



**ACTA
FACULTATIS
FORESTALIS
ZVOLEN**

**57 Suppl. 1
2015**

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 57 Suppl. 1 2015

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

Vydanie I. – 2015 – december

Rozsah xxx strán, xxx 7 AH, xxx 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. Nižná časť textu ani ilustrácie nemôžu byť použité na ďalšie šírenie akoukoľvek formou bez predchádzajúceho súhlasu autorov alebo vydavateľa.

OBSAH – CONTENTS – INHALT

Masaryk, A.: Dopad úpravy Seleckého potoka (okres Trenčín) na ichtyofaunu..... 7 The impact of technical adjustments of Selecký creek (district Trenčín) on ichtyofauna 7	
Fleischer, P., Fleischer, P., Homolová, Z.: Toky uhlíka v smrekových ekosystémoch po veľkoplošných disturbanciách..... 21 Carbon fluxes in norway spruce ecosystems after large scale disturbance 21	
Bartík, M.: Rekonštrukcia rôznych typov lavín na území Tatier 35 Reconstruction of different type snow avalanches – a case study from Tatra Mts. 35	
Mikloš, M. Slobodníková, L. Babálová, D. Škvarenina, J. Ujházy, K.: Vplyv zasnežovania na vegetáciu podhorského lyžiarskeho strediska 47 Effect of snowmaking on vegetation of submontane ski area 47	
Kamenský, J., Slugeň, J.: Hodnotenie ochrany sadeníc pred burinou s využitím krovinořezov 63 Evaluations process of protection the seedlings against the weeds by using brushcutters 63	
Caňo, P.: Regeneračné procesy a Štruktúra biomasy pralesa NPR Biely kameň 75 Forest regeneration processes and structure of biomass NPR Biely kameň 75	
Murgaš, V.: Komparácia detrendizačných metód pri analýze klimatického signálu v letokruhovej chronológii buka lesného 89 Comparison of detrending methods when analyzing climate signal from the ring-width chronology of European beech..... 89	
Valent, P.: Nový model virtuálnej reality rastového simulátora SIBYLA 103 New virtual reality model of growth simulator SIBYLA..... 103	
Výbošťok, J. Bahýľ, J.: Využitie rastového simulátora a nástrojov optimalizácie pri plánovaní obnovy..... 115	
Štulajter, M., Lieskovský, M., Messingerová, V.: Energetické vlastnosti vybraných ušľachtilých biopalív 133 Energy properties of pellets, briquettes and charcoal..... 133	

Saloň, Š.: Využitelnost hyperspektrálních materiálů DPZ při určování stromových charakteristik	145
Čerňava, J.: Zisťovanie dendrometrických veličín pomocou údajov z mobilného mapovacieho systému	161
Estimation of tree parameters using data produced by mobile mapping system	161
Ostrolucká, E., Hajdúchová, I.: Predikcia finančnej stability lesného podniku	173
Forecast of the Financial Stability in the Forest Company	173
Štěrbová, M.: Inovačné aktivity firiem poskytujúcich služby v slovenskom lesníctve	185
Innovation Activities of Contractor Firms in Slovak Forestry	185
Viszlai, I.: Posúdenie majetkovej a kapitálovej štruktúry vo vybraných lesných podnikoch	197
Assessing the Assets and Capital Structure in Different Forest Companies	197

DOPAD ÚPRAVY SELECKÉHO POTOKA (OKRES TRENČÍN) NA ICHTYOFAUNU

Andrej M A S A R Y K

Masaryk, A.: The impact of technical adjustments of Selecký creek (district Trenčín) on ichthyofauna. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 57, Suppl. 1, 2015, 7–20.

This study was focused on the evaluation of natural conditions of Selec watershed and basic characteristics of its tributary Kondrút. The study dealt with the causes of adjustments of this watercourse and its impact on the surrounding environment. Previous technical adjustment made the stream impassable for its inhabitants, which caused the gradual loss of biodiversity and rapid removal of water from the watershed. I compared the adjusted and unadjusted part of the spring stemming from a beech forest in Považský Inovec, which was inhabited by animal species of European importance. The aim of my thesis referred to the problem of flow adjustments in the past, and suggested possible improvements to the current situation.

Key words: *Salmo trutta m. fario*, Selecký creek, revitalization

1 ÚVOD

Pod správu lesného hospodárstva pripadá 18 939 km vodných tokov, z čoho je 13 538,05 km drobných vodných tokov, ktoré sa nachádzajú na lesných pozemkoch. Mimo týchto pozemkov je to 4 224,39 km plus ďalších 1 226,42 km ktoré pretekajú intravilánmi obcí (KOLEKTÍV 2014). Podľa správy o vodnom hospodárstve z roku 2003 je cca 780 km drobných vodných tokov upravených a sú v správe lesného hospodárstva. V intraviláne obcí sa nachádza 80% všetkých týchto úprav (BRTKO2003).

V minulosti boli niektoré z týchto úprav jednostranne zamerané na abiotickú zložku, nehľadiac na procesy ktoré prebiehali v neupravených častiach toku. Takéto poňatie úprav vyúsťovalo nezriedka výlučne v technokraticky poňaté návrhy (HALAJ 2004).

Sama voda vytvára životné prostredie v ktorom sú okrem rýb zastúpené aj mnohé iné vodné organizmy, či už sa jedná o rastliny alebo živočíchy. Vo vodnom prostredí má každý jeden člen presne vymedzenú úlohu a je zapojený do potravinového reťazca, čo zabezpečuje neustálu rovnováhu medzi jednotlivými skupinami vodných organizmov, počnúc od baktérií cez planktón a bentos, až po ryby a suchozemské živočíchy (ČIHAŘ 2003).

2 ROZBOR PROBLEMATIKY

2.1 Nároky pstruha potočného na vodné prostredie (*Salmo trutta m. fario*)

2.1.1 Stanovište

Pre pstruha potočného sú pôvodným a charakteristickým životným prostredím horské potoky, bystriny a rieky, ktoré sa súhrne označujú ako aj pstruhové pásma. Rozhodujúcimi podmienkami pre trvalú existenciu pstruha je predovšetkým kvalitná voda, dostatočný obsah kyslíka a dostatok úkrytov. Je veľmi plachý, preto sa vyhýba otvorenej vode a svoje stanovište vyhľadáva v miestach prúdového tieňa, ktoré sa nachádza na dne za veľkými kameňmi, v pobrežnej zóne pod prevismi stromov, pod koreňmi, v dutinách a iných úkrytoch. Členitosť prostredia patrí medzi rozhodujúce faktory, ktoré určujú početnosť pstruhov v našich vodách, je to takzvaná úkrytová kapacita toku (BARUŠ, OLIVA 1995).

2.1.2 Ťah

Ryby v našich podmienkach prekonávajú prekážky zväčša dvomi spôsobmi a to buď preplávaním alebo skokmi. Okrem pstruha potočného väčšina druhov našich rýb prekážky prepláva, pretože nie je schopná skákať. Pstruh potočný patrí do skupiny potamodromných druhov rýb, ktoré sa vyznačujú lokálnymi migračnými ťahmi, rádovo do desiatok kilometrov (JUST et al. 2003).

To či pstruh prekážku prekoná závisí od jej veľkosti. Presnejšie od jej výšky, dĺžky a od nábehovej dráhy pod prekážkou. Pstruh o veľkosti 30 cm je schopný prekonať najviac 80 cm vysokú prekážku a 40 cm dlhý pstruh až 100 cm (VALTÝNI, KALISKÝ 1990).

Pre veľkú väčšinu pstruhov je však už neprekonateľný stupeň ktorého výška je 70 cm (JUST et al. 2003). Okrem vysokých prekážok znemožňuje migráciu aj veľká rýchlosť vodného prúdu, ktorého rýchlosť v pstruhových tokoch by nemala presiahnuť hodnotu 1,5 m.s⁻¹ (VALTÝNI, KALISKÝ 1990).

Ťažný inštinkt zdedený po predkoch, tak neustále vedie pstruhy potočné vykonávať neresové ťahy do miest ťažko prístupných, ktoré sa nachádzajú vo vyšších polohách. Na Slovensku dokáže prekonať relatívny spád až 133 ‰. Jedná sa o zistenie pstruha potočného v Mengusovskej doline, ktorý sa dostal cez Hincov potok až do jeho ľavostranného prítoku – Žabieho potoka vo výške 1560 m n. m. Ide o najextrémnejšie vysokohorské podmienky do akých boli schopné na našom území preniknúť ryby prirodzeným spôsobom. Veľmi vysoko však boli zistené pstruhy aj v niektorých iných potokoch (Roháčsky potok – 1 027 m n. m., Bystrička – 1 066 m n. m.) (MÁJSKY 2005).

2.1.3 Neres

Dobré pstruhové vody sú charakterizované predovšetkým vyrovnanosťou odtoku, malým množstvom pohybujúcich sa splavenín a dostatočným množstvom kyslíka, ktorého obsah by mal byť v litri vody väčší ako 5 mg. Priemerná teplota by mala byť nízka, pričom by ale malo na hladinu dopadať dostatočné množstvo slnečného svetla na presvetlených miestach. V laboratórnych podmienkach boli pozorované pstruhy, ktoré sa dobre rozmnožovali vo vode s hodnotou pH od 4,4 do 5,5. Podľa skúseností z liahní však možno pokladať za optimálne hodnoty pH pre pstruha niekde okolo 7,0 (VALTÝNI, KALISKÝ 1990). Pre neres pstruha potočného je najideálnejší podklad štrk, ktorého rozmery sú od 10 do 70 mm (RALEIH et al. 1986). Pri samotnom akte samica do podkladu vopred vytlačí priehlbínu, do ktorej v priebehu neresu nakladie niekoľko stoviek až tisíc veľkých ikier, ktoré neskôr oplodní aj viac samcov (ČIHAŘ 2003). Neres prebieha koncom jesene. Vo veľmi studených potokoch je to už v októbri a naopak v teplejších prameniých vodách až okolo Vianoc. Vývoj ikry až po vyliahnutie plôdika je pomerne pomalý a trvá 520 denných stupňov (to znamená že pri teplote vody 10 °C sa bude plôdik liahnúť za 52 dní $520/10 = 52$). Takže čím teplejšia bude voda, tým skôr sa budú pstruhy liahnúť (ŠIMEK 1959).

2.2 Pstruh dúhový (*Oncorhynchus mykiss*)

2.2.1 Popis

Tvarom tela je podobný pstruhovi potočnému ale na rozdiel od neho je vyšší a užší. Rozdiel medzi pohlaviami sa dá pozorovať v tvare hlavy. Samci majú jej prednú časť väčšiu a špicatejšiu, samice zase guľatejšiu. Samci majú taktiež na dolnej čeľusti hák. Sfarbením je pstruh dúhový odlišný od nášho pstruha potočného. Má tmavozelený chrbát, boky svetlejšie a zeleno-šedé brucho. Na tele sa vyskytujú nepravidelné čierne škvrny siahajúce až po chvostovú plutvu. Okolo bočnej čiary sa tiahne dúhový pás, ktorý je u samcov oproti samiciam výraznejší (BARUŠ, OLIVA 1995).

2.2.2 Stanovište

Pstruh dúhový sa vyskytuje od nížinných tokov, kde v lete nepresahuje teplota vody 17–18 °C až po horské toky. V rýchlo tečúcich tokoch vyhľadáva úkryty v blízkosti brehu (ČIHAŘ 2003).

2.2.3 Vzťah so pstruhom potočným

Zaujímavosťou je že pstruh potočný po je vysadení do amerických riek, postupne do niekoľkých rokov dokáže vytlačiť pstruha dúhového s prirodzeného prostredia. Príčinou je jeho dravosť a schopnosť prijímať väčšiu korisť a taktiež fakt že jeho potravu tvorí aj plôdik pstruha dúhového a v čase neresu aj jeho ikry (BARUŠ, OLIVA 1995).

2.2.4 Výskyt

Pôvodným domov pstruha dúhového je západná časť Severnej Ameriky do 24° severnej šírky – Rio del Presidio v Mexiku a na sever po Aljašku. Od roku 1874 je pstruh dúhový postupne introdukovaný na všetky kontinenty s výnimkou Antarktídy. Pstruh dúhový taktiež ako aj náš pstruh potočný vytvára ekologické formy (morskú, jazernú, potočnú) (BARUŠ, OLIVA 1995).

3 MATERIÁL A METODIKA

3.1 Získavanie údajov o toku

Potrebné údaje o Seleckom potoku som získal z Povodia Váhu š.p., štátneho zoznamu osobitne chránených častí prírody SR, odbornej literatúry a webových stránok. Potrebné mapové podklady pre zisťovanie morfometrických charakteristík (Základná mapa SR 1 : 25 000) boli zakúpené z Úradu geodézie, kartografie a katastra SR.

3.2 Zhodnotenie stavu zarybnenia rybárskeho revíru Selecký potok 2-2630-4-1

Stav zarybnenia rybárskeho revíru Selecký potok v rokoch 2004–2014, som vyhodnotil prostredníctvom sumarizácie o úlovkoch ktoré mi boli poskytnuté Mestskou Organizáciou Slovenského Rybárskeho Zväzu v Trenčíne.

3.3 Zhodnotenie ichtyocenózy Seleckého potoka

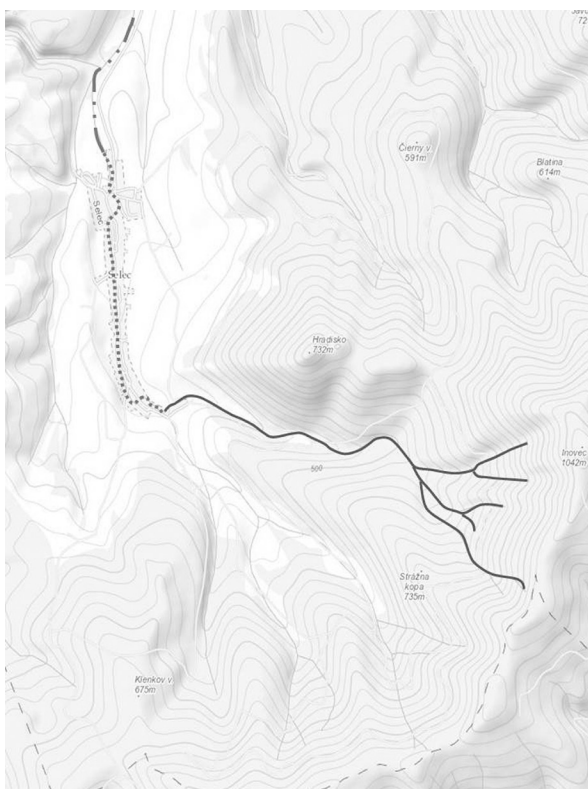
Údaje o ichtyocénoze mi boli poskytnuté zoológom RNDr. Jozefom Májskym zo Štátnej ochrany prírody Slovenskej republiky, ktorý v roku 2003 vykonal na Seleckom potoku kvalitatívno-kvantitatívny výskum ichtyofauny a potvrdil jeho stálu aktuálnosť pre potreby tejto práce.

3.4 Terénne práce

Terénne práce som vykonával v mesiacoch jún až november 2014. Tento potok som však mal zmapovaný už dávnejšie z rybárskych pochôdzok. Rekognoskáciou boli posudzované jednotlivé úseky toku, ktoré som fotograficky zaznamenával. V jesenných mesiacoch sa jednalo aj o pozorovanie pstruhov potočných pri ich neresovom ťahu proti prúdu.

3.5 Rekognoskácia toku

Selecký potok som si v mojej práci rozdelil na 3 časti. Prvou časťou (plnou farbou) bol prítok Kondrút od jeho prameňa v Národnej prírodnej rezervácii po ústie do Seleckého potoka. Druhou časťou (bodkovanou) bol samotný Selecký potok pretekajúci intravilánom obce Selec, ktorý som si pre rozdielnosť úpravy taktiež rozčlenil na tri úseky. Tretou časťou (bodkočiarkovanou) bol potok pod obcou Selec. Rekognoskáciou boli posudzované prirodzené úseky toku, rozsah úpravy, migračná priechodnosť toku a samotné objekty brániace v migrácii do vyššie položených miest, ktoré som zmeral klasickými meracími pomôckami.



Obr. 1: Rozdelenie toku (AUTOR 2015)

Fig. 1: Flow distribution (AUTHOR 2015)

3.6 Selecký potok

Selecký potok tečie v severozápadnej časti pohoria Považský Inovec. Pramení v hornatých oblastiach v troch jednotlivých vetvách potoka. Južná vetva potoka leží vo výške 770 m n. m., stredná vetva 875 m n. m. a severná vo výške 840 m n. m. Selecký potok je dlhý 15,7 km, dĺžka rozvodnice je 29 km a rozdiel medzi najvyšším a najnižším bodom povodia je 850 m (ŽOVINEC et. al 1989).

3.6.1 Prírodná pamiatka Selecký potok

Selecký potok bol v roku 1984 vyhlásený za prírodnú pamiatku so 4. stupňom ochrany, ktorého predmetom ochrany sú zachovalé fragmenty podhorského potoka, jeho prítokov a brehových porastov pre vedecké a výskumné ciele a taktiež ako významná krajnotvorná a ekostabilizačná funkcia. Chránená prírodná pamiatka sa začína pod obcou Selec a končí v obci Trenčianske Stankovce. Súčasťou chránenej prírodnej pamiatky sú aj dva prítoky a to od prameňa po ústie do Seleckého potoka. Brehové porasty sú tvorené hlavne jelšou lepkavou (*Alnus glutinosa*). V okolí hlavného toku sa vyskytujú statné druhy vrb (*Salix sp.*). Miestami sa vyskytuje topoľ kanadský (*Populus canadensis*), lieska obyčajná (*Coryllus avellana*), rakyta (*Salix caprea*) a javor poľný (*Acer campestre*). Drobné aluviálne ostricové lúky s kosatcom žltým (*Iris pseudacorus*) sa nachádzajú na nive. Tok je svojimi brehovými porastmi útočiskom a miestom existencie mnohých ohrozených druhov živočíchov. Z vodných sú živočíchov sú to raky, ichtyofauna a z vtákov vodnár obyčajný (*Cinclus cinclus*), rybárik obyčajný (*Alcedo atthis*) a sovy v dutých vrbach a pod. Potok je veľmi významným ekostabilizačným územím v poľnohospodárskej krajine. Brehové porasty i samotný tok sú refúgiom ohrozených druhov živočíchov. Tok predstavuje vzhľadom na svoje geologické podložie a okolitú krajinu cenný výskumný objekt, preto je nutné zabrániť jeho regulácii a výrubu brehových porastov (DEVÁN, MÁJSKY 1984).

3.6.2 História úpravy

Selec je podhorská obec, ktorá je po oboch brehoch Seleckého potoka zastavaná. Nachádza sa pod úpäťm Považského Inovca zo severovýchodnej a severozápadnej strany v dĺžke 2,1 km. (V tej dobe mala vyše 1 200 obyvateľov). Oblasť Inovca je známa tým, že v nej dochádza často k extrémnym zrážkovým situáciám. V priebehu desaťročia došlo ku dvom katastrofálnym povodňam a to 1. 7. 1954 a 4. 7. 1961, kedy v dôsledku neupraveného potoka došlo k vybreženiu vody z koryta, pričom hlavné cesty boli úplne pod vodou a v jednotlivých dvoroch domov dosahovala hladina vody výšku 1 m. Podľa hydrometeorologického ústavu v Bratislave bol katastrofálny prietok počas povodní 1. júla 1954 na Seleckom potoku vo Veľkých Stankovciach 55–60 m³/s. Nebezpečie podobných katastrofálnych situácií stále znepokojovalo občanov obce, preto rada národného výboru v Selci dňa 17. 7. 1961 požiadala o úpravu tohto potoka. Účelom zahradenia Seleckého bolo zabrániť škodlivým vplyvom voľných vôd ako v intraviláne obce Selec tak aj v úseku

medzi Selcom a Trenčianskymi Stankovcami kde potok preteká cez obhospodávané role a lúky (MEITNER 1966).

Treba však podotknúť že týmto katastrofálnym povodniám predchádzalo masívne odlesňovanie. Povodie Seleckého potoka postihli rozsiahle odlesňovania aj v minulosti. Posledné veľmi rozsiahle bolo v rokoch 1918-24, keď pasienková spoločnosť vyrúbala vyše 400 ha výnosného lesa. (MISTRÍK, VAJČÍK 1966).

3.7 Považský Inovec

Pohorie Považský Inovec sa nachádza na západnom Slovensku. Patrí do Fatransko-tatranskej oblasti. Pohorie je 48 km dlhé s premenlivou šírkou 15 až 25 km. Najmohutnejšia časť Považského Inovca sa nachádza v severnej časti, ktorá susedí so Strážovskými vrchmi. Pohoriu dominuje najvyšší vrch Inovec s výškou 1 042 m n. m. Smerom na juh pohorie pozvoľne klesá do Podunajskej nížiny, ktorá ho obklopuje. Jeho stavba je nesymetrická. Geomorfologicky sa delí na Vysoký Inovec (Inovec 1 042 m n. m.), Nízky Inovec (Bezovec 743 m n. m.), Krahulčie vrchy (Marhát 748 m n. m.) a Inovecké predhorie (bez výraznejších vrcholov, na východ od Beckova 550 m n. m.). Základným typom eróznodenudačného reliéfu je hornatinový reliéf, ktorého priemerný sklon je 12,1–21,0 % (BIELY et al. 2002).

3.7.1 Prírodné pomery

Najvyššie časti pohoria buduje kryštalinikum, v ktorom prevládajú kryštalické bridlice nad granitoidnými horninami. Tieto kryštalické bridlice tu však majú iný ráz oproti Malým Karpatom. Pri horotvorných pochodoch sa pôvodné usadené flyšové súvrstvia a v nich sa nachádzajúce sopečné horniny dostali do hlbších častí zemskej kôry. To znamená že ich premena prebiehala za vyššieho tlaku a teploty. Preto z nich vznikli početné svory, ruly a migmatity (BETÁK, VOJTKO 2009).

V pohorí tvoria väčšiu časť rendziny a kambizeme rendzinové (sprievodné litozeme, lokálne rendziny sutinové, zo zvetralín pevných karbonátových hornín). V menšej miere sa podieľajú podzoly modálne (sprievodné litozeme a rankre, zo zvetraných kremencov a z terciérnych sedimentov s výrazným zastúpením kremenného skeletu) a kambizeme modálne (kultizemné nasýtené až kyslé). Priepustnosť a retenčná schopnosť pôd je vo vyšších častiach pohoria veľká a smerom k nižším polohám klesá. Pôdna reakcia postupne klesá z vyšších polôh, kde je silno kyslá 5,0–5,5 cez stredne kyslú 5,5–6 v stredných polohách až do slabo kyslej 6,0–6,5 na úpätí pohoria. Vlhkostný režim pôdy je mierne vlhký až vlhký. Pôdy sú stredne kamenité (štrkovité 20–50%) s hlinito-piesčitou zrnitosťou triedou (BIELY et al. 2002).

Okrskok je charakterizovaný ako mierne teplý, mierne suchý s miernou zimou a priemernou januárovou teplotou –3 °C (BIELY et al. 2002).

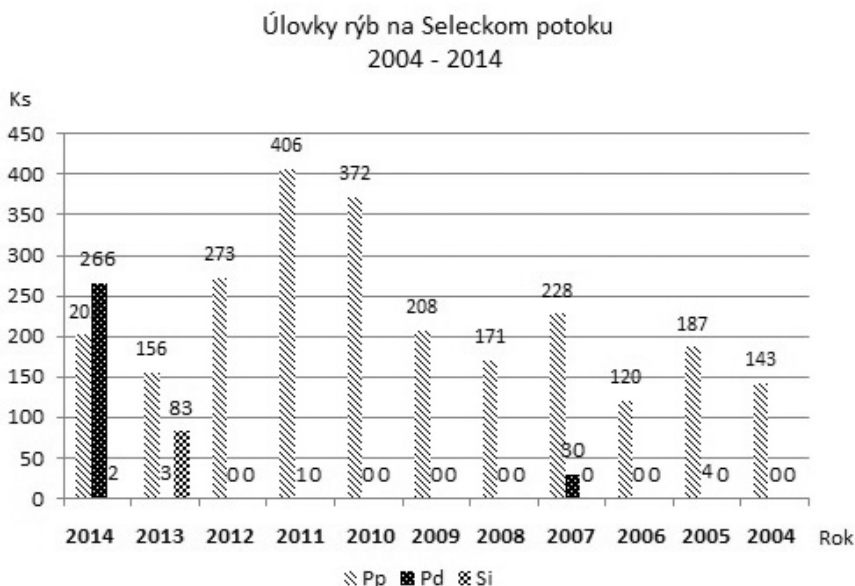
Považský Inovec patrí do kryštalicko-druhohornej oblasti. Potenciálna prirodzená vegetácia sú podhorské bukové lesy vo vyššej časti pohoria a dubovo-hrabovými karpatskými lesmi v nižších polohách (BIELY et al. 2002).

3.8 Národná prírodná rezervácia Považský Inovec

V Považskom Inovci je od roku 1988, približne 3,5 km juhovýchodne od obce Selec, v nadmorskej výške cca od 680 do 1000 m n. m. na výmere 26 ha vyhlásená NPR Považský Inovec s 5. stupňom ochrany. V tejto lokalite sa nachádzajú najzachovalejšie lesné spoločenstvá, na ktorých nie sú badateľné stopy po ľudskej činnosti. Porasty v tejto lokalite majú charakter pralesa. Rôznorodosť terénnych tvarov tu vytvorila rozmanité podmienky pre bohatú existenciu rastlinných a živočíšnych druhov. Vyskytujú sa tu tri typy lesných biotopov. V dolinkách sú to predovšetkým lipovo-javorové sutinové lesy, kyslomilné bukové lesy na hrebeňoch a bukové a jedľovo-bukové kvetnaté lesy. Dominantnou drevinou je buk (obvod až 380 cm). Na sutinách sa primiešajú javory (horský a mliečny) s jaseňom štíhlym. Na hrebienkoch je to zas dub zimný. Je to územie európskeho významu NATURA 2000 (<http://www.pralesy.sk/lokality/lokality-pralesov.html?id=86&task=view>).

4 VÝSLEDKY

4.1 Zhodnotenie stavu úlovkov rybárskeho revíru Selecký potok 2-2630-4-1



Obr. 2: Úlovky rýb na Seleckom potoku 2004–2014 (SRZ- MsO Trenčín 2014)

Fig. 2: Catches of fish in the Selec creek (AUTHOR 2015)

Z obrázku č. 2 možno zhodnotiť, že úlovky Pp – pstruha potočného (*Salmo trutta morpha fario*) sú za posledných desať rokov, oproti iným revírom v Trenčianskej organizácii početné. Selecký potok patrí v Trenčianskom okrese medzi najlepšie pstruhové revíry. Okrem pstruha potočného, ktorý je v potoku pôvodným druhom, sú do revíru vysádzované aj introdukované druhy rýb – Pd – pstruh dúhový (*Oncorhynchus mykiss*) a Si – sivoň americký (*Salvelinus fontinalis*).

