasických izolačných metód sa v nich nepoužívajú nebezpečné chemikálie ako napr. chloroform. Ich nevýhodou je pomerne vysoká cena. Na izoláciu DNA zo vzoriek odobratých zo srsti a kosti bola použitá izolačná sada NucleoSpin® Tissue Kit (Macherey Nagel). Pri izolácii DNA zo vzoriek srsti bolo použitých 25 kusov, čo najsilnejších chlpuvých cibuliek a následne sa postupovalo podľa protokolu odporúčaného výrobcom komerčnej izolačnej sady.

Pri izolácii DNA zo vzoriek kosti bolo najsôr pomocou vŕtačky získané z každej vzorky 0,5 ml kostných pilín. Následne sa postupovalo podľa modifikovaného protokolu odporúčaného výrobcom komerčnej izolačnej sady, pričom bol použitý o 30 % väčší objem lyzačného pufru T1, proteinázy K, pufru B3 a etanolu.

3.3 Zisťovanie kvantity DNA

Na zisťovanie koncentrácie vyizolovanej DNA bol použitý spektrofotometer NanoDrop® ND-1000 (Technologies, Wilmington, DE, USA), ktorý dokáže zmerať vzorky s objemom 1 µl s vysokou presnosťou a reprodukovateľnosťou. Spektrofotometer využíva plné spektrum (220–750 nm) a patentovanú technológiu uchovania vzoriek, ktorá využíva povrchové napätie, čím udržiava vzorku na mieste. Toto eliminuje potrebu ťažkopádnych kyviek a iných zariadení zadržiavajúcich vzorky a umožňuje ho vyčistiť v priebehu sekundy. Navyše, tento spektrofotometer je schopný zmerať aj vzorky s vysokou koncentráciou bez zriedenia (s až 50-krát vyššou koncentráciou, ako štandardné kyvetové spektrofotometre).

Na spodný merací podstavec bol napipetovaný 1 µl vzorky. Uzavrelo sa vzorkovacie rameno a spustilo sa meranie spektra. Medzi vrchným a spodným meracím podstavcom sa automaticky vytvoril stĺpec vzorky a začalo meranie spektra. Pulzná xenónová výbojka produkovala svetlo a spektrofotometer využil lineárny CCD snímač na analýzu svetla po prechode vzorkou. Celý proces bol riadený pomocou počítačového programu a výsledné dáta boli uložené do archívneho súboru. Po skončení merania sa vzorkovacie rameno otvorilo vzorka sa utrela z oboch meracích podstavcov pomocou jemnej laboratórnej utierky. Takto sa postupovalo pri každej vzorke.

3.4 Polymerázová reťazová reakcia

Pred prístupím k samotnej PCR bolo nutné nariediť získanú DNA na rovnakú koncentráciu. Taktiež bolo nutné na požadovanú koncentráciu nariediť aj zásobné primery (forwardy aj reversy) a to na 100 μM , keďže od výrobcov sú distribuované v lyofilizovanej podobe. Následne sa tieto primery nariedili na pracovnú koncentráciu a to tak, že do sterilných označených skúmaviek bola napipetovaná ultračistá voda v objeme 25 μl spolu s forwardom v objeme 12,5 μl a reversom taktiež v objeme 12,5 μl , čím vznikol 25 μM roztok pripravený pre použitie na amplifikáciu.

Pre amplifikáciu nami získanej DNA bolo použitých spolu 11 mikrosatelitných markerov, ktoré boli publikované Vernesim a Ferreirom (VERNESI *et al.* 2003, FERREIRA *et al.* 2006). Tieto mikrosatelitné markery boli pri PCR kombinované do dvoch multiplexových panelov:

- A: SW986, SW1129, SW1517, SW1701, SW2532,
- B: SW461, SW1465, SW1492, SW1514, SW2021, SW2496.

Fluorescenčne boli tieto markery značené nasledovnými farbivami:

- 6-FAM (modrá): SW461, SW1465,
- VIC (zelená): SW986, SW1514, SW1701, SW2496,
- PET (červená): SW1129, SW1492, SW2021,
- NED (žltá): SW1517, SW2532.

PCR zmesi boli pripravené v celkovom objeme 10 μl . Do zmesí bol použitý QUIA-GEN Multiplex PCR Kit® (SOUTO *et al.*, 2004) v objeme 5 μl , Q-solution v objeme 1 μl , 0,2 μl z každého primeru a 0,4 μl vzorky získanej DNA.

Takto pripravená zmes bola vložená do termocykléra Mastercycler®pro vapo.protect™ (Eppendorf, Germany). Amplifikácia DNA v PCR prebiehala pre panel A nasledovne: počiatočná denaturácia trvala 15 minút pri 95 °C, pričom sa aktivovala použitá polymeráza. Nasledovalo 30 cyklov denaturácie trvajúcej 30 sekúnd pri 94 °C, hybridizácie trvajúcej 3 minúty pri 58 °C a extenzie trvajúcej 60 sekúnd pri 72 °C. Nakoniec prebehla finálna extenzia, ktorá trvala 30 minút pri 60 °C. V panel B prebiehala amplifikácia DNA nasledovne: Počiatočná denaturácia trvala 15 minút pri 95 °C. Nasledovalo 33 cyklov denaturácie trvajúcej 30 sekúnd pri 94 °C, hybridizácie trvajúcej 30 sekúnd pri 52 °C a extenzie trvajúcej taktiež 30 sekúnd pri 72 °C. Finálna extenzia trvala 30 minút pri 60 °C. V každom paneli boli použité 4 referenčné vzorky a 1 negatívna vzorka kvôli detekcii novej kontaminácie.

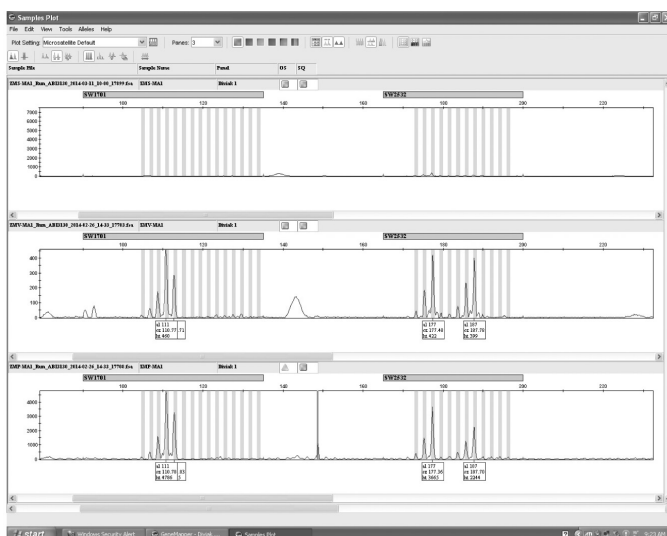
3.5 Fragmentačná analýza

Fragmentačná analýza prebiehala v automatickom 4-kapilárovom genetickom analyzátoe ABI 3130® (Applied Biosystems, USA), ktorý detekuje fluorescenčne značené primery. Zmes pre fragmentačnú analýzu bola pripravená v celkovom objeme 10 μl z toho 0,1 μl dĺžkového štandardu GeneScan™ – 500LIZ (Applied Biosystems, USA),

ktorý deteguje dĺžku každej alely, 9,2 µl denaturačného činidla Hi-Di Formamidu a 0,7 µl produktu PCR. Takto pripravenú zmes bolo potrebné dôkladne zvortexovať, aby sa úplne zhomogenizovala, pretože jednotlivé zložky zmesi majú rozličnú hustotu. Takto homogénna zmes bola napipetovaná do 96 jamkových platničiek, ktoré boli následne vložené do termocykléra, kde prebehla denaturácia trvajúca 3 minúty pri 95 °C. Po denaturácii boli vzorky schladené a vložené do genetického analyzátoru, pomocou ktorého boli vyhodnotené jednotlivé genotypy. Získané výsledky boli vyhodnotené pomocou softvérového programu GeneMapper 4.00® (Applied Biosystems, USA). Tento program tvorí súčasť genetického analyzátoru. Výstupy tohto programu predstavujú genotypy jednotlivých vzoriek v grafickom prevedení.

4. VÝSLEDKY

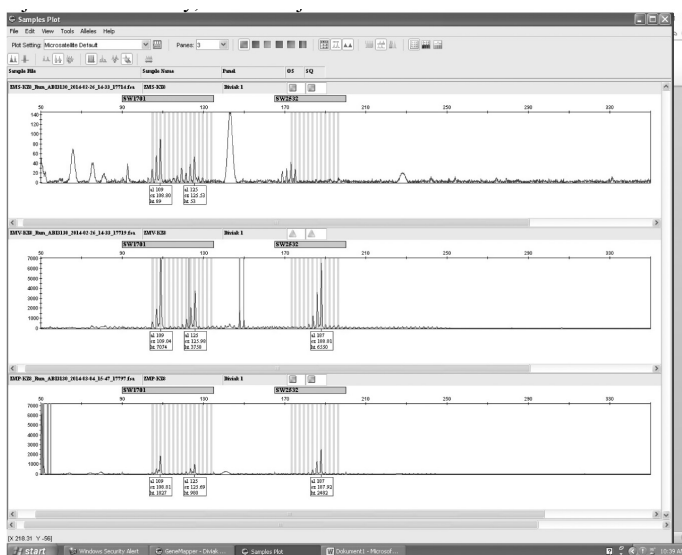
Cieľom práce bolo porovnať kvalitu DNA získanej z rôznych typov živočíšnych vzoriek po rôznych spôsoboch ich tepelnej úpravy. Na interpretáciu výsledkov získaných prostredníctvom fragmentačnej analýzy mikrosatelitov bol použitý počítačový softvér GeneMapper 4.00® (Applied Biosystems, USA), ktorý je súčasťou genetického analyzátoru ABI 3130® (Applied Biosystems, USA). Softvér GeneMapper 4.00 pomocou grafov znázorňuje jednotlivé alely. Konečným výstupom tohto softvéru je grafické znázornenie genotypov jednotlivých vzoriek. Pre potreby porovnania kvality vyizolovanej DNA po rôznych spôsoboch tepelnej úpravy boli vybraté modelové grafické znázornenia alel jednotlivých typov vzoriek v podobe elektroforegramov získaných z vyššie uvedeného počítačového softvéru.



Obr. 1: Porovnanie výstupov vzoriek svaloviny po rôznej tepelnej úprave

Fig. 1: Comparison of genetic profiles of muscle samples after different types of heat treatment

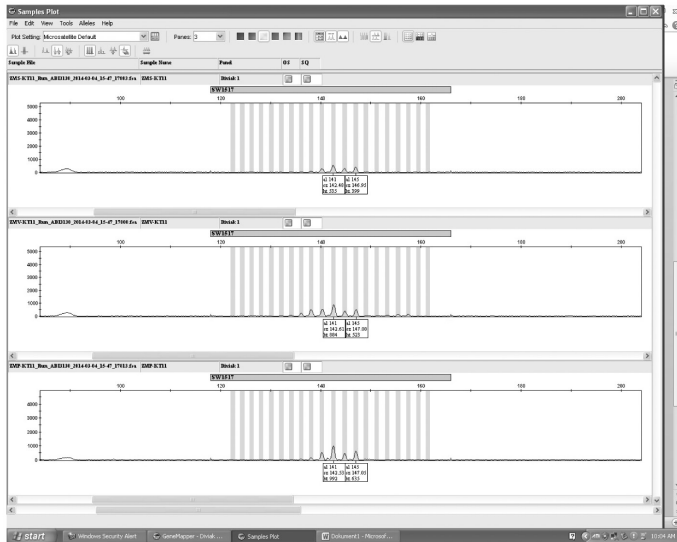
Na obrázku číslo 1 je znázornený výstup z programu GeneMapper 4.00. Zo vzoriek svaloviny v surovom stave nebolo možné vyizolovať dostatočné množstvo kvalitnej DNA, čo je možné zdôvodniť tým, že pri izolácii DNA bola použitá vzorka príliš veľkej hmotnosti, alebo metóda použitá na vyizolovanie DNA nebola v tomto prípade dostatočne efektívna. Naopak vo vzorkách po tepelnej úprave pečením i varením sú na elektroforegrame jasne viditeľné alely, čo naznačuje dostatočnú kvalitu DNA.



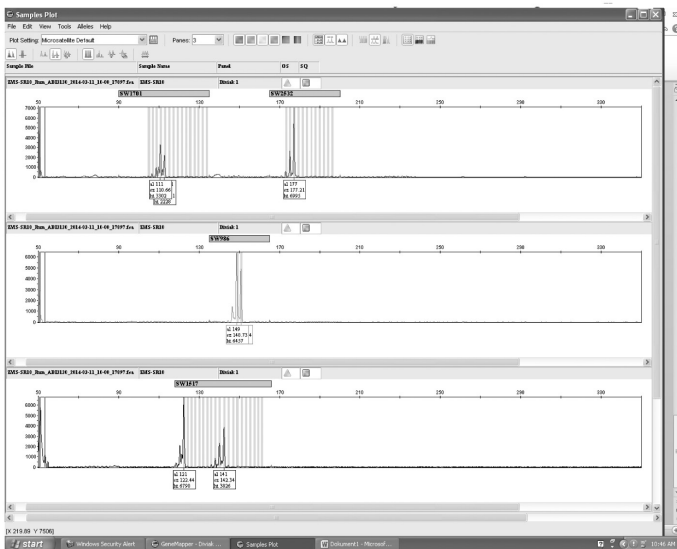
Obr. 2: Detekcia kontaminácie DNA pri analýzach vzoriek kože
Fig. 2: Detection of DNA contamination by skin samples analysis

Z obrázka číslo 2 vyplýva, že vo vzorkách získaných z kože v surovom stave nebolo možné vizualizovať všetky alely, čo naznačuje nedostatočnú kvalitu vyizolovanej DNA. Táto skutočnosť mohla byť tak, ako pri vzorkách pochádzajúcich zo surovej svaloviny, spôsobená príliš vysokou hmotnosťou jednotlivých vzoriek, či nedostatočnou efektívnosťou použitej izolačnej metódy. Na elektroforegrame sú však vyobrazené rôzne artefakty, ktoré môžu naznačovať možnú kontamináciu vzorky, prípadne to, že sa pri izolácii DNA spolu s kožným tkanivom použilo aj tkanivo pochádzajúce z podkožného tuku, ktorý obsahuje len veľmi malé množstvo DNA. Naopak vo vzorkách po tepelnej úprave varením i pečením sú všetky alely čitateľné dostatočne jasne, čo naznačuje dostatočnú kvalitu DNA.

Z obrázka číslo 3 vyplýva, že kvalita DNA je v závislosti od tepelnej úpravy nemenná. Alely na elektroforegrame sú však čitateľné menej jasne ako pri vzorkách pochádzajúcich z mäkkých tkanív, čo naznačuje malé množstvo a nižšiu kvalitu DNA. Kvalita DNA je ale dostatočná pre forenzné genetické analýzy.



Obr. 3: Porovnanie kvality DNA vo vzorkách kosti
Fig. 3: Comparison of DNA quality in bone samples



Obr. 4: Zobrazenie kvality DNA vo vzorkách srsti
Fig. 4: Picture of DNA quality in hair samples

Nakoľko vzorky srsti boli analyzované len v surovom stave, na elektroforegrame je zobrazených viac alel pochádzajúcich z jednej modelovej vzorky. Všetky alely sú dobre čitateľné, čo naznačuje dostatočnú kvalitu DNA.

Z uvedeného vyplýva, že pokiaľ ide o vzorky v surovom stave, najkvalitnejšiu DNA sa podarilo vyizolovať zo vzoriek srsti. Využiteľné pre forenzné genetické analýzy sú aj vzorky vyizolované zo surovej kosti a v niektorých prípadoch aj zo vzoriek surovej kože. Využitie vzoriek pochádzajúcich zo surovej svaloviny sa ukázalo vo väčšine prípadov nemožné, nakoľko sa z nich nepodarilo vyizolovať dostatočné množstvo kvalitnej DNA. Tento výsledok bol zapríčinený zvolenou metodikou pri izolácii DNA. Pre lepšie porovnanie sa použila rovnaká hmotnosť surového tkaniva ako pri varených či pečených vzorkách. Tieto boli izolované metódou CTAB, počas ktorej sa v určitých krokoch prečisťovania DNA vylieva obsah skúmaviek. A zrejme tu nastal problém. S väčšou hmotnosťou izolovaného tkaniva stúpala aj hmotnosť DNA a tak bola pravdepodobne vyliata. Preto odporúčam počas tejto metódy používať oveľa menšiu časť tkaniva, tak ako odporúča v návode OLIVEIRA *et al.* (2007).

Čo sa týka tepelnej úpravy varením, najkvalitnejšiu DNA sa podarilo vyizolovať zo vzoriek kože. Vo vzorkách svaloviny a kosti sa síce zdala kvalita DNA nižšia, stále však dostatočná pre forenzné genetické analýzy.

Najkvalitnejšiu DNA po tepelnej úprave pečením sa podarilo vyizolovať zo vzoriek svaloviny. Vo vzorkách kože a kosti sa síce kvalita DNA zdala nižšia, no však dostatočná pre forenzné genetické analýzy.

Aj pri týchto modelových prípadoch nastalo pri analýze výsledkov niekoľko problémov. V mnohých vzorkách sa vyskytli rôzne artefakty spôsobené príliš nízkou kvalitou alebo množstvom DNA, či kontamináciou cudzorodou DNA, čo mohlo byť spôsobené nedostatočnou kvalitou práce počas izolácie alebo nasledovných analýz jednotlivých vzoriek. Interpretáciu výsledkov sťažovala aj príliš vysoká koncentrácia niektorých lokusov, čo spôsobovalo prejavovanie týchto lokusov aj na elektroforegramoch zobrazujúcich lokusy, na ktorých boli naviazané iné primery.

5. ZÁVER

V práci bola porovnávaná kvalita vyizolovanej DNA z rôznych typov vzoriek po rôznych spôsoboch ich tepelnej úpravy. Pre účely výskumu boli použité vzorky svaloviny, kože, kosti a srsti z 20 jedincov diviaka lesného (*Sus scrofa*), ktoré boli následne upravované varením a pečením.

Z výsledkov vyplynulo, že pre forenzné genetické analýzy sú po tepelnej úprave vhodné všetky typy vzoriek. V prípade porovnávaní so vzorkami v surovom stave sú najvhodnejšie vzorky srsti a kostí, nakoľko zo svaloviny a kože sa nepodarilo získať dostatočné množstvo kvalitnej DNA. Z tohto dôvodu je pri porovnávaní vzoriek z mäkkých tkanív po tepelnej úprave a v surovom stave nutné použiť rôzne množstvá tkaniva. V prípade surových vzoriek, kde je koncentrácia DNA omnoho vyššia ako po tepelnej úprave stačí pre analýzy DNA použiť oveľa menšie množstvo tkaniva.

Výsledky tejto práce poskytujú výsledky využiteľné v praktickej forenzej genetickej analýze voľne žijúcich živočíchov pri prevencii rôznych kriminálnych činov a dokazovaní zločinov v najmä v oblasti ochrany živočíchov a na úseku poľovníctva. Nájdené pozostatky živočícha usmrteného nelegálnym spôsobom alebo v čase jeho ochrany je totiž jednoduché porovnať z podozrivým pokrmom alebo výrobkom aj po jeho tepelnej úprave. Takýmto spôsobom je možné predchádzať rôznym trestným činom, ako napr. pytlactvo a je možné napomáhať pri ochrane vzácných druhov živočíchov.

Pod'akovanie

Táto práca vznikla v rámci riešenia výskumného projektu APVV-0368-10 Multiplex molekulárno-genetické analýzy pri identifikácii neznámych vzoriek voľne žijúcej zveri.

6. Zoznam použitej literatúry

- CASSIDY, B. G. & GONZALES, R. A., 2005: DNA testing in animal forensics. *Journal of Wildlife Management*, 69: 1454–1462.
- DOYLE, J. J. & DOYLE, J. L., 1987: A rapid DNA isolation for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemical Bulletin*, 19: 11–15.
- FERREIRA, E., SOUTO, L., SOARES, A. M. V. M. & FONSECA, C., 2006: Genetic structure of the wild boar population in Portugal. *Wildlife Biology in Practice* 2: 17–25.
- LINACRE, A., 2009: Forensic Science in Wildlife Investigations. *London CRC Press*, 161.
- MANEL, S., BERTHIER, P. & LUIKART, G., 2002: Detecting wildlife poaching: identifying the origin of individuals with Bayesian assignment tests and multilocus genotypes. *Conservation Biology*, 16: 650–659.
- MCGRAW, S. N., KEELER S. P. & HUFFMAN, J. E., 2012: Forensic DNA Analysis of Wildlife Evidence. In: *Wildlife Forensics Methods and Applications, Wiley-Blackwell*: 153–155.
- OGDEN, R., 2008: Fisheries forensics: the use of DNA tools for improving compliance, traceability and enforcement in fishing industry. *Fish and fisheries*, 9: 462–472.
- OGDEN, R., 2010: Forensic science, genetics and wildlife biology: getting the right mix for a wildlife DNA forensics lab. *Humana Press*, 6: 1–2.
- OLIVEIRA, C. G., MARTINEZ, R. A. & GAIOTTO, F. A., 2007: DNA extraction from bristles and quills of *Chaetomys subspinosus* (Rodentia: Erethizontidae) using a novel protocol. *Genetic and Molecular Research*, 6 (3): 657–666.
- SOUTO, L., FERREIRA, E. & FONSECA, C., 2004: Microsatellite analysis of wild boar populations in Portugal by multiplex PCR. *QIAGEN News*, 3: 63–64.
- VERNESI, C., CRESTANELLO, B., PECCHIOLI, E., TARTARI, D., CARAMELLI, D., HAUFFE, H. & BERTORELLE, G., 2003: The genomic impact of demographic decline and reintroduction in the wild boar: A microsatellite analysis. *Molecular Biology*, 12: 585–595.

Adresa autora:

Bc. Tatiana Štulajterová

Smreková 5

960 01 Zvolen

Slovenská republika

e- mail: tatiana.stulajterova@gmail.com

Rôzne typy vzoriek a ich využitie vo forenznej genetike

Abstrakt

Cieľom práce je porovnanie kvality DNA získanej zo živočíšnych vzoriek po rôznych spôsoboch ich tepelnej úpravy. Na zistenie týchto charakteristík boli použité vzorky z distálnych častí končatín diviaka lesného (*Sus scrofa*, Linné 1785). Porovnávali sa vzorky svaloviny, kože, kosti a srsti v surovom, varenom a pečenom stave. Na izoláciu DNA bola použitá modifikovaná CTAB metóda a komerčne dostupná izolačná sada NucleoSpin Tissue. Po následnom zmeraní koncentrácií sa DNA amplifikovala pomocou polymerázovej reťazovej reakcie (PCR). Následne sa po metóde PCR vykonala fragmentačná analýza mikrosatelitov (STR), na základe ktorej sa po vizualizácii v programe GeneMapper vyhodnotila kvalita vyizolovanej DNA a následná vhodnosť využitia jednotlivých typov vzoriek pre genetické analýzy vo forenznej genetike. Výsledky tejto práce riešia problematiku týkajúcu sa forenznej genetiky voľne žijúcich živočíchov. V praxi môžu výrazne dopomôcť pri prevencii kriminality a dokazovaní trestných činov v tejto oblasti.

Kľúčové slová: forezná genetika, tepelná úprava, mikrosatelity

POSSIBILITIES OF EVALUATING THE VARIABILITY OF SOIL ORGANIC CARBON STOCK IN LANDSCAPE WITH COLD MOUNTAIN CLIMATE

Erika K R I A K O V Á – Marián H O M O L Á K – Viliam P I C H L E R –
– Erika G Ö M Ö R Y O V Á

Kriakova, E., Homolák, M., Pichler, V., Gömöryová, E.: Possibilities of evaluating the variability of soil organic carbon stock in landscape with cold mountain climate. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 56, Suppl. 1, 2013, 39–48.

Karst regions in a view of famous ancient and various land cover (forest, grassland, arable land) provide opportunities to study the impact of historical and current land, biogeochemical cycles and other processes resulting to organic carbon sequestration in soils in these areas. Carbon sequestration constitutes an important natural process to mitigate the consequences of human caused climate change. Investigation situated in Muran and Padis plateau in 6th spruce-beech-fir altitudinal zone follow on previous research of Ahmed (2010) focusing on soil C sequestration in Silica plateau (altitude range from 500 to 634 m asl). The intensity-capacity approach used to evaluate SOC concentration in topsoil (max. 0–30 cm) and subsoil horizons (>30 cm depth) depending on past and current land covers. The aim of our study is to determine quantitatively SOC stock and its variability within selected areas, estimate the past and current land use and management practice on SOC concentration using ERT and evaluate the influence of different tree species to SOC stock at different altitudes. Soil samples are collected within systematic sampling scheme 750 × 750 m and prepared for subsequent analyses within standardized methods. Physical and chemical soil analyses are provided and results evaluated within Multiple Regression analyses Statistica 10.

Key words: karst plateaus, soil organic carbon (SOC), forest amelioration effects, electrical resistivity tomography (ERT)

1. INTRODUCTION

According to IPCC (2013) human caused increase atmospheric CO₂ emissions lead to irreversible long-term impact on the physical, biogeochemical C cycle. Scientists argue with a high confidence that the removal of CO₂ emissions from the atmosphere by natural processes will take a few hundred thousand years.

Climate change affect all ecosystems and whole life on Earth therefore in centre of our attention is mitigation of CO₂ emissions resulting in global due to carbon sequestration.

Attention is paid to the CO₂ concentration since Industrial Era, circa 1750, when the CO₂ concentration reaches from 280±10 ppm to 367 in 1999 ppm (IPCC 2001) to 390.5 ppm in 2011 (IPCC 2013). Mostly human activities are responsible for alarming in-

creasing of CO₂ concentration. Scientists estimate that atmospheric C reaches 800–1 000 ppm by the end of current century (KUMAR *et al.* 2006).

The Kyoto protocol considers soil and forests as C sinks. Carbon sequestration plays an essential role as a tool to remove CO₂ from the atmosphere and store it in long-lived pools. SOC sequestration is supported by humification aggregation, leaching of inorganic C as bicarbonates into groundwater, movement of biomass into subsoil by deep roots (LAL 2001).

High potential to sequester C has agroforestry as management system that represent complex systems of trees, agricultural plants and livestock.

At present, Agenda 21 of the Rio Convention notes a necessity of agroforestry at the global scale, but its implementation in Europe is low. In forested area of Sweden, Central Europe and Romania were strongest C sinks recognized (IPCC 2013).

Soil carbon pool change depends on climatic changes only by a small fraction and only over a long time period, but can be very important in a global context (KIRSCHBAUM 2006). The global warming expecting to increase mean annual temperature of 4–6 °C by 2100 may decrease SOC pool of world soils.

2. STUDY AIMS AND JUSTIFICATION OF STUDY

In addition to the fact, that SOC sequestration represents significant opportunity to mitigate the negative consequences of climate changes it is also a water binding agent countering xerification. Water logging, peat land formation, irrigation, low temperatures, clay textures, high base status, aggregation, and assimilate rich in lignin and waxes as well as assimilates distributed below ground and deficient in nutrients are factors supporting retention of C in soils and lead to long turnover and mean residence times.

The aim of our study links to investigate following tasks:

- (i) quantitatively determine SOC stock and its variability within selected karst areas falling into cold mountainous climate managed as agro-silvo-pastoral forestry systems,
- (ii) estimate the past and current land use and management practice on SOC concentration using ERT as a non-destructive method to detect stoniness,
- (iii) evaluate the influence of different tree species to SOC stock at different altitudes.

3. MATERIAL AND METHODS

3.1 Description of study area and general information

Nature park Muran plateau of area 20 318 ha and its buffer zone of 21 698 ha is situated in Slovenské Rudohorie. Nature Park is also known as horse-breeding area of Muran's norik utilized in forest harvesting and logging.

The central part of National park composed of 850 m thick and 25 km long carbonate plateau called also "muránsky príkrov" which consists of bright Middle Triassic limestone-dolomite complex. Karst area is rich for subsurface karst phenomenon. The occurrence of surface volcanoes product may be observed in Kľak, Klenovský Vepor and Oltárne

with andic soils. Forest coverage reaches 90% representing 6 vegetation zones from 2nd beech-oak to 7th spruce. Hrdzavá dolina is known for occurrence of *Pinus mugo* growing in unusually lower altitude of 750 m.

Dominate soil types of karstic areas are rendzinas and pararendzinas. Except of carbonates bedrock are cambisols and podzols enhanced, as well as in Apuseni Nature Park.



Fig. 1 Landscape of Muran plateau and Padiș
Obr. 1 Krajina Muránskej planiny a planiny Padiș

The Apuseni Nature Park (ANP) in Western Romania, in the Central-North-Western side of the Apuseni Mountains, is a part of the Bihor massif at South and Vlădeasa massif at North with total surface area of 75.786 hectares (www.parcunaturalapuseni.ro). A true karst plateau of ANP – The Padiș Plain is situated at a medium altitude of 1 225 m.

The Apuseni Nature Park is characterized by a complex geologic richness consisting of limestones, sandstones and conglomerates, crystalline schists and magmatic rocks. The bedrock consisting of limestone and dolomite prevail in subunit Padiș Plateau (Mos 2008).

3.2 Soil sampling scheme and field sampling

Our estimation of the target number of sample points was based on required degree of confidence and the wide of confidence interval. Result was accounted according to SCHEER (2006) (eqn. 1, 2):

$$n = \frac{z_{\alpha/2}^2 \times p(1-p)}{\Delta \frac{1}{2p}} \quad (1)$$

$$\text{Result in: } n = \frac{1.96^2 \times 0.05(1-0.05)}{0.05^2} = 73 \quad (2)$$

based on the premise of 95% degree of confidence and 5% estimation bias, which repre-

sent standard deviation value of $s_{xy} = 2.47$ and degree of confidence % $P = 0.95$ follow $\alpha = 0.05 \dots z_{0.025} = 1.96$.

Field sampling began according to soil sampling design (Fig. 2) determined by means of Google Earth Pro with the determination of study area as a first step.

Systematic soil sampling scheme was designed within Google Earth software and represents square net (750×750 m) and provides uniform coverage of selected units on area and is easy to use in field survey. According to WEBSTER-OLIVER (1990) there is evidence, that systematic sampling is considerably more precise than simple random sampling or stratified sampling.

Soil samples coordinates were taken into GPS device (Garmin Colorado, Garmin) through MapSource software environment and Topo 1.2 (Garmin).

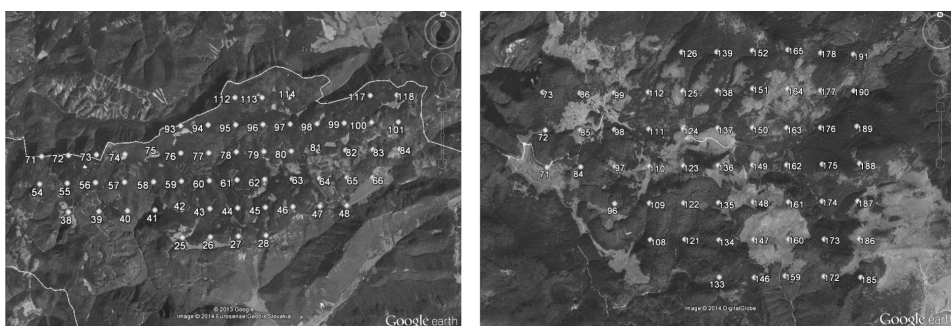


Fig. 2 Sampling points Muran plateau and Padiş

Obr. 2 Sieť odberových bodov pôdnych vzoriek na Muránskej planine a planine Padiş

3.2.1 Tools and techniques

The work is based on intensity-capacity approach, soil samples and measurements of electrical resistivity tomography (ERT) to evaluate the coarse fraction content were taken at each of 53 samples collecting point. A total number of all collected samples are 409 (each 10 cm layer of soil profiles).

3.3 ERT measurements ($\Omega.m$)

Electrical resistivity tomography serves as a non-destructive and very sensitive method for description of subsurface properties, spatial and temporal variability of soil properties (porosity, water content, particle size distribution, solute concentration and temperature). The aim of ERT surveys is to determine the resistivity distribution of surrounding soil volume (SAMOUËLIAN *et al.* 2005) therefore affect C sequestration.

The resistivity values are dependent on water content in pores and its salinity. Generally, the electrical resistivity increases when the water content decreases (SAMOUËLIAN *et al.* 2005). Range of electrical resistivity is affected strongly by earth substrate.

We measure the electrical resistivity at each sampling point down to 2 m depth using ARES device (GF Instruments system, Brno). The resistivity provides us insight into the bedrock topography and total soil depth. Measurements results depend strongly on soil moisture content.

Obtained data were evaluated within RES2DINV (Geotomo Software). 2-D resistivity model changes along the survey line in the vertical and horizontal direction (LOKE 2004).

3.4 Soil organic carbon determination analyses

3.4.1 Soil samples processing and fine earth preparation

All soil samples were after inventory air-dried at room temperature. Fine earth (fraction <2 mm) was prepared by using standard sieving procedures with a 2-mm sieve. Visible plant residuals, stones, gravels were removed, particles larger than 2-mm were grounded. Fine, invisible fragments were removed by electrostatic charged stick (KUZYAKOV *et al.* 2001). Fine earth was stored for subsequent analyses of pH, grain size distribution (%), Fe and organic and inorganic C analyses.

3.4.2 Soil bulk density BD (g.cm⁻³)

Bulk density is important dynamic soil physical property with temporal and spatial variations, according to LAL, KIMBLE (2000) affects biomass production (root growth and proliferation) and environmental quality (aeration, regime of soil water, erosion and runoff). Bulk density is vice-versa influenced by anthropogenic and environmental factors.

It expresses the mass of material within a given volume and is calculated as the ratio of the weight of oven dry soil material per unit and the total volume of the fresh sample (volume of the solids and the soil pore space included).

Procedure: soil samples to determine bulk densities were taken each 10 cm along the vertical line from soil profiles into steel sample cylinders. Fresh samples were weighed in laboratory and subsequently placed in an oven at 105 °C for 48 hours to dry, than cooled in the desiccators.

3.4.3 Stoniness (%)

The quantity of stoniness for each horizon of soil profiles was estimated during digging pits. Data obtained from ERT measurements enable us to determine percentage of coarse fraction content (CFC) due to logarithmic ($\log_{10}$) function. This will be expressed on the base of graphical dependence of electrical resistivity and coarse fragment content within Statistica 10.

3.4.4 Organic and inorganic carbon analyses

To reach the aim of our study it was fundamental to determine organic carbon of collected soil samples. Therefore we used Vario MACRO Elemental Analyzer (CNS Version) which employs the dry combustion method.

The analyses are based on the complete oxidation in furnace. The analytical results of total C contents were evaluated within computer with dedicated software.

Therefore it was necessary to subtract inorganic C, the calcium carbonate (CaCO_3) content by measurements using volumetric device Janko's calcimeter. The difference between TOC and C contained within calcium carbonates results in the organic matter in the soil organic matter.

Along with C determination C/N ratio is also analysed as an indicator of soil quality and availability of nutrients for plants. The vegetation is influenced by soil through its water availability and C/N cycle and ratio.

3.4.4.1 Soil organic carbon

The soil pool consists of the SOC pool represented about 1550 Pg and the soil inorganic pool estimated at 750 Pg (BATJES 1996, ESWARAN *et al.* 1995).

The SOC pool is influenced by natural processes as well as human activities. It increase is due to (i) increase in biomass production and enlarging into the soil due to "CO₂ fertilization effect" leading to the rise of the root biomass production and increase of biotic pool, (ii) increase in temperature lead to increase in weathering of silicates and formation of secondary carbonates connected to increase in partial pressure of CO₂ in soil air. The increasing of secondary carbonates formation with the slow rate from 5 to 10 Kg C ha⁻¹ yr⁻¹ (LAL 2004) is determined by increase in CO₂ concentration of soil air, increase in soil moisture content, decrease in pH.

SOC pool are affected by many natural and humans factors and may decrease because of: (i) land use changes-conversion of natural to agricultural ecosystems and deforestation, (ii) rate of mineralization and respiration increase as a consequence of increase of mean global temperature, (iii) soil erosion losses (iiii) increase aggregates decay accompanied by the release of protected organic matter (LAL 2007).

3.4.4.2 SOC variables

The amount and values of SOC can be expressed as different quantitative units or percentage representation. Fundamental to the calculation of SOC in fine earth (<2 mm) in soil depths is the relationship between ERT measurements and stoniness. Detailed descriptions of expression are presented in below subsection.

3.4.4.3 SOC content (%)

The content of SOC varies widely from 1% in sandy soils to 100% in wetland soils (www.eoearth.org). Data obtained from analyses will be evaluated with the use of statistical methods, multiple linear regression described in subsection 4.5.

3.4.4.4 SOC stock (Pg)

SOC stock is influenced by soil bulk density and stoniness. SOC stock of collected soil samples are calculated by summing the C content in all soil depths by (eqn. 3):

$$SOCS = \sum_{i=1}^j BD_i \times SOCC_i \times d_i \times (1 - cf_i) \quad (3)$$

where $SOCS$, i , j , represents SOC stock (kg.m^{-2}); BD_i is the soil bulk density (kg.m^{-3}); $SOCC_i$ is the concentration of SOC (kg.kg^{-1}), i -th soil layer thickness ($d_i = 0.1$ m for all i), and cf_i volumetric fraction of gravel, stones and boulders ($\text{m}^3.\text{m}^{-3}$) (PICHLER *et al.* 2013).

In this work the current SOC stock and concentration that depends on previous land use will be evaluated with the use of multiple regression analysis. Among SOC concentration will be its spatial variability within soil depth, under different land use and its management concluded.

3.4.5 Importance of Fe and its determination

Movement of Fe oxides in soil profile depend on pH and binds of organic compounds with Fe and Al oxides that affect soil forming processes such as browning, illimerization, podzolization etc. (ŠÁLY 1978). The SOM and amorphous Fe^{3+} form stable particles in soils with high SOC content (BARRAL *et al.* 1998) due to DOC sorption.

The relationship of allophone FE-OC complexes and its dependence on C sequestration is currently studied by our research team at Kľak's andesitic lens (Muran plateau).

Laboratory determination of amorphous Fe (mg.l^{-1}) and crystalline Fe (g.kg^{-1}) contents lies in methods with a use of ammonium oxalate, dithionite citrate bicarbonate and sodium pyrophosphate.

3.5 DATA ANALYSIS AND EVALUATION

Evaluation of obtained data will be executed within Statistica 10 (StaSoft, Inc, Tulsa, USA). The purpose of multiple linear regression is to find an equation that best predicts the Y variable as a linear function of the X variables. In our case it means to overview the influence of land cover during each mapping periods to SOC status.

The multiple linear regression study linear dependence of three or more measured variables. According to ROHLF, SOKAL (1995) can be expressed in two ways (i) the conventional and (ii) the standardized form (eqn. 4).

$$(i) \quad Y = a + b_{Y1} \cdot X_1 + b_{Y2} \cdot X_2 + \dots + b_{Yk} \cdot X_k \quad (4)$$

where Y represents dependent variable (SOC concentration) on a series of independent variables X (land use across the temporal line). Y is a function of k independent variables $X_1, X_2, \dots, X_k$.

Above mentioned equation 2 allow us to understand the functional relationship between the dependent and independent variables to try to find out the cause of the variation in the dependent variable (the impact of various consecutive land cover combinations).

Multiple regression accept null hypothesis that there is no relationship between X and Y variables.

Geostatistical analysis will be used to determine average SOC concentration (% weight) and content values for three investigation areas (Muran plateau, Padis plateau and Slovenia) and to estimate real differences between these localities. Therefore, our analysis will begin on the base of construction of a semi-variogram to express the spatial autocorrelation (dependence of variance of the measured data on spatial distance of sampling points).

Existing spatial autocorrelation can then lead to perform the calculation of the best linear unbiased estimator (BLUE) for each sampling point, known as kriging. Kriging is a method clarifying the way that a property varies in space through the variogram model.

On the base of variogram modeled from real SOC concentration data we can obtain the concept of microvariance (nugget effect) at lag distance. Nugget effect can be a consequence of changes of SOC concentration caused by sharp land cover boundaries.

The substantial progress against previous investigations of AHMED (2010) constitutes use of fuzzy logic. Applications of this method allow us to define more precisely land cover boundaries as well as the impact of adjacent land cover boundaries.

4. OUTLOOK

Practical use of the obtain results has elucidate

(i) to achieve optimal depth distribution of SOC to maximize its stock in deeper soil horizons. Therefore, the choice and modification of appropriate land cover can lead to better protection of SOC against respiration.

(ii) estimation of water storage degradation and C sequestration soil functions due to the loss of SOC after various disturbances or as a consequence of management practice (windbreak or insect calamities of spruce stands, grazing).

(iii) assess the ability and speed of SOC stock recovery after disturbances in terms of global change.

Acknowledgments

This work was supported by scientific grants awarded by the Research and Development Agency APVV 0580-10 and the Scientific Grants Agency of the Ministry of Education, Science, Research and Sport VEGA 1/1314/12.

5. References

- AHMED, Y. A. R., 2010: *Forest amelioration as a support tool for carbon sequestration in forest soils*. Dissertation. TU Zvolen, 169 p.
- BARRAL, M. T., ARIAS, M., GUÉRIF, J., 1998: Effects of iron and organic matter on the porosity and structural stability of soil aggregates. *Soil & Tillage Research* 46: 261–272.
- BATJES, N. H., 1996: The total C and N in soils of the world. *Eur J Soil Sci.* 47: 151–63.
- ESWARAN, H., VAN DEN BERG, E., REICH, P., KIMBLE, J., 1995: Global soil carbon resources. In: Lal R, Kimble J. M, Levine E, Stewart BA, (eds): *Soils and global change*. Boca Raton: CRC/Lewis; 1995. 27–43 p.
- IPCC, 2001: *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Houghton, J. T., Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 p.
- IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- KIRSCHBAUM, M. U. F., 2006: The temperature dependence of organic-matter decomposition-still a topic of debate. *Soil Biology & Biochemistry*. 38: 2510–2518.
- KUMAR, R., PANDEY, S., PANDEY, A., 2006: Plant roots and carbon sequestration. *Curr Sci* 91: 885–890.
- KUZYAKOV, Y., BIRIUKOVA, O., TURABAHKA, F., STAHR, K., 2001: Electrostatic method to separate roots from soil. *J Plant Nutr Soil Sci* 164: 541–545. – doi: 10.1002/1522-2624(200110)164:5
- LAL, R., 2001: Potential of desertification control to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. *Clim. Change* 51: 35–72.
- LAL, R., KIMBLE, J. M., 2000: Importance of soil bulk density and methods of its measurements. In: Lal, R., Kimble, J. M., Follett, R. F., and Stewart, B. A., (eds): *Assessment Methods for Soil Carbon*, Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 31–44 p.
- LAL, R., 2004: Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304: 1623–1627.
- LAL, R., 2007: Soil carbon stock under present and future climate with specific reference to European ecoregions. *Nutr Cycl Agroecosyst* 81: 113–127 – doi: 10.1007/s10705-007-9147-x
- LOKE, M. H., 2004: Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. 128 p.
- MOS, A., 2008: Apuseni Nature Park- a park for nature and people. *Anale Universitatii din Oradea, Seria Geografie*, Tom XVIII, 2008, 21–26.
- PICHLER, V., GÖMÖRYOVÁ, E., HOMOLÁK, M., PICHLEROVÁ, M., SKIERUCHA, W., 2013: Coarse woody debris of *Fagus sylvatica* produced a quantitative organic carbon imprint in an andic soil. *J For Res* 18: 440–444. – doi: 10.1007/s10310-012-0374-x
- SCHEER, L., 2006: *Biometria*. Vydavateľstvo TU vo Zvolene. 1. vyd. Zvolen, 2006. 334 p ISBN 978-80-228-1723-3.
- ŠÁLY, R., 1978: *Pôda – základ lesnej produkcie*. Príroda, Bratislava, 233 p.
- SAMOUELIAN, A., COUSIN, I., TABBAGH, A., BRUAND, and RICHARD, G., 2005: Electrical resistivity survey in soil science: a review. *Soil & Tillage Research* 83: 173–193. – doi: 10.1016/j.still.2004.10.004
- SOKAL, R. R., ROHLF, F. J., 1995. *Biometry: the principles and practices of statistics in biological research*, Third Edition, Hardcover, W. H. Freeman and Co., New York. 887 p.
- WEBSTER, R., OLIVER, M. A., 1990: *Statistical methods in soil and land resource survey*. Oxford: Oxford University Press. X. 316 p. ISBN 0-19-823316-7.

Contact:

M.Sc. Erika Kriaková
M.Sc. Marián Homolák, PhD.
Prof. Dr. M. Sc. Viliam Pichler
Assoc. Prof. M. Sc. Erika Gömöryová, CSc.
Department of Natural Environment
Faculty of Forestry
Technical University in Zvolen
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
e-mail: erika.kriakova@tuzvo.sk
homolak@tuzvo.sk
pichler@tuzvo.sk
erika.gomoryova@tuzvo.sk

Možnosti hodnotenia variability zásob pôdneho organického uhlíka v krajine s chladnou horskou klímou

Abstrakt

Vzhľadom na známy vývoj využívania krajiny v minulosti a rozdielne typy krajinnej pokrývky nám krasové oblasti ponúkajú príležitosti k štúdiu dopadu historického a súčasného obhospodarovania krajiny, bio-geochemických cyklov a ďalších procesov rezultujúcich do sekvestrácie uhlíka v pôdach daných území. Sekvestrácia uhlíka predstavuje dôležitý prírodný proces smerujúci k zmierňovaniu dopadov klimatických zmien zapríčinených prevažne ľudskou činnosťou. Výskum sme situovali do podmienok 7. lesného vegetačného stupňa na územie Muránskej planiny a planiny Padiš v pohorí Apuseni (Rumunsko). Nadväzuje na výskum Ahmeda (2010) realizovaný na Silickej planine v nadmorskej výške 500–634 m n. m. K vyhodnoteniu zásob pôdneho organického uhlíka (POC) v povrchových (0–30 cm) a podpovrchových (>30 cm) pôdnych horizontoch bol využitý intenzitno-kapacitný prístup. Cieľom nášho štúdia je kvantitatívne stanovenie zásob POC a jeho variability v rámci záujmového územia. Ďalej odhadnúť historické a súčasné využívanie krajiny a spôsoby obhospodarovania na koncentráciu POC s využitím elektrickej rezistívnej tomografie ako aj stanoviť vplyv rozličných druhov lesných drevín na zásoby POC v rozdielnych nadmorských výškach. Pôdne vzorky boli odoberané na základe systematického výberu (sieť 750 × 750 m) a podľa štandardných metód pripravené na následné laboratórne analýzy k stanoveniu fyzikálnych a chemických vlastností. Výsledky sú vyhodnocované s využitím viacnásobnej regresnej analýzy programom Statistica 10.

Kľúčové slová: krasové oblasti, pôdny organický uhlík (POC), melioračné efekty lesa, elektrická rezistívna tomografia (ERT)

VIZUALIZÁCIA LESA AKO NÁSTROJ PRE PODPORU ROZHODOVANIA A LESNÍCKE VZDELÁVANIE

Peter V A L E N T

Valent, P.: Forest visualization as a tool for decision support and forestry education. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 56, Suppl. 1, 2013, 49–64.

Outputs from forest growth models are often very complex. Their visualization is necessary for better understanding of relations between the modeled variables. The introduction of this paper deals with software and hardware tools for creation of visualization outputs from growth simulators. Visualization via virtual reality gets highest priority. Virtual reality is also present in growth simulator SIBYLA, where it allows not only displaying of virtual forest stand, but offers the possibility to do any thinning concept in such virtual environment. Virtual forest produced by growth simulator SIBYLA can be displayed in sophisticated visualization tool – system CAVE built at TU in Zvolen. Data connection between growth simulator and CAVE system is not established yet, so we are unable to launch growth prognosis automatically after user's interventions to forest stand. Objectives of the work aim on programming development of software solution, which will provide connection between CAVE system and growth simulator SIBYLA. Another task is to develop application capable of displaying important information about stand on simulation plot. Methods contains approaches to create necessary software solutions resulting from goals of the paper. Connecting CAVE system with growth simulator SIBYLA, the worldwide unique tool - thinning trainer, will be established. This tool will be significant contribution for science, education and Public Relations via popularization of forestry science.

Key words: virtual reality, simulator SIBYLA, visualization, CAVE

1 ÚVOD

Dnešné modely rastu lesa majú charakter sofistikovaných rastových simulátorov prognózujúcich rast lesa napodobňovaním chovania lesného ekosystému. Sú veľmi flexibilné a dovoľujú nám experimentovať s modelom lesa, čím nám napomáhajú v hľadaní optimálnych variantov obhospodarovania lesa vzhľadom k jeho štruktúre a faktorom prostredia. Fungujú na rôznom modelovacom princípe a produkujú komplexné výstupy.

Práve komplexnosť a bohatosť výstupov rastových simulátorov si pre ich pochopenie vyžaduje okrem číselných interpretácií a grafov aj ich vizualizáciu. Tá sa stáva častejšou prístupnejšou formou pre pochopenie súvislostí medzi poskytovanými informáciami. Existujú rôzne softvérové riešenia a sofistikované vizualizačné systémy pre zobrazenie týchto výstupov.

Práca sa zaoberá vývojom softvérového riešenia slúžiaceho na prepojenie rastového simulátora SIBYLA s moderným vizualizačným zariadením CAVE na TU vo Zvolene, čím vznikne jedinečný nástroj pre podporu rozhodovania pri plánovaní zásahov v lese.

2 ROZBOR PROBLEMATIKY

Lesný ekosystém je dynamickým systémom, ktorý je ovplyvňovaný veľkým množstvom faktorov rôznej povahy. Ich komplexnosť v spojení so skutočnosťou, že lesný ekosystém je dlhoveký a zmeny v ňom prebiehajúce trvajú rádovo desiatky rokov, vyúsťujú do snahy lesníckej vedy o prevedenie rastových procesov do sústavy rastových zákonitostí a matematických algoritmov (FABRIKA a PRETZSCH 2011). Aby sme lesu lepšie porozumeli a objektivizovali naše rozhodnutia pri jeho obhospodarovaní potrebujeme systémy, ktoré nám poskytnú čo možno najvierohodnejšie informácie o tom ako sa les bude v budúcnosti vyvíjať pri určitom spôsobe jeho pestovného usmerňovania, v určitých klimatických a stanovištných podmienkach, pri určitej východiskovej štruktúre atď. Základným elementom týchto systémov sú modely rastu lesa resp. rastové simulátory.

2.1 Modely rastu lesa

Model je zjednodušeným zobrazením systému, uľahčujúcim jeho pochopenie a skúmanie. Zostavený na základe doposiaľ nazhromaždených informácií, by mal overovať správnosť známych faktov, realizovať predpovede a umožňovať verifikáciu týchto predpovedí (FABRIKA a PRETZSCH 2011). Model rastu lesa sa snaží napodobniť reálny lesný ekosystém na základe poznatkov o jeho štruktúre a/alebo chovaní (PRETZSCH 2009). Počítačového programu s možnosťou experimentovania s takýmto modelom vytvára rastový simulátor. Ten je charakterizovaný svojou stanovištnou citlivosťou, možnosťou generovania východiskovej situácie porastu a schopnosťou simulácie rozličných výchovných opatrení.

2.1.1 Rastový simulátor SIBYLA

Rastový simulátor SIBYLA možno charakterizovať ako stromový, semi-empirický, pozične závislý model, parametrizovaný pre dreviny smrek, jedľa, borovica, buk a dub (FABRIKA 2005). Je vhodný pre rovnoveké i rôznoveké, rovnorodé aj zmiešané porasty s variabilnou porastovou štruktúrou. Model pracuje s rozsiahlou škálou prírodných pomerov a dovoľuje uplatňovať rôzne hospodárske zásahy do lesa zohľadňujúc ekonomické prostredie i použité technológie (FABRIKA 2008). Model vychádza z veľmi bohatej dátovej základne domáceho i zahraničného pôvodu.

Simulátor SIBYLA, vo svojom programovom riešení disponuje aj vizualizačnou nadstavbou v podobe prehliadacieho programu MARKO POLO 3D prieskumník. Výstupy z rastového simulátora sú využité pri tvorbe virtuálnej reality lesa syntaxou jazyka VRML97. Rastový simulátor SIBYLA nám umožňuje realizovať zásahy do virtuálneho lesného ekosystému. Po ich vykonaní spúšťame prognózu budúceho vývoja, ktorá nám

poskytne výsledky potrebné pre posúdenie vplyvu realizovaných hospodárskych zásahov na les a jeho vývoj v budúcnosti, čo je dôležité z pohľadu nadobúdania nových poznatkov, skúseností a zároveň podpory rozhodovania.

2.2 Softvérové nástroje na vizualizáciu lesa

Výstupy z rastových simulácií sú často reprezentované veľkým množstvom údajov, ktoré sú komplexné a vo vzájomných väzbách. Človek si o takejto komplexnej štruktúre lesa potrebuje vytvoriť zrozumiteľnú predstavu. K tomu nestačia len informácie v podobe číselných interpretácií a grafov, ale aj výstupy vizuálneho charakteru. Rastové simulátory sú pre tieto účely vybavené rôznymi softvérovými nástrojmi, ktoré môžu byť priamo súčasťou modelu alebo sú externé. Klasifikáciu druhov vizualizácie lesa podľa techniky (geometrické, bilbordové a fotografické modely) a podľa mierky (modely plochy, porastu a krajiny) uvádzajú FABRIKA a PRETZSCH (2011). Detailnosť výstupov z rastových simulátorov a účel ich využitia determinuje voľbu vhodného druhu vizualizácie pre ich zobrazenie. V rámci geometrických modelov je veľmi významnou virtuálna realita, ktorej sa budeme ďalej venovať.

2.2.1 Virtuálna realita

Virtuálna realita je špecifickou kategóriou pretože obohacuje vizualizáciu lesa o interaktivitu a dynamiku. Virtuálnu realitu možno chápať ako zážitok, pri ktorom je užívateľ obklopený trojrozmernou, počítačom vygenerovanou reprezentáciou v podobe virtuálneho sveta, v ktorom sa môže pohybovať, vnímať ho z rôznych uhlov, dostať sa do neho alebo ho pretvoriť (RHEINGOLD 1991). Virtuálny svet a objekty v ňom sa nachádzajúce majú charakter trojrozmernej reprezentácie. Deje vždy prebiehajú v reálnom čase. Vizualizované prostredie obklopujúce užívateľa charakterizujú neustále dynamické zmeny. Preto musí byť vykresľované nepretržite v reálnom čase ako odozva na aktivitu užívateľa vo forme pohybu a interakcie s virtuálnym prostredím a objektmi, ktoré sú často dynamické (ŽÁRA 1999).

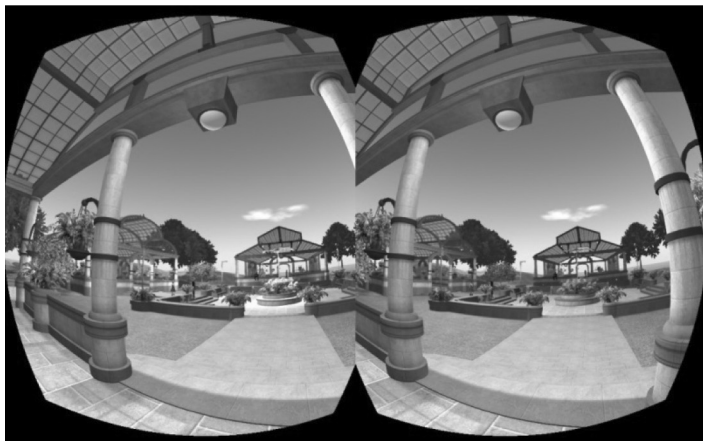
Výraznou črtou virtuálnej reality je jej imerzivita, ktorá sa prejavuje pohltením užívateľa virtuálnym svetom (CODELLA et al. 1992). Užívateľ je konfrontovaný s tele-prezenziou t.j. pocitom prítomnosti v dvoch prostrediach súčasne. V bezprostrednom fyzickom, ako aj vo virtuálnom prostredí (CHOU et al. 1997). Užívateľ si v prostredí virtuálnej reality uvedomuje charakteristiky a vlastnosti modelovaných objektov virtuálneho sveta, ich vzájomné vzťahy a väzby čím si vytvára poriadok v informáciách priestorového charakteru. Virtuálna realita sa vďaka svojim nesporným výhodám využíva aj v spojení s modelmi rastu lesa. Z tohto pohľadu je potrebné aby rastový simulátor poskytoval údaje o rozmiestnení jednotlivých stromov na ploche ako aj informácie o parametroch kmeňa a koruny jednotlivých stromov.

2.3 HARDVÉROVÉ NÁSTROJE NA VIZUALIZÁCIU LESA

Spomínané softvérové nástroje na vizualizáciu lesa sa zaoberajú tvorbou vizualizačných výstupov, avšak pre ich zobrazenie je potrebný príslušný hardvér. Intenzívny rozvoj informačných technológií za posledné desaťročia vytvára podmienky pre vývoj stále sofistikovanejších vizualizačných systémov. Tieto zariadenia sa orientujú nielen na zlepšenie zrkavého vnemu užívateľa, ale rozvíjajú aj nové spôsoby interakcie s virtuálnym prostredím a riešia otázky snímania pohybu užívateľa prenášaného do virtuálnej reality. Špecifiká týchto systémov spočívajú najmä v použitej projekčnej metóde, projekčnej technológii, stereoskopii, úrovni imerzivity, pohybe a možnosti kooperatívneho režimu viacerých užívateľov zariadenia súčasne.

2.3.1 Head Mounted Display

Technológia Head Mounted Display v skratke HMD predstavuje technologické riešenie, pri ktorom má užívateľ na hlave nasadené zariadenie podobné prilbe. Podstatou zariadenia je dvojica mini obrazoviek zobrazujúcich obraz zvlášť pre pravé a ľavé oko. Obrazy sú navzájom horizontálne posunuté čím sa dosahuje stereoskopický vnem, vďaka ktorému užívateľ vidí priestorovo. Ukážka zobrazenia je na obrázku 1.



Obr. 1 Zobrazenie virtuálnej reality v HMD. Stereoskopia je zabezpečená horizontálnym posunom obrazov zobrazovaných na mini obrazovkách pre pravé a ľavé oko. Prevzaté zo stránky ctrlaltstudio.com

Fig. 1 Displaying the virtual reality in HMD. Stereoscopy is achieved by horizontal shift of images displayed on mini displays for left and right eye. Figure taken from ctrlaltstudio.com

Priestorové videnie na obrazovkách je rozšírené pomocou optického systému produkujúceho obraz, ktorý sa javí ako vzdialený niekoľko metrov od užívateľa (SHIBATA 2002). Užívateľ má vďaka stereoskopii a úplnej zrakovej izolácii silný zážitok imerzivnosti (MELZER et al. 2009). Súčasťou technológie HMD je zariadenie pre sledovanie pozície a orientácie pohľadu užívateľa v priestore, aby sa zabezpečila správna perspektíva pohľadu vo virtuálnej realite. Pohyb aj interakcia sú štandardne sprostredkované pomocou externých ovládačov v rukách užívateľa.

2.3.2 VirtuSphere a Cybersphere

Pri technológii VirtuSphere celé zariadenie pozostáva z veľkej gule o priemer 3 m umiestnenej na špeciálnom podstavci, ktorý umožňuje jej rotáciu v ľubovoľnom smere. Užívateľ vstupuje do vnútra gule cez snímateľný vstupný otvor. Súčasne má na hlave nasadený bezdrôtový Head Mounted Display a v rukách drží ovládač pre interakciu s virtuálnou realitou. Hlavnou prednosťou tejto technológie je možnosť neobmedzeného pohybu užívateľa, ktorý svojou chôdzou uvádza guľu do pohybu. Pohyb je snímaný senzormi v podstavci zariadenia a prenášaný do virtuálneho sveta poskytovaného HMD. Technológia Cybersphere (FERNANDES et al. 2003) je taktiež tvorená primárnou guľou, vo vnútri ktorej sa užívateľ pohybuje. Rozdiel ale spočíva v premietaní obrazu priamo na povrch gule sústavou piatich projektorov. Obraz však nie je stereoskopický ako u VirtuSphere, len vytvára priestorovú ilúziu. Obe technológie umožňujú pohyb vo virtuálnom svete prirodzeným spôsobom bez potreby ďalších zariadení sprostredkujúcich pohyb. Zážitok z virtuálneho sveta tak dostáva nový rozmer. Virtuálnu realitu však nemôžu zdieľať viacerí užívatelia súčasne.

2.3.3 Cyberith Virtualizer a Virtuix Omni

U oboch je základom špeciálna podložka, ktorá je vybavená snímačmi pohybu chodidiel a vibrácií. Užívateľ stojí na podložke v rámci oporného zariadenia v tvare kruhu, ktoré má popruhmi pripevnené k telu (obrázok 2a) a na hlave má nasadený HMD, ktorý sme spomínali v predchádzajúcich kapitolách.

Princíp spočíva v pohybe užívateľa po podložke úplne prirodzeným spôsobom chôdzou alebo aj behom, pričom tento pohyb je podložkou snímaný a prenášaný do virtuálnej reality v HMD na jeho hlave. Oporné zariadenie, uprostred ktorého užívateľ stojí sa pohybuje v drážkach bočných panelov čím je snímaný jeho pohyb vo vertikálnom smere (prikrčenie, sadnutie si). Taktiež je snímaná aj poloha hlavy a orientácia pohľadu užívateľa. Cyberith Virtualizer a Virtuix Omni sú ukážkou unikátneho riešenia pohybu užívateľa, ktoré sa doposiaľ najviac približuje prirodzenému pohybu človeka.



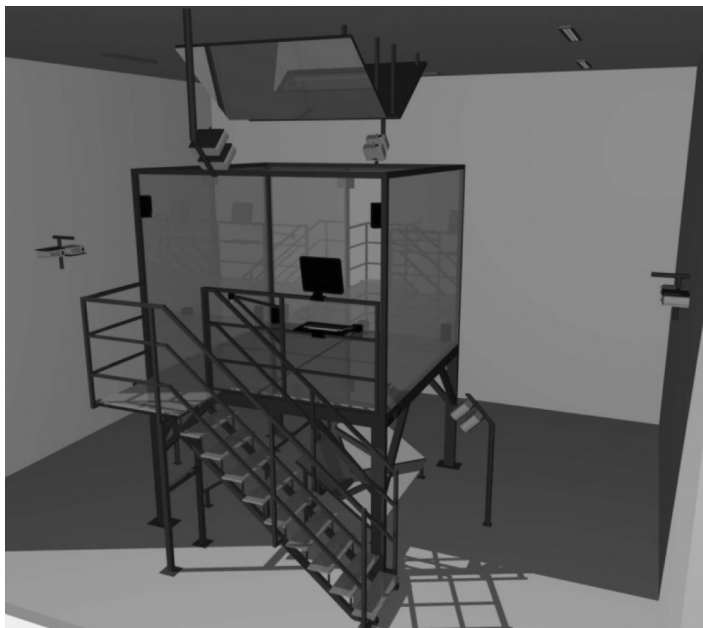
Obr. 2 a) technológia Cyberith Virtualizer, b) technológia Virtuix Omni. Obrázky boli prevzaté z webových stránok výrobcov

Fig. 2 a) technology cyberith virtualizer, b) technology virtvix omni. Figures were taken from manufactures webpages

2.3.4 CAVE systém na TU vo Zvolene

Skratka – CAVE je odvodená z anglického názvu „Computer Automatic Virtual Environment“. Prvý systém tohto typu zostrojili na Univerzite v Illinois v Chicagu v roku 1992. Jeho vývojári sa snažili o vytvorenie užitočného nástroja pre potreby vedeckých vizualizácií (CRUZ-NEIRA et al. 1993). Neskôr sa začali budovať ďalšie CAVE systémy, na ktorých vidieť značnú inšpiráciu originálom z Illinoisu. Väčšinou však ide o prototypy zariadení, vytvorené na základe špecifických požiadaviek, roztrúsené po svete zväčša na univerzitách a výskumných pracoviskách (DEFANTI 2011).

Zariadenie CAVE vo Zvolene nazývané aj virtuálna jaskyňa (obrázok 3) sa využíva na vizualizáciu prírodných a technických objektov vo forme imerzívnej a interaktívnej virtuálnej reality. Má tvar kvádra bez jednej steny. Steny predstavujú projekčné platne, na ktoré je spätnou projekciou dvojicami projektorov premietaný stereoskopický obraz systémom INFITEC. Pozorovateľ má na očiach 3D okuliare, ktoré mu poskytujú obraz s 3D hĺbkou. Sú vybavené zariadením pre zisťovanie polohy v priestore typu Polhemus. Pohyb vo virtuálnom svete je sprostredkovaný pomocou Joysticku alebo Space Pilota v rukách pozorovateľa. V priestore zariadenia je umiestnený systém reproduktorov 5+1 pre dosiahnutie ozvučenia priestorovým zvukom. Projektory sú napojené na cluster počítačov so zobrazovacím softvérom. Pre riadenie zobrazovacieho systému a zároveň pre prijímanie vstupov od používateľa slúži konzolový počítač upevnený na konštrukcii zariadenia. Zariadenie je univerzálne, schopné vizualizovať rôzne formáty virtuálnych svetov. Primárne bolo navrhnuté práve pre vizualizáciu virtuálneho lesa z rastového simulátora SIBYLA.



Obr. 3 Nákres CAVE systému na TU vo Zvolene (autorka obrázku D. Búryová, 2014)

Fig. 3 Drawing of CAVE system at TU in Zvolen (author of figure D. Búryová, 2014)

3 CIELE PRÁCE

Hlavným cieľom práce je vytvorenie softvérového riešenia, ktoré zabezpečí prepojenie rastového simulátora SIBYLA so zariadením virtuálnej jaskyne (CAVE) na TU vo Zvolene. Na realizáciu tohto prepojenia bude potrebné naprogramovať nový modul SIBYLA – Jaskyniar.

Cieľ vychádza z potrieb súčasného stavu technológie. Momentálne môžeme v zariadení virtuálnej jaskyne vizualizovať akýkoľvek virtuálny les vyprodukovaný rastovým simulátorom a realizovať v ňom zásahy. Avšak zatiaľ nie je možné automatizovane predpovedať jeho budúci vývoj. Prognózu rastu lesa tak môžeme spúšťať len manuálne, prácou s rastovým simulátorom a otvorením novej virtuálnej reality v CAVE. Preto je potrebné vytvoriť dátové rozhranie virtuálnej jaskyne s modelom SIBYLA.

Výsledkom by mal byť plne automatizovaný systém. Užívateľ vo virtuálnom lese vykoná zásah, nastaví parametre prognózy a spúšťa simuláciu. Systém sa postará o všetko ostatné – získa potrebné dáta, vykoná simuláciu a vygeneruje novú virtuálnu realitu lesa po zásahu spolu s aktualizovanými popisnými údajmi o lese. K uvedeným popisným údajom sa viaže ďalší cieľ spočívajúci vo vytvorení aplikácie, ktorá bude načítavať všetky informácie o lese na simulačnej ploche. Cieľom je, aby poskytovala informácie o dôležitých produkčných, ekologických a ekonomických ukazovateľoch.

Ciele práce sú zároveň úlohami vyplývajúcimi z riešenia vedeckého projektu APVV-0069-12 NEWTON (New Technology of Nature Management), etapy WATT (Walking and Thinning Training), ktorej cieľom je vytvorenie unikátneho nástroja v podobe trenažéra výchovy lesa.

Vytvorený nástroj bude univerzálny pre použitie tak pri tréningu manažmentu lesa v jednotlivito vygenerovaných porastových štruktúrach, ale i pri manažmente lesnej krajiny, čím nadväzuje na etapu PASCAL (Prognosis and Simulation of Computer Aided Landscape) spomínaného projektu APVV.