4.2 Zhodnotenie ichtyocenózy Seleckého potoka

Tab. 1 Výskyt rýb na štyroch profiloch Seleckého potoka (Ichtyocenózy chránených potokov trenčianskeho regiónu mimo územia CHKO Biele Karpaty, MAJSKY 2003)

Tab. 1 Abundance of fish in four profiles Selec creek (Tchthyocenoses of protected creeks the Trenčianskeho region out of the territory CHKO Biele Karpaty, MAJSKY 2003)

Profil č.	Druh	n (ks)	%	n (ks.ha ⁻¹)	w (kg)	w (kg.ha ⁻¹)
Pr. č. 1 Tr. Stankovce (140 m ²)	Pstruh potočný	18	78,3-E	1 286	0,570	40,71
	Slíž severný	5	21,7-E	357	0,020	1,42
	Spolu	23	100,00	1 643	0,590	42,13
Pr. č. 2 Ranc (150 m ²)	Pstruh potočný	32	55,2-E	2 133	0,950	63,33
	Slíž severný	26	44,8-E	1 734	0,170	11,33
	Spolu	58	100,00	3 867	1,120	74,66
Pr. č. 3 Polná cesta (150 m ²)	Pstruh potočný	42	60-E	2 800	1,950	130,00
	Slíž severný	28	40-E	1 867	0,140	9,33
	Spolu	70	100,00	4 667	2,090	139,33
Pr. č. 4 Prítok (135 m ²)	Pstruh potočný	46	45-E	3 407	1,850	137,03
	Slíž severný	56	55-E	4 148	0,210	15,55
	Spolu	102	100,00	7 555	2,060	152,59

V 90-tych rokoch minulého storočia bol v potoku zistený, len pstruh potočný (*Salmo trutta morpha fario*). Migrácii rýb z nižšie položeného úseku do vyšších častí bráni vysoký stupeň poníže chráneného úseku potoka. V Seleckom potoku sa však pstruh potočný vyskytuje len vďaka pravidelnému nasádzaniu. Jeho neresovým migráciám do vyššie položených častí potoka bráni regulácia recipientu v obci Selec a taktiež viaceré vysoké priečne stupne nad obcou. Okrem pstruha potočného bol v prítoku Kondrút povýše obce zaznamenaný aj hlaváč pásoplutvý (*Cottus poecilopus*). Podľa vyjadrenia rybárov bol v minulosti súčasťou rybieho spoločenstva v Seleckom potoku aj jalec hlavatý a hrúz škvrnitý. Podľa výsledkov prieskumu z roku 2003, žijú v Seleckom potoku len 2 druhy z dvoch čel'adi. Treba však zdôrazniť, že do chránených tokov nepatria introdukované druhy rýb. V našom prípade sú to predovšetkým salmonidy – pstruh dúhový (*Oncorhynchus mykiss*) a sivoň americký (*Salvelinus fontinalis*) (Májsky 2003).

4.3 Rekognoskácia toku

4.3.1 Prítok Kondrút

Prítok Kondrút je ústím napojený na vybudovanú úpravu Seleckého potoka. Dĺžka úpravy na prítoku je 341 m. V spodnej časti Kondrúta sa nachádzajú dva priečne stupne vysoké 80 a 100 cm, tvoriace migračnú bariéru najmä pre pstruhy potočné, ktoré sa tu v čase neresovej migrácie, v snahe dostať sa do vyššie položených miest vhodných na neres zhromažďujú a stavajú sa ľahkým cieľom predátorov a pytliačov. Na prítoku sú dve premostenia. Pod druhým premostením sa nachádza rúrový priepust, ktorý vodným živočíchom svojou malou hĺbkou, vysokou rýchlosťou prúdenia a nízkou drsnosťou dna, sťažuje prístup do vyššie položených miest. Od tohto miesta až po pramene tečie tok v neporušenom prirodzenom prostredí. Koryto je prirodzene meandrujúce a tok takmer po celej dĺžke tečie v tieni pobrežnej vegetácie, ktorá je tvorená v dolnej časti hlavne jelšou lepkavou (*Alnus glutinosa*), lieskou obyčajnou (*Coryllus avelana*), vrbou rakytovou (*Salix caprea*) a javorom poľným (*Acer campestre*). Vo vyššie položených miestach pristupuje jelša sivá (*Alnus incana*), hrab obyčajný (*Carpinus betulus*) a buk lesný (*Fagus sylvatica*). V pramennej oblasti, ktorá sa nachádza v 5 st. ochrany tvorí brehovú porast výlučne buk lesný (*Fagus sylvatica*). V toku je množstvo mŕtveho dreva, úkrytov a ideálnych miest pre výskyt viacerých druhov rýb. V tejto časti toku sa nachádzajú priam ideálne neresiská pstruhov, ktoré sú však pre spomenutú úpravu nedostupné. Pstruhy na tomto úseku som pozoroval až do nadmorskej výšky cca 600 m n. m. a je možné že tu tvoria izolovanú populáciu.

4.3.2 Potok v obci

V toku sa nachádzajú mnohé vysoké stupne, ktoré tvoria prekážku v migrácii vodných živočíchov. Upravené koryto je dimenzované na 100-ročnú vodu. V toku sa nenachádzajú žiadne prirodzené úkryty ani pobrežná vegetácia. Najviac pstruhov v tomto úseku je sústredených pod stupňami. Okrem pstruhov sa po prvý priečny stupeň v obci nachádza aj slíž severný (*Barbatula barbatula*).

4.3.3 Potok pod obcou

Potok pod obcou má prirodzený charakter podhorského toku so zachovalými brehovými porastmi. V tejto časti je potok vyhlásený za prírodnú pamiatku so 4. st. ochrany prírody podľa zákona 543/2002. Tok je takmer neporušený, v tomto úseku sa nenachádzajú žiadne objekty, ktoré by mohli brániť migrácii živočíchov do vyššie položených miest. V tejto časti je najhojnejší výskyt pstruha potočného. Práve do týchto miest je však spolu sním vysádzaný aj pstruh dúhový a sivoň americký.

4.4 Návrh revitalizačného opatrenia v uvedenom vodnom toku predovšetkým na zlepšenie podmienok pre existenciu ichtyofauny

Na obrázku č. 3 je zobrazený posledný priečný stupeň v obci Selec, ktorý bráni v migrácii vodných živočíchov do vyššie položených miest. Nad týmto miestom nabera Selecký potok spomínaný prítok Kondrút, do ktorého v čase neresu tiahnu pstruhy potočné. Práve pod takýmito objektami sa ryby zhromažďujú a stávajú sa ľahkými obeťami pre pytliakov a predátorov.

Pre tento objekt na obrázku č. 4 znázornené riešenie priechodnosti pomocou kamennej rovaniny podľa VALTÝNIHO a KALISKÉHO (1990).



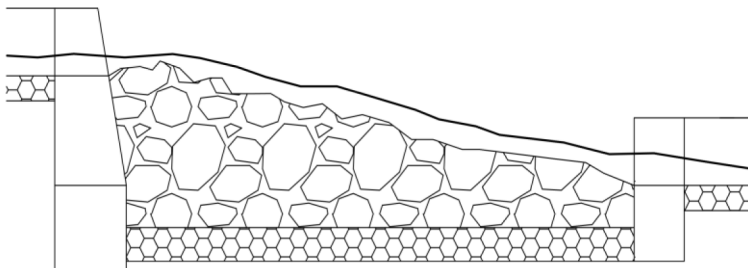
Obr. 3: Priečný stupeň s plytkou vodou
(AUTOR 2015)

Fig. 3: The weir with shallow plunging flows
(AUTHOR 2015)



Obr. 4: Kamenná rovanina v praxi
(AUTOR 2015)

Fig. 4: The rock ramp in reality
(AUTHOR 2015)



Obr. 5: Kamenná rovnanina (AUTOR 2015)

Fig. 5: The rock ramp (AUTHOR 2015)

5 DISKUSIA A ZÁVER

Zákon č. 7/2010 o ochrane pred povodňami z 2. decembra 2009 vraví, že preventívnymi opatreniami pred povodňami sú: „opatrenia, ktoré spomaľujú odtok vody z povodia do vodných tokov, zvyšujú retenčnú schopnosť povodia alebo podporujú prirodzenú akumuláciu vody v lokalitách na to vhodných a ktoré chránia územie pred zaplavením povrchovým odtokom, ktorým je zložka celkového odtoku odtekajúca z povodia po povrchu terénu do vodných tokov alebo iných útvarov, ako sú úpravy v lesoch, úpravy poľnohospodárskej pôde a úpravy na urbanizovaných územiach“, čo len jasne deklaruje používanie prírody blízkyh opatrení v riešení protipovodňovej problematiky.

Selecký potok je zregulovaný „len“ v intraviláne obce, inak je z oboch strán napojený na prirodzené podmienky nesúce zachovalé fragmenty podhorského potoka. VRÁNA et al. (2004) vo svojej publikácii uvádza, že z hľadiska úseku toku je najideálnejšie, pokiaľ revitalizáciou vznikne čo najdlhšia migračná cesta, ktorá je napojená zhora i zdola na prirodzený charakter toku, čo je v tomto prípade zabezpečené, nakoľko pramenná oblasť Kondrút i potok pod obcou sú vo vysokom stupni ochrany.

Z výsledkov sumarizácie úlovkov a ichtyologického prieskumu, jasne vyplýva že pstruh potočný (*Salmo trutta morpha fario*) sa v Seleckom potoku hojne nachádza. Jeho výskyt je však podmienený pravidelným vysádzaním Mestskou organizáciou SRZ v Trenčíne, ktorá tento potok rybársky obhospodaruje. Jeho protiprúdovým migráciám do vyššie položených miest v čase neresu, však bránia vysoké priečne objekty, ktoré sa v toku vyskytujú. Tieto vysoké stupne sú taktiež jednou z možných príčin tak malej druhovej diverzity rýb. Riešením môže byť zmena prietokového profilu, teda zmena jednoduchého tvaru koryta, jeho spevnenia a nahradenie hladkej dlažby dna kamennou rovnaninou. Jedná sa o úpravy, ktorými by sa zachoval vodohospodársky význam objektov a stali by sa priechodnými pre ichtyofaunu, ako to vo svojej práci uvádza VALTÝNI a KALISKÝ (1990) obrázok č. 5.

V zákone č. 543/2002 o ochrane prírody a krajiny z 25. júna 2002 stojí, že v 3. st. ochrany je zakázané rozširovať nepôvodné druhy. A taktiež MÁJSKY (2003) vo svojej práci poukazuje na tento problém.

V našom prípade sú to predovšetkým salmonidy – pstruh dúhový (*Oncorhynchus mykiss*) a sivoň americký (*Salvelinus fontinalis*), ktoré sú do toku vysádzované Slovenským rybárskym zväzom, a to aj napriek 4. st. ochrany vodného toku. Tieto druhy predstavujú ohrozenie pôvodného ekosystému, nakoľko sú veľmi adaptabilné na naše podmienky. Pstruh dúhový a pstruh potočný sú dva úplne rozdielne druhy. Pstruh dúhový je z hľadiska vyššej teploty a nižšej hladiny rozpusteného kyslíku vo vode odolnejší ako náš pstruh potočný (BARUŠ, OLIVA 1995).

6 Literatúra

- BARUŠ, V., OLIVA, O. 1995: Fauna ČR a SR. Míhulovci a ryby (1). Academia, Praha 623 s.
- BETÁK, J., VOJTKO, R., 2009: Implementácia nástrojov tektonickej geomorfológie v netektonickom výskume (Na príklade pohoria Považský Inovec). Geografický časopis/Geographical journal, 61, 29–47
- BIELY et al. 2002: Atlas krajiny Slovenskej republiky. 1. vyd. Bratislava: Ministerstvo životného prostredia SR; Banská Bystrica: Slovenská agentúra životného prostredia. 344 s. ISBN 80-88833-27-2. 74–75
- BRTKO, J., 2003: Výročná správa za rok 2003. Výskumný ústav vodného hospodárstva.
- ČIHAŘ., J., 2003: Naše ryby. Ottovo Nakladatelství Praha 2. 184 s.
- DEVÁN, P., MÁJSKY, P., 1984: Chránený prírodný výtvor Selecký potok. Štátny zoznam osobitne chránených častí prírody SR <http://uzemia.enviroportal.sk/main/detail/cislo/151>
- HALAJ, P., 2004: Revitalizácia vodných tokov. Nitra. Vydavateľstvo SPU v Nitre. 204 s. ISBN 80-8069-424-9.
- JUST, T., et al. 2003: Revitalizace vodního prostředí, Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky 144 s.
- KOLEKTÍV 2014: Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike za rok 2013. Bratislava. 84 s.
- KOLEKTÍV 2010: Správa o stave životného prostredia Slovenskej republiky v roku 2010. Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky, Banská Bystrica: Slovenská agentúra životného prostredia. 192 s.
- MÁJSKY, J., 2003: Ichtyocenózy chránených potokov trenčianskeho regiónu mimo územia CHKO Bielele Karpaty 18 s.
- MÁJSKY, J., 2005: Tatranské pstruhy- ich pôvod a perspektívy, Časopis Tatry 4/2005
- MEITNER, 1966: Písomnosti HB- Selec I- etapa, Štátne lesy, podnikové riaditeľstvo v Pezinku. 20 s.
- MISTRÍK, VAJČÍK, 1966: Projekt pôdoochranného zalesňovania v povodí Seleckého potoka štátne lesy technická kancelária Bratislava.
- VALTÝNI, J., KALISKÝ, A., 1990: Ekologické úpravy bystrinných tokov. 1. vyd. Bratislava: Príroda, 98 s. ISBN 80-07-00304-5.
- VRÁNA, K., et al. 2004: Revitalizace malých vodných toku. Consult Praha. 51 s. ISBN 80-902132-9-4
- RALEIGH, R.F., ZUCKERMAN, L.D, NELSON, P.C. 1986. Habitat suitability index models and instream flow suitability curves: brown trout, revised. Biological Report 82 (10.124), US Fish and Wildlife Service
- ŠIMEK, Z., 1959: Ryby našich vod. Orbis Praha 142 s.
- ŽOVINEC, F., et al., 1989: 550 výročie prvej písomnej zmienky o obci Selec MNV v Selci, 140 s.
- Zákon č. 543/2002 o ochrane prírody a krajiny z 25. júna 2002
- Zákon č. 7/2010 o ochrane pred povodňami z 2. decembra 2009
- http://www.vuvh.sk/download/dok/vs_vuvh_03.pdf
- <http://www.srztrencin.sk/index.php?kat=0702>
-

Adresa autora:

Ing. Andrej Masaryk
Halalovka 2388/2
91108 Trenčín
Slovenská republika
e-mail: masarykajo@gmail.com

Dopad úpravy Seleckého potoka (okres Trenčín) na ichtyofaunu

Abstrakt

Cieľom tejto práce bolo navrhnúť revitalizačné opatrenia na vodnom toku Selecký potok so zámerom zlepšenia životných podmienok pre ichtyofaunu a ostatné vodné živočíchy. Práca sa zaoberá príčinami úpravy uvedeného vodného toku a jej dopadom na okolité životné prostredie. Technickou úpravou bola zamedzená migračná postupnosť, spôsobená postupná strata biodiverzity a rýchle odvádzanie vody z povodia. V práci je porovnávaná upravená a neupravená časť toku prameniaca v bukovom pralese Považského Inovca, ktorá je obývaná živočíšnymi druhmi európskeho významu. Snahou mojej práce je poukázať na problém poňatia niektorých úprav vodných tokov v minulosti a taktiež zhodnotenie súčasných prírodných pomerov povodia Seleckého potoka.

Kľúčové slová: *Salmo trutta m. fario*, Selecký potok, revitalizácia

CARBON FLUXES IN NORWAY SPRUCE ECOSYSTEMS AFTER LARGE SCALE DISTURBANCE

Peter FLEISCHER – Peter FLEISCHER –
– Zuzana HOMOLOVÁ

Fleischer, P., Fleischer, P., Homolová, Z.: Carbon fluxes in norway spruce ecosystems after large scale disturbance. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 57, Suppl. 1, 2015, 21–33.

In 2004 a windthrow destroyed 12 000 hectares of mature Norway spruce forest on south slopes of the Tatra Mountains. The disturbance stimulated very dynamic ecological processes, including secondary succession and changes in carbon fluxes. Vegetation changes are characterized by notable temporal and spatial species, biomass and leaf area differences. The carbon fluxes change due to reduced photosynthesis and increased soil respiration. In this paper we present data on species abundance, biomass and LAI estimated by different methods on a disturbed site. We present the 2014 soil respiration and photosynthesis data driven by vegetation and microclimate changes estimated by gasometric chamber methods on dominant vegetation types. *Calamagrostis villosa* covered 46% and *Chamerion angustifolium* covered 40% of a study site. Seasonal (April–August) totals for soil C (carbon) flux from site dominated by *Chamerion angustifolium* was 243 g C.m⁻² and by *Calamagrostis villosa* was 204 g C.m⁻². Gross primary production during growing season 2014 for the key species was 306 g C.m⁻² for *Calamagrostis villosa* and 246 g C.m⁻² for *Chamerion angustifolium*. During the growing season 2014 disturbed site emitted 447 g C.m⁻² and assimilated 552 g C.m⁻², so the site acted as a carbon sink with positive balance of 1.05 t C.ha⁻¹.

Key words: forest disturbances, carbon balance, LAI, biomass

1. INTRODUCTION

Carbon dioxide (CO₂) is an important greenhouse gas and its increasing concentration in the atmosphere is often interpreted as a main reason for global climate change. Accumulation of carbon (C) in plant biomass is one of the most effective ways to reduce CO₂ in the atmosphere. Forest ecosystems play an important role in global carbon sequestration. Without forest current global CO₂ concentration would be roughly 510 ppm (HASENAUER *et al.*, 2012). Almost 46% of terrestrial C is stored in forest biomass and forest soils (BEESE *et al.*). In recent years forest sequestration potential has been reduced due to increasing disturbances. According to the projected changes destructive storms, floods, drought and insect outbreaks probably would cause even more significant changes of carbon fluxes in both, ecosystem and global cycles (LINDROTH *et al.*, 2008; AMIRO *et al.*, 2010; KURZ *et al.*, 2008). Destruction of forest canopy usually causes discrete release of C which is followed by a period of recovery. In a case of windthrow, the initial loss of C is

due to increase in heterotrophic respiration following the sharp decline in photosynthetic C fixation. Following windthrow soil receives C in a form of litter and woody debris from damaged trees and litter from succession herb and grass vegetation with significant impact on C stock and its dynamic (MAYER *et al.*, 2014). Canopy openness after windthrow stimulates microclimate changes due to increased solar radiation. Increased organic matter decomposition and consequent soil respiration is often based on elevated soil moisture after elimination of canopy transpiration.

Forest on the foothills of the Tatra Mts was strongly affected by an extreme windthrow in November 2004. Wind reaching 230 km.h^{-1} laid down more than 12 000 ha (2.3 mil m^3) of natural and seminatural larch-spruce forest. This event has initiated international long-term ecological research with special emphasis on energy, water and nutrient fluxes. Research sites were established for better understanding of ecological processes initiated by the disturbance and for scientifically sound post-disturbance management. Research sites (each roughly 100 ha in size) were chosen in almost identical conditions (geology, soils, topography, altitude, vegetation, climate) representing different type of disturbance (wind EXT, wind+fire FIR, bark beetle STR and undisturbed REF), and different type of post-windthrow management (managed EXT versus unmanaged NEX, details in FLEISCHER (2008)). In this paper we present data on C efflux (soil and ecosystem respiration), C assimilated by vegetation and calculation of C balance as difference between these two major C fluxes in 2014 on the EXT site. This site represents dominant type of disturbance (wind) as well as the main post-windthrow management (stems removed). Previous analysis showed significant change in carbon balance in 2013, when disturbed ecosystems turned from large carbon source to carbon sink (FLEISCHER, 2014). On contrary, organic soil analysis, surprisingly only recently reported carbon lose from affected ecosystems (DON *et al.*, in print).

Main objective of this paper is to analyse main CO_2 fluxes between the atmosphere and ground vegetation on disturbed site and calculate carbon balance in 2014. We hypothesize that vegetation growth would profit from warm and rainy weather and hence assimilate large amount of carbon in biomass. On the other hand high temperature stimulate soil decomposition and consequent respiration, what makes carbon balance estimation challenging.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 Site description

The EXT research site is located on the south oriented slopes in the central part of the Tatra Mts. The site is 110 ha large and spreads from 1 050 to 1 150 m a.s.l. According to potential vegetation classification forest was classified as *Lariceto-Piceetum* community. Before destruction in 2004 the age of mostly seminatural forest was 80–120 years. Dominant species was Norway spruce (70%), share of European larch ranged from 10–30%. Ground vegetation was sparse, dominated by acidophylous vegetation, e.g. mosses (*Pleurocium schreberi*, *Hylocomium splendens*) shrubs (*Vaccinium myrtillus*) and grasses

(*Avenella flexuosa*, *Calamagrostis villosa*). Repeated windthrows were documented for the last 200 years (ZIELONKA *et al.*, 2011) and proved naturally blocked trajectory towards climax spruce forest. Presence of light demanding larch in mixture with shade tolerant spruce indicated mid-successional, or transition stage in natural forest development cycle (FLEISCHER and HOMOLOVÁ, 2011). Geology (granit morrains) and soil (podsolc cambisols) on the site represent large areas along south oriented slopes of the Tatra Mts. Carbon stock in upper 20 cm range from 80–110 t.ha⁻¹ (DON *et al.*, 2012). Estimated stock in standing forest biomass was 110–150 t.ha⁻¹ (FLEISCHER *et al.*, 2013) what notably exceed typical values for temperate forest. Growing season usually lasts from early May to the end of August, with average air temperature 12.5 °C and precipitation total 450 mm (data provided by Research station TANAP and SHMU).

2.2 Sampling design

For data sampling we used both systematic and ad-hoc designs. We sampled points, plots and transects to capture inter-annual as well seasonal dynamic of vegetation, climate and CO₂ fluxes.

2.2.1 Vegetation

- a) Successional changes need long term observation. Fixed 1 × 1 m plots (3 replicates) were established on the site in 2005 (HOMOLOVÁ *et al.*, 2011). Every year species composition and abundance are recorded during spring and autumn campaigns.
- b) Spatial species distribution describes vegetation cover and share of species. We assessed vegetation along 2 transects, each 900 m long, every 30 m on 250 m² large plots. On each point also leaf area index (LAI) was measured by canopy analyser Licor 2200 (20-30 readings per plot).
- c) Seasonal dynamics of LAI was measured repeatedly (5 times per season) on fixed transects established perpendicularly around the centre (meteorological tower) – 4 × 70 m long, 5 points per 6 m section and 6 readings per point. Distance between sections was 5 m.

2.2.2 Soil respiration

Soil (ecosystem) CO₂ effluxes were measured by IRGA sensor placed in dark chamber. Temporal CO₂ concentration changes (ppm/min) were transformed into fluxes (g CO₂.m⁻².h⁻¹) using ideal gas law. Soil respiration was measured:

- a) Systematically on circular fixed points established along transects shaped in 6-arm stars. Meteorological tower formed the cross points of transects on each site. Distance between measuring points along transects was 10 m. Number of measuring points on each site ranged from 8 up to 22 according to the site specific variability estimated in previous analysis (FLEISCHER jr., 2013). Average frequency of measuring each point was 14 days during growing season (May–September), and monthly during autumn –

early spring. Soil CO₂ efflux was measured on plastic collars with closed static chamber (diameter 30 cm, height 20 cm) and IRGA sensor (Vaisala GMP 343) and recorded by MI70 logger.

- b) Specifically on sites representing the most frequent type of microsite conditions (vegetation) using closed dynamic chamber method (PPSystems). Chamber was placed on the ground randomly, without collars.
- c) Continuously by custom build automatic chambers (FLEISCHER JR and FLEISCHER, 2014) with Vaisala CO₂ probe, EasyLog logger (Physicus, Bratislava).

2.2.3 Photosynthesis

Photosynthesis (gross primary productivity, GPP) was estimated indirectly from net ecosystem exchange (NEE) measured by transparent chamber method. Measured CO₂ concentration indicated net ecosystem exchange (NEE), which resulted from instant difference between photosynthesis (or gross primary productivity, GPP) and total (or ecosystem) respiration:

$$\text{NEE} = \text{GPP} - \text{Re}$$

Applied Plexiglas transparent chambers had different size (from 16 up to 80 dm³) according to the type and height of measured vegetation. Photosynthetically active radiation (PAR) and air temperature were measured during CO₂ sampling. On each point the NEE measurements repeated consequently under modified light conditions. Intensity of solar light entering the chamber was modified by shading the chamber with plastic nets with different transparency. At least 6 measurement with different light intensity were taken starting with dark (PAR = 0) up to full light. Interval between measurements was minimally 5 min to allow vegetation to adapt to ambient conditions. Measuring interval lasted 2–5 min according to temperature and moisture inside the chamber. Higher temperature and moisture in chamber usually spoiled measurement and these cases were excluded from interpretation.

Temporal CO₂ changes (ppm.min⁻¹) were transformed to CO₂ fluxes (g CO₂.m⁻².h⁻¹) according to ideal gas law. Photosynthesis was measured:

- a) Systematically on 8 stainless metal squares (40 × 40 cm) inserted 2 cm into soil, levelled with ground. Transparent chambers (Plexiglass 4 mm thick, 40 and 100 cm high were equipped by Vaisala IRGA 343 sensor measuring CO₂, air temperature, and moisture RH%).
- b) Specifically by EGM4-PPSystems and CPY4 chamber (13.5 cm diameter, 15 cm high) on the most frequent type of vegetation with proper size.
- c) Continuously by custom build automatic chambers with Vaisala CO₂ probe, EasyLog logger (Physicus, Bratislava).

2.3 Microclimate measurement

During CO₂ measurement instant microclimate data near the sampling point were recorded. Soil temperature was measured in 2 and 10 cm by soil thermometer (Ahlborn, Germany) and soil moisture in 0–6 cm by ML2x (Delta theta, UK). Air humidity was measured by Ahlborn (Germany), PAR by Skye Quantum (Ireland), wind speed by Met (Germany). On each research site fixed automatic meteorological stations (AMS) recorded microclimate data (profile soil temperature and moisture, profile air temperature and humidity, wind speed and direction, global and PAR radiation, soil heat flux, precipitation) in 60 min intervals. The CPY4 chamber was equipped with the PAR, air temperature and humidity sensors.

2.4 Calculation of fluxes

Data recorded by the Vaisala instruments represented temporal (5 s) CO₂ concentration changes. Values of each measurement were plotted and linear trend was tested (MS Office Excell). Only data showing R² > 0.96 were used for flux calculation confirming proper measurement (well sample mixing, no leaking, etc.). According to DREWIT et al. (2002) we applied ideal gas law to calculate CO₂ flux (umol.m⁻².s⁻¹):

$$FCO_2 = (P \cdot V \cdot \Delta CO_2) / (R \cdot T \cdot A)$$

- P – air pressure (Pa),
- V – chamber volume,
- A – chamber surface,
- ΔCO_2 – concentration increment (ppm/min),
- T – air temperature in chamber (°K),
- R – gas constant.

Data recorded by the EGM4 were calculated by the instrument software and presented in g CO₂.m⁻².h⁻¹. The CO₂ fluxes measured in the chambers represented the difference between assimilation (GPP) and respiration (Re). Under dark conditions GPP = 0, so NEE = Re (TAGESSON, 2006).

Temporal extrapolation of CO₂ fluxes from snap to seasonal scale was based on the regression models (DELGROSSO *et al.*, 2005; BYRNE *et al.*, 2005). Soil respiration was extrapolated for the entire year according to the soil temperature and humidity. Photosynthesis was extrapolated across the growing season according to the PAR and LAI using the Michaelis-Menten regression. Nonlinear regression parameters were estimated by Statistica 7. Annual C balance (NEE) was calculated as difference between annual Re and seasonal photosynthesis (GPP). Positive NEE (GPP > Re) means that ecosystem is C sink. Negative balance (GPP < Re) indicates ecosystem as C source.

3 RESULTS

3.1 Vegetation

Forest ground vegetation records from 1990s serves a reference for species and abundance changes initiated by the 2004 windthrow. Typical spruce forest species (*Oxalis acetosella*, *Vaccinium myrtillus*, *Pleurocium schreberi*, *Hylocomium splendens*) almost disappeared. Instead light demanding species like *Chamerion angustifolium* and *Callamagrostis villosa* became dominant in forthcoming years. Tendency of changing abundance and species composition since 2005 presents Fig. 1.

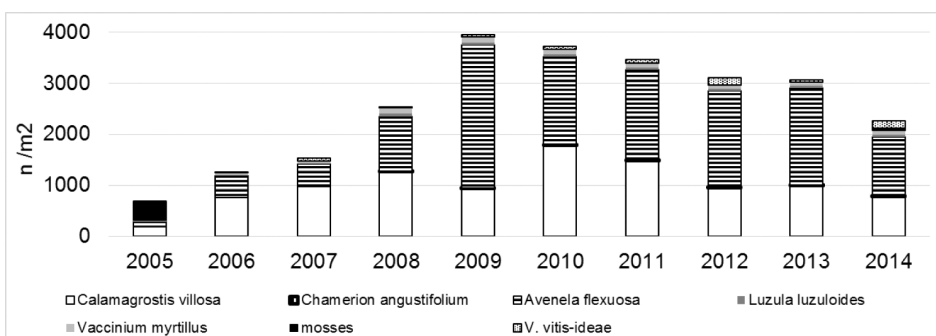


Fig. 1 Total plant abundance ($n \cdot m^{-2}$) and species share dynamic 2005–2014 on EXT (extracted) site

Obr. 1

Rate of carbon uptake by vegetation depends primary on available leaf area. Seasonal dynamic of leaf area index (LAI) in 2014 presents in Fig. 2. Large increase of LAI was recorded at the end of June probably due to warm and previously rainy weather (Fig. 3). LAI was recorded on 1×1 m plots.