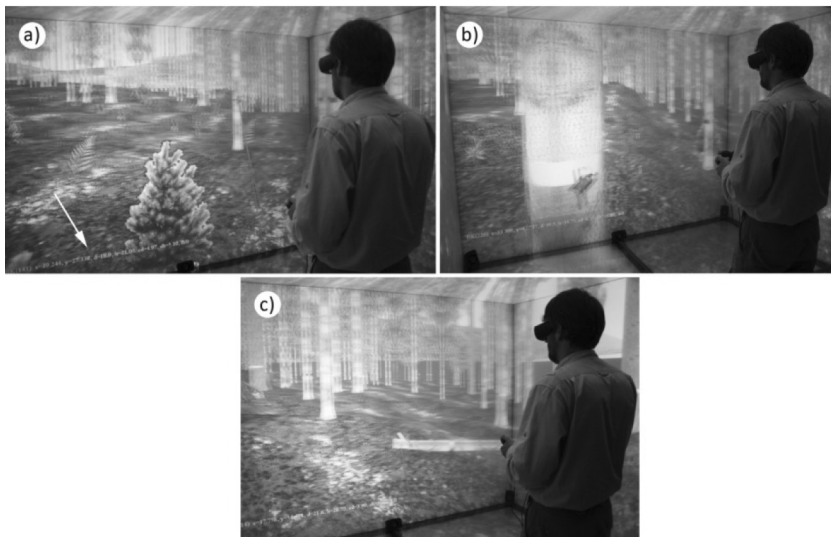
4 METODIKA TRENAŽÉRA LESA NA BÁZE SYSTÉMU CAVE A SIMULÁTORA SIBYLA

Metodický prístup pre vytvorenie trenažéra výchovy lesa vychádza z predstáv o výslednej podobe tohto zariadenia. Našou snahou je vytvoriť jedinečný nástroj spájajúci moderné prognostické nástroje rastu lesa s pokročilými technológiami vizualizácie. Oba prvotné predpoklady sú už úspešne splnené. Katedra hospodárskej úpravy lesov na TU vo Zvolene disponuje stromovým rastovým modelom SIBYLA, schopným tvorby virtuálnej reality zo svojich výstupov v podobe interaktívneho virtuálneho lesa. Zároveň bola na TU vo Zvolene vybudovaná virtuálna jaskyňa, ako špecializovaný vizualizačný nástroj, primárne inšpirovaná práve možnosťami využitia pre zobrazovanie akéhokoľvek virtuálneho lesa vyprodukovaného rastovým simulátorom. Tieto priaznivé skutočnosti vytvárajú ideálne podmienky pre ich vzájomnú integráciu.

Pokročilé nástroje vizualizácie vo virtuálnej jaskyni sa snažia pre pozorovateľa vytvoriť virtuálnu reprezentáciu natoľko vierohodnú, aby bol konfrontovaný s pocitom, že sa v tomto prostredí skutočne nachádza. Užívatelia si v takejto v stereoskopicknej a imerzívnej forme virtuálneho lesa dokážu vytvoriť dokonalú predstavu o celkovej štruktúre lesa a jeho stave. Môžu sa neobmedzene pohybovať po simulačnej ploche, získavať detailné informácie o jednotlivých stromoch a pohľadom do korún stromov hodnotiť ich vzájomnú konkurenciu v korunovom priestore. Všetky uvedené predpoklady smerujú k tomu aby užívateľ, ktorý realizuje zásah do virtuálneho lesa mal k dispozícii všetky potrebné informácie, podobne ako ich máme k dispozícii aj v reálnom lese. Tie sú nevyhnutné pri rozhodovaní sa o ponechaní resp. vyťažení jednotlivých stromov s ohľadom na druh realizovaného zásahu a jeho ciele. Spôsoby realizácie zásahov do virtuálneho lesa v CAVE systéme zachytáva obrázok 4.

Pomocou ovládača pre vykonávanie interakcie je možné získavať informácie o jednotlivých stromoch, na ktoré stačí namieriť laserovým lúčom a údaje sa zobrazia na prednej stene virtuálnej jaskyne (obrázok 4a). Zásahy do lesa realizujeme označovaním jednotlivých stromov (obrázok 4b) pomocou ovládača pre vykonávanie interakcie. Týmto zariadením užívateľ aktivuje laserový lúč, ktorým mieri na požadovaný strom vo výške 1,3 m, kedy sa zobrazí symbol spreja a stlčením tlačidla ho označí ako cieľový (zelená farba) alebo ako ťažený (červená farba), prípadne ponechá strom neoznačený. Taktiež je umožnené strom v reálnom čase spáliť. Namierením laserového lúča na pätu stromu sa zobrazí symbolická ikona motorovej pily a stlačením tlačidla dôjde k vyťaženiu stromu

(obrázok 4c). Ak bol vyťažený nesprávny strom, rovnakým spôsobom realizujeme jeho návrat do pôvodného stavu.



Obr. 4 Interakcia s lesom vo virtuálnej jaskyni: a) získavanie informácií o jednotlivých stromoch, b) vyznačovanie cieľového stromu, c) vyťaženie prebierkového stromu (snímané pri stereoskopickom režime, foto J. JUNEK 2013)

Fig. 4 Interaction with the forest in virtual CAVE: a) obtaining information about individual trees, b) marking the tree as future crop tree, c) felling of the thinned tree (images were captured in stereoscopic mode, photo J. JUNEK 2013)

Zatiaľ však nie je možné vo virtuálnej jaskyni automatizovane spúšťať prognózy vývoja lesa po realizovanom zásahu. Chýba totiž vzájomné dátové prepojenie modelu SIBYLA a virtuálnej jaskyne. Rastový simulátor na to, aby mohol realizovať prognózu potrebuje vstupné údaje týkajúce sa klimatických a pôdnych charakteristík lokality, údaje o rozmeroch a terénnej konfigurácii simulačnej plochy, parametre a pozície jednotlivých stromov s ich označením pre účely prebierky. Preto je nevyhnutné vytvorenie nového modulu SIBYLA – Jaskyniar, ktorý zabezpečí import všetkých dôležitých údajov do simulátora, vrátane vstupov od užívateľa. Následne spustí simuláciu a po jej ukončení teleportuje užívateľa do nového virtuálneho lesa po zásahu v budúcnosti.

Užívateľovi však nestačí len vizuálne porovnať stav štruktúry lesa vo virtuálnej realite pred a po zásahu. Potrebuje tiež vedieť aký mal realizovaný zásah vplyv na vývoj porastových charakteristík. Preto sú dôležitou súčasťou rastovej prognózy informácie týkajúce sa produkčných, ekologických a ekonomických ukazovateľov. Z uvedeného vyplýva potreba vytvorenia aplikácie, ktorá tieto aktuálne údaje poskytne užívateľovi v tabuľkách a grafoch. Bude to „Diagnostická karta porastu“ vo forme webovej aplikácie, ktorá sa

kliknutím na výtyčku pred simulačnou plochou otvorí na ovládacej konzole vo virtuálnej jaskyni.

4.1 METODIKA VYTVORENIA MODULU SIBYLA – JASKYNIAR

Modul SIBYLA – Jaskyniar bude v plnej miere zabezpečovať dátové prepojenie rastového simulátora s prostredím virtuálnej jaskyne. To zahŕňa súbor operácií nevyhnutných pre možnosť spúšťania prognózy rastu lesa a kalkuláciu výsledkov. Princíp fungovania modulu objasňuje schéma na obrázku 5.

Za iniciálny stav považujeme virtuálnu realitu porastu vo formáte *.wrl, ktorá je vizualizovaná v zariadení virtuálnej jaskyne. V tomto virtuálnom lese užívateľ realizuje zásahy spôsobom, ktorý bol opísaný v predchádzajúcej kapitole. Zároveň sa na príslušný porast viaže textový súbor obsahujúci informácie o poraste a lokalite. Ide o údaje o klimatických a pôdnych pomeroch, ako aj o parametroch lesa vyjadrených produkčnými, ekologickými a ekonomickými ukazovateľmi. Tieto dva súbory sú na seba úzko naviazané, ako je to naznačené väzbou v uvedenej schéme. Diagnostická karta porastu je schopná z uvedeného textového súboru čítať tieto charakteristiky lesa a poskytovať ich užívateľovi.

Prvou etapou je import potrebných údajov. Celý proces bude vykonaný automaticky spustením modulu Jaskyniar na konzole virtuálnej jaskyne. Ten zo súboru virtuálnej reality vizualizovaného lesa získa informácie o jednotlivých stromoch. Súbor zároveň obsahuje dáta o terénnej konfigurácii a rozmeroch simulačnej plochy. Zo spomínaného textového súboru s informáciami o poraste a lokalite modul Jaskyniar získa údaje o klimatických a pôdnych pomeroch na ploche. Stav stromov vo virtuálnej realite je zaznamenaný v súbore, ktorý sa automaticky vytvorí pri spustení modulu Jaskyniar na konzole. Odtiaľ sa preberie stav stromov zodpovedajúci realizovanému zásahu do lesa. V závere tejto etapy už len užívateľ v dialógovom okne modulu stanoví dĺžku trvania prognózy. Celú operáciu potvrdí stlačením tlačidla „OK“ v softvérovom riešení modulu Jaskyniar.

Nasleduje etapa transferu dát do databázovej štruktúry modelu SIBYLA. Údaje získané v predchádzajúcej etape sú zapisované do príslušných relácií databázy rastového simulátora. Štruktúru databázy detailne popisuje FABRIKA (2008).

V ďalšej etape po ukončení importu údajov modul Jaskyniar automaticky spúšťa modul Prorok rastového simulátora SIBYLA. Prebieha prognóza rastu jednotlivých stromov na simulačnej ploche. Pritom sa zohľadňuje východisková štruktúra lesa, klimatické a pôdne charakteristiky a realizované zásahy v lese. Po úspešnom ukončení prognózy dôjde k ukončeniu modulu Prorok.

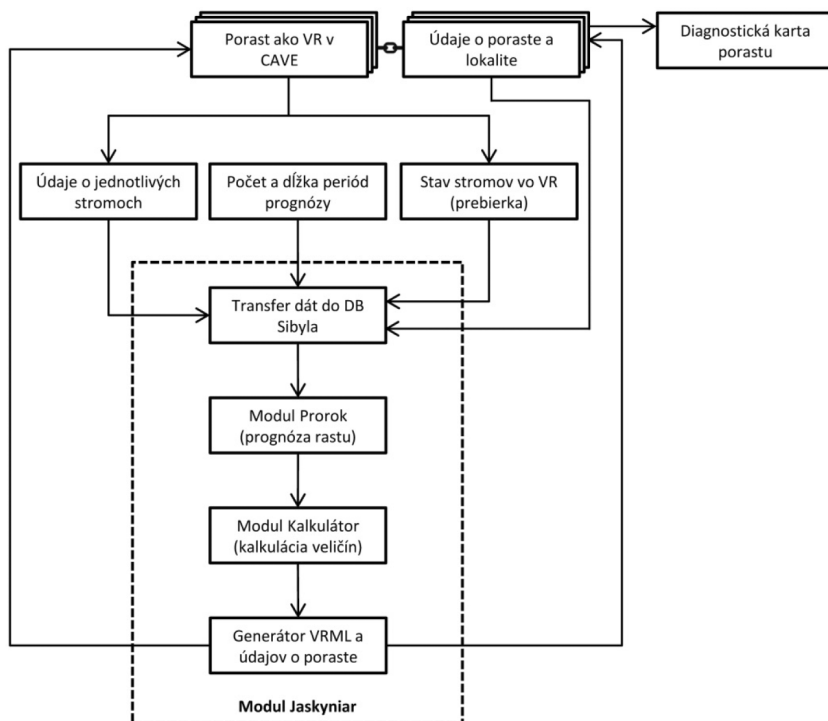
Následne je potrebné z prognózovaných údajov týkajúcich sa jednotlivých stromov realizovať kalkuláciu produkčných, ekologických a ekonomických charakteristík porastu. Modul Jaskyniar to zabezpečí spustením modulu SIBYLA – Kalkulátor. Ten sa postará o aktualizáciu všetkých dôležitých údajov týkajúcich sa daného lesného porastu.

Po ukončení modulu SIBYLA Kalkulátor sú všetky potrebné údaje uchované v databáze rastového simulátora. Sú to údaje o výsledkoch rastovej prognózy vo väzbe na iniciálnu štruktúru lesa, vykalkulované porastové charakteristiky, ale i údaje získané pri importe, ktoré sa počas simulácii nemenili.

V závere modul Jaskyniar spúšťa program generátor VRML a údajov o poraste. Tento zabezpečí vytvorenie novej virtuálnej reality porastu vo formáte *.wrl so stavom po prognóze rastu lesa. V tomto súbore virtuálnej reality aktualizuje linky na krištáľových guliach pre časový teleport užívateľa do minulosti resp. budúcnosti ako aj link pre Diagnostickú kartu porastu. Zároveň vytvorí textový súbor obsahujúci aktualizované údaje o poraste a lokalite potrebné pre Diagnostickú kartu porastu.

Užívateľovi sa v prostredí virtuálnej jaskyne otvorí nová virtuálna realita zobrazujúca stav lesa po vykonanom zásahu so zmenenými parametrami jednotlivých stromov a aktualizovanými údajmi o poraste v Diagnostickej karte porastu. Kliknutím na krištáľové gule môže realizovať časový teleport. Zároveň môže v novej virtuálnej realite znovu zasahovať do lesa a spúšťať prognózu rastu čím sa celý cyklus operácií modulu Jaskyniar uzatvára ako je to znázornené spätnými väzbami a viacerými kartami virtuálnej reality a údajov o poraste a lokalite na obrázku 5.

Zámerom je, aby bol celý proces plne automatizovaný s minimálnou potrebou asistencie zo strany užívateľa. Stačí, ak po realizácii zásahu spustí modul Jaskyniar na konzole virtuálnej jaskyne a zadá dĺžku prognózy. Modul sa už postará o všetko ostatné.



Obr. 5 Schematické znázornenie princípu fungovania modulu SIBYLA – Jaskyniar

Fig. 5 Scheme of SIBYLA – Caveman module functioning

Programátorský vývoj modulu Jaskyniar bude realizovaný vo vývojovom prostredí Delphi, využívajúcom objektovo orientovaný programovací jazyk Object Pascal. To zabezpečí požadovanú kompatibilitu a možnosti prepojenia s ostatnými modulmi rastového simulátora, ktorý bol tiež naprogramovaný v tomto vývojovom prostredí. Modul Jaskyniar bude nainštalovaný na konzolovom počítači virtuálnej jaskyne. Užívateľ ho po vykonaní zásahu vo virtuálnom lese spustí aktiváciou tlačidla „SIBYLA Jaskyniar“ v menu hlavného ovládacieho softvéru virtuálnej jaskyne SuperEngine Control Console.

Modul Jaskyniar bude svojim užívateľom poskytovať možnosť pozrieť sa na to ako bude les, ktorý svojimi zásahmi ovplyvnili, vyzerat' v budúcnosti. Aby však získali objektívnu predstavu potrebujú sa na les dívať aj cez jeho porastové charakteristiky. Tie bude poskytovať Diagnostická karta porastu.

4.2 METODIKA VYTVORENIA APLIKÁCIE DIAGNOSTICKÁ KARTA PORASTU

Diagnostická karta porastu bude aplikáciou využívanou pre zobrazovanie dôležitých informácií o lese na simulačnej ploche. Pretože okrem informácií o zmene parametrov jednotlivých stromov vo virtuálnej realite užívateľ potrebuje tiež vedieť, aký mal realizovaný zásah vplyv na vývoj porastových charakteristík. Jej obsluha bude veľmi jednoduchá, po kliknutí na výtyčku pred simulačnou plochou vo virtuálnej realite sa diagnostická karta porastu otvorí na konzolovom počítači. Bude mať podobu webovej stránky, na ktorej užívateľ rýchlo a efektívne nájde všetky dôležité informácie týkajúce sa vizualizovaného lesa.

Aplikácia bude poskytovať aktuálne informácie o produkčných, ekologických a ekonomických ukazovateľoch porastu. Užívateľ pomocou nej získa všeobecné stanoviské i podrobné klimatické a pôdne informácie týkajúce sa lokality, na ktorej daný les rastie, ako aj informácie o štruktúre lesa prostredníctvom štrukturálnych indexov, zakmenenia a zápoja. Hlavné informácie týkajúce sa produkcie, biomasy a sortimentov budú interpretované prostredníctvom tabuliek s jednotlivými drevinami v riadkoch a dôležitými porastovými charakteristikami v stĺpcoch. Tabuľky budú rozdelené podľa toho či obsahujú údaje pre združený porast, hlavný porast, podružný porast, odumreté stromy alebo budúce rubné stromy. Číselné údaje budú vhodne doplnené grafmi.

Ako je to znázornené v schéme na obrázku 5, diagnostická karta porastu bude tieto informácie načítavať z textového súboru obsahujúceho údaje o poraste a lokalite do webovej stránky s adekvátnou grafickou a obsahovou úpravou. Z uvedeného vyplýva potreba vytvorenia dynamickej webovej stránky, ktorá pri zachovaní celkového vzhľadu bude dynamicky meniť svoj obsah na základe údajov v externom textovom súbore. Na jej tvorbu sa použije jazyk html spolu s dynamickými prvkami v podobe ActiveX komponentov a skriptov jazyka JavaScript. Tieto dynamické prvky zabezpečia na webovej stránke tvorbu tabuliek a ich napĺňanie aktuálnymi dátami z uvedeného textového súboru. Podobným spôsobom bude potrebné získavať dáta aj pre grafy, ktoré sa budú zadefinované v tele stránky s väzbou na JavaScriptové knižnice, ktoré sa postarajú o ich vykreslenie na stránke.

Pre dynamické prepojenie s externým súborom sa použije ActiveX komponent Tabular Data Control (SCHURMAN et al. 1999) vytvorený html prvkom „OBJECT“ s príslušným identifikátorom triedy (CLASSID). Úlohou tohto komponentu bude načítanie všetkých dát z externého súboru, ktoré vyhovujú podmienkam filtra a to v podobe riadkov a stĺpcov (atribútov) s definovaným oddeľovačom. Definuje sa identifikátor komponentu (OBJECT ID), pomocou ktorého budú volané už načítané dáta a nastaví sa príslušné parametre (PARAM). Komponent ActiveX v html kóde potom vyzerá nasledovne:

```
<OBJECT ID="data" CLASSID="CLSID:333C7BC4-460F-11D0-BC04-0080C7055A83"
>
  <PARAM NAME="DataURL" VALUE="data.doc">
  <PARAM NAME="UseHeader" VALUE="TRUE">
  <PARAM NAME="FieldDelim" VALUE="      ">
  <PARAM NAME="Filter" VALUE="(uc=1)">
</OBJECT>
```

V tejto fáze sú všetky dáta z externého súboru načítané v prvku „OBJECT“ s identifikátorom „data“. Načítanými dátami je možné naplňať tabuľky, u ktorých sa nastaví zdroj dát (DATASRC) totožný s identifikátorom prvku „OBJECT“, v ktorom sú už dáta načítané (v tomto prípade DATASRC="#data"). Definujú sa štýly tabuľky a vytvorí celá jej hlavička:

```
<TABLE DATASRC="#data"; BORDER="1"; rules="all"; align="center"; bordercolor="white"; cellpadding="2px"; cellspacing="0px";>
<THEAD>
  <TR bgcolor="#556b2f" height="50">
    <TH>Species</TH>
    <TH>Age<br>(years)</TH>
    <TH>d<sub>s</sub><br>(cm)</TH>
    <TH>h<sub>s</sub><br>(m)</TH>
    <TH>h<sub>95%</sub><br>(m)</TH>
    <TH>v<br>(m<sup>3</sup>)</TH>
    <TH>N<br>(count)</TH>
    <TH>G<br>(m<sup>2</sup>)</TH>
    <TH>V<br>(m<sup>3</sup>)</TH>
  </TR>
</THEAD>
```

Po vytvorení hlavičky sa nastaví atribúty cez ich identifikátory (DATAFLD), ktoré budú v tabuľke zobrazované v jednotlivých stĺpcoch s hodnotami uloženými v riadkoch. Zjednodušene povedané, zdefinujú sa stĺpce reprezentujúce žiadané charakteristiky ako napr. druh dreviny, vek, stredná hrúbka, stredná výška a podobne, pričom v riadkoch sa zobrazia už konkrétne hodnoty po jednotlivých drevinách.

Postup vyzerá asi takto:

```
<TR>
<col span="9" style="text-align: center" width="60px">
  <TD><SPAN DATAFLD="dr"></SPAN></TD>
  <TD><SPAN DATAFLD="vekz"></SPAN></TD>
  <TD><SPAN DATAFLD="dsz"></SPAN></TD>
  <TD><SPAN DATAFLD="hsz"></SPAN></TD>
  <TD><SPAN DATAFLD="h95z"></SPAN></TD>
  <TD><SPAN DATAFLD="oskz"></SPAN></TD>
  <TD><SPAN DATAFLD="nz"></SPAN></TD>
  <TD><SPAN DATAFLD="gz"></SPAN></TD>
  <TD><SPAN DATAFLD="vz"></SPAN></TD>
</TR>
</TABLE>
```

Uvedeným spôsobom sa tabuľka vytvorí, naplní požadovanými dátami z externého súboru a zobrazí na webovej stránke. Podobným spôsobom sa vytvoria všetky potrebné tabuľky v Diagnostickej karte porastu. Získavanie dát pre grafy a ich vykresľovanie bude využívať JavaScript, no pre veľkú rozsiahlosť zdrojového kódu tu tento princíp nie je uvedený.

Pre tvorbu webovej grafiky stránky sa využije profesionálny grafický editor Adobe Photoshop, pričom grafika bude optimalizovaná pre dotykovú obrazovku konzoly virtuálnej jaskyne pre jednoduché a pohodlné ovládanie webovej stránky.

Diagnostickej karte porastu bude slúžiť predovšetkým ako nástroj pre vyhodnotenie vplyvu realizovaného zásahu na stav a štruktúru vizualizovaného lesa cez porastové charakteristiky, ale aj ako univerzálny nástroj, ktorý zobrazí tieto informácie viažuce sa na akúkoľvek iniciálnu štruktúru lesa.

5 ZÁVER

Komplexné výstupy rastových simulácií si vyžadujú adekvátne nástroje pre ich vizualizáciu. V práci je zadaný metodický postup vytvorenia softvérového riešenia spájajúceho rastový simulátor s moderným vizualizačným zariadením do podoby špecializovaného nástroja pre sprostredkovanie zásahov do lesného ekosystému.

Prepojením rastového simulátora SIBYLA so zariadením virtuálnej jaskyne pomocou modulu Jaskyniar vytvoríme celosvetovo jedinečný nástroj v podobe trénera výchovy lesa. Ten umožní svojim užívateľom sledovať budúci vývoj lesa po zásahoch, ktoré v ňom uskutočnia. Zmeny v štruktúre lesa im budú prezentované vizuálne vo virtuálnej realite, ale aj pomocou porastových charakteristík v diagnostickej karte porastu. Univerzálnosť trénera bude umožňovať jeho použitie aj v aplikáciách na úrovni manažmentu lesnej krajiny.

Užívatelia tak získajú komplex informácií charakterizujúcich realizovaný zásah vo väzbe na východiskovú štruktúru lesa, čo im umožní vybrať optimálny variant jeho ob-

hospodarovania. Zároveň trenažér výchovy lesa bude dovoliovať experimentovanie s rôznymi i neštandardnými druhmi zásahov v rozmanitých štruktúrach lesných ekosystémov. Uplatní sa tak nielen v procese výučby pri osvojovaní si zručností realizácie prebierok, ale aj vo výskume.

Popísaný trenažér výchovy lesa možno považovať za nástroj určený pre podporu rozhodovania sa, ktorý nám umožní objektivizovať naše rozhodnutia o spôsobe akým budeme obhospodarováť les tak, aby do budúcnosti plnil funkcie, ktoré od neho očakávame.

Pod'akovanie

Príspevok vznikol v rámci riešenia vedeckého projektu APVV-0069-12 NEWTON „New Technology of Nature Management“.

6 Zoznam použitej literatúry

- BÚRYOVÁ, D., 2014: Náskres CAVE systému na TU vo Zvolene. Nepublikovaná práca. Zvolen.
- CODELLA, CH., JALILI, R., KOVED, L., LEWIS, J. B., LING, D. T., LIPSCOMB, J. S., TURK, G., 1992: Interactive simulation in a multi-person virtual world. In: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems. ACM, s. 329–334.
- CRUZ-NEIRA, C., SANDIN, D. J., DEFANTI, T. A., 1993: Surround-screen projection-based virtual reality: the design and implementation of the CAVE. In: Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. ACM, s. 135–142.
- DEFANTI, T. A., et al. 2011: The future of the CAVE. Central European Journal of Engineering, 1(1), s. 16–37.
- FABRIKA, M., 2005: Simulátor biodynamiky lesa SIBYLA. Koncepcia, konštrukcia a programové riešenie. Habilitačná práca, Technická univerzita vo Zvolene, 238 s.
- FABRIKA, M., 2008: Manuál rastového simulátora SIBYLA. Dostupné na <http://etools.tuzvo.sk/sibyla/slovensky/>
- FABRIKA, M., PRETZSCH, H., 2011: Analýza a modelovanie lesných ekosystémov. Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen 2011, 599 s.
- FERNANDES, K. J., RAJA, V., EYRE, J., 2003: Immersive learning system for manufacturing industries. Computers in Industry, 51 (1), s. 31–40. ISSN 0166-361.
- CHOU, C., HSU, H. L., YAO, Y. S., 1997: Construction of a virtual reality learning environment for teaching structural analysis. Computer Applications in Engineering Education 5 (4), s. 223–230.
- MELZER, J. E., BROZOSKI, F. T., LETOWSKI, T. R., HARDING, T. H., RASH, C. E., 2009: Guidelines for HMD design. In: RASH, C. E., RUSSO, M. B., LETOWSKI, T. R., SCHMEISSER, E. T. (eds.) Helmet-Mounted Displays: Sensation, Perception and Cognition Issues, s. 805–848.
- PRETZSCH, H., 2009: Forest Dynamics, Growth and Yield. From Measurement to Model. Springer 664 s.
- RHEINGOLD, H., 1991: Virtual reality. Summit, New York, 415 s.
- ROLLAND, J., ÇAKMAKCI, O., 2005: The past, present, and future of head mounted display designs. In SPIE International Society of Optical Engineers, Volume 5638, s. 368–377.
- SHIBATA, T., 2002: Head mounted display. Displays, 23(1), s. 57–64.
- SCHURMAN, M. E., PARDI J. W., 1999: Dynamic HTML in action. Microsoft Press, 479 s.
- ŽÁRA, J., 1999: VRML97 Laskavý průvodce virtuálními světy. Computer Press, Brno, 238 s.

Adresa autora:

Ing. Peter Valent

Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24

960 53 Zvolen

Slovenská republika

e-mail: peter.valent@tuzvo.sk

Vizualizácia lesa ako nástroj pre podporu rozhodovania a lesnícke vzdelávanie

Abstrakt

Výstupy modelov rastu lesa majú často charakter komplexných informácií. Pre lepšie pochopenie vzťahov medzi modelovanými veličinami je nevyhnutná ich vizualizácia. Problematika práce sa zaoberá softvérovými a hardvérovými nástrojmi pre tvorbu vizualizačných výstupov z rastových simulátorov. Dôraz je kladený na vizualizáciu lesa pomocou virtuálnej reality. Tá je prítomná i v rastovom simulátore SIBYLA, ktorá okrem samotnej vizualizácie lesa umožňuje i vykonávanie interaktívnej prebiecky. Virtuálny les vyprodukovaný rastovým simulátorom SIBYLA možno zobraziť pomocou sofistikovaného vizualizačného zariadenia typu CAVE vybudovaného pri TU vo Zvolene. Kvôli chýbajúcemu vzájomnému komunikačnému prepojeniu simulátora so zariadením CAVE, zatiaľ nie je možné spúšťať prognózy rastu lesa po vykonaných zásahoch. Ciele práce sa zameriavajú na programátorský vývoj softvérového riešenia, ktoré zabezpečí prepojenie rastového simulátora SIBYLA so zariadením CAVE. Ďalším cieľom je vývoj aplikácie zobrazujúcej dôležité informácie o lese na simulačnej ploche. V metodike práce sú zadefinované prístupy k vytvoreniu potrebných softvérových riešení, vyplývajúcich z cieľov práce. Prepojením rastového simulátora SIBYLA so zariadením CAVE vznikne celosvetovo unikátny nástroj – trénažér výchovy lesa. Tento nástroj bude významným prínosom pre vedu, vzdelávanie ako aj prácu s verejnosťou formou popularizácie lesníckej vedy.

Kľúčové slová: virtuálna realita, simulátor SIBYLA, vizualizácia, CAVE

METODIKA UPLATNENIA POZEMNÉHO LASEROVÉHO SKENOVANIA PRI ZISŤOVANÍ VYBRANÝCH DENDROMETRICKÝCH CHARAKTERISTÍK BUKOVÝCH PORASTOV

Martin M O K R O Š

Mokroš, M.: Methodics for application of terrestrial laser scanning for survey of forest condition. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 56, Suppl. 1, 2014, 65–81.

The objective of the work was to create a working procedure for research oriented on deriving dendrometric characteristics with the use of terrestrial laser scanning within the circular sample plots. The aim of the following research is to determine the most appropriate positioning of the scanner within the circular sample plots, the algorithm for deriving the diameters of trees, the resolution and quality of the scanner and to compare these findings in three beech stands at ages 40, 80 and 120 years. We believe that the procedures that have been designed will determine the best positions of the scanner, algorithm and combination of scanner resolution and quality.

Key words: pozemné laserové skenovanie, pozícia skenera, dendrometrické charakteristiky, Faro Focus 30120

ÚVOD

Pozemné laserové skenovanie je pomerne novou technológiou, ktorá sa začína využívať v lesníctve. Ide hlavne o využitie v lesníckych výskumoch. Tie sú poväčšine zamerané na zisťovanie využiteľnosti tejto technológie v lesníckej praxi. Hlavné zámery doterajších výskumov sú orientované na odvodzovanie hrúbky stromov v 1,3 m na kmeni, výšky stromov, počtu a pozície stromov a korunových charakteristík. Využívanie tejto technológie zatiaľ iba vo výskumoch má viacero príčin. Hlavnou príčinou je vysoká obstarávacia cena hardvéru, čím sa myslí samotný skener, ale aj náklady na výkonnú výpočtovú techniku s veľkým úložným priestorom. Za ďalšiu príčinu považujeme nedostatočné softvérové vybavenie. Softvér zameraný na spracovanie mračien bodov pre lesníctvo je momentálne vo väčšine prípadov riešený len na výskumnej úrovni. To znamená, že každá inštitúcia skúmajúca pozemné laserové skenovanie si sama takýto softvér vyvíja.

Z doteraz uskutočnených výskumov je jasne vidieť vysoký potenciál pozemného laserového skenovania pre lesnícku prax. V prípade zisťovania hrúbky stromov v 1,3 m na kmeni, počtu stromov a ich pozícii sú dosiahnuté výsledky na veľmi dobrej úrovni. Konkrétnym výskumom a ich výsledkom sa budeme venovať v rozbere problematiky.

1 POZEMNÉ LASEROVÉ SKENOVANIE

Pozemné laserové skenovanie (PLS) v oblasti lesníctva patrí medzi jednu z najmladších technológií. V tejto podkapitole sa budeme najprv venovať vysvetleniu princípov, metódam skenovania a typom skenerov.

1.1 Princípy a metódy pozemného laserového skenovania

Proces snímania pozemným laserovým skenerom môžeme rozdeliť do troch krokov. V prvom kroku je vyslaný laserový lúč skenerom a pomocou rotujúceho zrkadla je tento lúč následne odrazený do okolitého priestoru. Nasledujúcim krokom je odrazenie lúča od objektu stojaceho v smere vyslania lúča. Posledným krokom je prijatie odrazeného laserového lúča späť a jeho zápis do pamäte skenera. V mieste odrazu lúča sa vytvorí bod so súradnicami XYZ. Všetky vytvorené body miest odrazov lúčov sa nazývajú mračno bodov. Vytvorené body môžu okrem súradníc obsahovať napríklad atribúty intenzity a RGB. Taktiež sa nemusí zaznamenať len jeden bod z jedného vyslania lúča.

Doposiaľ poznáme tri metódy skenovania v lesníctve. Buď môžeme vytvárať jednoskenové mračno bodov pochádzajúce z jednej pozície, alebo multiskenové mračná bodov, ktoré sú fúziou viacerých pozícií. V druhom prípade je potrebné do priestoru skenovania umiestniť referenčné body slúžiace na spojenie týchto skenov. Väčšinou sa na spojenie viacerých skenov využívajú biele gule, ktoré sa dajú v postprocesingu automaticky rozpoznať, prípadne sú to rôzne druhy terčikov. Danej problematike sa budeme podrobnejšie venovať v kapitolách venovaných doterajším výskumom a v samotnom návrhu metód dizertačnej práce.

V práci LIANGA a HYYPPA (2013) je prezentovaná aj tretia metóda. V princípe ide o prístup nachádzajúci sa medzi jednoskenovým a multiskenovým záznamom mračien bodov. Autori ho nazvali multi-single-scan (multi-jedno-sken). Pri tejto metóde sa najskôr zaznamenajú jednoskenové mračná bodov bez použitia referenčných bodov a následne sa spoja v postprocesingu pre účel vyhodnotenia dendrometrických charakteristík na skusných plochách. Dôvodom pre vytvorenie daného postupu je zbavenie sa používania referenčných bodov.

1.2 Typy pozemných laserových skenerov

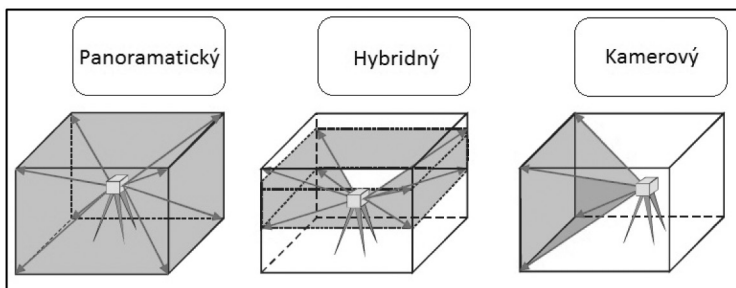
Pozemné laserové skenery môžeme rozdeliť podľa viacerých aspektov. Základné rozdelenie je podľa spôsobu merania/určovania polohy bodov. V tomto prípade sa delia skenery na: Phase-shift (fázový posun) a Time of flight (čas letu) skenery.

Phase-shift skenery určujú polohu bodov na základe merania fázového posunu medzi neustále vysielaným a prijímaným lúčom. Tento prístup zabezpečuje vysokú rýchlosť zaznamenania a tým pádom veľký počet zaznamenaných bodov za krátky čas.

Time of flight skenery určujú polohu bodov ako rozdiel času medzi vyslaním a prijatím lúču späť podelený dvomi. Tento prístup umožňuje skenovať na veľké vzdialenosti pri značne nižšej rýchlosti zaznamenávania na rozdiel od Phase-shift skenerov.

Ďalej skenery rozdeľujeme na statické a dynamické (PETRIE a TOTH, 2008). Statické skenery sú počas skenovania v statickej polohe a presúvajú sa medzi pozíciami skenovania, keď nie sú aktívne. Mobilné skenovanie je väčšinou riešené pomocou automobilu, na ktorom je skener pripevnený a skenuje počas jazdy.

Ďalším aspektom, na základe ktorého sa skenery rozdeľujú, je to aký priestor sú schopné pokryť na jedno skenovanie (STAIGER, 2003). Autor vytvoril tri kategórie (obr. 1): panoramatické, hybridné a kamerové skenery.



Obr. 1 Typy skenerov podľa schopnosti pokrytia okolitého priestoru
Fig. 1 Types of scanners divided by ability to cover surrounding area
Zdroj: STAIGER, 2003

1.3 Využitie a potenciál pozemného laserového skenovania v lesníctve

LEEUEWEN a NIEUWENHUIS (2010) vo svojej práci, okrem iného, rozoberajú aj potenciál použitia TLS v lesníctve s jeho kladmi a zápormi. Podľa autorov je oblasť využitia TLS v lesníctve hlavne pri zisťovaní hrúbky jednotlivých stromov, polohy stromov, výšky stromov a listovej plochy. Za limity tejto technológie považujú najmä jej malý priestorový rozsah. Aj napriek tomu, že niektoré TLS zariadenia majú dosah 100 m a v niektorých prípadoch až niekoľko kilometrov, táto vzdialenosť je v podmienkach lesa nedosiahnuteľná. To platí tak pre horizontálny, ako aj pre vertikálny smer snímania, kde sú v ceste vyslaného lúča prekážky vo forme kmeňov stromov, vetiev, listov, ihličia a podobne. Za ďalšie negatívum považujú vysokú finančnú náročnosť hardvérového vybavenia. Na druhej strane, ako pozitívum tejto technológie, autori uvádzajú jej vysoký stupeň detailu oproti napríklad leteckému laserovému skenovaniu.

V práci DASSOTA a kol. (2011) autori veľmi podrobne popisujú oblasti, v ktorých je potenciál využitia PLS v lesníctve. Využitie PLS rozdeľuje do štyroch skupín:

- 1) Využitie PLS pre lesnú inventarizáciu na úrovni porastu.

Do tejto skupiny autori zaraďujú schopnosť odvodiť z dát skenera základné dendrometrické charakteristiky (hrúbka a výška stromu, kruhová základňa, zásoba porastu). Ďalším dôležitým prvkom je zisťovanie druhu stromov zo štruktúry kôry, ktorá zatiaľ nie je dostatočne dopracovaná. Nakoniec sem autori zaraďujú ešte externú kvalitu stojaceho stromu.

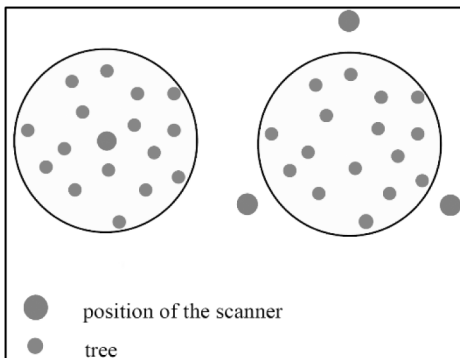
- 2) Využitie PLS pre zisťovanie korunových charakteristík.
Medzi zisťované korunové charakteristiky pomocou PLS autori zaraďujú napríklad určenie korunového zápoja. Ďalej je to odvodenie indexu listovej plochy z mračna bodov.
- 3) Využitie PLS pre modelovanie štruktúry stromov.
Do tejto skupiny autori zaraďujú metódy, ktoré sa zameriavajú na čo najpresnejšiu rekonštrukciu stavby stromov z mračna bodov. Tieto rekonštrukcie rozdeľujú na rekonštrukciu drevnatej časti stromov a na modelovanie na základe pravdepodobnosti.
- 4) Využitie PLS pre ekologické účely zamerané na les.
PLS pre ekologické účely môžeme použiť hlavne pri zisťovaní vzájomného pôsobenia svetla a korun stromov. Ďalej autori uvádzajú štúdiu ANTONARAKISA a kol. (2009), ktorí využili PLS pri zisťovaní vzťahu medzi prílivom a porastmi v pobrežných oblastiach. Ďalším využitím PLS pre ekologické účely zamerané na les je možnosť použiť PLS na rozdeľovanie mikrohabitatov živočíchov v lesných korunách.

1.4 Odvodzovanie dendrometrických charakteristík pomocou PLS

Detekciou kmeňov, odvodením hrúbky v prsnej výške a odvodením výšky stromov z mračien bodov z TLS sa približne od roku 2003 zaoberalo viacero autorov. Pre detekciu kmeňov a pre odvodenie hrúbky v prsnej výške sa vytvorilo niekoľko algoritmov, ktoré sú viac či menej úspešné. Veľkú úlohu zohráva spôsob získavania mračien bodov, tie sa môžu vyhotoviť pomocou multiskenovej alebo jednoskenovej metódy. Prvé štúdie razili cestu multiskenového snímania, kde sa dosahuje vyššia presnosť a taktiež sa zabezpečí zachytenie všetkého potrebného. Ide však o metódu náročnú na čas a obsluhu. Z tohto dôvodu sa postupne viacero autorov snaží testovať jednoskenovú metódu, pre jej nižšiu časovú náročnosť. Avšak pri jednoskenovej metóde výsledky poukazujú na nedostatočnosť pokrytia skusných plôch a nezachytenie cieľového počtu stromov. V prípade odvodzovania výšok sa zatiaľ používa jednoduchá metóda odpočítania DMR od DMT. Z výsledkov je zatiaľ vidieť väčšia vhodnosť leteckého laserového skenovanie pre odvodzovanie výšok stromov.

Práca SIMONSA a kol. (2003) patrí medzi pilotné, čo sa týka použitia TLS v lesníctve. Autori použili vo svojom výskume skener Z + F Imager 5003 (fázový), multiskenovú metódu a Houghovú transformáciu na odvodenie hrúbky. Na ploche skenovania sa nachádzalo 28 ihličnatých stromov, ktoré zmerali aj klasickými postupmi. Z mračna bodov sa im podarilo určiť hrúbku 26 stromom. Priemerný odklon od klasicky meraných hodnôt bol 1,7 cm a smerodajná odchýlka bola 2,8 cm. Najväčšie podhodnotenie bolo -5,8 cm a najväčšie nadhodnotenie bolo 5,6 cm. Z výsledkov bolo jasne vidieť veľký potenciál technológie TLS v lesníctve.

Ďalším míľnikom je práca BIENERTAA kol. (2006), v ktorej autori pristupujú k zberu dát jednoskenovou a multiskenovou metódou a vzájomne ich medzi sebou porovnávajú (viď obr. 2).



Obr. 2 Rozmiestnenie skenera

Fig. 2 Positioning of scanner

Zdroj: BIENERT a kol. (2006)

Pri jednoskenovej metóde sa dosiahla priemerná odchýlka na troch plochách $-0,93$ cm, $0,04$ cm a $-0,96$ cm. Smerodajná odchýlka bola $1,23$ cm, $1,39$ cm a $2,47$ cm. Pri multiskenovom sa meralo na jednej ploche a priemerná odchýlka bola $0,93$ a smerodajná odchýlka bola $1,21$ cm.

V štúdií MAASA a kol. (2008) boli použité dva skenery (Riegl LMS Z420i a Faro LS 800 HE80) na plochách s listnatými, ihličnatými a zmiešanými drevinami. Bolo použité jednoskenové aj multiskenové snímanie. Celková úspešnosť pre všetky plochy a postupy bola $97,5$ %. Pri hrúbke bol najväčší rozdiel medzi priemerkou meranými hodnotami a odvodenými hodnotami z mračna bodov $-6,17$ cm. Pri výške to bolo $-10,53$ m. RMS chyba pre hrúbku variuje na 4 plochách medzi $1,48$ cm až $3,25$ cm. Najlepšia dosiahnutá RMS chyba je na ploche, na ktorej bolo použité multiskenové snímanie a bol použitý skener so systémom snímania phase-shift. Stredná hodnota rozdielov pri výške bola $-0,64$ m a RMS chyba variuje medzi $3,24$ m až 4 m v rámci 4 plôch. Najlepšia RMS chyba ($3,24$ m) bola dosiahnutá na ploche, na ktorej sa použilo skenovanie z viacerých pozícií. Z výsledkov štúdie je jasne vidieť, že najväčší vplyv na presnosť údajov získaných z mračna bodov má spôsob skenovania, konkrétne multiskenový prístup, ktorý má jasne lepšie výsledky.

Autori BROLLY a KIRÁLY (2009) sa zamerali na vytvorenie algoritmu na extrakciu parametrov na úrovni stromu: pozícia stromu, hrúbka a výška stromu. Následne ich porovnávali s klasickými metódami. Skenovaná bola lesná rezervácia s 85-ročnými Dubmi, Hrabmi, Bukmi, Smrekovcami, Smrekmi a podrastom Briez. Použil sa skener Riegl LMS Z420i a jednoskenový prístup.

Z výsledkov je vidieť dopad jednoskenového prístupu, pretože na ploche s polomerom 30 m sa podarilo identifikovať z celkového počtu 213 stromov iba 173 (81 %) stromov. Podobné výsledky na úrovni 53 – 89 % dosahuje aj LIANG a kol. (2009) a LITKEY a kol. (2008), ktorým sa detekcia stromov podarila na úrovni 85 %. V štúdiách sa taktiež použila jednoskenová metóda skenovania. Avšak v rámci spomenutých štúdií sa použili rôzne typy skenerov.

Ďalšie práce, ktoré si rozoberieme sú práce LOVELLA a kol. (2011), YAOA a kol. (2011) a YANGA a kol. (2013). Od ostatných štúdií zameraných na využitie TLS v lesníctve sa odlišujú použitým skenerom. Konkrétne je to skener Echidna. Skener funguje na princípe vyslania lúča a spätného zaznamenania celej krivky vlnovej dĺžky tohto vráteného lúča. Vrcholy danej krivky symbolizujú takzvané „zásahy“ v smere vyslania lúča. To znamená možnosť vytvorenia viacerých bodov pre mračno bodov z jedného vyslaného lúču. Zaznamenáva celú polguľu (hemisféru) zo svojej statickej pozície.

Prvé dve spomenuté štúdie sa zamerali na zisťovanie základných dendrometrických charakteristík, ako hrúbka vo výške 1,3 m na kmeni, počet a poloha stromov. Pri detekcii stromov sa podarilo v štúdií LOVELLA a kol. (2011) identifikovať 54 % stromov z celkového počtu na prvej ploche a 68 % stromov z celkového počtu na druhej ploche. Ďalej bola odvodená hrúbka stromov v 1,3 m na kmeni z mračna bodov a porovnaná s hrúbkou meranou priemerkou a vyjadrená korelačným faktorom. Na prvej ploche sa $R^2 = 0,82$ a na druhej ploche sa $R^2 = 0,45$. Autorom YAO a kol. (2011) sa podarilo identifikovať 42 % stromov z celkového počtu na ploche. Do 5 m od skenera sa $R^2 = 0,85$. Od 5 m do 10 m sa $R^2 = 0,73$. Nižšie výsledky pri identifikácii sú spôsobené použitím jednoskenovej metódy v oboch štúdiách.

V štúdií YANGA a kol. (2013) bola korelácia medzi priemerkou meranou hrúbkou vo výške 1,3 m a odvodenou z mračna bodov $R^2 = 0,974$ pre výšku meranú priamo na ploche a odvodenú z mračna bodov to bola korelácia na úrovni $R^2 = 0,984$. Ďalej autori odvodzovali priemer koruny a dĺžku koruny a porovnávali odvodené hodnoty s nameranými hodnotami priamo na ploche. Pri dĺžke koruny bola korelácia $R^2 = 0,935$ na jednej ploche a na druhej to bolo $R^2 = 0,945$. Korelácia priemeru koruny bola na jednej ploche $R^2 = 0,814$ a na druhej to bolo $R^2 = 0,699$. Z výsledkov je jasne vidieť, že skener sa ukazuje ako veľmi vhodný pri odvodzovaní základných dendrometrických charakteristík. Rovnako je vidieť značne lepšie výsledky v práci YANGA a kol. (2013) v porovnaní s LOVELLOM a kol. (2011) a YAOM a kol. (2011). Príčinou je použitie multiskenovej metódy skenovania u YANGA a kol. (2013) a jednoskenovej metódy u LOVELLA a kol. (2011), YAOA a kol. (2011).

Prácu LIANGA a HYYPPA (2013) sme už spomenuli v spojení s jej prínosom novej metódy skenovania. Autori vytvorili multi-jednoskenovú metódu. Základom je vytvorenie viacerých skenov z rôznych pozícií bez použitia referenčných bodov vo forme gúľ prípadne terčov. Samotné spojenie skenov, ktoré je nevyhnutné, sa vykoná až v postprocesingu. V štúdií sa porovnáva vytvorená metóda s jednoskenovou na základe detekcie kmeňov a odvodenej hrúbky a jej odchýlky od hrúbky meranej priemerkou. Pri multi-jednoskenovej metóde sa detekcia kmeňov pohybovala medzi 92 % až 100 % úspešnosťou a RMS hrúbky medzi 0,9 cm až 1,9 cm. Pri jednoskenovej metóde sa úspešnosť detekcie pohybovala medzi 67 % až 90 % a RMS hrúbky 0,74 až 2,41 cm. Nakoniec sa porovnala aj odvodená výška, kde pri vytvorenej metóde sa RMS pohybovala medzi 2,04 m až 6,53 m a pri jednoskenovej metóde to bolo medzi 1,36 m až 4,29 m.

2 HYPOTÉZY A CIELE PRÁCE

2.1 Hypotézy

Predpokladáme, že rôzne rozmiestnenie skenera vo vnútri a okolo skusnej plochy bude mať signifikantný vplyv na presnosť hrúbky a výšky jednotlivých stromov a zároveň aj na presnosť odvodenej strednej hrúbky a výšky porastu, ktoré sa budú odvodzovať z mračien bodov, v porovnaní s meranou hrúbkou a výškou jednotlivých stromov a strednou hrúbkou a výškou porastu, ktoré boli merané a vypočítané štandardnými metódami.

Predpokladáme, že pri porovnaní časovej a personálnej náročnosti merania hrúbok a výšok jednotlivých stromov metódami PLS a štandardnými metódami sa ako rentabilnejšia preukáže metóda PLS.

Predpokladáme, že rôzne algoritmy použité na zistenie hrúbky z mračien bodov, budú mať signifikantný vplyv na presnosť meranej hrúbky jednotlivých stromov a zároveň aj na presnosť odvodenej strednej hrúbky porastu, v porovnaní s meranou hrúbkou a strednou hrúbkou, ktoré boli merané a vypočítané štandardnými metódami.

Predpokladáme, že rôzne nastavenie rozlíšenia a kvality skenera bude mať signifikantný vplyv na presnosť meranej hrúbky a výšky jednotlivých stromov a zároveň aj na presnosť odvodenej strednej hrúbky a výšky porastu, ktoré sa budú zisťovať z mračien bodov, v porovnaní s meranou hrúbkou a výškou jednotlivých stromov a strednou hrúbkou a výškou porastu, ktoré boli merané a vypočítané štandardnými metódami.

Predpokladáme, že vek bukového porastu (40, 80, 120) bude mať vplyv na vhodnosť rôzneho rozmiestnenia skenera, výber algoritmov na zisťovanie hrúbok a výber vhodnej kvality a rozlíšenia skenera.

2.2 Ciele

Zistiť najvhodnejší spôsob skenovania skusných plôch pri sklbení čo najkratšieho času vyhotovenia a postprocesingu s postačujúcou presnosťou. Pri zisťovaní najvhodnejšieho spôsobu skenovania budeme vychádzať aj s porovnaním výsledkov PLS s výsledkami používaných metód v lesníckej praxi (NIML SR a PZSL).

Po úspešnom určení najvhodnejšieho spôsobu skenovania skusných plôch vytvoriť pracovný postup pre skenovanie skusných plôch.

3 HARDVÉR A SOFTVÉER

3.1 FARO Focus3D 120

Na katedru hospodárskej úpravy lesov a geodézie bol v roku 2013 zakúpený pozemný laserový skener FARO Focus3D 120.

FARO Focus3D 120 je phase-shift skener (skener fázového posunu). Je schopný zachytiť objekty v rozsahu od 0,6 m až do 120 m vzdialenosti a v rozsahu 360° horizontálne a 320° vertikálne. Pri najvyššej rýchlosti je schopný zaznamenať až 976 tisíc bodov za sekundu, čo sa dá dosiahnuť pri najnižšej kvalite a rozlíšení. Najvyššie možné rozlíšenie je rozstup bodov na 1,5 mm vo vzdialenosti 10 m od skenera.

Skener poskytuje viacero variantov rozlíšenia. Čím nižšie rozlíšenie tým väčšia vzdialenosť medzi bodmi na 10m a celkový menší počet bodov v mračne bodov. V tab. 1 sa nachádzajú rozlíšenia, ktoré poskytuje FARO Focus3D 120.

Tab. 1 Možnosti rozlíšenia Faro FOCUS3D 120
Tab. 1 Resolution options of Faro FOCUS3D 120

Rozlíšenie	Vzdialenosť bodov (mm / 10 m)	Počet bodov (v mil.)	Rozlíšenie	Vzdialenosť bodov (mm / 10 m)	Počet bodov (v mil.)
1/1	1,534	699,1	1/10	15,34	7
1/2	3,068	174,5	1/16	24,544	2,7
1/4	6,136	43,7	1/20	30,68	1,7
1/5	7,67	28	1/32	49,087	0,7

Okrem nastavenia rozlíšenia poskytuje skener aj nastavenie kvality, ktoré hovorí o tom, koľkokrát skener premeria jednotlivé body. Tým sa znižuje výskyt takzvaného šumu. Avšak s vyššou kvalitou sa čas skenovania značne zvýši.

Tab. 2 ukazuje čas trvania jedného skenovania v rôznych kombináciách nastavení rozlíšenia a kvality.

Tab. 2 Čas trvania skenovania pri kombinácii rozlíšenia a kvality
Tab. 2 The duration of scanning according to combination of resolution and quality

Rozlíšenie \ Kvalita	1/1	1/2	1/4	1/5	1/8	1/10	1/16	1/20	1/32
	Čas (min.)								
1	14:48	4:04	1:23	–	–	–	–	–	–
2	29:07	7:39	2:17	1:38	0:56	–	–	–	–
3	57:45	14:48	4:04	2:47	1:23	1:04	0:43	–	–
4	115	29:07	7:39	5:04	2:17	1:38	0:56	0:47	0:36
6	–	115	29:07	18:49	7:39	5:04	2:17	1:38	0:56
8	–	–	115	–	29:07	18:49	7:39	5:04	2:17

Ďalší hardvér, ktorý budeme používať je Field-Map, haglof vertex, počítač na post-processing a Geoexplorer GEOXH 6000.

3.2 FARO SCENE

FARO SCENE je softvér spoločnosti FARO, ktorý sa zakúpil na katedru hospodárskej úpravy lesa a geodézie spoločne so skenerom FARO Focus3D 120. Softvér je všeobecne zameraný na prácu s mračnami bodov vo formáte .FLS, ktorý vytvára skener od spoločnosti FARO. My ho budeme využívať na kontrolu jednotlivých skenov, vytváranie projektov, spájanie skenov v rámci projektov pomocou referenčných gúľ, ktoré je softvér schopný vyhľadať automaticky, ďalej na ofarbovanie skenov a na export do formátu .XYZ. Softvér ponúka aj možnosť publikovania projektov na internete, pomocou nástroja SCENE Webshare, čo už využívame na adrese tls.tuzvo.sk. Na tejto adrese uverejňujeme projekty, v ktorých využívame PLS.

3.3 TLS

Softvér TLS je produktom katedry hospodárskej úpravy lesov a geodézie, konkrétne Mgr. Milana Koreňa, PhD. Je to softvér zameraný na spracovanie mračen bodov, na ktorých sa nachádzajú objekty s lesníckou tematikou. Pracuje na platforme Microsoft NET Framework 3.5 a XNA Framework 3.0. Obsahuje tri základné funkcie. Prvou je spracovanie dát z pozemného laserového skenovania (import mračna bodov, filtrovanie, konverzia do vrstvy, vytváranie skupín podľa vzdialenosti, výpočet štatistických parametrov a rozloženie hustoty bodov, extrakcia dvojrozmerných kružníc, priradenie hodnôt). Druhou funkciou je tvorba digitálneho reliéfu a treťou trojrozmerné zobrazenie (KOREŇ, 2009).

Hrúbky drevín je možné vyhodnocovať štyrmi rôznymi metódami: Metódou optimálnej kružnice, Metódou Monte Carlo, Metódou maximálnej vzdialenosti, Metódou ťažisko. (KOREŇ, 2009).

4 ROZSAH SKENOVANIA

Skenovanie sa bude vykonávať v troch porastoch (dielcoch), ktoré majú 100 % zastúpenie Buka lesného (*Fagus sylvatica*) vo veku 40, 80 a 120 rokov. Rozloha porastov by mala byť väčšia ako 5 ha, a zároveň by nemala presahovať 12 ha.

5 NÁVRH PRACOVNÉHO POSTUPU

Na dosiahnutie našich cieľov a potvrdenie hypotéz bude potrebné vykonať nasledovné úkony:

- Na základe stanovených podmienok vyhľadať dielce, ktoré ich spĺňajú a určiť tri, v ktorých vykonáme merania.
- Stanoviť si počet a polohu skusných plôch v jednotlivých dielcoch.
- Určiť polohu skusných plôch v teréne.
- Zamerať stred plochy pomocou GPS.

- Pomocou Field-Mapu zmerať polohu stromov na ploche a určiť, ktoré patria do skusnej plochy a ktoré nie.
- Označiť stromy číslicami.
- Na každej ploche zmerať hrúbky a výšky drevín (priemerka, vertex).
- Na každej ploche vyhotoviť skeny.
- Vytvoriť časový záznam jednotlivých úkonov.
- Postprocessing PLS.
- Vyhodnotenie údajov.

5.1 Vyhľadanie dielcov

Dielce sa budú vyberať v rámci Vysokoškolského lesníckeho podniku Technickej univerzity vo Zvolene (VŠLP TUZVO). Na vyhľadanie porastov v rámci VŠLP TU vo Zvolene využijeme portál etools.tuzvo.sk, v ktorom sa nachádzajú záznamy LHP z VŠLP TUZVO. V danej databáze sú LHP z rokov 2000 a 2003.

Pre overenie správnosti údajov vybraných dielcov a pre ich presné určenie polohy použijeme lesnícky GIS (LGIS) od Národného lesníckeho centra (NLC), ktorý je dostupný na <http://gis.nlcsk.org/lgis/>. Na danom portáli si vyhladáme dielce spĺňajúce podmienky, zistíme ich polohu a overíme výmeru a zastúpenie drevín.

5.2 Stanovenie, určenie a zameranie skusných plôch

Na základe použitia metodiky NIML SR pre určovanie hrúbok a výšok stromov štandardnými metódami sa budú používať kruhové skusné plochy s polomerom 12,62 m (500 m²) pre stromy s $d_{1,3} \geq 7$ cm (s kôrou). Dĺžka polomeru skusnej plochy je vybraná vzhľadom k predpokladanej vysokej homogenite porastov a na základe tohto predpokladu nebude potrebné skusné plochy rozčleňovať na subplochy a etáže.

Po stanovení minimálneho počtu skusných plôch pre každý dielec bude potrebné určiť predbežnú polohu skusných plôch na mape. Vzhľadom na predpokladanú veľkú homogenitu dielcov budeme plochy rozmiestňovať systematicky, kopírujúc štvorcovú sieť. Pre každú polohu plochy zistíme súradnice, tie potom použijeme pri určovaní polohy plôch priamo v teréne.

5.3 Identifikácia a meranie hrúbok a výšok stromov

Na rozhodovanie zaradenia alebo nezaradenia stromov do skusnej plochy a na zaznamenanie polohy zaradených stromov v rámci skusnej plochy sa bude používať technológia Field-Map. Pre každú skusnú plochu sa vytvorí samostatný projekt, ktorý bude obsahovať databázu s údajmi o každom strome na danej ploche. Pri identifikácii stromov sa v terénnom počítači pridelí každému stromu číslo, to bude potrebné sprejom napísať na strom kvôli identifikácii v mračne bodov.

Meranie hrúbok bude vykonané pomocou milimetrovej hliníkovej priemerky. Každý strom sa bude merať v dvoch na seba kolmých meraniach. Pri prvom meraní bude rameno priemerky smerovať do stredu skusnej plochy a druhé meranie bude kolmé na prvé. Jednotlivé hrúbky sa budú zaznamenávať do zápisníka a terénneho počítača na základe čísla na danom strome.

Na meranie výšok stromov sa použije technológia Field-Map a jej výškomer a na overenie správnosti nameraných výšok sa použije Vertex.

Pri práci s technológiou Field-Map je potrebné dodržať určité zásady. Budeme vychádzať z postupov použitých v rámci NIML SR, prípadne z postupov od samotného výrobcu.

5.4 Skenovanie

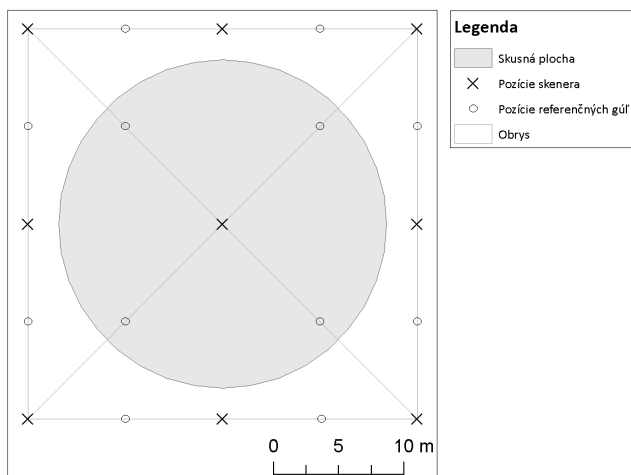
Skenovanie bude prebiehať v troch dielcoch. V každom dielci bude rovnaký postup práce, aby sme boli schopní porovnať jednotlivé postupy medzi sebou a na základe toho zistiť aký vplyv má na skenovanie vek porastu, prípadne aký vplyv majú ďalšie faktory, ktoré sa budú líšiť v rámci dielcov.

5.4.1 Umiestnenie skenera a referenčných gúl

Za jeden z hlavných cieľov sme si stanovili zistiť najvhodnejší spôsob skenovania skusných plôch pri sklbení čo najkratšieho času vyhotovenia a postprocesingu s postačujúcou presnosťou. Aby sme tento cieľ naplnili je potrebné skusné plochy skenovať dvomi spôsobmi. Ako sme už v rozbere problematiky spomenuli, poznáme jednoskenovú a multiskenovú metódu skenovania. Obe tieto metódy aplikujeme.

Pri jednoskenovom prístupe sa vyhotoví jeden sken bez umiestnenia referenčných gúl. Pozícia skenera sa bude nachádzať v strede skusnej plochy.

Pri multiskenovom prístupe budeme zisťovať, či je vhodnejšie trojuholníkové alebo štvoruholníkové rozmiestnenie skenera. Na obr. 3 je vidieť akým spôsobom budú rozmiestnené pozície skenera a pozície referenčných gúl. Pre takýto spôsob sme sa rozhodli kvôli tomu, aby bolo možné v rámci postprocesingu vytvoriť rôzne trojuholníkové a štvoruholníkové fúzie mračien bodov. Referenčné gule budú umiestnené na stredoch pomyselných čiar medzi pozíciami skenerov a budú slúžiť na spájanie skenov v postprocesingu.



Obr. 3 Rozmiestnenie skenera a referenčných gúľ
Fig. 3 Positioning of scanner and reference spheres

5.4.2 Kvalita a rozlíšenie skenera

Za ďalší z cieľov sme si stanovili zistiť najvhodnejšie nastavenie kvality a rozlíšenia skenera FARO Focus3D 120 s ohľadom na postačujúcu presnosť určenia dendrometrických veličín k času skenovania a postprocesingu. To znamená, že bude potrebné vykonať skenovanie s rôznymi nastaveniami kvality a rozlíšenia. Danú zmenu rozlíšenia a kvality je potrebné zmeniť na každom stanovisku v rámci skusnej plochy. Avšak nebude to potrebné vykonať na všetkých skusných plochách, ale bude postačovať jedna skusná plocha za každý dielec.

5.5 Časový záznam

Za ďalší cieľ sme si určili porovnať používané metódy pri inventarizácii lesa s nami vytvorenými metódami PLS pri zisťovaní dendrometrických veličín na úrovni porastu pomocou skusných plôch z hľadiska časovej náročnosti. Aby bolo možné vykonať toto porovnanie je potrebné zaznamenať čas trvania jednotlivých úkonov.

Čas sa bude zaznamenávať pri týchto úkonoch:

- Meranie hrúbky a výšky (priemerka, Field-Map/Vertex).
- Vymedzenie stromov v rámci skusnej plochy technológiou Field-Map.
- Rozmiestnenie referenčných gúľ, samotné skenovanie a presun medzi pozíciami skenera.
- Postprocesing (spracovanie mračien bodov, zistenie hrúbok a výšok stromov z mračien bodov).

5.6 Postprocessing PLS

Spracovanie mračien bodov zo zoskenovaných skusných plôch sa bude skladať z viacerých krokov.

- Import mračien bodov rozdelených po jednotlivých skusných plochách na disk.
- Vytvorenie projektov v softvéri FARO SCENE.
- Import mračien bodov do pripravených projektov.
- Pri jednoskenových mračnách kontrola správnosti.
- Pri multiskenových mračnách kontrola jednotlivých skenov, vyhľadanie referenčných gúľ v rámci každého skenu a spojenie skenov v rámci projektu.
- Export projektov.
- Import do softvéru TLS.
- Orežanie všetkých projektov na rozmery skusnej plochy.
- Vytvorenie DMR.
- Odseparovanie bodov v rámci skusnej plochy vo výške 1,25 – 1,35 m.
- Výpočet hrúbok.
- Výpočet výšok.

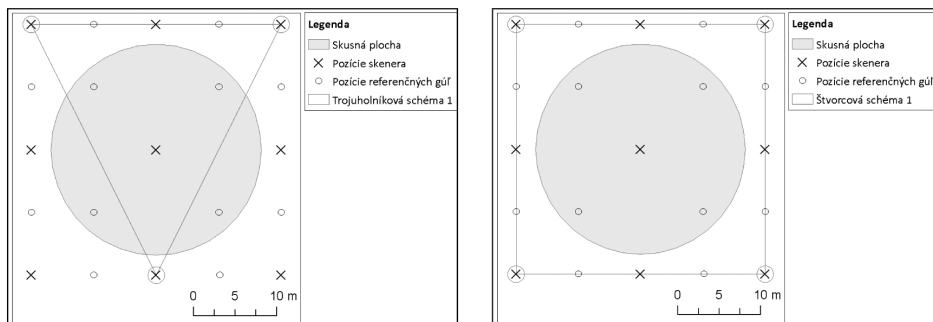
Skener FARO Focus3D 120 ukladá všetky vytvorené mračná bodov na SD kartu. Z tejto karty je potrebné mračná bodov skopírovať na disk pracovného počítača. V rámci skenera budú nastavené projekty, aby bolo jasné, ktorý sken je z ktorého dielca a z ktorej skusnej plochy. Ako bolo spomenuté, v rámci jednej plochy sa v každom dielci vykonávajú skenovania aj s rôznym nastavením kvality a rozlíšenia, čo bude taktiež potrebné rozlíšiť názvom.

Na disk počítača sa pripraví priečinky jednotlivých skusných plôch, v ktorých budú skeny, ktoré na nich boli vyhotovené. To znamená jeden sken pre jednoskenové PLS a deväť skenov pre multiskenové PLS. V prípade zmeny kvality rozlíšenia na skusnej ploche budú vytvorené podpriečinky pre každú kombináciu nastavení. V každom podpriečinku bude deväť skenov s jednotným nastavením kvality a rozlíšenia.

V ďalšom kroku bude potrebné vytvoriť projekty v softvéri FARO Scene a naimportovať do nich zodpovedajúce skeny. Pri jednoskenovom prístupe to bude jednoduché, pretože sa skladá len z jedného skenu. Čiže sa naiportuje do projektu a vzápätí sa vyexportuje. Pred exportom bude potrebné vykonať kontrolu každého skenu. Bude dôležité skontrolovať, či sa na skene nenachádzajú výseky, prípadne veľký neprirodzený šum.

Pri multiskenovom prístupe sa budú projekty vytvárať spájaním rôznych pozícií skenera v rámci skusnej plochy. Vychádzať sa bude zo základného rozostavenia, ktoré je možné vidieť na obr. 3. Spájať sa budú v dvoch geometrických tvaroch. Bude to trojuholníkové rozmiestnenie skenera a štvorcové.

Trojuholníkovú schému spolu so štvoruholníkovou schémou môžeme vidieť na obr. 4. Schémy na obrázku nepočítajú so stredovou pozíciou. Avšak pre každú pozíciu sa budú vytvárať dva varianty. Jeden so stredom a druhý bez stredu, aby sa zistilo, či je táto pozícia nevyhnutná.



Obr. 4 Trojuholníková a štvoruholníková schéma
Fig. 4 Triangle and quadrangle scheme

Pre každú schému sa vytvoria projekty v softvéri FARO Scene. Po vytvorení projektov sa do nich importujú príslušné skeny. Je potrebné každý sken otvoriť a overiť, či je v poriadku, či nevznikli hrubé chyby v rámci skenovania. Pri multiskenovom prístupe sa v rámci každého skenu musia vyhľadať referenčné gule. To prebieha poloaufomaticky. Najprv je potrebné spustiť hľadanie sférických objektov v rámci skenu a následne vyselektovať len referenčné gule. Môže sa stať, že softvér nájde aj iné sférické objekty ako referenčné gule. Tieto objekty je potrebné odstrániť. Zároveň treba odstrániť aj niektoré referenčné gule vykazujúce nízku kvalitu (softvér ich automaticky označí na oranžovo). Potom sa v rámci projektu skeny spoja pomocou referenčných guľ, čo prebieha automaticky. Po spojení skenov treba skontrolovať RMS chybu a v prípade vysokej hodnoty zistiť, ktorá referenčná guľa to spôsobuje a vymazať ju. Po spojení sa vykoná export do formátu .XYZ.

V ďalšej fáze postprocesingu sa bude používať softvér TLS. Prvým krokom je import formátu .XYZ. Softvér TLS si ho uloží vo formáte .PCF. Po importe je potrebné všetky projekty orezať na rozmery skusnej plochy. V rámci vytvorených skusných plôch sa vytvorí pre každý projekt DMR. Na základe vytvoreného DMR je možné určiť výšku na kmeni, čo je potrebné pri $d_{1,3}$.

Po orezaní skenov a vytvorení DMR sa prejde na výpočet hrúbky stromov. Softvér TLS je schopný vypočítať hrúbky štyrmi metódami. Metódou Monte Carlo, Metódou optimálnej kružnice, Metódou maximálnej vzdialenosti a Metódou ťažisko. Pre výpočet výšok bude potrebné pre každý strom určiť jeho najvyšší bod a jeho najnižší bod. Tie sa vzájomne odčítajú a dostaneme odvodenú výšku stromu z mračna bodov.

6 NÁVRH POSTUPU OVEROVANIA HYPOTÉZ

V rámci dizertačnej práce sme vyslovili niekoľko hypotéz. Nasledujúca podkapitola bude stručne vysvetľovať, akým spôsobom sa k jednotlivému overovaniu bude pristupovať.

V prvej hypotéze predpokladáme, že rôzne rozmiestnenie skenera vo vnútri a okolo skusnej plochy bude mať signifikantný vplyv na presnosť hrúbky a výšky jednotlivých stromov a zároveň aj na presnosť odvodennej strednej hrúbky a výšky porastu, ktoré sa budú zisťovať z mračien bodov, v porovnaní s meranou hrúbkou a výškou jednotlivých stromov a strednou hrúbkou a výškou porastu, ktoré boli merané a vypočítané štandardnými metódami.

K overovaniu tejto hypotézy je potrebné porovnať hrúbky a výšky namerané priemerkou a výškomerom so zistenými hrúbkami a výškami z mračien bodov pri rôznom rozmiestnení skenera. To znamená, že sa budú hrúbky a výšky z mračien bodov vyhodnocovať pri každom spôsobe rozmiestnenia samostatne pre jednotlivý exaktný strom. Každý strom na každej skusnej ploche bude mať hodnotu hrúbky nameranú pomocou priemerky, hodnotu výšky nameranú pomocou výškomeru a deväť hodnôt hrúbky a deväť hodnôt výšky odvodených z mračien bodov zakaždým z iného rozmiestnenia skenera. Tie sa budú potom porovnávať s hrúbkou a výškou (priemerka, výškomer) a zistia sa jednotlivé odklony pre každé rozmiestnenie. Na základe odklonov sa určí najvhodnejšie rozmiestnenie. Najprv sa bude zisťovať pomocou analýzy rozptylu, či má vplyv zmena faktora, v tomto prípade rôzne umiestnenie skenera, na strednú hodnotu náhodnej veličiny, v tomto prípade hrúbky alebo výšky. V prípade, že sa potvrdí signifikantný vplyv zmeny faktora, bude potrebné zistiť, ktoré konkrétne zmeny faktora navzájom majú rôzny vplyv na náhodnú veličinu. Potom sa pristúpi k samotnému zisťovaniu odklonu.

Z nameraných hrúbok a výšok štandardným spôsobom a z nameraných hrúbok a výšok z mračien bodov sa pre každý porast vypočíta stredná hrúbka a stredná výška. Pri porovnávaní a zisťovaní vplyvu rozmiestnenia sa bude postupovať rovnako ako v predchádzajúcom prípade.

V druhej hypotéze predpokladáme, že pri porovnaní časovej a personálnej náročnosti merania hrúbok a výšok jednotlivých stromov metódami PLS a štandardnými metódami sa ako rentabilnejšia preukáže metóda PLS.

Vyhodnotenie danej hypotézy bude iba jednoduchým porovnaním nameraného času pri meraní hrúbok a výšok štandardne používanými metódami voči PLS. Pri personálnej náročnosti budeme porovnávať počet zamestnancov potrebných pre klasický prístup a koľko pre PLS.

V ďalšej hypotéze predpokladáme, že rôzne algoritmy použité na zistenie hrúbky z mračien bodov, budú mať signifikantný vplyv na presnosť meranej hrúbky jednotlivých stromov a zároveň aj na presnosť odvodennej strednej hrúbky porastu, v porovnaní s meranou hrúbkou a strednou hrúbkou, ktoré boli merané a vypočítané štandardnými metódami.

Pre overenie tejto hypotézy bude potrebné vyhodnotiť hrúbky z mračien bodov rôznymi algoritmami, ktoré ponúka softvér TLS. Sú to metóda maximálnej vzdialenosti, metóda centroidu, metóda Monte Carlo a metóda najmenších štvorcov. Takto sa vyhodnotí hrúbka pre každý strom na skusnej ploche a všetky sa porovnajú s hrúbkou nameranou priemerkou. Zistia sa maximálne odklony, priemerný odklon a smerodajná odchýlka.

V nasledujúcej hypotéze predpokladáme, že rôzne nastavenie rozlíšenia a kvality skenera bude mať významný vplyv na presnosť meranej hrúbky a výšky jednotlivých stromov, ktoré sa budú zisťovať z mračen bodov, v porovnaní s meranou hrúbkou a výškou jednotlivých stromov, ktoré boli merané a vypočítané štandardnými metódami.

Pri overovaní tejto hypotézy sa bude postupovať rovnako ako v prvom prípade, s tým rozdielom, že faktorom bude kvalita a rozlíšenie skenera.

V poslednej hypotéze predpokladáme, že vek bukového porastu (40, 80, 120) bude mať vplyv na vhodnosť rôzneho rozmiestnenia skenera, výber algoritmov na zisťovanie hrúbok a výber vhodnej kvality a rozlíšenia skenera.

Všetky predložené hypotézy sa budú vyhodnocovať na skusných plochách, ktoré budú v troch bukových porastoch vo veku 40, 80 a 120 rokov. Pre overenie poslednej hypotézy sa všetky predložené hypotézy budú vyhodnocovať pre každý porast zvlášť a bude sa zisťovať, či vybrané najvhodnejšie nastavenia jednotlivých faktorov budú v každom také isté alebo sa budú líšiť, a tým sa hypotéza potvrdí, alebo vyvráti.

Zoznam použitej literatúry

- BIENERT, A., SCHELLER, S., KEANE, E., MULLOOLY, G., MOHAN, F., 2006. Application of terrestrial laser scanners for the determination of forest inventory parameters. In: *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Dresden, Germany, 25–27 September, [Cit. 2013-12-01]. Dostupné na: http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/part5/paper/1270_Dresden06.pdf.
- BROLLY, G., KIRÁLY, G., 2009. Algorithms for stem mapping by means of terrestrial laser scanning. In: *Acta Silvatica & Lignaria Hungarica*, Vol. 5, 119–130.
- CLAWGES, R., VIERLING, L., CALHOON, M., TOOMEY, M., 2007. Use of a ground-based scanning lidar for estimation of biophysical properties of western larch (*Larix occidentalis*). In: *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 28 (19), 4331–4344. ISSN 1366-5901.
- DASSOT, M., CONSTANT, T., FOURNIER, M., 2011. The use of terrestrial LiDAR technology in forest science. Application, benefits and challenges. In: *Annals of Forest Science*. Vol. 68 (5), 959–974. ISSN 1297-966X.
- LIANG, X., LITKEY, P., HYYPÄ, J., KAARTINEN, H., VASTARANTA, M., HOLOPAINEN, M., 2009. Automatic stem location mapping using TLS for plot-wise forest inventory. In: *Silvilaser 2009: 9th International Conference on Lidar Applications for Assessing Forest Ecosystems*. Texas, USA, 14–16 October, 314–323.
- LIANG, X., HYYPÄ, J., 2013. Automatic stem mapping by merging several terrestrial laser scans at the feature and decision levels. In: *Sensors*. Vol. 13 (2), 1614–1634. ISSN 1424-8220.
- LITKEY, P., LIANG, X., KAARTINEN, H., HYYPÄ, J., KUKKO, A., HOLOPAINEN, M., 2008. Single-scan TLS methods for forest parameter retrieval. In: *SilviLaser 2008: 8th international conference on LiDAR applications in forest assessment and inventory*. Edinburgh, United Kingdom, 17–19 September, 295–304. ISBN 978-0-85538-774-7.
- LOVELL, J. L., JUPP, D. L. B., NEWNHAM, G. J., CULVENOR, D. S., 2011. Measuring tree stem diameters using intensity profiles from ground-based scanning lidar from a fixed viewpoint. In: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol. 66 (1), 46–55. ISSN 0924-2716.
- MAAS, H. G., BIENERT, A., SCHELLER, S., KEANE, E., 2008. Automatic forest inventory parameter determination from terrestrial laser scanner data. In: *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 29 (5), 1579–1593. ISSN 1366-5901.
- PETRIE, G., TOH, C., 2008. Terrestrial Laser Scanners. In: *Topographic Laser Ranging and Scanning Principles and Processing*. CRC Press, 87–128. ISBN 978-1-4200-5142-1.
- VAN LEEUWEN, M., NIEUWENHUIS, M., 2010. Retrieval of forest structural parameters using lidar remote sensing. In: *European Journal of Forest Research*. Vol. 129, 749–770. ISSN 1612-4677.

- YANG, X., STRAHLER, A., SCHAAF, C., JUPP, D., YAO, T., ZHAO, F., et al. 2013. Three-dimensional forest reconstruction and structural parameter retrieval using a ground-based full-waveform lidar Instrument (Echidna). In: *Remote Sensing of Environment*. Vol. 135, 36–51. ISSN 0034-4257.
- YAO, T., YANG, X., ZHAO, F., WANG, Z., ZHANG, Q., JUPP, D., LOVELL, J., CULVENOR, D., NEWNHAM, G., NI-MEISTER, W., SCHAAF, C., WOODCOCK, C., WANG, J., LI, X., STRAHLER, A., 2011. Measuring forest structure and biomass in New England forest stands using Echidna ground-based lidar. In: *Remote Sensing of Environment*. Vol. 115 (11), 2965–2974. ISSN 0034-4257.
-

Adresa autora:

Ing. Martin Mokroš
Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie
Lesnícka fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
Masarykova 24
960 53 Zvolen
Slovenská republika
e-mail: martin.mokros@tuzvo.sk

Metodika uplatnenia pozemného laserového skenovania pri zisťovaní stavu lesa

Abstrakt

Pozemné laserové skenovanie je jednou z najmladších technológií, ktorá sa začína využívať v lesníctve. Ide hlavne o využitie v lesníckych výskumoch. Primárne zámery doterajších výskumov sú orientované na odvodzovanie hrúbky stromov, výšky stromov, počtu a pozície stromov a korunových charakteristík. Z doteraz uskutočnených výskumov je jasne vidieť vysoký potenciál pozemného laserového skenovania pre lesnícku prax. V prípade zisťovania hrúbky stromov v 1,3 m na kmeni, počtu stromov a ich pozícii sú dosiahnuté výsledky na veľmi dobrej úrovni. Konkrétnym výskumom a ich výsledkom sa budeme venovať v rozbere problematiky.

Za cieľ práce sme si stanovili vytvorenie pracovného postupu pre vykonanie výskumu zameraného na využitie pozemného laserového skenovania na odvodenie dendrometrických charakteristík v rámci kruhových skusných plôch. Cieľom daného výskumu je zistiť najvhodnejšie rozmiestnenie skenera v rámci kruhových skusných plôch, algoritmu na odvodzovanie hrúbok stromov, nastavenie rozlíšenia a kvality skenera a tieto zistenia porovnať v rámci troch bukových porastov vo vekoch 40, 80 a 120 rokov.

Domnievame sa, že vytvorené pracovné postupy sú navrhnuté tak, aby výber rozmiestnenia skenera, algoritmu a rozlíšenia a kvality skenera boli určené jednoznačne, a tým uľahčili zavedenie používania pozemného laserového skenovania do bežnej lesníckej praxe.

Kľúčové slová: pozemné laserové skenovanie, pozícia skenera, dendrometrické charakteristiky, Faro Focus 3D 120.

PRIAME GEOREFERENCOVANIE V DIGITÁLNEJ FOTOGRAMETRII

Jakub S O Ľ A N K A

Soľanka, J.: Direct georeferencing in digital photogrammetry. Acta Facultatis Forestalis, Zvo-
len 56, Suppl. 1, 2014, 83–94.

In current forestry mapping dominates obtaining information digital photogrammetry. Influence the development and availability of hardware and software for photogrammetric processing of materials in digital form, as well as mounting pressure to rationalize all forest management activities to digital photogrammetry has found a permanent place in the forest mapping. The paper deals with digital processing projects aerotriangulation using aerial survey images with high spatial resolution capability, which were collected in spring 2013 camera UltraCam XP. Aerotriangulation projects are processed in INPHO software environment, using and without using ground control points (direct georeferencing). Projects entering the external orientation parameters of images obtained directly during the survey flight. In both cases, the used block alignment beam using the correction of systematic shifts in the determination of design centers frames GNSS method and the correction of systematic impact angles (ω , ϕ , κ) obtained IMU unit. The resulting horizontal and vertical accuracy is evaluated on the basis of signalized control points whose coordinates were obtained by the static method GNSS.

Key words: digital photogrammetry, aerotriangulation, GNSS, IMU, aerial survey image

1. ÚVOD A CIEĽ

Medzi najpoužívanejšie metódy v lesníckom mapovaní patrí digitálna fotogrametria, určovanie polohy bodov pomocou globálnych navigačných satelitných systémov (GNSS), či kombinácia polárnej metódy s využitím univerzálnych meračských staníc. V súčasnosti sa na lesníckom mapovaní podieľajú dve zložky, a to terestrické meranie a fotogrametrické vyhodnotenie spolu s fotointerpretáciou.

Mimoriadny rozvoj geodetických prístrojov v poslednej dobe vytláča doteraz používané geodetické prístroje, najmä optické diaľkomery a nahrádza ich elektronickými tachymetrami, resp. totálnymi stanicami a prístrojmi globálnych navigačných satelitných systémov (HALVOŇ, 2008).

GNSS prístroje umožňujú užívateľom možnosť určovania polohy a výšky bodov s využitím špeciálnych prijímacích zariadení s vysokou presnosťou v krátkom čase. Základný princíp merania a vysoká presnosť umožňuje ich nasadenie priamo v lesníckej praxi bez potreby mimoriadnej úpravy postupu merania a vzhľadom na špecifické a väčšinou nepriaznivejšie podmienky v zalesnenom území oproti voľnému priestranstvu (napr. ŽÍHLAVNÍK, Š. 2004, HALVOŇ 2006, MELUŠ 2007).

Ďalší trend vývoja je zameraný na zlepšenie výsledkov automatizovaných pracovných úkonov v rámci fotogrametrického vyhodnotenia – digitálna aerotriangulácia, automatická tvorba digitálneho modelu terénu (DMT) a povrchu (DMP), tvorba pravých ortofotomáp. Letecké meračské snímky (LMS) sa v súčasnosti lesníckeho mapovania získavajú z primárnych zdrojov – digitálnych veľkoformátových kamier, ktoré nahradili tradičné analógové kamery. Ich prínosy sú zrejmé najmä v oblasti interpretovateľnosti snímok vyplývajúcej z väčšieho rozsahu zachytených rádiometrických hodnôt, z toho vyplývajúca vyššia úspešnosť automatického vyhľadávania spojovacích bodov pri automatickej aerotriangulácii, možnosť súčasného vyhotovenia snímok čiernobielych, v prirodzených alebo farebné – infračervených farbách pri jednom lete. V súčasnej dobe sa kladú čoraz väčšie nároky na digitálne snímky najmä na ich geometrickú presnosť reprezentovanú veľkosťou obrazového elementu, na rádiometrické rozlíšenie a na spektrálnu rozlišovaciu schopnosť čiže počet pásiem v rámci elektromagnetického spektra, čo má výrazný vplyv na kvalitu a kvantitu údajov získaných zo spracovaných snímok.

Cieľom príspevku bolo zhodnotiť vplyv počtu vlícovacích bodov na výslednú presnosť digitálnej automatickej aerotriangulácie a posúdiť možnosti priameho georeferencovania LMS bez použitia vlícovacích bodov.

2 EXPERIMENTÁLNY MATERIÁL

2.1 Snímkový materiál

Digitálne letecké meračské snímky boli získané kamerou UltraCam Xp s ohniskovou vzdialenosťou 100,50 mm (snímkované v apríli 2013) a používané v úrovni spracovania Level3 (podľa technickej špecifikácii kamery). Snímky zachytávajú zimný aspekt lesných porastov. Všetky listnaté porasty boli v čase snímkovania bez olistenia a prízemná vegetácia nebola ešte vyvinutá (tab. 1). Fotogrametrický projekt sme spracovali v systéme Inpho 5.4.

Tab. 1 Parametre použitých leteckých snímok

Tab. 1 Parameters of used aerial images

Snímkový materiál	RGB
Rádiometrické rozlíšenie	8 bit
Kamera	UltraCam Xp
Pozdĺžny a priečny prekryt	80 × 60 %
Fyzická veľkosť pixela	6,0 μm
Geometrické rozlíšenie (GSD)	0,10 m
Termín snímkovania	apríl 2013
Počet snímok	1 205

2.2 Vlíčovacie a kontrolné body

Pre digitálne letecké snímky boli vlícovacie a kontrolné body zamerané v čase snímkovania v roku 2013. Jednalo sa o signalizované kruhy a štvorce bielej farby, ktoré boli zachytené na leteckých snímkach. Ich súradnice boli získané zameraním pomocou technológie GNSS statickou metódou. Ako kontrolné body boli rovnako použité signalizované body, resp. boli zamerané následne po vykonaní snímkového letu a jednalo sa o body dobre identifikovateľné na snímkach a v teréne napr. kanalizačné poklopy, vodovodné dopravné značenie a pod. Podobne ako vlícovacie body aj tieto boli zamerané technológiou GNSS statickou metódou.

3 ROZBOR PROBLEMATIKY

3.1 Digitálna fotogrametria

S masívnym nástupom digitálnych záznamov, výkonného softvérového a hardvérového vybavenia v prvých rokoch 21. storočia sa aj v lesníctve udomácnila digitálna fotogrametria a dnes predstavuje dominantnú technológiu, ktorou sa vyhodnocuje 100 % snímkových materiálov, ktoré sa používajú v mapovaní lesa, tak z kvantitatívnej ako aj z kvalitatívnej stránky (CHUDÝ – KARDOŠ – ŠADIBOL 2012).

Metódy fotogrametrie sú pri lesníckom mapovaní najhospodárnejšou meračskou metódou a uľahčujú náročné geodetické práce najmä v horských oblastiach, neprístupných terénach, miestach po kalamitách a umožňujú získavanie väčšieho množstva informácií, ktoré terénnym meraním a prešetrovaním len ťažko alebo vôbec nemožno získať. Digitálna fotogrametria priniesla do procesu spracovania referenčných údajov o predmetoch na povrchu zeme, o snímaní povrchu zeme a tvorbe všetkých druhov mapových výstupov veľké zintenzívnenie a zvýšenie produktivity prác. Digitálne fotogrametrické systémy sú čoraz dostupnejšie pre širší okruh používateľov.

Digitálna fotogrametria podľa WOLF – DEWITT (2000) robí prácu so snímkami efektívnejšou, čo má následok v znížení ceny jej produktov. Hlavné výhody jej použitia môžeme zhrnúť do nasledovných bodov:

- digitálna fotogrametria obsahuje algoritmy pre spracovanie a manipuláciu s obrazom (zaostrovanie, filtrovanie, kompresia, obrazové pyramídy, dláždenie),
- obsahuje známe algoritmy z analytickej fotogrametrie (triangulácia, snímkové orientácie), pričom tieto sú zdokonalené a automatizované,
- digitálna automatická aerotriangulácia umožňuje orientovať blok snímok s využitím menšieho počtu vlícovacích bodov,
- ďalšie zníženie potrebného počtu vlícovacích bodov priniesla aplikácia technológie GNSS/IMU poskytujúca údaje o prvkoch vonkajšej orientácie snímok.

3.2 Snímkové triangulácie

Snímkové triangulácie predstavujú súbor metód, pomocou ktorých sa zisťujú polohové súradnice nových bodov zo snímky fotogrametrickým spôsobom (ŽÍHLAVNÍK, Š. et al. 2005). Tieto body môžu slúžiť na zhustenie bodového poľa pre terestrické domeranie lesného detailu neviditeľného na snímke alebo na výpočet prvkov externej orientácie fotokamery pri fotogrametrickom vyhodnotení – tzv. vlícovacie body.

Snímkové triangulácie nám umožňujú zhustiť bodové pole fotogrametricky s dostatočnou presnosťou na to, aby mohli byť použité ako vlícovacie. Týmto dosiahneme zníženie počtu terestricky meraných vlícovacích bodov. Snímkové triangulácie výrazne zrýchľujú postup lesníckych mapovacích prác a obmedzujú množstvo ekonomicky náročných terestrických geodetických meraní a tým prispievajú k ich zhospodárneniu. Umožňujú určiť veľký počet vlícovacích bodov v relatívne krátkom čase, bez ohľadu na prístupnosť a členitosť terénu. Snímková triangulácia je viac všeobecný termín, pretože tento proces je možné aplikovať ako na letecké tak aj pozemné snímky.

3.2.1 Aerotriangulácia

Aerotriangulácia je zaužívaný termín pre proces určovania súradníc X, Y. Aerotriangulácia sa používa pre mnoho úloh. Jednou z hlavných úloh je zhustenie vlícovacích bodov cez snímkové rady/bloky na použitie v nasledujúcich fotogrametrických úkonoch (WOLF – DEWITT, 2000).

Každý stereo model potrebuje pre svoju orientáciu minimálne 3 polohové a 4 výškové vlícovacie body. V záujme zníženia tohto počtu boli vyvinuté rôzne metódy aerotriangulácie (napr. ALBERTZ – WIGGENHAGEN 2009, WOLF – DEWITT 2000).

Vlícovacie body sú nevyhnutné pre rozsiahle bloky snímok a cena za ich vyhotovenie môže byť vysoká, najmä ak by sa merali terestrickou metódou. Aerotriangulácia sa používa ako efektívna metóda na zhustenie vlícovacích bodov, ktoré vychádzajú z menšieho počtu v teréne meraných a signalizovaných bodov. V súčasnosti pomocou kinematickej metódy merania GNSS je možné získať súradnice projekčných centier priamo v lietadle, čo môže úplne nahradiť potrebu terestrického merania vlícovacích bodov. Zatiaľ ešte tieto systémy nedosahujú požadovanú presnosť a ich výsledky sú zaťažené aj systematickými chybami. Z toho dôvodu je stále nutné využívanie určitého počtu vlícovacích bodov.

Výhody aerotriangulácie podľa WOLF – DEWITT (2000) sú v tom, že väčšina práce sa vykonáva v laboratórnych podmienkach, z čoho vyplýva, že nevzniká meškanie prác v dôsledku nepriaznivého počasia. Ďalšiu výhodu pripisuje tomu, že sa minimalizujú terestrické merania v ťažko dostupných terénoch, v zalesnených územiach, skaliskách, extrémnych terénoch a nevyžaduje sa priamy prístup na pozemky v projektovej oblasti.

Podstata aerotriangulácie je v orientácii snímkovej dvojice pretínaním nazad na dané vlícovacie body a po priorientovaní ďalšej snímky sa „pretínaním napred“ určí priestorová poloha nových objektových bodov. Tieto sa používajú na učenie ďalšieho stanovišťa spätným pretínaním atď. Princíp aerotriangulácie je založený na postupnom priradovaní jednotlivých modelov prenášaním mierky a priestorovej orientácie prvého modelu na ďal-

šie modely, ktoré sú spojené do pásu. Jednotlivé úkony sú zaťažené systematickými chybami nepravidelného charakteru. Pri priradovaní modelov sa objavajú odchýlky v polohe a výškach triangulovaných a kontrolných vličovacích bodov. Tieto odchýlky sa ďalšími výpočtami rozdeľujú medzi všetky určované body. Odchýlky vznikajú predovšetkým hromadením systematických a nie náhodných chýb, ako je to vo väčšine geodetických metód (ŽÍHLAVNÍK, Š., 2004).

Aerotriangulácia sa delí na tri kategórie

Analógová aerotriangulácia zahŕňa manuálnu vnútornú, vzájomnú a absolútnu orientáciu nadväzujúcich modelov v snímkových radoch s použitím analógových priestorových vyhodnocovacích prístrojov. Tieto, podľa ŽÍHLAVNÍK, Š. (2004) umožňujú zmenu pozorovania ľavého a pravého projektora, teda priradovanie snímkového modelu. Vličovacie body, ktorých súradnice musia byť známe musia byť na začiatku, na konci, prípadne aj v strede snímkového pásu.

Semianalytická aerotriangulácia zahŕňa manuálnu vnútornú a vzájomnú orientáciu stereomodelov na stereo vyhodnocovacom prístroji s nasledujúcim meraním modelových súradníc. Absolútna orientácia je vykonávaná počítačsky – odtiaľ pochádza názov semianalytická.

Analytická aerotriangulácia pozostáva z precízneho merania snímkových súradníc vličovacích a spojovacích bodov a z následného počítačského riešenia vnútornej, vzájomnej a absolútnej orientácie, ktorých výstupom sú priestorové súradnice v geodetickom súradnicovom systéme. Fotogrametrický zväzok lúčov je v analytických metódach definovaný matematickými vzťahmi (ŽÍHLAVNÍK, Š. et al. 2005).

3.2.2 Digitálna aerotriangulácia

Digitálna aerotriangulácia sa v súčasnosti v rámci fotogrametrického procesu spracovania leteckých snímok považuje za najdôležitejší krok. Bez správneho vyriešenia automatickej aerotriangulácie nemožno vytvoriť ďalšie produkty fotogrametrie ako sú ortofotosnímky, následne ortofotomapy a iné (napr. CHUDÝ – ŠADIBOL, 2013).

Predstavuje aplikáciu analytickej aerotriangulácie v počítačovom prostredí digitálnych fotogrametrických systémov. Digitálna fotogrametria a digitálne fotogrametrické systémy vytvorili nové predpoklady pre využitie digitálnej aerotriangulácie tým, že manuálne spracovanie v analytickej fotogrametrii bolo nahradené automatizovanými postupmi, najmä aplikáciami obrazovej korelácie (ŽÍHLAVNÍK, Š. et al. 2013).

Takto bol postupne vytvorený systém digitálnej automatickej aerotriangulácie (DAAT), ktorá generuje blokovú konfiguráciu, automaticky vyberá spojovacie body bloku v pásmach dvojnásobného, trojnásobného a priečného prekrytu, tieto sú navzájom priradené do susedných snímok a priraduje im presnosť pod úrovňou priestorového rozlíšenia, tzv. sub-pixelovú presnosť. Výsledkom riešenia sú vytvorené stereo dvojice, resp. blok snímok (KOŽUCH, 2003).

Digitálna aerotriangulácia je vlastne aplikáciou analytických metód do počítačového prostredia. Pri analytických metódach sa rozlišujú dva typy možných riešení: etapové a komplexné (PAVELKA, 2009).

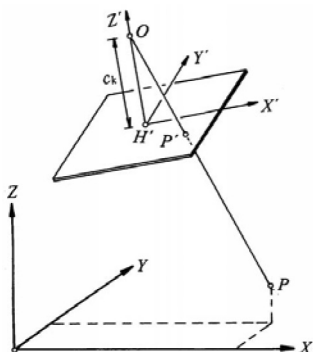
4 METODIKA PRÁCE

Metodika práce pozostávala zo spracovania fotogrametrických projektov digitálnych leteckých snímok s využitím rôznych prístupov v procese aerotriangulácie vo fotogrametrickom systéme INPHO. Pracovný postup sme realizovali na základe tzv. komplexného (Schmidovho) riešenia, ktoré využíva metódy vyrovnania lúčových väzkov.

Lúčové vzáky sa vyrovnávajú pre každú snímku alebo v blokoch a dajú sa k nim pridať opravy z rôznych chýb (refrakcia, distorzia, zakrivenie Zeme a pod.). Pokiaľ rozšírime komplexné riešenie na viacej snímok a počítame hlavne nové body, ktoré sa budú používať ako vlčovacie, jedná sa o analytickú aerotrianguláciu. Komplexné riešenie pre rozsiahle bloky je veľmi náročné na výpočtovú techniku i softvér, ktorý musí riešiť rozsiahle sústavy rovníc s množstvom neznámych. Pretože sa jedná o iteratívny výpočet, je nutné dosadiť počiatočné približné hodnoty neznámych. Práve toto bol jeden z problémov v minulosti. Dnešná výpočtová technika a technológie GNSS/IMU priniesli v tomto smere zásadný posun (PAVELKA, 2009).

Takéto komplexné metódy analytickej aerotriangulácie kladú minimálne požiadavky na počet a rozloženie daných (vlícovacích) bodov. Jednou z hlavných predností komplexného riešenia je, že vo výpočtoch sa súčasne uvažuje súbor všetkých podmienok, ktorými je možné analyticky vyjadriť vzťah medzi meranými snímkovými súradnicami a zodpovedajúcimi geodetickými súradnicami ako daných, tak aj určených bodov.

Základnou podmienkou, z ktorej komplexné riešenie vychádza, je podmienka kolinearnosti (obr. 1), ktorá znamená, že projekčné centrum, snímkový bod a zodpovedajúci bod na teréne leží na jednej priamke (BITTERER, 2005).



Obr. 1 Podmienka kolineárnosti (BITTERER, 2005)

Fig. 1 Condition of collinearity (BITTERER, 2005)

Pri digitálnej aerotriangulácii sme využili rôzne prístupy za účelom overenia polohovej a výškovej presnosti na kontrolných bodoch a racionalizácie spracovania leteckých snímok. Z tohto dôvodu sme spracovali nasledujúce experimenty:

V experimente č. 1 sme v aerotriangulácii použili 15 vlícovacích a 16 kontrolných bodov s využitím korekcie systematických posunov v určení projekčných centier snímok metódou GNSS a tiež korekcie systematických vplyvov uhlov (w, j, k) získaných inerciálnou meračskou jednotkou (IMU).

V experimente č. 2 bolo využitých len 16 kontrolných bodov rovnako ako v experimente č. 1. Jednalo sa o digitálnu automatickú aerotrianguláciu bez využitia vlícovacích bodov a kontrolné body sme použili len na overenie polohovej a výškovej presnosti DAAT.

4 VÝSLEDKY

Pri vyhodnotení výsledkov sme navzájom porovnávali stredné súradnicové chyby vypočítané z odchýlok na kontrolných bodoch v polohe a výške na obidvoch projektoch. Presnosť digitálnej aerotriangulácie je charakterizovaná strednou kvadratickou chybou m_{xy} (RMS) na kontrolných bodoch. Nakoniec sme strednú kvadratickú chybu porovnali s STN 01 3410 Mapy veľkých mierok – základné a účelové mapy (tab. 2).

Tab. 2 Triedy presnosti mapovania – STN 01 3410

Tab. 2 Mapping classes of accuracy – STN 01 3410

Triedy presnosti	m_{xy}
1. trieda	0,04 m
2. trieda	0,08 m
3. trieda	0,14 m
4. trieda	0,26 m
5. trieda	0,50 m

Tabuľka č. 3 uvádza hodnoty stredných chýb súradníc na vlícovacích a kontrolných bodoch projektu č. 1. Reálnu predstavu o polohovej a výškovej presnosti udávajú hodnoty na kontrolných bodoch.

Tabuľka č. 4 uvádza hodnoty stredných chýb súradníc na kontrolných bodoch projektu č. 2. Hodnoty chýb na vlícovacích bodoch nie sú uvedené, nakoľko v projekte neboli žiadne vlícovacie body použité.

Tab. 3 Hodnoty stredných chýb súradníc pre osi x, y, z – projekt č. 1

Tab. 3 RMS for the coordinates of x, y, z – project no. 1

	Vlčovacie body [m]			Kontrolné body [m]		
	x	y	z	x	y	z
Stredná chyba	0,035	0,021	0,120	0,080	0,058	0,161
max	0,069	0,048	0,252	0,185	0,163	0,371
min	0,003	0,001	0,042	0,018	0,002	0,005
Počet	15	15	15	16	16	16

Tab. 4 Hodnoty stredných chýb súradníc pre osi x, y, z – projekt č. 2

Tab. 4 RMS for the coordinates of x, y, z – project no. 2

	Vlčovacie body [m]			Kontrolné body [m]		
	x	y	z	x	y	z
Stredná chyba	–	–	–	0,084	0,064	1,036
max	–	–	–	0,176	0,139	1,253
min	–	–	–	0,016	0,016	0,720
Počet	0	0	0	16	16	16

Z daných výsledkov môžeme konštatovať, že horšie výsledky sme dosiahli v projekte č. 2 bez vlčovacích bodov, kde sme nemali možnosť odstrániť systematické chyby z údajov vonkajšej orientácie získanými pomocou GNSS/IMU. Konkrétne sa jednalo o chyby systematických posunov v dôsledku časovej synchronizácie a v určení projekčných centier kinematickou metódou GNSS (obr. 3).

Výsledky podporuje aj dosahovaná presnosť určenia projekčných centier a náklonov systémom GNSS/IMU, kde podľa PAVELKU (2009) je vnútorná presnosť integrovaného GPS/INS systému v polohe 0,05–0,3 m, v rýchlosti nosiča 0,005 m/sec, v náklonoch 0,005° a v azimute 0,008°.

Pre odstránenie týchto systematických chýb je nevyhnutné zamerať dostatočné množstvo vlčovacích bodov (napr. INPHO 2012, PAVELKA 2009).

Ak porovnáme hodnoty stredných súradnicových chýb, tak zistíme že sa v presnosti líšia o 0,5 cm ($m_{xy} = 0,069$ m v projekte č. 1, $m_{xy} = 0,074$ m v projekte č. 2), čo je zanedbateľné. Oveľa výraznejší prínos malo použitie vlčovacích bodov v projekte č. 1 na strednú výškovú chybu ($m_z = 0,161$ m vs. $m_z = 1,036$ m). Tu je rozdiel v presnosti viac ako 6-násobný. Z uvedených výsledkov strednej výškovej chyby je zrejmý prínos vlčovacích bodov najmä pre výškovú stabilitu snímkového bloku. V tomto prípade (projekt č. 1) dosiahnuté výsledky korešpondujú s teoretickými očakávanými hodnotami vzhľadom na typ a kvalitu použitého snímkového materiálu napr. podľa INPHO (2012) (výšková presnosť = $1,5 \times$ polohová presnosť). Dosiahnuté výsledky poukazujú na význam použitia vlčovacích bodov aj v súčasnosti, keď je možné získať údaje vonkajšej orientácie priamo počas sním-

kového letu. Naopak výsledky projektu č. 2 poukázali na efektívnosť a rýchlosť spracovania digitálnej aerotriangulácie bez vlčivacích bodov, pričom dosiahnutá presnosť je pre určité úlohy postačujúca. Porovnaním so STN 01 3410 môžeme konštatovať, že obidva projekty zhodne dosiahli 2. triedu presnosti mapovania.



Obr. 2 Systematické chyby v určení projekčných centier snímok (INPHO, 2012)

Fig. 2 Systematic errors in the determination of projections centers (INPHO, 2012)

Pre porovnanie

HALVOŇ (2011) uvádza výsledky digitálnej aerotriangulácie spracovanej vo fotogrametrickom systéme INPHO. Na lokalite ŠLP Zvolen 2002 sa vykonala týmto softwarom revízia výsledkov aerotriangulácie spracovanej v programe ImageStation z roku 2002. Lokalita VŠLP v roku 2002 predstavovala 88 čierno-bielych analógových snímok s prekrytom $60 \times 30 \%$ s veľkosťou pixla $15 \mu\text{m}$. Lokalita Dobrá Niva bola snímkovaná v roku 2008 digitálnou kamerou UltraCamX s priestorovým rozlíšením $0,20 \text{ m}$ a prekrytom $60 \times 30 \%$. V prípade čiernobielych snímok boli v projekte aerotriangulácie použité len približné stredy snímok a v projekte digitálnych snímok z roku 2008 kompletne prvky vonkajšej orientácie získané jednotkou GNSS/IMU. Výsledná presnosť udávaná softwarom po vyrovnaní bloku pre lokalitu Dobrá Niva je $m_x = 0,040 \text{ m}$, $m_y = 0,049 \text{ m}$, $m_z = 0,153 \text{ m}$. Pre lokalitu ŠLP Zvolen $m_x = 0,078 \text{ m}$, $m_y = 0,081 \text{ m}$, $m_z = 0,167 \text{ m}$.

ŠADIBOL (2010) uvádza výsledky digitálnej aerotriangulácie spracovanej vo fotogrametrickom systéme INPHO. Spracovával panchromatické a multispektrálne snímky v úrovni spracovania 2 (Level 2 – označenie výrobcu) z digitálnej kamery UltraCamD od firmy Vexcel zachytávajúce územie VŠLP. Pre svoj výskum použil 160 snímok v šiestich snímkových radoch s 85% priečnym a 35% pozdĺžnym prekrytom. Vytvoril 8 projektov, ktorých hlavnou úlohou bolo posúdenie presnosti jednotlivých projektov aerotriangulácie v závislosti od počtu vlčivacích bodov s využitím údajov GPS/IMU jednotiek. Bez vlčivacích bodov dosiahol výsledok, kde stredná súradnicová chyba $m_{xy} = 0,385 \text{ m}$. S použitím 4 vlčivacích bodov dosiahol strednú súradnicovú chybu $m_{xy} = 0,047 \text{ m}$. S narastajúcim počtom vlčivacích bodov sa mu polohová presnosť výrazne nemenila.

KARDOŠ – SOEANKA – MADARÁSZ (2013) uvádzajú výsledky digitálnej aerotriangulácie spracovanej vo fotogrametrickom systéme INPHO. Jednalo sa o spracovanie územia

VŠLP snímkaného v roku 2011 pomocou kamery UltraCamX. Použitých bolo 3025 RGB snímok s pozdĺžnym a priečnym prekrytom 80×60 %. Geometrické rozlíšenie dosahovalo 0,10 m a fyzická veľkosť pixela 7,2 μm . Bez použitia vĺčovacích bodov bola dosiahnutá stredná súradnicová chyba $m_{xy} = 0,071$ m. S použitím 47 vĺčovacích bodov dosiahla stredná súradnicová chyba $m_{xy} = 0,051$ m. Stredná výšková chyba m_z bez použitia vĺčovacích bodov dosiahla po odstránení systematických chýb $m_z = 0,266$ m. Pri použití 47 vĺčovacích bodov dosiahla $m_z = 0,121$ m. Aj v tomto prípade sa preukázalo, že so vzrastajúcim počtom vĺčovacích bodov dochádza k zlepšovaniu polohovej a výškovej presnosti digitálnej aerotriangulácie.

5 ZÁVER

Využitie fotogrametrie má v slovenskom lesníckom mapovaní dlhú tradíciu, pričom za vyhotovenie a aktualizáciu lesníckeho tematického mapového diela je zodpovedné Národné lesnícke centrum s jeho oddeleniami. Efektívnosť a ekonomika využitia fotogrametrie v lesníctve redukuje terestrické merania na minimum (napr. meranie vĺčovacích a kontrolných bodov, meranie lesného detailu neviditeľného na snímke).

Proces spracovania leteckých snímok vo fotogrametrickom projekte sa podstatne zvýšil s nástupom digitálnych kamier. Zvýšenie geometrickej, spektrálnej a rádiometrickej rozlišovacej schopnosti digitálnych snímok sa prejavilo v oblasti automatickej aerotriangulácie, najmä spôsobu vyhľadávania spojovacích bodov na jednotlivých snímkach v dôsledku lepšej textúry a štruktúry obrazu.

Z hľadiska dosiahnutých výsledkov polohovej presnosti pri projektoch, v ktorých boli použité vĺčovacie body môžeme skonštatovať, že použitie prídavných parametrov v procese aerotriangulácie má pozitívny vplyv na zvýšenie polohovej presnosti. Z tohto výsledku nám taktiež vyplýva, že za účelom vyhodnotenia snímok a zhustenia bodového poľa nie je potrebné zamerať taký veľký počet vĺčovacích bodov ako pri analógovom vyhodnocovaní (univerzálna fotogrametrická metóda), čo môžeme považovať za nezanedbateľnú výhodu digitálnej fotogrametrie. Ďalej môžeme konštatovať, že pri väčších blokoch snímok nezávisí ich geometrická stabilita od počtu ale hlavne od správneho rozloženia východiskových vĺčovacích bodov. Na dostatočný počet vĺčovacích bodov je viazané najmä použitie korekcie systematických chýb pri prvkoch vonkajšej orientácie. Z tohto dôvodu je potrebné zamerať určitý počet vĺčovacích bodov na začiatku a konci každého snímkového radu, prípadne na celom bloku.

Pri zhodnotení projektov bez použitia vĺčovacích bodov môžeme skonštatovať, že dosiahli porovnateľnú polohovú presnosť ako projekty, v ktorých boli použité vĺčovacie body. Značný rozdiel sa ukázal pri stredných výškových chybách m_z . Z tohto môžeme skonštatovať, že vĺčovacie body majú značný vplyv na zníženie systematickej chyby pri strednej výškovej chybe. Diskutovanou témou v súčasnosti je možnosť aerotriangulácie s využitím GNSS bez použitia vĺčovacích bodov tzv. priame georeferencovanie. Aj keď tomu teoreticky nič nebráni, z dôvodu kontroly je vždy potrebný aspoň minimálny počet kontrolných bodov.

Dosiahnuté presnosti stredných súradnicových m_{xy} chýb preukázali možnosti mapovania v 2. triede presnosti podľa STN 013410 Mapy veľkých mierok. Toto je mimoriadne významný poznatok a prínos do oblasti digitálnej fotogrametrie a samozrejme aj pre lesnícku prax. Treba zdôrazniť, že v rámci hospodárskej úpravy lesov sa pre obnovu programov starostlivosti o les snímkuje približne 4 500 km² zalesnených území. Vyhodnotenie snímok metódou digitálnej fotogrametrie a využitie poznatku minimálneho počtu vlíčovacích bodov znamená výrazne zvýšenie hospodárnosti lesníckeho mapovania. Digitálna fotogrametria s využitím digitálnej aerotriangulácie pri spracovaní rozsiahlych blokov snímok predstavuje efektívnu metódu určovania podrobných geodetických bodov v porovnaní s terestrickým meraním. V prípade digitálnych snímok zohráva dôležitú úlohu pri výslednej polohovej presnosti aerotriangulácie najmä geometrické rozlíšenie snímok tzv. Ground sampling distance (GSD).

Nástup digitálnej fotogrametrie dáva predpoklady na jej využitie pre určovanie vlíčovacích bodov metódou aerotriangulácie, čo výrazne zvyšuje hospodárnosť lesníckeho mapovania. Výsledkom digitálnej aerotriangulácie sú spresnené parametre vonkajšej orientácie snímok a priestorové modely snímok z minimalizovanými vertikálnymi paralaxami, čo umožňuje zisťovať priestorové súradnice kdekoľvek v celom snímkovom bloku s využitím malého počtu, resp. žiadnych vlíčovacích bodov (v prípade využitia údajov GNSS/IMU).

6 Literatúra

- ALBERTZ, J. – WIGGENHAGEN, M., 2009. Guide for photogrammetry and remote sensing. 5th completely revised and extended edition. Heidelberg, Wichmann: 334 p.
- BITTERER, L., 2005. Základy fotogrametrie. Stavebná fakulta na Žilinskej univerzite.
- HALVOŇ, L., 2006. Využitie metód GPS pri lesníckom mapovaní. In: Geodézia v lesníctve. Zvolen: TU Zvolen. ISBN 801-228-1684-1, s. 26–38.
- HALVOŇ, L., 2008. Lesnícke mapové dielo. In: Lesnícka geodézia a fotogrametria – trendy: sympóziu s medzinárodnou účasťou: zborník referátov. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2008. s. 112–131. ISBN 978-80-228-1949-7.
- HALVOŇ, L., 2011. Posúdenie presnosti vyhodnotenia leteckých meračských snímok metódami digitálnej fotogrametrie pri lesníckom mapovaní. Dizertačná práca. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. 117 s.
- CHUDÝ, F. – KARDOŠ, M. – ŠADIBOL, J., 2012. Digitálna fotogrametria neoddeliteľná súčasť lesníckeho mapovania. Technická univerzita vo Zvolene. Vedecká štúdia, s. 85. ISBN 978-80-228-2314-2.
- CHUDÝ, F., ŠADIBOL, J., 2013. Panchromatické zaostrovanie multispektrálnych snímok na získavanie kvantitatívnych a kvalitatívnych informácií v oblasti lesníckeho mapovania In: sborník z konferencie GIS Ostrava 2013. [Online]. [Dátum: 25. 1. 2014.] http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2013/sbornik/papers/gis2013508affc97d081.pdf
- INPHO, 2012. Uživatelský manuál spoločnosti INPHO. INPHO GmbH, Stuttgart.
- KARDOŠ, M. – SOEANKA, J. – MADARÁSZ, Z., 2013. Digitálna aerotriangulácia s podporou GNSS/IMU. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, s. 59–69. ISBN 978-80-228-2569-6.
- KOŽUCH, M., 2003. Digitálne ortofotomapy – zdroj aktuálnych informácií o krajine. Prírodovedecká fakulta UK Bratislava, dizertačná práca, 121 s.
- MELUŠ, J., 2007. Vplyv lesného prostredia na presnosť pri meraniach GNSS, In: Aktuálne problémy lesníckeho mapovania, zborník, Zvolen: TU Zvolen, s. 61–73. ISBN 978-80-228-1809-4.
- PAVELKA, K., 2009. *Fotogrametrie I*. 1. vydanie. Praha: České vysoké učení technické v Praze. s. 200. ISBN 978-80-01-04249-6.

- ŠADIBOL, J., 2010. Digitálna fotogrametria v lesníckom mapovaní. Dizertačná práca. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. 92 s.
- WOLF, R. – DEWITT, A., 2000. Elements of Photogrammetry with Application in GIS. 3rd edition, McGraw-Hill, Boston, 608 p., ISBN 0-07-292454-3.
- ŽIHLAVNÍK, Š., 2004. Geodézia, fotogrametria a mapovanie v lesníctve. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 388 s. ISBN 80-228-1287-0.
- ŽIHLAVNÍK, Š., CHUDÝ, F., KARDOŠ, M., 2005. Digitálna fotogrametria v lesníckom mapovaní. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. Vedecké štúdie, 2/2005/2, s. 80 s. ISBN 80-228-1545-4.
- ŽIHLAVNÍK, Š., KARDOŠ, M., TUNÁK, D., 2013. Určovanie podrobných geodetických bodov v zalesnených územiach. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. Vedecká monografia, 115 s.
- STN 01 3410. Mapy veľkých mierok – Základné a účelové mapy.
-

Adresa autora:

Ing. Jakub Soľanka
Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie
Lesnícka fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
Masarykova 24
960 53 Zvolen
Slovenská republika
e-mail: solinko@gmail.sk

Priame georeferencovanie v digitálnej fotogrametrii

Abstrakt

V súčasnom lesníckom mapovaní dominuje v získavaní informácií digitálna fotogrametria. Vplyvom rozvoja a dostupnosťou hardvérového a softvérového vybavenia na spracovanie fotogrametrických materiálov v digitálnom tvare, ako aj silnejším tlakom na racionalizáciu všetkých hospodársko úpravnických činností si digitálna fotogrametria našla trvalé miesto v lesníckom mapovaní. Príspevok sa zaoberá spracovaním projektov digitálnej aerotriangulácie s využitím leteckých meračských snímok s vysokou priestorovou rozlišovacou schopnosťou, ktoré boli získané na jar 2013 kamerou UltraCam XP. Projekty aerotriangulácie sú spracované v softvérovom prostredí Inpho, s využitím a bez využitia vlícovacích bodov (priame georeferencovanie). Do projektov vstupujú parametre vonkajšej orientácie snímok získané priamo počas snímkového letu. V oboch prípadoch je využité blokové vyrovnanie zväzku lúčov s využitím korekcií systematických posunov v určení projekčných centier snímok metódou GNSS a korekcie systematických vplyvov uhlov (ω , ϕ , κ) získaných jednotkou IMU. Výsledná polohová a výšková presnosť je vyhodnotená na základe signalizovaných kontrolných bodov, ktorých súradnice boli získané prostredníctvom statickej metódy GNSS.

Kľúčové slová: aerotriangulácia, Inpho, vonkajšia orientácia, GNSS/IMU

AUTOMATICKÁ IDENTIFIKÁCIA HRANÍC LESNÝCH PORASTOV NA DIGITÁLNYCH SNÍMKACH Z VEGETAČNÉHO A NEVEGETAČNÉHO OBDOBIA

Miriama KURČÍKOVÁ

Kurčíková, M.: Automatic identification of forest stands boundaries on digital images of vegetation and non vegetation period. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 56, Suppl. 1, 2014, 95–106.

Current technologies allow the collection also a less conventional data suitable for automated processing and application in forestry mapping. The current trend is aerial photography in the non vegetation period when deciduous trees are without assimilation organs. The aim of this work is the use these image materials to identify the boundaries of forest stands using object-oriented classification. Input materials represent orthophotos of vegetation and non vegetation period with a geometric resolution of 10 cm in RGB and CIR zone. Area of interest is located near the village Sielnica in the cadastral area Sliač-Hájnky. The object of this work is the implementation of object-oriented classification of forest stands in the eCognition software and identification of the boundaries of forest stands. Classification accuracy has been assessed on the basis of TTA mask. TTA mask represents vectorized boundaries of forest stands on stereoscopic model. Result of identifying boundaries was further evaluated by borders lines and stand area. From the classification results, we can conclude acceptable usability images of non vegetation period. The main advantage is the elimination of shadows on images that have negative influence on the classification results.

Key words: forest stand boundaries, object-oriented classification, digital photogrammetry

1. ÚVOD A CIEĽ

Súčasný trend lesníckeho mapovania, ktorý ovplyvnil hlavne rýchly technologický pokrok smeruje k maximálnemu využívaniu metód fotogrametrie a materiálov DPZ. Využitím týchto najmodernejších bezkontaktných metód sa zvyšuje hospodárnosť lesníckeho mapovania. V súčasnosti sa 90 % mapovacích prác uskutočňuje fotogrametrickými metódami, pričom sa v plnej miere využíva digitálna fotogrametria a preto poskytuje ľahko dostupné vstupné podklady v podobe digitálnych leteckých meračských snímok. Digitálna fotogrametria prešla do súčasného obdobia obrovskými zmenami a výrazne ju ovplyvňuje technologický progres. Aktuálne zaznamenávame rozvoj nepilotovaných leteckých prostriedkov (UAV – Unmanned Aerial Vehicle) ako nosičov digitálnych kamier, čím sa stáva digitálna fotogrametria omnoho cenovo dostupnejšia. Bežným trendom je vybavenie týchto UAV navigačnými technológiami – GNSS a inerciálnym meracím systémom (IMS), čím sa tieto lietajúce prostriedky stávajú takmer plne nezávislé od pozemné-

ho riadenia a vyhotovujú snímky vo vopred zadefinovaných polohách a orientáciách. Tak lietadlové ako vrtuľníkové platformy majú svoje špecifiká a výhody, ktoré ich predurčujú byť viac či menej efektívne pre určité typy aplikácií (FRAŠTIA et al., 2012).

Neustále zvyšujúce technologické možnosti a dostupnosť dát s vysokým priestorovým rozlíšením vedie aj k novým príležitostiam v mapovaní. Objektovo orientovaná analýza sa stáva kľúčovým konceptom k lepšiemu využitiu priestorových, spektrálnych a kontextových informácií.

Aktuálne sa stretávame s potrebou lepších digitálnych klasifikačných prístupov k nahradeniu vizuálne založených interpretačných techník. Ak nie z pohľadu lepšej presnosti výsledkov, aspoň z pohľadu zachovania efektívnosti nákladov. Manuálna interpretácia zo stereomodelov a ortofotosnímkov je časovo veľmi náročná a pre dosiahnutie požadovanej presnosti vyžaduje určité skúsenosti vyhodnocovateľa. Aj pri zachovaní rovnakých podmienok však nie je možné dosiahnuť rovnaké výsledky, pretože do procesu interpretácie vždy vstupuje subjektívny dojem vyhodnocovateľa. Tieto nevýhody je možné naplno nahradiť automatickou klasifikáciou.

Cieľom práce je využitie snímkového materiálu z vegetačného a nevegetačného obdobia na identifikáciu hraníc lesných porastov pomocou objektovo orientovanej klasifikácie. Práca zahŕňa vyhodnotenie použiteľnosti jednotlivých druhov vstupných snímok pre automatickú objektovo orientovanú klasifikáciu a zhodnotenie možnosti identifikácie hraníc lesných porastov pomocou klasifikácie.

2 EXPERIMENTÁLNY MATERIÁL

2.1 Zaujmové územie

Pre identifikáciu hraníc lesných porastov bolo vybrané záujmové územie nachádzajúce sa v extraviláne obce Sielnica v katastrálnom území Sliač-Hájniky. Identifikovaný porast je charakteristický rozpracovanou obnovnou ťažbou a dobre identifikovateľnými obnovnými prvkami.

2.2 Snímkový materiál

2.2.1 Digitálne snímky z vegetačného obdobia

Zo záujmového územia boli získané digitálne letecké meračské snímky s vysokým priestorovým rozlíšením vo vegetačnom období. Digitálne snímky boli vyhotovené pre celé územie Vysokoškolského lesníckeho podniku a pokrývajú územie 250 km². Snímkovanie sa uskutočnilo v septembri 2011 digitálnou kamerou UltraCam X, pričom sa získali panchromatické snímky vo vysokom rozlíšení a multispektrálne snímky v nižšom rozlíšení a následným procesom pansharpeningu boli vytvorené RGB a CIR syntézy vo vysokom rozlíšení. Parametre vonkajšej orientácie boli získané počas letu s využitím GPS/IMU v súradnicovom systéme S-JTSK03.

Tab. 1 Parametre LMS – vegetačné obdobie

Tab. 1 Parameters of survey images – vegetation period

Počet snímok	3 052
Geometrické rozlíšenie	10 cm
Priemerná výška letu	1 800 m
Ohnisková vzdialenosť	100,5 mm
Rozlíšenie snímok	14 430 × 9 420 pixelov
Pozdĺžny/priečny prekryt	80 % / 60 %

2.2.2 Digitálne snímky z nevegetačného obdobia

Ďalším dátovým zdrojom sú digitálne letecké meračské snímky s vysokým priestorovým rozlíšením v zimnom aspekte (nevegetačnom období), teda bez olistenia korún listnatých drevín, a zároveň bez snehovej pokrývky. Snímkovanie prebehlo v apríli 2013 digitálnou kamerou UltraCam Xp (tab. 2.). Parametre vonkajšej orientácie boli získané počas letu s využitím GPS/IMU v súradnicovom systéme S-JTSK03. K vytvoreniu fotogrametrického projektu bolo použitých 30 vlícovacích bodov. Všetky body boli vopred v teréne signalizované a terestricky zamerané pomocou GNSS technológie statickou metódou.

Tab. 2 Parametre LMS – zimný aspekt

Tab. 2 Parameters of survey images – vegetation period

Počet snímok	1 205
Geometrické rozlíšenie	10 cm
Ohnisková vzdialenosť	100,5 mm
Pozdĺžny/priečny prekryt	80 % / 60 %

3 ROZBOR PROBLEMATIKY

3.1 Digitálna fotogrametria

Digitálna fotogrametria predstavuje najvyššiu formu geometrického spracovania leteckej meračskej snímky (LMS) s výraznými prvkami automatizácie. Výrazným automatizačným prvkom je náhrada operátorovho priestorového merania pomocou digitálnej obrazovej korelácie. Digitálna obrazová korelácia umožňuje riešiť problémy automatickej vzájomnej relatívnej orientácie priradovania obrazov v pásme trojnásobného a priečného prekrytu (KOŽUCH, 2003).

Digitálna fotogrametria priniesla do lesníckeho mapovania viacero výhod (HALVOŇ, 2010):

- spojenie problematiky určovania polohy a výšky, využitie metód trojrozsmernej geodézie,
- kombinácia rôznych rastrových a vektorových údajov,
- lepšie možnosti topografickej a tematickej interpretácie,
- automatizácia procesov.

Mimo lesníckeho mapovania sú digitálna fotogrametria, letecké meračské snímky a z nich spracované ortofotoprodukty zdrojom aktuálnych a presných geopriestorových údajov, ktoré môžu slúžiť ako podklady pre objektívne zisťovanie stavu lesa ako napríklad:

- posúdenie, hodnotenie a merania okrajov lesa ako novej veličiny dôležitej z hľadiska biodiverzity, funkcií krajiny a tvorby krajiny,
- zistenie výmery lesa na základe určených kritérií (minimálna výmera, šírka, zápoj) nezávisle alebo závisle od iných údajov (stav katastra),
- určenie rastového alebo vývojového stupňa na snímke, čo umožňuje stratifikáciu územia na homogénne polygóny,
- objektivizácia stanovenia štruktúry lesa,
- meranie plochy korunových projekcií,
- celoplošné identifikovanie drevín, ich sumarizácia, výpočty zastúpenia a mnoho ďalších možností.

Ortofotosnímka predstavuje ortogonálne prekreslenú snímku. Pri jej tvorbe dochádza k odstráneniu perspektívneho skreslenia, ktoré spôsobuje nezvislá os záberu snímky a najmä výškové rozdiely terénu. Výsledkom procesu prekreslenia je digitálne transformovaná snímka zo stredového priemetu na priemet ortogonálny – pravouhlý, so stredom premietania v nekonečne. Prekreslenie snímky prebieha digitálnym diferenciálnym prekreslením. Digitálna ortofotosnímka sa vytvára postupne pre každý obrazový element perspektívne skresleného digitálneho obrazu snímky, ktorý sa ortogonálne premietajú do zodpovedajúceho si bodu na ortofotosnímke. Perspektívne skreslenie, ktoré spôsobuje nezvislá os záberu sa odstraňuje orientáciou snímky, radiálne posuny, ktoré spôsobuje členitosť terénu sa odstraňujú s využitím údajov DMT (BITTERER, 2005).

Proces mozaikovania predstavuje spájanie niekoľkých obrazov ľubovoľného tvaru do jedného, rádiometricky vyrovnané obrazu tak, aby hranice medzi pôvodnými obrazmi boli len ťažko rozlíšiteľné a tak vznikol jeden výstupný uniformný obraz. Definovanie spojov medzi obrazmi sa môže vykonať manuálne alebo automaticky. Po geometrických a rádiometrických korekciách digitálnych ortofotosnímkov sa vyberie v ich prekrytovej časti určitá časť a na základe vybranej deliacej čiary sú čiastkové ortofotosnímky spájané do výslednej ortofotomozaiky. Dosiahnutie plynulosti prechodu z jednej snímky do druhej zabezpečíme zmiešavaním (homogenizáciou) v mieste spoja, pričom sa pracuje s určitou zmiešavacou (okrajovou) zónou. V nej sa vytvorí plynulý prechod do hodnôt pixlov v pripájanej ortofotosnímke k hodnotám mozaiky a tým odstráni ostrá prechodová hrana. Pred samotným mozaikovaním je potrebné zadať parametre výstupného súboru (počet kanálov, rozlišovaciu schopnosť) a ktoré ortofotosnímky majú byť do mozaiky zahrnuté (ŽÍHLAVNÍK, Š. – CHUDÝ – Kardoš, 2005).

3.2 Automatická analýza obrazu

V priebehu posledného desaťročia došlo k výraznému posunu v analýzach údajov DPZ z pixel orientovaných multispektrálnych prístupov, ktoré prevládali 30 rokov na rozvoj a aplikáciu viacúrovňových objektovo orientovaných prístupov (HAY et al, 2005).

Pri získavaní a klasifikácii hlavných prvkov objektov z obrazových dát s vysokým rozlíšením je veľmi obtiažne dosiahnuť uspokojivé výsledky pomocou pixel orientovaných klasifikačných metód, ktoré využívajú iba spektrálne informácie. Hlavný dôvod ťažkostí súvisí s veľkým rozsahom informácií z obrazových dát, ktoré produkujú nekonzistentné tzv. „soľ a korenie“ klasifikačné mapy, neschopné extrakcie objektov záujmu (VAN DER SANDE et al, 2003; KARANTZALOS – ARGALAS, 2009).

Na prekonanie týchto problémov bolo navrhnuté riešenie pomocou objektovo orientovanej klasifikácie, ktorá obraz rozdeľuje do zmysluplných homogénnych oblastí (alebo objektov) a klasifikuje ich na základe nie len spektrálnych vlastností, ale aj tvaru, textúry a ďalších topologických vlastností (VAN DER SANDE et al , 2003; DARWISH et al, 2003).

Hlavným účelom objektovo orientovanej analýzy obrazu v súvislosti s diaľkovým prieskumom Zeme je poskytnúť adekvátne a automatizované metódy pre analýzu záznamov s vysokým priestorovým rozlíšením. Analýza je založená na dvoch metodických pilieroch a to segmentácii a bázy pravidiel konkretizujúce spektrálne a geometrické vlastnosti pre modelovanie tried (LANG, 2008).

Objektovo orientovaná analýza obrazu (OBIA) predstavuje podľa HAY – CASTILLA (2006) subdisciplínu geoinformačných vied venovanú klasifikácii obrazov DPZ do zmysluplných obrazových objektov, ktoré možno posúdiť z hľadiska priestorových a spektrálnych vlastností a časového aspektu. Na najzákladnejšej úrovni požaduje OBIA segmentáciu obrazu, priradenie, klasifikáciu a schopnosť vyhľadania a prepojenia individuálnych objektov (segmentov) v reálnom čase a priestore. Na dosiahnutie tohto cieľa zahŕňa OBIA vedomosti so širokého spektra disciplín zaoberajúcich sa generovaním a využívaním geografických informácií.

Základnými prvkami v objektovo orientovanom prístupe analýzy obrazu sú obrazové objekty. Obrazové objekty sú príslušné oblasti na snímke a rozlišujú sa na obrazové objektové primitíva a objekty záujmu. Iba objekty záujmu zobrazujú reálne objekty (budovy, polia). Objektové primitíva sú zvyčajne nevyhnuté pre medzistupeň procesu pred nájdením objektov záujmu pomocou segmentácie a klasifikácie. Najmenší obrazový objekt predstavuje jeden pixel. Obrazové objekty môžu byť pospájané aj do hierarchickej siete, kde sú im pripisované viacrozmerné charakteristiky: tvar, topologické vlastnosti, sémantické vlastnosti, štatistika a textúra (BENZ et al., 2004).

4 METODIKA PRÁCE

4.1 Spracovanie snímkového materiálu

Spracovanie digitálnych leteckých snímok prebieha v rámci fotogrametrického procesu, ktorý zahŕňa ústredné čiastkové procesy ako získanie snímok, referencovanie

a meranie a interpretácia. V referenčnom procese sú dáta georeferencované a rádiometricky upravené a výsledným produktom sú ortofotosnímky, stereomodely a bloky snímok. Obrazové produkty sú ďalej využité pri samotných meraniach a interpretácií. Fotogrametrický proces interaguje s GIS využitím geoinformačných nástrojov, informácií a možnosťou spracovania získaných dát (HONKAVAARA et al., 2009).

Samotné spracovanie sa realizuje prostredníctvom fotogrametrického projektu, kde sa na základe riešenia vonkajšej a vnútornej orientácie realizuje rekonštrukcia fotogrametrických lúčov. Jednotlivé snímky sa pospájajú do blokov s príslušnými priečnymi a pozdĺžnymi prekrytmi pomocou spojovacích bodov. Určenie spojovacích bodov sa vykonáva na základe obrazovej korelácie a výrazne na ňu vplýva textúra a jas obrazu (INPHO, 2011).

Fotogrametrické projekty pre letný a zimný aspekt snímok budú spracované v softvéri Inpho v module MATCH-AT. V module OrthoMaster sa vygenerujú ortofotosnímky. Z ortofotosnímkov sa vytvoria súvislé ortofotomozaiky záujmových lokalít v module OrthoVista.

4.2 Vytvorenie referenčnej hranice lesného porastu

Pre vyhodnotenie správnosti klasifikácie je potrebné vytvorenie referenčnej hranice porastu. Hranica porastu bola zistená vektorizáciou na stereoskopickom modeli. Pre interpretáciu lomových bodov hraníc pomocou stereomodelu je potrebný vytvorený fotogrametrický projekt v softvéri INPHO. Na zobrazenie stereomodelu sa použije program Summit Evolution. Meranie lomových bodov sa vykonalo na stereo snímkach s rozlíšením 10 cm. Body sa zvolili na hraniciach plôch zarastených drevinami a trávnatých plôch, aby výsledná hranica viedla približne stredmi korún okrajových stromov. Z lomových bodov sa vytvoril polygón lesného porastu, ktorý slúžil pre porovnanie výmery a priebehu hranice porastu získaného automatickou klasifikáciou. Stereoskopickým vyhodnotením bola získaná aj TTA maska. TTA maska bola vytvorená pre snímky z vegetačného aj nevegetačného obdobia. Pri snímkach z vegetačného obdobia boli vektorizované vzory pre les, lúku a tieň. Pri snímkach z nevegetačného obdobia bola trieda les rozdelená na ihličnaté a listnaté dreviny a triedy lúka a tieň. Vytvorené TTA masky boli importované do programu Definiens Professional.

4.3 Automatická identifikácia hranice lesného porastu

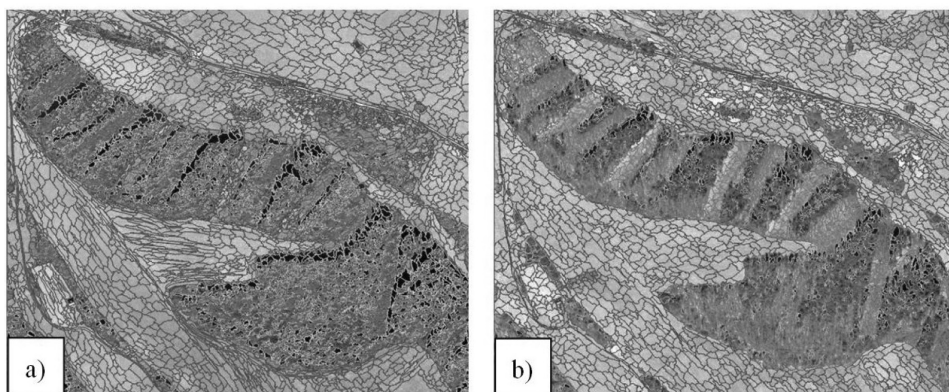
Identifikácia hraníc lesných porastov predstavuje určenie okrajovej hranice lesných porastov klasifikáciou lesných a nelesných plôch. Identifikácia prebehne využitím objektovo orientovanej klasifikácie v programe eCognition Definiens Professional.

Vstupnými údajmi pre klasifikáciu boli RGB a CIR ortofotomozaiky z vegetačného aj nevegetačného obdobia s rozlíšením 0,1 m vytvorené z ortofotosnímkov zobrazujúcich záujmové územie.

V projekte bola použitá viacúrovňová segmentácia (Multiresolution segmentation), ktorej podstatou je zjednocovanie jednotlivých pixlov pomalými krokmi zdola hore, pri-

čom sa zväčšujú až po dosiahnutie prahovej hodnoty, ktorá je definovaná parametrom mierky. Zjednocovanie pixlov je založené na princípe heterogenity a homogenity v rámci objektov a medzi susednými objektmi. V rámci objektu by mala byť heterogenita, čo najmenšia, so zvyšovaním parametra mierky však narastá. Homogenita je počítaná zo štyroch kritérií a to farba, tvar, kompaktnosť a hladkosť. V danom projekte bol po viacerých segmentáciách zvolený parameter mierky 110, farba 0,7, kompaktnosť 0,5. Po úspešnej segmentácii sa pristúpilo k samotnej klasifikácii s použitím metódy najbližšieho suseda, ktorá umožňuje automatické generovanie mnohorozmerových funkcií členstva založených na vzorových objektoch (trénovacích množinách/samples). Trénovacie množiny sú využívané pre klasifikovanie objektov obrazu. Prvým krokom je stanovenie týchto množín, typických predstaviteľov triedy, ktorými sú v objektovo orientovanej analýze objekty obrazu. Tie majú v porovnaní s pixlami výhodu v menšom potrebnom množstve, pretože jeden zvolený objekt obsiahne veľké množstvo informácií o danej triede.

Úlohou klasifikácie bolo vytriediť z obrazu lesné porasty, lúky a tieň. V prípade ortofotosnímok z nevegetačného obdobia bola trieda lesné porasty rozdelená na triedy ihličnaté a listnaté dreviny. Výsledky klasifikácie boli exportované do prostredia ArcGIS, kde bol vyselektovaný záujmový porast.



Obr. 1: Znáozornenie výsledku objektovo orientovanej klasifikácie

a) na ortofotomozaike z vegetačného obdobia, b) na ortofotomozaike z nevegetačného obdobia

Fig. 1: Representation of the results of object-oriented classification

a) on orthophotomosaic from vegetation period, b) on orthophotomosaic from non vegetation period

5 VÝSLEDKY

Hlavným cieľom predkladanej práce bolo vytvoriť ortofotosnímky z vegetačného a nevegetačného obdobia z vybraného záujmového územia, zhodnotiť použiteľnosť jednotlivých druhov ortofotosnímok pre automatickú objektovo orientovanú klasifikáciu a zhodnotiť možnosti identifikácie hraníc lesných porastov pomocou klasifikácie.