Spatial distribution of LAI was estimated on transects (6 m wide, 1 800 m long). Based on species abundance we estimated LAI for dominant vegetation types (*Calamagrostis villosa* 46%, *Chamerion angustifolium* 40%). Remaining percentage is covered by *Calluna vulgaris*, *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idea*, *Rubus ideaus* and recently also naturally regenerated and planted trees (*Picea abies*, *Salix caprea*, *Larix decidua*, *Pinus sylvestris*).

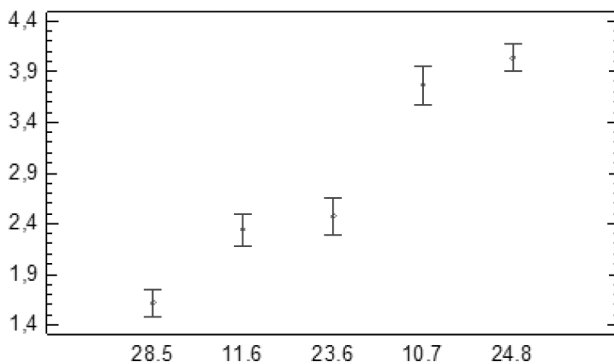


Fig. 2 Seasonal changes of LAI (m².m⁻²) in 2014, average and standard error
Obr. 2

3.2 Microclimate and climate

Both of CO₂ fluxes (photosynthesis and respiration) strongly depend at least on some of the following factors: air temperature, air humidity, soil temperature, soil moisture, air pressure, precipitation, wind speed and photosynthetically active radiation (PAR). All of the microclimate parameters were noted during instant CO₂ fluxes measurement. The same data were continuously recorded (60 min interval, all year round) by micrometeorological tower located on the research site and served for temporal extrapolation of measured fluxes. Soil temperature, soil moisture, precipitation and air temperature for the period April 1st to August 31st presents Fig. 3.

When compared with long term average, growing season 2014 was thermally normal (13,7 °C what is +0,2 °C above 1930–1960 standard), but precipitation was 1,4 fold above the normal (572 mm versus 413 mm) with notably dry 3-week period in June, (data provided by Slovak Hydrometeorological Institute and Research station TANAP).

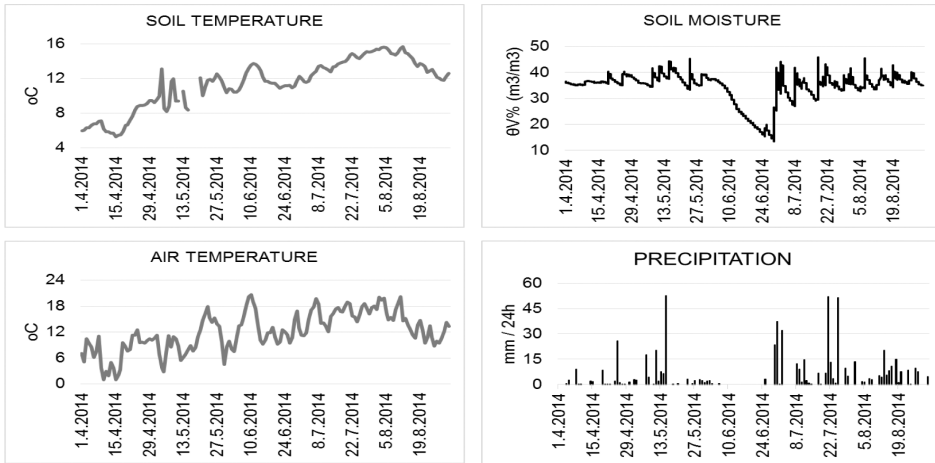


Fig. 3 Climate conditions on EXT (extracted) site during growing season 2014
Obr. 3

3.3 Photosynthesis

Instant GPP values were plotted against PAR to get light response curve for individual plant species. Measurements taken in course of growing season reflects differences in LAI development. Fig. 4a and b show light response curve for two key species standardized for 1 m² of vegetation.

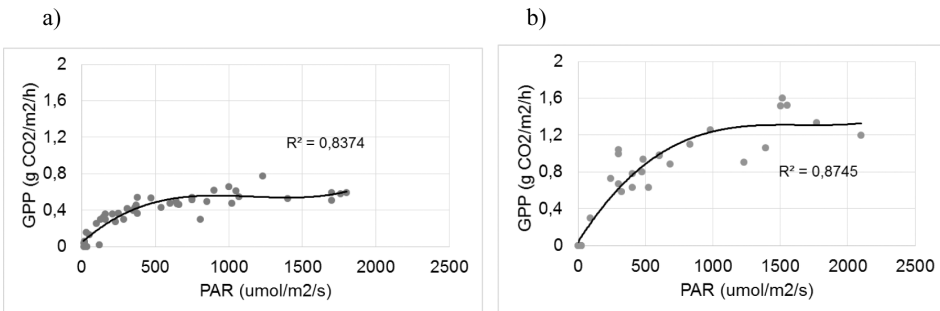


Fig. 4 Standardized light response curve a) *Calamagrostis villosa*, b) *Chamerion angustifolium*
Obr. 4

Measured instant GPP values were fitted with Michaelis-Menten type of regression:

$$GPP = a_1 \left(\frac{PAR}{a_2 + PAR} \right) \left(\frac{LAI}{a_3 + LAI} \right)$$

Calculated parameters for selected species (*Calamagrostis villosa*, *Chamerion angustifolium*) are presented in Tab. 1.

Tab. 1 Parameters for Michaelis-Menten regression, conf. level 95, $p < 0.05$)

Tab. 1

Vegetation	R ²	a ₁	a ₂	a ₃
<i>Calamagrostis villosa</i>	0,84	0,432	228,4492	0,6259
<i>Chamaerion angustifolium</i>	0,87	16,1471	182,1644	7,9352

Continuously hourly measured PAR values were used for extrapolation of instant GPP values across the growing season. Hourly dynamic of LAI was interpolated from instant measurement and reduced according to plant percentage. Seasonal hourly (a) and total GPP (b) for *Calamagrostis villosa* and *Chamerion angustifolium* are presented in Fig. 5a, b.

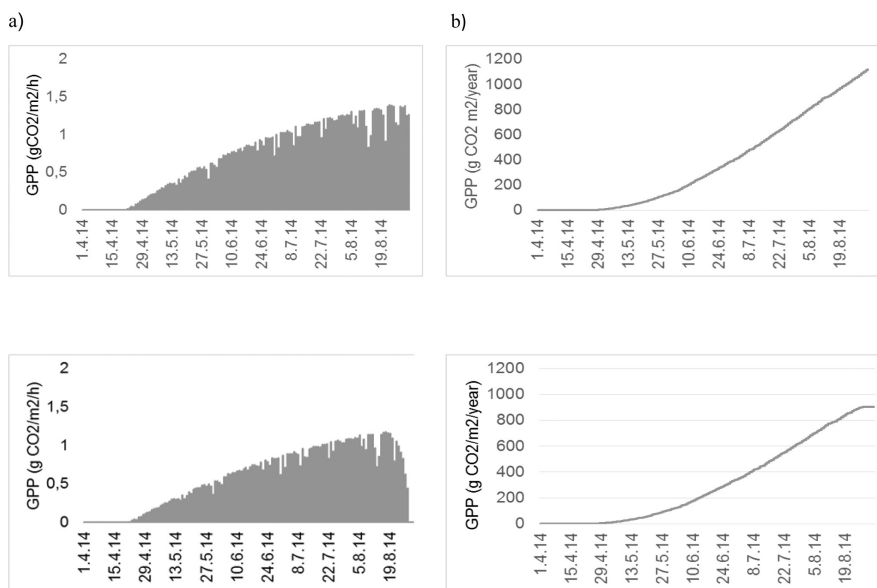


Fig. 5 Hourly (a) and cumulative (b) GPP expressed as CO₂ in g·m⁻² in 2014 for *C. villosa* (upper) and *Cham. angustifolium* (below)

Obr. 5

Total sum of GPP during growing season 2014 for the key species was 2024 g CO₂ m⁻² (1 122 for *Calamagrostis villosa* and 902 g CO₂ m⁻² for *Chamerion angustifolium*), what is totally equal to 552 g C, 306 g C for *C. villosa* and 246 g C per m² for *Ch. angustifolium*.

3.4 Soil respiration

Instant soil CO₂ fluxes were plotted against soil temperature and moisture according to modified DelGrosso model (DEL GROSSO *et al.*, 2005), which showed the best fit with observed data in previous studies (FLEISCHER jr., 2013). Equation parameters were fitted with non-linear regression using Statistica 7.

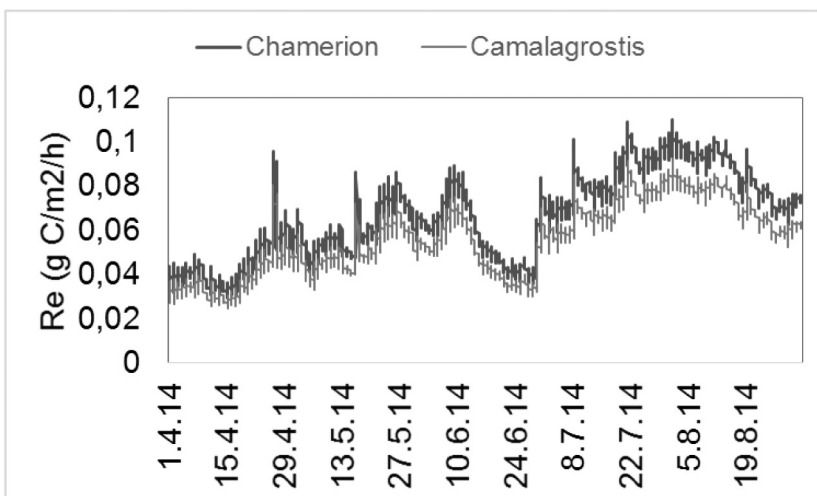


Fig. 6 Seasonal course of soil respiration ($\text{gC m}^{-2} \text{h}^{-1}$) for microsites dominated by *Chamerion angustifolium* and *Calamagrostis villosa*
Obr. 6

Seasonal (April–August) totals for soil C flux from site dominated by *Chamerion angustifolium* and *Calamagrostis villosa* was 243 g C.m^{-2} and 204 g C.m^{-2} respectively, totally 447 g C.m^{-2} .

3.5 Carbon balance

When compared seasonal C uptake (photosynthesis) versus C release (respiration) one can derive carbon balance, or net ecosystem exchange (NEE):

$$\text{NEE} = \text{GPP} - \text{Re}$$

The difference $+105 \text{ g C.m}^{-2}$ means that in growing season 2014 carbon balance on EXT site was positive. The ecosystem sequestered more carbon by photosynthesis than released by respiration.

4 DISCUSSION

We have applied “big leaf” approach to estimate carbon balance of forest ecosystem damaged by an extreme windthrow in 2004. Unlike in previous studies we concentrated more on summarizing CO₂ fluxes instead of analysing intra-site variation. Previous results (FLEISCHER, 2014) confirmed reduction of differences among sites with different disturbance factor (wind, fire, bark beetle) and post-windthrow management probably due to increasing homogeneity indicated also by dominance of few species. In 2014 *Calamagrostis villosa* and *Chamerion angustifolium* were dominant species on the research site counting for 86% of the hypothetical “leaf”. Despite increasing abundance of true forest species vegetation on the windthrow site still represents early succession stage. According to the Amiro’s index (AMIRO *et al.*, 2010) comparing GPP/Re, the site index 1.23 indicates stage between disturbance and early recovery. When compared with previous years we observed GPP decline in 2014. The same trends shows vegetation abundance. Similar “selfreducing” dynamic is often observed in grass and shrub communities due to overpopulation and consequently reduced germination (AERTS *et al.*, 1991). Despite well regeneration of both pioneer and climax tree species and locally intensive reforestation, still NPP of tree biomass is neglected when compared to ground vegetation (less than 8%, estimation based on recent tree biomass assessment by PAJTIK *et al.*, 2015 in print).

Repeated measurement on fixed points is a standard approach for assessing temporal changes of CO₂ fluxes. Fixed measurement is recommended to avoid influence of large spatial heterogeneity on CO₂ flux estimation. Soil efflux has been monitored on collars established in 2007–2010. Declining efflux is in contrary to data reported by MAYER *et al.* (2014) from windthrow in spruce forest in the Austrian Alps. On the other hand previous results comparing soil efflux from long-term measured points and nearby “new” sites indicates potential source of biases.

5 CONCLUSION

We confirmed declining trend in vegetation abundance on the windthrow site by declining gross primary productivity. Vegetation biomass reduction is probably caused by plant overpopulation and reduced germination as the weather in recent years was favourable (warm and rainy). Despite GPP decline, carbon balance on the windthrow site continues to be positive (site is carbon sink), same as it was in 2013. On windthrow site more “true” forest species was recorded, confirming slow return to pre-disturbance conditions. Nonetheless, GPP/Re index indicates very early stage of regeneration.

6 References

- AERTS, R., BOOT, R., VAN DEN AART, P., 1991: The relation between above and below-ground biomass allocation patterns and competitive ability. *Oecologia*, vol. 87, p. 551–559.
- AMIRO, B.D., BARR, G., BLACK, T.A., BRACHO, R. *et al.*, 2010: Ecosystem CO₂ fluxes after disturbances in forests of North America. *Journal of Geophysical Research*, vol. 115, p. 1–13.

- BEESE, F., FRAEDRICH, K., KLEMMER, P., *et al.*, 1998: Welt im Wandel: Strategie zur Bewältigung globaler Umweltrisiken. Springer 383 pp.
- BYRNE K.A., KIELY G., LEAHY P., 2005: CO₂ fluxes in adjacent new and permanent temperate grasslands. *Agricultural and Forest meteorology*, no. 135, p. 82–92.
- Del Grosso, S.J., Parton, W.J., Mosier, A.R., Holland, E.A., Pendall, E., Scimel, D.S., OJIMA, D.S., 2005: Modeling soil CO₂ emissions from ecosystems. *Biogeochemistry*, vol 73, p. 71–91.
- DON, A., BÄRWOLFF, M., KALBITZ, K., ANDRUSCHKEWITSCH, R., JUNGKUST H.F., SCHULZE, E.D., 2012: No rapid soil carbon loss after a windthrow event in the High Tatra. *Forest Ecology and Management*, Vol. 276, p. 239–246.
- FLEISCHER, P., 2008: Windfall research and monitoring in the High Tatra Mts., objectives, principles, methods, and current status. *Contributions to Geophysics and Geodesy*, Vol. 38, p. 233–248.
- FLEISCHER, P., FLEISCHER, P., jr., CELER, S., 2013: Carbon balance of spruce stands disturbed by wind and bark beetle in the Tatra Mts., methodology and preliminary results (in Slovak). *Zborník referátov z konferencie Aktulne problémy v ochrane lesa 2013*, p. 113–120.
- FLEISCHER, P., 2014: Consequences of natural disturbances on forest ecosystem state, processes and services in TANAP (in Slovak). In: Midriak, R. (ed.), 2014: *Zborník referátov z 10. MAB konferencie, UMB Banská Bystrica*, p. 35–44.
- FLEISCHER, P. jr., 2013: Carbon fluxes in selected ecosystems in TANAP (in Slovak). Diploma thesis. TU Zvolen, 64 pp.
- FLEISCHER, P. jr., FLEISCHER, P., 2014: Automatic measurement of CO₂ fluxes on ground vegetation after large-scale disturbance in forest of Biosphere Reserve Tatra – methodology and preliminary results (in Slovak). *Zborník z 10. Konferencie BR na Slovensku. UMB B. Bystrica*, p. 91–98.
- GÖMÖRYOVÁ, E., FLEISCHER, P., GÖMÖRY, D., 2014: Soil microbial community responses to windthrow disturbance in Tatra National Park (Slovakia) during the period 2006–2013. *Odozva pôdneho mikrobiálneho spoločenstva na veternú kalamitu v Tatranskom národnom parku v období rokov 2006–2013*, *Forestry Journal – Lesnícky časopis*, roč. 60, p. 137–142.
- HASENAUER, H., PETRITSCH, R., ZHHAO, M., BOISVENUE, C., RUNNING, S.W., 2012: Reconciling satellite with ground data to estimate forest productivity at national scales. *Forest Ecology and Management*, no. 276, p. 196–208
- HOMOLOVÁ Z., ŠOLTÉS R., KYSELOVÁ Z., ŠKOLEK J., 2011: Iniciálne štádia sukcesie na kalamitných plochách s rôznym typom manažmentu. *Štúdie o TANAP*, 43, 145–155
- KURZ, W.A., DYMOND, C.C., STINSON, G., RAMPLEY, G.J., NELSON, E.T., CAROLL, A.L., EBATA, T., SAFRANYIK, L., 2008: Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. *Nature*, Doi:10.1038/nature06777, 452, p. 987–990.
- LINDRÖTH, A., LAGERGREN, F., GRELE, A., KLEMEDTSSON, L., LANGVALL, O., WESLIEN, P., TUULIK, J. 2008: Storms can cause European wide reductions in carbon sink. *Global Change Biology* doi: 10.1111/j.1365-2486.2008.01719.x
- MAYER, M., MATTHEWS, B., SCHINDLBACHER, A., KATZENSTEINER, K., 2014: Soil CO₂ efflux from mountainous windthrow areas: dynamic over 12 years post-disturbance. *Biogeosciences*, Vol. 11, p.6081-6093, doi: 10.519/bg-11-6081-2014.
- SEIDL, R., SCHELHAAS, M.J., RAMMER, W., A., VERKERK, P. J., 2014: Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage, *Nature Clim. Change*, no. 4, p. 806–810.
- TAGESSON, T., 2006: Calibration and analysis of soil C efflux estimates with closed chambers at Forsmark and Laxemar. Lund University, pp. 36.
- ZIELONKA, T., HOLEKSA, J., FLEISCHER, P., KAPUSTA, P., 2010: A tree ring reconstruction of wind disturbances in the mountain forest of the Slovakian Tatra Mts. *Journal of Vegetation Science*. Wiley-Blackwell, vol. 21, no. 1, p. 31–42.

Acknowledgment

This study was supported by APVV Grant no. 0480-12. Author is grateful to Research station of TANAP staff for providing data, instruments, and personal support to realize this study.

Author's adress:

Ing. Peter Fleischer
Department of natural environment
Forestry Faculty
Technical university in Zvolen
Masarykova 24
960 53 Zvolen
Slovak republic
e-mail: p.fleischerjr@gmail.com

Toky uhlíka v smrekových ekosystémoch po veľkoplošných disturbanciách

Súhrn

V roku 2004 vetrová kalamita poškodila 12 000 hektárov dospelých smrekových porastov na južných svahoch Vysokých Tatier. Táto disturbancia stimulovala veľmi dynamické ekologické procesy vrátane sekundárnej sukcesie a zmien v tokoch uhlíka. Vegetačné pomery po disturbancii charakterizuje významná časová a priestorová zmena zastúpenia rastlinných druhov, ich biomasy a listovej plochy. K zmene v tokoch uhlíka došlo v dôsledku redukcie fotosyntézy a zvýšeniu pôdnej respirácie. V tomto článku hodnotíme abundanciu, biomasu a listovú plochu dominantných rastlinných druhov na vetrom poškodenej lokalite. Analyzujeme zmeny vegetácie a mikroklimatických podmienok, ktoré ovplyvnili úroveň pôdnej respirácie a fotosyntézy. Ich hodnoty sme stanovili gazometrickými komorovými metódami pre dominantné vegetačné typy. Vegetačný typ *Calamagrostis villosa* pokrýval 46 % a vegetačný typ *Chamerion angustifolium* pokrýval 40 % hodnoteného územia. Množstvo uhlíka (C) emitovaného z vegetačného typu *Chamerion angustifolium* bolo 243 g C.m⁻² a z vegetačného typu *Calamagrostis villosa* bol 204 g C.m⁻². Hodnota hrubej primárnej produkcie bola počas vegetačného obdobia pre vegetačný typ *Calamagrostis villosa* 306 g C.m⁻² a pre vegetačný typ *Chamerion angustifolium* 246 g C.m⁻². Počas vegetačného obdobia (apríl–august) 2014 vetrom poškodená plocha emitovala 447 g C.m⁻² a asimilovala 552 g C.m⁻², takže plocha v skúmanom období pôsobila ako úložisko uhlíka s pozitívnou bilanciou 1,05 t C ha⁻¹.

Kľúčové slová:

REKONŠTRUKCIA RÔZNYCH TYPOV LAVÍN NA ÚZEMÍ TATIER

Martin B A R T Í K

Bartík, M.: Reconstruction of different type snow avalanches – a case study from Tatra Mts.
Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 57, Suppl. 1, 2015, 35–46.

In our thesis we focused on adjusting the most enlarged avalanche simulation model RAMMS in Slovak conditions, where we used its newest version. We concentrate on avalanche reconstruction during the most disastrous avalanche period last decade, during March and April 2009, when we were witness to the biggest observed avalanche in Slovak until now, in Žiarska valley. Model was tested on 26 well-observed avalanches; whereby most of them are located in West Tatra Mts. Dataset contain different type of avalanche (powder, moist, wet), what made it possible to complex test of model for as. Secondary we focused on new module for forest destruction and impact of forest to avalanche dynamic and size. We used orthophotos images from year 2010 and also images from Google Earth. Results confirm good conformity with reality and suggest us parameters for different simulation scenario in avalanche forecast.

Key words:

1 ÚVOD

Les je výrazným stabilizujúcim prvkom pre snehovú pokrývku. Zdravý les s trvalým zastúpením vekových tried vo svojom areály zabraňuje vzniku lavín (MID-RIAK 1977). BINDER (1969) uvádza, že túto funkciu najlepšie plní starší, nerovnoveký, zmiešaný les primeraného zakmenenia, v ktorom sa snehová pokrývka neukladá rovnomerne a zabraňuje prenášaniam snehu vetrom. Ochranný účinok lesa proti lavínam závisí od zastúpenia drevín, zakmenenia, veku, výšky a kvality porastu. Narastá pri nerovnovekých, rôznorodých, plne zakmenených porastoch bez prestarnutých jedincov. Čím je porast viacej otvorenejší, tým menej chráni pred lavínami, pričom je potrebné zohľadniť ešte dĺžku a šírku porastových medzier a zloženie drevín (BEBI, ULRICH 2008). MARGRETH (2004) uvádza ako ich hraničnú dĺžku do 50 metrov pri sklone do 35° a do 30 metrov pri sklone 45°. Pri dĺžke porastových medzier nad 150 metrov musíme počítať so zničením nižšie položených porastov.

Všetky doposiaľ spomenuté fakty potvrdzujú pozitívny vplyv lesa pri tvorbe lavín, avšak pri jej vzniku nad hornou hranicou lesa je jeho vplyv na rozsah lavíny značne obmedzený (BARTÍK *et al.* 2013, MARGRETH 2004, KŇAZOVICKÝ 1967). V snahe zabrániť vzniku lavín alebo zmierniť ich ničivé následky sú používané rôzne opatrenia, či už vo forme preventívnych, technických, biologických alebo organizačných (BUKOVČAN 1960).

Pri rozhodovaní o preventívnych, ako aj o technických protilavínových opatreniach nám v dnešnej dobe môžu pomôcť softvérové aplikácie, hlavne vo forme simulačných programov. Ich cieľom je čo najvernejšie popísať pohyb lavíny územím. Umožňujú v danom teréne a pri konkrétnych podmienkach zistiť parametre potenciálnych lavín, a tým napomáhajú hlavne pri odhade možného dosahu lavín. Patria sem aplikácie ako AVAL 1D, ELBA+, RAMMS, Samos AT.

V našom príspevku sa venujeme práve modelu RAMMS. Tento patrí medzi celosvetovo najrozšírenejšie a najpoužívannejšie a okrem simulácií lavín, slúži aj pri modelovaní zosuvov alebo padania skál. Bližšie sme sa venovali jeho rozšírenej verzii, kde sme na nami zvolenom výbere lavín z územia slovenských Tatier chceli otestovať všetky jeho nadstavby či už pre simuláciu malých lavín, s použitím upraveného RKE modulu (DREIER *et al.* 2014), vlhkých a mokrych lavín, pri ktorých má výrazný vplyv na ich dynamiku teplota a obsah kvapalnej vody v snehovej pokrývke (VERA *et al.* 2014), ako aj pôsobenie lavíny na les rôznych porastových charakteristík (FEISLT *et al.* 2014). V spolupráci so švajčiarskymi kolegami, sme používali parametre, ktoré použili pri tvorbe týchto nadstavieb a naším cieľom bolo zistiť, do akej miery sú tieto vhodné aj v našich podmienkach a otestovať ich použitie na vyššom počte prípadov.

2 METODIKA

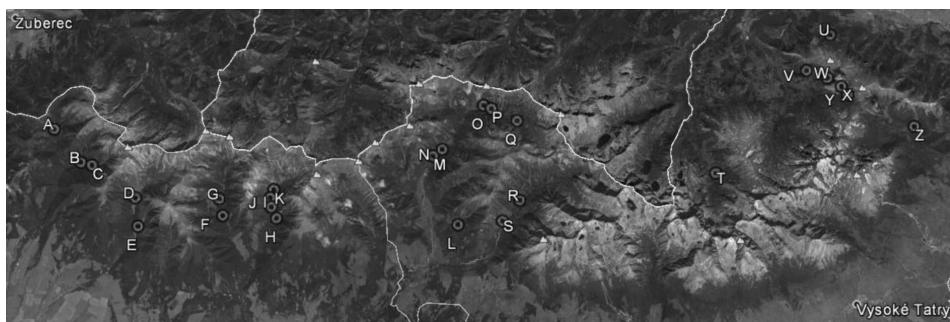
2.1 Opis územia tatier

Tatry so svojím najvyšším bodom Gerlachovským štítom (2 655 m n. m.) sú najvyššou časťou Karpatického oblúka. Z geomorfologického hľadiska ich rozdeľujeme na dva podcelky, a to Západné a Východné Tatry, ktoré sa ďalej delia na geomorfologické časti Vysoké a Belianske Tatry (MAZÚR, LUKNIŠ 1986). Z geologického hľadiska je väčšia časť Vysokých a Západných Tatier tvorená magmatickými a metamorfovanými horninami. Časť Západných (Osobitá, Sivý vrch, Červené vrchy) a Belianske Tatry sú tvorené vápencami a dolomitmi (TANAP 2015). Územie vzhľadom k vysokým úhnom zrážok, výraznou výškou horstva a najmä sklonovými pomermi vytvára vhodné predpoklady pre vznik lavín počas zimného obdobia.

2.2 Výber lavínových dráh

V našom príspevku sme si zvolili 26 dobre zdokumentovaných lavín, počas obdobia marec–apríl 2009. Všetky boli lokalizované na slovenskej strane Tatier a to nasledovne: 6 na území Belianskych, 1 vo Vysokých a 19 v Západných Tatrách (obr. 1, tab. 1). Vyberali sme si hlavne väčšie lavíny, o ktorých sme našli záznam v ročenke Horskej záchranej služby Strediska lavínovej prevencie (HZS SLP 2009) a došlo pri ich páde k deštrukcii lesa. Následne sme sa snažili pomocou snímok z Google Earth identifikovať ich v teréne na základe zmeny stavu lesa v ich dráhe. V prípade nezrovnalostí, či napr. nemohli les poškodiť lavíny z predchádzajúceho obdobia, sme si túto

skutočnosť mohli overiť podľa aktuálnosti poškodenia na ortofotosnímках z roku 2010 (obr. 2) (TUZVO 2014). Výnimku tvoria lavíny z územia Belianskych Tatier, kde boli vybrané aj menšie lavíny bez poškodenia lesa, keďže táto časť územia bola zosnímkovaná s krátkym časovým odstupom (niekoľko dní) od pádu vybraných lavín (obr. 3), čo nám ponúka relatívne presné informácie nielen o dosahu lavíny, ale aj o mieste a približnej výške odtrhu, ako aj následného nánosu. Pri niektorých lavínach chýbal záznam (4 prípady) v ročenke avšak s použitím snímok sme ich vedeli jasne identifikovať. V prípade Západných Tatier boli miesta odtrhu určené na základe informácií uvedených v ročenke SLP HZS, a to konkrétne expozície, nadmorskej výšky odtrhu, ako aj jeho dĺžky. Pri identifikácii miest odtrhu sme použili aj expertný program založený na analyzovaní povrchu terénu (BÜHLER *et al.* 2013).



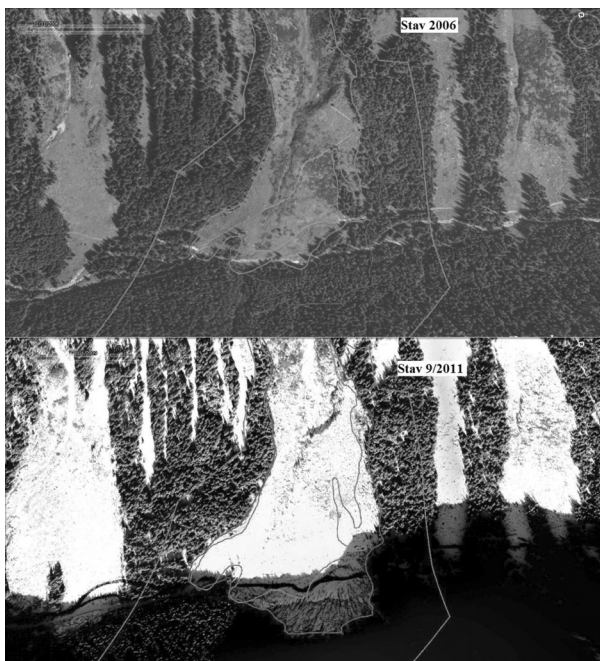
Obr. 1 Vybrané lavínové dráhy (zdroj: Google Earth)

Fig. 1 Chosen avalanche path (source: Google Earth)

Tab. 1 Zoznam lavín a ich charakteristika (HZS SLP 2009)

Tab. 1 Avalanches and its characteristics (APC MRS 2009)

ID	výskyt		dolina	lokality	nadm.výška		od trh exp.	typ pohybu	dráha lavíny		Poš. lesa
	od	do			odtrh	nanos			šírka	dĺžka	
A			BOBROVECKA	S. PRIEHYBA	nezaznamenaná v ročenke SLP HZS						
B	25.3.2009	26.3.2009	JALOVECKA	SALATIN, VRECE	1960	1125	J	prachová	15	2500	1 ha
C	25.3.2009	26.3.2009	JALOVECKA	PRISLOP, BANIKOV	1900	1120	Z	prachová	50	2500	2 ha
D	25.3.2009		ZIARSKA	PRISLOP	2125	1135	JV	prachová	150	2800	7 ha
E	30.3.2009		ZIARSKA	BARANEC	1950	1050	JZ	tečúca	50	2200	2 ha
F	27.3.2009		JAMNICKA	MASELNA	2000	1100	V	tečúca	100	2000	1 ha
G	25.3.2009	26.3.2009	JAMNICKA	PUSTE	2000	1100	VJV	prachová	100	2300	3 ha
H	28.3.2009	29.3.2009	RACKOVA	JEZOVA, NIZNA BYSTRA	2000	1300	ZJZ	tečúca	30	1600	4 ha
I	19.3.2009		RACKOVA	OSTREDOK	1950	1250	V	prachová	300	1200	3 ha
J	19.3.2009		RACKOVA	OTRHANCE	1950	1280	JV	prachová	200	1800	4 ha
K	19.3.2009		RACKOVA	JAKUBINA, VYSNA MAGURA	2050	1250	JV	prachová	200	1800	5 ha
L	25.3.2009		TICHA	KRIZNA	1950	1350	JZ	prachová	50	1500	5 ha
M	25.3.2009	26.3.2009	TICHA	NIZNE NOHAVICE	1660	1177	JV	prachová	20	1100	
N	25.3.2009	26.3.2009	TICHA	VYSNE NOHAVICE	1850	1118	JV	prachová	20	1900	0,3 ha
O	25.3.2009		TICHA	CIERNA ZEM	1850	1245	J	prachová	15	1060	0,5 ha
P	25.3.2009	26.3.2009	TICHA	PROSTREDNY VRCH	1855	1275	JJZ	prachová		1150	1 ha
Q			TICHA	MAGURA	nezaznamenaná v ročenke SLP HZS						
R			KOPROVA	SRDCE	nezaznamenaná v ročenke SLP HZS						
S	25.3.2009	26.3.2009	KOPROVA	KRIZNA, VSIVAKY	2025	1170	VJV	prachová		1400	
T	25.3.2009	26.3.2009	BIELOVODSKA	sedlo nad ZELENYM	2050	1310	ZJZ	prachová	30	1800	2 ha
U	30.3.2009	31.3.2009	STARA POLANA	HAVRAN	1960	1380	SSV	tečúca	100	1250	
V	30.3.2009	31.3.2009	STEFANSKY ZLAB	VYSNE RADY	1900	1560	JJZ	tečúca	10	470	
W	28.3.2009	30.3.2009	ZADNE MEDODOLY	HAVRAN-SIROKY ZLAB	1985	1515	J	tečúca	30	940	
Y	28.3.2009	30.3.2009	ZADNE MEDODOLY	ZDIARSKA VIDLA-PR.ZL.	1845	1580	J	tečúca	20		
X			ZADNE MEDODOLY	HLUPY	nezaznamenaná v ročenke SLP HZS						
Z	25.3.2009	26.3.2009	SIEDMYCH PRAMEN	BUJACI VRCH	1840	1425	JJV	prachová	100		1 ha



Obr. 2 Identifikácia dosahov lavín a lokalizácia lesa
(zdroj: Google Earth)

Fig. 2 Identify of avalanche path and forest areas
(source: Google Earth)

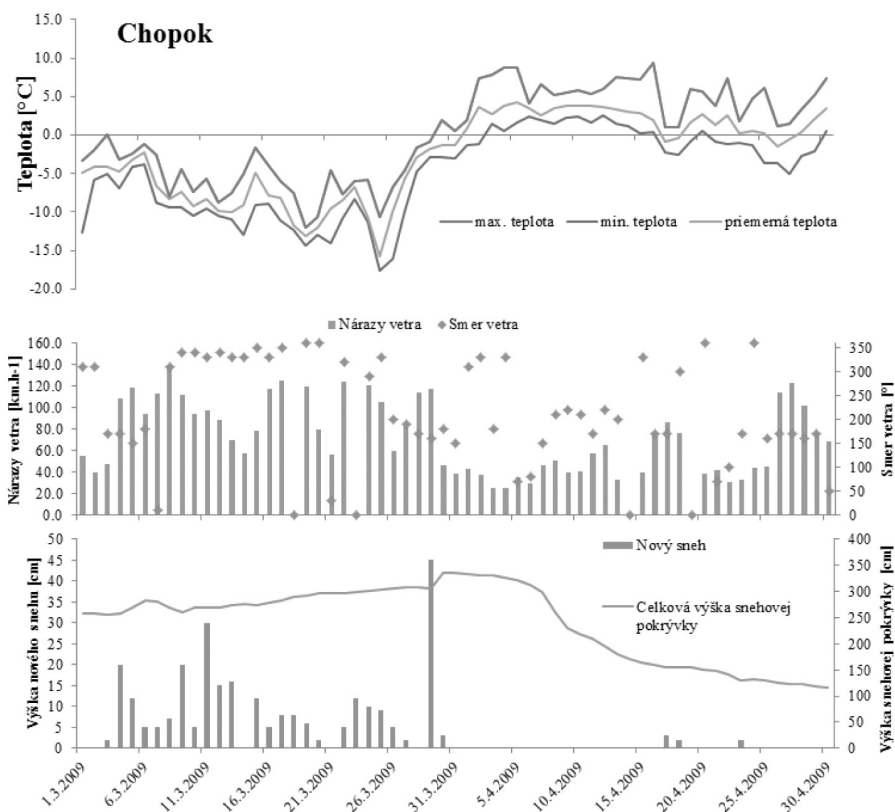


Obr. 3 Lavínová aktivita zachytená na družicových snímkach
(3–5 dní po páde) (zdroj: Google Earth)

Fig. 3 Avalanche activities in satellite images (3–5 days after fall)
(source: Google Earth)

2.3 Meteorologické podmienky

Grafy priebehu nameraných meteorologických veličín zo stanice Chopok (obr. 4) nám ponúkajú približný obraz o meteorologickej situácii počas vybraného obdobia (SHMÚ 2015). Pokles teploty až do 17 °C na konci marca spojený so silnými nárazmi vetra a snežením sa pričínili o vznik vhodných podmienok pre prachové lavíny, kedy značné množstvá snehu boli previevané do odtrhových zón a vplyvom nízkej teploty nemohlo dôjsť k ich stabilizácii, a dochádza k ich samovoľnému pádu. Začiatkom apríla naopak sledujeme stabilizovanie počasia, kedy dochádzalo k výraznému otepleniu, keď v naakumulovaných masách snehu došlo k strate súdržnosti a tým sa vytvorili vhodné podmienky pre lavíny z mokrého snehu, prípadne základové lavíny.



Obr. 4 Priebeh nameraných meteorologických veličín na stanici Chopok (zostavené podľa SHMÚ 2015)

Fig. 4 Meteorological conditions in station Chopok (2 024 m a.s.l) (source: SHMI 2015)

2.4 Model RAMMS

Dvojdimenziálny numerický simulačný model slúžiaci pre výpočet geofyzikálnych pohybov hmoty (lavíny, zosuvov ako aj pádu skál) z miesta odtrhu po miesto uloženia, po trojdimenzionálnom povrchu terénu. Bol vyvinutý skupinou expertov na WSL Institute for Snow and avalanche research, SLF v Davose. Merania prebiehali vo Vallée de la Sionne a ku kalibrácii sa použili údaje so švajčiarskych historických lavínových udalostí (BARTELT *et al.* 2011).

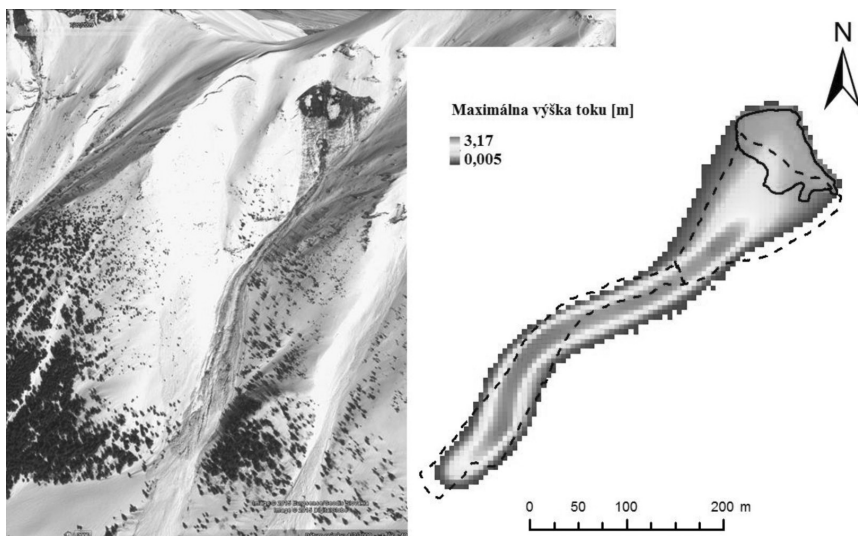
K vstupným údajom patrí digitálny model reliéfu (DMR), informácie o lese, mieste odtrhu a charakteristikách snehovej pokrývky. My sme v našej práci použili DMR 3. generácie s rozlíšením 10m. Vrstva les bola odvodená zo snímok z Google Earth, kde priamou vektorizáciou v aplikácii sme vyexportovali dáta vo formáte kml a následne sme si ich v ArcGIS 10.1 upravili na štandardnú polygónovú vrstvu. Podobne boli získané dáta o dosahu lavíny a pri niektorých lavínach aj o lavínovej dráhe spolu s miestom odtrhu. Údaje o snehovej pokrývke sme získali z ročenky Horskej záchranej služby Strediska lavínovej prevencie (HZS SLP). Pracovali sme s výskumnou rozšírenou verziou programu RAMMS EXTENDED, kde okrem už spomínaných vstupných údajov bolo možné zadávať aj charakteristiky ohľadom teploty strhnutého snehu, obsah vody v tejto vrstve ako aj rôzne podrobnejšie parametre podľa charakteru lavíny. Tieto sme odvodili na základe meteorologických dát a zaznamenaných správach o lavínach.

Táto vývojová verzia sa od bežnej komerčnej verzie odlišuje viacerými nastaveniami, ktorých použitie je v testovacej fáze. Napr. je s ňou možná simulácia malých lavín, ktorá používa pre výpočet upravený RKE model (DREIER *et al.* 2014), ďalej je možnosť pre vstup podrobnejších teplotných a vlhkostných charakteristík snehovej pokrývky, čím sa dosiahne vyššia zhoda zo skutočnosťou pri vlhkých a mokrých lavínach (VERA *et al.* 2014) ako aj bližšie charakteristika lesa a ohodnotenie jeho deštrukcie v lavínovej dráhe (FEISLT *et al.* 2014). Naším cieľom bolo otestovať všetky tieto nastavenia modelu na vybranom datasete lavín v našich prírodných podmienkach.

3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

3.1 Simulácia lavín z vlhkého a mokrého snehu

Výsledky potvrdzujú vysokú mieru zhody, či už pri simulácií prachových ako aj mokrých lavín. Pre zjednodušenie sa v tejto časti budeme venovať len niektorým prípadom. Obr. 5 zobrazuje výsledok simulácie lavíny zo svahov Hlúpeho do doliny Zadné Medodoly. Rozsahom ju zaradíme medzi menšie lavíny, ale výsledky potvrdzujú výraznú mieru zhody, čo sa týka dosahu lavíny (rozdiel do 10 m), čo je veľmi pozoruhodné, keďže simulačné modely boli kalibrované na rozsiahlych lavínach, čo nám potvrdzuje progres vo vývoji programu a jeho použitia aj pri rozsahovo menších lavínach, ktoré za súčasných podmienok najčastejšie môžu ohroziť napr. cestné komunikácie.

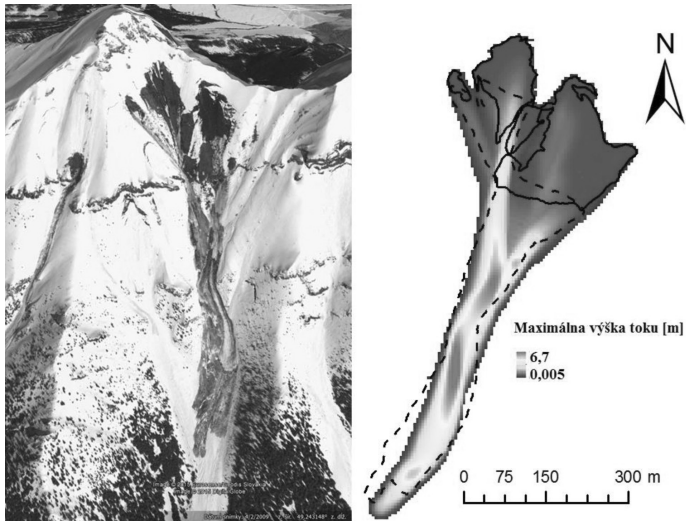


Obr. 5 Výsledok simulácie lavíny z Hlúpeho a porovnanie so skutočným stavom (prerušovaná línia – dráha a plná čiara – odtrh lavíny)

Fig. 5 Avalanche from Hlúpy and a comparison with our result (dashed line – avalanche path and black line – release zone) (source: Google Earth)

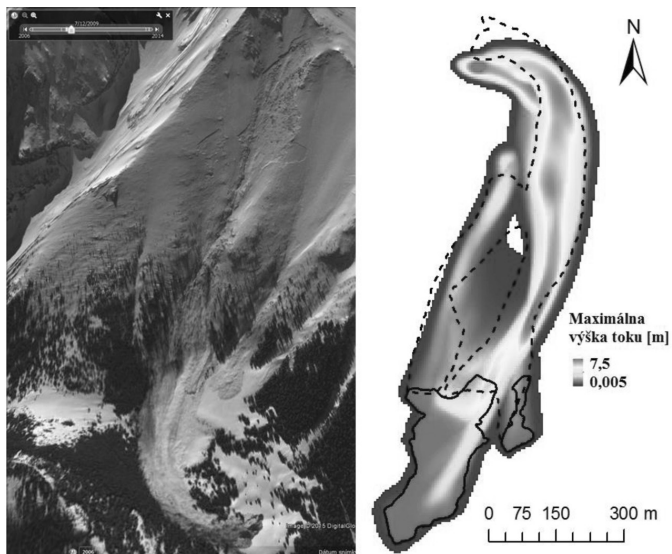
K podobnému výsledku sme sa dopracovali aj pri simulácií lavíny z Havrana (obr. 6), kde bol rozdiel v dĺžke 30 m pri celkovom dosahu lavíny 900 m, čo predstavuje rozdiel cca 4%. Pri bližšom pohľade nám je zrejme, že nami simulované lavíny sa viac rozširujú do strán, avšak tento jav pripisujeme nedostatočne podrobnému digitálnemu modelu reliéfu, ktorý je pri rozlíšení 10 m čiastočne zahľadený.

Lavína z Havrana smerom na Starú poľanu (obr. 7) sa vyznačuje komplikovanosťou terénu. Ako aj v tomto prípade môžeme vidieť, že model nie je ďaleko od reality, pričom lavína nám „skĺzla“ 50 m viac do doliny. Tu sa vynára otázka presnosti vstupných dát, keďže dynamika lavíny je značne závislá od teploty snehu (STEINKOGLER *et al.* 2014). Všeobecne je možné odhadnúť na základe teploty okolitého vzduchu, ako asi vyzerať teplota v snehovej pokrývke, avšak dynamiku lavíny môže zmeniť i keď lavína zasiahne chladnejší sneh v lese.



Obr. 6 Výsledok simulácie lavíny z Havrana a porovnanie so skutočným stavom (prerušovaná línia – dráha a plná čiara – odtrh lavíny)

Fig. 6 Avalanche from Havran a comparison with our result (dashed line – avalanche path and black line – release zone) (source: Google Earth)



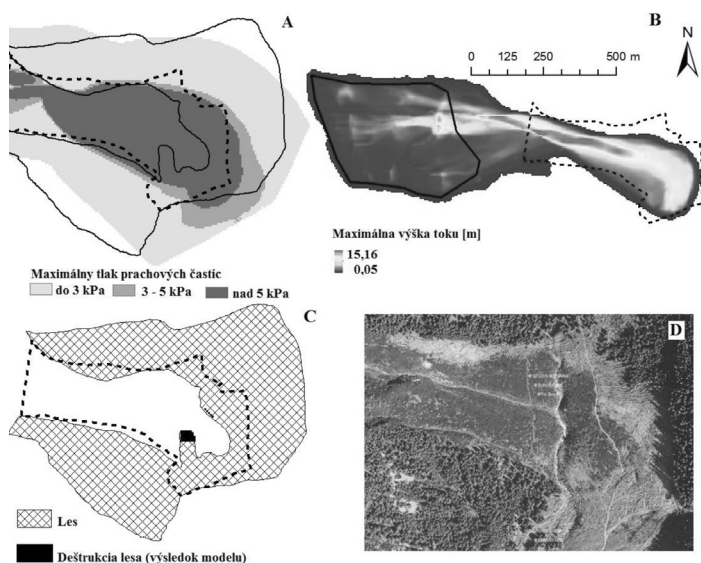
Obr. 7 Výsledok simulácie lavíny na Starej poľane a porovnanie so skutočným stavom (prerušovaná línia – dráha a plná čiara – odtrh lavíny)

Fig. 7 Avalanche in Stará poľana a comparison with our result (dashed line – avalanche path and black line – release zone) (source: Google Earth)

3.2 Prachové lavíny

Ako sme spomínali v predchádzajúcich kapitolách, vplyvom silného vetra spojeného so snežením a nízkou teplotou vznikli vhodné podmienky pre katastroficky rozsiahle prachové lavíny. Tieto sa vyznačujú značnou rýchlosťou do $300 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (BINDER 1969) a schopnosťou tlakovej vlny ničiť i bez priameho dosahu nánosu (TIROL. LANDESREGIERUNG 2009). Tento je na konci lavíniska široko rozložený vo forme kužeľa bez ostrého ohraničenia. Týmto typom lavíny sú spôsobené obrovské škody na lesných porastoch (BUKOVČAN 1960). Tento fakt potvrdzujú aj lavíny z marca 2009, kedy napr. rekordná lavína v Žiarskej doline zničila 7 ha lesa (HZS SLP 2009).

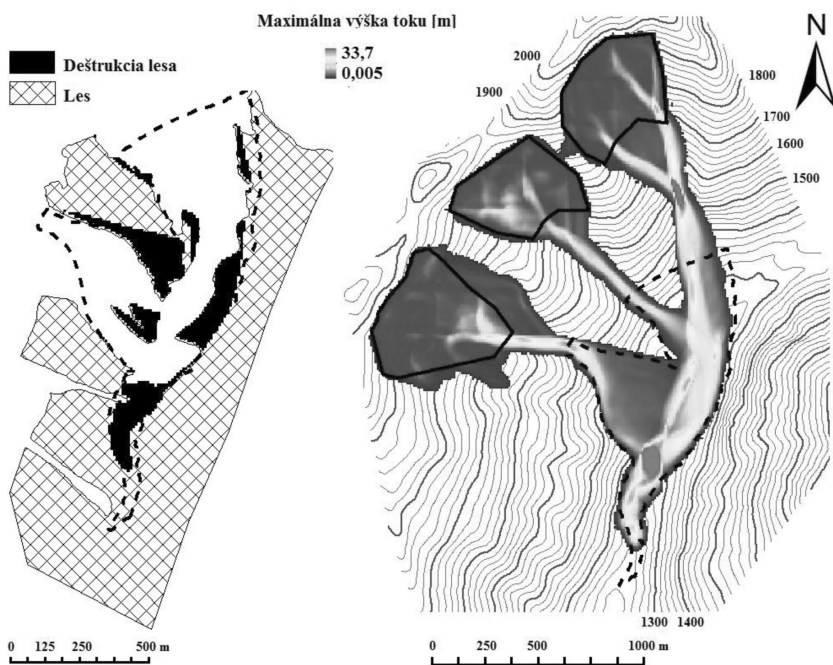
Pri páde lavíny z Otrhancov do Račkovej doliny došla taktiež k značným škodám na lesných porastoch. Na obr. 8c vidíme výsledok zo simulácie a to konkrétne zničenie lesa (červená farba). Ako nám dosvedčuje ortofotosnímka (obr. 8d) toto poškodenie bolo značne väčšieho rozsahu ako predikuje nadstavbový modul. Tu narážame na obmedzenosť modulu pre ohodnotenie poškodenia lesa (FEISLT *et. al.* 2014), kde použitý postup výpočtu pri nižších rýchlostiach kalkuluje nízky dynamický tlak, ktorý nepopisuje skutočný tlak v posledných úsekoch lavínovej dráhy, kde tento nie závislý na rýchlosti lavíny (SOVILLA *et al.* 2010). Ak sa však bližšie pozrieme na výsledok z maximálne dosiahnutého tlaku prachových častí lavíny (obr. 8a), kde sú hodnoty rozdelené v rozsahu do 3 kPa, 3 až 5 kPa a nad 5 kPa, môžeme pozorovať vyššiu zhodu s poškodením lesa. Práve hodnota tlaku prachových častí od 3 do 5 kPa je považovaná za hraničnú pre rozvrátenie porastov ihličnatých drevín. Maximálna výška toku je zobrazená na obr. 8b.



Obr. 8 Výsledok simulácie lavíny z Otrhancov a porovnanie so skutočným stavom (prerušovaná línia – dráha lavíny)

Fig. 8 Avalanche simulation from Otrhance (dashes line – avalanche path)

Rekordná lavína v Žiarskej doline si vďaka včasnej evakuácii našťastie nevyžiadala žiadne obete na ľudských životoch. Presnosť simulácie aj v tomto prípade je značná a rozdiel medzi dosahom skutočnej lavíny a našim výsledkom je cca 150 m pri celkovej dĺžke lavíny 2 800 m, čo predstavuje cca 5 % (obr. 9a). Model veľmi dobre odhadnotil aj zničenie lesa, kde rozdiely neprekračujú vo vrchnej časti 70 m (obr. 9b), čo považujeme za veľmi dobrý výsledok. Lavína svojím objemom cca 1 mil. m³, ako aj svojou dĺžkou 2 800 m a zničením 7 ha lesa sa zapísala do histórie ako najväčšia doposiaľ zaznamenaná na našom území.



Obr. 9 Výsledok simulácie lavíny v Žiarskej doline a porovnanie so skutočným stavom (prerušovaná línia) (plná línia znázorňuje miesta odtrhu)

Fig. 9 Avalanche simulation in Žiarska valley (dashed line – avalanche path, black line – release area)

Pri štatistickom vyhodnotení výsledkov sme zaznamenali priemernú odchýlku medzi dosahom nami nasimulovaných lavín a ich skutočným dosahom okolo 60 m, čo predstavuje priemerne 4,3 % s celkovej dĺžky lavín. Priemerná dĺžka lavínových dráh bola cca 1 400 m. Najvyššie odchýlky sme zaznamenali u prachových lavín a to až do 14 % s pôvodnej lavínovej dráhy (v lokalite Vyšné nohavice). U tečúcich lavín len v jednom prípade presiahla hodnota odchýlky 5 %.

4 ZÁVER

Cieľom nášho príspevku bolo priblížiť použitie programu RAMMS, ktorý slúži aj k simulácií lavín. Ako výsledky potvrdzujú, tento nie sú ohraničený svojou použiteľnosťou len pri rozsiahlych lavínach ale progres jeho vývoja nám ponúka možnosť uplatnenia aj pri zhodnotení ohrozenosti cestných komunikácií menšími lavínami, spolu v kombinácii s bližšou charakteristikou teploty a obsahu vody v snehovej pokrývke. Ďalšou nadstavbou je modul les, ktorý nám umožňuje jeho podrobnejšie charakteristiky a evaluáciu, či dôjde pri zásahu k jeho vyvráteniu, alebo ostane stáť, pričom odníme časť snehu z toku lavíny. Nami prevedené otestovanie parametrov pre správne nastavenie modulov nám môže do budúcnosti poslúžiť pri zostavovaní scenárov ohrozenosti konkrétneho územia lavínami. Presnosť nami nasimulovaných lavín, s priemernou hodnotou odchýlky do 5%, hodnotíme veľmi pozitívne, keďže zoznam simulovaných lavín bol tvorený ich rôznymi typmi, či už suchými, prachovými lavínami, tak aj lavínami z mokrého snehu. Použité boli taktiež lavíny z rôznou dĺžkou dráhy od cca 470 m až po rekordnú lavínu zo Žiarskej doliny s dosahom 2 800 m. Pri rekonštrukcií lavíny modelom RAMMS z roku 1970 v Ďurkovej v Nízkych Tatrách uvádza BISKUPIČ *et al.* (2010) presnosť v dosahu okolo 1 % jej celkovej dĺžky. Pri použití modelu ELBA+ tvorila odchýlka do 0,5 % (BARTÍK *et al.* 2013) Našou snahou v tomto príspevku bolo nájsť, a testovať čo najvhodnejšie parametre, s ktorých použitím by sme sa čo najvernejšie priblížili skutočnému stavu, a ktoré by mohli byť použité ako rámcové pre daný typ lavín v oblasti Tatier.

Pod'akovanie

Tento príspevok je výsledkom realizácie projektov VEGA č.: 1/1130/12, VEGA 1/0589/15, VEGA 1/0463/14 MŠVVaŠ SR a SAV; a Agentúry na podporu výskumu a vývoja v rámci zmluvy č.: APVV-0423-10, a APVV-0303-11. Autori ďakujú agentúram za podporu.