Správnosť objektovo orientovanej klasifikácie lesného porastu a identifikácia hraníc sa hodnotila správnosťou klasifikácie pomocou TTA masky, cez vypočítané výmery lesných porastov a vizuálnym hodnotením priebehu hranice. Ako porovnávací etalón boli použité údaje zo stereoskopického vyhodnotenia hraníc lesných porastov. Predmet porovnávania tvorili výmery vyklasifikovaných polygónov na jednotlivých ortofotosnímках a výmera polygónu získaná za pomoci stereo vyhodnotenia.

Z dosiahnutých výsledkov porovnanie výmery (tab. 3) môžeme konštatovať, že samotná klasifikácia podhodnotila výslednú výmeru lesných porastov. Väčšia výmera bola dosiahnutá len pri klasifikácii RGB ortofotosnímkov z nevegetačného obdobia, čo predstavovalo navýšenie výmery o 0,44 %. Najväčšie podhodnotenie výmery nastalo pri použití RGB snímok z vegetačného obdobia, kde rozdiel vo výmere s referenčným polygónom predstavoval 2,52 %. Všeobecne môžeme konštatovať, že najlepší výsledok klasifikácie z pohľadu celkovej výmery bol dosiahnutý pri použití CIR snímky z vegetačného obdobia. Výsledky potvrdzujú, že pre klasifikáciu je vhodnejšie využitie CIR snímok. Pri klasifikácii ortofotosnímkov z nevegetačného obdobia sa však zlepšenie v prípade použitia infračervenej snímky nepreukázalo a lepší výsledok bol dosiahnutý použitím klasickej RGB snímky.

Tab. 3 Porovnanie výmer získaných klasifikáciou a stereoskopickým vyhodnotením

Tab. 3 Comparison of areas gained by classification and stereoscopic evaluation

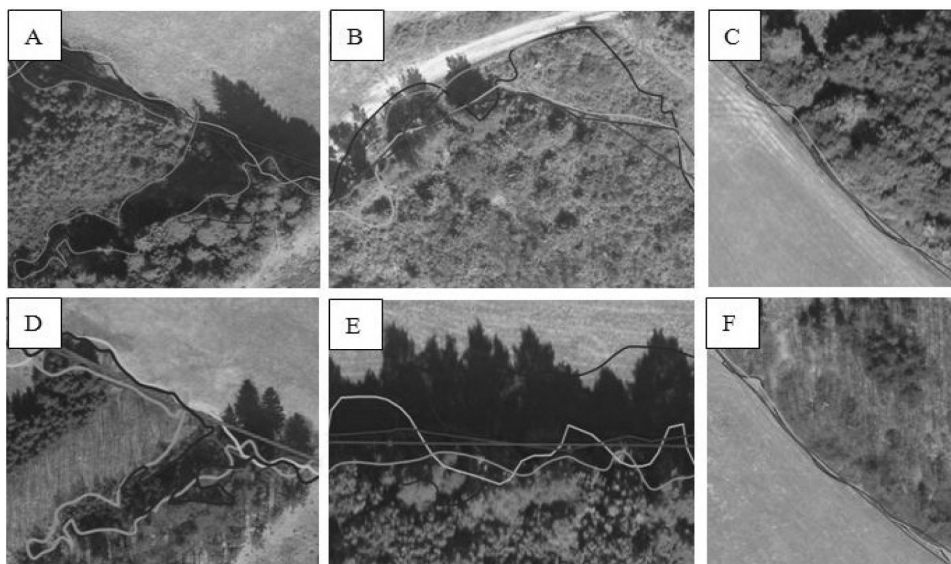
Spôsob zistenia výmery	Stereo vyhodnotenie	Ortofotosnímka vegetačné obdobie		Ortofotosnímka nevegetačné obdobie	
		RGB	CIR	RGB	CIR
Výmera (m²)	167 940,71	163 716,61	167 712,79	168 673,95	165 406,68
Rozdiel (m²)		-4 224,1	-227,92	+733,24	-2 534,03
Rozdiel (%)		-2,52	-0,14	+0,44	-1,51

Vyhodnotením klasifikácie pomocou TTA masky získavame kontingenčnú tabuľku udávajúcu správnosť klasifikácie. Vyhodnotenie pomocou TTA masky využíva trénovacie množiny ako referenčné údaje pre klasifikáciu kvality. Štatistický výstup predstavuje tabuľka správnosti klasifikácie (kontingenčná tabuľka) s niekoľkými mierami správnosti klasifikácie osobitne pre každú triedu a spolu (správnosť výrobcu, správnosť spotrebiteľa, celková správnosť, KHAT index). Celková správnosť je pomer medzi správne určenými pixlami ku celkovému počtu referenčných pixlov. Správnosť klasifikácie pre jednotlivé triedy je daná správnosťou producenta (producer's accuracy). Vyjadruje pomer medzi správne klasifikovanými pixlami triedy a referenčnými pixlami triedy. KHAT index je štatistická miera diferencie medzi referenčnými dátami a automatickou klasifikáciou. Vyjadruje možnosť zhody referenčných dát s náhodnou klasifikáciou (LILLESAND – KIEFER – CHIPMAN, 2008).

Tab. 4 Prehľad správnosti klasifikácie
 Tab. 4 Overview of classification accuracy

Správnosť klasifikácie	Ortofotosnímka vegetačné obdobie		Ortofotosnímka nevegetačné obdobie	
	RGB	CIR	RGB	CIR
Spektrum				
Celková správnosť	0,96	0,99	0,93	0,99
KHAT index	0,92	0,97	0,88	0,99

Výsledky vyhodnotenia správnosti klasifikácie pomocou vytvorenej TTA masky môžeme vidieť v tab. 4. Správnosť klasifikácie vyjadruje správne určené pixely pomocou klasifikácie k referenčným pixelom vytvorených pomocou TTA masky. Z výsledkov nám vyplýva, že najlepšia správnosť klasifikácie bola dosiahnutá využitím infračervených snímok vo vegetačnom aj nevegetačnom období. Najlepšia správnosť vyhodnotená pomocou KHAT indexu bola pri klasifikácii infračervenej snímky z nevegetačného obdobia, kde dosiahla 99 %.



Obr. 2: Detaily priebehu hranice lesného porastu podľa spôsobu identifikácie (stereo vyhodnotenie, klasifikácia vegetačné obdobie RGB, klasifikácia vegetačné obdobie CIR, klasifikácia nevegetačné obdobie RGB, klasifikácia nevegetačné obdobie CIR)

Fig. 2: Details of forest stand boundary by a method of identifying (stereoscopic evaluation, Classification vegetation period RGB, classification vegetation period CIR, classification non vegetation period RGB, classification vegetation period RGB)

Vizuálne hľadisko hodnotenia priebehu hraníc lesného porastu môžeme pozorovať na obr. 2. Najplynulejšia čiara predstavuje hranicu získanú pomocou stereomodelu a teda jej priebeh považujeme za správny. Z jednotlivých detailov je evidentný častý a výrazný odklon priebehu hranice z klasifikácie, ktoré predstavujú RGB snímky z nevegetačného a vegetačného obdobia.

Táto hranica zasahuje často až hlboko do porastu, ako je zrejmé na detailoch A a D, a naopak na mnohých miestach zachytáva aj nezarastené plochy (detaily B, E). Detaily A a D, C a F sú identické, hranice porastu sú však znázornené na rozdielnej podkladovej snímke (z vegetačného a nevegetačného obdobia). Častým problémom pri klasifikácii boli chybné klasifikované tieňe priradené k lesnému porastu (detail E). Priebeh hranice vyklaskifikovanej na infračervených snímkach má plynulejší priebeh s porovnávanou hranicou, aj keď v niektorých prípadoch boli chybné vyhodnotenú tieň ako súčasť porastu (detail E). Toto skreslenie by bolo možné odstrániť elimináciou tieňov na snímkach voľbou vhodnejšej doby snímkovania, napr. v jarnom období počas poludnia. V miestach, kde sa nenachádza negatívne pôsobenie tieňov môžeme pozorovať pomerne vyrovnaný priebeh hranice zo všetkých vstupných zdrojov (detail C, F), pričom najlepšia identifikácia hranice bola dosiahnutá z infračervenej ortofotomozaiky z vegetačného obdobia.

Z výsledkov môžeme konštatovať, že automatická identifikácia hraníc lesných porastov prebehla najlepšie na infračervených ortofotosnímkach z vegetačného aj nevegetačného obdobia a teda spektrálne vlastnosti vstupných snímkov výrazne ovplyvňujú kvalitu klasifikácie. Využitie snímkov z nevegetačného obdobia sa ukázalo ako výhodné hlavne pri klasifikácii rozčleneného porastu, kedy boli obnovné prvky správne klasifikované do lesných porastov. Po zohľadnení všetkých troch spôsobov vyhodnotenia identifikácie hranice lesného porastu môžeme zhodnotiť, že najlepšia identifikácia bola dosiahnutá na infračervenej ortofotomozaike z vegetačného obdobia.

5 ZÁVER

Súčasný technologický pokrok zabezpečuje široké využitie digitálnej fotogrametrie a diaľkového prieskumu Zeme v oblastiach lesníckeho mapovania. Digitálna fotogrametria sa v súčasnosti využíva v plnej miere a poskytuje ľahko dostupné vstupné podklady v podobe kvalitných leteckých meračských snímkov.

Aktuálne sa stretávame s potrebou lepších digitálnych klasifikačných prístupov k nahradeniu vizuálne založených interpretačných techník. Ak nie z pohľadu lepšej presnosti výsledkov, aspoň z pohľadu zachovania efektívnosti nákladov. Manuálna interpretácia zo stereomodelov a ortofotosnímkov je časovo veľmi náročná a pre dosiahnutie požadovanej presnosti vyžaduje určité skúsenosti vyhodnocovateľa. Aj pri zachovaní rovnakých podmienok však nie je možné dosiahnuť rovnaké výsledky, pretože do procesu interpretácie vždy vstupuje subjektívny dojem vyhodnocovateľa. Tieto nevýhody je možné naplno nahradiť automatickou klasifikáciou.

V práci je poukázané na možnosti identifikácie lesných porastov automatizovane pomocou objektovo orientovanej klasifikácie. Okrem doteraz štandardných vstupných materiálov boli v práci využité snímky z nevegetačného obdobia, ktoré sa ukázali ako vhodné

materiály hlavne pri porastoch rozčlenených na obnovné prvky. Automatická identifikácia hraníc lesných porastov prebehla najlepšie na infračervených snímkach, čo potvrdzuje dôležitosť spektrálnych vlastností snímok.

Výsledky identifikácie boli porovnávané na základe troch vyhodnotení: správnosti klasifikácie, výmery a priebehu hranice. Najlepšie výsledky boli dosiahnuté v prípade použitia infračervenej snímky z vegetačného obdobia, kde rozdiel zistenej výmery predstavoval 0,14 % a správnosť klasifikácie bola zhodnotená pomocou KHAT indexu na 97 %.

6 Literatúra

- BENZ, U. C. – HOFMANN, P. – WILLHAUCK, G. – LINGENFELDER, I. – HEYNEN, M. 2004. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. In *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* [online]. 2004, vol. 58, p. 239–258. [cit.2014-2-13]. Dostupné na internete: <[http://www.colorado.edu/geography/leyk/geog_5113/readings/ benz_et al_2004_JPRS.pdf](http://www.colorado.edu/geography/leyk/geog_5113/readings/benz_et al_2004_JPRS.pdf)>
- BITTERER, L. 2005. Fotogrametria.[online]. Interný učebný text. Žilina: Žilinská univerzita, 2005. [cit. 2014-01-14]. Dostupné na internete: <<http://svf.utc.sk/kgd/skripta/fotogrametria>>
- DARWISH, A. – LEUKERT, K. – REINHARDT, W. 2003. Image segmentation for the purpose of object-based classification. In *IEEE proceeding of IGARSS'2003*. [online]. 2003, pp. 2039–2041. [cit. 2014-02-05]. Dostupné na internete:< http://www.ecognition.com/sites/default/files/337_fr07_1420.pdf>
- FRAŠTIA, M. – MÜLLER, L. – UHRIN, Z. – CILÍK, J. 2012. Overenie polohovej a výškovej presnosti mapovania systémom Gatewing X100. In 20. slovenské geodetické dni [elektronický zdroj] : Zborník referátov. Žilina, SR, 8.–9.11.2012. Bratislava: Komora geodetov a kartografov, 2012, ISBN 978-80-969809-9-4.
- HALVOŇ, Ľ. 2010. Využitie technológií diaľkového prieskumu Zeme v HÚL. In *Aktuálne problémy lesníckeho mapovania: zborník referátov*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2010. ISBN 978-80-228-2162-9, s. 95–103.
- HAY, G. J. – CASTILLA, G. – WULDER, M. A. – RUIZ, J. R. 2005. An automated object-based approach for the multiscale image segmentation of forest scenes. In *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* [online]. 2005, vol. 7, p. 339–359. [cit.2014-1-31]. Dostupné na internete: <www.cfs.nrcan.gc.ca/pubwarehouse/pdfs/25960.pdf>
- HAY, G. J. – CASTILLA, G. 2006. Object-based image analysis: Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats (SWOT). In *ISPRS archives*. [online]. 2006, vol. XXXVI-4/C42, [cit.2014-02-01]. Dostupné na internete:< [cit.2014-1-30]. Dostupné na internete: <http://www.isprs.org/proceedings/xxxvi/4-c42/Papers/01_Opening%20Session/OBIA2006_Hay_Castilla.pdf>
- HONKAVAARA, E. – ARBIOL, R. – MARKELIN, L. – MARTINEZ, L. – CRAMER, M. – BOVET, S. – CHANDELIER, L. – ILVES, R. – KLONUS, S. – MARSCHAL, P. – SCHLAPFER, D. – TABOR, M. – THOM, C. – VEJE, N. 2009. In *Remote Sensing*. [online]. 2009, vol. 1, p. 577–605. [cit. 2014-2-13]. Dostupné na internete: <www.mdpi.com/2072-4292/1/3/577/pdf>
- KARANTZALOS, K. – ARGALAS, D. 2009. A region-based level set segmentation for automatic detection of man-made objects from aerial and satellite images. In *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* [online]. 2009, Vol. 75, No. 6, pp. 667–677. [cit. 2014-02-04]. Dostupné na internete:< http://www.asprs.org/a/publications/pers/2009journal/june/2009_jun_667-677.pdf>
- KOŽUCH, M., 2003. Digitálne ortofotomapy – zdroj aktuálnych informácií o krajine : dizertačná práca, Bratislava: Prírodovedecká fakulta UK, 2003.
- LANG, S. 2008. Object-based image analysis for remote sensing applications: modeling reality – dealing with complexity. In *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Object – Based Image Analysis*. Berlin Heidelberg: Springer, 2008. ISBN 978-3-540-77057-2, p. 3–29.
- VAN DER SANDE, C. J. – JONG, S. M. – DE ROO, A. P. J. 2003. A segmentation and classification approach of IKO-NOS-2 imagery for land cover mapping to assist flood risk and flood damage assessment. In *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* [online]. 2003, Vol. 4, No. 3, p. 217–229. [cit. 2014-02-06]. Dostupné na internete:< <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.201.7547&rep=rep1&type=pdf>>

Adresa autora:

Ing. Miriama Kurčíková
Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie
Lesnícka fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
Masarykova 24
960 53 Zvolen
Slovenská republika
e-mail: xkurcikovam@tuzvo.sk

Automatická identifikácia hraníc lesných porastov na digitálnych snímkach z vegetačného a nevegetačného obdobia

Abstrakt

Súčasným technológiám umožňujú zber aj menej konvenčných dát vhodných pre automatizované spracovanie a aplikáciu v lesníckom mapovaní. Aktuálnym trendom je letecké snímokovanie územia v nevegetačnom období, kedy sú listnaté dreviny bez asimilačných orgánov. Cieľom práce je využitie takéhoto snímkového materiálu na identifikáciu hraníc lesných porastov pomocou objektovo orientovanej klasifikácie. Vstupné materiály predstavujú ortofotomozaiky z vegetačného a nevegetačného obdobia s geometrickým rozlíšením 10 cm v RGB a CIR pásme. Záujmové územie sa nachádza pri obci Sielnica v katastrálnom území Sliač-Hájniky. Predmetom práce je vykonanie objektovo orientovanej klasifikácie lesných porastov v programe eCognition a následná identifikácia hraníc lesných porastov. Správnosť klasifikácie lesných porastov bola zhodnotená na základe TTA masky. TTA maska predstavuje zvektorizované hranice lesných porastov na stereoskopickom modeli. Výsledok identifikácie hraníc bol ďalej zhodnotený na základe priebehu hraníc a výmery porastu. Z výsledkov klasifikácie môžeme konštatovať dobrú využiteľnosť snímok z nevegetačného obdobia. Hlavnou výhodou je eliminácia vrhajúceho tieňa na snímkach, ktorý negatívne ovplyvňuje výsledky klasifikácie.

Kľúčové slová: objektovo orientovaná klasifikácia, identifikácia hraníc lesných porastov

ZVYŠOVANIE EFEKTÍVNOSTI MERANIA HRANÍC LESNÝCH POZEMKOV S VYUŽITÍM METÓD DRUŽICOVEJ A TERESTRICKEJ GEODÉZIE

Ľubomír S M A Ž Á K

Smažák, E.: Improving the efficiency measurements of the forest land using the methods of satellite and terrestrial geodesy. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 56, Suppl. 1, 2014, 107–123.

Currently the most common methods in forestry mapping includes digital photogrammetry, positioning points system using Global Navigation Satellite Systems (GNSS), or a combination of polar method using universal surveying stations. Due to the fact the forest environment its specific conditions – cover stand, complex terrain in many cases the use of these methods in forestry surveying practice to some extent limited. The research of this work is the application of a combination of conventional terrestrial mapping methods (GNSS regionalization methods of intersection) using available simple surveying equipment (Leica Disto D5, MapStar Compass Module II, Impulse 200 LR) in determining especially points on the edge of stands and under a blanket of forest stand wall, where it is not possible to identify all the points on aerial photographs and determine their by photogrammetric or directly using GNSS.

Key words: terrestrial geodesy, GNSS, forests land, mapping

1. ÚVOD A CIEĽ

Úlohou mapovania lesov je zabezpečiť spoľahlivé polohopisné a výškopisné podklady na vyhotovovanie lesníckych máp a plánov pre rôzne účely, na určovanie polohy a výmery jednotiek priestorového rozdelenia lesa a na evidenciu pozemkov. Dôležitým podkladom pre podrobné polohopisné a výškopisné merania, ktoré sú potrebné pre tvorbu lesníckych máp je nevyhnutné mať stále k dispozícii určitý počet spoľahlivých geodetických bodov. Takéto body sú podkladom pre jednotlivé metódy podrobného merania (tachymetria, vytyčovacie práce, buzolové merania a pod. resp. aj pre ďalšie doplnenie bodov podrobného polohového bodového poľa (PBPP), prípadne výškové merania.

Mimoriadny rozvoj geodézie a fotogrametrie koncom 20. a začiatkom 21. storočia priniesol aj do oblasti určovania geodetických bodov nové metódy (elektronické tachymetre, globálne navigačné satelitné systémy – GNSS, digitálna fotogrametria), ktoré znamenali výrazný pokrok nielen v meraní dĺžok a uhlov ale aj v presnosti prístrojov s ktorými sa viacnásobne prekračujú presnosti predpísané Inštrukciou (1994) a za použitia modernej výpočtovej techniky tak menia charakter mapovacích prác, čím výraz-

ne prispievajú k ich racionalizácii. Všetky tieto metódy sú však nie vhodné pre meranie v zalesnených územiach (najmä GNSS pri vyšších požiadavkách presnosti hlavne kvôli zníženiu prijmu signálu z družíc) a preto je potrebné hľadať optimálne využitie doterajších metód, resp. vhodné kombinácie s metódou GNSS. Meranie pomocou globálnych navigačných satelitných systémov (GNSS) je realizované prostredníctvom amerického systému NAVSTAR GPS a ruského systému GLONASS. Budovaný je aj európsky systém GALILEO. Tieto systémy sú vybudované ako pasívne diaľkomerné rádiové systémy, tzn. že prijímač určí svoju vzdialenosť k niekoľkým satelitom systému a následne stanoví svoju polohu pretínaním (RAPANT 2002).

Lesnícke mapovanie je veľmi náročné z hľadiska rozsahu mapovacích prác, ako aj veľkej členitosti mapovaného územia. Preto je veľmi dôležité neustále skúmať možnosti použitia rôznych geodetických a fotogrametrických metód, a to nie len s ohľadom na požadované kritériá presnosti, ale aj s ohľadom na prácnosť a efektivitu mapovacích prác. Nakoľko žiadna zo v súčasnosti používaných metód nemôže byť považovaná za ideálnu vo všetkých prípadoch meračských prác, je veľmi dôležité stanoviť najvhodnejšiu kombináciu metód, prispôbenú konkrétnym podmienkam mapovania. Predkladanou prácou chceme zároveň prispieť k riešeniu tejto problematiky.

Cieľom práce je na základe teoretických rozborov a experimentálnych meraní posúdiť vhodnosť rôznych kombinácií metód terestrického zamerania pri určovaní geodetických bodov v zalesnených územiach s prioritným sa zameraním na určovanie vlastných hraníc lesných pozemkov.

2 ROZBOR PROBLEMATIKY

2.1 Geodetické body

Geodetické základy v teréne reprezentujú geodetické body. Tieto body sú budované ako integrované, s jednoznačnou meračskou značkou, ku ktorej sú určené jednotlivé geodetické parametre, a to priestorové súradnice, rovinne súradnice, normálna výška, tiažové zrýchlenie, charakteristiky presnosti jednotlivých parametrov a ročné rýchlosti bodov Slovenského kinematického referenčného rámca (SKTRF). Na geodetické body sa kladie požiadavka najmä na ich dostupnosť (prístup vozidlom), minimálny zákryt okolia bodu nad horizontom, dostatočnú viditeľnosť bodu a jeho bezpečnosť (ochrana bodu) (www.gku.sk).

Nepriaznivým javom pri geodetických meraniach sú nevyhnutelné meračské chyby, ktoré sa pri vzájomne na seba nadväzujúcich meraniach nebezpečne hromadia. Preto pri meraniach na rozsiahlejších územiach sa geodetické práce vykonávajú podľa zásady „z veľkého do malého“. Čo značí, že najskôr je potrebné vybudovať sieť presných polohových a výškových bodov a potom na ich základe vykonávať podrobné merania.

Geodetické body patria medzi meračské body a odlišujú sa od ostatných meračských bodov stabilizáciou, prípadne signalizáciou u trvale stabilizovaných bodov a dokumentáciou geodetických údajov.

Geodetický bod je trvalo stabilizovaný, prípadne trvalo signalizovaný bod, ktorý je v geodetických systémoch určený súradnicami, nadmorskou výškou alebo len niektorým z týchto údajov s predpísanou presnosťou a dokumentáciou. Geodetický bod je zriadený najmä meračskou značkou, meračským signálom a ochranným znakom, slúži na jednoznačné označenie jeho polohy, prípadne výšky, na jeho meranie a ochranu pred zničením alebo poškodením.

Meračský bod je bod z ktoréhokoľvek bodového poľa, ktorý tvorí podklad pre ďalšie meranie. Ak spĺňa podmienky stanovené STN 73 0415 (Geodetické body), nazýva sa geodetický bod (Žíhlavník, Š., 2004).

2.2 Polohové geodetické body

Polohové geodetické body sú dôležitým podkladom pre polohopisné merania. Ich poloha sa v súčasnosti v SR vyjadruje pravouhlými rovinnými súradnicami x , y , v súradnicovom systéme Jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej (S-JTSK). Súradnice bodov sa môžu určovať aj v lokálnych systémoch, ktoré sa tvoria podľa potreby a účelu použitia (ak nie je požiadavka pripojiť meranie na štátne mapové dielo). Súradnice nových bodov sú určované na základe merania uhlov a dĺžok medzi danými bodmi už jestvujúceho bodového poľa so známymi súradnicami a určenými bodmi (ŽÍHLAVNÍK, Š., 2004).

Geodetické výpočty rôznych úloh polohového charakteru a určovanie vzájomnej polohy bodov na vhodnej výpočtovej a zobrazovacej ploche vyžadujú, aby bola k dispozícii sústava jednoznačne navzájom učených a orientovaných bodov v spoločnom súradnicovom systéme. Tieto body tvoria polohové bodové pole, sú trvalo alebo dočasne stabilizované a určené so stanovenou presnosťou. Polohové bodové pole na Slovensku rozdeľujeme na (podľa BITTERER, L., 2003):

- základné polohové bodové pole (ZPBP),
- podrobné polohové bodové pole (PPBP).

Rozdelenie polohových geodetických bodov, ktoré vytvárajú polohové bodové polia je uvedené v tabuľke.

Tabuľka 1 Rozdelenie polohových bodových polí (podľa STN 73 0415)

Tab. 1 Distribution of positional geodetic fields (according to STN 73 0415)

Základné polohové bodové pole (ZPBP)	Body Štátnej trigonometrickej siete (ŠTS)	
Podrobné polohové bodové pole (PPBP)	Pevné body podrobného polohového bodového pola (PBPP) – bez rozdielu v spôsobe určenia	Triedy presnosti 1 až 5
	Dočasne stabilizované body – nie sú predmetom STN 73 04 15	Triedy presnosti 2 až 5

Presnosť geodetických polohových bodov sa posudzuje podľa základnej strednej súradnicovej chyby m_{xy}

$$m_{xy} = \sqrt{0,5(m_{x^2} + m_{y^2})} \quad (1)$$

kde m_x a m_y sú stredne chyby súradníc x a y .

Stredná súradnicová chyba m_{xy} nesmie prekročiť hodnotu krajnej dovolenej odchýlky, ktorá je stanovená na 2,5-násobok strednej súradnicovej chyby m_{xy} .

Základná stredná súradnicová chyba bodov základného bodového poľa sa stanovuje hodnotou: $m_{xy} = 0,015$ m. Toto kritérium je vyjadrením relatívnej presnosti medzi susednými bodmi trigonometrickej siete V. rádu (ŽIHLAVNÍK, Š., 2004).

Podľa účelu použitia sa body podrobného bodového poľa určujú v 5-tich triedach presnosti. Základné stredné súradnicové chyby bodov m_{xy} podľa tried presnosti stanovuje STN 73 0415 Geodetické body ($m_{xy} = 0,02$ m , 0,04 m, 0,06 m, 0,12 m, 0,20 m).

2.3 Spôsoby určovania bodov PPBP a posúdenie vhodnosti pre meranie v lesných porastoch

Pri tvorbe lesníckych máp sa vždy používali zodpovedajúce meračské metódy, postupy a prístroje. Vzhľadom na charakter a náročnosť prostredia, v ktorom sa lesnícke mapovanie vykonáva najviac bola a je kombináciou polohopisnej a výškopisnej metódy merania, napr. metódou polárnych súradníc spojenou využívaná letecká stereofotogrametria doplnená terestrickým zameraním, na leteckých meračských snímkach neviditeľným detailom. V súčasnosti sa pri tvorbe TŠMD používa digitálna stereofotogrametria a klasické terestrické meranie nahrádzajú metódy založené na globálnych navigačných satelitných systémoch (GNSS) a v poslednej dobe aj GLONASS.

Všetky geodetické merania a práce v teréne sa musia uskutočňovať takým spôsobom a s takou presnosťou, aby sa splnili kritériá presnosti pre jednotlivé triedy presnosti. Súčasťou výpočtových prác je predovšetkým overenie dosiahnutej presnosti určenia bodov. Vykoná sa porovnávaním dosiahnutých výsledkov a geometrickými parametrami a kritériami presnosti. Podľa účelu použitia sa body podrobného polohového poľa určujú v piatich triedach presnosti. Uvedené kritériá sa vzťahujú na najbližšie body základného bodového poľa (M. VÁCLAVÍKOVÁ – V. BENEŠOVÁ – J. BUSTA, 1993).

Na určovanie pravouhlých súradníc bodov PPBP sa v jednotlivých triedach presnosti v zmysle inštrukcie (1994) používajú tieto spôsoby:

- polygónovými ťahmi s dlhými stranami meranými elektronickými diaľkomermi,
- smerovým pretínaním napred a kombinovaným pretínaním,
- pretínaním z dĺžok meranými elektronickými diaľkomermi,
- rajónmi meranými elektronickými diaľkomermi,
- pomocou globálneho systému určovania polôh (GNSS),
- trojuholníkovými reťazcami,
- pretínaním nazad (výnimočne),
- polygónové ťahy s kratšími dĺžkami strán,
- fotogrametricky.

3 EXPERIMENTÁLNY MATERIÁL A METODIKA

3.1 Zájumové územie – charakteristika

Výskumná lokalita bola založená a situovaná v blízkosti obci Kováčová a Sielnica (k. ú. Hájniky) kde väčšina lesov patrí pod správu Vysokoškolského lesníckeho podniku Technickej univerzity vo Zvolene (VŠLP). Podrobné body predstavujú najmä hranice dielcov 317a, b, c a 295a (obr. č. 1) s rôznou štruktúrou, rastovou fázou porastu a rôznym terénnym reliéfom. Zastúpená je hranica medzi lesným pôdnym fondom a bezlesím, hranice medzi jednotlivými rastovými fázami lesa (mladina – holina, dospelý porast – mladina atď.) a hranica vedená lesnou odvoznou cestou. Ako porovnávací etalón pre vyhodnotenie presnosti určovaných bodov sme poslúžili súradnice získané prostredníctvom elektronického tachymetra Topcon GPT 3002 a metódy rajónu z vrcholov polygónového ťahu.



Obr. 1 Zájumové územie s vyobrazením meraných bodov

Fig. 1 Display of measured points

3.2 Popis použitého prístrojového a softwarového vybavenia

Metodický prístup bude analogický k už uskutočneným prípravným experimentálnym meraniam. Na zameranie polohy referenčných bodov bol použitý prístroj GNSS, dvoj frekvenčný Hiper GGD od firmy Topcon. Podobne ako ostatné prijímače má HiperGGD kompaktný, ľahký dizajn dokáže prijímať L1 a L2 GPS a GLONASS signály v jednej jednotke. Prístroj obsahuje 40 kanálový integrovaný GPS prijímač. Súčasťou je

integrovaná anténa typu Microstrip (Zero-Centered) so schopnosťou prijímať signály L1, L2, NAVSTAR (GPS) + GLONASS systémy. Presnosť udáva výrobca pre statickú metódu merania: horizontálne: 3 mm + 0,5 ppm, vertikálne: 15 mm + 1,0 ppm, a pre RTK metódu: horizontálne: 10 mm + 1,0 ppm, vertikálne: 15 mm + 1,0 ppm. (www.topcon.com).



Obr. 2 GNSS Hiper GGD
Fig. 2 GNSS Hiper GGD



Obr. 3 Kontrolér FC 200
Fig. 3 Controller FC 200

Pre prácu v reálnom čase a pri potrebe monitorovania niektorých dôležitých parametrov merania sa funkcie prijímača ovládajú prostredníctvom kontroléra FC 200. Toto mobilné zariadenie je vybavené operačným systémom Windows a umožňuje nastavenie príjmu korekčných dát v reálnom čase, aktualizáciu nastavenia vybraných parametrov merania, editáciu číslovania bodov, výšok antény a ďalších poznámok, ako aj okamžitú kontrolu kvality merania v jeho priebehu.

Na zameranie vodorovnej dĺžky a magnetického azimutu pri metóde pretínania bol použitý Laserový diaľkomer Impulse LR 200 a elektronický kompas Map Star Compass Module II. Elektronický kompas Map Star Compass Module II je malý, ľahký a odolný prístroj. Je vyhotovený pre prácu v každom prostredí, tak ako aj Impulse LR 200.

Všetky funkcie a proces zadávania údajov sú zhodné s ostatnými nadstavbami. Hlavnou výhodou kontrolného panelu je samostatné spracovanie algoritmov, samostatné prispôbenie vonkajším teplotám a podmienkam Mapstar-u umožňuje dosiahnuť svetovú úroveň presnosti v azimutovom meraní. Jednoduchá manipulácia umožňuje kalibráciu na mieste a efektívne sa prispôsobuje zmenám magnetizmu prostredia (www.fieldmap.cz).

Pre porovnanie výsledkov s iným druhom diaľkomerov sme ďalej využili prístroj Leica DISTO D5 jedná sa o laserový diaľkomer s integrovanou digitálnu kamerou, pomocou ktorej sa na 2,4 palcovej farebnej obrazovke zobrazuje priamo meraný cieľ, čo predovšetkým uľahčuje celý proces cielenia pri väčších dĺžkach. Prístroj umožňuje vykonávať všetky základné meračské a výpočtové funkcie. Laserový diaľkomer s režimom Long Range zaručuje spoľahlivé meranie aj dlhých vzdialeností. Senzor sklonu pracuje v rozpätí $\pm 45^\circ$ s presnosťou merania $\pm 0,3^\circ$ (www.geotech.sk).

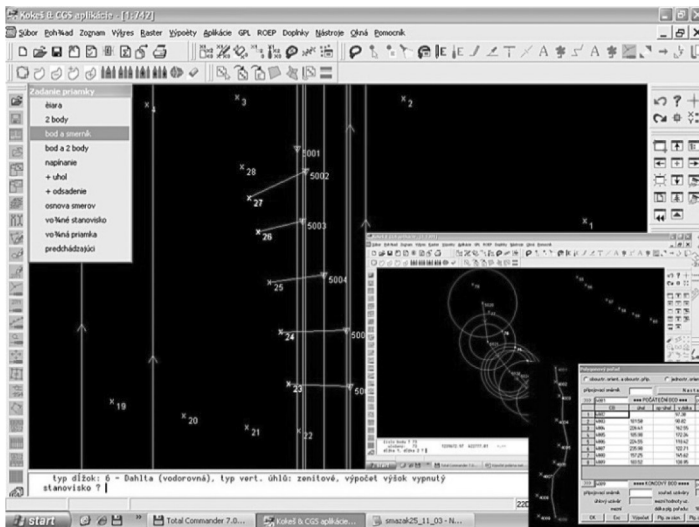


Obr. 4 Elektronický kompas MapStar Compass Module II
 Fig. 4 Electronic compass MapStar Compass Module II



Obr. 5 Leica Disto D5 laserový diaľkometer
 Fig. 5 Leica Disto D5 laser range-finder

Všetky výsledky a namerané údaje z terénu nám v ďalšom postupe poslúžili pre výpočet metódou pretínania z dĺžok a uhlov na získanie súradníc vrcholových bodov a boli následné riešené v programovom prostredí geodetických programov Kokeš, TopconTools prípadne programu Topcon Link.



Obr. 6 Pracovné prostredie programu Kokes
Fig. 6 Working environment programme Kokes

3.2 Zameranie bodov pomocou metódy kombinácie pretínania z dĺžok a uhlov

Pre meranie bodov sme navrhli aplikáciu kombinácie metód konvenčného terestrického mapovania s využitím dostupných jednoduchých meračských prístrojov (Leica Disto D5, Map Star Compass Module II, Impulse LR 200) pri určovaní bodov predovšetkým na okraji porastov a pod clonou porastovej steny, kde nie je vhodné (možné) merať priamo pomocou metód GNSS.

Na zameranie pomocných (zhusťovacích) bodov bolo použité meranie GNSS RTK s využitím služby SKPOS s 15 až 30 sekundovými observáciami a bolo uvažované výlučne s fixným riešením pomocou GNSS prijímača Hipper GGD spojeným s kontrolerom FC 200 a mobilným telefónom na prijímanie referenčných dát z virtuálnej bázy. Za účelom efektivity prác sme celú zostavu prístrojov umiestnili na 2-metrovú výtyčku a pre lepšiu centráciu a horizontáciu prístrojov sme využili ľahký statív.

Na určenie súradníc Y, X neznámeho bodu P3 bola navrhnutá metóda pretínania z dĺžok a uhlov meraných z pomocných bodov P1 a P2 (určených GNSS metódou), slúžiacich ako zámera na určovaný bod, kde uhol pri bode P3 má byť v medziach 30–170 grádov.

Metodický postup merania bol nasledovný:

1. Identifikácia a signalizácia určovaného bodu P3 (obr. č. 7).
2. Určenie pomocného bodu P1 a zameranie jeho súradníc pomocou GNSS službou SKPOS.

3. Zameranie vodorovnej dĺžky medzi bodom P1 a určovaným bodom P3.
4. Určenie pomocného bodu P2 a zameranie jeho súradníc pomocou GNSS službou SKPOS.
5. Zameranie vodorovnej dĺžky medzi bodom P2 a určovaným bodom P3.
6. Import nameraných súradníc z kontroléra pomocných bodov P1 a P2 do dostupného spracovateľského softwaru Topcon Link.
7. Po získaní súradníc pomocných bodov a príslušných nameraných dĺžok a uhlov vypočítať súradnice neznámeho bodu P3 v programe Kokeš metódou pretínania z dĺžok a uhlov, prípadne polárnej metódy.



Obr. 7 Signalizácia bodu pod clonou porastu

Fig. 7 Signaling point under the stand

Meranie polohy pomocných bodov bolo vykonávané súčasne so zameriavaním dĺžok k určovanému, čím sa jednoznačne urýchlil celý proces merania. Samotné meranie sa realizovalo vo viacerých fázach. V prvej fáze merania sme využili zostavu prístrojov s jednoduchou trojnožkou a vodorovné dĺžky sa merali s diaľkomerom Impulse LR 200 (obr. č. 8) s odrazom od zrkadla na výtyčke, ktorá bola presne umiestnená na danom bode. S režimom merania bez odrazu sme neuvažovali nakoľko sa dosahovali rádovo 10 a viac centimetrové odchýlky oproti režimu s odrazom, v tejto fáze sme zároveň zaznamenali aj magnetický azimut pomocou kompasu Map Star Module II.



Obr. 8 Zostava prístrojov
Impulse LR 200 a GNSS
Fig. 8 Instrument assembly
Impulse LR 200 a GNSS



Obr. 9 Zostava prístrojov
s Leica Disto D5
Fig. 9 Instrument assembly
Leica Disto D5

V druhej fáze merania sa vodorovné dĺžky k určeným bodom merali laserovým diaľkomerom Leica Disto D5 (obr. č. 9) na výtyčke s bielou (pre meranie vzdialenosti do 40 metrov) a hnedou plochou (pre meranie vzdialenosti nad 40 metrov) v ďalšom výpočte bolo potrebné výsledné dĺžky opraviť v prípade bielej plochy pripočítať hodnotu 1,25 cm a v prípade hnedej plochy odčítať hodnotu 1,25 cm. Keďže prístroj Disto D5 nedisponuje režimom merania s odrazom bolo potrebné zabezpečiť úplnú viditeľnosť na určený bod. Preto bolo potrebné jednotlivé zámery na daný bod vysekať a upraviť tak aby sa splnila táto požiadavka. V tretej fáze merania sa celé meranie zopakovalo so všetkými prístrojmi s rovnakým postupom avšak bez použitia jednoduchej trojnožky pre celú zostavu za účelom porovnania nami získaných výsledkov.

3.3 Spracovanie nameraných údajov

Po realizácii jednotlivých meraní sme pristúpili k spracovaniu jednotlivých dát. Pre uskutočnenie všetkých rozborov v zmysle cieľov tejto práce je potrebné vykonať matematicko-štatistickú analýzu získaných dát. Ide o rozbor výsledkov meraní, zameraný na výpočet a porovnanie presnosti určenia rovinnej polohy bodov v súradnicovom systéme S-JTSK a Bpv. Pre účely týchto analýz boli referenčné súradnice bodov, získané meraním s elektronickým tachymetrom považované za absolútne správne. Zvolený postup vychádza z teórie chýb a aplikácie vyrovnávacieho počtu (BÖHM, 1990).

Pre určenie m_{xy} sa použil klasický postup vyrovnávacieho počtu

a) Výpočet súradnicových rozdielov (odchýlok) δx_i :

$$\delta x_i = XG - XE \quad \delta y_i = YG - YE \quad (1)$$

XG, YG, ZG – správne geodetické súradnice,

XE, YE, ZE – súradnice určené,

i – poradové číslo,

b) Výpočet aritmetického priemeru δx (y) rozdielov súradníc súboru:

$$\delta_{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_{xi}}{n} \quad \delta_{\bar{y}} = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_{yi}}{n} \quad (2)$$

c) Posúdenie presnosti určenia súradníc bodov

výpočet m_x, m_y, m_z – stredných chýb určenia súradníc (x, y):

$$m_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_{xi}^2}{n}} \quad m_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_{yi}^2}{n}} \quad (3)$$

kde n – počet bodov v súbore

výpočet strednej súradnicovej chyby m_{xy} :

$$m_{xy} = \sqrt{0,5 \cdot (m_x^2 + m_y^2)} \quad (4)$$

Stanovenie nulovej hypotézy:

$$\delta_{\bar{x}} = 0 \quad \delta_{\bar{y}} = 0 \quad (5)$$

posúdenie správnosti merania (výskytu systematickej chyby) pomocou Studentovho t -testu:

$$Tx = \frac{\delta_{\bar{x}}}{\frac{s\delta_{\bar{x}}}{\sqrt{n-1}}} \quad Ty = \frac{\delta_{\bar{y}}}{\frac{s\delta_{\bar{y}}}{\sqrt{n-1}}} \quad (6)$$

n – počet uvažovaných hodnôt v súbore.

Pri Studentovom t-teste sa stanoví nulová hypotéza (5), t.j. že systematická chyba je s 95 %-nou pravdepodobnosťou štatisticky významná a táto sa podľa dosiahnutých hodnôt T a $t_{\alpha/2}$; f pre zvolenú hladinu významnosti $\alpha = 0,05$ a stupeň voľnosti $f = n - 1$, potvrdí, alebo zamietá. Ak $T > t_{0,025}$; f – nulová hypotéza sa zamietá a vyslovuje sa tvrdenie s 95 %-nou spoľahlivosťou, že meranie je zaťažené systematickou chybou. V prípade potvrdenia alternatívnej hypotézy je nutné k odstráneniu systematickej chyby príslušné namerané hodnoty opraviť o hodnotu rovnajúcu sa opačnej hodnote aritmetického priemeru daného súboru hodnôt.

5 Výsledky

5.1 Metóda pretínania pomocou dĺžok

Použitie tejto metódy sa realizovalo s kombináciou prístrojov zo zostavy Field Map, konkrétne diaľkomera Impuse LR 200 a elektronického kompasu Mapstar Module II. Tou istou metódou a postupom sa zamerali dané body aj s použitím diaľkomera Disto D5. Pri použití uvedených metód boli dosiahnuté nasledujúce výsledky (tab. č. 2).

Tab. 2 Prehľad m_{xy} pri metóde pretínania z dĺžok s prístrojom Impulse LR 200

Tab. 2 Overview m_{xy} method of intersection from lengths of the apparatus Impulse 200 LR

Metóda merania (pretínanie z dĺžok)	M_{xy} (m)	Presnosť po štatistickom testovaní (m)
Impulse LR 200, MapstarCompass II (2 zámery s trojnožkou)	0,22	0,14
Impulse LR 200 (2 zámery bez trojnožky)	0,25	0,19

Po vypočítaní súradnicových chýb δx_i , δy_i ak súbor nameraných hodnôt v niektorej z osí vykazoval nadmerné vychýlenie, pristúpilo sa k identifikácii a eliminácii systematickej zložky odchýlok v smere danej osi. Následne sa vykonalo štatistické testovanie podľa postupu uvedeného v kapitole 3.3. Pri tejto skúmanej metóde bola kritická hodnota prekročená (a tým bola potvrdená hypotéza o prítomnosti systematickej chyby) pre súradnicu x aj y pri všetkých meraniach s prístrojom Impuse LR 200. Celkovú dosiahnutú presnosť tejto metódy merania charakterizuje stredná súradnicová chyba hodnotou $m_{xy} = 0,22$ m s využitím trojnožky a $m_{xy} = 0,25$ m bez pomoci statívu. Takáto presnosť plne vyhovuje pre účely merania vlastnických hraníc JPRL a spĺňa kritéria dané 4. triedou presnosti mapovania. Pri ďalšom testovaní výsledkov a po oprave o systematickú zložku sa hodnoty stredných chýb znížili, na hodnotu odpovedajúcej s použitím statívu $m_{xy} = 0,14$ m a $m_{xy} = 0,19$ m v prípade merania bez statívu čím sa v prípade prvej metódy splnila požiadavka na 3. Triedu presnosti mapovania. Dosiahnuté výsledky skúmanej metódy bez problémov teda spĺňajú

kritéria pre 4. triedu presnosti lesníckeho mapovania podrobných bodov danou kritériom $m_{xy} = 0,26$ m v zmysle STN 013410 Mapy veľkých mierok a zároveň sa splnili aj kritéria pre meranie vlastnických hraníc lesných pozemkov v extravilánoch. Je potrebné spomenúť, že testovanie prítomnosti výskytu systematickej chyby je však ale v praxi ťažko realizovateľné, jednak kvôli nutnosti vykonávania zdĺhavých matematicko-štatistických analýz a jednak kvôli neznalosti správnych, absolútne presných polôh meraných bodov. Získané výsledky po analýze preto nemôžeme jednoznačne zovšeobecniť, slúžia iba pre porovnanie a na ich hľadanie a odstránenie výskytu sa bude potrebné zamerať pri ďalšom výskume.

Pri meraní a aplikácii metódy pretínania z dĺžok s využitím diaľkomera Leica Disto D5 sú výsledky získané touto kombináciou uvedené v tabuľke č. 3.

Tab. 3 Prehľad m_{xy} pri metóde pretínania z dĺžok s prístrojom Leica Disto D5

Tab. 3 Overview m_{xy} method of intersection from lengths of the apparatus Leica Disto D5

Metóda merania (pretínanie z dĺžok)	M_{xy} (m)	Presnosť po štatistickom testovaní (m)
Disto D5 (2 zábery s trojnožkou)	0,20	0,13
Disto D5 (2 zábery bez trojnožky)	0,21	0,14

Pri testovaní nameraných dĺžok bolo potrebné dané hodnoty dĺžok opraviť o hodnotu $\pm 1,25$ cm, keďže prístroj využíva výtyčku s dvoma odrazovými plochami pre meranie s dĺžkou do 40m a nad 40 metrov. Celková dosiahnutá presnosť tejto metódy merania je vyjadrená strednou súradnicovou chybou merania $m_{xy} = 0,20$ m v prípade použitia statívu a $m_{xy} = 0,21$ m bez využitia pomocného statívu. Takáto presnosť opäť plne vyhovuje pre účely merania vlastnických hraníc JPRL. Pri ďalšom testovaní výsledkov a po oprave o systematickú zložku sa hodnoty stredných chýb znížili, na hodnotu odpovedajúcej $m_{xy} = 0,13$ m s využitím trojnožky a $m_{xy} = 0,14$ m bez použitia pomocného statívu. Dosiahnuté výsledky skúmanej metódy bez problémov teda spĺňajú kritéria stanovené pre 4. triedu presnosti lesníckeho mapovania podrobných bodov $m_{xy} = 0,26$ m v zmysle STN 01 3410 Mapy veľkých mierok a zároveň sa po štatistickom zhodnotení dosiahli hodnoty spĺňajúce kritéria aj pre 3. triedu presnosti definovanú hodnotou $m_{xy} = 0,14$ m.

5.2 Metóda pretínania pomocou uhlov

Túto metódu sme realizovali s využitím prístrojov zo zostavy Field Map, konkrétne diaľkomera Impuse LR 200 a elektronického kompasu Mapstar Module II. Pri meraní sa po zhutnení pomocného bodu okrem dĺžky na cieľový bod zaznamenával magnetický azimut. Polohu bodu pri meraní metódou pretínania z uhlov prostredníctvom

kompasu Mapstar Module II priamo ovplyvňuje aj určenie magnetického azimutu. Pri výpočte a zhodnotení výsledkov bolo potrebné hodnoty nameraných magnetických azimutov opraviť o hodnotu C , ktorá sa nazýva meridiánová konvergenca Křovákovo zobrazenia pričom sa jedná o odchýlku, ktorá je medzi geografickou a kartografickou sieťou. V našom prípade hodnota konvergenzie bola $4,30^\circ$. Pri výpočte bola ďalej do úvahy braná aj hodnota magnetickej deklinácie, ktorá predstavuje uhol medzi geomagnetickým a geografickým poludníkom pre dané územie nakoľko sa táto hodnota neustále mení v dôsledku toho že poloha magnetických pólov nie je pevná a stále sa pohybuje v rámci magnetickej deklinácie a má taktiež vplyv na hodnoty nameraných uhlov. Výpočítaná hodnota magnetickej deklinácie sa pohybovala od $4,27 - 4,36^\circ$ a bola taktiež zahrnutá do výpočtu. Pričom vstupnými údajmi do výpočtu sú zemepisné súradnice v mieste merania a presný dátum merania. Pri použití uvedenej metódy boli dosiahnuté nasledujúce výsledky (tab. č. 4).

Tab. 4 Prehľad m_{xy} pri metóde pretínania z uhlov s prístrojom Mapstar Compass

Tab. 4 Overview m_{xy} method of intersection from angles of the apparatus Mapstar Compass

Metóda merania (pretínanie z dĺžok)	M_{xy} (m)	Presnosť po štatistickom testovaní (m)
Impulse LR 200, MapstarCompass II	0,24	0,20

Pri tejto skúmanej metóde bola kritická hodnota prekročená (a tým bola potvrdená hypotéza o prítomnosti systematickej chyby) v tomto prípade iba pri x-vej súradnici. Celkovú dosiahnutú presnosť tejto metódy merania charakterizuje stredná súradnicová chyba hodnotou $m_{xy} = 0,24$ m. Takáto presnosť plne vyhovuje opäť pre účely merania vlastných hraníc JPRL. Pri ďalšom testovaní výsledkov a po oprave o systematickú chybu sa hodnoty stredných chýb znížili na hodnotu $m_{xy} = 0,20$ m.

Z dosiahnutých výsledkov môžeme odvodiť nasledovné závery:

- Pre lesnícke mapovanie v rámci TŠMD LH bola stanovená 5. trieda presnosti, pričom pri mapovaní sa postupuje v zmysle STN 01 3410 Mapy veľkých mierok – základné a účelové mapy. Táto norma určuje pre 4. triedu presnosti strednú súradnicovú chybu $m_{xy} = 0,26$ m. Porovnaním nami dosiahnutých výsledkov s touto normou, môžeme konštatovať, že všetky použité metódy v tejto práci bez problémovo spĺňajú toto kritérium a je ich možné odporučiť na určovanie hraníc lesných pozemkov predovšetkým v extraviláne. Najlepšie výsledky sa dosiahli s použitím prístroja Leica Disto D5 s využitím statívu kde hodnoty stredných súradnicových chýb sa po testovaní výsledkov priblížili k hodnotám spĺňajúcich požiadavky na 3. triedu presnosti mapovania vlastných hraníc pozemkov v intraviláne ($m_{xy} = 0,14$ m). Priaznivé výsledky sú dané hlavne tým, že celá zostava prístrojov bola stabilizovaná ľahkým statívom a práca s diaľkomerom je veľmi užívateľský príjemná pričom samotné zameranie bodov zameranie bodov bolo ľahšie a rýchlejšie ako v prípade diaľkomera Impulse LR 200.

Jednoznačne môžeme túto kombináciu odporučiť aj z hľadiska efektivity na časovú úsporu ako aj požiadaviek pre lesnícke mapovanie.

- Po zhodnotení všetkých dosiahnutých výsledkov možno konštatovať, že využitie skúmaných kombinácií metód a prístrojovej techniky s využitím RTK GNSS je pre zameriavanie vlastníckych hraníc v extraviláne v podmienkach lesných porastov vyhovujúce nakoľko hodnoty m_{xy} ani v jednom prípade neprekročili požadované kritériá 4. triedy presnosti ($m_{xy} = 0,26$ m) podľa STN 01 3410 Mapy veľkých mierok. Zároveň je možné dané metódy uplatniť aj pri zameriavaní hraníc JPRL, ktoré nie sú vlastníckymi hranicami a ostatného lesníckeho detailu, kde nie sú kladené vysoké nároky na presnosť ($m_{xy} = 1,50$ m).

6 ZÁVER

Problematicku merania hraníc v lesnom prostredí rôznymi metódami považujeme za aktuálnu vzhľadom na proces prinavracania pozemkov pôvodným vlastníkom. Tiež má význam z pohľadu mapovania hraníc lesných pozemkov, kde je zjavný nesúlad medzi stavom evidovaným v registri C katastra nehnuteľností a medzi aktuálnym stavom viditeľným napr. na leteckých snímkach. S tým súvisí aj problematika identifikácie a merania hraníc bielych plôch, ktoré predstavujú problém z hľadiska obhospodarovania na základe PSL.

V súčasnosti je metóda GNSS v lesníckom mapovaní používaná hlavne pri tvorbe (zhusťovaní) bodového poľa a pri meraní polohy bodov podrobného polohového bodového poľa v miestach, kde sú pre satelitné meranie vhodné podmienky, čiže neprejavuje sa negatívne vplyv zalesneného prípadne horského prostredia. Na tieto merania nadväzujú potom metódy konvenčného terestrického mapovania (polygoniácia, rajonizácia, tachymetrické meranie, napr. elektronickými tachymetrami). V snahe čo najviac využiť metódu mapovania pomocou GNSS v zložitých, nie len lesných, podmienkach sa hľadajú vhodné pomôcky a prístroje nižšej obstarávacej hodnoty ako sú klasické geodetické prístroje a pomocou nich rozšíriť použiteľnosť a zvýšiť efektívnosť „družicového“ mapovania.

V našej práci sme sa zamerali najmä na využitie „rýchlych“ a efektívnych metód merania, medzi ktoré jednoznačne patria nielen kinematické metódy merania GNSS ale aj metódy klasického terestrického zamerania bodov s využitím rôznych kombinácií metód a prístrojovej techniky s rôznou obstarávacou cenou snahe dosiahnuť čo najväčšiu efektívnosť samotných použitých metód ale aj úsporu financií v porovnaní s oveľa nákladnejšími konvenčnými prístrojmi v snahe dosiahnuť aspoň porovnateľnú presnosť pre meranie lesných pozemkov (totálne stanice, elektronické tachymetre). Rovnako však nesmieme zabudnúť na požadovanú presnosť merania, ktorá je definovaná normou STN 013410 Základné a účelové mapy podľa ktorej musíme pri meraní a vytyčovaní vlastníckej hranice dodržať 3. triedu (intravilán), resp. 4. triedu presnosti (extravilán). Tieto zvýšené nároky na presnosť je samozrejme následne potrebné zohľadniť aj pri výbere samotných metód merania, s nami navrhnutou kombináciou prístrojového vybavenia sme bezproblémovo splnili tieto požiadavky pre prácu v lesnom prostredí s výraznou efektívnosťou a racionalizáciou prác pre tieto účely.

7 Literatúra

- BITTERER, L. 2003. Geodézia. Interný učebný text. Stavebná fakulta ŽU Žilina, 358 s.
- BŮHM, J. – RADOUCH, V. – HAMPACHER, M. 1990. Teorie chýb a vyrovnávacího počtu. GKP Praha, ISBN 80-7011-056-2, 416 s.
- FAŠKO, M.: Možnosti využitia GNSS pri lesníckom mapovaní. Diplomová práca, TU Zvolen 2007. 65 s.
- HRICKO, B. – ŽIHLAVNÍK, Š., 2001. Určovanie polohy bodov pomocou GPS v lesných porastoch. In. Zborník referátov „Geodézia, fotogrametria a inžinierska geodézia v informačnej spoločnosti. STU Bratislava, s. 272–280.
- RAPANT, P.: Družicové polohové systémy. Ostrava: VŠB– TU Ostrava, 2002. 200 s. ISBN 80-248-0124-8.
- STANĚK, V. – HOSTINOVÁ, G. – KOPÁČIK, A. 2007. Geodézia v stavebníctve. JAGA GROUP, s.r.o., ISBN 978-80-8076-048-9, 110 s.
- ŠŮTTI, J. a kol. 1998. Analýza kvality polygónových ťahov. In. Acta Montanistica Slovaca, roč. 3 (1998), 1, s. 43–50.
- TUNÁK, D. 2009. Polygonizácia v lesníctve. In Lesnícka geodézia a fotogrametria – trendy: zborník referátov zo sympózia s medzinárodnou účasťou. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2008. ISBN 978-80-228-1949-7. s. 22–36.
- VÁCLAVIKOVÁ, M. – BENEŠOVÁ, V. – BUSTA, J.: Mapovanie pre 2. a 3. ročník SPŠ stavebných študijný odbor geodézia. 3. vyd. Bratislava ELÁN, 2000. 249 s. ISBN 80-85331-19-5.
- ŽIHLAVNÍK, Š. – MELUŠ, J. 2009. Využitie GNSS pri lesníckom mapovaní. Vedecké štúdie. TU Zvolen, ISBN 978-80-228-2013-4, 77 s.
- ŽIHLAVNÍK, Š. – TUNÁK, D. 2006. Využitie polygonizácie v lesníckej geodézii. In: Geodézia v lesníctve: zborník referátov zo sympózia s medzinárodnou účasťou. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2006. ISBN 80-228-1684-1, s. 78–88.
- ŽIHLAVNÍK, Š. – TUNÁK, D. 2010. Racionalizácia mapovacích prác využitím metódy polygónových ťahov. Vedecké štúdie 2010, TU Zvolen. 84 s
- Aktuálne problémy lesníckeho mapovania. Zborník referátov. 2010 TU Zvolen. ISBN 978-80-228-2162-9. 169 s.
- Inštrukcia na tvorbu Základnej mapy SR veľkej mierky I 74.20.73.21.00 ÚGKK SR, (984 211 I/1993)
- Inštrukcia na práce v polohových bodových poliach I 74.20.73.12.00 ÚGKK SR, (984 121 I/93).
- STN 01 3410. Mapy veľkých mierok. Základné ustanovenia.
- STN 73 0415. Geodetické body.
-

Adresa autora:

Ing. Ľubomír Smažák
Lesnícka fakulta
Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie
Technická univerzita vo Zvolene
Masarykova 24
960 53 Zvolen
Slovenská republika
e-mail: lubbar@centrum.sk

Zvyšovanie efektívnosti merania hraníc lesných pozemkov s využitím metód družicovej a terestrickej geodézie

Abstrakt

Medzi najpoužívanejšie metódy v lesníckom mapovaní v súčasnosti patrí digitálna fotogrametria, určovanie polohy bodov pomocou globálnych navigačných satelitných systémov (GNSS), či kombinácia polárnej metódy s využitím univerzálnych meračských staníc. Vzhľadom k tomu, že lesné prostredie je špecifické svojimi podmienkami – kryt porastu a v mnohých prípadoch členitý terén je použitie týchto metód v lesníckej meračskej praxi do určitej miery obmedzené. Predmetom výskumu tejto práce je aplikácia kombinácie metód konvenčného terestrického mapovania (GNSS, rajonizácia, metódy pretínania) s využitím dostupných jednoduchých meračských prístrojov (Leica Disto D5, Map Star Compass Module II, Impulse LR 200) pri určovaní bodov predovšetkým na okraji porastov a pod clonou porastovej steny, kde nie je možné všetky body identifikovať na leteckých snímkach a určiť ich fotogrametricky alebo priamo pomocou GNSS. Preto sa hľadajú optimálne postupy a kombinácie jednotlivých technológií tak, aby meranie bolo čo najefektívnejšie s výraznou racionalizáciou v lesníckom a katastrálnom mapovaní.

Kľúčové slová: lesnícke mapovanie, presnosť, GNSS

ZANÁŠANIE VODNEJ NÁDRŽE HNUSNO II. A ERÓZNY POTENCIÁL POVODIA

Michal D A N K O – Vladimír J U Š K O

Danko, M. – Juško, V.: Siltation of water reservoir Hnusno II. and erosion potential of catchment. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 56, Suppl. 1, 2014, 125–141.

The paper solves problems of siltation of small water reservoir in the particular example of the water reservoir Hnusno II. Monitored basin is located in the cadastre of village Horná Lehota, Brezno District, on the south side of the Low Tatras. Within the field measurements was carried out detection condition of sedimentation monitored reservoir. Sedimentation was examined by sonar method from the vessel in full operation level. The measurement was performed in advance transverse profile, which we obtain from the original construction project of the basin. As a second comparative method we used direct measurement of the probe rod, which should confirm the accuracy of the measurement of sonar. Another objective was to determine the potential treat of catchment of water reservoir Hnusno II. by water erosion. To calculate the potential loss of soil from the catchment area were used Wischmeier – Smith equation USLE.

Based on positive results was calculated average annual speed of reservoir siltation $520 \text{ m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$, that it represents annual loss 0.95% from storage capacity. Under period for last cleaning of reservoir (24 years) is decreased a storage capacity of reservoir about 23%. Measurement deviations of reservoir siltation by method of sonar and method of probe slat are not statistic significant. It makes possible a simplify of measurement with saving of time and degrease of laboriousness.

Based on specify of potential loss of soil by water erosion in interest area and sediment amount in reservoir is result, that from the catchment is 24%, from the surface of forest roads is 31% and from washtubs of watercourses is probably 45% from total amounts of connate sediment in reservoir.

Key words: small water reservoir, siltation, erosion, catchment

1 ÚVOD A CIEĽ

Pod pojmom malé vodné nádrže podľa TLAPÁKA, HERYNKA (2002) chápeme nádrže, ktoré spĺňajú nasledovné podmienky:

- objem nádrže po normálnu hladinu nie je väčší ako 2 mil. m^3 ,
- najväčšia hĺbka nádrže nepresahuje 9 m,
- storočný prietok (Q_{100}) z vlastného povodia nádrže nie väčší ako $60 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- hrádza nádrže je zemná.

Jedným z vodohospodárskych problémov malých vodných nádrží je ich zanášanie sedimentmi vznikajúcimi v povodí vodných tokov. Produkty erózie vznikajú v povodí a sú neustále od uvedenia nádrže do prevádzky transportované do nádrže. V priestore nádrže

sa usadzujú v dôsledku zníženia rýchlosti prúdenia toku a následnom znížení transportnej schopnosti vody. Zanášanie nádrží spôsobuje znižovanie ich zásobného priestoru a následne skracuje dobu, po ktorú je schopná nádrž plniť svoje vodohospodárske funkcie.

Zanášanie nádrží je všeobecne prirodzený jav, ktorý sa ale najmä posledných 50 rokov zmenil (VRÁNA, BERAN, 1998). Zanášanie nádrží nadobudlo veľké rozmery a výsledkom je obrovské množstvo nahromadených sedimentov prakticky vo všetkých nádržiach našej krajiny. Odhaduje sa, že akumulačný priestor všetkých nádrží sa vplyvom usadzovania sedimentov znížil takmer o jednu tretinu.

Hlavnými príčinami zanášania nádrží sú tri zdroje:

- brehová abrázia – je procesom porušovania brehovej línie účinkom vlnobitia spravidzaný zosuvmi pôdy,
- vnútorné zanášanie – je spôsobené odumieraním, zánikom a rozkladom biomasy vo vode, je možné hovoriť o procese prirodzenom,
- zanášanie prítokom – je spôsobené eróznymi procesmi v povodí, ktoré vznikajú predovšetkým na poľnohospodárskej pôde. Tieto spôsobujú nadmerné množstvo nerozpustených aj rozpustených látok v tokoch, ktoré sa následne vplyvom zníženia prietokovej rýchlosti v priestore nádrže usadzujú. Jedná sa o látky anorganické (jemné ílovité častice až po štrk a kamene väčších rozmerov), organické (rastlinné zvyšky poľnohospodárske aj prírodné) a chemické (hnojivá, pesticídy) (ČISTÝ, 2005).

Zo svahov v povodí sa produkty zvetrávania dostávajú do vodných tokov účinkom stekajúcej vody. Tam sa ďalej podľa unášacej schopnosti a veľkosti častíc usadzujú, alebo sú transportované prúdom. Hrubšie materiály, ktoré sa pohybujú po dne, sa nazývajú splaveniny a pre jemnejšie častice unášané v suspendovanom stave sa používa označenie plaveniny (NÁTHER, BRACHTL, 1987). Presné rozhranie medzi splaveninami a plaveninami nie je možné určiť. Rozdiel je však v tom, akou rýchlosťou postupujú. Splaveniny sa pohybujú pomalšie ako prúd, ktorý ich unáša a rýchlosť pohybu plavenín je rovnaká ako rýchlosť prúdu.

Pokles unášacej schopnosti prúdu spôsobuje, že jednotlivé častice sa začnú postupne usadzovať, pričom tento jav je najvýraznejší v nádržiach, pretože pri vstupe do nádrže tok výrazne spomaľuje svoju rýchlosť. Častice sa usadzujú podľa veľkosti od najväčších po najmenšie, až nakoniec začnú sedimentovať aj jemné materiály, ktoré sa v toku pohybovali ako plaveniny.

NÁTHER, BRACHTL (1987) uvádzajú, že množstvá transportovaných splavenín sa dajú určiť:

- výskumom na hydraulických modeloch,
- výpočtom podľa teoreticko-experimentálnych alebo empirických vzťahov,
- priamymi meraniami v tokoch.

V nádrži sa usadzujú spravidla všetky splaveniny, ktoré sú prinášané prítokom, čo neplatí o plaveninách. Z tých častí, ktorá sa nestihla usadiť v nádrži, pokračuje ďalej s vodným tokom.

Na množstvo plavenín usadzujúcich sa v nádrži vplýva predovšetkým:

- intenzita ich „produkcie“ v povodí,

- hydraulika režimu prúdenia v nádrži podmienená v značnej miere geometriou nádrže,
- spôsob prevádzky objektov patriacich k nádrži,
- pomer objemu nádrže k sumárnemu prítoku za rok; tento pomer v podstate charakterizuje „prietoknosť“ nádrže (NÁTHER, BRACHTL, 1987).

O zanášaní nádrží najspoľahlivejšie informujú pochopiteľne priame merania, ktoré sa realizujú vo vopred vybraných profiloch. Z dvoch meraní s určitým časovým odstupom sa dajú určiť zmeny dna a brehov nádrže a z nich určiť objem usadenín a ich priestorové rozloženie. Najlepšie sa priame zameranie dna nádrže dá uskutočniť po vypustení nádrže a následnom vyschnutí bahenných nánosov, príp. pri naplnenej nádrži z plavidla (VRÁNA, BERAN, 1998). Postup merania spočíva vo vytýčení potrebného počtu priečných profilov do existujúcej situácie skutočného prevedenia výstavby nádrže. Ak nie je k dispozícii situácia pôvodného dna nádrže, je nutné v každom bode zistiť aj mocnosť nánosu.

Cieľom tejto práce bolo riešenie problematiky malých vodných nádrží. Tento cieľ spočíval v špecifikovaní zanášania vodných nádrží produktmi erózie a potenciálnej eróznej ohrozenosti územia na príklade malej vodnej nádrže Hnusno II.

2 MATERIÁL A METÓDY

2.1 Materiál

Riešená problematika je lokalizovaná na vodnej nádrži (VN) Hnusno II., ktorá je súčasťou systému dvoch nádrží spolu s vodnou nádržou Hnusno I. Nádrž sa nachádza v údolí potoka Hnusno, v mieste sútoku s Hrušným potokom. Potok Hnusno je pravostranným prítokom rieky Hron. Povodie toku na nachádza na južnom úpätí Nízkyh Tatier nad obcou Podbrezová, v katastri obce Horná Lehota, má charakter veľmi úzkeho údolia s pomerne strmými svahmi. Hrádza je umiestnená v najvhodnejšom profile časti údolia, a to tak, že spád dna údolia nad profilom priehrady je menší ako v ostatných častiach údolia. Najvyšší prítok potoka Hnusno pramení medzi vrchmi Mesiačik (1 361 m n. m.) a Baba (1 617 m n. m.). Vlastný prameň sa nachádza na kóte cca 1 200 m n. m. Kóta prameňa Hrušného potoka sa nachádza vo výške približne 800 m n. m. a sútok oboch potokov je na kóte 543,70 m n. m. Dĺžka tokov od ich sútoku po pramene je pre potok Hnusno 7,1 km a pre Hrušný potok 3,15 km. Stredný ročný prietok potoka Hnusno je 330 l.s⁻¹, celková plocha povodia 13,64 km² a priemerný ročný úhrn zrážok 890 mm.

VN Hnusno II. je malá vodná nádrž s nízkou vzdutou hladinou, ktorej hlavným účelom je zachytávať splaveniny potoka Hnusno, čím sa má chrániť akumulčný priestor väčšej dolnej nádrže Hnusno I. pred zanášaním a uľahčiť čistenie menšej plochy v prípade VN Hnusno II. Dolná nádrž Hnusno I. bola vybudovaná ako zásobáreň priemyselnej vody určenej na chladenie pri výrobe oceľových rúr v Železiarňach Podbrezová, nakoľko potok Hnusno sa vyznačuje značnou kolísavosťou prietokov. Výstavba nádrže bola realizovaná v rokoch 1968–1970.

Základné charakteristiky VN:

- relatívne prevýšenie hrádze voči terénu 8,0 m,
- dĺžka hrádze v korune 94,4 m,

- šírka koruny hrádze 4,6 m,
- objem nádrže 55 000 m³,
- plocha zadržanej vodnej hladiny 21 000 m²,
- kubatúra hrádze 15 160 m³.