5 Literatúra

- BARTELT, P. – BUEHLER, Y. – CHRISTEN, M. – DEUBELBEISS, Y. – SALZ, M. – SCHUMACHER, L., 2011: RAMMS-User Manual v 1.4 Avalanche. internetový zdroj: http://ramms.slf.ch/ramms/downloads/RAMMS_AVAL_Manual.pdf [02-04-2015]
- BARTÍK, M. – HRÍBK, M. – OREŇÁK, M. – ŠKVARENINA, J., 2013: Potencionálny vplyv zmien hornej hranice lesa na parametre lavín s použitím modelu ELBA+ – prípadová štúdia Nízke Tatry. In Zprávy lesníckeho výskumu. 58, 4, s. 287–293.
- BEBI, P. – ULRICH, M., 2008. Gibt es immer mehr wirksamen Lawinenschutzwald? In Informationsblatt Wald. Birmensdorf. Eidg. Forschungsanstalt WSL. s. 1–3.
- BINDER, R., 1969. Zahrádzanie bystrín a lavín. Bratislava. Príroda. 292 s.
- BISKUPIČ, M. – KYZEK, F. – LIZUCH, M. – RICHNAVSKÝ, J. – ŽIAK, I. – MUDROŇ, I. – DEVEČKA, B., 2011: Rekonštrukcia historickej lavíny s využitím moderných nástrojov GIS. In Životné prostredie. 45, s. 83–88.
- BÜHLER, Y. – KUMAR, S. – VEITINGER, J. – CHRISTEN, M. – STOFFEL, A. – SNEHMANI, 2013: Automated identification of potential snow avalanche release areas based on digital elevation models. In Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 13. s. 1321–1335.
- BUKOVČAN, V., 1960: Lavíny a lesy. Bratislava. Slovenské vydavateľstvo pôdohospodárskej literatúry n. p. 196 s.

- DREIER, L. – BÜHLER, Y. – STEINKOGLER, W. – FEISTL, T. – CHRISTEN, M. – BARTELT, P. 2014: Modelling small and frequent avalanches. In International Snow Science Workshop 2014. A merging of Theory and Practice. September 29 – October 3, 2014. Banff, Alberta, Canada. Proceedings. ISSW. Banff, ISSW. s. 649–656.
- FEISTL, T. – BEBI, P. – TEICH, M. – BÜHLER, Y. – CHRISTEN, M. – THURO, K. – BARTELT, P. 2014: Observations and modeling of the braking effect of forests on small and medium avalanches. In J. Glaciol. 60, 219. s. 124–138.
- HZS SLP, 2009: Ročenka 2008/09. Horská záchranná služba Stredisko lavinovej prevencie. 77 s.
- KŇAZOVICKÝ, L., 1967: Lavíny. Bratislava. Vydavateľstvo SAV. 264 s.
- MARGRETH, S., 2004: Die Wirkung des Waldes bei Lawinen. In Forum für Wissen 2004. internetový zdroj: <http://www.wsl.ch/dienstleistungen/publikationen/pdf/6203.pdf> [02-04-2015]
- MAZÚR, E. – LUKNIŠ, M. 1986: Geomorfologické členenie SSR a ČSSR. Časť Slovensko. Slovenská kartografia, Bratislava
- MIDRIAK, R., 1977: Protilavínová ochrana lesa. Bratislava. Príroda. 218 s.
- SHMÚ 2015: KMIS. (poskytla Helena Hlavatá v elektronickej podobe) 2015
- SOVILLA, B. – KERN, M. – SCHAEER, M. 2010: Slow drag in wet-snow avalanche flow. In Journal of Glaciology 56, s. 587–592.
- STEINKOGLER, W. – SOVILLA, B. – LEHNING, M., 2014: Influence of snow-cover properties on avalanche dynamics. In Cold Reg. Sci. Technol. 97. s. 121–131.
- TANAP, 2015: Vznik Tatier a ich geologická stavba. internetový zdroj: <http://www.lesytanap.sk/01-priroda-tanapu/> [02-04-2015]
- TIROL. LANDESREGIERUNG, 2009: Ausbildungshandbuch der Tiroler Lawinenkommissionen. Innsbruck. Amt der Tiroler Landesregierung. 290 s.
- TUZVO, 2014: Historická ortofotomapa. internetový zdroj: <http://mapy.tuzvo.sk/HOFM/> [02-04-2015]
-

Adresa autora:

Ing. Martin Bartík
Katedra prírodného prostredia
Lesnícka fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
Slovenská republika
e.mail: bartikmartin@gmail.com

Rekonštrukcia rôznych typov lavín na území Tatier

Abstrakt

Cieľom práce je overenie presnosti najrozšírenejšieho modelu pre simuláciu lavín, RAMMS-u v podmienkach Slovenska, pričom sme používali jeho najnovšiu vývojovú verziu. Konkrétne sme sa zamerali na rekonštrukciu lavín počas najlavinóznejšej periódy posledného decénia, a to počas mesiacov marec a apríl roku 2009, kedy sme boli svedkami pádu doteraz najväčšej zaznamenatej lavíny na území Slovenska v Žiarskej doline. Model sme testovali na 26 zdokumentovaných lavínach z územia Tatier, pričom väčšina z nich bola lokalizovaná v Západných Tatrách. Dataset bol zložený z rôznych typov lavín (prachové, mokré, základové), čo nám umožnilo komplexný test modelu. Ďalej sme sa zamerali na nové moduly slúžiace pre simuláciu poškodenia a vplyvu lesa na dynamiku a dosah lavín. K tomuto boli použité ortofoto snímky z roku 2010, ako aj voľne dostupné snímky z Google Earth. Výsledky potvrdzujú výraznú mieru zhody zo skutočným stavom a ponúkajú nám parametre pre simulovanie rôznych scenárov pri lavinovej predikcii.

Kľúčové slová: lavíny, RAMMS, poškodenie lesa, Tatry

VPLYV ZASNEŽOVANIA NA VEGETÁCIU PODHORSKÉHO LYŽIARSKÉHO STREDISKA

Míchal MIKLOŠ – Lenka SLOBODNÍKOVÁ –
– Darina BABÁLOVÁ – Jaroslav ŠKVARENINA –
– Karol UJHÁZY

Mikloš, M. – Slobodníková, L. – Babálová, D. – Škvarenina, J. – Ujházy, K.: Effect of snow-making on vegetation of submontane ski area. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 57, Suppl. 1, 2015, 47–61.

Artificial snow cover that remains on the ski slope of Košútka ski centre four weeks longer, after disappearing of natural snow is obviously artificial. In comparison with natural snow, following characteristics were different: i.) 1.8 times higher density, ii.) higher snow depth, iii.) irregular distribution on the ski slope as a result of the distance from snow lances. The main reason for its prolonged melting is higher density and depth of the snow cover on the ski slope (average density of artificial snow, measured in the end of the winter season 2012, was 0,612 g.cm⁻³). Moreover, after disappearing of natural snow had been depth of artificial snow on the ski slope still between 0–160 cm. The maximums were in the close proximity of the snow lances while snow depth was linearly decreasing to the edge of ski run from here. Plant communities, which were situated on the least disturbed part of slope were classified to the *Violion caninae* alliance. Statistical analyses confirmed significant effects of the artificial snow on the vegetation. There was found lower average species richness, species pool and herb-layer cover of plant communities. On the other hand, significantly higher evenness and percentage of bare soil under the artificial snow cover compared to the natural situation was observed. However, general validity of the current findings from the Košútka ski resort (serving as a pilot locality in the submontane zone), has to be proved by a series of similar studies in another ski resorts representing broader geographical range.

Key words: artificial snow cover, man-made snow, ski centre, species richness, *Violion caninae*

1. ÚVOD

Zimný turizmus je dôležitým ekonomickým sektorom horských regiónov sveta (ABEGG et al. 1997; ELSASSER & MESSERLI 2001) no výstavba, prevádzka a údržba lyžiarskych areálov negatívne vplýva na životné prostredie (RIXEN et al. 2003). Problémom sa preto začalo zaoberať viacero odborných štúdií (URBANSKA 1997; TITUS 1999). K najväčším negatívam patrí ohrozenie pôdných a vodných zdrojov, kvalita ovzdušia a znižovanie kvality krajinných štruktúr. S výstavbou lyžiarskych tratí je spojené najmä odlesňovanie, vyrovnávanie reliéfu a obnažovanie pôdy v podhorských a horských oblastiach (ROUX-FOUILLET et al. 2011). Takéto zásahy môžu viesť k destabilizácii pôdy, k zmenám v režime odtoku vôd a následne k narušeniu zasiahnutých ekosystémov (RISTIĆ et al. 2012).

Zimný turizmus však závisí od dobrých snehových podmienok a je veľmi citlivý na nedostatok snehu (ELSASSER et BÜRKI 2002). Od polovice deväťdesiatych rokov 19. st. sneží na severnej pologuli značne menej a to najmä v horských oblastiach. Výskumy zaoberajúce sa vývojom klímy ukazujú, že počet zím s nedostatočnými snehovými podmienkami bude rásť (ELSASSER et BÜRKI 2002). Klimatické zmeny sa pritom budú prejavovať čoraz výraznejšie a to najmä neskoršie nastupujúcim a skôr končiacim obdobím so snehovou pokrývkou a zvýšenou nadmorskou výškou snežnej čiary (IPCC 2001; WIPF et al. 2005). V správe OECD na tému Klimatické zmeny v Európskych Alpách (AGRAWALA 2007), ktorá bola uverejnená počas nadmerne teplej zimy 2006–2007 s teplotou vyššou o 3,2 °C oproti priemeru sa predpokladá, že vplyvom globálneho oteplenia bude snežná čiara ustupovať o 150 výškových metrov s oteplením o 1 °C (STEIGER 2007). Minimálna nadmorská výška s dostatkom snehu pre zimné športy tak bude v Alpách rásť zo súčasných 1 200 m na 1 500 m n. m., v priebehu nasledujúcich 30 rokov (ABEGG et al. 1997; BÜRKI 1998). Preto sa tiež očakáva, že Európske Alpy stratia istotu dostatku snehu a to najmä v nižšie položených strediskách, pričom sa lyžiarsky turizmus presunie do vyšších polôh nad 1 800–2 000 m n. m. (ABEGG et al. 2007). Pre oblasť horských lesov Západných Tatier sa na základe modelových scenárov zmien klímy do roku 2075 predpokladá skrátenie trvania snehovej pokrývky o mesiac a viac (HOLKO et KOSTRA, in ŠKVARENINA et al. 2007). Lyžiarsky turizmu bol preto vyhlásený za najzraniteľnejší voči klimatickým zmenám (SCOTT et al. 2006). Za hlavnú stratégiu na zníženie závislosti od prírodného snehu sa stal systém technického zasnežovania, ktorý ako prvý použili Rakúšania v Alpách na začiatku 70-tych rokov (DOERING et HAMBERGER 1996). Na Slovensku sa začalo so zasnežovaním na Štrbskom plese v roku 1970, pričom sa produkcia technického snehu v súčasnosti využíva takmer v každom lyžiarskom stredisku (ŠVAJDA 2006).

Umelá snehová pokrývka má v porovnaní s prírodnou odlišné najmä fyzikálne, ale i chemické vlastnosti, keďže voda používaná na zasnežovanie je zvyčajne odoberaná z jazier, riek alebo studní, teda obsahuje minerály a iné chemické látky, ktoré v atmosferických zrážkach nenájdeme (STÖCKLI et RIXEN 2000; KAMMER 2002; DE JONG 2009). Tie sa počas štyroch týždňov jarného topenia uvoľňujú a predstavujú tak nadmerný prísun živín pre vegetáciu svahu. Hlavným rozdielom v štruktúre snehu je fakt, že snehové zrnká technického snehu sú oproti prírodným snehovým vločkám guľaté a preto je pokrývka z nich hutnejšia. Navyše úprava snehovej pokrývky snežným pásovým vozidlom ešte zvyšuje hustotu snehu (STÖCKLI et RIXEN 2000). STÖCKLI et RIXEN (2000) preukázali, že hustota snehu je na zasnežovaných zjazdovkách v priemere 0,524 g.cm⁻³ zatiaľ čo na nezasnežovaných len 0,353 g.cm⁻³. S hustotou snehu rastie i tepelná vodivosť, ktorá je jej logaritmickou funkciou (STURM et al. 1997). Počas chladných zím tak pôda pod nízkou a zhutnenou pokrývkou zjazdoviek premŕza výrazne a dlhodobo (NEWSELY 1997; RIXEN 2002). Mráz tak môže priamo poškodiť bunky rastlín kryštalizáciou vody v pletivách (STÖCKLI et RIXEN 2000). Zasnežovaním však výška snehovej pokrývky výrazne stúpa. Obvykle tak zasnežovaním rastie hustota snehu spolu s výškou snehovej pokrývky (RIXEN et al. 2003). Masa snehu, ktorá zostáva na zasnežovaných zjazdovkách v jarnom období potrebuje dlhší čas na roztopenie, v priemere 17 dní (RIXEN 2002). Z tohto dôvodu je nástup vegetačnej sezóny rastlín oneskorený o pár týždňov (RIXEN et al. 2003; STÖCKLI et

RIXEN 2000). Na lyžiarskych svahoch v Savogni – Switzerland (KAMMER et HEGG 1990) bolo zistené, že časové rozpätie po roztopení umelej snehovej pokrývky a prvým kosením týchto svahov bolo príliš krátke na dozretie semien lúčnych rastlín. Zvýšené množstvo snehu tak ovplyvnilo vývin rastlín a tým i druhové zloženie fytoocenóz. Nepriaznivé zimné podmienky a dlhšie trvajúca snehová pokrývka lyžiarskych svahov spôsobujú spomalený rozvoj vegetácie (BAIDERIN 1981). Skoré jarné druhy rastlín sa tak stávajú menej konkurencie schopné v porovnaní s rastlinnými druhmi, ktoré nastupujú neskôr a tým pádom sú vytláčané. Takáto tendencia sa overila na Švajčiarskych zjazdovkách kde bola pokrývnosť a početnosť skôr nastupujúcich druhov nižšia priamo na zjazdovke ako mimo nej (WIPF et al. 2005). Zistená bola i dominancia odlišných ekologických skupín druhov na zasnežovaných a na nezasnežovaných svahoch (WIPF et al. 2002). PRÖBSTL (2006) rovnako tvrdí, že sa zasnežovaním mení druhové zloženie a na trvalo i rastlinné spoločenstvá. Zmenu v druhovej skladbe fytoocenóz a zníženú produkciu biomasy potvrdili autori HOLAUS et PARTI (1994) a KAMMER et HEGG (1989).

Z výsledkov viacerých prác je zrejmé, že umelá snehová pokrývka má odlišné fyzikálne a chemické vlastnosti. Podľa výskumov, ktoré sa uskutočnili vo vyššie položených alpských strediskách, táto odlišnosť spôsobuje zmenu v druhovej diverzite, v druhovom zložení, pokrývnosti vegetácie a vo funkčných skupinách druhov fytoocenóz (trávy, byliny, kríčky, bôbovité, machy...). Vplyv umelej snehovej pokrývky na vegetáciu alpských lyžiarskych svahov bol preto potvrdený. Aké vlastnosti a vplyv na vegetáciu má ale umelá snehová pokrývka v podmienkach slovenských podhorských stredísk? Hypotézy tejto práce sú nasledovné: i.) umelá snehová pokrývka má vyššiu priemernú hustotu a výšku ako prírodná snehová pokrývka, ii.) pod umelou snehovou pokrývkou dochádza k zmene v druhovom zložení, v počte druhov a v pokrývnosti vegetácie, iii.) druhová diverzita spolu s vyrovnanosťou v priemere klesá pod umelou snehovou pokrývkou.

2 MATERIÁL A METÓDY

2.1 Výskumná lokalita

Výskum prebiehal v stredisku Košútka (500–720 m n. m.), v strednej časti lyžiarskeho svahu (obr. 1) so západnou expozíciou a sklonom 12°–17°. Celková dĺžka lyžiarskeho svahu je 950 m s prevýšením 220 m. Stredisko je od svojho vzniku v roku 2007 zasnežované vodou z potoka Slanec, ktorý preteká úpäťm lyžiarskeho svahu. Lokalita (48,559 N, 19,535 E) sa nachádza v intraviláne mesta Hriňová, na západnom okraji Veporských vrchov na strednom Slovensku. Územie je budované biotitickými tonalitmi, hlbinnými magmatitmi až granodioritmi, miestami porfirickými, hercínskymi na ktorých sa nachádzajú kambizeme na horninách kryštalinika (BIELY et al. 2002). Podľa LAPINA et al. (2002) územie patrí do mierne teplej klimatickej oblasti, okrsku mierne teplého, s chladnou až studenou zimou. Priemerný počet dní so snehovou pokrývkou bol za roky 1961–1990 80–100 dní (FAŠKO et al. 2002). V zmysle fyto geograficko-vegetačného členenia, patrí skúmaná lokalita do bukovej zóny kryštálicko-druho hornej oblasti, okresu Veporských vrchov (PLESNÍK 2002). Potenciálnu prirodzenú vegetáciu by z väčšej časti tvorili bukové

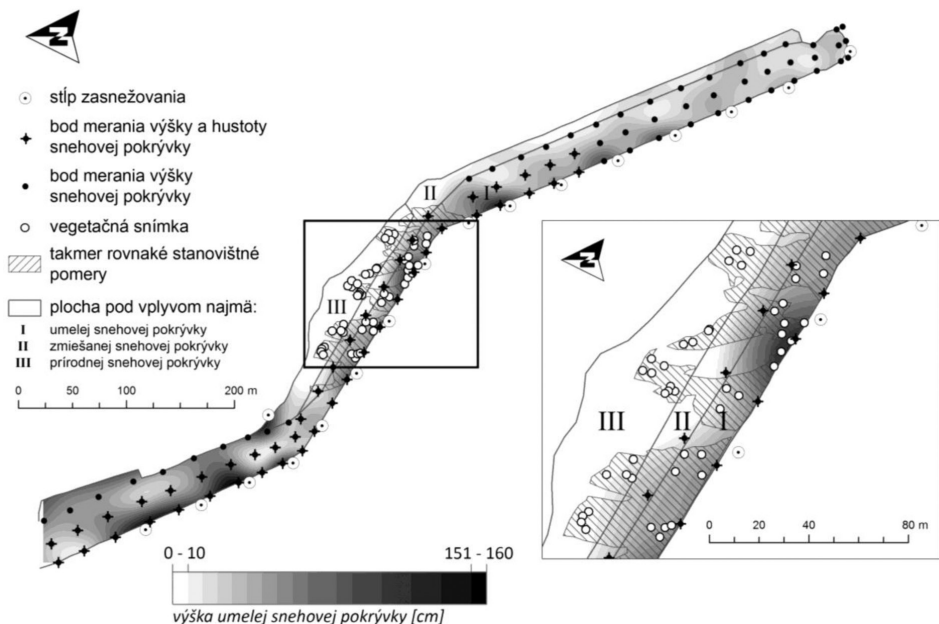
a jedľovo-bukové lesy, prípadne podhorské bukové lesy (MAGLOCKÝ 2002). Reálna vegetácia je zložená najmä z druhov zväzu *Violion caninae* ale i ruderalných, pionierskych, či iných druhov (tab. 2). Lúčne spoločenstvá pod prírodným a umelým snehom sú obhospodarované rovnakým manažmentom, pričom sú kosené jedenkrát do roka, sú priložitostne hnojené maštalným hnojom a spásané malým počtom hovädzieho dobytku.

2.2 Merania snehovej pokrývky

Výšku a hustotu umelej snehovej pokrývky sme merali po roztopení prírodného snehu v okolí zjazdovky na konci zimnej sezóny v roku 2012. Merania výšky snehovej pokrývky sme uskutočnili na deväťdesiatich šiestich bodoch siete meraní, ktorá pokrývala celý zasnežovaný lyžiarsky svah (obr. 1). Tieto body sme zamerali GPS prijímačom Leica GS05 (GS10) s presnosťou na jeden meter. Následne sme zameraným bodom v programe ArcGis 9.3 priradili nameranú výšku snehovej pokrývky. Z takejto vrstvy sme následne vytvorili interpolačnou technikou „Spline“ model rozloženia snehu na svahu. Metóda tvorby modelu snehovej pokrývky je bližšie opísaná v práci HRÍBIK et al. (2012). Kombináciou vzniknutého modelu a terénneho mapovania s GPS počas zimnej sezóny sme na lyžiarskom svahu vyčlenili tri zóny pod vplyvom najmä: i.) umelej, ii. prírodnej a iii.) zmiešanej snehovej pokrývky (obr. 1).

Samotnú výšku snehovej pokrývky sme merali lavínovou sondou a hmotnosť snehu závesnými váhami WMD 03, pričom váženú vzorku sme odoberali do snehomerného valca VS-43. Z nameraných hodnôt sme následne vypočítali hustotu snehu. Technika merania hustoty prírodného snehu je detailnejšie opísaná v práci HRÍBIK (2007). V našom prípade bol postup rovnaký až na to, že hustota umelej snehovej pokrývky bola oproti prírodnej vyššia a v jej profile sa nachádzali vrstvy ľadu. Za účelom merania hmotnosti snehu sme preto museli v štyridsiatich ôsmich bodoch siete meraní (obr. 1), kopat' sondu až na pôdny povrch.

V stredisku Košútka sa na produkciu umelého snehu používajú stĺpy zasnežovania, ktoré majú stálu polohu od založenia strediska v roku 2007. Z tohto dôvodu je tak pôsobenie umelej snehovej pokrývky konštantné a dlhodobé. Rozloženie umelého snehu na svahu je tak ovplyvnené najmä snežným pásovým vozidlom a rôznou intenzitou produkcie jednotlivých stĺpov zasnežovania. Vzťah medzi výškou umelej snehovej pokrývky a vzdialenosťou voči stĺpom zasnežovania sme hodnotili po roztopení prírodného snehu v okolí vo vzdialenosti 5, 10, 15, 20, 25 a 30 metrov. Výšku snehovej pokrývky priamo pri stĺpoch sme nebrali do úvahy, keďže bol okolo nich zrejмый lievikovitý efekt topenia snehu. Konečnú vzdialenosť tridsiatich metrov sme zvolili z dôvodu dostrely dela do vzdialenosti dvadsiatich piatich až tridsiatich metrov. Samotné línie merania výšky snehovej pokrývky pritom prechádzali horizontálnymi osami zasnežovacích stĺpov. Touto metódou sme tak dostali šestnásť priemerných výšok vo vzdialenosti 5, 10... 30 metrov, ktoré sme následne analyzovali jednoduchou lineárnou regresiou.



Obr. 1 Rozmiestenie výskumných plôch a model rozloženia umelej snehovej pokrývky na lyžiarskom svahu, hneď po roztopení prírodného snehu v okolí (13.03.2012). Úpätie svahu sa nachádza v ľavo.

Fig. 1 Sampling design and model of the artificial snow cover distribution on the ski slope, immediately after a natural snow disappearance in the area (13.03.2012). Foot of the slope is in the left.

2.3 Terénny výskum vegetácie

Fytocenologické zápisy sme robili od 6. do 10. augusta 2012. Na 48 plochách o veľkosti 1 m² sme zaznamenávali informácie o štruktúre a druhovom zložení vegetácie a odhadovali percento obnaženej pôdy. Pokryvnosť a početnosť druhov cievnatých rastlín sme odhadovali podľa 11-člennej stupnice abundancie a dominancie (ZLATNÍK 1953). Umiestnenie plôch zápisov podliehalo stratifikovanému náhodnému výberu podľa nasledovných kritérií: i.) 24 snímkov pod umelou a 24 pod prírodnou snehovou pokrývkou, ii.) približne rovnaké stanovištné podmienky (expozícia, sklon, pôdne vlastnosti). Plocha s upravovanou prírodnou snehovou pokrývkou sa nachádzala jedine v strednej časti svahu, preto sme plochy vyberali len v tejto časti, a to v programe ArcGis 9.3 (obr. 1). Ich polohu sme v teréne lokalizovali pomocou GPS s presnosťou na 1 m. Ak sme v praxi zistili, že poloha nezodpovedá štandardným prírodným podmienkam (najmä v prípade drenážnych rýh), premiestnili sme plochu do najbližšej vhodnej polohy. Fytocenologické zápisy sme previedli do digitálnej podoby pomocou databázového programu Turboveg for Windows 2.102 (HENNEKENS et SCHAMINÉE 2001), ktorý exportuje zápisy do formá-

tu kompatibilného s ďalšími analytickými softvérmi. Program Juice (TICHÝ 2002) sme použili na usporiadanie fytoocenologických zápisov v tabuľkovej forme a vytvorenie synoptickej tabuľky. V ňom sme vypočítali charakteristiky diverzity, štruktúry a druhového zloženia vegetácie: i) percentuálnu pokryvnosť v zápisoch; ii.) Shannon-Wienerov index druhovej diverzity a index vyrovnanosti Pielou (1975) $J = H' / \ln S$; iii.) počet druhov zväzu *Violion caninae*; iii.) počet diagnostických druhov zväzu *Violion caninae*. Ako druhy zväzu *Violion caninae* sme označili skupinu druhov diagnostických, konštantných a dominantných v zmysle práce UJHÁZY et KLIMENT (2007). Názvy rastlinných taxónov sú v práci zjednotené a uvádzané podľa práce MARHOLD et HINDÁK (1998).

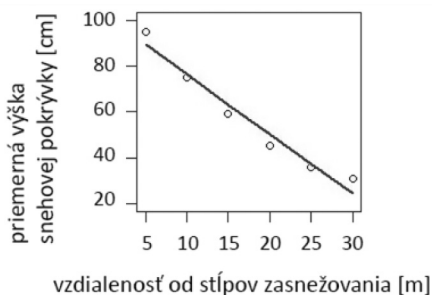
2.4 Štatistické analýzy

Za účelom štatistického vyhodnotenia a grafického zobrazenia údajov sme použili program STATGRAPHICS Centurion XVI, program R verziu 2.15.1. (R CORE TEAM 2013) a tabuľkový kalkulátor MS Excel. Analyzované údaje boli testované na 5% hladine významnosti. Hodnoty charakteristík dvoch nezávislých skupín zápisov (prírodná vs. umelá snehová pokrývka) sme testovali na normalitu rozdelenia (podľa zhodnotenia súhrnnej štatistiky o štandardizovanej šikmosti a špicatosti) a homogenitu rozptylu (F-test rozptylov) v programe STATGRAPHICS. Keďže vo väčšine prípadov nebola splnená podmienka homogenity rozptylu zvolili sme porovnávanie charakteristík dvoch nezávislých skupín zápisov neparametrickým Mann-Whitney W-testom, ktorý sa osvedčil v podobnom výskume (KAMMER 2002). Na grafické zobrazenie rozdielov porovnávaných charakteristík spoločností sme použili priemerné hodnoty (obr. 4). Vzťah medzi výškou umelej snehovej pokrývky a vzdialenosťou voči stĺpom zasnežovania sme overili jednoduchou lineárnou regresiou na priemerných hodnotách všetkých šestnástich stĺpov zasnežovania (obr. 2).

3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

3.1 Vlastnosti umelej snehovej pokrývky

Na konci zimnej sezóny roku 2012, po roztopení prírodného snehu v okolí, zostalo na lyžiarskom svahu strediska Košútka ešte veľké množstvo nerovnomerne rozmiestnenej umelej snehovej pokrývky, s výškou 0–160 cm (obr. 1). Podľa majiteľa lyžiarskeho strediska sa takýto jav vyskytuje každoročne. V roku 2012 sa tak umelá snehová pokrývka topila až o štyri týždne dlhšie ako prírodná. Rovnako STÖCKLI et RIXEN (2000) zaznamenali oneskorené topenie snehu na zasnežovaných alpských svahoch o štyri týždne, no vo viacsézónnom priemere o 17 dní. Na distribúciu umelého snehu má vplyv najmä pozícia voči stĺpom zasnežovania (obr. 2). Z výsledkov vyplýva, že až 96,1% variability v údajoch o výške umelej snehovej pokrývky je možné vysvetliť vzdialenosťou voči stĺpom zasnežovania, pričom s rastúcou vzdialenosťou klesá výška umelej snehovej pokrývky lineárne. Táto vzdialenosť bola pritom meraná v smere zasnežovania.