Hrádza bola navrhnutá ako kombinovaná zemná hrádza, ktorej stabilizačná časť bola vybudovaná z odpadovej trosky zo Siemens-Martinových pecí a tesniaca časť hrádze na návodnej strane bola vybudovaná z hlin, ktoré sa dovážali zo stavebnej jamy nového závodu Železiarní Podbrezová v Piesku. Tesnenie hrádze nie je zaviazané do skalného podložia, ale len do zahlineného podložia hrádze, a to na dne, ako aj na svahoch údolia. Združený objekt sa skladá zo šachtového priepadu a vtokovej časti, bezpečnostného priepadu, odvádzacej štôlne s prístupovou chodbou a z vývaru.

Bezpečnostný priepad sa nachádza na pravom brehu pred návodným svahom hrádze a je riešený ako pevný bezpečnostný priepad. Kapacita šachtového priepadu sa rovná maximálnemu prietoku $Q_{100} = 18,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. V dolnej časti šachtového priepadu je umiestnené manipulačno – regulačné zariadenie a dnový výpusť riešený dvomi rúrami o priemere 400 mm a vybavený regulačnými uzávermi.

Priepad, ako aj dnové výpusty, ústia do jedného spoločného kanála, ktorým sa voda odvádza pod telesom hrádze do vývaru, umiestneného pri vzdušnej päte hrádze. Vo vývare sa tlmí prebytočná energia vody a odvádza sa do upraveného koryta pod hrádzou. Vývar je konštrukčne prispôsobený tak, aby umožňoval výlov rýb.

V nádrži je za normálnych okolností udržiavaná hladina vody na kóte 539,30 m n. m., pri zátopovej maximálnej hladine sa dosiahne kóta 540,00 m n. m. Minimálna výška dna nádrže je 532,56 m n. m., výška koruny hrádze je na kóte 540,45 m n. m., dĺžka zaplavenej údolia cca 300 m.

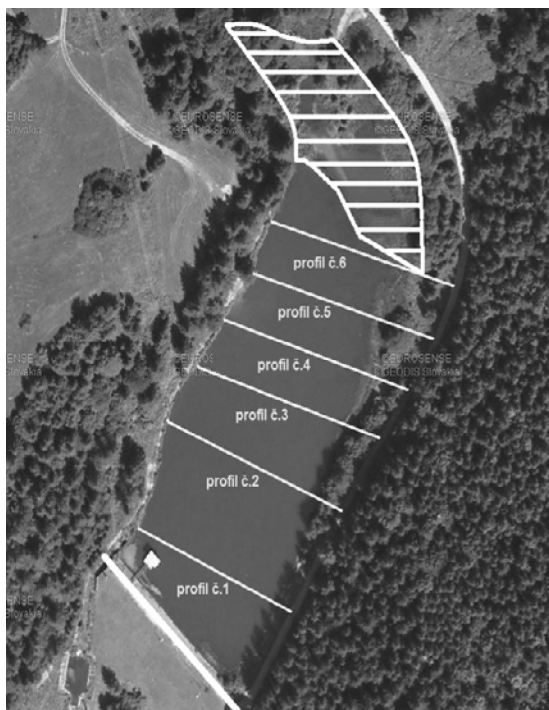
2.2 Metodika zberu údajov

Terénne merania na zisťovanie stavu zanášania sledovanej vodnej nádrže boli vykonávané dvoma metódami, a to sonarovou a sondovacou. Princíp merania pozostával zo zachytenia aktuálneho stavu dna nádrže pomocou fixných bodov rozmiestnených v rámci 6 priečných profilov rozmiestnených rovnomerne na zatopenej ploche nádrže (obr. 1). Poloha vytýčených profilov kopírovala profily z pôvodnej projektovej dokumentácie. Pred samotným meraním boli geodeticky vytýčené priečne profily. Každý profil bol vytýčený a zafixovaný na oboch brehoch VN, medzi ktorými bol natiiahnutý silón s vyznačením meračských bodov. Vzdialenosť medzi bodmi bola v zmysle metodiky podľa FUSKA (2011) stanovená na 5,0 m. Nakoľko terénne merania prebiehali za plnej prevádzkovej hladiny VN, tak boli vykonávané z plavidla – gumeného člna. Takto zamerané priečne profily boli s využitím grafického softwaru MICROSTATION vykreslené, zistené plošné výmery nánosov a následne vypočítané objemové množstvá sedimentov.

Na vtokovej časti do nádrže sa nachádzal rozsiahly nános sedimentov (na obr. 1 plocha vyznačená šrafoú), kde nebolo možné použiť čln. Nakoľko nános bol mäkkej konzistencie a neúnosný na chôdzu, nebolo možné vykonať geodetické zameranie danej plochy. Pre zistenie celkového stavu zanesenia nádrže, však bolo potrebné určiť objem tohto ná-

nosu. Pri vizuálnej obhliadke sme zistili, že výška nánosov dosahuje nadmorskú výšku prevádzkovej hladiny nádrže – 539,30 m n. m. Pri výpočte objemu nánosov v tejto časti VN sme vychádzali z mapy pôvodného terénu v oblasti nádrže. Metódou batigrafických kriviek bol na základe planimetrovania zanesenej plochy vodnej nádrže vypočítaný objem sedimentov.

Zámerom terénnych meraní s využitím dvoch metód merania bolo zachytiť stav dna nádrže a porovnaním s pôvodným dnom nádrže z projektovej dokumentácie špecifikovať rozsah zanesenia nádrže. Pôvodne neboli dostupné žiadne informácie o čistení nádrže v minulosti. Dodatočne, po realizácii terénnych meraní, bolo zistené, že v roku 1989 prebehlo čiastočné čistenie, pričom neboli zachované relevantné informácie o rozsahu čistenia, či množstve vyťažených sedimentov (iba predbežný odhad). Tým vlastne nebolo možné vychádzať z priečných profilov pôvodného terénu v priestore nádrže. Pri určení objemu sedimentov na dne nádrže sa vychádzalo z meraní hrúbky nánosov pomocou sonaru. Metóda sondovacej tyče bola použitá na určenie presnosti merania sonaru.



Obr. 1 Vyznačené profily na VN Hnusno II.

Fig. 1 Marked diagonal profiles on VN Hnusno II.

Metóda sondovacej tyče – meranie bolo vykonávané v zmysle normy STN ISO 3454, ktorá špecifikuje funkčné požiadavky na sondovacie a závesné zariadenie používané na

priame meranie hĺbky. Ako sondovacia tyč bola použitá 6 m dlhá teleskopická meračská lata so stupnicou s presnosťou 10 mm, vybavená libelou a proti zabáraníu do dna oceľovou platňou (30 × 30 cm) pripevnenou na päte tyče.

Sonarová metóda – je technika, ktorá využíva šírenie zvuku (zvyčajne pod vodou) pre navigáciu, komunikáciu alebo detekciu objektov na alebo pod hladinou vody. Zvukový impulz sa vo vode odráža späť ozvenou od predmetu vo vode, či od dna. Činnosť sonaru je ovplyvnená zmenami v rýchlosti zvuku, a to najmä vo vertikálnom smere. Merací lúč sonaru býva v tvare kužeľa a jeho rozptyl sa udáva v stupňoch. Široký lúč s veľkým uhlom zachytí informácie zo širšej plochy, ktoré následne spriemruje a určí hĺbku dna. Úzky lúč pokryje menšiu plochu a poskytne za ideálnych podmienok presnejší popis dna, pretože ozvena je prijatá z menšej oblasti. Úzky lúč je však náchylný na odraz od iných predmetov na dne, čím môže vzniknúť skreslená informácia o hĺbke dna. Použitý bol sonar Eagle SeaFinder 480DF vybavený meracou sondou, ktorá bola pripevnená na plavidlo a napojená na sonar. Meranie sa vykonávalo v kľudovom stave, keď plavidlo stálo na jednotlivých meracích bodoch v rámci priečnych profilov. Použitý sonar umožňoval vysielat' signál súčasne na dvoch frekvenciách, užší kužeľ s uhlom 12° na frekvencii 200 kHz a širší kužeľ s uhlom 35° na frekvencii 50 kHz. Informácia o hĺbke bola zaznamenávaná v každom bode na obidvoch frekvenciách. Keďže frekvencia 200 kHz poskytovala v dôsledku vyššie uvedených dôvodov aj skreslené a nepresné údaje, pre ďalšie spracovanie výsledkov sme použili údaje získané na frekvencii 50 kHz. Sonar taktiež umožňuje odčítanie hrúbky nánosov na dne nádrže, čo bolo využité pri kvantifikovaní objemu nánosov.

Na hodnotenie eróznej ohrozenosti záujmového územia bolo potrebné špecifikovať hlavné erózne činitele ovplyvňujúce rozsah erózných procesov. V rámci morfológických činiteľov sa špecifikovali základné charakteristiky povodia (plocha povodia, sklonové a dĺžkové pomery svahov, ap.). Ako podklad slúžil digitálny model reliéfu (DMR) daného územia zostrojený v prostredí programu ArcGIS 10. Zostavenie tohto modelu je podmienené vytvorením vektorovej vrstvy vrstevníc územia. Vektorizovanie vrstevníc prebehlo v prostredí programu CartaLinux na podklade mapy SR v mierke 1 : 50 000. Táto vrstva bola následne importovaná do programu ArcGIS 10. Vplyv klimatických činiteľov bol odvodený z dlhodobozaznamenávaných klimatických pozorovaní v rámci sledovaných 86 zrážkomerných staníc na Slovensku. Pedologické činitele špecifikujúce základné charakteristiky pôdy, ako pôdny druh, štruktúru pôdy, obsah jemnozeme (íl, prach, práškový piesok), či obsah humusu boli odvodené z mapových podkladov bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek (BPEJ).

2.3 Metodika analýzy údajov

Potenciálna ohrozenosť záujmového územia bola kvantifikovaná podľa univerzálnej Wischmeier – Smithovej rovnice USLE (Universal soil lost equation) na základe vzťahu, kde vplyv jednotlivých erózných činiteľov vyjadrovali príslušné faktory (*in*: JAKUBIS, 1999):

$$G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (\text{t.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1})$$

kde:

G – priemerná ročná strata pôdy vodnou eróziou ($\text{t.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$),

R – faktor eróznej účinnosti dažďov ($\text{MJ.ha}^{-1}.\text{cm.h}^{-1}$),

K – faktor erodovateľnosti pôdy,

L – faktor dĺžky svahu,

S – faktor sklonu svahu,

C – faktor ochranného vplyvu vegetačného krytu,

P – faktor účinnosti opatrení proti vodnej erózii.

Potenciálna strata pôdy vodnou eróziou bola kvantifikovaná pre povodie záujmového územia a samostatne aj pre nespevnené lesné cesty so zemným povrchom.

Výsledkom meraní stavu zanášania vodnej nádrže bolo zistenie hrúbky nánosov sedimentov v rámci daných profilov. Vychádzali sme z predpokladu, že v dôsledku vodnej erózie v povodí dochádza k zanášaniu nádrže, čím sa znižuje zásobný priestor nádrže.

Meranie pomocou sonaru vykazovalo určité odchýlky od merania pomocou sondovacej tyče. Cieľom bolo zistiť, či tento rozptyl je štatisticky signifikantný. Na tento účel bola sformulovaná nulová hypotéza $H_0: \mu = 0$, ktorá predpokladá, že aritmetický priemer odchýlky merania sonarom od merania sondovacou tyčou sa rovná nule, tzn. že pri potvrdení tejto hypotézy je rozdiel medzi meraniami obidvomi metódami štatisticky nesignifikantný. Oproti nulovej hypotéze bola sformulovaná aj alternatívna hypotéza $H_A: \mu \neq 0$. Hladinu významnosti α , t.j. rizika pri overovaní hypotézy, že zamietneme H_0 , aj keď je správna, sme zvolili 0,05. Záver o výsledku teda platí s $P = 1 - \alpha$, t.j. 95 % spoľahlivosťou a 5 % neistotou. Pre testovanie hypotézy sme použili test o zhode s vopred očakávanou nulovou hodnotou – Studentov t-test, ktorý sa robí pomocou nasledujúceho testovacieho kritéria:

$$t = \frac{\bar{x} - 0}{\frac{s_e}{\sqrt{n-1}}}$$

kde:

t – testovacie kritérium Studentovho t – testu,

$\bar{x}$ – bias (priemer odchýlok hodnôt nameraných sonarom od hodnôt nameraných sondovacou tyčou),

s_e – smerodajná odchýlka,

n – počet meraní.

Porovnaním hodnoty testovacieho kritéria (t) s jeho kritickou hodnotou $t_{\alpha/2, f}$ pri počte stupňov voľnosti $f = n - 1$ sa stanovil záver testu, pričom:

– nulovú hypotézu H_0 zamietame na α % hladine významnosti v prospech alternatívnej hypotézy H_A vtedy, keď hodnota (t) padne mimo kritického oboru, čiže keď platí:

$$|t| \leq |t_{\alpha/2, f}|,$$

– nulovú hypotézu H_0 prijímame, ak platí: $|t| \leq |t_{\alpha/2, f}|$.

Ďalej bolo potrebné pre relevantné vyhodnotenie výsledkov zistiť štatistickú závislosť medzi jednotlivými profilmi, či rozdiely priemerov nánosov na jednotlivých profiloch sú štatisticky signifikantné, alebo sú náhodné. Použitá bola jednosmerná analýza rozptylu (One-Way ANOVA), ktorá je najjednoduchšou formou ANOVA (ANalysis Of VAriance). Celková variabilita, t.j. suma štvorcov odchýlok hodnôt hrúbky nánosu od ich priemeru, sa rozdelí na vnútroskupinovú (chyba náhodná) a medziskupinovú (daná rozdielom priemerov skupín). F-štatistika sa vypočíta ako pomer medziskupinovej a vnútroskupinovej variability a použije sa na testovanie nulovej štatistickej hypotézy o rovnosti priemerov $H_0: \mu = 0$. Alternatívna hypotéza bola sformulovaná v tvare $H_A: \mu \neq 0$, t.j. rozdiely priemerov hrúbky nánosov medzi profilmi sú štatisticky signifikantné. Rovnako ako pri t-teste sme zvolili hladinu významnosti $\alpha = 0,05$.

Ak je P-hodnota nižšia ako zvolená hladina významnosti α , nulová hypotéza sa zamietne. Znamená to, že rozdiel medzi aspoň jednou dvojicou priemerov je príliš veľký na to, aby mohol byť iba náhodný, je teda štatisticky významný. Ak je P-hodnota rovná alebo vyššia ako zvolená hladina významnosti, nulovú hypotézu nemožno zamietnuť. Znamená to, že rozdiel medzi každou dvojicou priemerov vypočítaných zo vzorky môže byť iba náhodný, nie je teda štatisticky významný.

V prípade zamietnutia nulovej hypotézy je potrebné vykonať Post Hoc analýzu, tzn. určiť, ktoré hodnoty vykazujú významnú odchýlku od priemeru. Pri naplnení tohto predpokladu sa použije Duncanov test.

3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

3.1 Posúdenie potenciálnej straty pôdy z povodia VN Hnusno II.

Povodie záujmovej vodnej nádrže sa vyznačuje vysokou lesnatosťou (95 %). Je možné predpokladať, že ohrozenosť tohto územia z hľadiska vodnej erózie nebude vysoká. Na základe vizuálnej rekognoskácie územia možno konštatovať, že lesné cesty a samotné koryto toku vykazujú vysoké známky erózie, čím sa pravdepodobne veľkou mierou podieľajú na zanášaní vodnej nádrže. Na lesných cestách, ktoré majú prevažne zemný, príp. štrkový povrch, sa nenachádzajú žiadne priečne odvodňovacie zariadenia, ktoré by skrátili dráhu, a tým aj rýchlosť toku povrchovej vody po ceste a následne znížili rozsah erózných procesov. Hlavne po väčších prítalových dažďoch dochádza k značnej erózii a odnosu materiálu z telesa ciest. Na veľkej časti úsekov je teleso ciest výrazne narušené, čo značne sťažuje pohyb dopravných prostriedkov po týchto lesných cestách. Korytá tokov sú taktiež na niektorých úsekoch neustálené, predovšetkým koryto potoka Hnusno, kde dochádza k značnej erózii.

Na základe charakteru vodných tokov a mapy sklonových pomerov povodia bola zostavená v programe ArcGIS 10 mapa ohrozenosti povodia vodnou eróziou (obr. 2).

Z mapy je zrejmé, že najohrozenejšie miesta sa nachádzajú v okolí koryta potoka Hnusno a Hrušného potoka. Ohrozené sú taktiež strmé svahy, najmä v hornej časti povodia, kde sa nachádzajú najväčšie sklony svahov.

Špecifikované boli základné charakteristiky povodia:

- celková plocha povodia 1 364,42 ha,
- dĺžka rozvodnice 21 086 m,
- skutočná dĺžka vodných tokov 17 112 m,
- priemerná dĺžka svahov 395 m,
- priemerný sklon svahov povodia 35,45 %,
- maximálne výškové rozpätie povodia 1 037,70 m.

Potenciálna strata pôdy z povodia

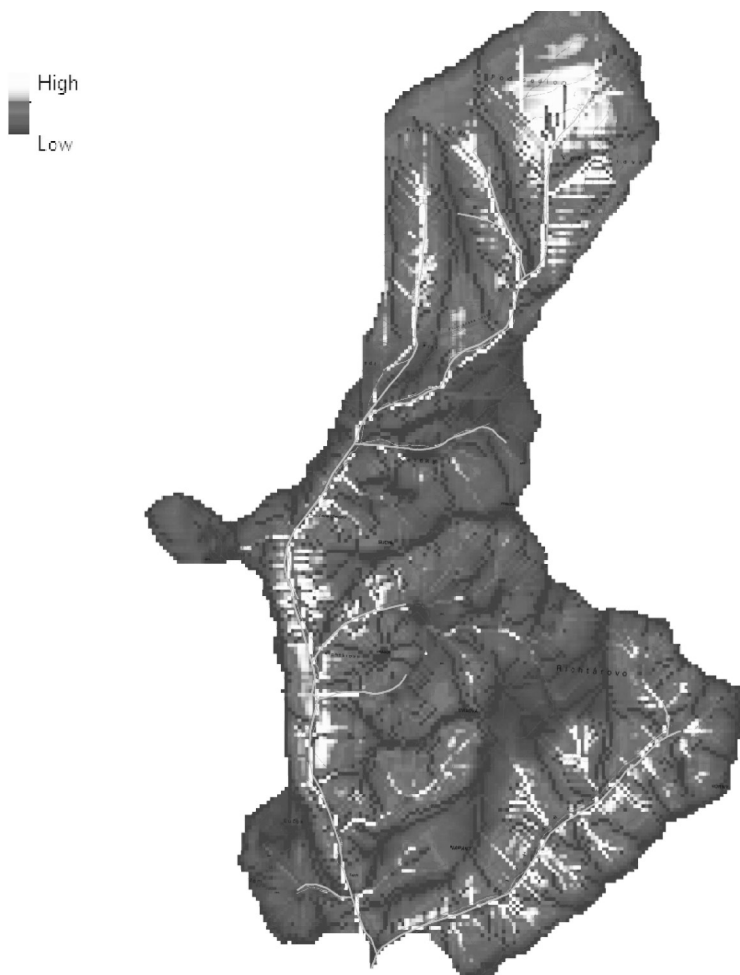
Hodnoty faktorov špecifikované pre celé povodie boli nasledovné:

- R – faktor eróznej účinnosti dažďov – hodnota faktora bola prevzatá pre najbližšiu zrážkomernú stanicu Jarabá = $24,53 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$,
- K – faktor erodovateľnosti pôdy – bol vypočítaný na základe podkladov z mapy bonitovacích pôdno-ekologických jednotiek (BPEJ) pre pôdny druh piesčitá hlina = 0,26,
- L – faktor dĺžky svahu – pre priemernú dĺžku svahu odvodenú z DMR – 395 m bola vypočítaná hodnota = 4,22,
- S – faktor sklonu svahu – pre priemerný sklon svahu odvodený z DMR – 35,45 % bola vypočítaná hodnota = 9,844,
- C – faktor ochranného vplyvu vegetačného krytu – pre územie povodia s lesnatosťou 95 % a 5 % poľnohospodárskych pozemkov pokrytých trvalým trávnyim porastom bola vypočítaná hodnota = 0,000725,
- P – faktor účinnosti opatrení proti vodnej erózii – nakoľko v záujmovom území neboli realizované žiadne protierózne opatrenia technického charakteru, bola hodnota = 1.

Použitím Wischmeier-Smithovej rovnice USLE bola vyčíslená potenciálna strata pôdy z povodia:

- pre hmotnostné vyjadrenie – $G = 0,192 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$,
- pre objemové vyjadrenie – $G_o = 0,092 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$.

Pre celé záujmové povodie potoka Hnusno potencionálny priemerný ročný objem straty pôdy predstavoval $124,80 \text{ m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$. Keď vezmeme do úvahy čas od posledného čistenia vodnej nádrže, ktoré prebehlo v roku 1989 (24 rokov), tak celkový objem straty pôdy za toto obdobie činí $2\,995 \text{ m}^3$. Táto hodnota nám udáva koľko sedimentov sa mohlo dostať za dané obdobie z povodia do nádrže.



Obr. 2 Mapa ohrozenosti povodia vodnou eróziou
Fig. 2 Map of the catchment threat by water erosion

Potenciálna strata pôdy z lesných ciest v povodí

Špecifikované boli základné charakteristiky lesných ciest v povodí:

- dĺžka lesných ciest 34 483 m,
- priemerná šírka lesných ciest 4,0 m,
- priemerná dĺžka lesných ciest po úsekoch 274 m,
- priemerný pozdĺžny sklon lesných ciest 9,6 %,
- celková plocha lesných ciest 13,79 ha.

Hodnoty faktorov pre plochu lesných ciest špecifikované totožným spôsobom ako pre celé povodie boli nasledovné:

R – faktor eróznej účinnosti dažďov = $24,53 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$,

K – faktor erodovateľnosti pôdy = 0,26,

L – faktor dĺžky svahu – pre priemernú dĺžku svahu odvodenú z DMR 274 m = 3,52,

S – faktor sklonu svahu – pre priemerný sklon svahu odvodený z DMR 9,6 % = 1,10,

C – faktor ochranného vplyvu vegetačného krytu – pre povrch ciest bez vegetačného krytu bola zvolená hodnota = 1,0,

P – faktor účinnosti opatrení proti vodnej erózii – 1,0.

Potenciálna strata pôdy z plochy lesných ciest bola vypočítaná:

– pre hmotnostné vyjadrenie – $G = 24,69 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$,

– pre objemové vyjadrenie – $G_o = 11,76 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$,

Po prepočítaní objemu straty pôdy na celú plochu lesných ciest v povodí hodnota bola $162,17 \text{ m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$ a pre celé obdobie od posledného čistenia nádrže $3\,892 \text{ m}^3$.

3.2 Posúdenie zanášania VN Hnusno II.

V tab. 1 je uvedený vypočítaný objem usadených sedimentov na dne nádrže. V tab. 2 je znázornený objem usadených sedimentov v priestore vyústenia prítoku do nádrže. Tieto sedimenty boli naakumulované od posledného čistenia nádrže v roku 1989.

Tab. 1 Objem usadených sedimentov na dne nádrže

Tab. 1 Volume of bed-load sediments on reservoir

profil	stredná vzdialenosť	plocha sedimentov		objem sedimentov	
	(m)	S (m^2)	Ss (m^2)	V (m^3)	$\sum V$ (m^3)
koniec telesa hrádze	15,00	31,30	31,30	470	0
profil č. 1		31,30			470
profil č. 2	50,00	33,40	32,35	1 618	2 088
profil č. 3	31,75	31,80	32,60	1 035	3 123
profil č. 4	24,00	30,08	30,94	743	3 866
profil č. 5	24,00	25,90	27,99	672	4 538
profil č. 6	24,50	24,96	25,43	623	5 161
koniec vzdutia	13,00	160,82	92,89	1 208	6 369

Tab. 2 Objem usadených sedimentov pri ústí prítoku
Tab. 2 Volume of sediments on mouth of tributary river

kóta vrstvy (m n. m.)	rozdiel vrstevníc	plocha sedimentov		objem sedimentov	
	(m)	S (m ²)	Ss (m ²)	V (m ³)	Σ V (m ³)
536,65	0,35	0	87	30	0
537,00		173			30
538,00	1,00	2 020	1 097	1 097	1 127
539,00	1,00	4 853	3 437	3 437	4 567
539,30	0,30	5 480	5 167	1 550	6 114

Z uvedených tabuliek vyplýva, že objem usadených sedimentov na dne nádrže predstavuje 6 369 m³ a objem usadených sedimentov v oblasti prítoku do nádrže predstavuje 6 114 m³. Celkový objem sedimentov v nádrži je 12 483 m³, čo znamená zníženie z pôvodného zásobného objemu nádrže 55 000 m³ na súčasných 42 517 m³, t. j. zníženie o 23 %.

Z výpočtu potenciálnej straty pôdy vodnou eróziou v povodí vyplýva, že zo samotného povodia pochádza 2 995 m³ usadených sedimentov, t.j. 24 % z celkového množstva usadených sedimentov v nádrži. Z povrchu lesných ciest v povodí pochádza 3 892 m³, čo predstavuje 31 %. Zo zvyšných 5 596 m³, teda 45 % usadených sedimentov v nádrži predpokladáme aj na základe charakteru povodia a stavu využívania daného územia, že má pôvod predovšetkým z priestoru korýt vodných tokov.

Na základe zistených výsledkov vychádza priemerná ročná rýchlosť zanášania nádrže od posledného čistenia nádrže 520 m³.rok⁻¹, čo predstavuje ročnú stratu 0,95 % zo zásobného objemu.

Podľa dostupných informácií predpokladané množstvo odstránených nánosov pri čistení v predchádzajúcom období bolo 10 000 m³, čo by predstavovalo pre dané obdobie (19 rokov) priemerne 526 m³.rok⁻¹. Na základe týchto výsledkov možno konštatovať fakticky identickú intenzitu zanášania nádrže počas oboch sledovaných období.

NÁTHER, BRACHTL (1987) uvádzajú intenzitu zanášania pre vybrané nádrže na Slovensku, napr. pre VN Liptovská Mara priemernú ročnú stratu zásobného objemu 0,03 % a VN Drahovce 0,76 %. Taktiež KUBINSKÝ *et al.* (2013) z výskumu vodných nádrží Malá Richňavská a Veľká Richňavská, uvádza že priemerná ročná strata objemu týchto nádrží je pre Veľkú Richňavskú 0,45 % a Malú Richňavskú 0,11 %. Pri porovnaní týchto hodnôt s našimi výsledkami možno konštatovať o niečo vyššiu intenzitu zanášania VN Hnusno II.

3.4 Analýza výsledkov

Studentov t-test

V tab. 3 sú uvedené priemerné hodnoty hĺbky vody namerané sonarom a sondovacou tyčou a ich smerodajné odchýlky. Z uvedeného je zrejmé, že tieto priemerné hodnoty sa od seba odlišujú len minimálne. Taktiež je tu špecifikovaná priemerná hrúbka nánosov v nádrži meraná sonarom.

Tab. 3 Priemerné hodnoty hĺbky vody a hrúbky nánosov

Tab. 3 Average values of water depth and silt thickness

	hĺbka vody – sondovacia tyč (m)	hĺbka vody – sonar (m)	hrúbka nánosov (m)
$\bar{x}$	3,09	3,13	0,42
s_e	1,19	1,26	0,04
$s_{e\%}$	38,48	40,30	9,18

$\bar{x}$ – aritmetický priemer; s_e – smerodajná odchýlka; $s_{e\%}$ – relatívna smerodajná odchýlka.

Ako bolo spomínané, meranie sonarom vykazovalo odchýlky od merania sondovacou tyčou. V tab. 4 sú uvedené vypočítané charakteristiky tohto rozdielu potrebné pre Studentov t-test.

Tab. 4 Overenie štatistickej hypotézy Studentovým t-testom

Tab. 4 Testing of statistic hypothesis by Student t-test

n	$\bar{x}$	s_e	$ t $	$ t_{\alpha/2,f} (p0,95)$	podmienka	platnosť hypotézy
83	0,04	0,20	1,90	1,99	$t < t_{\alpha/2,f}$	platí $H_0 : \mu = 0$

t – testovacie kritérium Studentovho t-testu; $\bar{x}$ – bias (priemer odchýlok hodnôt nameraných sonarom od hodnôt nameraných sondovacou tyčou); s_e – smerodajná odchýlka; n – počet meraní; $t < t_{\alpha/2,f}$ – kritická hodnota.

Porovnaním hodnoty testovacieho kritéria t s jeho kritickou hodnotou $t < t_{\alpha/2,f}$ bol stanovený záver testu. Hodnota testovacieho kritéria t je menšia ako kritická hodnota $t < t_{\alpha/2,f}$, to znamená, že prijímame nulovú hypotézu H_0 a aritmetický priemer odchýlky merania sonarom od merania sondovacou tyčou je štatisticky nesignifikančný. Tento záver môžeme vysloviť s 95 % spoľahlivosťou na 5 % hladine významnosti. Odchýlky merania sonarom zdôvodňujeme predovšetkým presnosťou merania, nakoľko meranie sonarom bolo vykonávané s presnosťou na 5 cm a meranie sondovacou tyčou s presnosťou na 1 cm. Naše výsledky teda potvrdili správnosť merania hĺbky sonarom, preto pri

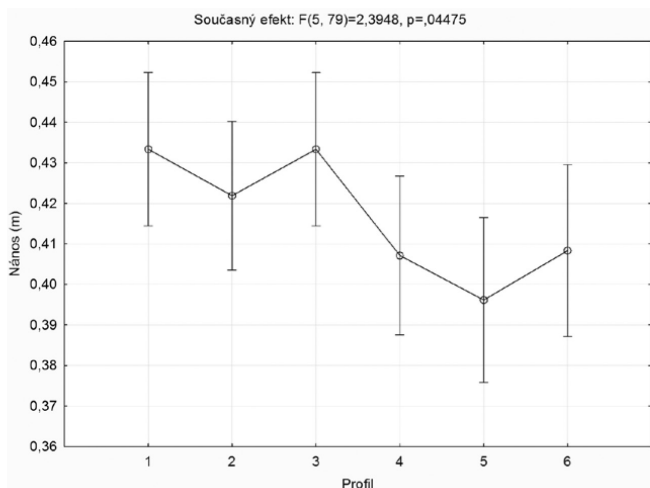
d'alších meraniach je postačujúce použiť iba sonarovú metódu bez kontrolnej sondovacej tyče. Získavanie výsledkov sa tým výrazne zjednoduší úsporou času a znížením prácností.

Keďže sme potvrdili správnosť merania hĺbky nádrže sonarom, toto tvrdenie môžeme zovšeobecniť aj na meranie hrúbky nánosov sedimentov pomocou sonaru. Sonarová metóda teda poskytuje relevantné informácie nielen o hĺbke nádrže, ale aj o hrúbke nánosov na dne nádrže.

F-test (ANOVA)

Z uvedených výsledkov vyplýva, že hodnota (p) je nižšia ako zvolená hladina významnosti $\alpha = 0,05$ a nulová hypotéza o rovnosti priemerov H_0 sa zamietá. Znamená to, že rozdiel medzi aspoň jednou dvojicou priemerov je príliš veľký na to, aby mohol byť iba náhodný, je teda štatisticky významný.

Na obr. 3 je potvrdený klesajúci trend ukladania nánosov sedimentov smere od hrádze k ústiu, pričom pri hrádzi je tento proces najintenzívnejší. Malá odchýlka daného trendu je na priečnom profile č. 3. Na priečnom profile č. 6 nastáva stúpajúci trend, to znamená, že množstvo sedimentov narastá. Zdôvodňujeme to predovšetkým tým, že daný profil sa nachádza v bezprostrednej blízkosti oblasti ukladania sedimentov v priestore prítoku, kde sedimenty dosahujú až úroveň hladiny. V priestore prítoku sa usadzujú sedimenty s najväčším priemerom. Sú to hlavne splaveniny, ktoré sú transportované po dne toku a pri vtoku do nádrže v dôsledku poklesu unášacej schopnosti prúdu sa ukladajú. Ďalej v priestore nádrže sa ukladajú unášané plaveniny podľa ich priemeru, od najväčších na začiatku vzdutia, po najjemnejšie v priestore pri hrádzi. Daný profil sa vlastne nachádza v časti prechodu týchto dvoch zón.



Obr. 3 Rozptyl hrúbky nánosov na jednotlivých profiloch

Fig. 3 Variance of silt thickness on individual profiles

Tab. 5 F-test

Tab. 5 F-test

	súčet štvorcov	stupne voľnosti	podiel	F	p
absolútny člen	14,62126	1	14,62126	10767,92	0,000000
profil	0,01626	5	0,00325	2,39	0,044751
chyba	0,10727	79	0,00136		

Tab. 6 Duncanov test

Tab. 6 Duncan test

	{1}-0,043333	{2}-0,42188	{3}-0,43333	{4}-0,40714	{5}-0,39615	{6}-0,40833
1		0,442845	1,000000	0,097014	0,019217*	0,104734
2	0,442845		0,412726	0,323440	0,094927	0,333417
3	1,000000	0,412726		0,088946	0,017277*	0,092928
4	0,097014	0,323440	0,088946		0,432045	0,932105
5	0,019217*	0,094927	0,017277*	0,432045		0,414590
6	0,104734	0,333417	0,092928	0,932105	0,414590	

Keďže bola zamietnutá nulová hypotéza, prijíma sa alternatívna hypotéza H_A , t.j. rozdiely priemerov hrúbky nánosov medzi profilmi sú štatisticky signifikantné. Na základe Duncanovho testu (tab. 6) prijatie alternatívnej hypotézy je podporené potvrdením závislosti medzi profilmi 1 a 5 a medzi profilmi 3 a 5. Táto závislosť potvrdzuje predpoklad, že najviac sedimentov v priestore nádrže sa usadzuje pri hrádzi.

4 ZÁVER

Vybudovaním systému vodných nádrží na potoku Hnusno sa malo dosiahnuť čiastočné vyrovnávanie prietokov na tomto vodnom toku, hlavne zachytenie väčších prietokov v období krátkodobých dažďov. Ďalším účelom nádrží malo byť vytvorenie akumuláčného objemu na chladiace účely pri procese tavenia železa a výroby ocele v Železiarňach Podbrezová, pričom záujmová vodná nádrž Hnusno II. mala slúžiť na zachytávanie splavenín a plavenín z prítokov. Vedľajším účelom týchto nádrží bol tiež chov rýb, či zvýšenie turisticko-estetickej hodnoty priľahlého okolia.

Z výsledkov výpočtu potenciálnej straty pôdy vodnou eróziou v povodí vyplýva, že zo samotného povodia pochádza 24 % z celkového množstva. Z povrchu lesných ciest v povodí pochádza 31 %. Zvyšných 45 % usadených sedimentov v nádrži má pôvod pravdepodobne z erózie v priestore korýt vodných tokov. Z toho vyplýva, že pri znižovaní erózných procesov je potreba zamerať sa práve na oblasť korýt vodných tokov. Netreba však zabúdať na lesné cesty v povodí, ktoré sa taktiež výraznou mierou podieľajú na zanášaní skúmanej nádrže, a to predovšetkým vybudovaním a udržiavaním funkčnosti

odvodňovacích zariadení. Ďalším spôsobom na zníženie rýchlosti zanášania by mohlo byť vybudovanie usadzovacej prehrádzky na potoku Hnusno pred vtokom do nádrže, ktorá by bola pravidelne každoročne čistená. Keď vezmeme do úvahy rýchlosť zanášania nádrže približne 520 m³ za rok, zásobný objem prehrádzky by postačovalo približiť tejto hodnote.

Z výsledkov stavu zanesenia vodnej nádrže Hnusno II. vyplýva, že v súčasnosti je zásobný priestor tejto nádrže znížený o 23 % oproti projektovanému stavu. Tento objem bol naakumulovaný za 24 rokov od posledného čistenia. Pomer medzi objemom usadených sedimentov pri ústí prítoku do nádrže a v priestore nádrže je približne rovnaký. V súčasnosti sa potreba odstránenia týchto nánosov nejaví ako akútna, čo sa však môže v priebehu niekoľkých rokov zmeniť. Ak by proces sedimentácie v nádrži postupoval aj naďalej súčasným tempom, celý akumulačný priestor by bol zanesený v priebehu najbližších 80 rokov. Možno ale predpokladať, že tento proces sa bude zrýchľovať v dôsledku stupňujúceho zarastania nádrže vodnou vegetáciou. Čas do celkového zanesenia sa tak môže výrazne znížiť.

Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci projektu VEGA č. 1/0918/12: Kvantifikácia a predikcia erózie na brehoch malých vodných rokov.

5 Literatúra

- ČISTÝ, M. 2005. Rybníky a malé vodné nádrže II. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2005. 94 s. ISBN 80-227-2294-4.
- Dostupné na internete: <http://147.213.145.2/ah_articles/2013_14_2_Kubinsky_402.pdf>.
- Dostupné na internete: <<http://www.podnemapy.sk/bpej/viewer.htm?activelayer=2&layers=001>>.
- FUSKA, J. 2009. Tvorba DMR dna vodnej nádrže v súčasnom stave [online]. SPU Nitra. Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva. Katedra krajinného inžinierstva. 2009. 8 s. [cit. 2014-04-22]. Dostupné na internete: <<http://www.slpk.sk/eldo/2012/zborniky/014-12/fuska.pdf>>.
- JAKUBIS, M. 1999. Lesnícke meliorácie a zahrádzanie bystrín. Návod a príklady na cvičenia. Zvolen: TUZVO, 166 s. ISBN 80-228-0874-1.
- KUBINSKÝ, D. *et al.* 2013. Zmeny akumulačného objemu vodných nádrží Veľká Richňavská a Malá Richňavská [online]. Acta Hydrologica Slovaca, ročník 14, č. 2, 2013, s. 402 – 413. [cit. 2014-04-22].
- NÁTHER, B., BRACHTL, I. 1987. Niektoré poznatky z výskumu zanášania vodných nádrží. Bratislava: Výskumný ústav vodného hospodárstva, 1987. 43 s.
- Projektová úloha na stavbu VN Hnusno. Hydroprojekt Bratislava. 1968.
- VRÁNA, K., BERAN, J. 1998. Rybníky a účelové nádrže. Praha: ČVUT, 1998. 150 s.
-

Adresy autorov:

Ing. Michal Danko

Ing. Vladimír Juško, PhD.

Katedra lesnej ťažby, logistiky a meliorácii

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

Masarykova 24

960 53 Zvolen

Slovenská republika

e-mail: danko28@post.sk

jusko@tuzvo.sk

Zanášanie vodnej nádrže Hnusno II. a erózný potenciál povodia

Abstrakt

Hlavným cieľom práce bolo riešenie problematiky zanášania malých vodných nádrží na konkrétnom príklade vodnej nádrže Hnusno II. Sledovaná nádrž sa nachádza v katastri obce Horná Lehota, okres Brezno, na južnej strane Nízkych Tatier. V rámci terénnych meraní prebiehalo zisťovanie stavu zanesenia predmetnej nádrže. Zanesenie sa zisťovalo sonarovou metódou z plavidla za plnej prevádzkovej hladiny. Meranie bolo vykonávané na priečných profiloch, ktoré boli prevzaté z pôvodnej projektovej dokumentácie vodnej nádrže. Ako druhá porovnávacia metóda bolo použité priame meranie sondovacou tyčou, ktoré malo potvrdiť správnosť a presnosť merania sonaru. Ďalším cieľom bolo zhodnotenie povodia vodnej nádrže Hnusno II. z hľadiska potenciálnej eróznej ohrozenosti pôdy vodnou eróziou. Na výpočet priemernej potenciálnej dlhodobej straty pôdy z povodia bola použitá Wischmeier – Smithová rovnica USLE.

Na základe zistených výsledkov bola vyčíslená priemerná ročná rýchlosť zanášania nádrže $520 \text{ m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$, čo predstavuje ročnú stratu 0,95 % zo zásobného objemu. Za obdobie od posledného čistenia nádrže (24 rokov) je znížený zásobný objem nádrže o 23 %. Odchýlky merania zanášania nádrže metódou sonaru a metódou sondovacej tyče sú štatisticky nesignifikantné, čo umožňuje zjednodušenie merania s úsporou času a zníženia prácností.

Na základe špecifikovania potenciálnej straty pôdy vodnou eróziou v záujmovom území a množstva sedimentov v nádrži vyplýva, že zo samotného povodia pochádza 24 %, z povrchu lesných ciest 31 % a z korýt vodných tokov pravdepodobne 45 % celkového množstva usadených sedimentov v nádrži.

Kľúčové slová: malá vodná nádrž, zanášanie, erózia, povodie

OPTIMALIZÁCIA SPRÍSTUPNENIA LESNÝCH CESTNÝCH SIEŤÍ V LHC ČIERNY VÁH

Martina LEVICKÁ – Vladimír JUŠKO

Levická, M. – Juško, V.: Optimization of forest access by forest road network in forest management unit Čierny Váh. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 56, Suppl. 1, 2014, 143–157.

The paper solves evaluation of current state of accessing the forest with forest road network in the forest management unit Čierny Váh, evaluation the state of forest roads, point out shortcomings in accessing the forest and eventually propose optimal solutions to improve the situation in the area of interest. Thesis describes natural conditions of the area of interest. By field works was practiced the stocktaking of forest roads, was surveyed basic forest road parameters as type of roadway cover, longitudinal gradient, drainage, range of damage, road erosion, evaluation of cut and fill slopes, aesthetic viewpoint and utility of roads. Basic quantitative indicator of forest road network was calculated. Based on the results of this work it is possible to evaluate quantity but also quality of roads in FMU Čierny Váh, suggest forest road network optimization if necessary and also to deduce general conclusions about forest road state in Slovakia. Total length of 34 forest roads is 109 km and forest road network density is 18.25 m.ha⁻¹. Representation of main forest roads 1L is 37.62%, main forest roads 2L 54.77% and skidding roads 7.63%. After realization of plan the forest road network density will be 18.58 m.ha⁻¹. Technical state of main forest roads (1L, 2L) is evaluated as good with proper facilities of individual roads. The opposite situation is for skidding roads, where is mostly observed the catastrophic state.

Key words: forest road, evaluation of roads condition, accessing the forest, forest road network

1 ÚVOD A CIEĽ

Dopravný systém v lesnom hospodárstve tvorí lesná dopravná sieť, ktorá prostredníctvom lesných ciest a lanových dráh lesníckych lanoviek profiluje koncepciu sprístupnenia lesných porastov. Úroveň sprístupnenia podstatne determinuje lesnícku dopravnú logistiku, teda systém toku surovín, materiálu, výrobkov a služieb v lesníctve. Zároveň významne vplýva na koncepciu protipožiarnej a protipovodňovej ochrany, ako aj na verejnoprospešné využitie krajiny, ktorú sprístupňuje. Nevhodná štruktúra sprístupnenia môže na krajinu pôsobiť devastujúco, pričom v takom prípade výstavba, existencia a využívanie lesných ciest môže prinášať viac negatívnych ako pozitívnych efektov (SAUNDERS et al. 2002).

Systém dopravného sprístupnenia lesov je v zmysle platnej normy STN 736108 Lesná dopravná sieť riešený trvalou primárnou a sekundárnou sieťou, ktoré tvoria lesnú cestnú sieť, a dočasnou terciálnou sieťou. Primárnu sieť tvoria lesné cesty I. triedy (1L), ktoré

svojím technickým vybavením umožňujú celoročnú prevádzku odvozu dreva, sú vybavené celoplošnou vozovkou, odvodnením a obmedzené pozdĺžnou sklonitosťou do 10 %. Sekundárnu sieť tvoria cesty II. a III. triedy. Lesné cesty II. triedy (2L) svojím technickým vybavením umožňujú sezónnu prevádzku odvozu dreva, majú jednoduchú vozovku alebo len prevádzkové spevnenie, odvodnenie a pozdĺžna sklonitosť nesmie prekročiť 12 %. Lesné cesty III. triedy sú určené na približovanie dreva s prípadnou možnosťou aj odvozu dreva za priaznivých podmienok. Technická vybavenosť je obmedzená len na prípadné spevnenie povrchu, zlepšenie podložia a nevyhnutné odvodnenie, pričom obmedzujúcim faktorom je pozdĺžny sklon, únosnosť podložných zemín a ich náchylnosť na eróziu. Patria sem približovacie cesty 3L, zväžnice a trvalé približovacie cesty. Terciálnu sieť tvoria v rámci technologickej prípravy pracovísk rôzne dočasné technologické komunikácie a zariadenia slúžiace na vyťahovanie a približovanie vyťaženého dreva z porastu. Dôležitú úlohu v sprístupnení lesov majú aj verejné komunikácie, resp. cudzie cesty, na ktoré sa napájajú lesné cesty primárnej a sekundárnej lesnej dopravnej siete.

V rámci sprístupnenia lesov Slovenska bola prevažná väčšina lesných ciest (98 %) vybudovaná pred rokom 1990 v rámci systému plánovania formou generálnych plánov lesnej dopravnej siete, ktoré boli súčasťou lesných hospodárskych plánov. Po tomto období nastala stagnácia v budovaní lesných ciest v dôsledku nedostatku financií a ekonomickej náročnosti výstavby ciest. Pred týmto obdobím bola výstavba lesných ciest financovaná štátom. Po roku 1990, keď v rámci reprivatizácie sa lesné pozemky vrátili ich majiteľom, ale cesty ostali vo vlastníctve štátu, sa do výstavby ciest takmer neinvestovalo. Táto situácia sa veľmi nezmenila ani po roku 2005, kedy cesty prešli do vlastníctva majiteľov lesov, nakoľko ekonomická sila väčšiny súkromných lesníckych subjektov neumožňuje investovať do rozvoja lesnej cestnej siete. V súčasnosti podľa ZELENEJ SPRÁVY (2012) využívame 40 740 km lesnej cestnej siete, čo predstavuje hustotu ciest 20,3 m.ha⁻¹. Za dané obdobie to predstavuje nárast hustoty ciest len o cca 0,2 m.ha⁻¹.

Z týchto dôvodov je veľmi dobré poznať hustotu ciest, priemerné približovacie vzdialenosti a aj kvalitu ciest. Všetky tieto ukazovatele vedú k racionalizácii vo výstavbe ciest, kedy sa buduje optimálne sprístupnenie lesa a zbytočne sa neplytvá prostriedkami na budovanie ciest, ktoré sa nebudú dať efektívne využívať.

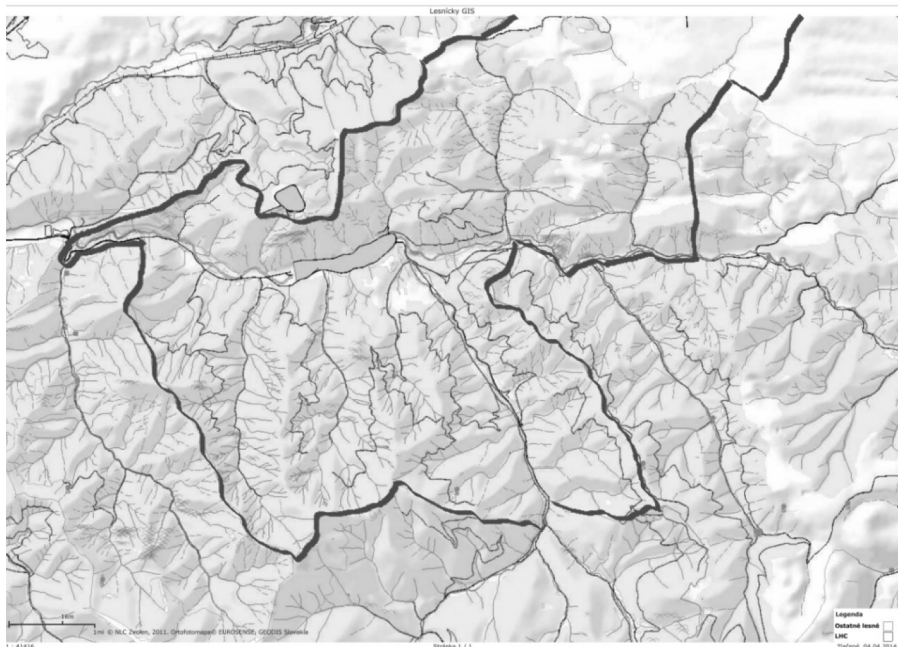
Cieľom práce bola optimalizácia sprístupnenia lesa v LHC Čierny Váh. Tento cieľ spočíval v zhodnotení súčasného stavu sprístupnenia lesa, zhodnotení stavu lesných ciest na základe jednotlivých kritérií a ukazovateľov a návrhu jednotlivých opatrení pre optimalizáciu sprístupnenia lesa lesnou cestnou sieťou v záujmovom území.

2 MATERIÁL A METÓDY

Riešená problematika je lokalizovaná v LHC Čierny Váh, ktorý je v správe Lesov SR, š.p., organizačne spadá pod OZ Liptovský Hrádok (obr. 1). Záujmové územie leží v severnej časti stredného Slovenska, v okrese Liptovský Mikuláš. Geomorfologicky sa územie rozkladá na severných svahoch východnej časti Nízkyh Tatier, ktoré sa vyznačuje veľkou morfológickou členitosťou, s dlhými tiahlymi svahmi strmo zbiehajúcimi do

dolín, z ktorých sú mnohé vybudované glaciálnymi ľadovcami. Sú tu značné výškové rozdiely medzi najnižšími a najvyššími bodmi, kde najvyšším bodom územia je vrch Holica v nadmorskej výške 1 571 m n. m. a najnižším bodom je ústie toku Čierneho Váhu v mieste, kde opúšťa územie LHC, v nadmorskej výške 692 m n. m. Územie LHC Čierny Váh rozdeľuje tok rieky Čierny Váh na dve časti, na severnú a južnú. Severná časť je typickou vápencovou oblasťou so strmými, bralnatými, terasovite zvlnenými svahmi. Južná časť je tvorená súvislým pásmom krátkych, ale za to ostrejších, rôzne zvlnených hrebeňov, popretkávaných úzkymi dolinami. Priemerné sklony sa pohybujú v rozmedzí 25 % až 110 %, miernejšie sú iba v severnej časti oblasti, kde sa nachádzajú mierne pahorkatiny. Geologicky územie spadá do stredných (centrálnych) Karpát, ktoré sú prevažne súčasťou druhohôr. Vystupujú tu staršie masívy hlbinných vyvrelín a kryštalických bridlíc, obklopených na okraji mladšími horninami, hlavne druhohornými sedimentmi. Nachádzajú sa tu ruly, svory, vápence, dolomity, vápenité bridlice a sliene. Hydrologicky sa územie rozprestiera v západnej polovici povodia rieky Čierny Váh s početnými prítokmi, vyznačujúcimi sa veľmi priaznivými odtokovými pomermi s pomerne vyrovnaným prietokom počas roka. Z klimatického hľadiska územie spadá do chladnej oblasti s mierne chladnými až chladnými horskými okrskami, kde podnebie je veľmi členité zodpovedajúce horskému razu. LHC Čierny Váh sa rozkladá na ploche 5 973,31 ha, pričom územie spadá predovšetkým do katastrálneho územia obce Východná (99 %) a okrajovo do katastrálnych území Vážec a Liptovská Teplička. Územie sa vyznačuje komplexnou lesnatosťou (83 %), oblasť nie je zaľudnená. Z pohľadu drevinového zloženia sa na území LHC nachádzajú predovšetkým ihličnaté dreviny (92 %), zastúpené najmä smrekom a tiež borovicou, smrekovcom a jedľou a okrajovo listnaté dreviny (8 %), zastúpené predovšetkým bukom a javorom o celkovej zásobe 1,99 mil. m³ drevnej hmoty.

Dopravné pomery na LHC sú pomerne zložité, či už z dôvodu veľkého výškového rozpätia územia alebo z dôvodu stretu záujmov medzi hospodárením na lesnom a poľnohospodárskom pôdnom fonde a požiadavkami NP Nízke Tatry, či ochrany prírody. Na LHC sa nachádza niekoľko dlhých dolín, ktoré sú už prakticky cestnou sieťou všetky prístupné, aj keď niekedy len cestami triedy 2L a v závere mnohokrát trvalými približovacími cestami. Bočné doliny, nachádzajúce sa na LHC, sú často pomerne krátke a strmé, takže z týchto bočných dolín nie je možné rozvinúť dopravnú sieť. Z hľadiska manipulácie s drevnou hmotou sa nachádza pri nádrži PVE Čierny Váh manipulačno-expedičný sklad. V dôsledku jeho nedostatočnej kapacity bol v nedávnej minulosti vybudovaný ďalší na začiatku lesnej cesty (I. c.) Nižný Chmelieneec. Na tieto dva sklady sa odváža drevná hmota v celých dĺžkach, pričom na území LHC sa nenachádzajú žiadne horné sklady, len pri lesných cestách sú zriadené odvozné miesta so zemným povrchom.



Obr. 1 LHC Čierny Váh

Fig. 1 Forest Management Unit (FMU) Čierny Váh

V práci bolo hodnotené prístupnenie záujmového územia lesnou cestnou sieťou. Vykonaním terénneho prieskumu a inventarizáciou lesných ciest boli zmapované všetky lesné cesty v záujmovom území a špecifikované základné ukazovatele a charakteristiky lesnej cestnej siete.

Tab. 1 Súčasný stav lesnej cestnej siete v LHC Nižná Slaná

Tab. 1 State of forest road network in LHC Nižná Slaná

Inv. č.	Názov LC	Kategória cesty		
		1L (km)	2L (km)	3L (km)
3	Suchý Benkov	8,1		
5	Zápolná			1,1
7	Úžavy		6,5	
9	Nad Úžavy			2,6
10/1	Nižný Chmelieneec I.	2,9		
10/2	Nižný Chmelieneec II.		1,3	
11	Sánkuľa			2,4
13	Závratná I.		3,7	
14	Závratná II.		2,0	
15	Holica		4,0	
16	Vyšný Chmelieneec	3,6		
16/1	Pekelná			0,7
17	Muránska		0,8	
18	Hrádza Čierny Váh	2,1		
19	Krahulcová		3,0	
20	Plevovo	2,3		
21	Čertova Pec		4,3	
22	Červenica			0,5
23	Končistá		4,1	
24	Čierny Váh – Pred Dikula	6,7		
25	Krutolová	4,6		
26	Nad Váhom		2,7	
29	Široká		1,2	
30	Ništoková	3,1		
33	Brezová		4,5	
34	Farská		3,3	
35	Hlboká	4,4		
37	Mokrá		3,9	
38	Nad Jaroškou		2,1	
40	Házička	0,2		
41	Muránik-Házička		6,5	
42	Pred Grúň		1,0	
43	Piesková I.			1,0
45	Piesková II.		4,8	
Spolu:		41,0	59,7	8,3
Spolu celkom:		109,0		

Ako základné kvantitatívne ukazovatele lesnej cestnej siete podľa JURÍKA *et. al.* (1984) boli výpočtovou metódou na základe dĺžkových charakteristík jednotlivých ciest špecifikované:

- hustota lesných ciest – H_c ($m \cdot ha^{-1}$) vyjadrujúca dĺžku lesných ciest na jednotku lesnej plochy ako dôležitý technicko-ekonomický ukazovateľ kvantitatívnej úrovne dopravného sprístupnenia,
- rozostup ciest – R (m) vyjadrujúci teoreticky vzájomnú polohu lesných ciest potrebnú na projektovanie dopravy dreva, vypočítaný ako podiel hodnoty 10 000 (plocha 1 ha) hustotou lesnej cestnej siete,
- približovacia vzdialenosť teoretická – d (m) vyjadrujúca kolmú vzdialenosť z ťažiska porastu na cestu v smere približovania, a to buď pre jednosmerné ($1/2$ z rozostupu ciest) alebo obojsmerné približovanie ($1/4$ z rozostupu ciest), vypočítaná ako podiel hodnoty 10 000 dvojnásobkom (resp. štvornásobkom) hustoty lesnej cestnej siete.

Ako základné charakteristiky zisťovania parametrov a technického stavu lesnej cestnej siete boli špecifikované:

- kategorizácia ciest v zmysle STN 736108 Lesná dopravná sieť,
- kryt vozovky lesnej cesty,
- pozdĺžna sklonitosť,
- odvodnenie,
- stabilita výkopových a násypových svahov zohľadňujúca technické hľadisko, pri ktorom sa zisťuje poškodenie svahov s dosahom na porušenie lesnej cesty, a estetické hľadisko, pri ktorom sa posudzujú lesné cesty ako krajinotvorný prvok ovplyvňujúci vzhľad krajiny,
- stav ciest z hľadiska poškodenia a funkčnosti použitím metodiky kategorizácie stupňa poškodenia podľa KLČA, KRÁLIKA (1991) – hodnotil sa stav ciest na základe poškodení podľa 5 stupňovej stupnice, kde v závislosti od typu vozovky pre každý stupeň bol definovaný rozsah poškodení z hľadiska množstva a percentuálneho vyjadrenia:
 - 1 – výborný stav,
 - 2 – dobrý stav,
 - 3 – stredne porušený stav,
 - 4 – zlý stav,
 - 5 – katastrofálny stav.
- funkčnosť lesnej cesty posudzovaním zjazdnosti ciest a tým ich prevádzky schopnosti,
- využitie lesných ciest špecifikujúce ich zaťaženie intenzitou dopravy,
- údržba lesných ciest špecifikujúca pravidelnosť (periodicitu) starostlivosti o cesty.

Na základe výsledkov terénneho prieskumu a následného zhodnotenia stavu sprístupnenia boli navrhnuté opatrenia. V prípade existujúcich ciest bol navrhnutý systém starostlivosti o ne v závislosti od rozsahu poškodenia, keď pre jednotlivé cesty boli navrhnuté opatrenia podľa metodiky KLČ, KRÁLIK (1991): údržba, oprava, rekonštrukcia alebo asanácia. V lokalitách s nedostatočným sprístupnením boli navrhnuté trasy nových lesných ciest, príp. v lokalitách, kde sú cesty so značným poškodením, boli navrhnuté na asanáciu. Návrhy umiestnenia nových lesných ciest boli vykonané podľa STN 73 6108 „Lesná dopravná sieť“, predovšetkým s ohľadom na pozdĺžnu sklonitosť.

Empirický materiál záujmového územia tvorilo celkovo 34 lesných ciest o celkovej dĺžke 109,0 km (tab. 1).

3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

3.1 Zhodnotenie stavu sprístupnenia záujmového územia

Na základe inventarizácie vychádzajúcej z prieskumu lesnej cestnej siete a terénneho prieskumu možno konštatovať primerané dopravné sprístupnenie záujmového územia LHC Čierny Váh, nachádza sa tu 34 lesných ciest o celkovej dĺžke 109,0 km. Z celkového počtu tvoria najkvalitnejšie lesné odvozné cesty 1L 37,62 % s počtom 10 ciest o dĺžke 41,0 km, najzastúpenejšie sú lesné odvozné cesty 2L so sezónnou zjazdnosťou, ktoré tvoria 54,77 % s počtom 18 ciest o dĺžke 59,7 km a trieda lesných približovacích ciest 3L + trvalé približovacie cesty (TPC) je zastúpená 7,63 % s počtom 6 ciest o dĺžke 8,3 km.

Pri pohľade na hodnotenie sprístupnenia z hľadiska krytu vozoviek možno konštatovať využívanie netuhých vozoviek so zastúpením všetkých hlavných typov konštrukcie, či už bitúmenových, štrkových alebo zemných krytov. Zastúpené sú prevažne cesty so zemným krytom so zastúpením 47 %, o celkovej dĺžke 51,0 km. Tento zemný kryt, prípadne čiastočné spevnenie majú nielen približovacie cesty, ale aj značný počet sezónnych lesných odvozných ciest 2L. Ciest s bitúmenovým krytom je na území 32 %, o celkovej dĺžke 34,9 km a cesty so štrkovým krytom tvoria 21 %, o celkovej dĺžke 23,1 km. Zloženie lesnej cestnej siete podľa krytu vozoviek je vyhovujúce, nakoľko rozdiely v zastúpení v jednotlivých triedach nie sú markantné. Prevala vozoviek so zemným krytom má súvis predovšetkým s únosnosťou podlažia, keď boli budované ekonomicky lacnejšie vozovky s jednoduchšou konštrukciou, ale s dostatočnou únosnosťou. Záujmové územie je budované veľmi únosnými druhohornými horninami, tvorenými hlavne žulami, rulami, miestami svormi. Na nich sa nachádzajú príkrovy prevažne tvorené vápencami a dolomitmi, ktoré zabezpečujú dobrý vodný režim územia, najmä z hľadiska odvodnenia telesa cesty.

Základnými ukazovateľmi pre optimalizáciu lesnej cestnej siete sú hustota ciest, teoretický rozostup ciest, teoretická približovacia vzdialenosť a účinnosť siete odvozných ciest. Priemerná hustota ciest v LHC Čierny Váh je $18,25 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}$, čo zodpovedá aj celoslovenskému priemeru, ktorý je $18,7 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}$ bez započítania cudzích ciest. Daná hustota ciest predstavuje teoretický rozostup ciest 548 m. Podľa percentuálneho podielu zastúpenia tried ciest v LHC pripadá pre cesty 1L hustota $6,86 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}$, pre cesty 2L $10,0 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}$ a pre 3L + TPC $1,39 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 2). Predovšetkým podiel odvozných ciest na hustote ciest ($16,86 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}$) vysoko prekračuje celoslovenský priemer ($10,6 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}$). Pri takomto zložení je štruktúra lesnej cestnej siete veľmi dobrá, prekračujúca celoslovenské priemerné hodnoty. Na Slovensku je relatívne postačujúca priemerná hustota ciest, ale cesty sú v nepostačujúcej kvalite a triede. Na území LHC Čierny Váh je však rozdelenie ciest v jednotlivých triedach vyhovujúce. Nízka hustota približovacích ciest tu má súvislosť jednak s morfológiou terénu, vyskytujú sa tu úzke a krátke bočné doliny so strmými

svahmi, a jednak aj s ťažbovo-dopravnými procesmi, intenzívne sa tu využíva lanovkové približovanie, a teda potreba ich zvyšovania nie je tak akútna.

Pri pohľade na teoretické približovacie vzdialenosti je ich hodnota na území taktiež blízka optimu. Teoretická kolmá približovacia vzdialenosť pri jednostrannom približovaní dosahuje hodnotu 274 m a pri obojstrannom približovaní hodnotu 137 m. Skutočné približovacie vzdialenosti, merané ako vzdialenosť ťažísk jednotlivých dielcov po konkrétnych približovacích cestách a linkách, dosahujú interval rozptylu od minima až po hodnotu 2 100 m. Horná hranica skutočných približovacích vzdialeností je do značnej miery vzdialená optimu sprístupnenia porastov, ale pri pohľade na rozmiestnenie porastov s najväčšou približovacou vzdialenosťou, väčšinou ide o porasty v ťažko dostupných až nedostupných terénoch, pod hrebeňmi pohorí. Tieto porasty sú často zaradené aj medzi ochranné lesy, kde je do značnej miery výstavba ciest obmedzená, príp. vylúčená. Priemerná skutočná približovacia vzdialenosť je podstatne vyššia ako teoretická a jej hodnota je 610,72 m, tiež je výrazne vyššia aj ako optimálna priemerná približovacia vzdialenosť. Tento stav je spôsobený taktiež veľkou výškovou členitosťou územia. Na LHC Čierny Váh sa nachádza dostatok kvalitných ciest na odvoz dreva, ale problémom sú dlhé strmé svahy, ktoré sú ešte aj z pohľadu morfológie terénu veľmi členité, čím je problematické na nich vybudovať svahovú cestu, čo sa rieši často práve lanovkovým približovaním.

Viacero koncepcií a prognóz uvádza pre optimálne sprístupnenie lesov hustotu lesných ciest okolo 20 m.ha⁻¹, z čoho následne vychádza rozstup ciest asi 500 m a priemerná približovacia vzdialenosť okolo 250 m obojstranne. KLČ (2005) odporúča pri sprístupňovaní horských lesov postupovať diferencovane, podľa kategórií lesov s tým, že v hospodárskych lesoch uvažuje s hustotou lesných ciest 20–25 m.ha⁻¹ a pre ochranné lesy odporúča hustotu 7–14 m.ha⁻¹ kvalitných lesných ciest.

Optimálnu hustotu ciest musíme špecifikovať aj v závislosti od rozdiferencovania záujmového územia podľa jednotlivých kategórií lesa. Na území LHC Čierny Váh sa nachádzajú lesy tak hospodárske ako aj ochranné. Hospodárske lesy majú výmeru 3 924,60 ha a ochranné lesy majú výmeru 2 048,71 ha. Z daných údajov vyplýva, že v záujmovom území by mala byť na 34,3 % územia sieť ciest o hustote 7–14 m.ha⁻¹ a na 65,7 % územia by mala byť hustota ciest 20–25 m.ha⁻¹. Z teoretického pohľadu je takéto delenie hustoty cestnej siete jednoduché, ale určenie skutočnej hustoty podľa kategorizácie lesov by v záujmovom území bolo značne komplikované, keďže ochranné lesy netvoria jeden súvislý celok, ale sú roztrúsené po celom území. Ochranné lesy na území LHC Čierny Váh sú zaradené do troch subkategórií, a to: a) lesy na mimoriadne nepriaznivých stanovištiach, b) vysokohorské lesy a c) ostatné lesy s prevažujúcou funkciou ochrany pôdy. Z tohto dôvodu sa hustota ciest na území LHC Čierny Váh nedelila podľa kategorizácie lesov, ale uvažovalo sa iba s priemernou hustotou za celé územie.

Tab. 2 Analýza kategórií ciest
Tab. 2 Analysis of road categories

Kategória cesty	Súčasný stav		Návrhový stav		SR (2012)
	dĺžka	hustota	dĺžka	hustota	hustota
	(km)	(m.ha ⁻¹)	(km)	(m.ha ⁻¹)	(m.ha ⁻¹)
1L	41,0	6,86	41,0	6,86	3,2
2L	59,7	10,00	62,8	10,51	7,5
3L + TPD	8,3	1,39	7,2	1,21	8,0
spolu:	109,0	18,25	111,0	18,58	18,7
cudzie (1L)	–	–	–	–	1,6
spolu celkom:	109,0	18,25	111,0	18,58	20,3

3.2 Zhodnotenie stavu a vybavenia lesných ciest

Kvalita ciest v záujmovom území, hodnotená v zmysle metodiky podľa KLČA, KRÁLIKA (1991) v rámci 5 stupňovej klasifikácie, bola hodnotená podľa jednotlivých tried. Cesty triedy 1L, ktoré mali prevažne bitúmenovú vozovku (s výnimkou l. c. Ništóková), sa vyznačovali prevažne dobrým technickým stavom, keď 1. stupeň – výborný stav malo 15,9 % ciest (6,5 km) a 2. stupeň – dobrý stav 45,8 % (18,8 km). Jednalo sa predovšetkým o poškodenia charakteru miestneho výskytu drobných porušení, lokálne porušenej a obrúsenej obrusnej vrstvy, miestnych deformácií vozovky, bez výskytu mozaiky trhlín. Ostatné cesty triedy 1L, o celkovej dĺžke 15,7 km (38,3 %), boli zaradené do 3. stupňa – stredne porušený stav, čomu zodpovedalo mierne porušenie vozovky s výskytom porušení a miestnych plytkých výtlkov, obrúsená alebo vo veľkých úsekoch porušená obrusná vrstva, obnažovanie a porušovanie podkladových vrstiev vozovky, výskyt mozaiky trhlín a prelomeného okraja vozovky. Pri samostatnom hodnotení najčastejšieho poškodenia ciest 1L s bitúmenovou vozovkou – obrusu obrusnej vrstvy bolo pomerne vyrovnané zastúpenie podľa jednotlivých stupňov poškodenia, pričom najväčší rozsah poškodenia bol stredne porušený stav (30,4 %). Stupne s minimálnym, či maximálnym poškodením vykazovali cesty v závislosti od ich využitia, keď napr. l. c. Hrádza Čierny Váh bola vo výbornom stave, keďže sa takmer nevyužívala, na druhej strane l. c. Nižný Chmelieneč I. a l. c. Vyšný Chmelieneč, ktoré boli využívané v maximálnej miere, vykazovali aj najväčšie poškodenie obrusnej vrstvy vozovky.

Lesné odvozné cesty 2L, prevažne so štrkovou alebo zemnou vozovkou, sa vyznačovali taktiež väčšinou dobrým technickým stavom. Výborný stav malo 20 % ciest, ktoré boli takmer bez porušení, pri cestách so štrkovou vozovkou bol badateľný začiatok vzniku miskovitých koľají a vytlačeného streda vozovky s výborným stavom odvodnenia cesty a stabilizovanými svahmi, pri cestách so zemnou vozovkou boli zjazdne osobným motorovým vozidlom, bez porušení, s výborným stavom odvodnenia (vyčistené a funkčné priekopy) a stabilizovanými svahmi. Dobrým stavom sa vyznačovalo 55,4 % ciest (34,1 km)

a stredne porušený stav, keď pri zemných cestách už ide o cesty len veľmi ťažko zjazdné osobným motorovým vozidlom, malo 24,9 % (15,3 km).

Približovacie cesty 3L + TPC sa vyznačovali väčšinou zlým stavom (4. stupeň), tzn. že sa jednalo o cesty veľmi ťažko zjazdné terénnym motorovým vozidlom s veľkým výskytom porušení, rozsiahlymi a závažnými porušeniami pláne a svahov, s erodovanou pláňou a telesom cesty, s výskytom hlbších koľají a erózných rýh, s vyčnievajúcimi balvanmi z pláne, so silne deformovanou cestnou pláňou a hĺbkou porušení od 20 do 40 cm. Celkovo bolo takto poškodených až 80,7 % (6,7 km). Jedna TPC o dĺžke 0,5 km (6,0 %) mala výborný stav a jedna o dĺžke 1,1 km (13,3 %) mala katastrofálny stav vyžadujúci asanáciu.

Z uvedeného vyplýva, že aj keď v LHC Čierny Váh z hľadiska sprístupnenia územia je dostatok ciest s vyhovujúcim kvalitatívnym rozdelením ciest do jednotlivých tried, tak približovacie cesty sú v nevyhovujúcej kvalite, ťažko zjazdné aj za dobrých klimatických podmienok. Pri 1L a 2L cestách je stav vyhovujúci a pre jeho udržanie treba dbať na pravidelné vykonávanie údržby a potrebných opráv. Pri 1L cestách ide najmä o opravu vrchného krytu vozovky (obrusnej vrstvy), ktorý je na viacerých cestách súvisle narušený. Dobrý stav krytu vozovky je dôležitý aj z hľadiska ochrany podkladových vrstiev cesty, aby na ňom nevznikali poškodenia, ktorých oprava by bola oveľa nákladnejšia ako oprava krytu vozovky.

Pri hodnotení erózných procesov na lesných cestách bola pozornosť zameraná na cesty so štrkovou a zemnou vozovkou predovšetkým so zameraním sa na korunu cesty, ako i na výkopové a násypové svahy. Bolo konštatované slabé erózne ohrozenie týchto ciest, keďže väčšina ciest bola zaradená do prvých dvoch stupňov (60,7 %), kde nedorážalo k žiadnej erózií, resp. vytváranie koľají max. do hĺbky 10 cm. Katastrofálnou eróziou (erózne ryhy s hĺbkou nad 40 cm) bola ohrozená iba jedna cesta (1,5 %). Tento priaznivý stav bol aj predpokladaný vďaka geologickému podložiu územia, ktoré spadá do mezozoika. Dané zistenia korešpondujú aj s výsledkami práce KLČA (1997), ktorý hodnotil 5 základných geologických oblastí Slovenska. Pre oblasť mezozoika, ktoré vytvára celé pohorie Nízkyh Tatier, konštatuje minimálnu eróznú ohrozenosť ciest.

Pri hodnotení stavu odvodnenia sa zameralo na existenciu a funkčnosť malých odvodňovacích zariadení alebo objektov na lesných cestách ako hlavných nástrojov na bezpečné odvedenie vody z telesa cesty a tým aj ochrany cesty pred účinkami vodnej erózie. Povinnou súčasťou vybavenia lesných odvozných ciest (1L, 2L) je pozdĺžne odvodnenie riešené najčastejšie formou otvorenej odvodňovacej priekopy alebo rigolu a v prípade neuzatvoreného povrchu vozovky aj priečne odvodnenie riešené formou odrážok (zvodníc). V rámci objektov na lesných cestách najčastejšie ide o priepusty, príp. mostové objekty. Približovacie cesty by mali mať priečne odvodnenie. Zaradenie do určitého stavu poškodenia u konkrétnej cesty sa vykonávalo na základe komplexného hodnotenia celej cesty z hľadiska odvodnenia. Stav odvodnenia lesných ciest v LHC Čierny Váh je globálne charakterizovaný ako vyhovujúci. Do prvého a druhého stupňa bolo zaradených 25 % ciest (27,4 km), kde bolo skonštatované funkčné odvodnenie, tzn. priekopy a rigoly sú vyčistené, príp. mierne zarastené, ale stále plne funkčné, priečne odvodnenie, či priepusty taktiež bez závažnejších nedostatkov. 55,6 % ciest (60,6 km) má odvodnenie v stredne dobrom stave, tzn. má funkčné odvodnenie na väčšine konkrétnej cesty alebo je funkčná iba jeho

časť (napr. pri niektorých cestách bolo plne funkčné pozdĺžne odvodnenie, ale odrážky boli zanesené). Zlý až katastrofálny stav odvodnenia (4. a 5. stupeň) vykazovalo 12,8 % ciest (13,9 km) v nevyhnutnou potrebou jeho opravy. Jednalo sa predovšetkým o zasypané a zarastené priekopy a rigoly, poškodené alebo úplne zanesené priepusty, poškodenie vtokových a výtokových čiel, či osadenie rúr ap. Na území LHC nemá 8,3 km ciest (7,6 %) žiadne odvodnenie, ide o trvalé približovacie cesty, ktoré sú v zlom stave aj z dôvodu neodvedenia vody z telesa cesty a využívania ciest aj v nepriaznivých klimatických podmienkach s následným rozbahnením cesty pri približovaní a následným vznikom erózie.

Hodnotenie násypových a výkopových svahov pozostávalo z hodnotenia stability týchto konštrukčných častí cesty, keď sa zisťovala prítomnosť uvoľňovania pôdnych častíc z týchto svahov s následným zosuvom, zabezpečenie stability povrchu svahov vegetáciou ako i hodnotenie estetického hľadiska. Globálne možno na území celého LHC hodnotiť stav výkopových a násypových svahov ciest ako dobrý. Poškodenie svahov sa vyskytovalo iba ojedinele, napr. zosuv materiálu výkopového svahu malého rozsahu bol iba na dvoch cestách. Pri výkopových svahoch na území je veľmi dôležité zabezpečiť ich pokrytie vegetáciou, nakoľko v LHC sa nachádzajú územia tvorené nesúdržnými horninami, ktoré sú náchylné na zosuvy. Z estetického hľadiska boli svahy väčšinou zatravnené alebo porastené krovinami, čím nepôsobili rušivým dojmom.

Na území LHC boli hodnotené aj lesné sklady, a to 2 hlavné dolné sklady (manipulačno-expedičné), ktoré sa tu nachádzajú. Prvý je vybudovaný pri vstupe do LHC. Je využívaný dlhodobo, riešený je ako spevnená plocha s bitúmenovým krytom, nachádza sa na ňom aj manipulačná linka. Sklad je oplostený, priestorovo dobre usporiadaný a plne funkčný. Druhý bol vybudovaný v posledných rokoch na l. c. Nižný Chmelienec I., cca 200 m od jej napojenia na hlavnú cestu doliny Suchý Benkov. Tento sklad bol vybudovaný v dôsledku nepostačujúcej priestorovej kapacity hlavného skladu po kalamitách. Sklad je nespevnený, so zemným krytom, čo spôsobuje v nepriaznivých klimatických podmienkach jeho rozbahnenie. Nakoľko sa s jeho využívaním uvažuje aj v budúcnosti, bolo by vhodné vykonať jeho spevnenie bitúmenovým krytom a tiež jeho odvodnenie. Horné sklady sa na území LHC nenachádzajú, ale cesty sú vybavené odvoznými miestami, kde sa približuje drevná hmota a následne v celých dĺžkach odváža na hlavné sklady. Odvozné miesta sú vybudované v dostatočnom počte na každej odvoznej ceste a majú zemný povrch.

Hodnotenie využívania lesných ciest sa robilo na základe zaťaženia ciest dopravou, jej intenzitou, tzn. priemerným počtom prejazdov dopravných prostriedkov po danej ceste za časovú jednotku. Zaťaženie ciest sa odvodzovalo aj na základe rozmiestnenia oblastí s gravitujúcou drevnou hmotou. Na území LHC Čierny Váh sa väčšina ciest (61,0 %) využíva celoročne alebo po väčšiu časť roka a 30,7 % ciest je využívaných nepravidelne. Približne 8,3 % ciest sa nevyužíva vôbec, čo je spôsobené ich zlým stavom, alebo tým, že sa momentálne nenachádzajú na území s ťažbovo gravitujúcimi porastmi. Z toho vyplýva, že využitie lesných ciest súvisí najmä s ich funkčnosťou a lokalizáciou z hľadiska aktuálnej potreby pri ťažbovo-dopravnom procese.

Z hľadiska hodnotenia sklonových pomerov v LHC Čierny Váh nachádzajúcom sa v masíve Nízkych Tatier je charakteristické, že sklonové pomery na území sú veľmi rôz-

norodé. Nachádzajú sa tu strmé svahy, ale aj roviny. Prevažná časť územia sa vyznačuje sklonmi nad 40 %, nižšie sklony až roviny má len územie na severovýchode od vodnej nádrže PVE Čierny Váh. Na ostatnom území prevažujú strmé svahy. Priemerný sklon územia je 65 %, úzke strmé doliny častokrát dosahujú sklon až do 170 %. Väčšina záujmového územia má charakter lanovkových terénov, čo sa odzrkadľuje aj v ťažbovo-dopravnom procese, keď 41 % objemu ťaženého dreva sa dopravuje z porastov lanovkovými systémami, animálnou silou cca 32 % objemu ťažby a traktorovými technológiami iba cca 27 % objemu ťaženej hmoty. Morfológia terénu a sklonová náročnosť územia sa samozrejme odráža aj v úrovni sprístupnenia a taktiež aj v pozdĺžnych sklonových pomeroch lesnej cestnej siete. Na základe zatriedenia jednotlivých ciest do piatich tried, v sklonovom rozpätí 0–20 %, má väčšina ciest sklon 4–8 %, a to až 84,2 % z celkového počtu ciest, 8,6 % ciest je v sklonových pomeroch 8–12 % a len jedna cesta (TPC) o dĺžke 1,1 km prekračuje tieto hodnoty.

3.3 Návrh opatrení a optimalizácie sprístupnenia lesa

Pri návrhu optimalizácie sprístupnenia lesa záujmového územia LHC Čierny Váh sa vychádzalo zo zhodnotenia špecifik daného územia ako i požiadaviek lesníckej prevádzky z hľadiska sprístupnenia lesných porastov. Východiskami návrhu optimalizácie bola morfológia terénu, existujúca lesná cestná sieť a terénna a technologická typizácia územia. Optimálnemu sprístupneniu lesa sa môžeme priblížiť návrhom vhodných opatrení, ako je zvyšovanie hustoty lesnej cestnej siete vo vyššej kvalite a pravidelnej údržbe.

Pravidelnou starostlivosťou sa zabezpečuje udržanie funkčnosti lesných ciest pri minimalizácii rozširovania stupňa poškodenia. Vzhľadom na súčasný stav sprístupnenia a dobrý stav väčšiny odvozných ciest 1L a 2L nie je potrebná výrazná optimalizácia sprístupnenia formou zvyšovania hustoty ciest, ale iba udržanie tohto stavu pravidelnou bežnou údržbou, príp. drobnými opravami. Z hľadiska údržby ako prevencie je potrebné dodržiavať pravidelnú letnú a zimnú údržbu. Z hľadiska drobných opráv ide predovšetkým o opravy obrusnej vrstvy bitúmenovej vozovky lesných ciest.

V rámci rekonštrukčných prác bola navrhnutá sanácia trvalej približovacej cesty Piesková I. o dĺžke 1,0 km. Táto cesta je v katastrofálnom stave, ale sprístupňuje ťažko prístupné územie, je vedená veľmi úzkou bočnou dolinou k hrebeňu Piesková. Z týchto dôvodov je dôležitosť cesty vysoká, nakoľko dané územie sa nedá sprístupniť iným spôsobom, a preto by bolo účelné túto cestu zachrániť. V rámci minimalizácie nákladov je ju potrebné sanovať aspoň v súčasných parametroch, príp. ju neskôr prebudovať na kvalitatívne vyššiu triedu odvoznej cesty.

TPC Zápolná je vzhľadom ku katastrofálnemu stavu navrhnutá na asanáciu. Okrem toho sa jej využívaním značne poškodzuje aj koryto toku Čierny Váh. Cesta sa nachádza na opačnom brehu toku ako je hlavná dolinová cesta a prechod cez vodný tok nie je žiadnym spôsobom upravený alebo tomu prispôbený, aby sa minimalizovalo jeho poškodzovanie.

Z hľadiska optimalizácie dopravy a hlavne odvozu dreva cestou skrátenia odvozej vzdialenosti bola navrhnutá výstavba dvoch spojovacích ciest v parametroch 2L 4,0/30 so štrkovým krytom. Prvý návrh, cesta o dĺžke cca 0,5 km, umožní prepojenie ciest Vyšný Chmelienec a Holica a druhý návrh, cesta o dĺžke cca 2,6 km, umožní prepojenie ciest Muránik-Házička a Piesková II. Pri cestách Vyšný Chmelienec a Házička ide o cesty 2L, pričom Vyšný Chmelienec je bitúmenová cesta s narušenou obrusnou vrstvou, ale napriek tomu plne zjazdná, má dĺžku 3,6 km a je pripojená na hlavnú dolinovú cestu. Cesta Holica je tiež 2L cesta, ale so zemným krytom, o dĺžke cca 4 km, ktorá nie je priamo napojená na dolinovú cestu, ale na 1L cestu I. c. Plevovo o dĺžke 2,3 km a až tá je napojená na dolinovú cestu. Navrhované riešenie by skrátilo súčasnú odvoznú vzdialenosť na polovicu. Pri cestách Muránik-Házička a Piesková II. je situácia podobná. Cesty dostatočne sprístupňujú územie, ale pri ich prepojení by sa tiež výrazne skrátili odvozné vzdialenosti. V oboch prípadoch ide o cesty 2L, Muránik-Házička má štrkový kryt vozovky a Piesková II. má zemný kryt, po oboch sa uskutočňuje odvoz dreva.

Realizáciou navrhovaných opatrení v záujmovom území LHC Čierny Váh sa zmenia základné ukazovatele lesnej cestnej siete len nepatrne, ale v konečnom dôsledku sa v navrhovaných úsekoch zvýši efektívnosť dopravy. Výstavbou dvoch ciest kategórie 2L a asanáciou jednej TPC sa celková dĺžka lesnej cestnej siete sa zvýši o 2,1 km na celkovú dĺžku 111 km pri celkovom počte 35 ciest. Hustota lesnej cestnej siete stúpne o 0,28 m.ha⁻¹ na hodnotu 18,58 m.ha⁻¹ (tab. 2). Na základe toho teoretický rozstup lesných ciest dosiahne hodnotu 538 m, kolmá teoretická vzdialenosť pri jednostrannom približovaní 269 m a pri obojstrannom približovaní 134,5 m.

4 ZÁVER

Kvalitne vybudovaná a udržiavaná lesná cestná sieť je základom funkčného obhospodarovania komplexu lesa. Je snahou každého majiteľa, či obhospodarovateľa lesa mať takú cestnú sieť, aby umožňovala čo najlepšie sprístupnenie lesa pri únosných nákladoch. Pri pláne výstavby sa musí zohľadňovať viacero rôznych faktorov. Z neovplyvniteľných faktorov sú to najmä morfológia terénu, podložie, či klimatické podmienky na danom území. Medzi faktory, ktoré človek môže ovplyvniť, sú napr. voľba ťažbovo-dopravných technológií, výber stavebných materiálov, stav porastov, hustota lesnej cestnej siete, približovacie vzdialenosti ap. Veľmi dôležité pri výstavbe lesnej cestnej siete je aj zohľadnenie vplyvu na životné prostredie. Prehustená lesná cestná sieť môže mať aj negatívne vplyvy na prostredie, napr. zmenu odtokového režimu v krajine, či narušenie estetického rázu krajiny.

Na základe vykonaného dopravného prieskumu, získaných výsledkov a poznatkov z vyhodnotenia uvedeného modelového územia, ktoré naznačujú určité ekonomické a lesohospodárske súvislosti, možno vyvodiť základné poznatky s tým, že majú obmedzenú platnosť pre podobné podmienky. Z vykonaného dopravného prieskumu vyplýva, že územie LHC Čierny Váh bolo v najväčšej miere sprístupnené pre rokom 1984, kedy bolo

vybudovaných 82,4 % všetkých ciest. V nasledujúcich desaťročiach bola táto sieť dobre udržiavaná, čo naznačuje aj jej aktuálny stav, kedy 1L a 2L cesty majú dobrý stav bez závažnejších poškodení, opačná situácia je pri TPC, keď 94 % ciest má zlý až katastrofálny stav, čo je spôsobené predovšetkým nie plánovitou činnosťou, kedy sa zohľadňuje ich momentálna potreba a neuvažuje sa s ich využívaním v budúcnosti.

Pri hodnotení sprístupnenie porastov sa zistilo, že základné ukazovatele ako teoretický rozostup ciest, teoretická približovacia vzdialenosť a účinnosť cestnej siete majú hodnoty kopírujúce priemerné hodnoty na Slovensku, pričom po kvalitatívnej stránke je na modelovom území štruktúra ciest výrazne lepšia ako je priemer Slovenska, čo je z pohľadu odvozu a približovania dreva veľmi pozitívne. Predĺžovaním odvoznej vzdialenosti sa skrakuje približovacia vzdialenosť, a tým aj klesajú náklady na výrobu 1m³ drevnej hmoty.

Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Dobudovanie centra excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy, ITMS: 26220120049, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

5 Literatúra

Dostupné na internete: http://www.sazp.sk/slovak/periodika/sprava/sprava2002/priciny_dosledky/lesne_hosp.pdf
Dostupné na internete: <http://www.mpsr.sk/index.php?navID=123&id=8163>.

JURÍK, L. *et al.* 1984. Lesné cesty. Bratislava: Príroda. 407 s.

KLČ, P., KRÁLIK, A. 1991. Katalóg porušení a závad na lesných cestách. 1. vyd. Bratislava: Príroda, 1991. 84 s. ISBN 80-07-00273-1.

KLČ, P. 1997. Lesná dopravná sieť vo vzťahu k erózii pôdy. In *Lesnícky časopis*, roč. 43, 1997, č. 1, s. 11–19.

SAUNDERS, S. C., MISLIVEST, M. R., CHEN, J., CLELAND, D. T. 2002. Effect of roads on landscape structure within nested ecological units of the northern Great Lakes region. *Biological Conservation*, 103(2): 209–225.

STN 73 6108 Lesná dopravná sieť.

Lesný hospodársky plán LHC Čierny Váh 1984–1993.

Lesný hospodársky plán LHC Čierny Váh 2004–2013.

Adresy autorov:

Ing. Martina Levická

Ing. Vladimír Juško, PhD.

Katedra lesnej ťažby, logistiky a meliorácii

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

Masarykova 24

960 53 Zvolen

Slovenská republika

e-mail: martinalevicka@centrum.sk

jusko@tuzvo.sk

Optimalizácia sprístupnenia lesa lesnou cestnou sieťou v LHC Čierny Váh

Abstrakt

Práca sa zaoberá hodnotením súčasného stavu sprístupnenia lesa lesnou cestnou sieťou v lesnom hospodárskom celku Čierny Váh, hodnotením stavu lesných ciest, poukázaním na nedostatky v sprístupnení lesa, prípadne návrhom zlepšenia situácie v záujmovom území. Práca charakterizuje prírodné pomery záujmového územia. Terénnymi prácami bola vykonaná inventarizácia lesných ciest, taktiež sa zisťovali základné parametre lesných ciest ako druh krytu vozovky, pozdĺžna sklonitosť, odvodnenie, rozsah poškodení, erózia na cestách, stav výkopových a násypových svahov, estetické hľadisko, či využiteľnosť ciest. Boli vypočítané základné kvantitatívne ukazovatele lesnej cestnej siete. Na základe výsledkov práce sa dá zhodnotiť kvantitatívna a kvalitatívna štruktúra lesnej cestnej siete v LHC Čierny Váh, v prípade potreby navrhnúť optimalizácia lesnej cestnej siete a výsledky sa dajú porovnať z priemerným a optimálnym stavom lesnej cestnej siete na Slovensku.

Celkove lesná cestná sieť v záujmovom území pri počte 34 lesných ciest o celkovej dĺžke 109 km dosahuje 18,25 m.ha⁻¹. Lesné odvozné cesty 1L sú zastúpené 37,62 %, lesné odvozné cesty 2L 54,77 % a približovacie cesty 7,63 %. Po realizácii navrhovaných opatrení sa hustota lesných ciest sa zlepší na hodnotu 18,58 m.ha⁻¹. Technický stav lesných odvozných ciest (1L, 2L) je hodnotený ako dobrý s náležitým vybavením jednotlivých ciest. Opačný jav je u približovacích ciest, kde je skonštatovaný prevažne ich katastrofálny stav.

Kľúčové slová: lesná cesta, hodnotenie stavu ciest, lesná cestná sieť, sprístupnenie lesa

VYUŽITIE ZELENÉHO MARKETINGU V MANEŽMENTE VYBRANÝCH FIRIEM NA SLOVENSKU

Daniela T I S O V S K Á – Daniel H A L A J

Tisovská, D. – Halaj, D.: Implementation of the Green Marketing in chosen Enterprises in Slovakia. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 56, Suppl. 1, 2014, 159–169.

In few last years is green business applying not only by big companies. This trend also continues into middle and small companies. Main reasons are big climatic changes and also public requests for environmental protection. Problem is that solutions focused on environmental protection are considered as expensive and big load. Especially after economic depression which negatively affected global market is increasing in green business and marketing only alternative theme. In professional literature we can find few names or titles and these are addressing relationship between rational marketing management and consumption. Most frequently is using name green marketing. Conception of green marketing starts at the end of 1980 as a reaction to new green customers. These customers are known by environmental consciousness, responsibility and also with activities in consumer behaviour. We can define green marketing as specific type of marketing, which is founded on traditional marketing, but focused on ecological products. Main task of green marketing is focusing on business and products which can satisfy human needs with minimal affects to environment. Characteristic feature is responsible process, which can performed and finds possible options for possibility of customer or companies satisfying with effective and sustainable way. All three chosen companies apply the concept of green marketing, even if an area is not listed under that name. The big goal is to not only protect the environment but contribute to building social development of the community.

Key words: green marketing, marketing mix, corporate social responsibility, SWOT analysis

1. ÚVOD

SúčasnÉ podnikanie sa v čoraz väčšej miere zameriava na oblasť environmentu v podniku. Medzi hlavnÉ dôvody nepatrí len používanie samotného pojmu „zelený podnik“, ale aj klimatické zmeny, veľký záujem zo strany verejnosti či podpora rozvinutia populácie.

Podnik pri zmene svojho myslenia musí prejsť určitým transformačným procesom, aby dokázal správne uplatniť celkovú koncepciu zeleného podnikania, resp. zeleného marketingu. Najdôležitejším krokom je správna identifikácia základných otázok, ktoré sa zameriavajú na analýzu externého a interného prostredia. Z analýzy následne podnik dokáže identifikovať ako svoje príležitosti, ktoré môžu napomôcť k správnej implemen-

tácii zeleného marketingu, tak aj ohrozenia, ktoré naopak môžu podnik oslabiť ako celok. Ďalším krokom sa stáva vytvorenie podmienok a dôsledné naplánovanie implementácie zeleného marketingu. Účinnosť vo veľkej miere závisí od stanovenia cieľov, plánovania, ktoré sa týka nielen finančnej stránky, ale i časového hľadiska a samozrejme aj od mnohých iných dôležitých procesov v podniku. Posledným významným krokom je neustále monitorovanie a kontrolovanie priebehu transformácie.

Týmto spôsobom môže podnik zmeniť filozofiu svojho podnikania a zaradiť sa tak medzi podniky, ktoré predstavujú prínos pre trvalo-udržateľný rozvoj spoločnosti.

Hlavný cieľ práce pozostával z analýzy a porovnania implementácie zeleného marketingu vo vybraných podnikoch, ktoré pôsobia v rôznych odvetviach. Práve rôzne odvetvia poukazujú na rôznu koncepciu zeleného marketingu.

2. MATERIÁL A METÓDY

Prieskum implementácie zeleného marketingu vo vybraných podnikoch sme realizovali v rozmedzí obdobia august 2013 – marec 2014. Na uplatnenie získaných informácií sme vybrali tri podniky, ktoré pôsobia v rôznych odvetviach hospodárstva. Hlavným kritériom pri výbere podnikov bolo práve uplatňovanie koncepcie zeleného marketingu, ako aj ochota poskytnúť relevantné informácie. Jednotlivé metodické kroky zahŕňali:

1. Výber odbornej literatúry, ktorá súvisí s danou problematikou. Medzi hlavné zdroje patrili internetové stránky ako napríklad: *www.ekonomika.etrnd.sk*, *www.euractiv.sk*, *www.sinsofgreenwashing.org*, *www.ekologika.sk*, *www.ekologickastopa.cz* a ďalšie. Odborná literatúra zahŕňala aj knižné publikácie ako napríklad: *Udržateľný marketingový manažment* (Bartáková, Gubíniová, 2012), *The New Rules of Green Marketing* (Ottman, 2011), *Zelená ekonomika* (Van Jones, 2008) a ďalšie.
2. Telefonické a písomné kontaktovanie jednotlivých spoločností, ktoré uplatňujú koncepciu zeleného marketingu (TESCO, Lidl, atď.). Koncepcia zeleného marketingu sa stala zároveň hlavným kritériom pre výber vhodného podniku.
3. Výber spoločností, ktoré uplatňujú koncepciu zeleného marketingu, ale zároveň pôsobia v rôznych sektoroch hospodárstva v podmienkach Slovenska: spoločnosť Amway Slovensko, s.r.o., spoločnosť Dôvera zdravotná poisťovňa, a.s., spoločnosť Matador Automotive Vráble, a.s. Komunikácia prebiehala vo väčšej miere prostredníctvom e-mailu. Spoločnosti boli vybrané na základe preukázaného záujmu poskytnúť relevantné informácie.
4. Charakteristika spoločností, ktorá zahŕňala základné údaje o spoločnostiach, ich predmet podnikania a iné.
5. Vytvorenie štruktúrovaného dotazníka, ktorý obsahoval 10 otázok, týkajúcich sa oblasti zeleného marketingu v spoločnostiach, napríklad: Aké nástroje používa podnik pri uplatňovaní stratégie zeleného marketingu? Ako podnik informuje svojich zákazníkov o zelenom myslení podniku (LAMNEK, 1993a; SILVERMAN, 2006)? Dotazníky boli rovnaké pre všetky tri podniky.

6. Doplnenie informácií z webových stránok spoločností, taktiež i z mailovej komunikácie s manažmentom spoločností. Spracovanie informácií do formy prípadovej štúdie (KITA, 1997; YIN, 2003).
7. Zhrnutie výsledkov (diskusia), ktoré sme zobrazili prostredníctvom schémy č. 4. Výsledky sme konzultovali spolu s manažmentom jednotlivých podnikov. Táto časť zahŕňa aj odporúčania pre zlepšenie oblasti zeleného marketingu v daných spoločnostiach.

2.1 Spoločnosť Matador Automotive Vráble, a.s.

Spoločnosť Matador Automotive Vráble a.s. (ďalej len spoločnosť Matador), je členom skupiny Matador, ktorú môžeme definovať ako priemyselno-investičnú skupinu spoločností, ktorá podniká v oblasti automotive, všeobecného strojárstva, konštrukčných a vývojových prác, obchodu a konzultačných služieb. Oblasťou podnikania spoločnosti Matador je výroba a predaj lisovaných, zváraných a montovaných dielcov pre automobilový priemysel, spotrebný priemysel a vzduchotechniku¹.

2.2 Spoločnosť Amway Slovensko, s.r.o.

Spoločnosť Amway predstavuje jednu z najväčších spoločností priameho predaja na svete a zároveň je to rodinný podnik, ktorý považuje vlastníka podnikania za svojho partnera na ceste stať sa úspešným. Začiatky smerujú do roku 1959, kedy vďaka priateľom a obchodným partnerom (Richovi De Vosovi a Jayovi Van Andelovi) bola založená daná spoločnosť, ktorej základy sú tvorené princípom slobody, rodiny, nádeje a odmeny.

Spoločnosť Amway Slovensko, s.r.o. (ďalej len spoločnosť Amway Slovensko) zahájila svoju podnikateľskú činnosť v rámci Slovenska v roku 1994. Obchodnou metódou spoločnosti Amway Slovensko je priamy predaj spotrebného tovaru, predovšetkým pleťovej a dekoratívnej kozmetiky, výživových doplnkov, pracích, čistiacich prostriedkov a ďalších výrobkov².

2.3 Spoločnosť Dôvera zdravotná poisťovňa, a.s.

Spoločnosť Dôvera zdravotná poisťovňa, a.s., (ďalej len spoločnosť Dôvera), je považovaná za najväčšiu súkromnú zdravotnú poisťovňu na Slovensku, ktorá zabezpečuje zdravotnú starostlivosť pre viac ako 1,4 milióna poistencov. Spolupracuje so všetkými typmi zdravotníckych zariadení, nemocnicami či laboratóriami. Okrem starostlivosti

¹www.matador-automotive.sk (10.2.2014)

²www.amway.sk (12.1.2014)

zo zákona poskytuje spoločnosť Dôvera aj nadštandardný servis a služby, ako napríklad preplácanie doplatkov za lieky pre deti do dvoch rokov a ich mamy, očkovanie proti chrípke zadarmo, očkovanie proti hepatitíde A a B za polovicu ceny, očkovanie proti rakovine krčka maternice, atď. Majoritným akcionárom spoločnosti je Dôvera holding, a.s. a sto-percentným akcionárom je holandská spoločnosť Health Insurance Companies Eastern Europe B. V. (HICEE B. V.). Spoločnosť patrí do investičnej skupiny Penta³.

3. VÝSLEDKY

Výsledky práce predstavujú ucelenú prípadovú štúdiu s tromi vybranými podnikmi z troch rôznych oblastí národného hospodárstva. Prinášajú okrem iného aj schematické znázornenie fungovania zeleného marketingu na podnikovej úrovni s dôrazom na uplatňovanú tzv. zelenú stratégiu s jej jednotlivými marketingovými nástrojmi.

Koncepcia zeleného marketingu v spoločnosti Matador

Výsledok analýzy implementácie zeleného marketingu v spoločnosti Matador sme zobrazili prostredníctvom schémy č. 1, ktorá vystihuje fungovanie a výsledok implementácie zeleného marketingu.

Pri implementácii zeleného marketingu v spoločnosti sa využívajú predovšetkým prvky marketingového mixu, ktoré sú následne obsiahnuté v základných stratégiách udržateľného rozvoja. Keďže daná implementácia prináša so sebou veľké množstvo pozitív nielen pre spoločnosť, ale aj pre konečných zákazníkov, snahou je v týchto aktivitách pokračovať a neustále ich rozširovať.

Koncepcia zeleného marketingu v spoločnosti Amway Slovensko

Pri spoločnosti Amway sme sa zamerali na jej pôsobenie v rámci slovenského trhu. Spoločnosť však vo veľkej miere využíva politiku podnikania (produktové portfólio, marketingová kampaň a iné.) rovnakú vo všetkých pôsobiacich oblastiach trhu. Analýza implementácie zeleného marketingu v spoločnosti Amway Slovensko je zobrazená v schéme č. 2.

Spoločnosť Amway sa pri implementácii zeleného marketingu taktiež orientuje na využívanie prvkov marketingového mixu, ktoré sú následne obsiahnuté v rámci stratégie prevencie znečistenia. Základom pre implementáciu sa stala práve dlhoročná tradícia spoločnosti v oblasti spoločenskej zodpovednosti vrátane ekológie.

³www.dovera.sk (2.2.2014)

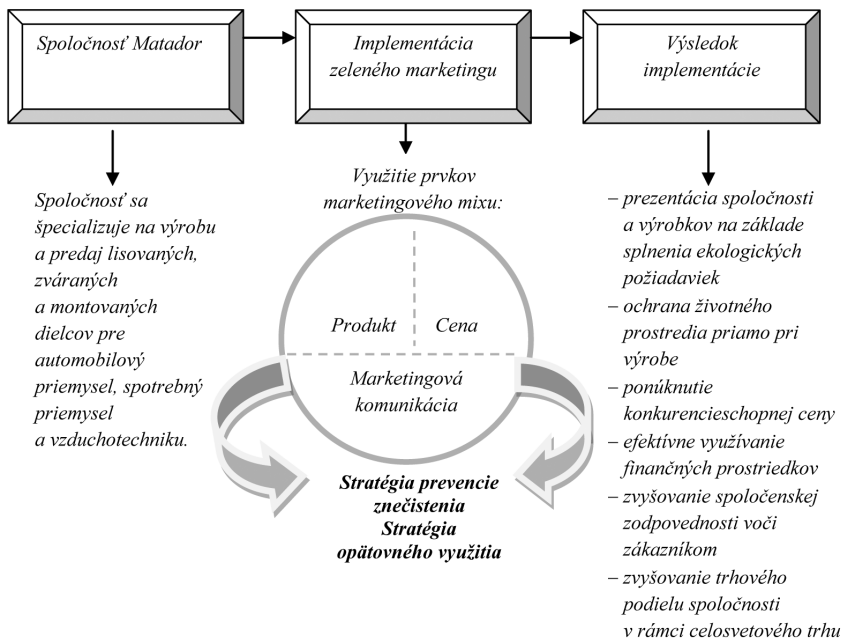


Schéma 1. Implementácia zeleného marketingu v spoločnosti Matador
Scheme 1. Implementation of the green marketing in Matador company

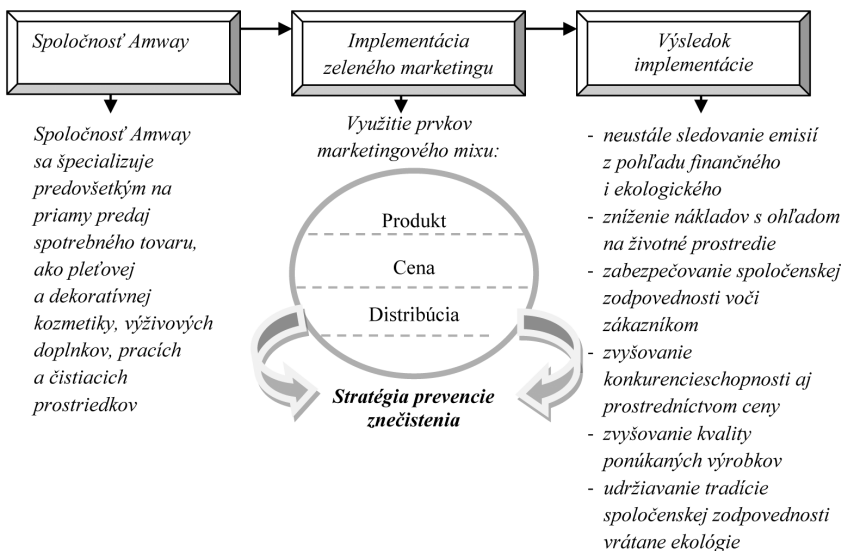


Schéma 2. Implementácia zeleného marketingu v spoločnosti Amway
Scheme 2. Implementation of the green marketing in Amway company

Koncepcia zeleného marketingu v spoločnosti Dôvera

Keďže predmetom podnikania spoločnosti Dôvera je poskytovanie služieb, koncepcia zeleného marketingu sa zameriava predovšetkým na proces poskytovania služieb.

Spoločnosť Dôvera samotný pojem zelený marketing nevyužíva. Koncepcia zeleného marketingu je zameraná predovšetkým na spoločenskú zodpovednosť podniku, ktorá je v nej obsiahnutá. Implementácia zeleného marketingu v spoločnosti Dôvera je zobrazená v schéme č. 3.

Spoločnosť Dôvera sa snaží realizovať koncepciu spoločenskej zodpovednosti na všetkých úrovniach riadenia. Stratégia prevencie znečistenia a stratégia opätovného využitia sa realizuje predovšetkým na základe činností zamestnancov a ich prístupu k ochrane životného prostredia (šetrenie energie, separovanie odpadu, atď.). Spoločnosť deklaruje, že sa i naďalej bude snažiť uplatňovať a využívať všetky dostupné možnosti a tým prispieť k rozvoju trvalej udržateľnosti.

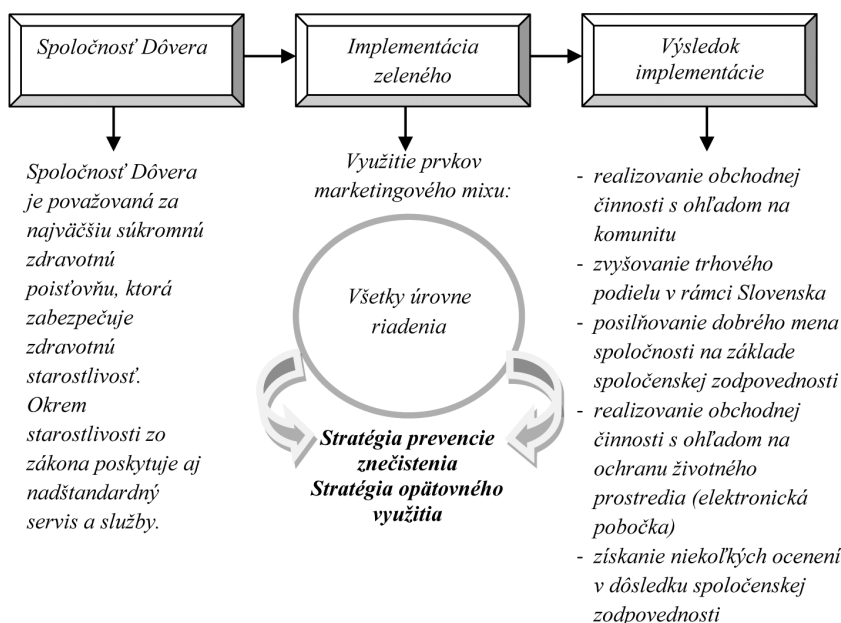


Schéma 3. Implementácia zeleného marketingu v spoločnosti Dôvera

Scheme 3. Implementation of the green marketing in Dôvera company

4. DISKUSIA

Zelená ekonomika sa stáva otvorenou témou pre mnoho krajín, ktoré si uvedomujú zodpovednosť voči zabezpečeniu ekonomického, ekologického, ale i sociálneho využívania prírodných zdrojov. Základ tvorí využívanie nových technológií, ktoré sú prispôbené ekologickým procesom v spoločnostiach a taktiež vývoj a výskum technológií, ktoré dokážu prispieť k rozmachu zelenej ekonomiky vo svete.

Environmentálne povedomie vo svete podlieha dynamickému vývoju. Problém miery znečistenia životného prostredia sa dostal až na úroveň globálneho problému, kde narastá celospoločenský záujem o zlepšenie kvality životného prostredia. Najväčšia miera znečistenia životného prostredia vo svete pripadá Číne. Je to síce krajina, ktorá sa v priemyselnej oblasti dostala na popredné miesta rozvinutých krajín (BRIC), ale stav znečistenia ovzdušia, pôdy a pitnej vody zodpovedá kritickým hodnotám. Znečistenie ovzdušia trápí aj mnoho iných krajín, ako napríklad Indiu, ktorej najväčším problémom je používanie veľmi lacnej nafty, taktiež Francúzsko, Bulharsko, Poľsko, atď. Môžeme povedať, že miera uplatnenia zeleného podnikania vo svete je ešte pomerne malá, aj keď plány do budúcnosti sú v niektorých prípadoch až príliš optimistické. Krajiny sa odvolávajú na negatívny vplyv globálnej hospodárskej krízy. Najdôležitejšie v tomto prípade zostáva však uvedomenie si problému stavu životného prostredia a snaha o budovanie udržateľného rozvoja sveta.

Situácia na Slovensku sa orientuje predovšetkým na oblasť využívania obnoviteľných zdrojov energie. Ich využívanie však nezodpovedá rovnomernému využitiu, hoci potenciál z ekonomickej, ale i ekologickej stránky je pomerne veľký. Najvyšší podiel z využívania obnoviteľných zdrojov má vodná energia, potom nasleduje biomasa, a geotermálna energia. Aj keď sa snaží Slovensko podporovať budovanie systému, ktorého prioritou je ochrana životného prostredia, môžeme sa stretnúť s určitými bariérami, ktoré brzdia rozvoj využívania obnoviteľných zdrojov.

V rámci automobilového priemyslu sa Slovensko riadi predovšetkým európskymi nariadeniami. Tu máme možnosť vidieť najväčší tlak na znižovanie znečistenia životného prostredia zo strany štátu. Automobilový priemysel sa snaží regulovať množstvo emisií práve výrobou ekologických automobilov. K tomuto smerovaniu chce priamo nastaviť aj svojich dodávateľov. Je však otázne, či sa dokáže zároveň zabezpečiť aj stabilita trhu. Veľmi zjednodušene vieme povedať, že ekologické automobily majú pomerne nižšiu funkčnosť motorov, taktiež nastáva problém pri možnosti nabíjania a v neposlednom rade je to predovšetkým cena elektromobilov.

V prípade obchodných spoločností, ktoré sa zaoberajú priamym predajom, je trend ochrany životného prostredia zameraný na spoločenskú zodpovednosť (podpora organizácií, podpora komunity) a na prezentovanie svojich ekologických výrobkov. V rámci Slovenska bolo zriadené Združenie priameho predaja. Je to dobrovoľná, záujmová skupina, ktorá združuje významné svetové podniky v sektore maloobchodu. Jedným z členov je aj spoločnosť Amway. Hlavnou výhodou je informovanosť o ekologických aktivitách konkurencie.

Oblasť poskytovania zdravotnej starostlivosti sa snaží upozorňovať predovšetkým na spoločenskú zodpovednosť podniku. V súčasnosti máme na Slovensku k dispozícii 3 poisťovne, ktoré okrem základnej starostlivosti poskytujú aj nadštandardné služby v oblasti zdravotníctva. Ani jedna z týchto poisťovní však priamo neuvádza aktívny prístup k ochrane životného prostredia (aktivity zamestnancov, podpora organizácii, ktoré prispievajú k ochrane ŽP).

Môže konštatovať, že v nami vybraných podnikoch sa realizuje koncepcia zeleného marketingu. Niektoré podniky môžu charakterizovať svoju koncepciu zeleného marketingu len ako prezentovanie svojich výrobkov a služieb. Táto koncepcia však zahŕňa všetky procesy, postupy a kroky, ktoré sa uplatňujú od začiatku plánovania koncepcie až po jej realizáciu. Každý z týchto podnikov využíva koncepciu zeleného marketingu inak. Informácie, ktoré sme získali z daných podnikov sú súhrnne zobrazené v schéme č. 4.

Po uskutočnení analýzy implementácie zeleného marketingu v spoločnostiach, sme mali možnosť zistiť, že každá spoločnosť má nastavenú koncepciu zeleného marketingu v takom smere, ktorý zodpovedá oblasti podnikania, cieľom a vízií spoločnosti. Hlavným cieľom koncepcie je ochrana životného prostredia a to nie len zo stránky uskutočňovania tzv. zelených aktivít (separovanie odpadu, šetrenie energie, atď.), ale i zo stránky spoločenskej zodpovednosti voči komunite (obec, región, kraj). Samozrejme je potrebné, aby v rámci koncepcie zeleného marketingu, bola uskutočňovaná analýza a tiež kontrola, či dané procesy prebiehajú v súlade s cieľom koncepcie a vízie spoločnosti.

Spoločnosť Amway si zakladá na ekologickom prístupe už od začiatkov fungovania spoločnosti na zahraničnom trhu. Pre túto spoločnosť prezentovať sa ochranou životného prostredia nie je len podporovať svoj image, ale skutočne prispievať k budovaniu lepšieho prostredia okolo nás. *Odporúčanie* by tak smerovalo iba na posilnenie určitého postavenia v tejto oblasti v rámci Slovenska. Svoj ekologický prístup by mala spoločnosť rozdeliť medzi jednotlivé trhy, na ktorých pôsobí. To znamená, že spoločnosť Amway Slovensko by mala vo veľkej miere pristupovať k prezentácii svojho prínosu a budovaniu spoločenskej zodpovednosti voči svojim stálym, ale aj i potenciálnym zákazníkom.

Spoločnosť Matador považuje koncepciu zeleného marketingu za jednu z možností, ako si upevniť svoje postavenie na slovenskom, ale i zahraničnom trhu. Automobilový priemysel je považovaný za pomerne veľkú hrozbu pri znečistení životného prostredia, predovšetkým prostredníctvom emisií oxidu uhličitého a dusíka. Zlepšiť situáciu nechce len verejnosť, vláda, organizácie, ale i samotný automobilový priemysel. Spoločnosť Matador, ako jeden z mnohých dodávateľov, vidí príležitosť práve v analýze a sledovaní nových trendov a ich prístupe k ochrane životného prostredia. Je to príležitosť, ako zvyšovať svoj trhový podiel a zároveň svojou činnosťou prispievať k tejto ochrane. *Odporúčania* by smerovali hlavne na oblasť analýzy a dôkladnej kontroly procesu zeleného marketingu v spoločnosti, keďže automobilový priemysel prechádza pomerne rýchlym vývojom.

Pri *spoločnosti Dóvera* sme sa dozvedeli, že koncepcia zeleného marketingu je orientovaná predovšetkým na spoločenskú zodpovednosť voči celej komunite. *Odporúčaním* v tomto prípade je zamerať sa na využívanie prvkov udržateľného marketingového mixu. Hlbšia analýza daných prvkov dokáže spoločnosti odhaliť požiadavky a potreby spoločnosti, odhaliť príležitosti, ale i posilniť svoje ekologické zmýšľanie v očiach verejnosti.

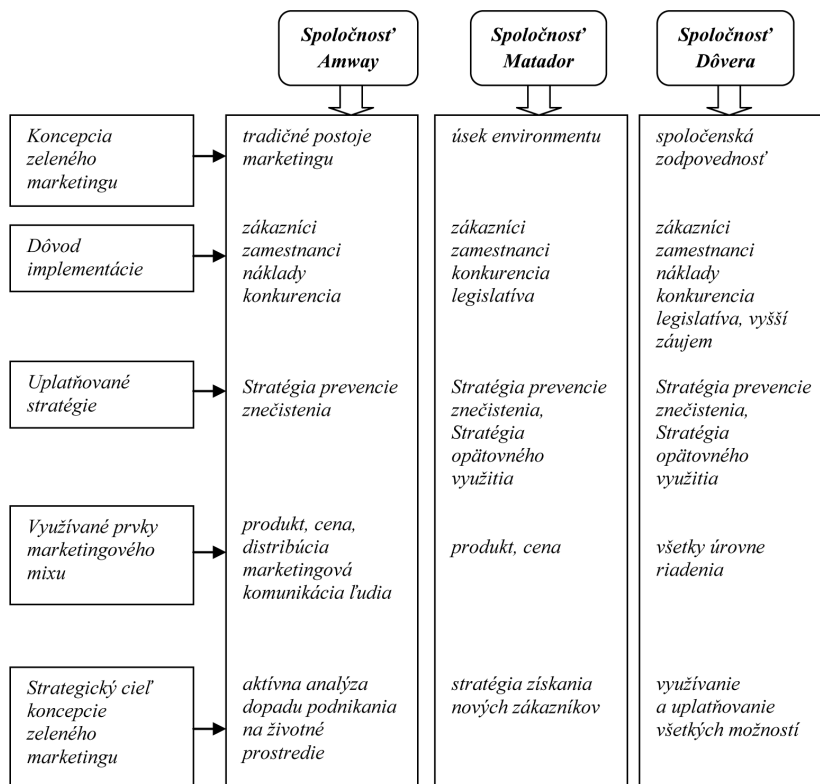


Schéma 4. Koncepcia zeleného marketingu vo vybraných podnikoch
Scheme 4. Conception of the green marketing in chosen enterprises

Asi každý z nás si uvedomuje, že potreba zvyšovania ochrany životného prostredia je veľmi dôležitá. Podstatou je, aby si vláda, verejnosť, ale i podniky uvedomili zodpovednosť, ktorú majú voči životnému prostrediu. Hlavným cieľom by preto malo byť uplatnenie vhodnej politiky a jej nástrojov, ktoré vedú k vytvoreniu stabilnej spoločnosti.

5. ZÁVER

V dnešnej dobe sa zelené podnikanie uplatňuje v čoraz väčšom počte nielen vo veľkých podnikoch, ale trend postupuje aj medzi stredné a menšie podniky. Hlavným dôvodom zmeny sú najmä rozsiahle klimatické zmeny, ale aj kladené požiadavky zo strany verejnosti na ochranu životného prostredia. Riešenia zohľadňujúce ochranu životného prostredia sú však považované za drahé a v niektorých prípadoch znamenajú záťaž. Najmä po hospodárskej kríze, ktorá negatívne ovplyvnila globálny trh, je zelený rast niektorých spoločností len alternatívnou témou.

V odbornej literatúre sa môžeme stretnúť s niekoľkými názvami, ktoré riešia vzťah racionálneho marketingového manažmentu a spotrebiteľského vzorca správania, teda spotrebe. Najčastejšie sa však vyskytuje práve pojem zelený marketing. Konceptia zeleného marketingu vznikla koncom 80-tych rokov, ako reakcia na nových zelených zákazníkov. Títo zákazníci sa vyznačujú environmentálnym uvedomením, zodpovednosťou a aktivitou vo svojom spotrebiteľskom správaní. Pojem zelený marketing môžeme definovať ako špecifický druh marketingu, ktorý je založený na princípoch tradičného marketingu, ale so zameraním na ekologické výrobky.

Úlohou zeleného marketingu je zamerať sa predovšetkým na činnosti, ktorých cieľom je uspokojiť ľudské potreby, s minimálnym dopadom na životné prostredie. Charakteristickou črtou je zodpovedný proces, ktorý dokáže predvídať a hľadať možnosti uspokojenia potreby zákazníkov i podniku, efektívnym a udržateľným spôsobom.

Všetky tri nami vybrané podniky uplatňujú koncepciu zeleného marketingu, aj keď daná oblasť nie je uvedená pod týmto názvom. Veľkou snahou je nielen ochrana životného prostredia, ale prispievanie k budovaniu spoločenského rozvoja komunity.

6. Literatúra

- BARTÁKOVÁ, G. – GUBÍNIOVÁ, K. 2012. Udržateľný marketingový manažment. Bratislava: IAM Press, 2012. 236 s. ISBN 978-80-89600-08-3.
- JONES, V. 2011. Zelená ekonomika: Jednořešení pro dvanejdvětší problémy. Vyšehrad, 2011. 219 s. ISBN 978-80-742-9032-9.
- KITA, J.: Případové štúdie z marketingu, Bratislava: Vydavateľstvo Ekonóm 1997, s 192, ISBN 80-225-0834-9.
- KOTLER, P. – VONG, V. – SAUNDERS, J. – ARMSTRONG, G. 2007. Moderní marketing 4.európske vydanie. Praha: Grada Publishing, a.s., 2007. 1041 s. ISBN 80-2471-545-2.
- LAMNEK, S., 1993a: Qualitative Sozialforschung, Band 1: Methodologie. 2. überarb. Auflage, Beltz, Psychologie Verlags Union, Weinheim, 308 p.
- OTTMAN, J. 2011. The New Rules of Green Marketing: Strategies, Tools and Inspiration for Sustainable Branding. Berrett-Koehler Publishers, 2011. 256 p. ISBN 978-1-60509-866-1.
- SILVERMAN, D.: Interpreting Qualitative Data, Third Edition, Methods for Analyzing Talk, Text and Interaction, SAGE Publications, London, 2006, p 109–152, ISBN 1-4129-2245-3.
- YIN, R. K.: Case Study Research. Design and Methods, Third Edition. SAGE Publications, California 2003, p 181, ISBN 0-7619-2553-8.
-

Adresa autorov:

Bc. Daniela Tisovská

2. ročník, MFLP

Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24

960 53 Zvolen

e-mail: tisovskadaniela@gmail.com

Ing. Daniel Halaj, PhD.
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
Lesnícka fakulta, KERLH
960 53 Zvolen
e-mail: halaj@tuzvo.sk

Využitie zeleného marketingu v managemente vybraných firiem na Slovensku

Abstrakt

Článok sa zaoberá implementáciou zeleného marketingu vo vybraných podnikoch, v rámci rozdielnych sektorov hospodárstva v podmienkach Slovenska. Pre tento zámer poslúžili tri vybrané spoločnosti, konkrétne výrobná, obchodná a spoločnosť ponúkajúca služby, menovite spoločnosti Matador Automotive Vráble, a.s., Amway Slovensko, s.r.o., a Dôvera zdravotná poisťovňa, a.s. Potrebne informácie pre analýzu sme získali na základe štruktúrovaného dotazníka, ktorý sme odoslali do vybraných spoločností. Výsledkom je prípadová štúdia pozostávajúca z porovnania implementácie nástrojov zeleného marketingu v troch rozdielnych spoločnostiach. Článok poukazuje na rozdielny spôsob realizácie zeleného marketingu manažmentom vybraných spoločností v závislosti od charakteru ich podnikania, ako aj rozdielnej miery prínosu pre trvalo-udržateľný rozvoj spoločnosti.

Kľúčové slová: zelený marketing, marketingový mix, spoločenská zodpovednosť podniku, SWOT analýza

MONITOROVANIE POČETNOSTI LYKOŽRÚTA JEDĽOVÉHO (*PITYOKTEINES CURVIDENS* GERM.) PROSTREDNÍCTVOM FEROMÓNOVÝCH LAPAČOV VO VYBRANÝCH LOKALITÁCH VÝSKUMU

Richard WEISZ – Milan KODRÍK

Weisz, R., Kodrík, M.: Frequency monitoring of silver fir bark beetle (*Pityokteines curvidens* Germ.) via pheromone traps in selected research areas. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 56, Suppl. 1, 2014, 171–188.

The aim of the research was to test pheromone evaporators to monitor abundance of fir bark beetle (*Pityokteines curvidens* Germar) and determine the effectiveness of various types of waste evaporators. For monitoring was used pheromone trap type Theysohn. The proposed method was based on the method PERNEK, LACKOVIĆ (2011), who accomplished research in the forests of Croatia. The research was conducted in orographic units Kremnicke vrchy, Polana and Volovske vrchy. 20 pheromone traps and 3 types of pheromone evaporators were used. Frequency of fir bark beetle (*Pityokteines curvidens* Germar) was monitored from June to November in different types of forest stands and in the calamity area in Poniky. There were trapped 1,896 imagoes of fir bark beetles (*Pityokteines curvidens* Germar). The other species of trapped bark beetles were recorded *Pityokteines spinidens* Reitter, *Pityokteines vorontzovi* Jacobson, *Pityogenes chalcographus* Linnaeus, *Ips typographus* Linnaeus and *Xyloterus lineatus* Oliver. We found another insect species in traps (Lepidoptera, Coleoptera and Hymenoptera).

Key words: lure traps, pheromone evaporators, fir bark beetle.

1 ÚVOD

Kambiofágne chrobáky predstavujú v súčasnosti jeden z najvýznamnejších problémov lesného hospodárstva na Slovensku a zároveň aj v ostatných krajinách Európy. Kambiofágne chrobáky sú významným faktorom, ktorý narušuje obhospodarovanie lesa, pretože sa značnou mierou podieľa na odumieraní drevín. Takmer na každú hospodársky významnú drevinu sú troficky viazané určité druhy kambiofágnych chrobákov. Výnimku nepredstavuje ani jedľa biela (*Abies alba* Mill.), na ktorej sa vyskytuje viacero druhov kambiofágnych chrobákov. Jedna skupina zahŕňa druhy, ktoré napádajú živé, prípadne chradnúce jedle a je im pripisovaný hospodársky význam. Do druhej skupiny zaradíme druhy, ktoré nalietavajú a vyvíjajú sa pod kôrou, alebo v dreve odumretých jedlí a nie je im pripisovaný hospodársky význam.

V polovici 20. storočia sme zaznamenali rozsiahle odumieranie jedle, ktorého príčina spočiatku nebola známa. Bolo sformulovaných viacero hypotéz o možných príčinách odu-

mierania. Viacero odborníkov sa zamýšľalo nad možnosťou, že jednou z príčin odumierania môžu byť kambiofágne chrobáky. Na základe monitorovania priebehu odumierania v jednotlivých oblastiach a rozborom faktorov podieľajúcich sa na odumieraní jedle, ako príčina bol uvedený komplex negatívne pôsobiacich biotických, abiotických a antropogénnych faktorov.

Významnosť kambiofágnych chrobákov v procese odumierania jedle nebola známa, rovnako ako miera ich škodlivosti a škodlivý dopad na jedľové porasty. Problematike kambiofágnych chrobákov na jedli nebola v minulosti venovaná náležitá pozornosť. Monitorovanie početnosti kambiofágnych chrobákov na jedli sa v lesníckej praxi bežne nevykonáva. V rámcových smerniciach ochrany lesov (1965) sa odporúča monitorovanie početnosti lykožrútov rodu *Pityokteines* a kôrnika jedľového (*Cryphalus piceae* Ratz.) vykonávať pomocou ležiacich lapákov, zároveň sa odporúča monitorovanie smoliara jedľového (*Pissodes piceae* Ill.) na stromoch podľa príznakov napadnutia. Monitorovanie početnosti feromónovými lapačmi sa v lesníckej praxi nevykonáva a feromónové odparníky pre účely monitorovania početnosti lykožrúta jedľového (*Pityokteines curvidens* Germ.) od spoločnosti Fytofarm s.r.o., nie sú pre potreby praxe k dispozícii. Monitorovanie početnosti lykožrúta jedľového prostredníctvom feromónových lapačov sa vykonáva v Rakúsku a feromónový odparník vyvinula spoločnosť Witasek.

2 MATERIÁL A METÓDY

2.1 Charakteristika výskumných plôch

Výskum sa uskutočnil v 15 porastoch v štyroch vybraných lokalitách. Prvou je lokalita VŠLP Zvolen, ktorá sa nachádza v Kremnických vrchoch. V orografickom celku Poľana boli vybrané lokality Kyslinky a Poniky. Poslednou lokalitou je Smolník, ktorá sa nachádza v orografickom celku Volovské vrchy. V uvedených lokalitách má jedľa prirodzený areál rozšírenia PAGAN (1992). Ekologické podmienky zodpovedajú ekologickým nárokom jedle, rovnako ako spôsoby obhospodarovania porastov. Porasty boli vybrané na základe percentuálneho zastúpenia jedle, veku porastu a zastúpenia SLT, v ktorých má jedľa prirodzené zastúpenie. Vybrané porasty sa odlišovali expozíciou, sklonom, bonitou, percentuálnym zastúpením lesných typov, HSLT, percentuálnym zastúpením jedle.

Zdravotný stav jedle vo vybraných oblastiach je dobrý. Medzi významné škodlivé činitele poškodzujúce jedľu patrí vietor, imelo, zver a v minulosti aj imisie.

Tab. 1 Vybrané porasty pre metódu feromónových lapačov
Tab. 1 Selected stands for the pheromone trapes method

JPRL	Lokalita	Expozícia	Lesné typy	Zastúpenie JD (%)	Bonita JD	Zakm.	Vek
520 A 11	Smolník	SZ	5207 90 %, 5303 10 %	91	26	0,1	75
519 A 00		SZ	5207 100 %	96	26	0,8	130
513 01		SV	4113 100 %	45	34	0,7	130
19 11		V	5206 40 %, 4301 30 %, 5203 30 %	35	28	0,6	115
40 01		Z	4301 60 %, 5206 20 %, 4304 20 %	50	24	0,5	150
249 I 00		S	5203 90 %, 5208 10 %	75	32	0,51	110
236 A 11		S	5203 80 %, 5103 10 %, 6107 10 %	70	28	0,55	90
5217 00	Poniky	SZ	4304 80 %, 4313 20 %	78	24	0,56	115
309 11	Kyslinky	Z	5301 90 %, 5304 10 %	25	26	0,64	160
311 11		Z	5401 70 %, 5402 20 %, 5408 10 %	36	26	0,4	160
739 00	VŠLP Zvolen	JZ	4316 70 %, 5407 30 %	25	28	0,53	100
740 I 00		Z	4316 80 %, 5407 10 %, 5501 10 %	28	30	0,63	105
771 I 00		SZ	5304 80 %, 5401 10 %, 5406 10 %	21	28	0,63	105
773 B 00		Z	5304 80 %, 5401 10 %, 5406 10 %	34	26	0,74	125
732 I 11		V	5304 80 %, 5401 20 %	34	30	0,87	110

Vysvetlivky: JPRL – jednotka priestorového rozdelenia lesa, JD – jedľa biela, zakm. – zakmenenie

2.2 Metóda feromónových lapačov

Navrhované postupy monitorovania vychádzajú z metodiky PERNEK, LACKOVIĆ (2011), ktorí uvedenú metódu testovali v lesoch Chorvátska.

Pre túto metódu bol použitý feromónový lapač typu Theysohn. Zberná nádoba bola naplnená vodou, aby sa zabránilo možnému úniku odchyteného hmyzu a rovnako aj konzumácií dravými druhmi hmyzu. Do vody bolo pridané malé množstvo detergentu za účelom zníženia povrchového napätia vodnej hladiny v zbernej nádobke. Do vody bola zároveň pridaná konzervačná látka propylénglykol za účelom spomalenia, resp. zabránenia rozkladu odchyteného hmyzu. Použité boli 3 typy odparníkov, feromónový odparník s označením Curviwit od spoločnosti Witasek a 2 vývojové odparníky s označením Fytofarm 1 a Fytofarm 2 od spoločnosti Fytofarm.

Vzdialenosť feromónových lapačov od porastovej steny bola 15 metrov a rozstup medzi jednotlivými feromónovými lapačmi bol 200 metrov. Údaje o poraste, pri ktorom bol feromónový lapač umiestnený boli zistené z Plánu starostlivosti o les. Zaznamenali sa nasledovné porastové charakteristiky: percentuálne zastúpenie jedle a ostatných drevín, bonita jedle, percentuálne zastúpenie lesných typov, nadmorská výška porastu, vek a expozícia (tab. 1).

Feromónové lapače boli kontrolované v mesiacoch jún až november. Kontrola odchyteného hmyzu sa vykonávala v intervale 14 dní. Odchytený hmyz z jednotlivých feromónových lapačov bol odoberaný do skúmaviek a v laboratórnych podmienkach bol následne analyzovaný. Vykonaná analýza zahŕňala determináciu odchyteného hmyzu, za-

znamenávanie početnosti a pomeru pohlavia odchytených druhov kambiofágneho hmyzu, zaznamenávanie početnosti predátorov, parazitoidov a ostatných druhov hmyzu. Determinácia odchyteného hmyzu sa vykonávala prostredníctvom binokulárnej lupy a určovacích kľúčov (PFFEFER 1989, PAVLÍK 2005).

Získané údaje boli rozčlenené do prehľadových tabuliek v programe Excel 2010 a následne analyzované. Údaje o početnosti odchytených lykožrútov jedľových boli rozčlenené do tried relatívnych početností nasledovne:

- 1 – veľmi nízky stupeň odchyty (1 – 20 ks imág),
- 2 – nízky stupeň odchyty (21 – 50 ks imág),
- 3 – stredne vysoký stupeň odchyty (51 – 100 ks imág),
- 4 – vysoký stupeň odchyty (101 – 200 ks imág),
- 5 – veľmi vysoký stupeň odchyty (>200 ks imág).

Na základe početnosti odchytených imág lykožrúta jedľového (*Pityokteines curvidens*) pri jednotlivých kontrolách bola zhodnotená aktivita počas monitorovacieho obdobia v jednotlivých lokalitách. Následne bola zhodnotená efektívnosť použitých typov feromónových odparníkov podľa početnosti odchytených imág lykožrúta jedľového (*Pityokteines curvidens*), pomeru pohlavia odchytených imág, početnosti odchytených imág lykožrúta jedľového (*Pityokteines curvidens*) a iných druhov lykožrútov, ekologického indexu a početnosti odchytených imág lykožrúta jedľového (*Pityokteines curvidens*) a ne cieľových druhov hmyzu.

Vplyv stanovištných faktorov na stupeň odchyty bol analyzovaný v programe STATISTICA 10.0. Stanovenie významnosti jednotlivých faktorov bol vykonaný faktorovou analýzou SCHEER (2010).

3 VÝSLEDKY

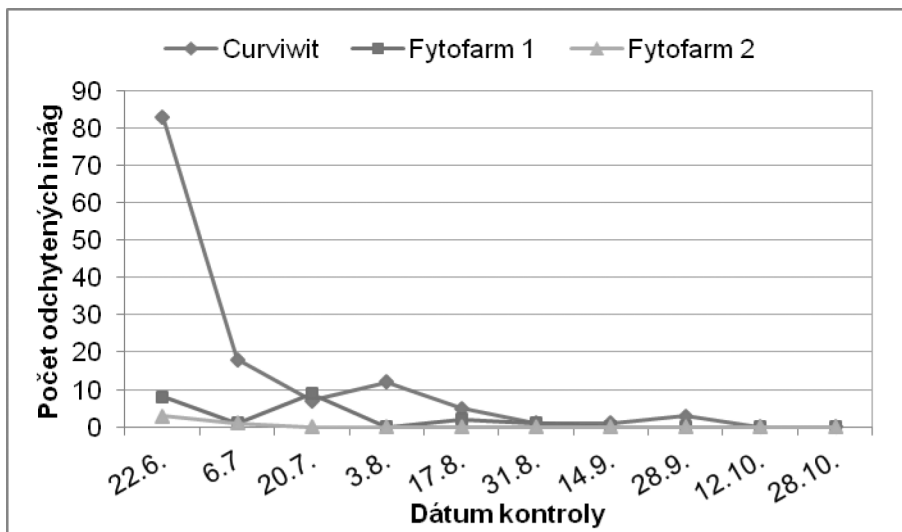
3.1 Odchyt lykožrúta jedľového feromónovými lapačmi v jednotlivých oblastiach

V lokalite Smolník bol najvyšší odchyt imág lykožrúta jedľového zaznamenaný v lapačoch navrhnutých feromónovým odparníkom Curviwit (obr. 1). Priebeh polygónu odchytených imág bol pri jednotlivých typoch feromónových odparníkov rozdielny.

Feromónovým odparníkom typu Curviwit bolo pri 1. kontrole (22. 6.) odchytených najviac kusov imág lykožrúta jedľového (*Pityokteines curvidens*) spomedzi všetkých typov odparníkov. Pri nasledovných kontrolách sa počet odchytených imág znížil a dosiahol 2 menšie vrcholy. Pri kontrole vykonanej dňa 12. 10. neboli zaznamenané odchytené imága.

Feromónovým odparníkom typu Fytofarm 1 bol najvyšší odchyt imág zaznamenaný pri 3. kontrole (20. 7.). Pri nasledovných kontrolách sa počet odchytených imág znížil a od kontroly vykonanej dňa 28. 9. odchytené imága neboli zaznamenané.

Feromónovým odparníkom typu Fytofarm 2 boli odchytené imága zaznamenané pri 1. a 2. kontrole, pri nasledovných kontrolách už neboli zaznamenané odchytené imága.



Obr. 1 Odchyt lykožrúta jedľového v lokalite Smolník

Fig. 1 Trapping of fir bark beetle in location Smolník

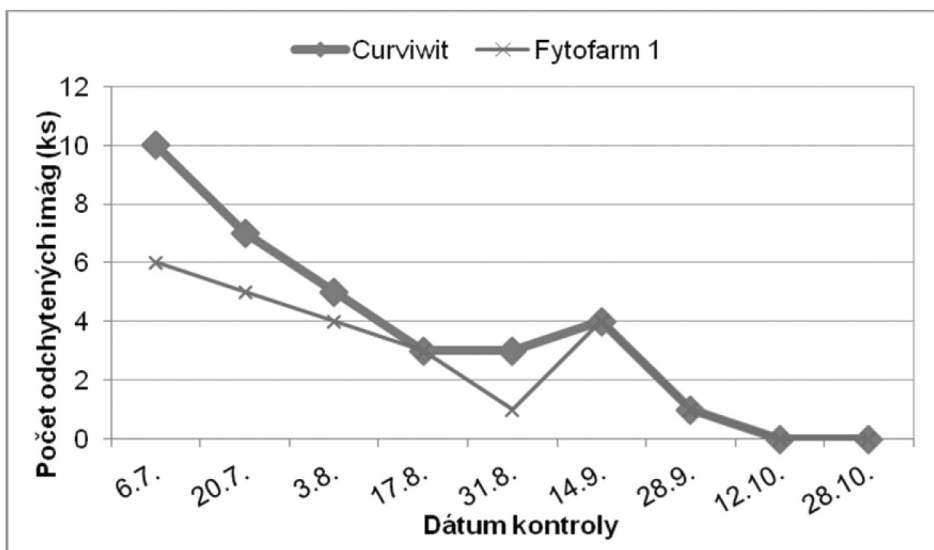
V lokalite Kyslinky boli použité iba feromónové odparníky typu Curviwit a Fytofarm 1. Najvyšší odchyt imág lykožrúta jedľového (*Pityokteines curvidens*) bol zaznamenaný v lapačoch navnadených feromónovým odparníkom Curviwit (obr. 2).