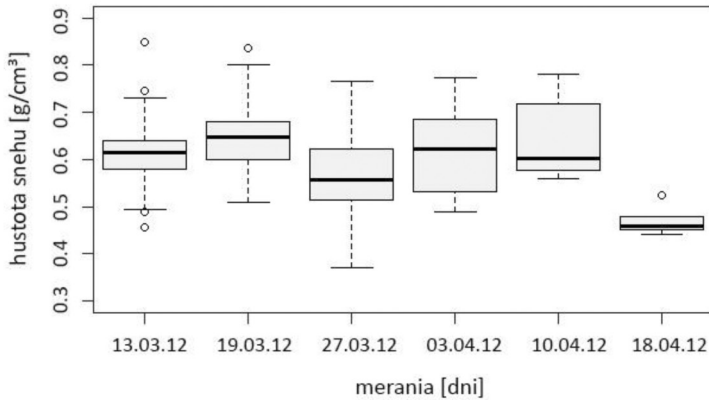


Obr. 2 Lineárna závislosť medzi priemernou výškou umelej snehovej pokrývky a vzdialenosťou voči šestnástim stĺpom zasnežovania, $y = 102,2 - 2,59x$ ($R^2 = 0,961$; stredná chyba odhadu: 5,44 na štyroch stupňoch voľnosti).

Fig. 2 Linear relation between average artificial snow cover and distance towards the sixteen snow lances, $y = 102.2 - 2.59x$ ($R^2 = 0.961$; residual standard error: 5.44 on 4 degrees of freedom).

Priemerná hodnota hustoty umelej snehovej pokrývky mala za nami merané obdobie hodnotu $0,612 \pm 0,004 \text{ g.cm}^{-3}$ ($\bar{y} \pm \sigma$). Rozsah hodnôt hustoty varíroval od $0,371 \text{ g.cm}^{-3}$ po $0,850 \text{ g.cm}^{-3}$ (obr. 3). RIXEN et al. (2004) pritom udávajú za zimnú sezónu priemernú hodnotu $0,523 \text{ g.cm}^{-3}$ a STÖCKLI et RIXEN (2000) hodnotu $0,525 \text{ g.cm}^{-3}$. Ak porovnáme tieto hodnoty s hustotou nenarušenej prírodnej snehovej pokrývky marcových termínov ($0,350 \text{ g.cm}^{-3}$) (RIXEN et al. 2004) je hustota umelej snehovej pokrývky 1,8-krát vyššia. V praxi to znamená, že z rovnakého objemu snehu sa pri umelej snehovej pokrývke roztopí o 1,8-krát viac vody. Po absencii prírodného snehu v okolí sa tak umelá snehová pokrývka stáva počas suchej jari často jediným zdrojom vlhkosti. Počas nami meranej periódy môžeme umelý sneh na svahu zaradiť podľa klasifikácie SINGH et SINGH (2001) do kategórie firm.

V porovnaní s nenarušenou prírodnou snehovou pokrývkou má snehová pokrývka zasnežovaných lyžiarskych svahov odlišné nasledovné vlastnosti: i.) nerovnomerné rozmiestnenie na svahu, ii.) 1,8-krát vyššiu hustotu a iii.) vyššiu výšku. Dôvodom je technický sneh, ktorý je produkovaný najmä na začiatku zimnej sezóny.



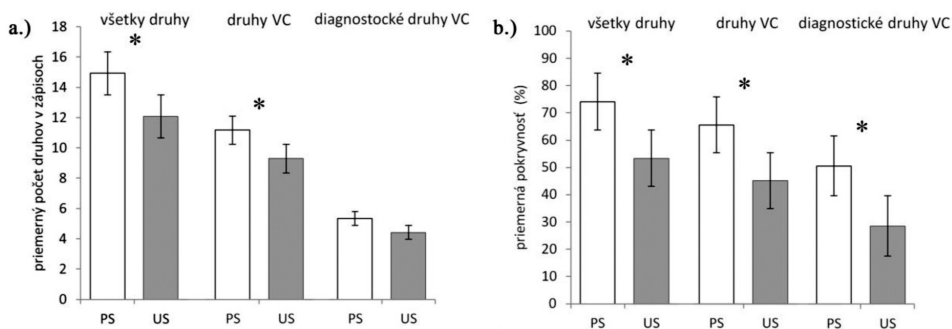
Obr. 3 Porovnanie variability údajov o hustote umelej snehovej pokrývky ($\sigma = 0,084 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) v období po roztopení prírodného snehu. Zobrazené sú (zhora): najväčšie odľahlé hodnoty, najväčšia príľahlá hodnota, horný kvartil, medián, dolný kvartil, najmenšia príľahlá hodnota, najnižšie odľahlé hodnoty.

Fig. 3 Graphical projection of the variability in artificial snow density data ($\sigma = 0,084 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) in the period after the disappearing of natural snow. Shown are (from top): the biggest outliers, non-outlier maximum, upper quartile, median, lower quartile, non-outlier maximum, smallest outliers.

3.2 Vplyv umelej snehovej pokrývky na vegetáciu

Podľa druhového zloženia sme sme fytoocenózy lyžiarskeho svahu zaradili do triedy *Nardetea strictae* GODAY et CARBONELL 1961, zväzu *Violion caninae* SCHWICKERATH 1944 a asociácie *Campanulo rotundifoliae-Dianthetum deltoidis* BALÁTOVÁ-TULÁČKOVÁ 1980 (v zmysle práce KLIMENT, UJHÁZY 2014). Na základe Mann-Whitneyho testu, dochádza pod umelou snehovou pokrývkou v priemere k poklesu počtu druhov a k ústupu diferenciálnych druhov zväzu *Violion caninae* (obr. 4a).

Pod umelou snehovou pokrývkou štatisticky významne klesá priemerná pokryvnosť bylinnej etáže ako aj druhov zväzu *Violion caninae* (obr. 4b.). Na nami skúmanej lokalite pod umelou snehovou pokrývkou rastie percento obnaženej pôdy ($29,0 \pm 12,9073 > 0,7 \pm 0,866987$, $p < 0,5$), zvyšuje sa frekvencia výskytu druhov presychavých pôd: *Calamagrostis epigejos*, *Gnaphalium sylvaticum*, *Veronica officinalis* (tab. 2). Súčasne sa zvyšuje priemerná pokryvnosť a frekvencia výskytu machov a semenáčikov pionierskych drevín: *Betula pendula*, *Populus tremula*, *Salix* sp. (tab. 2). Zaznamenali sme pokles celkového aj priemerného počtu druhov (tab. 1) ale vďaka zvýšenej vyrovnanosti sa nevýznamne zvýšil index druhovej diverzity. Nárast vyrovnanosti je možné vysvetliť najmä výrazným poklesom priemernej pokryvnosti hlavnej dominanty – druhu *Agrostis capillaris* na umelo zasnežovaných plochách (tab. 2).



Obr. 4 Priemerný počet (a.) a priemerná pokrývnosť (b.) i.) všetkých druhov, ii.) druhov zväzu *Violion caninae* („VC“) a iii.) diagnostických druhov zväzu *Violion caninae* v zázpisoch pod prírodným (PS) a umelým snehom (US). Hviezdička indikuje štatisticky významný rozdiel ($p \leq 0,05$), zobrazené sú priemerné hodnoty ± 1 smerodajná odchýlka (Mann-Whitney test).

Fig. 4 The average number (a.) and average cover (b.) of: i.) all species of vegetation records, ii.) species of *Violion caninae* alliance („VC“) and iii.) diagnostic species of *Violion caninae* in the relevés under the artificial (US) and natural (PS) snow cover. Asterisk indicates significant differences ($p \leq 0,05$), mean values ± 1 standard deviation (Mann-Whitney test).

Tab. 1 Porovnanie celkového počtu druhov, druhovej bohatosti, indexov diverzity a vyrovnanosti spoločenstiev pod umelou (US) a prírodnou (PS) snehovou pokrývkou. Hviezdička indikuje štatisticky významný rozdiel ($p \leq 0,05$), $n = 24$ (Mann-Whitney test; rozdiel v gama diverzite nemohol byť testovaný).

Table 1 Comparison of species pool, species richness, species diversity and evenness of the communities under the artificial (US) and natural (PS) snow cover. Asterisk indicates statistically significant differences ($p \leq 0.05$), $n = 24$ (Mann-Whitney test; the difference in species pool could not be tested).

	celkový počet druhov	priemerná druhová bohatosť	vyrovnanosť (Pielou 1975)	Shannon-Wienerov index
US	34	12.08 \pm 2,75	0,82 \pm 0,086	2,17 \pm 0,179
vs.	<	< *	> *	>
PS	39	14.92 \pm 2,43	0,73 \pm 0,074	2,02 \pm 0,275

Pokles počtu druhov a ich pokrývnosti na plochách pod umelou snehovou pokrývkou zaznamenali aj KAMMER (2002) a POHL et al. (2012), pričom KAMMER (2002) uvádza aj štatisticky významný pokles počtu a pokrývnosti druhov spoločenstiev, ktoré boli klasifikované pod prírodnou snehovou pokrývkou. Vo všeobecnosti existuje značné množstvo literatúry o preukázateľnom vplyve umelej snehovej pokrývky a manažmentu lyžiarskych

stredísk na vegetáciu lyžiarskych svahov, pričom ide najmä o pokles biodiverzity a zmeny v druhovom zložení rastlinných spoločenstiev (KELLER et al. 2004, BURT et RICE 2009, ROUX-FOUILLET et al. 2011, RIXEN 2013). Tieto štúdie sa však uskutočnili vo vyšších nadmorských výškach nad 1 000 m n. m. My sme preukázali podobné trendy aj v nižšie položených zasnežovaných svahoch (do 1 000 m n. m.), hoci pokles diverzity vyjadrenej Shannon-Wienerovým indexom sa nepotvrdil vďaka nárastu vyrovnanosti ako aj rozšíreniu nových druhov.

4 ZÁVER

Snehová pokrývka, ktorá zostáva na lyžiarskom svahu strediska Košútka po roztopení prírodného snehu v okolí je zjavne neprirodzená, resp. umelá. Umelá v tom zmysle, že v porovnaní s prírodnou snehovou pokrývkou má odlišné nasledovné vlastnosti: i.) značne vyššiu priemernú hustotu (približne 1,8-krát), ii.) vyššiu výšku, a iii.) je nerovnomerne rozmiestnená na lyžiarskom svahu podľa rozmiestnenia stĺpov zasnežovania. Technický sneh, produkt zasnežovania, do značnej miery zvyšuje výšku, vodnú hodnotu a hustotu snehovej pokrývky, pričom týmto spôsobom predlžuje dobu jej trvania (v našom prípade až o 4 týždne). Priemerná hustota snehu pritom na konci sezóny 2012 dosahovala hodnotu $0,612 \text{ g.cm}^{-3}$ a štruktúra snehu zodpovedala typu snehu zvaný „firn“. Navýšenie snehovej pokrývky v stredisku Košútka dosahovalo 0–160 cm. Vzťah medzi výškou snehovej pokrývky a vzdialenosťou voči stĺpom zasnežovania sa ukázal ako lineárny.

Preukázali sme, že zasnežovanie, ktoré sa prejavuje zmenami množstva a vlastností snehovej pokrývky, signifikantne mení rastlinné spoločenstvá (v prípade strediska Košútka oligotrofných mezofilných porastov zväzu *Violion caninae*). Porovnanie fytoecologických zápisov pod umelou a prírodnou snehovou pokrývkou ukázalo, že vplyvom zasnežovania dochádza k štatisticky významnému poklesu priemerného počtu druhov a pokryvnosti bylinnej etáže a vedie k ústupu druhov zväzu *Violion caninae*, ktoré sú typické pre nenarušené spoločenstvá. Súčasne klesá aj celkový aj priemerný počet druhov. Naopak sa pod umelou snehovou pokrývkou v priemere zvyšuje percento obnaženej pôdy, frekvencia výskytu druhov presychavých pôd (*Calamagrostis epigejos*, *Gnaphalium sylvaticum*, *Veronica officinalis*) a frekvencia výskytu semenáčikov, resp. juvenilných jedincov svetlomilných pionierskych drevín (*Betula pendula*, *Populus tremula*, *Salix* sp.) a rastie vyrovnanosť abundancie a dominancie druhov.

Záver sa vzťahuje k danej lokalite, na ktorej bol realizovaný tento pilotný projekt. Predpokladáme, že podobné procesy prebiehajú aj v ďalších podhorských lyžiarskych strediskách v zodpovedajúcich prírodných podmienkach. Pre zovšeobecnenie zistených zákonitostí vplyvu umelej snehovej pokrývky na vegetáciu však bude potrebné aplikovať podobný výskumný design na viacero lyžiarskych stredísk reprezentujúcich širšiu geografickú oblasť.

Tab. 2 Porovnanie druhového zloženia na 24 plochách pod umelým (US) a 24 plochách pod prírodným snehom (PS) o veľkosti 1 m². V prvých stĺpcoch je uvedená priemerná pokryvnosť v %, v druhých frekvencia v % a v tretích hodnota fidelity (100*phi koeficient) pri druhoch s významne vyššou frekvenciou podľa Fisherovho testu ($p \leq 0,05$). Označenie „+“ diagnostických, „*“ konštantných a „#“ dominantných druhov zväzu Violion caninae.

Table 2 Comparison of species composition in plots of one square-meter size; 24 under artificial (US) and 24 plots under natural snow cover (PS). Average percentage cover is shown in the first columns, percentage frequency in the second, and fidelity value (100*phi coefficient) in the third – shown only when a species frequency is significantly higher according to the Fisher's exact test ($p \leq 0.05$). Indication of the „+“ diagnostic „*“ constant and „#“ dominant species of the Violion caninae alliance.

typ snehovej pokrývky		US		PS	
stále taxóny bez významnej zmeny frekvencie					
<i>Agrostis capillaris</i>	+*#	16,3	92	---	31,7 100 ---
<i>Lotus corniculatus</i>	*#	12,3	88	---	4,8 75 ---
<i>Achillea millefolium</i>	*	3,6	83	---	4,0 83 ---
<i>Plantago lanceolata</i>	*	4,8	75	---	7,2 92 ---
<i>Leontodon hispidus</i>	*#	3,9	83	---	4,7 79 ---
<i>Trifolium repens</i>	*	4,4	79	---	6,2 54 ---
<i>Carex sp.</i>		1,6	62	---	4,5 42 ---
<i>Thymus pulegioides</i>	+*#	1,3	42	---	4,1 54 ---
<i>Tithymalus cyparissias</i>	+	4,2	46	---	10,9 62 ---
taxóny s nárastom frekvencie pod umelým snehom					
<i>Betula pendula</i>		5,0	79	54,2	0,9 25 ---
<i>Nardus stricta</i>	+*#	6,1	79	34,4	3,3 46 ---
<i>Populus tremula</i>		1,0	54	34,4	0,6 21 ---
<i>Hypochaeris radicata</i>		0,3	21	34,1	. . ---
<i>musci</i>		4,1	58	29,4	4,5 29 ---
<i>Viola canina</i>	+*	0,8	54	---	0,6 38 ---
<i>Veronica officinalis</i>	*	0,8	42	---	1,5 29 ---
<i>Omalotheca sylvatica</i>		0,5	42	---	0,5 29 ---
<i>Calamagrostis epigejos</i>		0,7	42	---	2,0 29 ---
<i>Salix sp.</i>		1,3	42	---	1,3 17 ---
taxóny s poklesom frekvencie pod umelým snehom					
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	+*	1,0	33	---	3,0 75 41,8
<i>Rumex acetosella</i>	*	0,0	4	---	1,0 38 41,0
<i>Ranunculus acris</i>	*	0,1	8	---	1,5 62 56,6
<i>Trifolium pratense</i>	*	1,0	46	---	3,6 79 34,4
<i>Euphrasia rostkoviana</i>	+	2,5	29	---	3,1 58 29,4
<i>Pimpinella saxifraga</i>	+*	0,5	33	---	2,0 62 29,2
<i>Achillea nobilis</i>		0,3	12	---	0,8 42 32,8
<i>Leontodon autumnalis</i>	*	0,3	12	---	1,3 38 28,9
<i>Hypericum perforatum</i>		0,6	33	---	1,3 54 ---
<i>Prunella vulgaris</i>	+	0,5	29	---	1,0 38 ---
<i>Alchemilla sp.</i>	*	0,3	12	---	0,6 33 ---
<i>Cerastium holosteoides</i>		0,2	12	---	1,8 33 ---
<i>Plantago media</i>		0,1	8	---	0,6 29 ---
<i>Rosa sp.</i>		.	.	---	1,4 17 ---
<i>Vicia cracca</i>		.	.	---	1,1 12 ---

Tab. 2 Porovnanie druhového zloženia na 24 plochách pod umelým (US) a 24 plochách pod prírodným snehom (PS) o veľkosti 1 m². V prvých stĺpcoch je uvedená priemerná pokrývnosť v %, v druhých frekvencia v % a v tretích hodnota fidelity (100*phi koeficient) pri druhoch s významne vyššou frekvenciou podľa Fisherovho testu ($p \leq 0,05$). Označenie „+“ diagnostických, „*“ konštantných a „#“ dominantných druhov zväzu *Violion caninae* – pokrač.

Table 2 Comparison of species composition in plots of one square-meter size; 24 under artificial (US) and 24 plots under natural snow cover (PS). Average percentage cover is shown in the first columns, percentage frequency in the second, and fidelity value (100*phi coefficient) in the third – shown only when a species frequency is significantly higher according to the Fisher's exact test ($p \leq 0.05$). Indication of the „+“ diagnostic, „*“ constant and „#“ dominant species of the *Violion caninae* alliance – continue.

typ snehovej pokrývky		US		PS	
ostatné ojedinele sa vyskytujúce druhy					
<i>Potentilla erecta</i>	+*#	0.0	4 ---	.	. ---
<i>Pinus sylvestris</i>		0.0	4 ---	.	. ---
<i>Linaria vulgaris</i>		.	. ---	0,2	8 ---
<i>Cirsium arvense</i>		.	. ---	0,1	4 ---
<i>Polygonum aviculare</i>		.	. ---	0,0	4 ---
<i>Scrophularia nodosa</i>		.	. ---	0,0	4 ---
<i>Tanacetum vulgare</i>		.	. ---	0,0	4 ---
<i>Sambucus ebulus</i>		.	. ---	0,1	4 ---

Acknowledgements

This work was accomplished as a part of the projects VEGA No.: 1/0463/14, 1/0589/15, 2/0099/13 of the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic and the Slovak Academy of Science; and the projects of the Slovak Research and Development Agency No.: APVV-0303-11.

References

- ABEGG, B., KOENIG, U., BUERKI, R., ELSASSER, H. 1997: Climate Impact Assessment im Tourismus. *Die Erde*, 128: 105–116.
- ABEGG, B., AGRAWALA, S., CRICK, F., MONTFALCON, A. 2007: Climate change impacts and adaptation in winter tourism. *Climate change in the European Alps*, 22–60.
- AGRAWALA, S. 2007: *Climate Change in the European Alps*. Paris, OECD: 127 s.
- BAIDERIN, V. 1981: Winter recreation and plant development under snow. *Ekologiya*, 5: 3–8.
- BIELY, A., BEZÁK, V., (a kol.) 2002: Geologická stavba. In: *Atlas krajiny Slovenskej republiky*. Bratislava, MŽP SR: 74–77 s.
- BURT, J., W., RICE, K., J. 2009: Not all ski slopes are created equal: Disturbance intensity affects ecosystem properties. *Ecological Applications*, 19: 2242–2253.
- BÜRKI, R. 1998: Klimaaenderung und Skitourismus – Wie wirkt sich eine Klimaaenderung auf die skitouristische Nachfrage aus? *Geographica Helvetica*, 53: 155–161.
- DE JONG, C. 2009: A seasonal solution. *Science and Technology*, 4: 234–235.
- DOERING, A., HAMBERGER, S. 1996: Schneekanonen, Aufrüsten gegen die Natur. *Arbeitskreis Alpen des Bundes Naturschutz in Bayern E.V.*: 15 s.
- ELSASSER, H., BÜRKI, R. 2002: Climate change as a threat to tourism in Alps. *Climate Research*, 20: 253–257.

- ELSASSER, H., MESSERLI, P. 2001: The vulnerability of the snow industry in the Swiss Alps. *Mountain Research and Development*, 21: 335–339.
- FAŠKO, P., HANDŽAK, Š., ŠRAMKOVÁ, N. 2002. Počet dní so snehovou pokrývkou a jej priemerná výška. In: Atlas krajiny Slovenskej republiky. Bratislava, MŽP SR: 95 s.
- HENNEKENS, S., M., SCHAMINÉE, J., H., J. 2001: TURBOVEG, a comprehensive data base management system for vegetation data. *Journal of Vegetation Science*, 12: 589–591.
- HOLAUS, K., PARTL, C. 1994: Beschneigung Von Dauergrünland – Auswirkungen auf Pflanzenbestand, Massenbildung und Bodenstruktur. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, 23: 269–276.
- HRÍBIK, M., MIKLOŠ, M., VIDA, T., ŠKVARENINA, J. 2012: Hydrofyzikálne vlastnosti umelého snehu. XVII. Medzinárodné stretnutie snehárov: 63–71.
- HRÍBIK, M. 2007: Vplyv bukového a smrekového porastu na ukladanie a topenie snehu v rokoch 2003–2007. *Acta Facultatis Forestalis Zvolen*, 49: 97–108.
- IPCC. 2001. *Climate Change 2001*. Cambridge and New York, Cambridge University Press: 881 s.
- KAMMER, P., HEGG, O. 1989: Auswirkungen von Kunstschnee auf subalpine Rasenvegetation. *Verh. Ges. Ökologie Band*, 19: 758–767.
- KAMMER, P., HEGG, O. 1990: Auswirkungen von Kunstschnee auf subalpine Rasenvegetation. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, 19: 758–767.
- KAMMER, P. 2002: Floristic changes in subalpine grasslands after 22 years of artificial snowing. *Natural Conservation*, 10: 109–123.
- KELLER, T., PIELMEIER, C., RIXEN, C., GADIANT, F., GUSTAFSSON, D., STAHLI, M. 2004: Impact of artificial snow and ski-slope grooming on snowpack properties and soil thermal regime in a sub-alpine ski areas. *Annals of Glaciology*, 34: 314–318.
- KLIMENT, J., UJHÁZY K. 2014: *Nardetea strictae*. In: Hegedúšová-Vantarová, K., Škodová, I. eds 2014: Rastlinné spoločenstvá Slovenska 5. Travinno-bylinná vegetácia. Bratislava, VEDA: 385–444.
- LAPIN, M., FAŠKO, P., (a kol.) 2002. Klimatické oblasti. In: Atlas krajiny Slovenskej republiky. Bratislava, MŽP SR: 95 s.
- MAGLOCKÝ, Š. 2002: Potenciálna prirodzená vegetácia. In: Atlas krajiny Slovenskej republiky. Bratislava, MŽP SR: 114–115 s.
- MARHOLD, K., HINDÁK, F. 1998: Zoznam nižších a vyšších rastlín Slovenska. Bratislava, Veda: 687 s.
- MELANIE, P., SCHLOCHTERN, M., RIXEN, CH., WIPF, S., CORNELISSEN, J., H., C. 2014: Management, winter climate and plant–soil feedbacks on ski slopes: a synthesis. *Ecological Research*, 29: 583–592.
- NEWSELY, C. 1997: Auswirkungen der künstlichen Beschneigung von Schipisten auf Aufbau, Struktur und Gasdurchlässigkeit der Schneedecke, sowie auf den Verlauf der Bodentemperatur und das Auftreten von Bodenfrost. PhD thesis, Leopold Franzens Universität Innsbruck.
- POHL, M., GRAF, F., BUTLER, A., RIXEN, CH. 2012: The relationship between plant species richness and soil aggregate stability can depend on disturbance. *Plant and Soil*, 355: 87–102.
- PRÖBSTL, U. 2006: Kunstschnee und Umwelt: Entwicklung und Auswirkungen der technischen Beschneigung. Bern, Haupt: 232 s.
- R CORE TEAM. 2013: R, A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- PLESNÍK, P. 2002. Fytogeograficko-vegetačné členenie. In: Atlas krajiny Slovenskej republiky. Bratislava, MŽP SR: 113 s.
- RISTIĆ, R., KAŠANIN-GRUBIN, M., RADIĆ, B., NIKIĆ, Z., VASILJEVIĆ, N. 2012: Land Degradation at the Stara Planina Ski Resort. *Environmental Management*, 49: 580–592.
- RIXEN, C., HAEBERLI, W., STOECKLI, V. 2004: Ground temperatures under ski pistes with artificial and natural snow. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 36: 419–427.
- RIXEN, C., STOECKLI, V., AMMANN, W. 2003: Does artificial snow production affect soil and vegetation of ski pistes? A review. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 5: 219–230.
- RIXEN, C. 2002: Artificial snow and snow additives on ski pistes: interactions between snow cover, soil and vegetation. PhD thesis, University of Zurich.
- ROUX-FOUILLET, P., WIPF, S., RIXEN, CH. 2011: Long-term impacts of ski piste management on alpine vegetation and soils. *Journal of Applied Ecology*, 48: 906–915.

- SCOTT, D., MCBOYLE, G., MINOGUE, A., MILLS, B. 2006: Climate Change and the Sustainability of Ski-based Tourism in Eastern North America. *Journal of Leisure Research*, 14: 376–98.
- SINGH, P., SINGH, V., P. 2001: *Snow and Glacier Hydrology*. London, Kluwer Academic Publishers: 742 s.
- STEIGER, R. 2007: *Der Klimawandel und seine Auswirkungen auf die Skigebiete im bayerischen Alpenraum*. Bremen, Salzwasser-Verlag: 132 s.
- STURM, M., HOLMGREN, J., KÖNIG, M., MORRIS, K. 1997: The thermal conductivity of seasonal snow. *Journal of Glaciology*, 43: 26–41.
- STATPOINT TECHNOLOGIES INC. 2013: *Statgraphics Centurion XVI software*. Version 16. StatPoint Technologies, Inc, Warrenton, Virginia.
- STÖCKLI, V., RIXEN, CH. 2000: Characteristics of artificial snow and its effect on vegetation. *Conference Proceeding of the International Snow Science Workshop*, 468–471.
- ŠKVARENINA, J., HRÍBIK, M., MINĎÁŠ, J. 2007: Snehové pomery a zásoby vody v snehovej pokrývke v jarnom období. *Les / Slovenské lesokruhy*, 63: 34–35.
- ŠVAJDA, J. 2006: Vplyv lyžovania na prírodné prostredie chránených území. *Lavexinfo*. 3: 8–12.
- TITUS, J. 1999: Ski slope vegetation of Mount Hood, Oregon, USA. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 31: 283–292.
- TICHÝ, L. 2002: JUICE, software for vegetation classification. *Journal of Vegetation Science*, 13: 451–453.
- UJHÁZY, K., KLIMENT, J. 2007: *Nardo strictae-Agrostion tenuis* Sillinger 1933. In: Janišová, M., Hájková, P., (a kol.) 2007: *Travninobylinná vegetácia Slovenska – elektronický expertný systém na identifikáciu syntaxónov*. Bratislava, Botanický ústav SAV: 203–223 s.
- URBANSKA, K., M. 1997: Restoration ecology research above the timberline: colonization of safety islands on a machine-graded alpine ski run. *Biodiversity and Conservation*, 6: 1655–1670.
- WIPE, S., RIXEN, C., FISCHER, M., SCHMID, B., STOECKLI, V. 2005: Effects of ski piste preparation on alpine vegetation. *Journal of Applied Ecology*. 42: 306–316.
- WIPE, S., RIXEN, C., FREPPAZ, M., STOECKLI, V. 2002: Ski piste vegetation under artificial and natural snow: patterns in multivariate analysis. *Interdisciplinary Mountain Research*, 170–179.
- ZLATNÍK, A. 1953: *Fytcenologie lesa*. Praha, Státní pedagogické nakladatelství: 667 s.
-

Adresses of authors:

Ing. Michal Mikloš
Ing Lenka Slobodníková
prof. Ing. Jaroslav Škvarenina, CSc.
Department of Natural Environment
Faculty of Forestry
Technical University in Zvolen
T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovakia
e-mail: xmiklosm@is.tuzvo.sk
xcerenska@is.tuzvo.sk
skvarenina@is.tuzvo.sk

doc. Ing. Karol Ujházy, PhD.
Department of Phytology
Faculty of Forestry
Technical University in Zvolen
T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovakia
e-mail: karol.ujhazy@tuzvo.sk

Ing Darina Babálová
Department of Applied Ecology
Faculty of Ecology and Environmental Sciences
Technical University in Zvolen
T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovakia
e-mail: xbabalova@is.tuzvo.sk

Vplyv zasnežovania na vegetáciu podhorského lyžiarskeho strediska

Abstrakt

Cieľom práce bolo zistiť zmeny výšky a hustoty umelej snehovej pokrývky vplyvom zasnežovania a následne vplyv takejto snehovej pokrývky na vegetáciu zjazdovky v podhorských podmienkach, a to na príklade lyžiarskeho strediska Košútka vo Veporských vrchoch (500–700 m n. m.). Vytvorili sme model rozloženia snehu na lyžiarskom svahu po roztopení prírodného snehu v okolí za účelom vymedzenia sérií plôch pod vplyvom umelej a prírodnej snehovej pokrývky. Porovnávali sme druhovú bohatosť, zloženie, pokryvnosť, diverzitu a vyrovnanosť rastlinných spoločenstiev pod umelou a prírodnou snehovou pokrývkou. Výsledky potvrdili zistenia zahraničných autorov, ktorí tvrdia, že umelá snehová pokrývka, ktorá sa topí v priemere o 4 týždne dlhšie ako prírodná, má značne vyššiu priemernú hustotu i výšku a tiež, že sa pod ňou mení pokryvnosť, druhové zloženie a počet druhov rastlinných spoločenstiev. Pod umelou snehovou pokrývkou strednej časti lyžiarskeho svahu strediska Košútka tak dochádza ku preukázateľným zmenám v charakteristikách rastlinných spoločenstiev.