Priebeh polygónu odchytených imág bol pri oboch typoch použitých feromónových odparníkov odlišný. Feromónovým odparníkom typu Curviwit bolo pri 1. kontrole odchytených najviac kusov imág lykožrúta jedľového (*Pityokteines curvidens*). Pri nasledovných kontrolách sa počet odchytených imág znížil a dosiahol menší vrchol pri 6. kontrole (14. 9.). Pri 8. a 9. kontrole neboli zaznamenané odchytené imága.

Feromónovým odparníkom typu Fytofarm 1 bol najvyšší odchyt imág zaznamenaný pri 1. kontrole (6. 7.). Pri ďalších kontrolách sa počet odchytených imág lykožrúta jedľového (*Pityokteines curvidens*) znížil. Rovnako ako pri odparníku typu Curviwit krivka dosiahla menší vrchol pri 6. kontrole (14. 9.). Pri 9. a 10. kontrole neboli zaznamenané odchytené imága.

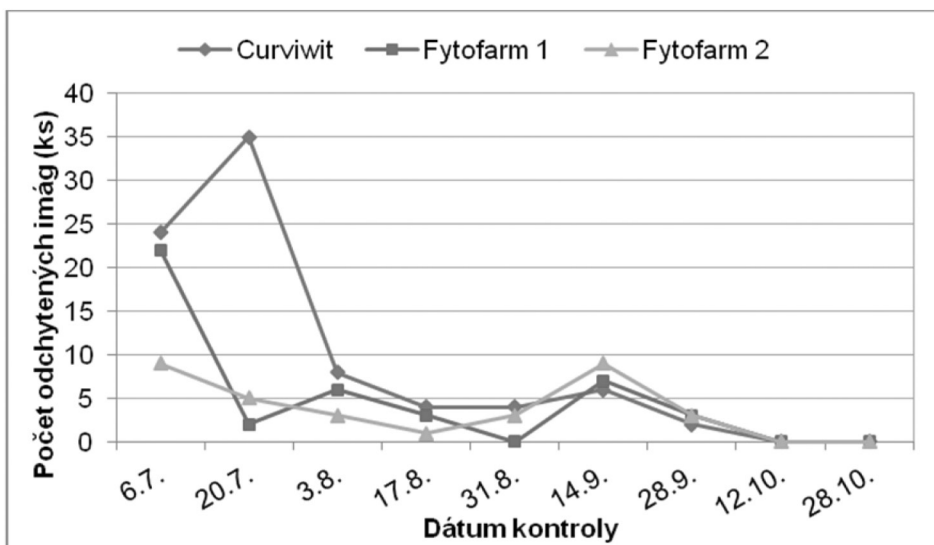
V lokalite Poniky bol najvyšší odchyt imág lykožrúta jedľového (*Pityokteines curvidens*) zaznamenaný v lapačoch s feromónovým odparníkom typu Curviwit (obr. 3).

Priebeh polygónu odchytených imág bol pri jednotlivých typoch feromónových odparníkov rozdielny. Feromónovým odparníkom typu Curviwit bol najvyšší odchyt imág lykožrúta jedľového (*Pityokteines curvidens*) zaznamenaný pri 2. kontrole (20. 7.). Pri nasledovných kontrolách sa počet odchytených imág znížil. K miernemu nárastu odchytených imág došlo pri 6. kontrole (14. 9.). Pri kontrole vykonanej dňa 12.10. neboli zaznamenané odchytené imága.



Obr. 2 Odchyt lykožrúta jedľového v lokalite Kyslinky

Fig. 2 Trapping of fir bark beetle in location Kyslinky



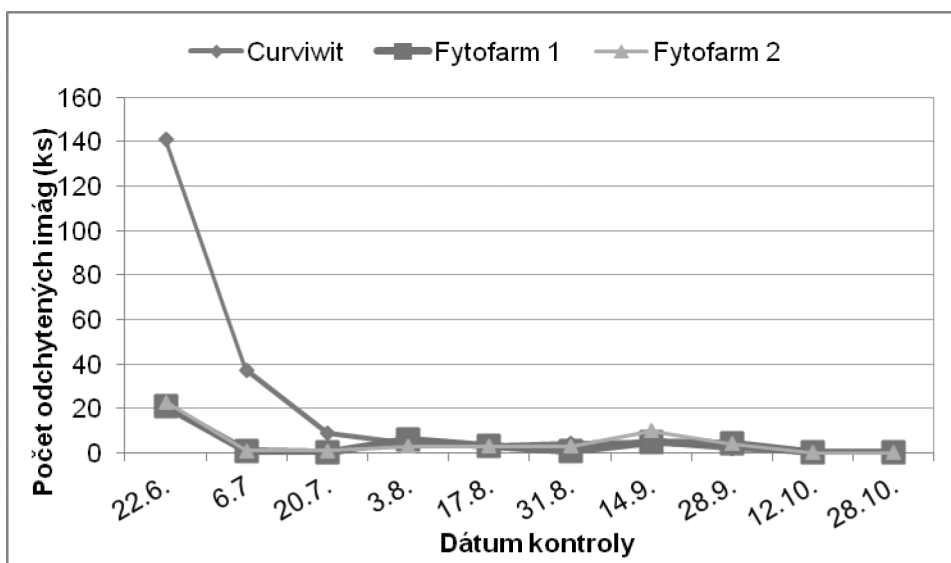
Obr. 3 Odchyt lykožrúta jedľového v lokalite Poniky

Fig. 3 Trapping of fir bark beetle in location Poniky

Feromónovým odpárnikom typu Fytofarm 1 bol najvyšší odchyt imág zaznamenaný pri 1. kontrole (6. 7.). Pri nasledovných kontrolách bol počet odchytených imág značne nerovnomerný. Zvýšenie početnosti odchytených imág bolo zaznamenané pri 3. (3. 8.) a 6. kontrole (14. 9.). Pri 8. kontrole (12. 10.) už neboli zaznamenané odchytené imága.

V rámci testovania feromónového odpárnika typu Fytofarm 2 bol najvyšší odchyt imág zaznamenaný pri 1. kontrole (6. 7.). Pri nasledovných kontrolách sa počet odchytených imág znížil. Pri 4. kontrole sa počet odchytených imág mierne zvýšil a mierny vrchol bol zaznamenaný pri 6. kontrole. Pri 8. kontrole (12. 10.) už neboli zaznamenané odchytené imága.

V lokalite VŠLP Zvolen bol najvyšší odchyt imág lykožrúta jedľového (*Pityokteines curvidens*) zaznamenaný v lapačoch navnadených feromónovým odpárnikom typu Curviwit (obr. 4).



Obr. 4 Odchyt lykožrúta jedľového v lokalite VŠLP Zvolen

Fig. 4 Trapping of fir bark beetle in location VŠLP Zvolen

Feromónovým odpárnikom typu Curviwit bolo pri 1. kontrole (22. 6.) odchytených najviac imág lykožrúta jedľového (*Pityokteines curvidens*). Pri nasledovných kontrolách sa počet odchytených imág znížil a dosiahol menší vrchol pri 7. kontrole (14. 9.). Pri 9. a 10. kontrole neboli zaznamenané odchytené imága.

Priebeh kriviek s použitím odpárnikov typu Fytofarm 1 a Fytofarm 2 bol podobný. Najvyšší počet odchytených imág bol zaznamenaný pri 1. kontrole (22. 6.). Pri nasledovných kontrolách sa počet odchytených imág v rámci oboch typov odpárnikov znížil

a k miernemu nárastu došlo pri 7. kontrole (14. 9.). Pri 9. a 10. kontrole neboli zaznamenané odchytené imága.

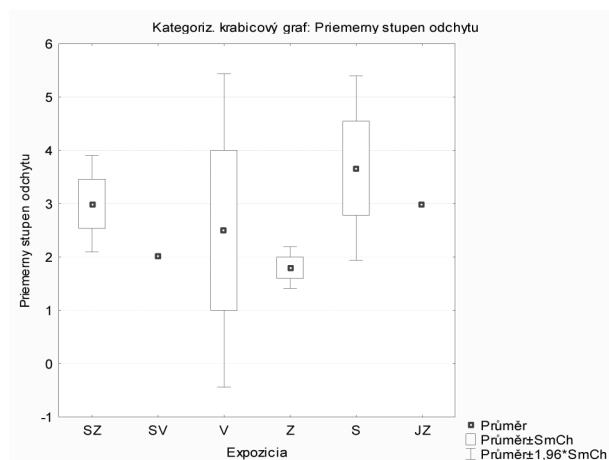
Porovnaním údajov o početnostiach odchytených imág v rámci kontrol v jednotlivých oblastiach sú zrejme značné rozdiely nielen medzi jednotlivými oblasťami, ale aj typmi odparníkov. Najvyššie hodnoty odchytených imág boli zistené prevažne pri 1. kontrole. Pri ďalších kontrolách sa početnosti odchytených imág znižovali a dosahovali mierne vrcholy koncom augusta, resp. v polovici septembra, čo bolo ovplyvnené nadmorskou výškou lokality, v ktorej bol feromónový lapač umiestnený.

Celkovo však je možné pri všetkých typoch odparníkov konštatovať nízku úroveň odchyty, čo bolo spôsobené tým, že feromónové lapače boli v daných lokalitách umiestnené až po termíne jarneho rojenia, prebiehajúceho koncom marca až začiatkom apríla, ale pred začiatkom letného rojenia, ktoré prebieha od júla do augusta. Priebeh rojenia je do značnej miery ovplyvnený priebehom počasia v danej oblasti ako aj nadmorskou výškou (SCHWENKE 1974).

3.2 Vplyv sledovaných faktorov na priemerný stupeň odchyty lykožrúta jedľového

Priemerný stupeň odchyty lykožrúta jedľového (*Pityokteines curvidens*) bol posudzovaný podľa expozície, sklonu, oblasti výskumu, zastúpenia a bonity jedle, veku porastu, nadmorskej výšky a hospodárskeho spôsobu.

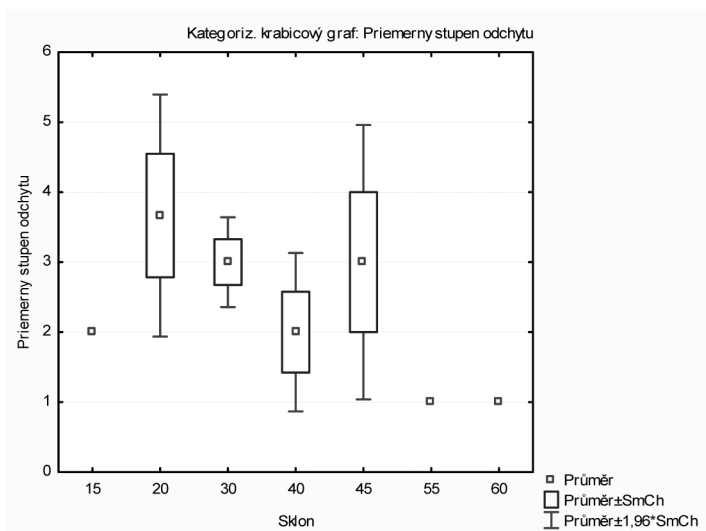
Najvyšší priemerný stupeň odchyty bol zaznamenaný na S, SZ a JZ expozíciách (obr. 5). Nižšie hodnoty boli zaznamenané na ostatných expozíciách.



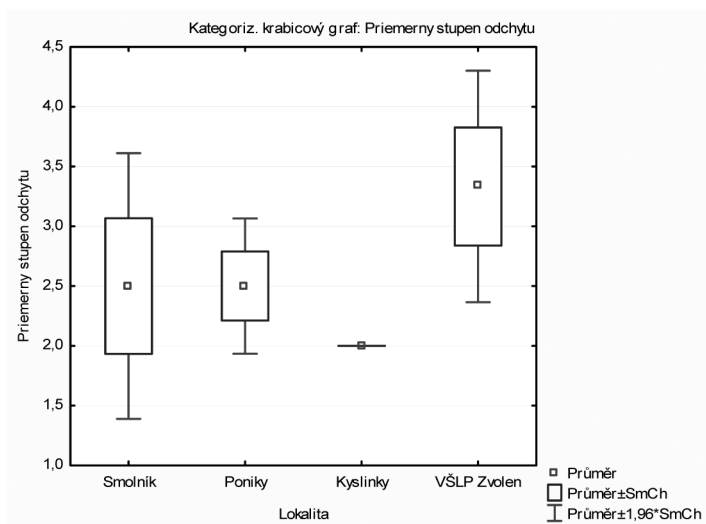
Obr. 5 Priemerný stupeň odchyty v závislosti od expozície

Fig. 5 Average degree of trapping, depending on the exposure

Najvyššie hodnoty priemerného stupňa odchytu boli zaznamenané v porastoch s mier-
nym sklonom (obr. 6). S pribúdajúcim sklonom sa stupeň odchytu znižoval.



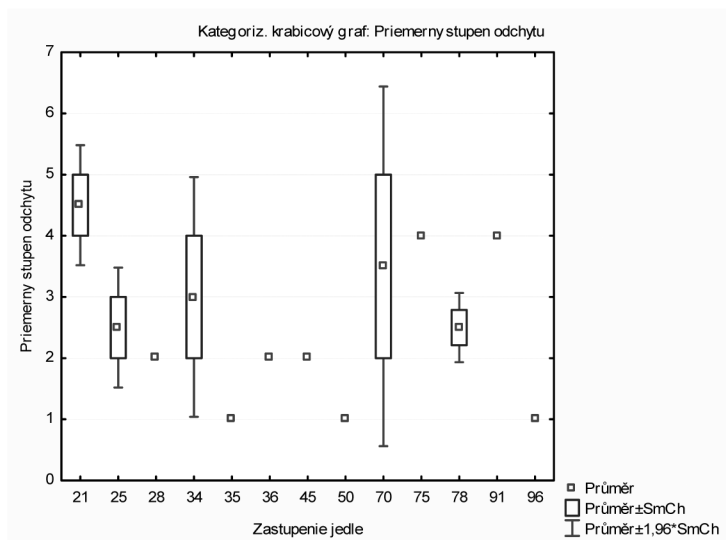
Obr. 6 Priemerný stupeň odchytu v závislosti od sklonu terénu
Fig. 6 Average degree of trapping depending on the slope of the terrain



Obr. 7 Priemerný stupeň odchytu v závislosti od oblasti výskumu
Fig. 7 Average degree of trapping depending on researched area

Najvyšší priemerný stupeň odchyty bol zaznamenaný v lokalite VŠLP Zvolen. Rovnaké hodnoty boli zaznamenané v lokalitách Smolníka a Poniky a najnižšie v lokalite Kyslínky (obr. 7).

Hodnoty priemerného stupňa odchyty sa v porastoch s rozličným zastúpením jedle značne odlišovali (obr. 8). Najvyššie hodnoty boli zaznamenané v porastoch s nízkym a vysokým zastúpením jedle. Najnižšie hodnoty stupňa odchyty boli zaznamenané v porastoch so stredným a stredne vysokým zastúpením jedle.



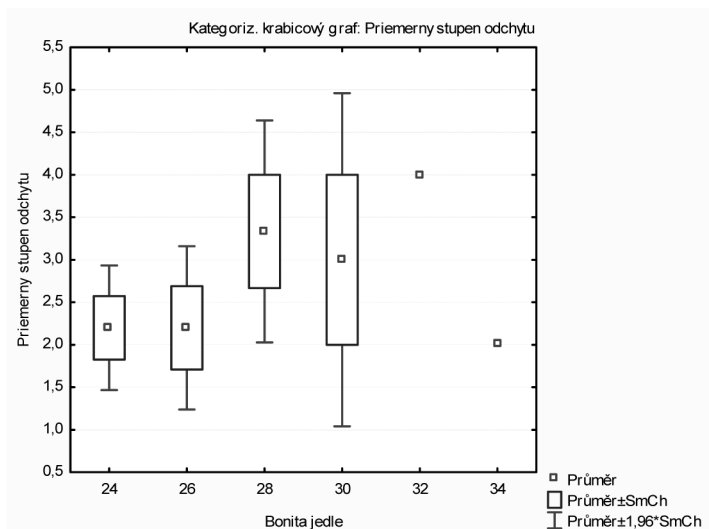
Obr. 8 Priemerný stupeň odchyty v závislosti od zastúpenia jedle v porastoch
Fig. 8 Average degree of trapping depending on representation of silver fir in forest stands

Najvyššie hodnoty boli zaznamenané v porastoch s vyšším hodnotami bonity jedle (obr. 9). Najnižšie hodnoty priemerného stupňa odchyty boli zaznamenané v porastoch s nízkymi bonitami jedle, ale aj v porastoch s vysokou hodnotou bonity jedle.

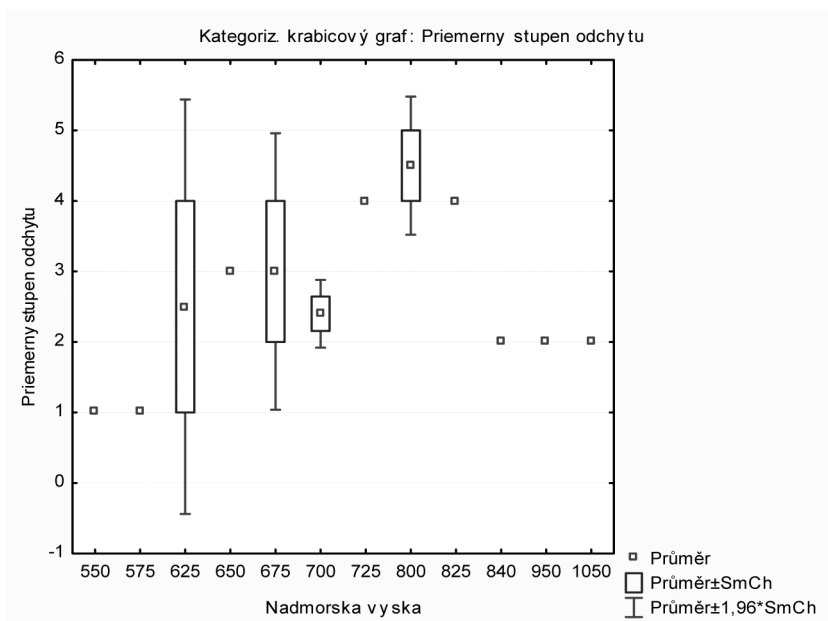
Najnižšie hodnoty priemerného stupňa odchyty boli zaznamenané v porastoch s nízkou nadmorskou výškou (obr. 10). S pribúdajúcou nadmorskou výškou sa priemerný stupeň odchyty zvyšoval, v nadmorskej výške 800 m n. m. dosahoval maximum a následne klesal.

Vysoké hodnoty priemerného stupňa odchyty boli zaznamenané v porastoch vo veku od 75 do 110 rokov (obr. 11). S pribúdajúcim vekom sa stupeň odchyty znižoval a minimum dosahoval pri porastoch vo veku 150 rokov.

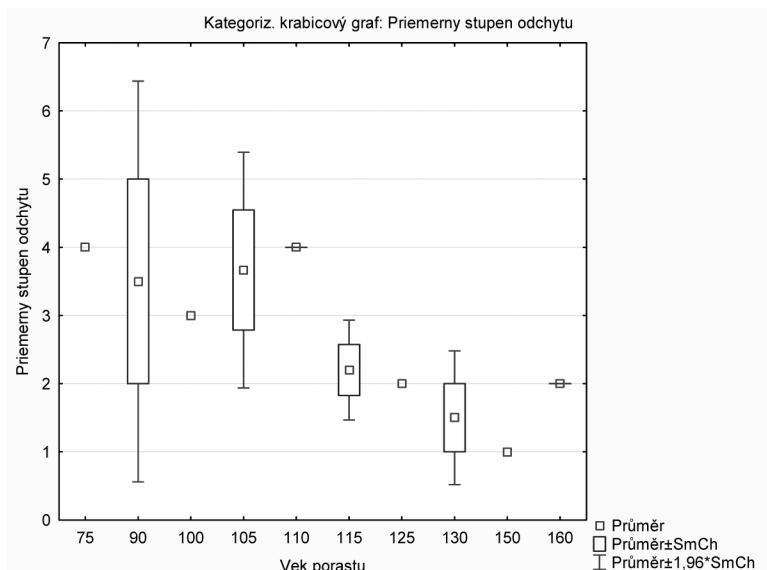
Vybrané porasty sa vzájomne odlišovali štruktúrou a spôsobom obhospodarovania. Najvyššie hodnoty priemerného stupňa odchyty boli zaznamenané v porastoch obhospodarovných holorubným hospodárskym spôsobom, nižšie hodnoty v porastoch s porastovým a najnižšie v porastoch s výberkovým hospodárskym spôsobom (obr. 12).



Obr. 9 Priemerný stupeň odchytu v závislosti od bonity jedle
 Fig. 9 Average degree of trapping depending on fir worthiness

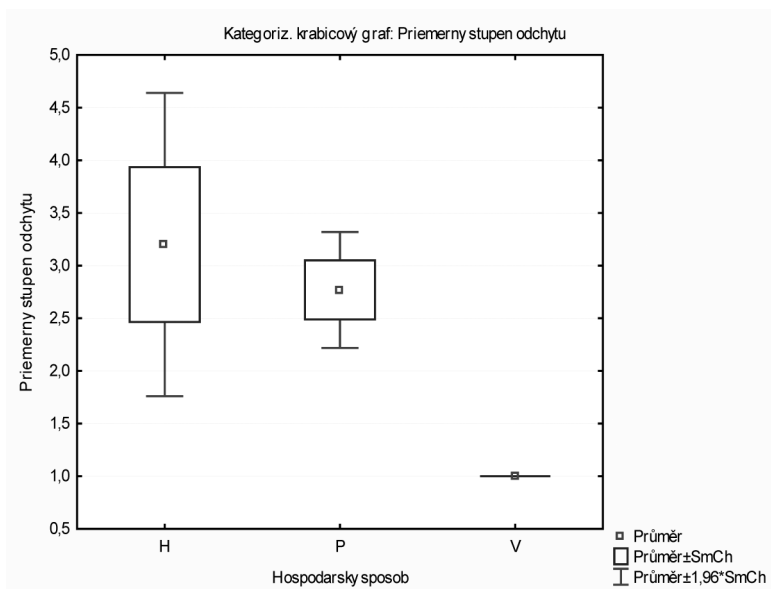


Obr. 10 Priemerný stupeň odchytu v závislosti od nadmorskej výšky
 Fig. 10 Average degree of trapping, depending on the altitude



Obr. 11 Priemerný stupeň odchyty v závislosti od veku porastu

Fig. 11 Average degree of trapping depending on the age of forest stands



Obr. 12 Priemerný stupeň odchyty v závislosti od hospodárskeho spôsobu

Fig. 12 Average degree of trapping depending on homestead mode

3.3 Stanovenie efektívnosti jednotlivých typov odparníkov

Efektívnosť jednotlivých typov použitých odparníkov bola zhodnotená na základe počtu odchytených imág lykožrúta jedľového (*Pityokteines curvidens*), pomeru pohlavia odchytených imág, pomeru odchytených imág lykožrúta jedľového a ostatných druhov lykožrútov, ekologického indexu a pomeru odchytených imág lykožrúta jedľového a ostatných druhov hmyzu (tab. 2).

Tab.2 Efektívnosť jednotlivých typov odparníkov
Tab. 2 Effectiveness of various types of evaporators

Lokalita	Typ odparníka	Počet odchytených lykožrútov jedľových (<i>Pityokteines curvidens</i>)	Pomer pohlavia odchytených lykožrútov (samček : samička)	Pomer odchytených lykožrútov jedľových (<i>Pityokteines curvidens</i>) k ostatným druhom lykožrútov	Ekologický index	Pomer odchytených lykožrútov jedľových (<i>Pityokteines curvidens</i>) k necieľovým druhom hmyzu
Smolník	Curviwit	653	1 : 2	1 : 0,24	0,29	1 : 0,48
	Fytofarm 1	39	1 : 2	1 : 0,79	2,13	1 : 1,46
	Fytofarm 2	4	1 : 1	1 : 1,25	5,00	1 : 18,5
Kyslinsky	Curviwit	33	1 : 2	1 : 1,45	1,06	1 : 3,15
	Fytofarm 1	24	1 : 1,4	1 : 0,75	1,00	1 : 4,8
Poniky	Curviwit	160	1 : 1,4	1 : 48	0,31	1 : 0,87
	Fytofarm 1	43	1 : 0,86	1 : 129	0,93	1 : 1,07
	Fytofarm 2	33	1 : 1,05	1 : 46	0,69	1 : 1,39
VŠLP Zvolen	Curviwit	818	1 : 2,5	1 : 0,17	0,35	1 : 1,66
	Fytofarm 1	41	1 : 4	1 : 1	1,85	1 : 6,7
	Fytofarm 2	48	1 : 1,5	1 : 0,56	2,63	1 : 3,9
Celkovo	Curviwit	1 664	1 : 2	1 : 4,8	0,34	1 : 1,1
	Fytofarm 1	147	1 : 2	1 : 38	1,55	1 : 3,34
	Fytofarm 2	85	1 : 1	1 : 18,1	2,10	1 : 3,6

V lokalite Smolník bol zaznamenaný najvyšší odchyt lykožrútov jedľových (*Pityokteines curvidens*) s typom odparníka Curviwit. Účinnosť odparníkov typu Fytofarm bola výrazne nižšia.

Pomer pohlavia odchytených lykožrútov bol s použitými typmi odparníkov relatívne vyrovnaný. Použitím odparníkov typu Curviwit a Fytofarm 1 bol počet odchytených samičiek dvojnásobný oproti samčekom. Pri odparníku typu Fytofarm 2 bol odchytený rovnaký počet samcov a samíc.

Odparníky typu Curviwit boli v tejto lokalite efektívne na odchyt lykožrútov jedľových oproti ostatným druhom lykožrútov. Použitím odparníka typu Fytofarm 2 bolo

zistené až o štvrtinu vyššie množstvo odchytených lykožrútov iného druhu v porovnaní s lykožrútom jedľovým.

Najlepšie hodnoty ekologického indexu v lokalite Smolník dosahovali odparníky typu Curviwit. Ekologický index odparníka typu Fytofarm 1 bol 7,3-krát vyšší a odparníka typu Fytofarm 2 až 17,2-krát vyšší, než odparníka typu Curviwit. Odparníky typu Fytofarm 2 v tejto lokalite vykazovali najvyššiu hodnotu ekologického indexu zo všetkých lokalít v rámci celého výskumu. Podobný trend ako pomer odchytených lykožrútov jedľových k ostatným druhom lykožrútov má aj pomer odchytených lykožrútov jedľových k necieľovým druhom hmyzu. Odparníky typu Curviwit odchytili polovičné množstvo necieľových druhov hmyzu v porovnaní s odchytenými lykožrútmí jedľovými. Naopak, o polovicu vyššie množstvo necieľových druhov hmyzu sa odchytil v lapačoch s odparníkom typu Fytofarm 1. V lapačoch s odparníkom typu Fytofarm 2 sa odchytilo 18,5-krát vyššie množstvo necieľového hmyzu ako lykožrútov jedľových.

V lokalite Kyslinky boli v lapačoch použité dva vybrané typy odparníkov – Curviwit a Fytofarm 1. V lapačoch s odparníkom typu Curviwit bol odchyt lykožrúta jedľového o 37,5 % vyšší ako v lapačoch s odparníkom typu Fytofarm 1. Pomer pohlaví odchytených lykožrútov bol nižší v lapačoch s odparníkom typu Fytofarm 1. Pri použití oboch typov odparníkov bolo opäť odchytených viac samičiek. Lapače s odparníkmi typu Curviwit v tejto lokalite odchytili o 45 % viac a lapače s odparníkmi Fytofarm 1 naopak o 25 % menej ostatných druhov lykožrútov, v porovnaní s lykožrútom jedľovým. Hodnoty ekologického indexu oboch typov odparníkov boli takmer identické a mali hodnotu 1. Pomer odchytených lykožrútov jedľových k ostatným druhom lykožrútov mal opačný trend, ako pomer odchytených lykožrútov jedľových k necieľovým druhom hmyzu. Lapače s odparníkmi typu Curviwit odchytili 3,15-krát viac a lapače s odparníkmi typu Fytofarm 1 4,8-krát viac necieľových druhov hmyzu v porovnaní s odchyteným počtom lykožrútov jedľových.

V lokalite Poniky bol zaznamenaný najvyšší odchyt lykožrútov jedľových použitím odparníkov typu Curviwit. Účinnosť odparníkov Fytofarm bola v tomto prípade výrazne nižšia, pretože odparníky typu Fytofarm 1 odchytili o 73 % a odparníky typu Fytofarm 2 o 79 % menej lykožrútov jedľových v porovnaní s odparníkom typu Curviwit. Pomer pohlaví odchytených lykožrútov bol najvyšší v lapačoch s odparníkom typu Curviwit, prostredníctvom ktorého bolo odchytených o 40 % viac samičiek a takmer zhodný v lapačoch s odparníkmi typu Fytofarm 2, kde počet samičiek prevyšoval počet samčekov o 5 %. V lapačoch s odparníkmi typu Fytofarm 1 bol v rámci celého výskumu vo všetkých lokalitách zaznamenaný atypický pomer, pri ktorom počet odchytených samčekov prevyšoval samičky o 14 %. Lapače s odparníkmi typu Curviwit a Fytofarm 2 vykazovali takmer rovnaký pomer odchytených lykožrútov jedľových voči ostatným druhom lykožrútov. V oboch prípadoch bol odchyt ostatných druhov lykožrútov 46–48-krát vyšší ako odchyt lykožrúta jedľového. Lapače s odparníkmi typu Fytofarm 1 odchytili 129-krát vyššie množstvo ostatných druhov lykožrútov, čo predstavuje najvyšší pomer zaznamenaný v rámci celého výskumu vo všetkých lokalitách. Najnižší ekologický index vykazovali odparníky typu Curviwit. Ekologický index odparníkov typu Fytofarm 2 bol približne 2-krát vyšší a typu Fytofarm 1 bol 3-krát vyšší, než pri odparníkoch typu Curviwit. Najnižší pomer odchytených lykožrútov jedľových k necieľovým druhom

hmyzu bol zaznamenaný pri použití odparníkov typu Curviwit, ktorý odchytil o 13 % viac lykožrútov jedľových oproti necieľovým druhom hmyzu. Lapače s odparníkmi typu Fytofarm 1 odchytili takmer rovnaké množstvo lykožrúta jedľového, ako necieľový druh myzu. Lapače s odparníkmi typu Fytofarm 2 odchytili o 39 % viac necieľových druhov hmyzu v porovnaní s odchyteným počtom lykožrútov jedľových.

V lokalite VŠLP Zvolen bol zaznamenaný v rámci celého výskumu vo všetkých lokalitách najvyšší odchyt lykožrútov jedľových (818) v lapačoch s odparníkmi typu Curviwit. Účinnosť odparníkov typu Fytofarm bola v tomto prípade výrazne nižšia a relatívne podobná, pretože použitím odparníka typu Fytofarm 1 sa počet odchytených lykožrútov jedľových znížil približne o 95 % a odparníka Fytofarm 2 takmer o 94 % v porovnaní s odparníkom typu Curviwit. Pomer pohlaví odchytených lykožrútov jedľových v tejto lokalite pri použití odparníkov typu Fytofarm 1 bol vyšší, pretože bolo odchytených o polovicu viac samičiek než samčekov. Lapače s odparníkmi typu Curviwit odchytili 2,5-krát viac samičiek a Fytofarm 1 až 4-krát viac samičiek ako samčekov, čo predstavuje najvyšší zaznamenaný pomer v rámci celého výskumu vo všetkých lokalitách. Odparníky typu Curviwit boli v tejto lokalite najviac selektívne pre odchyt lykožrútov jedľových voči ostatným druhom lykožrútov. V lapačoch s odparníkom typu Fytofarm 2 sa odchytilo o 44 % menej lykožrútov iného druhu v porovnaní s lykožrútom jedľovým. V lapačoch s odparníkom typu Fytofarm 1 bolo zaznamenané rovnaké množstvo odchytených lykožrútov jedľových a lykožrútov iného druhu. Najlepšie hodnoty ekologického indexu dosahoval odparník typu Curviwit. Ekologický index pre odparníky typu Fytofarm 1 bol 5,3-krát vyšší a pre Fytofarm 2 bol 7,5-krát vyšší ako pre odparník typu Curviwit. Lapače s odparníkmi typu Curviwit odchytili 1,66-krát, s odparníkmi Fytofarm 2 3,9-krát a s odparníkmi Fytofarm 1 6,7-krát väčšie množstvo necieľových druhov hmyzu v porovnaní s počtom odchytených lykožrútov jedľových.

4 DISKUSIA

Priebeh polygónov početnosti odchytených imág lykožrúta jedľového (*Pityokteines curvidnes*) bol značne odlišný v rámci jednotlivých typov použitých feromónových odparníkov a jednotlivých lokalít výskumu.. Najvyšší počet odchytených imág bol 142 ks v lokalite VŠLP Zvolen (obr. 4). Uvedená hodnota je značne nízka. Túto skutočnosť je možné vysvetliť tým, že feromónové lapače boli v jednotlivých lokalitách umiestnené až po skončení jarného rojenia, ktoré prebieha začiatkom apríla SCHWENKE (1974). PERNEK, LACKOVIĆ (2011) uvádzajú, že najvyššie odchyty imág lykožrúta jedľového boli zaznamenané v mesiacoch apríl, máj a následne sa počet odchytených imág výrazne znížil.

V lokalite VŠLP Zvolen a Smolník boli najvyššie hodnoty početnosti odchytených imág zaznamenané pri 1. kontrole a pri nasledujúcich kontrolách sa početnosť odchytených imág znižovala. V lokalite Poniky bola najvyššia početnosť odchytených imág zaznamenaná pri 2. kontrole. V lokalitách Kyslinky a Poniky dochádzalo k miernemu zvýšeniu početnosti odchytených imág v polovici septembra. Tento stav možno vysvetliť tým, že v týchto lokalitách prebiehalo letné rojenie lykožrúta jedľového, ktoré vzhľadom na vyššiu nadmorskú výšku vybraných porastov malo nízku intenzitu (SCHWENKE 1974).

Analýzou vplyvu sledovaných faktorov na početnosť odchytených imág lykožrúta jedľového boli zistené rozdiely vo vplyve jednotlivých faktorov. Najvyššie hodnoty priemerného stupňa odchyty boli zaznamenané v porastoch exponovaných na severnej a prechodných expozíciách severných a južných expozícií.

Najvyššie hodnoty priemerného stupňa odchyty boli zaznamenané v porastoch s miernym sklonom a so zvyšujúcim sa sklonom sa hodnoty priemerného stupňa odchyty znižovali. Na základe získaných údajov je možné predpokladať, že pre šírenie lykožrúta jedľového vyhovujú porasty s miernym sklonom.

Ďalším analyzovaným faktorom bola lokalita výskumu. Zistené rozdiely odchyty lykožrúta jedľového v jednotlivých lokalitách poukazujú na rozdielnú intenzitu výskytu lykožrúta jedľového (*Pityokteines curvidens*).

Priemerný stupeň odchyty lykožrúta jedľového bol značne rozdielny v závislosti od zastúpenia jedle v porastoch. Vysoké hodnoty priemerného stupňa odchyty boli zaznamenané v porastoch s nízkym zastúpením jedle. So zvyšujúcim sa zastúpením jedle v porastoch sa priemerný stupeň odchyty znižoval a následne zvyšoval. Vysoké hodnoty odchyty boli zaznamenané v porastoch s vysokým zastúpením jedle. SCHWENKE (1974) uvádza, že intenzita výskytu lykožrúta jedľového je vysoká najmä v rovnorodých porastoch a porastoch s vysokým zastúpením jedle.

Ďalším analyzovaným faktorom bola bonita jedle. Najvyššia hodnota priemerného stupňa odchyty bola zaznamenaná v porastoch s hodnotou bonity jedle 32. V tomto prípade sa zrejme prejavil negatívny trend, pretože dreviny rastúce v porastoch na lepších bonitách sú vitálnejšie v porovnaní s porastmi na horších bonitách.

V závislosti priemerného stupňa odchyty od nadmorskej výšky bolo preukázané, že so zvyšujúcou sa nadmorskou výškou sa priemerný stupeň odchyty zvyšoval, kulminoval v nadmorskej výške 800 m n. m. a následne výrazne klesal. Tento stav je možné vysvetliť tým, že intenzita výskytu lykožrúta jedľového je vyššia v porastoch lokalizovaných vo vyšších nadmorských výškach (STOLINA *et al.* 1985).

Vysoké hodnoty priemerného stupňa odchyty v závislosti od veku porastu boli preukázané v porastoch vo veku 75 až 110 rokov. S pribúdajúcim vekom sa stupeň odchyty znižoval. KODRÍK, HLAVÁČ (2013) uvádzajú, že lykožrút jedľový je hlavným škodlivým činiteľom porastov vo fáze pozvoľného poklesu výškového prírastku.

V závislosti od hospodárskeho spôsobu boli vysoké hodnoty priemerného stupňa odchyty zaznamenané v porastoch obhospodarovaných holorubným hospodárskym spôsobom. Menšie hodnoty boli v porastoch s podrastovým a najnižšie v porastoch s výberkovým hospodárskym spôsobom. Na základe získaných výsledkov je možné predpokladať, že pre šírenie lykožrúta jedľového nie sú vhodné súvislé komplexy lesných porastov. PFEFFER (1955) uvádza, že pre aktivitu lykožrúta jedľového sú optimálne lesné porasty s otvorenými porastovými stenami, ktoré vznikajú pri holorubnom hospodárskom spôsobe.

Analýzou efektívnosti použitých odparníkov boli najlepšie výsledky zaznamenané v lapačoch s feromónovým odparníkom typu Curviwit.

Najvyššie hodnoty početnosti odchytených imág lykožrúta jedľového boli zaznamenané s použitím odparníka typu Curviwit.

Pomer odchytených samčiekov a samičiek dosahoval pri jednotlivých typoch odparníkov relatívne vyrovnané hodnoty. Z údajov o bionómii lykožrúta jedľového je známe, že tento druh patrí do skupiny polygamných druhov (PAVLÍK 2005). Väčšie množstvo odchytených samčiekov má význam v boji proti tomuto škodcovi.

Pomer odchytených imág lykožrúta jedľového a ostatných druhov lykožrútov dosahoval relatívne vyrovnané hodnoty. Výnimku predstavovala lokalita Poniky, kde hodnota pomeru bola vyššia, čo zapríčinilo letné rojenie lykožrúta smrekového (*Ips typographus*) a lykožrúta lesklého (*Pityogenes chalcographus*), ktoré boli odchytené do lapačov. Testované typy odparníkov obsahujú ako primárny atraktant látku α -Pineen, ktorá sa používa aj do odparníkov pre uvedené druhy lykožrútov.

Hodnoty ekologického indexu jednotlivých typov odparníkov boli značne odlišné. Najlepšie hodnoty ekologického indexu boli zaznamenané pri použití odparníka typu Curviwit.

Hodnoty pomeru odchytených lykožrútov jedľových a ostatných druhov hmyzu boli značne odlišné. Najlepšie hodnoty pomeru boli zaznamenané v lapačoch s odparníkom typu Curviwit. Údaje o pomere odchytených imág lykožrúta jedľového a ostatných druhov hmyzu boli do značnej miery ovplyvnené tým, že bol použitý mokrý typ odchyty. Hmyz odchytený v zbernej nádobke aj napriek pridanej konzervačnej látke podliehal čiastočnému rozkladu a vznikajúci zápach vábil saprofágne druhy hmyzu, ktoré boli odchyťované v zbernej nádobke.

5 ZÁVER

Analýzovaním početnosti odchytených imág lykožrúta jedľového a iných druhov hmyzu boli zaznamenané rozdiely medzi použitými typmi feromónových odparníkov. Priebeh polygónov odchytených imág lykožrúta jedľového bol pri použití jednotlivých typov odparníkov značne nerovnomerný. V lokalitách Poniky a Kyslinky bolo zaznamenané letné rojenie lykožrúta jedľového. Zhodnotením efektívnosti odparníkov sa ako najúčinnější preukázal odparník typu Curviwit.

Podakovanie

Práca vznikla vďaka finančnej pomoci z Agentúry na podporu výskumu a vývoja v rámci projektu APVV-0744-12.

Zoznam použitej literatúry

- KODRÍK, M., HLAVÁČ, P. 2013. Integrovaná ochrana lesa. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2013. 328 s. ISBN 978-80-228-2544-3.
- PAGAN, J., 1996: Lesnícka dendrológia. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. 378 s. ISBN 80-228-0821-0.
- PAVLÍK, Š., 2005: Lesnícka entomológia. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. 181 s. ISBN 80-228-1257-9.
- PERNEK, M., LACKOVIC, N. 2011. The role of bark beetles in silver fir decline and possible use of pheromone traps for the monitoring. In: Šumarski List. ISSN 0373-1332, vol. 135, Special Issue, p. 114–121.
- PFEFFER, A., 1955. Kůrovci – scolytoidae. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd jako svou 353. publikaci, 271 s.

- PFEFFER, A. 1989. Kůrovcovití *Scolitidae* a jádrohlodovití *Platypodidae*. Praha: Academia, nakladatelství Československé akademie věd. Praha, 1989. 140 s. ISBN 80-200-0089-5.
- SCHNEER, L. 2010. Biometria. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2010. 334 s. ISBN 978-80-228-2103-2.
- SCHWENKE, W. 1974. Die forstschädlinge Europas. Braunschweig: Gebr. Rasch, 1974. 467 s.
- STOLINA, M., ČAPEK, M., GOGOLA, E., HEŠKOVÁ, A., KODRÍK, J., KŘÍSTEK, J., KÚDELA, M., NOVÁČEK, M., SLÁDEK, J., VANÍK, K. et al. 1985. Ochrana lesa. Bratislava: Vydavateľstvo Príroda, 1985. 480 s.
- ZAHRADNÍK, P. 2004. Ochrana smrčín proti kůrovcům. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická, s.r.o., 2004. 41 s. ISBN 80-86386-48-1.
-

Adresa autorov:

Ing. Richard Weisz, PhD.

doc. Ing. Milan Kodrík, CSc.

Katedra ochrany lesa a poľovníctva

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

Masarykova 20

960 53 Zvolen

Slovenská republika

e-mail: richard.weisz.sk@gmail.com

kodrik@tuzvo.sk

Monitorovanie početnosti lykožrúta jedľového (*Pityokteines curvidens* germ.) prostredníctvom feromónových lapačov vo vybraných lokalitách výskumu

Abstrakt

Cieľom výskumu bolo otestovať feromónové odparníky na monitorovanie početnosti lykožrúta jedľového (*Pityokteines curvidens*) a stanoviť efektívnosť jednotlivých typov použitých odparníkov. Na monitorovanie početnosti bol použitý feromónový lapač typu Theysohn. Navrhovaná metodika vychádzala z metodiky PERNEK, LACKOVIČ (2011), ktorí uvedenú metódu testovali v lesoch Chorvátska. Výskum sa realizoval v orografických celkoch Kremnické vrchy, Poľana a Volovské vrchy.

Bolo použitých 20 feromónových lapačov a 3 typy feromónových odparníkov. Početnosť lykožrúta jedľového (*Pityokteines curvidens*) bola monitorovaná od júna do novembra v rôznych typoch porastov a kalamitnej plochy v obvode obecných lesov Poniky.

Odchytilo sa 1896 imág lykožrúta jedľového (*Pityokteines curvidens*). Z ostatných druhov odchytených lykožrútov bol zaznamenaný lykožrút prostredný (*Pityokteines spinidens*), lykožrút malý (*Pityokteines vorontzovi*), lykožrút lesklý (*Pityogenes chalcographus*), lykožrút smrekový (*Ips typographus*) a drevokaz čiarkovaný (*Xyloterus lineatus*). Bol zaznamenaný aj odchyt hmyzu z radu Lepidoptera, Coleoptera a Hymenoptera.

Kľúčové slová: feromónové lapače, feromónové odparníky, lykožrút jedľový

PROJECT OF DETERMINING SOIL COMPACTION AND SOIL WATER INFILTRATION UNDER IMPACT OF LARGE HERBIVORES

Alfadil Mohammed Abdelrahman A D A M – Viliam P I C H L E R

Adam, A. M. A., Pichler, V.: Project of Determining Soil Compaction and Soil Water Infiltration Under Impact of large Herbivores. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 56, Suppl. 1, 2014, 189–198.

The study of impact of large herbivores on forest land and grass land with regard to soil compaction and water infiltration rate was conducted on two main locations are: central and eastern Europe. Central Europe represented by Slovakia which itself includes four study sites are: (Budča-Boky, the Poľana Region (Iviny), Topolčianky Game Reserve, and Kováčovské Kopce (hills). The Eastern Europe location represented by the Białowieża National Park and the Białowieża Forest in eastern Poland. The study is aimed to Investigate the physical and hydrophysical effects of large herbivores on soils within silvopastoral system, which caused by trampling or hoof action, with respect to soil compaction, to determine the spatial pattern of influence by grazing animals as well as estimation the rate of soil recovery. samples for determination of retention curve, bulk density and soil particle density were taken from three kinds of plots represent different sites. Also, Electrical resistivity tomography survey was implemented, for imaging subsurface of the soils. Data were analyzed through the use of LLA (loglinear analysis) and LR (logistic regression) models.

Key words: large herbivores, impact, soil compaction, bulk density, water infiltration, ERT

1. INTRODUCTION

Impacts of large animals on soil fall into two broad categories: firstly the physical impact of the animal on soil as it moves around and secondly the chemical and biological impact of the faeces and urine that the animal deposits to soil. Physically damaged soil can be even more susceptible to the chemical and biological impact of faeces and urine.

Livestock trampling compacts the soil and increases soil bulk density (VAN HAVEREN, 1983; TRIMBLE and MENDEL, 1995). This reduces plant cover, making the soil more vulnerable to erosion (BILOTTA et al., 2007), which in turn may affect surface waters. Many studies have been carried out on the effects of livestock grazing on soil physical parameters and on rangeland hydrology (BISIGATO et al., 2008; WOOD et al., 2008).

Grazing associated with animal activity is known to alter hydraulic and mechanical properties of soil. Trampling animals cause soil deformation by exerting high ground-contact pressures under their hooves (ZHAO et al., 2007). Besides soil compression, shear stresses further destroy soil structure due to kneading and homogenization, which cause

a change in macroporosity and the connectivity of the pore system. Such changes depend not only on the magnitude of applied stresses, but also on aggregate stability at the time of trampling, which depends on soil moisture (ZHAO et al., 2007). Generally, grazing has been found to affect the physical condition of soil near the surface, because of hoof action and nutrient storage and cycling potential through grazing intensity and urine and dung deposition (LIEBIG et al., 2006).

The study is aimed to reach the following goals:

1. Investigate the physical and hydrophysical effects of large herbivores on soils within silvopastoral system, which caused by trampling or hoof action, with respect to soil compaction.
2. To determine the spatial pattern of influence by grazing animals
3. To estimate the rate of soil recovery.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1 Study Areas

The study conducted on two main locations are central and eastern Europe. Central Europe represented by Slovakia which itself includes four study sites distributed on most parts of the State, are: (1) School Forest Interprise (Budča-Boky) in the middle, (2) the Poľana Region (Iviny) in the middle as well (3) Topolčianky Game Reserve in the north, and (4) Kováčovské Kopce (hills) located extremely in the south part near to the State border with Hungary. The Eastern Europe location represented by the Białowieża National Park and the Białowieża Forest in eastern Poland.

2.2 Techniques and Tools of Samples Collection

2.2.1 Site selection

For samples collection processes in the field which used for determination of bulk density, particle density, and water retention curve, samples were taken from three kinds of plots represent different sites, which all of them under heavy animals traffic and intensively used by large herbivore or ungulates, these plots are as follows:

1. Animal feeder places (salt and grain feeders): from this kind of plots 4 sample points located at each plot according to degree of disturbance (very high disturbed, high disturbed, medium disturbed, and non-disturbed).
2. Fenced reserves where European bison are bred: two sample points located inside the fence where intensively used by the animals during most time of year, which considered as highly disturbed, and two others sample points located outside of the fence considered as non-disturbed point.
3. Animals' paths: in this kind of plots two sample points located at each plot, one at animals path and another away from the path non disturbed by the animals.

From each sample point two undisturbed soil samples for determination of bulk density, retention curve, and particle density were taken from two different soil horizons (0 – 5 cm and 5 – 10 cm) by using cylinder sleeve sampler of known volume fits into metal pusher, spade or knife were used for trimming the soil extending beyond each end of the sample holder and hammer sometimes used in hard soil.

2.3 Water Retention

2.3.1 Samples

The soil samples for determining the retention curve may be either repacked samples or samples of natural structure. Since the structure affects the water retention, especially in the low suction range, it is generally best to use sample of natural structure.

2.3.2 Apparatus for determining retention curve

The nature of the apparatus required will depend upon the range of matric pressure head in which the retention measurements are to be made. In general, the lower the pressure head, the higher the bubbling pressure requirement of porous plate, and the greater the strength requirements of the pressure chamber. Three systems, each suited to a given range of measurement will be used (low-range, mid-range, and high-range system) (KLUTE, 1986)

2.4 Soil Bulk Density

Soil bulk density, ρ_b , is the ratio of the mass of dry solids to the bulk volume of the soil. The bulk volume includes the volume of the solids and of the pore space. The mass is determined after to constant weight at 105 °C, and the volume is that of the sample as taken in the field.

Bulk density is widely used value. It is needed for converting water percentage by weight to content by volume, for calculating porosity and void ratio when the particle density is known, and for estimating the weight of a volume of soil too large to weight conveniently, such as the weight of furrow slice or an acre-foot (BLAKE and HARTGE, 1986).

Bulk density is not an invariant quantity for a given soil. It varies with structural condition of the soil particularly that related to packing. For this reason it is often as measure of soil structure. In swelling soils it varies with the water content (HARTGE, 1965, 1968). In such soils, the bulk density obtained should be accompanied by the water content of the soil at the time of sampling.

Clod and core methods have been used for many years. Excavation methods were developed in recent years, chiefly by soil engineers for bituminous and gravelly material. More recently the excavation method has found use in tillage research where surface soil is often too loose to allow core sampling, or where abundant stones preclude the use of

core samplers. Radiation methods have been used since the 1950s, particularly in soil engineering (BLAKE and BARTGE, 1986).

Bulk density is expressed in SI units or units derived from them. The most straightforward would be kg.m^{-3} . However, derived units such as tons.m^{-3} , g.cm^{-3} , or Mg.m^{-3} , which are numerically equal to each other, may be more convenient, as they give values for soils which vary from about 1.2 to 1.7 (rather than from 1200 to 1700, as when units of kg.m^{-3} are used).

2.5 Soil Particle Density

Particle density of soils refers to the density of the solid particles collectively. It is expressed as the ratio of the total mass of the solid particles to their total volume, excluding pore spaces between particles. Convenient units for particle density are megagrams per cubic meter (Mg.m^{-3}), or numerically equal grams per cubic centimetre (g.cm^{-3}).

Particle density of soil sample is calculated from two measured quantities, namely, the mass and volume of the sample. The mass is determined by weighing; the volume, by calculation from the mass and density of water or (of the fluid) displaced by the sample. The pycnometer and submersion are based on the same principle. Both have been long in use.

2.5.2 Determination of particle density

A pycnometer (specific-gravity flask) is employed. To determine particle density following steps must be done as described by (BLAKE and HARTGE, 1986):

Weigh a clean, dry pycnometer in air. Add about 10 g of air-dry soil sieved through a 2-mm sieve. If a 100-mL flask is used, add 50 g of soil. Clean the outside and neck of the pycnometer of any soil that may have spilled during transfer. Weigh the pycnometer (including stopper) and its contents. Determine the water content of a duplicate soil sample by drying it at 105 °C.

Fill the pycnometer about one-half full of distilled water, washing into flask any soil adhering to the inside of the neck. Remove entrapped air by gentle boiling of the water for several minutes, with frequent gentle agitation of the contents to prevent loss of soil by foaming.

Cool the pycnometer and its contents to room temperature, and then add enough boiled, cooled, distilled water at room temperature to fill pycnometer. Insert the stopper and seat it carefully. Thoroughly dry and clean the outside of the flask with a dry cloth, using care to avoid drawing water out of the capillary. Weigh the pycnometer and its contents, and determine the temperature of the contents after they have cooled to room temperature.

Finally, remove the soil from the pycnometer and thoroughly wash it. Fill the pycnometer with boiled, cooled distilled water at the same temperature as before, insert the stopper, thoroughly dry the outside with a cloth, and weigh the pycnometer and contents, being careful that the temperature remains the same as before.

Calculate the particle density as follows:

$$\rho_p = \rho_w (W_s - W_a) / [(W_s - W_a) - (W_{sw} - W_w)] \quad (1)$$

Where

ρ_w = density of water in grams per cubic centimeter at temperature observed,

W_s = weight of the pycnometer plus soil sample corrected to oven-dry water content,

W_a = weight of pycnometer filled with air,

W_{sw} = weight of pycnometer filled with soil and water,

W_w = weight of pycnometer filled with water at temperature observe.

2.6 Soil Water Infiltration

2.6.1 Hydraulic conductivity

The mini disk infiltrometer measures the hydraulic conductivity of the medium it is placed upon. In *Principles of Soil and Plant Water Relations* by M. B. KIRKHAM (2005), hydraulic conductivity is defined as “the meters per day of water seeping into the soil under the pull of gravity or under a unit hydraulic gradient.” This is different than infiltration rate, which is defined as “the meters per unit time of water entering into the soil regardless of the types or values of forces or gradients.”

The knowledge of Hydraulic conductivity benefits scientists, land managers, and growers, by indicating how quickly water will infiltrate when applied to a given field or soil type. Infiltration is also relevant in contaminant transport, ground water recharge and ecosystem sustainability. The hydraulic conductivity of the soil is the rate at which water can move through the soil under certain conditions and hydraulic gradients. Water movement through soil typically happens under saturated and unsaturated conditions. Because the mini disk infiltrometer is a tension infiltrometer, it measures the unsaturated hydraulic conductivity of the medium it is placed on at different applied tensions. Flow through an unsaturated soil is more complicated than flow through continuously saturated pore spaces. Macropores are filled with air, leaving only finer pores to accommodate water movement. Therefore, the hydraulic conductivity of the soil is strongly dependent on the detailed pore geometry, water content, and differences in matric potential (BRADY and WEIL, 1999).

The mini disk infiltrometer measures the hydraulic conductivity of the medium it is placed upon. Because the infiltrometer has an adjustable suction (0.5 to 7 cm) you can get additional information about the soil by eliminating macropores with an air entry value smaller than the suction of the infiltrometer. This is done by controlling the infiltration with a small negative pressure or suction. When the water is under tension or suction, it will not enter macropores such as cracks or wormholes, but will only move into and through the soil as determined by the hydraulic forces in the soil.

Soil hydraulic conductivity is a function of water potential and water content of the soil. The decrease in conductivity as the soil dries is due primarily to the movement of air into the soil to replace the water. As the air moves in, the pathways for water flow between

soil particles becomes smaller and more tortuous, and flow becomes more difficult (Decagon Devices, User's manual 2011).

2.7 Electrical Resistivity Methods

The basic principle of electric resistivity measurements is best explained by means of the relationship between electric resistance (R) and resistivity (ρ) of a wire that is given as:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2)$$

Where R is the electric resistivity of the wire (Ω), L is the wire length (m), and A is the cross-sectional area of the wire (m^2). Substituting Ohm's law that relates the electromotive force V (volts) to current flow I (amperes) ($V = I.R$) and rearranging equation (2) yields an explicit expression for resistivity:

$$\rho = \frac{A}{L} \cdot \frac{V}{I} [\Omega m] \quad (3)$$

Equation (3) illustrates that the resistivity is function of the ratio of voltage drop to current and dimensions of the conductor (wire). This principle can be applied to measure resistivity of soil that acts as a conductor between two or more electrodes. The resistivity of natural porous media is highly dependent on water content, solute concentration, texture, and structure. In general, increasing water content leads to a decrease in resistivity as water fills up the pore space and displaces air. Course-textured soils usually have higher resistivity than fine-textured soils at the same water content due to smaller grain to grain contact area.

AS TULLER and MOHAMMED (2005) described that observations of soil electrical resistivity to greater depths can be achieved with borehole electrical resistivity tomography (ERT), where arrays of current and potential electrodes (pole-dipole) mounted on cables are lowered into boreholes. Low-frequency electrical current is injected into the subsurface, and the resulting potential distribution is measured for a vast number of different current and potential electrode orientations. Robust regularized non-linear inverse methods (BINLEY et al., 2002) allow the reconstruction of 2-D and 3-D electrical resistivity distributions within the soil volume between the two or more boreholes (cross-borehole ERT). In special cases the current and potential electrodes are placed in a single borehole (in-line ERT). While ERT was successfully used to qualitatively study flow and transport in porous (DAILY et al., 1995) and fractured porous (SLATER et al., 1997) media, quantitative assessment of transport characteristics in soils and rocks from ERT data in poorly documented (BINLEY et al., 1996; SLATER et al., 2000).

Electrical resistivity tomography survey was implemented, for imaging subsurface of the soil across the center of the highest animals activities to know the variations of resistivity within each study area to explain impact of herbivores on soil.

2.8 Data Evaluation

Data will be analyzed through the use of LLA (loglinear analysis) and LR (logistic regression) models. LLA is a method of the measuring or demonstrating the association between two or more variables. As SOKAL AND RODHLF (1995) described that much scientific thought concerns the relations between pairs of variables hypothesized to be in a cause-and-effect relationship.

Logistic regression model is similar to log linear model, the difference that loglinear models only demonstrate association between variables. Otherwise, logistic regression should be used if one or more variables are treated as nominal variable (dependent variable) and others as measurement variable (independent variable). Also, appropriate analysis if the variables being investigated are continuous and cannot be broken down into discrete categories.

In our case, we will focus on qualitative (categorical variables) traits (impact, and no impact in terms of bulk density, infiltration capacity) vs. factors (animal species, forest types, and presence or absence of surface humus), and we also try to identify associations between (or even among) them, using mentioned statistical models. And also, the ERT (electrical resistivity tomography) has the capacity to capture and visualize the impact of wild ungulates

3. CONCLUSION

Practical use of the expected results is considered to be very important for regulating an optimal distribution of animals in rangelands and habitats which vulnerable to erosion or has less soil aggregate stability in order to avoid acceleration of the erosion process and destruction of pastures as a result of trampling or hoof action of large herbivores.

4. REFERENCES

- ALDON, E. F., and G. GARCIA., 1973: Seventeen-year sediment production from a semiarid watershed in the southwest. USDA Forest Serv., Rocky Mt. Forest and Range Exp. Sta. Res. Note RM-248.
- BILOTTA, G. S., BRAZIER, R. E., HAYGARTH, P. M., 2007: The impacts of grazing animals on the quality of soils, vegetation, and surface waters in intensively managed grasslands. *Advances in Agronomy* 94, 237–279.
- BINLEY, A., S. HENRY-POULTER, and B. SHAW, 1996: Examination of solute transport in an undisturbed soil column using electrical resistance tomography. *Water Resour. Res.* 32(4): 763–769.
- BISIGATO, A. J., LAPHIZ, R. M. L., CARRERA, A. L., 2008: Non-linear relationships between grazing pressure and conservation of soil resources in Patagonian Monte shrublands. *Journal of Arid Environments* 72: 1464–1475.

- BLAKE, G. R., and HARTGE, K. H., 1986: Bulk density and Particle density, p. 363–382. *In* KLUTE, A., editor. *Methods of Soil Analysis, Part 1. Agronomy no. 9* (2nd edition), physical and mineralogical methods, America Society of Agronomy, South Segoe Road, Madison, USA.
- BRADY, N.C., and R. R. WEIL., 1999: *The Nature and Properties of Soils*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- BROWN, K. R., and D. S. EVANS, 1973: Animal treading, a review of the work of the late D.B. Edmond. *New Zeal, J. Exp. Agri.* 1: 217–226.
- DADKHAH, M., and G. F. GIFFORD, 1980: Influence of vegetation, rock cover and trampling on infiltration rates and sediment production. *Water Resources Bull.* 16: 979–986.
- DAILY, W. D., A. L. RAMIREZ, D. J. LABRECQUE, and W. BARBER, 1995: Electrical resistance tomography experiments at the Oregon Graduate Institute. *J. Appl Geophys*, 33: 227–237.
- DORMAAR, J. F., WILLMS, W. D., 1998: Effect of forty-four years of grazing on fescue grassland soils. *Journal of Range Management* 51: 122–124.
- Decagon Devices, Inc. Mini Disk Infiltrometer, User's Manual, (Ve. 9) 2011. Pullman, WA 99163.
- KIRKHAM, M. B. (2005) *Principles of Soil and Plant Water Relations*. Elsevier Academic Press: Burlington, MA. pp. 145–172.
- KLUTE, A., 1986: Water retention: laboratory methods, p. 635–662. *In* KLUTE, A., editor. *Methods of Soil Analysis, Part 1. Agronomy no. 9* (2nd edition), physical and mineralogical methods, America Society of Agronomy, South Segoe Road, Madison, USA.
- KNOKE, D. and P. J. BURKE, 1980: *Log-Linear Models*. Sage Publications, Inc. Newberry Park, California, USA.
- KOTHMANN, M. M., 1974: Grazing management terminology. *J. Range Manage.* 27: 326–327.
- LIEBIG, M. A., J. R. GROSS, S. L. KRONBERG, J. D. HANSON, A. B. FRANK and R. L. PHILLIPS, 2006: Soil response to long-term grazing in the northern Great Plains of N-America. *Agric. Ecosys. Environ.*, 115: 270–276.
- MONTES-HELU, M. C. 1997: *Track-vehicle Disturbance on Rangeland and Design of Sap Flow Gauge for Desert Shrubs*. Ph.D. Dissertation, Department of Agronomy and Horticulture, New Mexico State University, Las Cruces, New Mexico.
- NOWAK, R. S. and M. M. CALDWELL, 1984: A test of compensatory photosynthesis in the field: Implications for herbivory tolerance. *Oecologia* 61: 311–318.
- SLATER, L., A. BINLEY, and D. BROWN, 1997: electric imaging of fractures using ground-water salinity change. *Ground Water*, 35: 436–442.
- SLATER, L., A. BINLEY, W. DAILY, and R. JOHNSON, 2000: cross-hole electrical imaging of a controlled saline tracer injection. *J. Apply Geophys.*, 44: 85–102.
- SMITH, R. P., 1980: The influence of different grazing practices on infiltration rates and sediment production at Fort Stanton, New Mexi. MSc. Thesis, New Mex., State University, Las Cruces.
- SNYMAN, H. A., 1999: Soil erosion and conservation. *In*. TANTON, N. M., editor. *Veld Management in South Africa*, University of Natal Press, Scottsville, South Africa, p. 472.
- SOKAL, R. R., and F. J. RODHLF, 1995: *Biometry*. W. H. Freeman, New York.
- TRIMBLE, S. W., MENDEL, A. C., 1995: The cow as geomorphic agent - a critical review. *geomorphology* 13: 233–253.
- TULLER, M., and MOHAMMED R. I., 2005: Field methods for monitoring solute transport, 309–355. *In* ALVAREZ-BENDI, J., and MUNOZ-CARPENA, R., editors. *Soil-water-solute process characterization: an integrated approach*. CRC press.
- VAN HAVEREN, B. P., 1983: Soil bulk density as influenced by grazing intensity and soil type on a short grass prairie site. *Journal of Range Management* 36: 586–588.
- WARREN, S. D., THUROW, T. L., BLACKBURN, W. H., GARZA, N. E., 1986: The influence of livestock trampling under intensive rotation grazing on soil hydrologic characteristics. *Journal of Range Management* 39: 491–495.
- WELTZ, M., M. K. WOOD, and E. E. PARKER., 1989: Flash grazing and trampling effects on infiltration rates and sediment yield on a selected New Mexico range site. *Journal Arid Environments* 16: 95–100.
- WILCOX, B. P. and M. K. WOOD., 1989: Factors influencing interrill erosion from semiarid slopes in New Mexico. *Journal Range Management* 49: 66–70.
- WOOD, K., RUBIO, H., WOOD, C., 2008: Rangeland management and hydrology. *Proceedings XXI International Grassland Congress and VII International Rangeland Congress*, Hohhot, China, 1, pp. 809–812.

Authors:

MSc. Alfadil Mohammed Abdelrahman Adam
Prof. Viliam Pichler
Department of Natural Environment
Faculty of Forestry Technical University in Zvolen
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
Slovakia
e-mail: alfadil09@yahoo.com
pichler@tuzvo.sk

Vplyv veľkých bylinožravcov na les a pastviny z hľadiska zhutnenia pôdy a rýchlosť infiltrácie vody v strednej a východnej Európe

Abstrakt

Štúdia vplyvu veľkých bylinožravcov na les a trávnaté porasty s ohľadom na zhutnenie pôdy a rýchlosť infiltrácie vody bola vykonaná na dvoch hlavných miestach: stredná a východná Európa. Stredná Európa je reprezentovaná Slovenskom, ktorá samo o sebe zahŕňa štyri študijné miesta, ktoré sú: Budča-Boky, región Poľana (Iviny), zvernica Topoľčianky a Kováčovské Kopce (Burda). Východná Európa je zastúpená Bialowiezkym národným parkom a Bialowiezkym pralesom vo východnom Poľsku. Štúdia je zameraná na skúmanie účinkov veľkých bylinožravcov na fyzikálne a hydrofyzikálne vlastnosti pôdy v silvopastorálnom systéme, ktoré spôsobujú udupávanie či rozrušenie povrchu pôdy raticami, vzhľadom na zhutnenie pôdy, pre určenie priestorového vplyvu pasúcich sa zvierat, ako aj odhad miery obnovy povrchu pôdy. Vzorky pre stanovenie retenčných kriviek, objemovej hmotnosti a mernej hmotnosti pôdy boli odobraté z troch experimentálnych plôch reprezentujúcich miesta s rôznou intenzitou využívania a zaťaženia veľkými bylinožravcami. Na každej ploche bola zmeraná elektrická rezistivita pôdy s cieľom zobrazenia podložia pôdy. Údaje boli analyzované pomocou LLA analýzy (LOGLINEAR) a LR modelov (logistická regresia).

Key words: large herbivores, impact, soil compaction, bulk density, water infiltration, ERT

KRÁTKE OZNÁMENIA

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ПРИВОДОВ МАШИН НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

А. Ю. А Р Ц Ы Б А Ш Е В – Ю . Р . Н И К И Т И Н

Arcybashev, A. J., Nikitin, J. R.: Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 56, Suppl. 1, 2014, 201–208. In this article is a software complex of machine drives diagnostic described, which is based on a number of diagnosis methods. Main complex's feature is AI-based diagnosis, especially with using of neural network technologies. It makes robotizing of defect's recognition possible, and also allows set the dependences between diagnostic variables and technical state of diagnosis object.

Key words: vibration diagnostics, drive of machines, neural networks

ВВЕДЕНИЕ

Своевременное обнаружение дефектов и уровня их развития в приводах позволяет оптимизировать плановые работы по техническому обслуживанию и ремонту, что значительно экономит производственное время, а также снижает риск аварий на производстве. Неисправные детали привода, участвующие в работе, могут вызывать дефекты у смежных деталей или узлов и уменьшить срок эксплуатации привода. Одним из эффективных инструментов технической диагностики являются методы искусственного интеллекта [1–5]. Искусственные нейронные сети используются для решения разнообразных задач, в том числе и в технической диагностике [5, 6, 8]. Диагностический комплекс, имея в своей структуре нейронные сети, выявляет неисправные узлы, выдает прогнозы о техническом состоянии и помогает обслуживающему персоналу в принятии решений по замене дефектных деталей или узлов привода.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Диагностический комплекс состоит из набора датчиков (виброакселерометры, тока, температуры и т.д.), устройств предварительной обработки сигнала (предусилители заряда, фильтры), крейтовой системы LTR содержащей различные аппаратные модули и персонального компьютера с программным обеспечением (программа – самописец LGraph 2 и разрабатываемый программный комплекс технической диагностики). Внешний вид диагностического комплекса представлен на рисунке 1.