Kľúčové slová: umelá snehová pokrývka, technický sneh, lyžiarske stredisko, druhová diverzita, *Viola caninae*

HODNOTENIE OCHRANY SADENÍC PRED BURINOU S VYUŽITÍM KROVINOREZOV

Ján K A M E N S K Ý – Jozef S L U G E Ň

Kamenský, J., Slugeň, J.: Evaluations process of protection the seedlings against the weeds by using brushcutters. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 57, Suppl. 1, 2015, 63–73.

The main condition of ensuring high quality of plants is sufficient care in the early stages of its growth. One of the most important activities is trimming grass and weeds on wooded area. One of the most common intervention is manual trimming by using sickles. However this manual activity is really time-consuming and physically demanding, so workers started to use modern motor brushcutter. The main advantage of using the brushcutters is faster workflow and stronger power and performance compared to the manual weeding. On the other hand we have to take into account also some of the disadvantages of this method, such as the weight of the brushcutter which affects the ergonomics of work, damage of seedlings by the cutting knife and also the damage of the mere brushcutters caused by contact with unsuitable terrain. The main aim was to evaluate the consumption of time for trimming, fuel consumption and level of damage of the plants caused by a chopper (ø 35 cm). All of the above indicators were evaluated on 18 research plots divided into three categories according to slope gradient and weed infestation. The findings shows higher consumption of time and fuel in densely weeded areas in compare to areas with mild weeds. Effect of slope gradient on time and fuel consumption has not been established.

The observed results also indicate that the most suitable is combination of using cutters and also hand weeding in order to minimize damages to young stands, but also to larger seedlings.

Key words: brushcutter, trimmer knife, weed infestation areas, damage of seedlings, weeding

1 ÚVOD

V súčasnosti medzi výrazný problém lesného hospodárstva patrí vysoký podiel obnovných plôch vzniknutých najmä z dôvodu rozsiahlych kalamít. Do jednotlivých obnovných plôch sa vkladajú nemalé investičné prostriedky, preto je potreba efektívneho rozvrhnutia výchovných zásahov, medzi ktoré patrí aj vyžívanie. Často zaužívaným spôsobom je ručné vyžívanie pomocou kosákov, ktoré je prácne a namáhavé. Vykonáva sa často v nepriaznivých terénnych a klimatických podmienkach na úkor nízkej finančnej odmeny. Modernizáciou výroby sa zavádza použitie krovinorezov ako vhodného nástroja na vykonanie tejto výchovnej činnosti. Použitím krovinorezov sa zvyšuje efektívnosť práce, skrátenie času na vykonanie zásahu, čo zabezpečí rýchlejšiu adaptáciu a odrastanie sadeníc. Na druhej strane práca s krovinorezom si vyžaduje pomerne vysokú fyzickú námahu hlavne z dôvodu vyššej hmotnosti krovinorezu, ktorú musí telo robotníka uniesť. Táto hmotnosť krovinorezu sa následne znásobuje ťažkým a strmým terénom. Spôsobuje rýchlejší úbytok energie, čo môže mať za následok neohľadupnosť voči kvalite vykona-

nej práce. Použitím krovínorezov dochádza ku škodám na kultúrach. V porovnaní s bežným vyžíňaním pomocou kosákov, kde sa pracovník postupne dopracuje až ku sadenicí, v prípade krovínorezov môže byť tento moment styku so sadenicou prehliadnuteľný. Medzi správnu voľbu môže patriť súčasné využívanie krovínorezov na hrubé očistenie plochy s dočistením okolia sadenicí pomocou kosákov. Cieľom výskumu je zistiť vplyv rôznych faktorov na motomanuálne vyžíňanie a vypočítať škody, ktoré vzniknú pri tejto práci. Na základe nameraných údajov sa pokúsime vyhodnotiť používanie krovínorezov pri výchove mladých porastov na vybranom území urbárskeho pozemkového spoločenstva Hybe. Následne popíšeme výhody, nevýhody, resp. odporúčania k používaniu krovínorezov v lesnom hospodárstve.

2 MATERIÁL A METÓDY

V rámci prípravných prác sa vybrali porasty s vhodnou vekovou a druhovou štruktúrou, posúdili sa expozičné pomery, sklony svahov a porovnali sa s údajmi z LHP a skutočnosťou. Ďalej sme vymedzili porasty s vhodným vývojovým štádiom lesa (KRIŽOVÁ – NIČ 2000). Dôležitým faktorom bolo, aby sa plocha zakladala v dostatočnej vzdialenosti od porastového okraja, ktorý by mohol vplývať na hustotu a zloženie bylinného krytu a aby plochy nepretínala zväžnica, resp. chodník, ktorý by tiež mohol vplývať na jednotlivé posudzované veličiny. Počas terénnych prác sa dokopy založilo 18 plôch v 5 dielcoch. Plochy boli zakladané tak, aby reprezentovali rôzne prírodné podmienky. Zakladali sa vo svahoch so sklonom do 10 %, od 10 do 25 % a nad 25 % a následne sa delili na plochy s riedkym a hustým bylinným krytom. Zápoj bylinného krytu sa posudzoval odhadom na základe znalostí z fytoecológie a lesníckej typológie. Na každej jednej ploche sa zaznamenával pracovný čas, spotreba paliva stav a poškodenie zmladenia.

Veľkosť a tvar výskumnej plochy

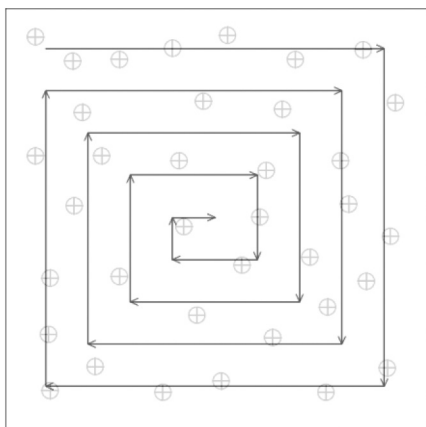
Plochy v teréne sme zakladali podľa vlastnej metodiky tak, aby splňali požadovanú výmeru, vhodný reliéf, dostatočný počet sadenicí a dostatočný bylinný kryt. Výmera posudzovanej plochy bola 100 m² s rozmerom 10 × 10 metrov v tvare štvorca, len na extrémnych reliéfnych tvaroch mala plocha tvar obdĺžnika, pričom aj v tomto prípade bola dodržaná výmera 100 m². Plochy sa v teréne označovali výtyčkami, resp. sa označovali pne v blízkosti posudzovanej plochy, ktoré sme zakladali na rôznych miestach či už v strede obnovovanej plochy alebo v blízkosti vedľajšieho materského porastu. Aby sme dosiahli relevantné výsledky, výskumné plochy sme vyberali na miestach, ktoré sa nachádzali na rovine, v miernom sklone, i v strmých svahoch. Vo vyznačenej ploche sme sčítali zmladenie jednotlivých drevín, ktoré pochádzalo buď z prirodzenej alebo z umelej obnovy (SANIGA 2009). Dreviny sa ani v prípade vysokého bylinného krytu neoznačovali farebnými páskami ani farbou. Po analýze drevinového zloženia sme pristúpili k hodnoteniu bylinného krytu (Tab. 1), kde sme určili dominantné druhy a zatriedili sme ich do etáží, ktoré nám ovplyvňovali terénne práce (KRIŽOVÁ – NIČ 2000). Všetky zistené údaje sme si zaznamenávali do terénneho zápisníka.

Tab. 1 Kritéria na určenie stupňa zaburinenia
 Tab. 1 Criteria for determining the degree of weed infestation

Stupeň zaburinenia	Stav zaburinenia	Charakteristika stavu pôdneho krytu a zaburinenia
1	Pôdy redšie alebo miestami stredne zaburinené na prevažujúcej časti výmery obhospodarovanej pôdy.	Miestne zaburinenie, burina neprerastá sadenice, vyhľadávanie sadeníc je ľahké. Kypří sa bez vytrhávania buriny.
2	Pôdy so súvislým stredným zaburinením.	Vyhľadávanie sadeníc sťažuje zaburinenie (zvlášť pri nízkych sadeniciach). Ošetrovanie sa musí vykonávať opatrne bez poškodenia sadeníc a ich koreňových sústav.
3	Pôdy so silným súvislým zaburinením.	Vyhľadávanie sadeníc je náročné pre veľké zakrytie burinou. Pred začatím kyprenia alebo okopávania treba väčšinou najprv vytrhať burinu, aby sa sadenice ani ich korene nepoškodili.

Postup práce

Pri samotnom terénnom meraní sme používali pomôcky, medzi ktoré patrili pásmo, meter, výtyčky, farebná páska, stopky, odmerný valec, kanistre s benzínom, krovinnorezy STIHL FS 360 C-E a STIHL FS 410 C-E a fotoaparát. Pred samotným vyžináním plochy sme za pomoci odmerného valca odmerali objem palivovej nádrže, zaznamenali objem pohonných hmôt a následne sme objem paliva z odmerného valca preliali naspäť do palivovej nádrže. Počas prelievania pohonných hmôt sme dbali na zabránenie negatívneho vplyvu na životné prostredie. Po zaznamenaní potrebných údajov sme pristúpili



k vyžinaniu plochy. Keďže sme zakladali výskumnú plochu v tvare štvorca, pracovník obsluhujúci krovinnorez postupoval po obvode okraja plochy smerom do stredu plochy (Obr. 1) tak, aby skosenú burinu sekacou časťou vytlačil v smere od stojacej, nevyžatej buriny. Na obr. 2 je vytýčené výskumná plocha.

Vyžinanie vykonávali šiesti externí pracovníci vo veku od 20 do 60 rokov, ktorí s danou prácou majú viacročné skúsenosti.

Obr. 1 Postup práce pri vyžinaní
 Fig. 1 The operation procedure of trimming



Obr. 2 Vytýčená výskumná plocha v teréne
Fig. 2 Demarked research area in terrain of declination

Po vstupe pracovníka s krovinorezom na vyznačenú plochu sme začali merať čas, ktorý sa meral počas celého úkonu vyžínania ohraničenej výskumnej plochy. Plocha sa musela vykosiť bez prestávky, iba v prípade namotania buriny na rezáciu časť mohol pracovník prerušiť prácu. Meranie času pokračovalo aj v tomto prípade. V priebehu vyžínania sme dávali pozor, aby sme nepresiahli hranice vyznačenej plochy. Po vyžatí sa odmeraný čas zaznamenal do terénneho zápisníka a taktiež sa odmeral objem zvyšného paliva v nádrži. Rozdiel hodnoty objemu pred a po vyžínaní predstavoval spotrebu paliva na danej ploche. Následne sme pristúpili k sčítaniu sadeníc na analyzovanej ploche. Pri sčítavaní sadeníc sme zisťovali škody spôsobené trojzubým sekacím nožom. V teréne sme rozoznávali odseknuté sadenice alebo viditeľné poškodené sadenice (poškodenie obvodu kmeňa, kôry, odseknutý bočný alebo terminálny výhon). Poškodené sadenice sme zaevidovali podľa jednotlivých drevín, aby sme zistili nielen škody z celkového počtu sadeníc, ale aj z počtu jednotlivých drevín zastúpených na ploche. Touto metodikou sme pracovali na všetkých výskumných plochách.

3 VÝSLEDKY

Plochy so sklonom do 10 %

V tejto skupine plôch sa nachádzajú plochy husto zaburinené a plochy s miernym zaburinením. V rámci každej skupiny sa nachádzajú tri výskumné plochy. Sklon bol určený z údajov LHP a bol skontrolovaný aj priamo v teréne. Pre zabezpečenie reprezentatívnych výsledkov sa plochy zakladali približne v rovnakých terénnych podmienkach (expozícia, sklon, celkový vzhľad plochy). Z tabuľky 1 je vidieť nasledovné výsledky.

Na plochách s výmerou 1 ár (10 × 10 m), ktoré mali hustý vegetačný kryt, je priemerný čas väčší oproti plochám z miernym zaburinením. Na jednej ploche s hustým vegetačným krytom je čas výrazne väčší z dôvodu núteného prerušenia, ktoré bolo spôsobené namotanim buriny na rezáciu časť krovinozezu. V prípade mierne zaburinených plôch sú hodnoty približne vyrovnané. V závislosti od hustoty vegetačného krytu je vidieť aj vyššiu hodnotu spotreby paliva, ktorá je spôsobená veľkým počtom bylinných druhov. Výrazne vyššiu spotrebu vidíme na ploche, na ktorej sa muselo prerušiť vyžínanie z dôvodu namotania burín na sekací nôž. Práve na tejto ploche sa nachádzali plazivé formy burín (*Rubus hirtus*) zmiešané s vysokými trávami ako napríklad *Calamagrostis epigeios*. Jednotlivé výskumné plochy sa vyberali s približne rovnakým počtom drevín. Z tabuľky je vidieť pomerne výraznú variabilitu v počte poškodených a odstránených kusov (strata), ktorá v tomto prípade môže byť zapríčinená buď nerovnomerným rozmiestnením vegetačného krytu na ploche alebo nepozornosťou obsluhy krovinozezu. Na oboch analyzovaných skupinách plôch bol odstránený, resp. poškodený rovnaký počet sadeníc (zmladenia).

Tab. 1 Tabuľka nameraných hodnôt na plochách so sklonom do 10 %

Tab. 1 The chart of measured data on areas with inclination lower than 10 %

Plochy so sklonom do 10 %											
Husto zaburinené plochy						Mierne zaburinené plochy					
Hodnotené údaje	Plochy			Priemerné hodnoty		Hodnotené údaje	Plochy			Priemerné hodnoty	
	1	2	3	ø/ár	ø/ha		1	2	3	ø/ár	ø/ha
čas (min)	10:34	6:15	4:55	7:14	723	čas (min)	3:49	4:19	4:24	4:10	417
spotreba (dcl)	1,75	1,00	1,00	1,25	125	spotreba (dcl)	1,00	0,70	0,70	0,80	80
sadenice pred (ks)	34	42	34	36,7	3670	sadenice pred (ks)	34	30	34	32,7	3270
strata (ks)	5	6	1	4,0	400	strata (ks)	3	2	5	3,3	330
sadenice po (ks)	29	36	33	32,7	3270	sadenice po vyžatí (ks)	31	28	29	29,4	2940

V prípade husto zaburinej plochy sú rozdiely v spotrebe času na 1 ha vyššie o 306 min. Taktiež spotreba paliva je na husto zaburinených plochách vyššia o 4,5 litra a aj straty na kultúrach sú o 70 ks vyššie, než pri mierne zaburinených plochách.

Plochy so sklonom od 10 % do 25 %

Podobne ako v predošlom prípade sa vyberali plochy s približne rovnakými expozičnými a terénnymi charakteristikami. V niektorých prípadoch sa vyskytovali plochy s vyššou balvanitosťou alebo pomiestnymi zvyškami po predchádzajúcej ťažbe, ktoré zapríčiňovali horšiu terénnu prístupnosť. Z tab. 2 je vidieť rozdiely medzi skupinou plôch s hustým zaburinením a skupinou plôch s miernym zaburinením. Tieto rozdiely sú hlavne v čase, ktorý ovplyvňuje aj spotrebu paliva. Vyšší priemerný čas (4:57 min) bol nameraný na plochách s hustým zaburinením. Priemerný čas na plochách s miernym zaburinením bol 4:11 min. Taktiež vyššia spotreba paliva o 0,17 dcl bola nameraná práve na husto zaburinených plochách. V prípade počtu celkových, ale aj poškodených, resp. odstránených

sadeníc (náletu) sú výsledky rovnaké. Tento fakt mohol byť opäť ovplyvnený rozložením bylinného krytu alebo nepozornosťou pracovníka.

Tab. 2 Tabuľka nameraných hodnôt na plochách so sklonom od 10 % do 25 %

Tab. 2 The chart of measured data on areas with inclination from 10 % to 25 %

Plochy so sklonom od 10 % do 25%											
Husto zaburinené plochy						Mierne zaburinené plochy					
Hodnotené údaje	Plochy			Priemerné hodnoty		Hodnotené údaje	Plochy			Priemerné hodnoty	
	1	2	3	ø/ár	ø/ha		1	2	3	ø/ár	ø/ha
čas (min)	5:27	4:49	4:36	4:57	495	čas (min)	4:43	3:52	3:58	4:11	418
spotreba (dcl)	1,00	0,90	0,80	0,90	90	spotreba (dcl)	0,60	0,90	0,70	0,73	73
sadenice pred. (ks)	36	33	37	35,3	3530	sadenice pred. (ks)	35	33	37	35,0	3500
strata (ks)	4	3	4	3,7	370	strata (ks)	5	3	4	4,0	400
sadenice po. (ks)	32	30	33	31,6	3160	sadenice po. (ks)	30	30	33	31,0	3100

Vyžívanie v husto zaburinených plochách zaberie o 77 minút viac času ako na menej zaburinených plochách. Z dôvodu potreby dlhšieho času je pochopiteľne vyššia spotreba PHM o 17 dcl na viac zaburinených plochách. Na druhej strane je vidieť zvýšený počet poškodených, odstránených drevín na plochách s miernym zaburinením. V tomto prípade sa jedná o 30 kusov. Tento nepriaznivý rozdiel bol spôsobený neobľadnosťou obsluhy krovínorezu.

Plochy so sklonom nad 25 %

Na týchto plochách sme mali pomerne vysokú balvanitosť, čo vplývalo aj na obozretnejšiu manipuláciu s krovínorezom počas vyžívania. Priemerný čas je opäť vyšší pri plochách s hustým zaburinením. Mohlo to byť spôsobené buď samotným vegetačným krytom alebo aj horšou terénov dostupnosťou. V husto zaburinených plochách bola spotreba PHM vyššia o 50 % (Tab. 3). Na základe výsledkov poškodených drevín počas vyžívania sú vyššie straty na husto zaburinených plochách oproti plochám s miernym zaburinením. Na druhej strane po porovnaní všetkých troch skupín plôch, t.j. od 10 % až nad 25 %, nie je vidieť extrémny rozdiel v nameraných hodnotách.

Po prepočte na jeden hektár vidíme časový nárast o 3 hod. 8 min. na zaburinených plochách. Podobne aj spotreba paliva je vyššia o 6,5 litra. V prípade straty, resp. poškodenia drevín je zrejme, že náročnejší terén z hľadiska vyššieho sklonu mohol zapríčiniť aj vyššie hodnoty poškodenia na zmladení.

Tab. 3 Tabuľka nameraných hodnôt na plochách so sklonom nad 25%
 Tab. 3 The chart of measured data on areas with inclination above 25%

Plochy so sklonom nad 25%											
Husto zaburinené plochy						Mierne zaburinené plochy					
Hodnotené údaje	Plochy			Priemerné hodnoty		Hodnotené údaje	Plochy			Priemerné hodnoty	
	1	2	3	ø/ár	ø/ha		1	2	3	ø/ár	ø/ha
čas (min)	4:26	5:12	5:01	4:53	488	čas (min)	2:31	2:15	4:15	3:00	300
spotreba (dcl)	0,70	0,80	0,90	1,25	125	spotreba (dcl)	0,50	0,50	0,80	0,60	60
sadenice pred. (ks)	26	35	36	32,3	3230	sadenice pred. (ks)	26	26	39	30,3	3030
strata (ks)	3	5	2	3,3	330	strata (ks)	2	3	3	2,7	270
sadenice po. (ks)	23	30	34	29,0	2900	sadenice po. (ks)	24	23	36	27,6	2760

4 DISKUSIA

Výskumné plochy v teréne boli zakladané o výmere 10 × 10m (1 ár). Táto výmera je vhodná z dôvodu jednoduchého vytýčenia v teréne, ale aj menšej celkovej prácnosti na výskume. Pre účely objektívnejšieho hodnotenia sme prepočítali výsledky na 1hektár. Počas našej práce sme sa zamerali na zistenie rozdielov medzi hlavnými faktormi, ako sú čas na vyžatie, spotreba PHM a poškodenie, resp. úbytok jednotlivých drevin z analyzovanej plochy. Medzi ďalšie dôležité faktory patria napr. vek pracovníka, jeho fyzická zdatnosť, vplyv počasia, terénna náročnosť a celkové technické parametre používaných zariadení – krovinořezov. Obidva nasadené krovinořezy patria do skupiny profesionálnych strojov, čiže ich hmotnosť je vyššia oproti iným nižším kategóriám. Za rezný nástroj bol zvolený trojzubý sekací nôž s priemerom 35 cm.

Na každej jednej analyzovanej ploche sa postupovalo vopred dohodnutým systémom kosenia, pri ktorom sme si stanovili aj približne rovnaké tempo kosenia, z dôvodu zachovania reprezentatívnych výsledkov. Časové rozhranie potrebné na skosenie celej analyzovanej plochy v prípade husto zaburinených bolo vyššie v porovnaní s druhou skupinou mierne zaburinených plôch. Tento faktor bol výrazne ovplyvnený celkovým krytom vegetácie, čo v prípade husto zapojených plôch predstavoval kryt nad 50, optimálne 80 a viac percent. Celkové zaburinenie záviselo aj od sklonu analyzovanej plochy. Ako je známe, so stúpajúcim sklonom vzrastá priemerné percento balvanitosti terénu, zmeny v reliéfe terénu, ale aj ponechané zvyšky po predošlej ťažbe vo forme konárov, resp. pňov. V prípade husto zaburinených plôch sme sa stretli s vegetáciou tzv. rúbaniskovej flóry. Medzi ňu patria predovšetkým vysoké svetlomilné trávy, ďalej plazivé formy bylín (*Rubus hirtus*) maliny (*Rubus ideus*) ale aj byliny s tvrdými čiastočne až z mierne zdrevnatenými stonkami (*Chamaerion angustifolium*, *Vaccinium myrtillus*). Okrem bylinného krytu sa na týchto plochách zaznamenal aj výskyt náletu prípravných drevin z rodu *Betula*, *Populus* a *Salix*. Jeho hrúbka bola do 1 cm a počas vyžínania sa odstraňoval spolu s buri-

nou a ďalej neevidoval. Dôležitou úlohou bolo v prípade hustého zaburinenia vykonávať vyžínanie tak, aby sa dosiahlo čo najmenej poškodenie cieľových drevín porastu. Práve z tohto dôvodu bola dôležitá pozornosť obsluhujúceho personálu. Obozretnosť musela byť vyššia práve v prípade husto zaburinených plôch oproti plochám s miernym zaburinením, kde sa vegetačný kryt pohyboval maximálne do 50%. Obmedziť poškodenie cieľových drevín je dôležité hlavne z ekonomickej stránky budúceho porastu.

Čas potrebný na vyžínanie ako jeden z hodnotených faktorov bol výrazne ovplyvnený vysokým zaburinením, kedy sa musela často prerušiť vykonávaná práca z dôvodu namotania buriny na rezáciu časť nástroja. K tomu dochádzalo aj vtedy, ak bol pracovník obozretnejší (z dôvodu zabráneniu styku so skalou či pňom alebo pri približovaní sa k sadenici) a ubral plyn krovinorezu, čím došlo k poklesu otáčok sekacieho noža a namotaniu buriny na reznú časť. Práca s krovinorezom v prípade mierne zaburinených plôch bola z časového hľadiska plynulejšia a bol tam ušetrený čas v niektorých prípadoch aj viac ako 1,5 hodiny. Práve snaha ušetriť čo najviac času, vplýva na efektívnosť práce a na únavu pracovníka. Ďalší faktor vplývajúci na celkovú činnosť bolo obdobie počas dňa, kedy sa vyžínanie vykonávalo. V našom prípade sme si zvolili doobedňajšie časové obdobie. V prípade dodržania pracovných postupov stanovených hygienou práce, by celkový čas nemal presiahnuť 240 min. aj s prestávkami. V našom prípade sa po prepočtoch na 1 ha dostávame na časovú úroveň 300 až 420 minút v prípade mierne zaburinenej plochy a 480 až 720 minút v prípade silne zaburinenej plochy. Výsledky ovplyvňuje aj náročnosť terénu, ktorý by z logického hľadiska mal spôsobovať nárast spotreby času, čo sa ale v našom prípade nepotvrdilo. Časový horizont v závislosti od sklonu terénu bol približne vyrovnaný.

Ďalším hodnoteným faktorom bola spotreba PHM (benzín Natural 95 s pridaným olejom od firmy STIHL). Aktuálna cena paliva bola 1,230 €. l^{-1} a 0,16 €. l^{-1} oleja STIHL. Viditeľné rozdiely sme zaznamenali hlavne v prípade porovnávania plochy s hustým a miernym zaburinením. Hustý bylinný kryt vplýval na vyššiu spotrebu času, čo malo za následok zvýšenie spotreby PHM. Vplyv sklonu na spotrebu PHM nebol opäť preukázaný. Pri husto zaburinených plochách je spotreba od 90 do 125 dcl. ha^{-1} . V prepočte na eurá je cena od 125,1 € do 173,75 €. ha^{-1} Na druhej strane bola spotreba na mierne zaburinených plochách od 60 do 80 dcl. ha^{-1} , čo je v prepočte od 50,04 € do 111,2 €. Rozdiel v spotrebe paliva po prepočte medzi husto zaburinenými a mierne zaburinenými plochami je v niektorých prípadoch výrazný, a to od 62,55 € až po 123,71 €. V prípade husto zaburinených plochách zohráva dôležitú úlohu zloženie bylinného krytu a pracovné tempo pracovníka.

Jednotlivé plochy v teréne boli zakladané tak, aby bol približne vyrovnaný celkový počet nachádzajúcich sa cieľových drevín, ktoré sme nekategorizovali podľa výškových tried. V našich prípadoch sa celkový počet pohyboval od 3030 ks na stanovištne najhorších plochách (sklon nad 25%) do 3670 ks na stanovištne najlepších plochách (sklon do 10%). Z celkového počtu, ktorý sme zistili sčítaním pred a po vykonaní zásahu, sme získali celkovú stratu, ktorá predstavovala buď celkové odseknutie dreviny alebo jej poškodenie zničením terminálneho alebo bočného výhonu. Ďalším typom poškodenia bolo poškodenie kôry hrubších drevín. Strata na kultúrach bola pomerne vyrovnaná a to od 270 ks do 400 ks na hektár bez ohľadu na sklon terénu. Sklon terénu ako vplývajú-

ci faktor môžeme pravdepodobne vylúčiť. Zo zistených výsledkov môžeme usudzovať, že najväčší vplyv na stratu zmladenia mal samotný pracovník svojou neohľadupnosťou, keďže sme výrazné rozdiely nezistili ani pri hodnotení husto zaburinených plôch v porovnaní s mierne zaburinenými plochami.