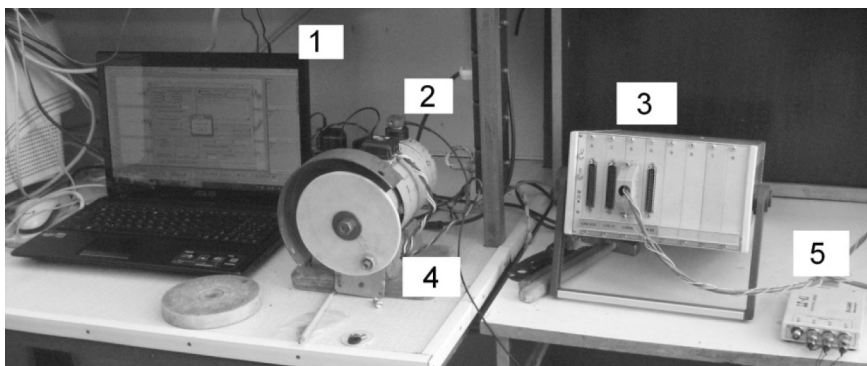


Рисунок 1 Диагностический комплекс: 1 – персональный компьютер; 2 – датчик виброускорения; 3 – крейтовая система LTR; 4 – асинхронный двигатель; 5 – усилитель зарядов LE41

Среди разработчиков программных продуктов для вибродиагностики можно выделить ряд фирм: Инкотес, Ресурс, АО «ВиброАкустические Системы и Технологии». Недостатком продуктов данных производителей можно считать то, что для работы с ними необходимы специальные приборы, производимые этими фирмами, а также то, что они предназначены только для вибродиагностики.

Разрабатываемый программный комплекс имеет обширный ряд положительных качеств. Самым главным плюсом является то, что он позволит отказаться от дорогостоящих программ. Комплекс имеет возможность построения пользователем собственных рабочих проектов, в которые пользователь может добавлять модули методов диагностирования, создавать базу объектов, датчиков, устройств предварительной обработки.

Программный комплекс разрабатывается при помощи языка C#, который был изначально разработан компанией Microsoft для создания кода, выполняющегося в среде .NET Framework, что позволяет обеспечивать безопасность и переносимость программ для платформы Windows [7]. Язык C# имеет объектно-ориентированную основу и позволяет типизировать обрабатываемые данные. Данный аспект очень важен, т.к. планируется дальнейшее развитие, переработка и дополнение продукта сторонними разработчиками. Высокий уровень абстракции структуры программы позволяет легко и быстро вникнуть в суть работы всех её частей. Сторонним разработчикам будет предоставлен рабочий проект с открытым кодом и исчерпывающими комментариями. В качестве среды разработки был выбран программный продукт Microsoft Visual Studio 2010. Эта среда имеет обширный набор инструментов и библиотек, позволяющих значительно облегчить написание программного кода. Данный программный комплекс диагностирования асинхронных двигателей является приложением Win32. Microsoft Visual Studio имеет мощный редактор графического интерфейса, который позволяет разработчику избежать написания огромного коли-

чества кода. Также приложение, написанное на языке C#, снабжается автоматическим сборщиком мусора, который освобождает оперативную память от ненужной информации.

Для регистрации диагностических параметров используется бесплатная программа – самописец LGraph 2, которая позволяет сохранять результаты различными способами (текстовые, бинарные файлы, изображения). В будущем планируется отказаться от этого продукта и регистрировать данные при помощи разрабатываемого программного комплекса.

Программный комплекс реализует некоторый набор алгоритмов диагностирования. Решение о наличии дефекта и уровня его развития можно определить: 1) по пороговым значениям диагностических параметров; 2) по среднеквадратичному отклонению виброскорости (в соответствии с ГОСТом); 3) по пик – фактору; 4) при помощи интеллектуальных алгоритмов.

Анализ вибраций диагностируемого объекта является наиболее информативным методом наряду с вихретоковым, магнитным, акустическим импедансным методами и методом свободных колебаний. По вибрационным характеристикам можно выявить следующие дефекты: небаланс масс ротора, расцентровка, задевания и затирания, дефекты подшипников качения и скольжения. Все перечисленные дефекты имеют характерную спектральную картину, которая может обрабатываться искусственной нейронной сетью.

Представление знаний в нейронной сети непосредственно связано с сетевой архитектурой. Создавая определенную архитектуру нейронной сети можно встраивать в нее априорную информацию, что обеспечивает специализацию сети и сокращает количество свободных параметров. К сожалению, в настоящее время не существует какой – либо формализованной теории оптимизации структуры нейронных сетей или оценки влияния архитектуры сети на представление знаний в ней. Ответы на эти вопросы обычно получают экспериментальным путем. При этом сам разработчик нейронной сети становится важным элементом цикла структурного обучения [8]. Вычислительная мощность современных персональных компьютеров достаточно велика для работы с искусственными нейронными сетями, поэтому для решения задач диагностирования была выбрана обычная полносвязная многослойная сеть.

Следует уделить особое внимание подготовке данных, предназначенных для подачи на входы сети. Выбор конфигурации входных данных осуществляет сам пользователь. Успех работы нейронной сети во многом зависит от правильно сформированных входных данных. Робастность сети можно повысить, представляя каждое свойство отдельной группой нейронов [9].

Для реализации нейросетевого алгоритма выбрана сигмоидная активационная функция, позволяющая использовать самый популярный алгоритм обучения – обратное распространение ошибки. Пользователь сам может выбирать количество слоев, нейронов в каждом слое и входов сети. Варьируя данными параметрами можно изменять количество свободных параметров, что в свою очередь увеличивает или уменьшает вычислительную мощность сети. Для каждой задачи, реализуемой нейронной сетью необходимо подбирать соответствующую вычислительную мощ-

ность. Слишком мощная сеть может неточно аппроксимировать многомерную функцию и выдавать неправильные результаты.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В настоящий момент проведен ряд экспериментов с тремя объектами, написаны классы окон программного продукта, классы, реализующие вычислительные методы, реализована модель сети, которая в скором времени будет реструктурирована по объектно-ориентированному принципу. Адекватность сети проверена на распознавании графических образов, сеть выдает достаточно точные результаты.

Структура программного комплекса

Перед началом работы пользователь должен открыть уже существующий либо создать новый проект. При создании проекта пользователь указывает объект диагностирования (выбирает из базы) либо создает новый. Диагностические параметры разделяются на два вида: единичные (пороговые значения) и наборы временных значений (массивы данных). Далее выбираются методы диагностирования, в которых реализован механизм загрузки диагностических данных из файлов, созданных программой – самописцем LGraph 2. Образец экспериментальных данных представлен на рисунке 2.

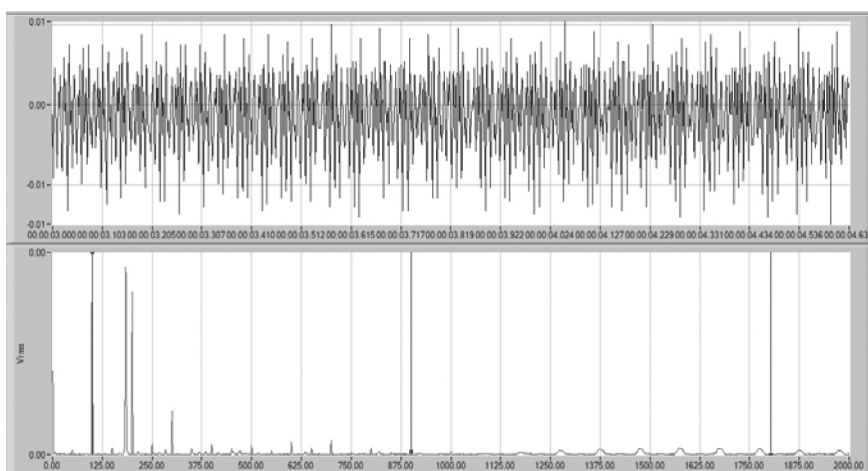
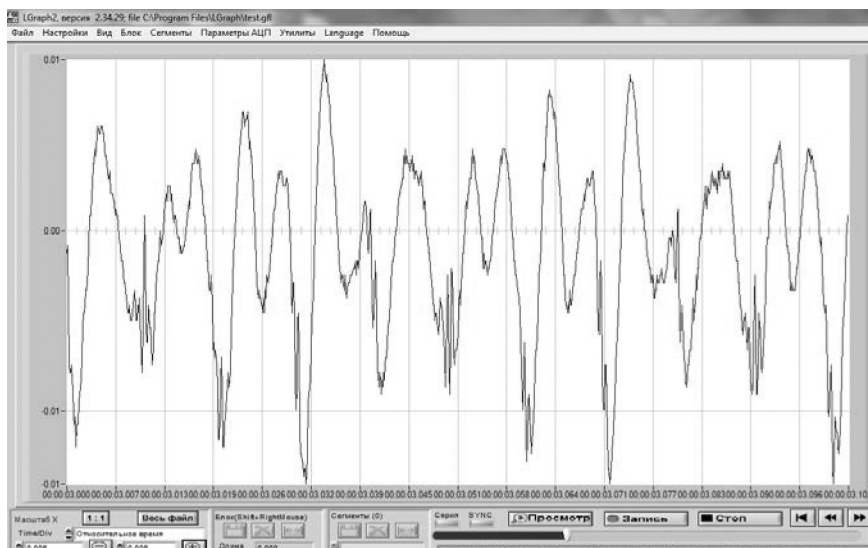


Рисунок 2 Образец экспериментальных данных, полученный при помощи программы LGraph 2

Для сравнения на рисунке 4 приведен тот же самый участок данных, отображенный при помощи программы LGraph 2.



205

Интерфейс программы LGraph 2 имеет ряд недостатков, связанных с удобством изучения графических данных. На рисунке 5 предоставлена структурная схема программного комплекса.

Пользовательский интерфейс комплекса состоит из набора основных и дочерних окон. Главное окно программы является родительским для окон – методов. Для удобства графики выводятся в отдельном окне.

Метод диагностирования, использующий нейронные сети, также реализован в отдельном окне. Предполагается создать инструмент визуализации обучения сети, помогающий корректировать и настраивать сеть. Обучение нейронной сети является сложным процессом, который может протекать длительное время. Пользователь программного продукта может самостоятельно задавать требуемую точность либо количество эпох, а также скорость обучения сети. В программе также предусмотрены инструменты, обнаруживающие паралич нейронов сети.

Для реализации прогнозирования остаточного ресурса создается отдельная нейронная сеть, которая следит за динамикой развития дефектов в объекте. Для хранения весовых коэффициентов могут использоваться файлы баз данных Microsoft Access или текстовые файлы.

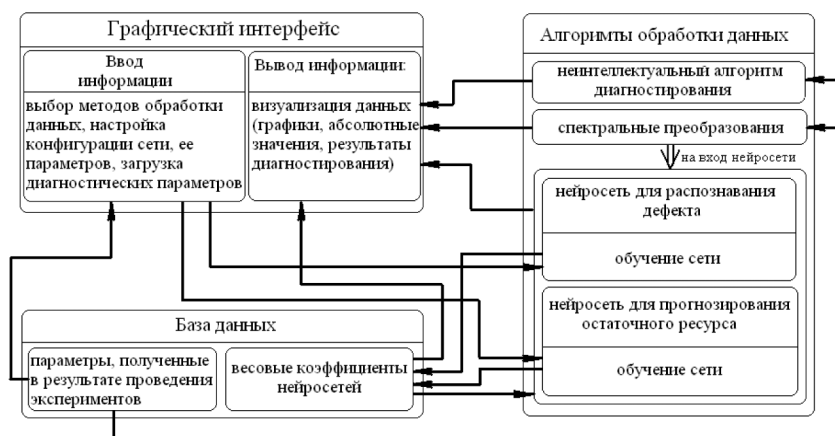


Рисунок 5 Структурная схема программного комплекса диагностирования асинхронных двигателей на основе аппарата искусственных нейронных сетей

Важным моментом является проверка адекватности работы нейронной сети. При помощи сторонних приборов и программных продуктов можно проверить насколько результаты диагностирования совпадают, и выявить, адекватна ли работа сети.

Проведение экспериментов

Для проведения экспериментов было выбрано три объекта диагностирования: асинхронный двигатель, многофункциональный инструмент Dremel и токарный станок. Для измерения вибрации использовался 3-х осевой датчик виброускорения AP-38. Для асинхронного двигателя было проведено 4 серии экспериментов. На валу двигателя в качестве нагрузки был установлен точильный диск. Первая серия проводилась при отсутствии дефектов в подшипнике, для второй серии в подшипник были внесены механические повреждения, а в третьей серии в подшипник был добавлен песок. Для проведения экспериментов была создана таблица, в которой указаны условия экспериментов.

Таблица 1 пример таблицы для проведения экспериментов с асинхронным двигателем («+» – наличие фактора, «-» – отсутствие фактора)

Номер эксперимента	Режим холостого хода	Ослабленное крепление диска	Задевание лопастей вентилятора	Приложена нагрузка
1	+	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	+	-	-
4	-	-	-	+
5	+	-	+	-
6	-	-	+	-
7	-	+	+	-
8	-	-	+	+

Четвертая серия экспериментов проводилась для выявления зависимости вибрации от дисбаланса. Для эмуляции дисбаланса был изготовлен диск, на который крепились грузы разной массы.

Полученные данные использованы для обучения нейронной сети.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по теме «Разработка интеллектуальных систем управления и диагностики мехатронными приводами» в рамках государственного задания и Министерства образования, науки и спорта Словацкой республики по проекту VEGA № 1/0931/13.

Список литературы

- NIKITIN, Y. R., ABRAMOV, I. V. CNC machines diagnostics. – Proceedings 13th International Symposium on Mechatronics. – 2–4 June, 2010. – Trencinske Teplice, Slovakia. P. 89–91.
- NIKITIN, Y. R., ABRAMOV I. V. Models of information processes of mechatronic systems diagnosis // University Review. – 2011. – V. 5. – № 1. – P. 12–16.
- НИКИТИН, Ю. Р., АБРАМОВ И. В. Информационные процессы в устройствах диагностирования мехатронных систем // Интеллектуальные системы в производстве. – 2011. – № 1 (17). – С. 206–215.
- НИКИТИН, Ю. Р. Диагностика станков с ЧПУ // Интеллектуальные системы в производстве. Научнопрактический журнал. – 2008. – № 12 (2). – С. 89–90.
- NIKITIN, Y. Diagnostics of mechatronic systems on the basis of neural networks. – State-of-the-Art in Mechatronics, Vol. 2. – Alphen aan den Rijn: Simulation Research Press, 2010. P. 167–188.
- BARBORÁK, ОТО, EPERJEŠI, M., ANDREJČÁK, IMRICH, BOŽEK, PAVOL. Production accuracy check using neural network statistics // University Review. – Vol. 3, No. 3 (2009). P. 3–7.
- BOŽEK, PAVOL, MORAVČÍK, OLIVER, ŠTOLLMANN, VLADIMÍR, ŠURIANSKY, JOZEF, PRAJOVÁ, VANESA, WALEKOVÁ, GABRIELA. Virtual program imported into the real technological workplace // Annals of DAAAM and Proceedings of DAAAM Symposium. – Vol. 19, No.1. Annals of DAAAM for 2008 & Proceedings of the 19th International DAAAM Symposium “Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Next Generation of Intelligent Systems and Solutions”, 22–25th October 2008, Trnava, Slovakia. – Viedeň: DAAAM International, 2008. P. 157–158.
- Хайкин, С. Нейронные сети. – М.: ООО «И.Д.Вильямс», 2006. – 1104 с.
- HINTON, G. E. Shape representation in parallel system // Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence. Vol. II University of British Columbia, Vancouver, B. C, Canada. P. 1088–1096.
-

Контакты:

А. Ю. Арцыбашев

магистрант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

e-mail: mega_gitarist@mail.ru

Ю. Р. Никитин

канд. техн. наук, доцент кафедры «Мехатронные системы», Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

e-mail: nikitin@istu.ru

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Е. Г. НУРИЕВА – Ю. Р. НИКИТИН

Nurieva, E. G., Nikitin, J. R.: . Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 56, Suppl. 1, 2014, 209–214. Identified often out of order nodes in the production of wood-based panels: bearings and electric motors. Analysis of the defects of the equipment showed that the most informative diagnostic parameter is the vibration.

Key words: vibration diagnostics, bearings, electric motors

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших условий эффективной работы автоматических и автоматизированных деревообрабатывающих производств является их надежное функционирование. Современное деревообрабатывающее оборудование представляет собой мехатронные системы, состоящих из мехатронных модулей. Диагностирование мехатронных систем на деревообрабатывающем производстве является наиболее перспективным и быстро развивающимся аспектом современного производства [1–8]. Чтобы избежать остановки деревообрабатывающего производства, которая приводит к простоям и большим затратам, необходимо прогнозировать аварии мехатронных узлов, которые могут возникнуть при его эксплуатации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В технологическом процессе производства трехслойных древесно-стружечных плит (ДСП) с мелкоструктурной поверхностью на основе карбамидо-формальдегидных смол используется различное оборудование – обрабатывающие станки, формирующие станции, шлифовальные станки и т.д. Технологическое оборудование состоит из узлов и механизмов – электрических двигателей, механических передач, подшипниковых узлов и т.д.

Согласно проведенному анализу наиболее часто выходящими из строя узлами на производстве ДСП являются подшипниковые узлы и асинхронные электрические двигатели. Так как в них имеются одновременно разные виды неопределенностей, связанные с различными физическими процессами в оборудовании, необходимо

использование для принятия решений о техническом состоянии теории нечетких множеств, которая позволяет адекватно учесть имеющиеся виды неопределенности. Аппарат нечетких множеств позволяет анализировать техническое состояние элементов этих узлов разной физической природы – механических, электромеханических, электрических, электронных.

Работоспособность оборудования по производству ДСП определяется, как правило, работоспособностью наиболее «слабых» звеньев. Такими звеньями являются механические передачи, опоры качения и электрические двигатели. Определение «слабых» звеньев является наиболее ответственным этапом и основывается на широком использовании вербальных методов. Износ элементов шарикоподшипников определяется закономерностями изменения во времени их действительных размеров, а также микрогеометрии трущихся поверхностей. Анализ результатов исследований показывает, что изменение микрогеометрии рабочих поверхностей шарикоподшипников связано в основном с износом трущихся поверхностей вследствие вибрации, возникающей в процессе работы шарикоподшипника.

В процессе эксплуатации оборудования происходит постоянная деградация узлов и элементов. Используя данные закономерности возможно оценивать техническое состояние в настоящий момент времени, планировать мероприятия по техническому обслуживанию и ремонту, предупреждать возникновение аварийных ситуаций, уменьшать вероятность отказа. Объективная оценка технического состояния в конкретный момент времени и знание закономерностей деградационных процессов позволяют прогнозировать возможный безаварийный период (остаточный ресурс) эксплуатации. Прогнозирование остаточного ресурса должно базироваться на анализе надежности и риска эксплуатации оборудования.

Анализ данных о деградации изделий должен проводиться с известной осторожностью, учитывая заложенные в его основу допущения. В случае выявленных закономерностях изменения диагностических параметров при небольших ошибках их измерений возможно обоснованно экстраполировать выявленные закономерности для прогнозирования моментов наступления отказов. Требуются другие модели и методы анализа, когда:

- изменения диагностических параметров носят нелинейный характер и не могут быть линеаризованы, или нет оснований полагать, что в пределах периода экстраполяции можно обоснованно считать их зависимость от времени линейной («разумность линеаризации» зависит от глубины экстраполяции);
- присутствуют значительные ошибки измерений диагностических параметров, что ведет к существенным искажениям в оценках наработок до отказов;
- наблюдаются внезапные отказы изделий, т. е. мгновенные изменения диагностических параметров, слабо коррелированные с наблюдаемыми деградационными процессами. Такое поведение изделий при испытаниях часто указывает на возможность развития катастрофических отказов, механизмы которых принципиально отличаются от наблюдаемых деградационных процессов, а это, в свою очередь, свидетельствует о том, что измерения диагностических параметров

содержат мало полезной информации относительно ожидаемых наработок изделий до отказа.

В некоторых случаях сама процедура измерения диагностических параметров способна повлиять на будущее развитие процессов деградации, как, например, разборка двигателя для измерения степени его износа, или вообще является разрушающей. В последнем случае диагностические параметры каждого изделия можно измерить всего один раз в определенный, выбранный из стратегических соображений, момент времени.

Анализ дефектов оборудования показал, что информативным диагностическим параметром является вибрация. Был проведен анализ закономерностей между дефектами и диагностическими параметрами. На основе данных закономерностей построена база правил системы нечеткого вывода для оценки технического состояния узла.

Алгоритм диагностирования оборудования на базе системы нечёткого вывода включает следующие основные этапы:

1. Измерение диагностических параметров.
2. Фаззификация диагностических параметров.
3. Аккумуляция заключений нечетких правил.
4. Дефаззификация выходной переменной – уровня технического состояния.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для сбора диагностических данных используется шумомер-виброметр ОКТАВА 110А-Эко. С помощью этого прибора происходит сбор данных в режиме реального времени и сохраняется в виде бинарного файла, преобразование которого в .txt или .exl возможно посредством программы Signal+. Данные разделены по частотам и времени. Каждая запись длится 1 минуту. Измерения вибрации оборудования повторяются каждый день три раза. После накопления информации целесообразно изменить период измерения диагностических параметров в зависимости от технического состояния, т.к. срок эксплуатации, например, подшипников составляет 3 года. Все пороговые значения задаются либо при замере только что введенных в эксплуатацию новых узлов и узлов, уже вышедших из строя, либо используя теоретические данные, взятые из ГОСТ [9–12] или регламентов.

Таблица – Теоретические значения выбранных диагностических данных

№	Вибрация, дБ	Температура, °С	Шум, дБ		Состояние узла
			Двигатель	Подшипник	
11	149	110	100	50	Неудовл.
10	145	105	97	47	
9	141	100	94	44	
8	137	95	90	40	Удовлет.
7	133	90	87	37	
6	129	85	84	34	
5	125	80	80	30	
4	121	75	77	27	Нормал.
3	117	70	74	24	
2	113	65	70	20	
1	109	60	67	17	

Измеренные данные загружаются в программный продукт MatLab, где по созданной заранее нечеткой модели обрабатываются, и делается оценка состояния узла.

Все причины поломок на производстве можно определить по внешним признакам, таким как чрезмерные вибрации и нагрев. На этой основе можно создать модель для проведения диагностики. Так, основными элементами выбираются асинхронный двигатель и подшипники качения. Для определения дефектов анализируются все отклонения от какого-либо элемента. Для измерения каждого параметра используются соответствующие датчики.

Входными лингвистическими переменными являются **ЧАСТОТА ВИБРАЦИИ**, **АМПЛИТУДА ВИБРАЦИИ**. Например, лингвистическая переменная будет иметь значения, т.е. термы **НИЗКИЙ**, **СРЕДНИЙ**, **ВЫСОКИЙ**, **ОЧЕНЬ ВЫСОКИЙ**. Для каждого терма определяется диапазон значений. Согласно теории нечетких множеств каждому значению частоты и амплитуды вибрации может быть поставлено в соответствие некоторое число от 0 до 1, которое определяет степень принадлежности данного физического состояния к тому или иному терму лингвистической переменной. Степень принадлежности определяется так называемой функцией принадлежности $M(t)$, где t -значение температуры в данный момент времени. В качестве выходных переменных будут являться оценки технического состояния диагностируемого узла: **НОРМАЛЬНОЕ**, **УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОЕ** и **НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОЕ**.

Для решения поставленной задачи используется пакет Matlab, т.к. он имеет в своем составе fuzzy-приложение, необходимое для моделирования работы всей системы. Все действия над нечеткими числами задаются минимальным набором

функций. Также для получения результата создана база правил, согласно которым та или иная переменная будет принадлежать к выходной переменной.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В настоящее время выполняется сбор диагностических данных на деревообрабатывающем предприятии ОАО «УВАДРЕВ» на производстве ДСП. Результаты экспериментальных исследований показывают, что выбранные теоретические значения соответствуют реальным значениям диагностических параметров. На основе созданной нечеткой модели можно будет дистанционно определять состояние узла по собранным диагностическим данным после внедрения разработанной системы диагностирования на производстве ДСП. Использование возможностей нечеткой логики и программного продукта Matlab позволяет получить модель диагностирования, на базе которой будут разработаны алгоритмы и программные продукты для диагностирования оборудования по производству ДСП.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по теме «Разработка интеллектуальных систем управления и диагностики мехатронными приводами» в рамках государственного задания и Министерства образования, науки и спорта Словацкой республики по проекту VEGA № 1/0931/13.

Список литературы

- ŠTOLLNANN, V. – ILČÍK, Š., 2009: Assessment of the current theory for projecting cableway routes in terms of the risk level in overloading. In: Research in Agricultural Engineering 55(1), ISSN: 1212-9151: 35–38.
- ŠTOLLNANN, V.: Nezabúdajme na hydraulické systémy. In: Čas. Tribotechnika, roč. 3, 3/2010, ISSN 1338-0524. Str. 24–26.
- BAROBORÁK, O. – BOŽEK, P. – NAŠČÁK, L. – ŠTOLLNANN, V.: Špecializované robotické systémy. Učebnica, Ostrava: Ámos, 2012, ISBN 978-80-904766-3-9, ISBN 978-80-904766-8-4 (CD). Str. 224. 2,89 АН.
- ŠTOLLNANN, V. – SLUGEN, J., 2009: Lesnícke mechanizačné prostriedky. Skriptum, Zvolen: ES TU, 2009, ISBN 978-80-228-2065-3: 198, 13,54 АН.
- NIKITIN, Y. – АБРАМОВ, I. Mechatronic modules diagnosis by use of fuzzy sets. In: Proceedings of 14-th International Conference on Mechatronics. – 1–3 June, 2011. Trenčinske Teplice, Slovakia. P. 109–111.
- Никитин, Ю. Р. Диагностирование мехатронных систем: учеб. пособие / Ю. Р. Никитин, И. В. Абрамов. Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2011. 116 с.
- Никитин, Ю. Р. Интеллектуальные узлы машин с функциями диагностики // Вибродиагностика, триботехника, вибрации и шум: Монографический сборник материалов семинара VII Международной научно-технической конференции «Социально-экономические и экологические проблемы лесного хозяйства» / Под ред. А. А.Санникова и Н. В. Куцубиной. Екатеринбург: Уральск. гос. лесотехн. университет, 2009. С. 120–124.
- Никитин, Ю. Р., Абрамов И. В. О построении системы диагностирования станков с ЧПУ // Мехатроника, автоматизация, управление. 2011. № 4. С. 32–35.
- ГОСТ Р ИСО 13373-1–2009. Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 1. Общие методы.
- ГОСТ 20815-93. Машины электрические вращающиеся. Механическая вибрация некоторых видов машин.

ГОСТ 16372-93. Машины электрические вращающиеся. Допустимые уровни шума.
ИСО 15242-2-2004. Подшипники качения. Методы измерения вибрации.

Контакты:

Е. Г. Нуриева

магистрант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

e-mail: nurieva.e@mail.ru

Ю. Р. Никитин

канд. техн. наук, доцент кафедры «Мехатронные системы», Ижевский государственный
технический университет имени М. Т. Калашникова

e-mail: nikitin@istu.ru

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Л. С. СЕРГЕЕВ – Ю. Р. НИКИТИН

Sergeev, L. S., Nikitin, J. R. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 56, Suppl. 1, 2014, 215–222.

Development of diagnostic systems to assess the technical condition of induction motors with the use of fuzzy logic. The induction motors technical condition information is measured by a 3-channel vibration sensor AP38. The diagnostic system software provides to user a possibility to analyze a vibration. The software has modular structure, and user may select a most appropriate method of diagnosis. Fuzzy-logic box performs a two-level diagnosis. On first level the technical condition of induction motor is assessed (acceptable or unacceptable condition). In case of unacceptable condition, spectral analysis is used. The software provides user to save measured data and also object parameters in database, to simplify re-diagnosis. The software has modular structure and an open source, which means that additional methods can be added easily.

Key words: diagnostic system, software, fuzzy logic, induction motor.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время диагностике сложных технических систем уделяется большое внимание. Техническая диагностика благодаря раннему обнаружению дефектов позволяет устранить отказы в процессе эксплуатации, что повышает надежность и эффективность эксплуатации.

Сегодня на производстве широкое применение находят асинхронные двигатели. Построенные на них электрические приводы составляют большую часть от общего количества приводов. Диагностика асинхронных двигателей является перспективным и актуальным направлением в науке и технике. Существуют различные методы диагностики асинхронных двигателей и мехатронных модулей на их основе, рассмотренные в работах [1–6].

Наиболее широкое распространение получили следующие методы: методы искусственного интеллекта (нейронные сети, системы нечёткого вывода, генетические алгоритмы, экспертные системы), методы спектрального анализа вибрации и шума, методы электромагнитной диагностики, методы температурного контроля.

В настоящее время широко используются методы нечёткой логики, которые позволяют упростить создание модели объекта диагностирования, а также являются мощным инструментом для создания алгоритмов диагностирования.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

На сегодняшний день все предлагаемые методики вибродиагностики можно разделить на метод ударных импульсов и метод выделения огибающей вибрационного сигнала. Суть последнего метода состоит в том, что исходный вибрационный сигнал фильтруется, а затем подвергается демодуляции. Демодулированный сигнал несёт информацию о состоянии подшипника. При практической реализации метода приходится сталкиваться с некоторыми проблемами: принцип выбора фильтра; АЧХ используемого датчика [10]. Обработка сигнала ударных импульсов и оценка состояния подшипников на его основе выполняются микропроцессорами измерительных устройств фирмы SPM.

Уровень ударных импульсов, регистрируемый в приборах SPM, является функцией скорости вращения элементов подшипника, его геометрических размеров и степени развития дефектов на телах качения. Основными параметрами результатов измерений по методу ударных импульсов SPM являются два уровня одного и того же высокочастотного вибрационного сигнала: уровень малого количества сильных ударных импульсов, уровень большого количества слабых ударных импульсов. Значения уровней ударных импульсов выражаются в децибелах – dBsv (decibel shock value = величина удара в децибелах) [11].

Описанные выше методы диагностики реализованы в различных диагностических приборах и системах. Например, прибор AM Test2 компании “Вибро-Центр” предназначен для комплексного контроля состояния электрических машин. При помощи данного прибора в режиме мониторинга контролируется вибрационное состояние, параметры потребления энергии, проводится диагностика электрического двигателя [7]. Система КОМПАКС®-РПЭ предназначена для диагностики электрического двигателя по вибрации, температуре и току с регистрацией измеренных параметров. Система позволяет производить диагностику до восьми электрических двигателей одновременно [8]. Система диагностики электродвигателей МСМ – это устройство, предназначенное для контроля трехфазных электрических двигателей, электрических приводов и оборудования промышленного назначения. МСМ помещается в небольшом корпусе и ее можно установить в систему управления двигателя. После завершения фазы обучения, система начинает контролировать работу двигателя, обрабатывая данные двигателя в реальном времени [9]. Существующие системы диагностирования отличаются набором измеряемых параметров, количеством устанавливаемых датчиков, набором выявляемых дефектов, используемыми алгоритмами диагностирования, возможностью интеграции в SCADA – системы и возможностью выдачи акта по окончании диагностики.

В процессе создания системы диагностирования были выявлены и проанализированы основные дефекты, возникающие при эксплуатации асинхронных двига-

телей, их причины, а также закономерности между дефектами и диагностическими параметрами. Основными причинами выхода из строя асинхронного двигателя являются повышенное нагревание частей двигателя, повреждение изоляции обмоток, дефекты подшипников качения, причины электрического характера.

СТРУКТУРА ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Диагностическая система состоит из крейтовой системы LTR, персонального компьютера (ноутбук), усилителя заряда LE-41 и трехканального датчика вибрации AP38. Крейтовая система LTR предназначена для построения многоканальных измерительных систем. Модуль LTR22 предназначен для создания многоканальных систем сбора данных и содержит 4 канала сигма-дельта АЦП. Каждый канал LTR22 имеет высококачественный дифференциальный высокоомный вход с высоким подавлением синфазного сигнала. Модуль LE-41 является 4-канальным усилителем заряда.

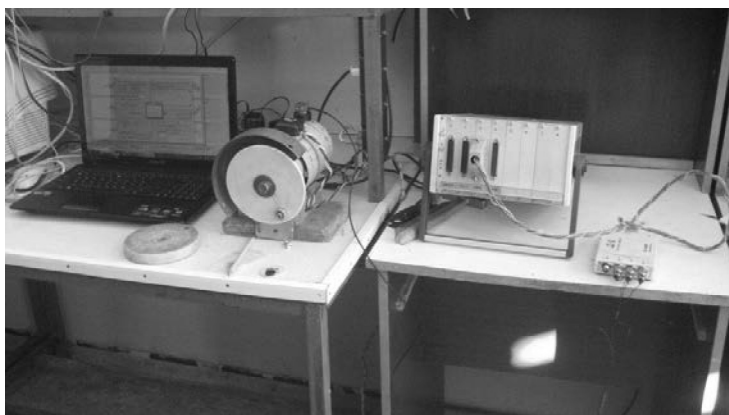


Рисунок 1 Диагностическая система с асинхронным двигателем

В разработанной системе диагностирования, вибрация двигателя измеряется с помощью трёхканального датчика вибрации AP38. Программное обеспечение комплекса имеет модульную структуру и позволяет выбрать наиболее подходящий метод диагностирования.

Модуль, работа которого основана на нечёткой логике, проводит двухуровневое диагностирование. На первом уровне оценивается текущее состояние объекта («удовлетворительное» или «неудовлетворительное»). Если состояние объекта неудовлетворительное, то проводится более глубокий анализ физических процессов в объекте, для определения дефекта.

Система нечёткого вывода для определения состояния двигателя

Программа, осуществляющая диагностирование двигателя написана на языке программирования высокого уровня С#, с использованием объектно-ориентированного подхода. Для диагностики с помощью нечёткой логики был выбран алгоритм Мамдани. Данный алгоритм представляет из себя следующую последовательность шагов: формирование базы правил; фаззификация; нечёткий вывод; композиция; дефаззификация.

На этапе формирования базы правил устанавливаются зависимости выходных параметров (технического состояния) от входных параметров (измеренные диагностические параметры). Правила состоят из условий и заключений. Примерная структура правила приведена далее:

IF (Input 1 is t1) AND (Input 2 is t2) AND ... AND (Input k is tn) THEN (Output 1 is q1)... AND (Output p is qn),

где k – количество входных параметров,

p – количество выходных параметров,

n – количество термов входных переменных,

q – количество термов выходных переменных,

(Input k is tn) – подусловие,

(Output p is qn) – подзаключение.

На этапе фаззификации входных переменных с помощью функций принадлежности всех термов входных лингвистических переменных и на основании измеренных значений входных переменных определяются степени уверенности в том, что выходная лингвистическая переменная принимает конкретное значение. На этапе нечёткого вывода на основании базы правил вычисляется значение истинности для каждого правила.

В разработанной программе нечёткого вывода на входе имеется 4 параметра, для каждого из них можно установить необходимый диапазон изменения и задать функцию принадлежности.

По окончании выполнения программы на выходе образуются чёткие значения, по которым можно определить дефект, наиболее характерный текущему состоянию объекта диагностирования.

В программном обеспечении диагностической системы есть возможность построить спектр и провести его анализ.

В диагностической системе предусмотрено сохранение результатов измерений, а так же информации о диагностируемых двигателях в базе данных, с целью упрощения проведения повторного диагностирования. Программное обеспечение имеет модульную структуру и открытый код, поэтому, при необходимости, могут быть добавлены необходимые дополнительные методы диагностирования двигателей и других объектов.

Анализ результатов эксперимента

В ходе разработки и создания диагностического комплекса были проведены серии экспериментов с различным оборудованием (асинхронный двигатель, привод ручного инструмента). В результате экспериментов были получены зависимости изменения виброускорения во времени от дефектов и режимов эксплуатации оборудования.

На рисунках представлены виброускорения в трех плоскостях корпуса трехфазного короткозамкнутого асинхронного двигателя АОЛ 012-4 мощностью 0,08 кВт. Эксперименты проведены с асинхронным двигателем на холостом ходу (рисунок 2), с приложенной нагрузкой (рисунок 3), а также с дефектом затяжки соединений (рисунок 4).

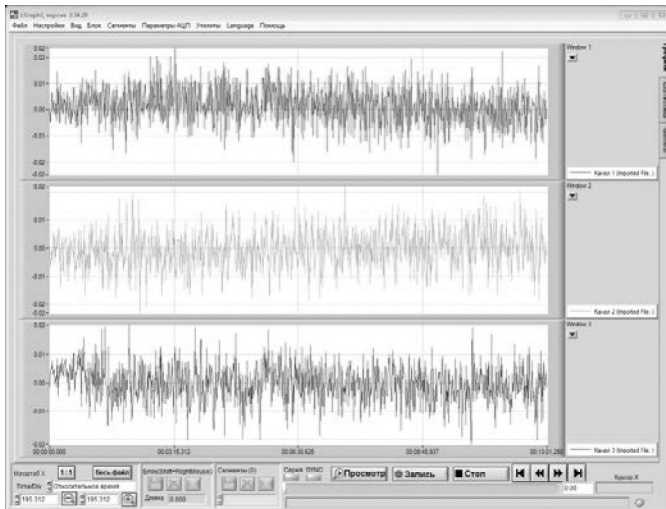


Рисунок 2 Результаты эксперимента с асинхронным двигателем в режиме холостого хода



Рисунок 3 Результаты эксперимента с асинхронным двигателем при эксплуатации под нагрузкой

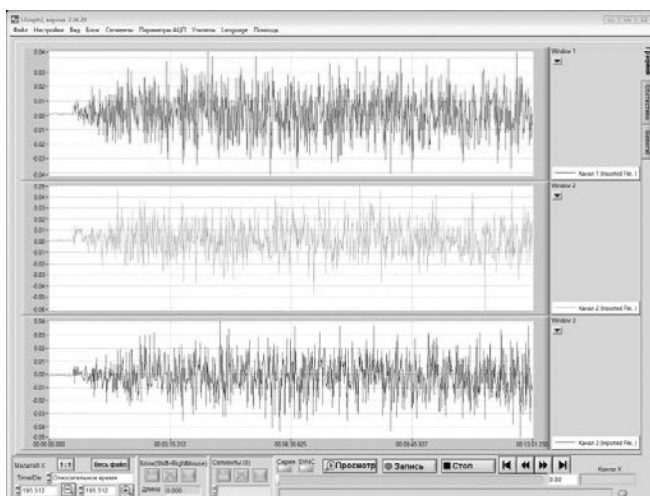


Рисунок 4 Результаты эксперимента с асинхронным двигателем с дефектом затяжки соединений

По представленным результатам видно, что анализ общего уровня вибрации даёт незначительную информацию о техническом состоянии асинхронного двигателя. Лишь при значительном дефекте затяжки соединений в асинхронном двигателе максимальные значения виброускорения возрастают в два раза. Применение раз-

работанной диагностической системы позволит решать задачи диагностирования двигателей в автоматическом режиме.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по теме «Разработка интеллектуальных систем управления и диагностики мехатронными приводами» в рамках государственного задания и Министерства образования, науки и спорта Словацкой республики по проекту VEGA № 1/0931/13.

Список литературы

- Основные направления технической диагностики // Сайт Мехатроника: Сборник статей технической тематики. URL: <http://mechatronics.ru/?p=651> (дата обращения 09.04.2013).
- NIKITIN, Y., AVRAMOV, I. Mechatronic modules diagnosis by use of fuzzy sets. – Proceedings of 14-th International Conference on Mechatronics. – 1–3 June, 2011. – Trencinske Teplice, Slovakia. – P. 109–111.
- Никитин, Ю. Р. Диагностирование мехатронных систем: учеб. пособие / Ю. Р. Никитин, И. В. Абрамов. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2011. – 116 с.
- Никитин, Ю. Р. Интеллектуальные узлы машин с функциями диагностики // Вибродиагностика, трибо-техника, вибрации и шум: Монографический сборник материалов семинара VII Международной научно-технической конференции «Социально-экономические и экологические проблемы лесного хозяйства» / Под ред. А.А.Санникова и Н.В.Куцубиной. – Екатеринбург: Уральск. гос. лесотехн. университет, 2009. – С. 120–124.
- Никитин, Ю. Р., Абрамов, И. В. О. Построении системы диагностирования станков с ЧПУ // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2011. – № 4. – С. 32–35.
- BOŽEK, PAVOL, MORAVČÍK, OLIVER, ŠTOLLMAN, VLADIMÍR, ŠURIANSKY, JOZEF, PRAJOVÁ, VANESA, WALEKOVÁ, GABRIELA. Virtual program imported into the real technological workplace // Annals of DAAAM and Proceedings of DAAAM Symposium. – Vol. 19, No.1. Annals of DAAAM for 2008 & Proceedings of the 19th International DAAAM Symposium «Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Next Generation of Intelligent Systems and Solutions», 22–25th October 2008, Trnava, Slovakia. – Viedeň: DAAAM International, 2008. P. 157–158.
- Прибор AM-Test2 // Сайт компании ООО «Элиз» URL:<http://www.elizpribor.ru/products/2752.htm> (дата обращения 09.04.2013).
- Система КОМПАКС-ПИЭ // Сайт научно-производственного центра «Динамика». URL: <http://www.dynamics.ru/content/view/366/74/> (дата обращения 09.04.2013).
- Мониторы состояния двигателя МСМ // Сайт группы компаний «Симметрон». URL: <http://www.symmetron.ru/suppliers/iskra/pdf/iskra-131-133.pdf> (дата обращения 05.03.2013).
- Методы вибродиагностики // Сайт «Вибродиагностика для начинающих». URL: <http://www.vibration.ru/spm/spm.shtml> (дата обращения 09.04.2013).
- Метод ударных импульсов // Сайт компании SPM Instrument Россия. URL: <http://www.spminstrument.ru/methods/spm/> (дата обращения 09.04.2013).
-

Контакты:

Л. С. Сергеев

магистрант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

e-mail: sergeewleonid@mail.ru

Ю. Р. Никитин

канд. техн. наук, доцент кафедры «Мехатронные системы», Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

e-mail: nikitin@istu.ru

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ АКУСТИКИ В ПАКЕТЕ ANSYS НА ПРИМЕРЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА

А. А. ШАКЛЕИН – А. П. ТЮРИН

Shaklein, A. A., Tjurin, A. P. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 56, Suppl. 1, 2014, 223–229.

Article is devoted to research of the calculation results of sound pressure level received by means of physical and numerical experiments. Values of the experiences reference error shows applicability of the finite-element method for the decision of acoustics tasks with reference to cylindrical wave guide.

Key words: numerical acoustics, the finite-element method, noise, software, sound pressure level, laboratory bench

ВВЕДЕНИЕ

Снижение шумового воздействия от механизированных установок представляет серьезную проблему как на этапах их проектирования, так и эксплуатации и модернизации. Наука, достижения которой помогают привести в соответствие фактические уровни звукового давления санитарно-гигиеническим или, по меньшей мере, приблизиться к ним, называется акустикой. Акустика изучает генерацию, распространение и отражение звуковых волн в жидких средах. Положения этой науки используются для расчета и прогнозирования акустических явлений в различных областях.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АКУСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Достаточно подробный акустический анализ доступен в таких программных продуктах как ANSYS Multiphysics и ANSYS Mechanical. Интерес представляет получение данных о распространении давления в среде на различных частотах, градиент давлений, скорость частиц, уровень звукового давления и другие параметры.

Звуковое давление характеризует локальное отклонение давления от окружающего (среднего или равновесного) атмосферного давления, вследствие возмущения от звуковой волны (рис. 1). В воздушной среде звуковое давление может

быть измерено с помощью микрофона. Звуковое давление измеряется в Паскалях (Па).

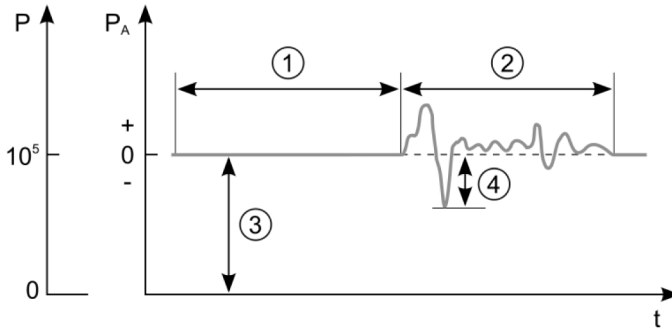


Рис. 1. График звукового давления: 1 – тишина; 2 – слышимый звук; 3 – атмосферное давление; 4 – мгновенное звуковое давление

Уровень звукового давления – измеренное по относительной шкале значение звукового давления, отнесённое к опорному давлению $P = 20$ мкПа, соответствующему порогу слышимости синусоидальной звуковой волны частотой 1 кГц:

$$L_{sp} = 20 \lg \left(\frac{P_{rms}}{P_{ref}} \right) \quad (1)$$

где L_{sp} – уровень звукового давления (дБ); P_{rms} – измеренное звуковое давление (Па); P_{ref} – относительное давление (20 мкПа).

Определение уровня звука или звукового давления, излучаемого механизмом, частью машины, всей установкой или какой-либо поверхностью сложной формы на стадии проектирования или прогнозирования распространения звука в замкнутом пространстве требует применения численных методов. На низких частотах, могут быть использованы: метод граничных элементов (Boundary Element Analysis), метод конечных элементов (Boundary Element Analysis), модальный анализ с использованием пакета MatLab. Эти аналитические методы можно условно разбить на три шага.

Первым шагом является определение и количественная оценка силы, возбуждающей поверхность. Силу, как правило, разделяют на сумму синусоидальных компонентов, с помощью Фурье-анализа. Второй шаг заключается в определении распространения колебательной скорости поверх механизма (машины) или поверхности в ответ на эту возбуждающую силу. Последним шагом является расчет звукового поля и звукового давления, порожденных колебательной реакцией поверхности.

В методе конечных элементов, объект разделен на конечное число поверхностных элементов. Равновесие элемента и взаимосвязь определены с помощью системы дифференциальных уравнений.

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

Для исследования особенностей затухания уровня звукового давления в цилиндрическом волноводе, которые идентифицировались экспериментальными и численными методами, проводились серии опытов на специально сконструированном акустическом интерферометре. Экспериментальный стенд изображен на рис. 2.

Установка представляет собой цилиндр, с установленным с одного торца микрофоном. Второй торец может быть открытым, тогда установка будет представлять собой «бесконечную» трубу, а может быть закрыт материалом, и тогда данный стенд можно использовать как установку для определения коэффициента звукопоглощения этого материала. В верхней части металлической трубы вдоль образующей цилиндрической поверхности на определенном расстоянии друг от друга выполнены два отверстия для установки микрофонов или шумоизмерительных приборов. При подаче звука с определенной частотой микрофонами фиксируются значения звукового давления.



Рис. 2. Экспериментальная установка с установленным шумомером и микрофоном

Расположение шумомера, а также геометрические размеры, представлены на рис. 3.

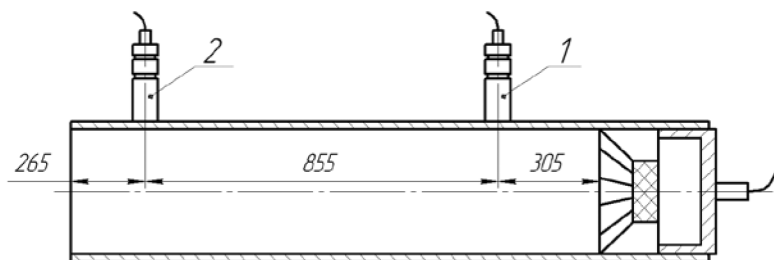


Рис. 3. Расположение микрофонов в цилиндрическом волноводе:
1, 2 – микрофоны

В исследовании задача решалась с применением пакета ANSYS, в котором используется метод конечных элементов. Была задана геометрия цилиндрического волновода (на основе размеров стенда), поставлены граничные условия (рис. 4, 5). Задача рассчитывалась в двумерной постановке. Так на рис. 5 представлено распределение уровня звукового давления в цилиндрическом волноводе при частоте звуковых колебаний в 1000 Гц.

При расчете акустических задач, например, в случае взаимодействия жидкости с поверхностью структуры структурные уравнения динамики рассматриваются вместе с уравнениями Навье-Стокса для импульса жидкости и уравнением неразрывности. При расчете этих уравнений делается ряд допущений, к которым относятся:

1. Сжимаемость жидкости в предположении, что изменение плотности обусловлено колебанием давления.
2. Вязкость жидкости, предполагающая отсутствие диссипативного эффекта.
3. Отсутствие срединного течения жидкости.
4. Плотность и давление равномерно по всей жидкости.

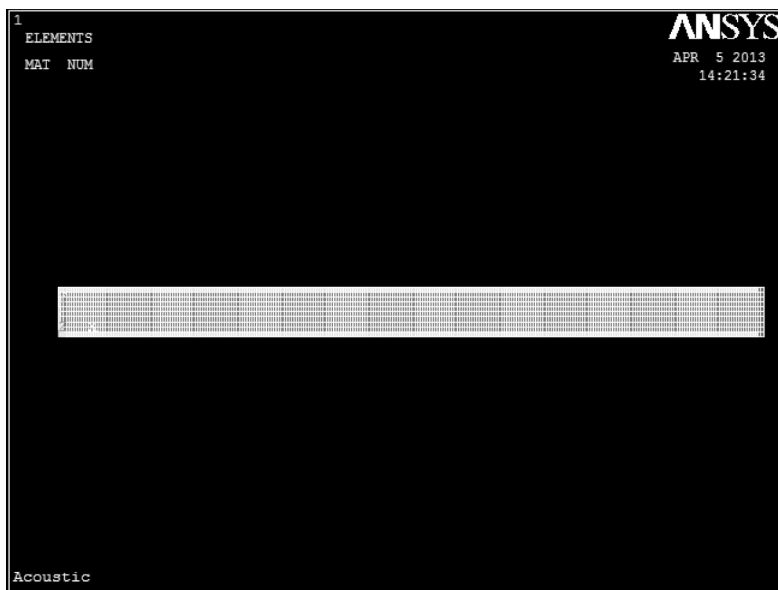


Рис. 4. Сетка конечных элементов для рассматриваемой задачи в программе ANSYS

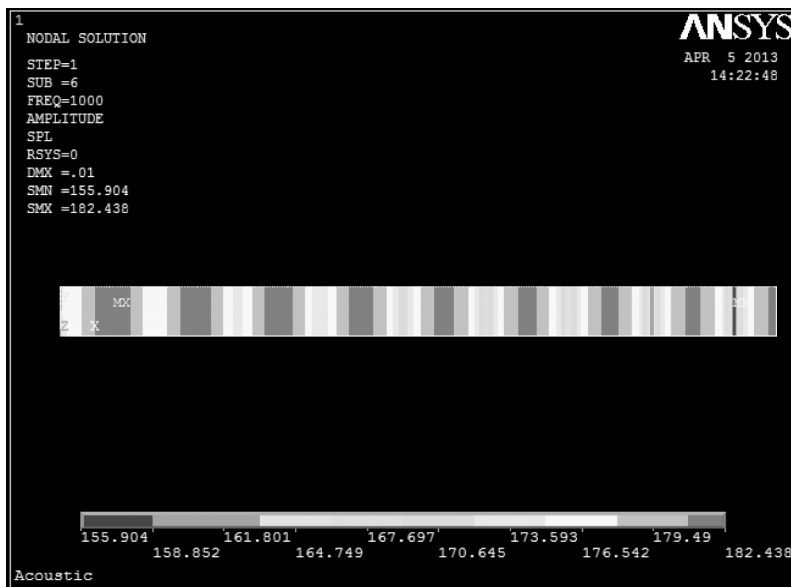


Рис. 5. Уровень звукового давления в цилиндрическом волноводе при частоте 1 000 Гц.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Данные, полученные из физического эксперимента и в ходе численного решения задачи, сведены в таблице. Результаты сравнивались с помощью относительной погрешности (столбец 6 и столбец 7 таблицы), определяемой по стандартной формуле:

$$\Delta_i = \left| \frac{P_i^* - P_i}{P_i} \right| \cdot 100 \% \quad (2)$$

где P_i^* – уровень звукового давления, полученный численно, дБ; P_i – уровень звукового давления, полученный экспериментально с помощью шумоизмерительного прибора «Ассистент» производства ООО «НТМ-Защита», дБ.

В знаменателе формулы (2) использовано экспериментальное значение, как эталонное в связи с использованием поверенного прибора.

Сравнение показало, что величина относительной погрешности не велика и в десяти случаях из одиннадцати не превышает 20 %. Разница может быть обусловлена: во-первых, недостаточно мелкой сеткой, что приводит к значительному возрастанию времени расчета при увеличении количества элементов; во-вторых, особенностями постановки и решения задачи в двумерной постановке.

Таблица Результаты уровня звукового давления при расчете численным и экспериментальным методом

Частота, Гц	Численные значения УЗД* на 1-ом микрофоне, дБ	Экспериментальные значения УЗД на 1-ом микрофоне, дБ	Численные значения УЗД на 2-ом микрофоне, дБ	Экспериментальные значения УЗД на 2-ом микрофоне, дБ	Относительная погрешность на первом микрофоне, Δ_1	Относительная погрешность на втором микрофоне, Δ_2
500	124,0	128,6	120,6	122,6	3,6	1,6
600	129,3	105,1	129,9	106,7	23,0	21,8
700	132,2	122,5	131,3	118,8	7,9	10,6
800	129,5	122,4	127,5	122,9	5,8	3,7
900	118,0	110,4	132,5	126,5	6,9	4,7
1000	122,0	128,7	130,5	127,8	5,2	2,1
1100	129,1	130,1	125,0	123,5	0,8	1,2
1200	132,7	114,1	133,0	114	16,3	16,7
1300	135,0	121,1	135,0	117,8	11,5	14,6
1400	135,4	118,0	131,5	118,9	14,8	10,6
1500	129,0	110,9	139,1	119,6	16,3	16,3

Примечание: * – уровень звукового давления.

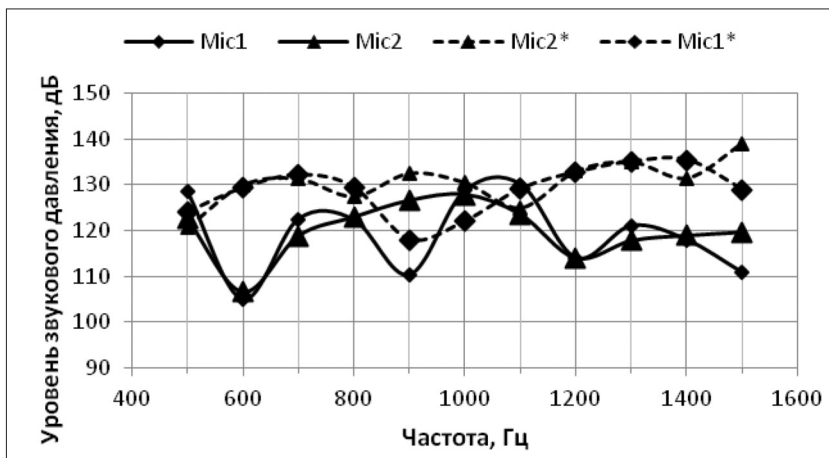


Рис. 6. Диаграмма уровня звукового давления на микрофонах 1 и 2 при оценке экспериментально и численно, соответственно

Выполненное исследование позволяет сформулировать следующие пункты заключения:

1. Выполнено сравнение результатов расчета уровня звукового давления в цилиндрическом волноводе, полученных численным и физическим экспериментами в диапазоне частот 500–1500 Гц с шагом 100 Гц.
2. Относительная погрешность результатов лежит в диапазоне 1,6–23 %, величина которой обусловлена способом постановки экспериментов: в физическом эксперименте работает трехмерное поле, а в численном эксперименте на данном этапе реализована двумерная постановка.
3. Использование метода конечных элементов для решения задачи акустики, реализованного в программном пакете ANSYS, можно использовать при проектировании более сложных объектов, например, автомобилей или механизированных установок.

Контакты:

Шаклеин А. А.

магистрант, Ижевский государственный технический университет М.Т. Калашникова

tel.: 89090557955

e-mail: tohaa@tohaa.ru;

Тюрин А. П.

д.т.н., профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности», Ижевский государственный технический университет М.Т. Калашникова

tel.: 89226819838

e-mail: asd1978@mail.ru

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО СТЕНДА ПО АКТИВНОМУ УПРАВЛЕНИЮ АКУСТИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ

А. М. ЗЫКОВ – А. П. ТЮРИН

Zykov, A. M., Tjurin, A. P. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 56, Suppl. 1, 2014, 231–236.

Article is devoted to development of bench on research of a active noise control. Bench operation is researched in a static mode. It means that at adaptive filters was not used for generation of an extinguishing wave. Inverting of a signal of tone was fulfilled. Results showed serviceability of the laboratory bench.

Key words: active noise control, signal inverting, laboratory bench, sound pressure level

ВВЕДЕНИЕ

Среди всего разнообразия дестабилизирующих факторов, воздействующих на человека, одним из самых распространенных и значимых являются акустические шумы, защита от которых стала актуальнейшей проблемой для всех развитых стран мира. Пагубное физиологическое и психологическое воздействие шума хорошо известно. Шумовые поля действуют угнетающе на человеческую психику, вызывают быструю утомляемость и раздражительность. Особенно неблагоприятно это воздействие в низкочастотной части спектра, где сосредоточена основная энергия излучения большинства источников шума и где обычные средства звукоизоляции малоэффективны. Основной целью статьи является разработка имитационно-измерительного комплекса по адаптивному управлению акустическими полями, включающей обоснование и компоновку его структурных элементов, настройку программного обеспечения. Активные методы борьбы с шумом, наряду с пассивными могут быть успешно применены в различных отраслях народного хозяйства, в том числе на механизированных и автоматизированных установках.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО МЕТОДАМ ШУМОПОДАВЛЕНИЯ

Рассмотрим основные принципы борьбы с шумом. В среде существует два вида акустических шума. Первый возникает при турбулентности и является совершенно произвольным. Турбулентный шум распределяет свою энергию равномерно в частотном диапазоне. Данный шум обозначается как широкополосный. В качестве примера можно привести шумы низкой частоты реактивного двигателя и импульсные шумы, возникающие при взрыве. Другой вид шума, называемый узкополосным, концентрирует большую часть своей энергии в особом частотном диапазоне. Данный вид шума относится к вращающимся или периодически повторяющим свое движение механизмам. Таким образом, данный шум представляет собой периодически или почти периодически распространяющийся шум. Примером узкополосного шума является шум в двигателях внутреннего сгорания, в компрессорах как источниках резервной мощности, в рефрижераторах, и, наконец, в вакуумных насосах, используемых для транспортировки массивных материалов в различных отраслях промышленности. Существует два метода борьбы с акустическим шумом: пассивные и активные.

Традиционными методами подавления шума являются пассивные технологии, такие как шумозащитные ограждения и экраны, а также глушители для гашения нежеланных шумов. Пассивные глушители работают на концепции импедансного изменения, вызываемого комбинацией перегородок и трубок с целью гашения нежеланного шума (реактивные глушители) или на принципе потерь энергии, образующихся при распространении шума в трубопроводах с облицовкой из звукопоглощающих материалов, обеспечивающих гашение шума (резистивные глушители). Реактивный глушитель используется обычно как звукопоглощающее устройство для двигателей внутреннего сгорания, в то время как резистивные глушители – большей частью для подавления шума в воздуховодах систем вентиляции. Данные пассивные глушители являются ценными из-за высокого поглощения в широком диапазоне частот. Однако, они относительно большие, и неэффективны в низких частотах. Создание пассивного метода с целью подавления шума является трудно реализуемым на практике. К тому же, если существует воздушный поток в трубопроводах, вышеуказанные глушители часто создают в нём неблагоприятное обратное давление.

Для решения этих проблем значительный интерес представляют активные методы борьбы с шумом. Система активного подавления шума состоит из электроакустического устройства, гасящего нежеланный шум путем генерирования антишума с идентичной амплитудой в противофазе. Начальный нежеланный шум и антишум совмещаются акустическим путём, в результате чего происходит гашение обеих звуковых волн. Эффективность гашения основного шума зависит от точности совпадения по амплитуде и фазе генерирования антишума. Успешность методов активной шумозащиты определяется их значительной эффективностью по сравнению

с пассивными технологиями гашения шума. Активные методы шумоподавления являются привлекательными в виду достижения больших величин уменьшения шума в небольшом агрегате, особенно при низких частотах (ниже 600 Гц). На низких частотах, которым соответствуют малые значения частот дискретизации и возможно распространение только плоских волн, активные методы борьбы с шумом предлагают существенные преимущества. С точки зрения геометрии применение активных методов борьбы с шумом может классифицироваться на следующие 4 категории:

- 1) шум в каналах (одномерные трубопроводы, такие как вентиляционные каналы, вытяжные воздуховоды, каналы для кондиционирования воздуха, системы трубопроводов и т.д.);
- 2) внутренний шум (шум, возникающий в замкнутом пространстве);
- 3) индивидуальная защита органов слуха (уменьшенный в масштабе случай внутреннего шума);
- 4) шум в открытом пространстве.

Сегодня разрабатываются специфические методы систем активного гашения шума, применяемые в следующем оборудовании:

- 1) автомеханическое – автомобили, автофургоны, грузовые автомобили, землеройные машины, военные автомобили (электронный шумоглушитель для системы выпуска отработавших газов);
- 2) многоканальные (трёхмерные) системы - гашение шума внутри пассажирских отделений и в массивном оборудовании кабин крановщиков, в активных узлах двигателей, в сотовых громкоговорящих ТФА и т.д.;
- 3) одноканальные системы - каналы для кондиционирования воздуха, кондиционеры, рефрижераторы, стиральные машины, печи, осушители и т.д.;
- 4) многоканальные системы – газонокосилки, пылесосы, изолированные помещения.

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

На основе проведенного анализа тенденций развития и опыта применения серийно выпускаемых и опытных образцов систем активного управления акустическими полями можно сделать вывод, что применение одномерных систем активного гашения для защиты человека от воздействия интенсивных акустических полей весьма перспективно. Высокое качество таких элементов современных систем управления как электроакустические преобразователи, АЦП и ЦАП, сигнальные процессоры, позволяет получить ослабление внешнего шумового поля в среднем на 20–30 дБ для синусоидальных сигналов и 6–12 дБ для широкополосных сигналов в диапазоне частот 20–1 000 Гц. Однако эти системы обладают рядом существенных недостатков, например, адаптивные системы индивидуальной защиты – невозможностью работы с источником полезного сигнала, что существенно ограничивает область применения подобных систем. Для пространственных систем

наиболее существенными проблемами являются отсутствие более или менее адекватных моделей объекта управления и, как следствие, невозможность оценки границ применимости тех или иных методов управления, чисто эмпирический или теоретический подход при построении подобных систем.

Важнейшей проблемой, стоящей сегодня перед разработчиками микропроцессорных систем активного управления акустическими полями, является разработка нового структурно-алгоритмического базиса на уровне математических моделей элементов системы и максимальное использование результатов моделирования на базе современных средств цифровой сигнальной обработки, что позволит в итоге существенно расширить область применения подобных систем и повысить их качественные показатели.

Предлагаемый имитационно – измерительный комплекс (рис. 1) предназначен для отработки, совершенствования и анализа высокоэффективных алгоритмов адаптивного управления акустическими полями: подавления или усиления шумов различного спектрального и временного содержания – широкополосных, узкополосных и тональных, постоянных или непостоянных. Дополнительно можно реализовывать механизм выделения или ослабления полезного сигнала, например, речи на фоне работы обрабатывающего оборудования. Общий вид устройства представлен на рис. 1, основными элементами которого является составная металлическая труба с микрофонами и съемными громкоговорителями на одном из торцов и торцевой части секции-тройника.

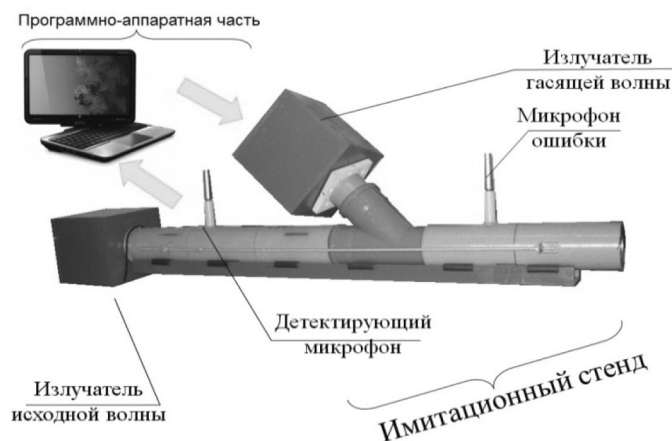


Рис. 1. Описание лабораторной установки

Схема комплекса по адаптивному управлению шумом состоит из цилиндрического волновода, излучателя реального или тестового сигнала, аппаратнопрограммного комплекса обработки сигнала, детектирующего микрофона, излучателя гасящей волны и микрофона ошибки. В основе аппаратно-программного комплекса

лежат стационарный компьютер и отладочный набор с цифровым сигнальным процессором компании Texas Instruments.

Преимуществами данной лабораторной установки являются:

- 1) компактность модели, имитирующая, в частности, реальный участок воздуховода;
- 2) быстрые и точные измерения и скорость обработки;
- 3) возможность использования количества микрофонов и излучателей более чем два и два соответственно, по сравнению с реализацией в аналогах, в связи с конструктивными особенностями основной части;
- 4) возможность замены и использования аудиометрических датчиков и излучателей, отличающихся по качеству.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Имитационно-измерительный комплекс позволяет выполнять широкий спектр исследовательских работ, связанных с изучением работы адаптивных алгоритмов цифровой обработки сигнала на цифровых сигнальных процессорах компаний Texas Instruments, Analog Devices, Motorola или других.



Рис. 2. Общая PrintScreen-фотография трех режимов работы установки

Перейдём к исследованию результатов, полученных в ходе эксперимента при следующих параметрах данной установки. При реализации эксперимента, результаты которого представлены на рис. 2, уровни источников сигнала на излучателях исходной и гасящей волны по рис. 1 выставлялись на одну и ту же мощность, уровни микрофонов устанавливались на одинаковой уровень чувствительности. На рис. 2 показана общая Print Screen-фотография трех режимов работы, т.е. была

произведена двух-микрофонная запись, состоящая из трёх частей. При этом уровни сигнала показаны справа-налево:

- 1) режим активного шумоглушения – микрофон ошибки регистрирует средний по мощности сигнал, детектирующий микрофон – самый высокий уровень;
- 2) режим работы только источника исходного сигнала – микрофон ошибки регистрирует самый слабый сигнал, детектирующий микрофон – средний по мощности сигнал;
- 3) режим работы только источника гасящей волны – микрофон ошибки регистрирует самый высокий по уровню сигнал, детектирующий микрофон – средний по уровню сигнал.

По результатам, полученным в ходе данного эксперимента, очевидно, что в случае режима гасящей волны микрофон ошибки фиксирует более низкий по уровню сигнал по сравнению с режимом работы только источника гасящей волны. Также было обнаружено, что в случае воспроизведения статического сигнала белого шума активное шумоглушение не работает. Возможная причина – вследствие явления интерференции шум может как усиливаться, так и ослабляться. При одновременной работе обоих излучателей шума сигнал на микрофоне ошибки наблюдается сигнал более высокого уровня по сравнению с сигналом, возникающим при работе только источника гасящей волны. При реализации эксперимента также заранее было задано, что адаптивной подстройки сигнала, поступающего от микрофона ошибки для генерации гасящей волны в режиме воспроизведения, не производилось.

Список литературы

- Cox, T. J. Acoustic absorbers and diffusers; theory, design and application / T.J. Cox, P. D'Antonio. – New York: Taylor and Francis, 2009. – 477 p.
- SEN, M. KUO, ISSA, PANAH, KAI, M. CHUNG, Design of Active Noise Control System With the TMS320 Family: Application Report. – Texas Instrument, 1996. – 172 pp.
-

Контакты:

Зыков А. М.

бакалавр, Ижевский государственный технический университет М.Т. Калашникова

tel.: 89042466865

e-mail: alexander7zikov@gmail.com

Тюрин А. П.

д.т.н., профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности», Ижевский государственный технический университет М.Т. Калашникова

tel.: 89226819838

e-mail: asd1978@mail.ru

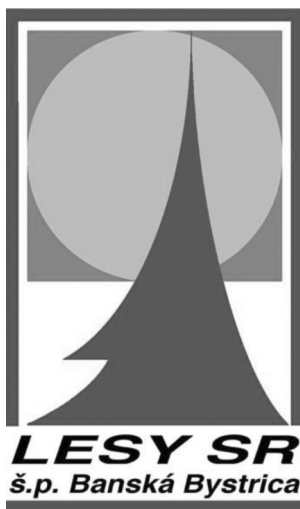
**VYDANIE ZBORNÍKA NAJLEPŠÍCH PRÁC
54. LESNÍCKEJ KONFERENCIE ŠVOČ
BOLO MOŽNÉ VĎAKA FINANČNÉMU PRÍSPEVKU OD**

PRO POPULO Poprad, s.r.o



www.propopulo-poprad.sk

SPONZORI 54. LESNÍCKEJ KONFERENCIE ŠVOČ



www.lesy.sk



www.uniagro.sk

slowwood

Člen skupiny Mondi SCP, a.s.

les - drevo - biomasa

www.slovwood.sk



www.grube.sk



www.lesmedium.sk



www.sazp.sk



www.apertis.eu



www.zvtp.sk



NÁRODNÉ LESNÍCKE CENTRUM
NATIONAL FOREST CENTRE

www.nlcsk.org



www.lkttrstena.sk



www.mpsr.sk



www.zvolen.sk