Vyžínanie ako pestovný zásah by mal podporovať existenciu a odrastanie cieľových drevín a práve z toho dôvodu je potrebné čo najväčšie zamedzenie ich straty. Strata mladých jedincov drevín bude mať za následok nesúlad či už so stanoveným lesným hospodárskym plánom, ale predovšetkým bude vplývať na stratu z ekonomického hľadiska. Zamedzenie tejto straty je možné buď prísny dohľadom nad pracovníkom vykonávajúcim pestovné opatrenie alebo vyznačením jednotlivých sadeníc na husto zarastených plochách vysokým dreveným kolíkom, resp. reflexnou farbou (menej vhodný spôsob). Táto činnosť však opätovne ovplyvňuje efektívnu a ekonomickú stránku lesného hospodárstva.

5 ZÁVER

Predkladaný príspevok má za úlohu zhodnotiť používanie krovinorezov na zaburinených zalesnených plochách s hustým a miernym bylinným krytom, ktoré sa nachádzali na rôznych sklonoch svahov od roviny až do sklonu 25 %. Zo zistených výsledkov môžeme konštatovať, že na silne zaburinených plochách stúpa spotreba pracovného času a taktiež aj spotreba PHM. Vplyvom zvýšeného sklonu terénu nastáva skoršia strata fyzickej energie pracovníka, čo môže mať za následok väčšie poškodenie sadeníc, resp. zmladenia. So stúpajúcim sklonom terénu narastá podiel nežiaducich faktorov, ako sú balvany a skaly spomaľujúce činnosť. Na druhej strane plochy s nižším bylinným krytom vyžadujú kratší čas na vyžatie pri menšej spotrebe PHM a menej vyčerpávajú obsluhu krovinorezu. Z našich výsledkov nevyplývajú zistenia, že hustota zaburinenia a sklon terénu vplyva na zvýšenie poškodenia sadeníc, keďže vo všetkých prípadoch boli vyrovnané hodnoty straty na jedincoch.

Potreba krovinorezov v lesnom hospodárstve má v každom prípade svoje opodstatnenie z hľadiska efektívnosti práce na veľkých výmerách obnovných prvkov oproti zaužívanému ručnému vyžínaniu pomocou kosákov. Treba si však uvedomiť, kde a kedy použiť krovinorez. Ďalšou potrebou je vzťah pracovníka ku danému pracovnému nástroju a taktiež ku precíznosti vykonanej práce. Použitie krovinorezov na nesprávnych lokalitách, ale predovšetkým s nezodpovednou obsluhou, môže spôsobiť značné škody na kultúrach, čo sa vo finálnej fáze odrazí na ekonomickej stránke. Používanie metódy ručného vyžínanie pomocou kosákov má opodstatnenie vo výrazne nepriaznivých podmienkach, ako sú strmé svahy nad 40 %, lokality bez prístupu vozidiel a na lokalitách s určitým stupňom ochrany a tiež na ťažko zalesniteľných lokalitách, kde je potreba prežitia každého jedného jedinca cieľovej dreviny.

Odporúčania pre lesnícku prax:

- potreba zaškoleného personálu obsluhujúceho krovinorez,
- dobrá fyzická zdatnosť personálu obsluhujúceho krovinorez,
- vhodný výber profesionálneho krovinorezu a rezacieho nástroja,

- v husto zaburinených terénoch možnosť vyznačenia jednotlivých drevín, resp. skupiny drevín viditeľne dreveným kolíkom, ktorý prevyšuje samotnú burinu,
- správne navrhnutá ekonomická kalkulácia na základe pomeru investície do vyznačenia v teréne oproti vzniknutým škodám spôsobeným pri práci bez vyznačenia jedincov (strata jedincov),
- primeraná finančná motivácia pre pracovníkov obsluhujúcich krovinorez z hľadiska požadovanej ohľaduplnosti pri práci.

Literatúra

- KODRÍK, M., HLAVÁČ, P. (2013): *Integrovaná ochrana lesa*. Vysokoškolská učebnica, TU vo Zvolene, 328 s., ISBN 978-80-228-2544-3
- KRIŽOVÁ, E., NIČ, J. (2000): *Fytocenológia a lesnícka typológia*. Návody na cvičenia, Vydavateľstvo TU vo Zvolene, 116 s.
- KULLA, L., ŠEBEŇ, V. (2012): Pokus s uplatnením neceloplošnej umelej obnovy kalamitnej holiny na demonstračnom objekte Husárik, *Lesnícky časopis – Forestry Journal*, 58(3): 171–180.
- MIKESKA, M. (2003): *Zalesňování nelesních pud v praxi*. LESNÍCKÁ PRÁCE, Nakladatelství Kostelec nad Černými lesy, rok 2003, číslo 10, s. 19–21.
- SANIGA, M. (2010): *Pestovanie lesa*. Vysokoškolská učebnica, Vydavateľstvo TU vo Zvolene, 327 s. ISBN 978-80-228-2102-5
- SLOVENSKÁ TECHNICKÁ NORMA 48 2440, 1997
- ŠMELKOVÁ, L. (2002): *Pestovanie lesa*. TU Zvolen, 257 s., ISBN 80-228-1238-2
- ŠTOLLMANN, V., SLUGEŇ, J. (2009): *Lesnícke mechanizačné prostriedky*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2009. 213 s. ISBN 978-80-228-2065-3
- Výkonové normy na ošetrovanie a ochranu les, 1997 – 2. vydanie*. Zborník č. 15 číslo: 230-423/87 EP. 55 s.
-

Adresa autorov:

Ing. Ján Kamenský
 Ing. Jozef Slugeň, PhD.
 Katedra lesnej ťažby, logistiky a meliorácií
 Technická univerzita vo Zvolene
 Lesnícka fakulta
 T. G. Masaryka 24
 960 53 Zvolen
 Slovenská republika
 e-mail: slugen@tuzvo.sk

Hodnotenie ochrany sadeníc pred burinou s využitím krovinorezov

Abstrakt

Pre zabezpečenie kvalitných cieľových drevín do budúcnosti je potreba značnej starostlivosti v mladom veku. Jedným z dôležitých úkonov je vyžínanie trávy a buriny na zalesnených plochách. Medzi najbežnejšie zásahy patrí náročné ručné vyžínanie pomocou kosákov. Táto práca je náročná z časového, ale aj z fyzického hľadiska, preto sa začali využívať moderné motorové krovinorezy. Výhodou krovinorezov je rýchly pracovný postup, výraznejšia sila a výkon oproti ručnému vyžínaniu. Na druhej strane musíme brať ohľad aj na niektoré nevýhody tejto metódy, ako napr. hmotnosť krovinorezu, ktorá vplýva na ergonómiu práce, poškodenie sadeníc sekacím nožom a škody spôsobené aj na samotnom krovinoreze pri styku s nevhodným terénom. Cieľom bolo zhodnotiť spotrebu času na vyžínanie, spotrebu PHM a poškodenie sadeníc vplyvom sekacieho noža (Ø 35 cm). Všetky vyššie spomínané ukazovatele sme hodnotili na 18 výskumných plochách založených v troch kategóriách podľa sklonu svahu a zaburinenia. Z výsledkov vyplýva vyššia spotreba času a PHM pri husto zaburinených plochách oproti plochám s miernym zaburinením. Vplyv sklonu svahu na spotrebu času a PHM nebol preukázaný. Zo zistených výsledkov vyplýva navrhnutie vhodnej kombinácie krovinorezu a ručného vyžínania z dôvodu minimalizácie škôd na zmladení, ale aj odrastených sadenicích.

Kľúčové slová: krovinorez, sekací nôž, zaburinenie plochy, poškodenie sadeníc, vyžínanie

REGENERAČNÉ PROCESY A ŠTRUKTÚRA BIOMASY PRALESA NPR BIELY KAMEŇ

Pavol C A Ň O

Pavol Caňo: Forest regeneration processes and structure of biomass NPR Biely kameň. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 57, Suppl. 1, 2015, 75–87.

The main goal of this thesis is to compare the changes in diameter structure according to developmental stages, compare the changes of the circular base and volume according to developmental stages of the primeval forest for a period of two years (2013–2015). To analyze the spatial structure and productive utilization of the available growth area of the forest in the developmental stages. The final goal it to analyze the change in the structure of natural regeneration during developmental stages. These measurements were performed on permanent research plots (PRP) with dimensions of $50 \times 50\text{m}$, which characterize the developmental stages of the forest. Spatial structure, productive use of the available growth space and changes in the structure of natural regeneration was measured on a transect with dimensions of $10 \times 50\text{m}$, which were set out in the framework of the PRP in developmental stages. Regarding the change of diameter frequencies among developmental stages, we noticed the biggest difference in the stage of decay, where the number increased to about $196 \text{ pc}\cdot\text{ha}^{-1}$. The largest standing volume was recorded at the optimum stage of $467.91 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ and the biggest change, respectively increase was in stage of recruitment which was $23.89 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$. The largest distribution of the forests shelterwood area within developmental stages was at the stage of optimum 234.79% and the lowest was recorded in stage of recruitment 167.134% . When measuring the change in the structure of natural regeneration in developmental stages, we found the largest number of individuals in the process of disintegration $18316 \text{ pc}\cdot\text{ha}^{-1}$ and the lowest number of individuals was found in stage of optimum $9684 \text{ pc}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Key words:

1 ÚVOD A CIEĽ

Hlavným cieľom lesného hospodárstva je trvalé udržanie vlastností lesného ekosystému, predovšetkým zachovať vlastnosti pôdy a dynamiku lesných porastov v danej oblasti. V prípade, že porasty boli človekom znehodnotené, je potrebné čo najrýchlejšie ich prinavrátiť do pôvodného, prírode blízkeho stavu (SANIGA 2010). Základným a najúčinnjším nástrojom usmerňovania rastových procesov a formovania štruktúry lesa v smere integrovaného plnenia jeho vše užitočných funkcií je pestovanie lesa. Hlavné poznatky získava z poznania prírodných zákonitostí vývoja, rastu a formovania prírodného lesa danej oblasti (LEIBUNDGUT 1977 ex SANIGA 1999). Najspoľahlivejším ukazovateľom pre posúdenie potreby, vymedzenie rozsahu a intenzity ako aj charakteru pestovných opatrení v prirodzených lesoch, ktoré sú zvlášť funkčne integrované, je poznanie vývojových a rastových procesov lesa, zákonite bez vplyvu človeka. Podľa LEIBUNDGUTA(1993) je

prírodný les pre teóriu a prax pestovania lesa závažnou kategóriou, od ktorej sa odvíja správna a vývoja schopná náuka. Je preto potrebné poznať, aké kvantitatívne a kvalitatívne zmeny, v akých časových obdobiach a s akou rýchlosťou prebiehajú vplyvom samotnej, ešte človekom nezmenenej prírody. Dobré poznanie prírodného lesa nám umožňuje vymedziť zásady pestovnej koncepcie a aj vypracovať také pestovné metódy pre prirodzené lesy, ktoré by bez väčšieho rizika, pri vysokom stupni istoty umožnili systematicky a cieľavedome formovať takú porastovú štruktúru a udržiavať autoregulačné a autoregeneračné procesy v takých medziach, ktoré umožňujú dosahovať vysokú produkciu a žiaduce funkčné účinky (KORPEL, SANIGA 1995). Pralesy v stredoeurópskych podmienkach predstavujú nenahraditeľné objekty základného a aplikovaného výskumu a stávajú sa modelom pre štúdium zákonitosti vývoja, stability, produkcie a ďalších vlastností lesných ekosystémov (KORPEL 1968).

Hlavným cieľom je Porovnať zmenu hrúbkovej štruktúry podľa vývojových štádií, porovnať zmenu kruhovej základne a objemu podľa vývojových štádií, analyzovať priestorovú štruktúru pralesa vo vývojových štádiách, analyzovať produkčné využitie disponibilného rastového priestoru podľa vývojových štádií a analyzovať zmenu štruktúry prirodzenej obnovy podľa vývojových štádií.

2 MATERIÁL A METODIKA

V pralese Biely kameň boli založené 3 TVP podľa vývojových štádií (dorastanie, optimum, rozpad). Pre vytyčovanie TVP sme použili elektronický uhlomer, ktorým sme si priamo v teréne merali vzdialenosť a uhol, ktorý nám zadával strany plôch. Plochy boli stabilizované o rozmeroch 50×50 m (0,25 ha). Na týchto plochách sme zisťovali početnosti po jednotlivých vývojových štádiách a objem, ktorý sme následne prerátavali na ha^{-1} . Na každej TVP sme si reflexnými stuhami vytýčili transekt o rozmeroch 10×50 m ($500 m^2$) na ktorom sme zisťovali štruktúru pralesa, produkčné využitie rastového disponibilného priestoru drevinami na transekte v jednotlivých vývojových štádiách a dynamiku prirodzenej obnovy.

Na vytýčených plochách bolo vykonané priemerkovanie naplno. Do merania boli evidované všetky stromy, ktoré dosahovali hrúbku vo výške ($d_{1,3}$) väčšiu ako 8 cm (prvý hrúbkový stupeň s intervalom 8–12 centimetrov).

Hrúbky boli merané pomocou taxačnej priemerky. Stromy, ktoré presahovali rozmer priemerky boli zmerané pomocou pásma a jednoduchým prepočtom sme zisťovali priemer. Namerané údaje sme si zapisovali do priemerkovacieho zápisníka.

Pre výpočet zásoby po jednotlivých vývojových štádiách sme použili metódu objemových tabuliek (OT). Tieto objemové tabuľky udávajú objem jednotlivých stromov v závislosti od dreviny, hrúbky $d_{1,3}$ a výšky stromu. Metóda sa používa na výpočet zásoby priemerkových porastov, v ktorých sa výšky merali pre všetky hrúbkové stupne. Pre výpočet touto metódou sme potrebovali priemerkovací zápisník, taxačné priemerky na zisťovanie hrúbky stromov vo výške $d_{1,3}$, kriedu a výškomer na zisťovanie výšok stromov. Postup bol nasledovný: Jednotlivé vývojové štádia na plochách 50×50 m (0,25 ha) sme spriemerkovali naplno. Brali sme do úvahy všetky tie stromy, ktoré dosahovali hrúb-

ku vo výške 1,3 m ($d_{1,3}$) väčšiu ako 8 cm (prvý hrúbkový stupeň s intervalom 8–12 (10) centimetrov). Hrúbky sme merali pomocou spomínanej taxačnej priemerky a tie stromy, ktoré presahovali rozmer priemerky, sme zmerali pomocou pásma a jednoduchým prepočtom sme zistili priemer. Pre ďalšie výpočty, ktoré sme potrebovali, bolo potrebné namerať jednotlivé výšky po týchto hrúbkových stupňoch. Na meranie sme použili výškomer Nikon Forestry Pro. Keďže sme zásobu počítali pomocou metódy objemových tabuliek s presnosťou $\pm 10\%$, bolo potrebné namerať niekoľko výšok na každý hrúbkový stupeň. Tieto výšky sme si pomocou Michajlovej krivky z kľzavých výšok upravili na vyrovnané výšky. Ako posledný krok pri počítaní objemov sme si v objemových tabuľkách odčítali objemy jednotlivito (na základe dreviny, hrúbky a vyrovnanej výšky), ktoré sme vynásobili počtom stromov v daných hrúbkových stupňoch a jednoduchým spočítaním týchto hodnôt nám vyšiel objem na jednotlivých plochách. Keďže táto plocha o rozmeroch 50×50 predstavuje 0,25 ha a my sme potrebovali hektárové početnosti a zásoby, tak sme naše hodnoty vynásobili štyrmi. Túto metódu sme použili z dôvodu jej presnosti a použiteľnosti v nerovnovekých a nerovnorodých porastoch a na základe vytvorenia svojej osobitnej výškovej krivky a tým je vhodnejšia pre meranie v pralese ako menej presné metódy napr. metóda JOK (jednotných objemových kriviek), alebo metóda RT (rastových tabuliek).

Kruhovú základňu sme taktiež merali po vývojových štádiách pre vzájomne porovnávanie. Meranie kruhovej základne spočíva zo sčítania všetkých kruhových základni stromov na výskumnej ploche charakterizujúcej konkrétne vývojové štádium. Je potrebné pre zistenie hektárovej kruhovej základne prepočítať výsledky (x_4) aby sme zistili hektárové hodnoty.

Analýzu priestorovej štruktúry vo väzbe na produkčný priestor pralesa sme vykonávali na vopred vytýčených tranzektoch s plochou 10×50 m (500 m^2). Každý jeden tranzekt reprezentoval dané vývojové štádium v ktorom sa nachádzal. Na tranzektoch sme merali nasledovné veličiny:

- hrúbky stromov ($d_{1,3}$) s presnosťou na 1 mm,
- výšky stromov (h) s presnosťou na 0,5 m výšky nasadenia korún (hz) s presnosťou na 0,5 m,
- pozícia stromov v ortogonálnom systéme (x, y),
- šírka korún (b) živých stromov vo vektoroch x_1 až x_4 .

Evidenciu prirodzeného zmladenia na tranzekte sa vykonávala v nasledovných kategóriach: do 20 cm, od 21–50 cm, od 51–80 cm, od 81–130 cm a jedince od 131 cm do hrúbky $d_{1,3} \geq 1$ cm.

Pre zistenie clonnej plochy korún sa najprv s nameraných rozmerov korún vypočítala (šírka) priemer korún.

$$b = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4}{2} = \sum_{i=1}^4 \frac{r_i}{2}$$

Kde: b = je šírka koruny,

r_{1-4} = sú polomery korún (m).

V druhom kroku sme si stanovili plochu korunovej projekcie na základe vzorca:

$$Sk = \pi \left(\frac{b}{2} \right)^2$$

Kde: Sk = plocha korunovej projekcie (m^2),

b = je šírka koruny (m).

Clonnú plochu sme jednoduchým prepočtom vypočítali ako podiel sumy korún (projekcií) na tranzeakte ku ploche tranzeaktu.

Na výpočet disponibilného priestoru sme ako prvý krok uskutočnili výpočet dĺžky korún:

$$l = h - h_s$$

Kde: h = výška koruny (m),

h_s = výška nasadenia koruny (m).

Ako druhý krok sme si vypočítali objem korún stromov vzorcom pre listnaté dreviny (JURČA, 1968):

$$Ck = \frac{\pi}{8} * b * l$$

Kde: Ck = objem koruny (m^3),

b = šírka koruny (m),

l = dĺžka koruny (m),

jednoduchým sčítaním objemov korún sme získali hodnotu objemu korún na celom tranzeakte.

Hodnotu produkčného priestoru tranzeaktu sme vypočítali súčinom hornej výšky a plochy tranzeaktu.

$$V_{tr} = S_{tr} * h_0$$

Kde: V_{tr} = produkčný priestor tranzeaktu (m^3),

S_{tr} = plocha tranzeaktu (m^2),

h_0 = horná výška pralesa (m).

Za pomoci objemu korún všetkých stromov na tranzeakte a produkčného priestoru tranzeaktu sme vypočítali produkčné využitie disponibilného priestoru korunami stromov:

$$VDP = \frac{Ck}{V_{tr}} * 100$$

Kde: VDP = disponibilný priestor (m^3),

C_k = objem korún (m^3),

V_{tr} = produkčný priestor (m^3).

3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

3.1 Hrúbkova, objemová a priestorová štruktúra pralesa

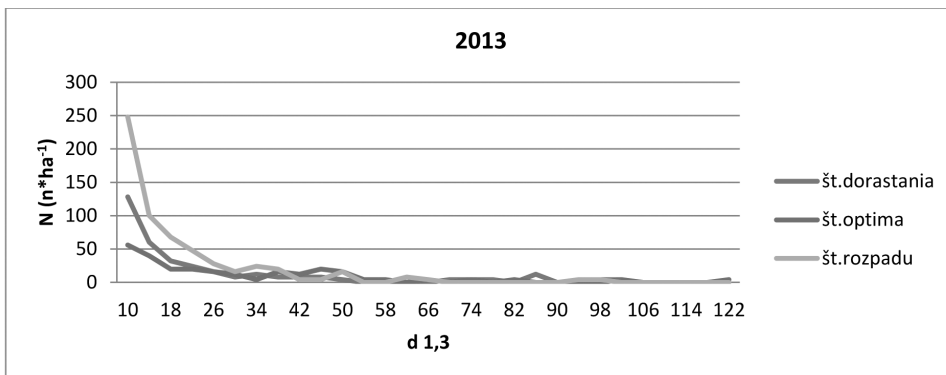
Tabuľka č. 1 nám podáva informácie o zmene početnosti, objemu hrubiny a kruhovej základne po jednotlivých vývojových štádiách pralesa Biely kameň. Obr. 1, 2 nám podáva informácie o hrúbkovej štruktúre jednotlivých vývojových štádií. Na obr. 3, 4, 5 máme znázornenú priestorovú štruktúru pralesa vo vývojových štádiách.

Tabuľka 1 Početnosť, objem a kruhová základna pralesa po vývojových štádiách (2013, 2015)
Table 1 Frequency, volume and round base after forest development stage (2013, 2015)

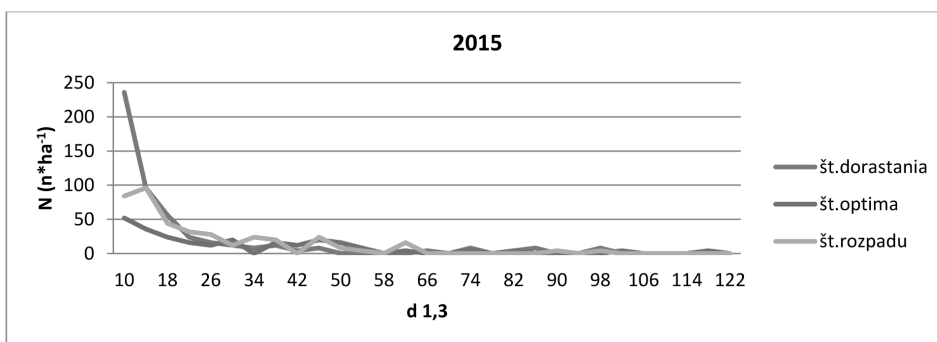
Štádium	N n.ha ⁻¹		G m ² .ha ⁻¹		V M ³ .ha ⁻¹	
	2013	2015	2013	2015	2013	2015
dorastania	520	356	30,76	30,98	414,57	438,46
optima	264	272	32,24	33,44	450,08	467,91
rozpadu	420	616	31,06	30,98	395,38	375,36

Čo sa týka hrúbkovej štruktúry pralesa Korpel' (1989) uvádza, že v bukových pralesoch sa počet hrubiny pohybuje od 350 do 650 ks /ha, pričom najnižší počet sa nachádza v štádiu rozpadu a najväčší v štádiu dorastania. V našich meraniach (tab. č. 1., obr. 1, 2) sme namerali v štádiu optima 272 ks/ha⁻¹ v štádiu dorastania 356 n.ha⁻¹ a v štádiu rozpadu 616 n.ha⁻¹ (rok 2015). V roku 2013 sme zaznamenali v štádiu dorastania 520 n.ha⁻¹ v štádiu optima 264 n.ha⁻¹ a v štádiu rozpadu 420 ks/ha⁻¹. Naše merania sa s autorovými nezhodujú, no domnievame sa, že boli spôsobené viacerými faktormi. Priemernú početnosť spomedzi štádií by malo mať štádium optima. V našom prípade má toto štádium najnižšiu početnosť (274 n.ha⁻¹), čo dávame za príčinu vysokému stupňu clonenia predovšetkým v hornej vrstve pralesa (152,42%), ktoré zapríčinilo mortalitu viacerých jedincov spodnej a strednej vrstvy. Priemerný počet jedincov spomedzi štádií sa nachádza v štádiu dorastania (356 n.ha⁻¹), pričom je toto štádium typické najvyššou početnosťou. V roku 2013 sa nachádzalo na tomto štádiu 520 n.ha⁻¹ čo zodpovedá autorovým tvrdeniam a máme za to, že sa dané štádium nachádza v pokročilej fáze a početnosť klesá z dôvodu presunu do štádia optima, kde je početnosť nižšia, respektíve priemerná. V štádiu rozpadu sa spomedzi vývojových štádií nachádza najväčší počet jedincov 616 n.ha⁻¹.

Už z porastového profilu možno odčítať, že toto štádium rozpadu sa nachádza v pokročilej fáze, a podiel jedincov hornej vrstvy je výrazne nízky. Táto netradične vysoká početnosť je spôsobená vysokým počtom jedincov v najnižších hrúbkových stupňoch ($d_{1,3,10} = 248$ n.ha⁻¹) ktoré v dôsledku odumretia viacerých stromov majú veľmi priaznivé podmienky na rast.



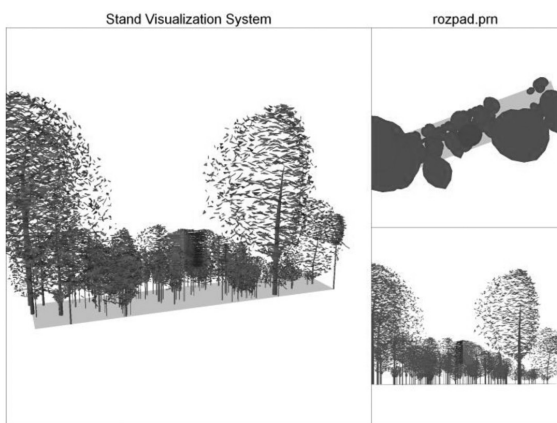
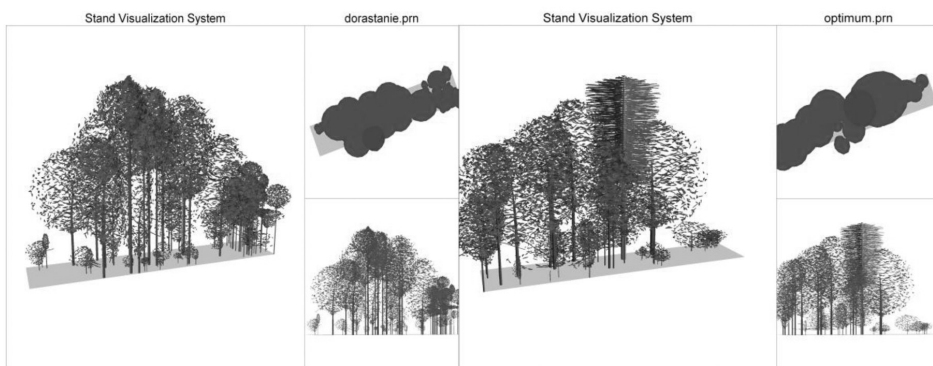
Obrazok 1 Hrubkova početnosť vo vývojových štádiách pralesa za rok 2013
 Fig. 1 The diameter frequency in the developmental stages of forest in 2013



Obrazok 2 Hrubkova početnosť vo vývojových štádiách pralesa za rok 2015
 Fig. 2 The diameter frequency in the developmental stages of forest in 2015

Z pohľadu objemu hrubiny autor uvádza, že v spoločenstvách živného radu na priemerných bonitách sa objem hrubiny v závislosti od vývojového štádia pohybuje v rozpätí 400–600 m^3 , na produkčne veľmi dobrých stanovištiach od 500–800 m^3 a na vápencov podloží a minerálne chudobných stanovištiach zásoba kolíše od 300–500 m^3 . V našom pralese sme namerali najnižšiu hodnotu objemu hrubiny v štádiu rozpadu 375,36 $m^3 \cdot ha^{-1}$, priemernú v štádiu dorastania 438 $m^3 \cdot ha^{-1}$ a najväčšiu v štádiu optima 467,91 $m^3 \cdot ha^{-1}$. Z nameraných hodnôt možno usúdiť, že prales biely kameň sa nachádza na minerálne chudobnom stanovišti. V štádiu optima výškový rast spomaľuje, no hrúbkový rast a objemový prírastok pokračuje. Pre tieto procesy prales dosahuje v tomto štádiu svoje maximum, predovšetkým svoju zásobu čo sa preukázalo aj v našom prípade. Priemernú zásobu spomedzi vývojových štádií dosahuje štádium dorastania, čo sme potvrdili i našimi mera-

niami. V tomto štádiu dosahujú stromy mladých generácií svoje rastové schopnosti, ktoré sa odzrkadľujú predovšetkým na ich objemovom prírastku. Spomedzi vývojových štádií v štádiu dorastania sme za merané obdobie (2 roky) namerali najväčší prírastok ($23,89 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) čo potvrdzuje tieto tvrdenia. Štádium rozpadu je typické najnižšou zásobou z dôvodu odumierania najstarších a najmohutnejších jedincov s vysokým objemom hrubiny, ktorých objem nových, mladých jedincov nestíha nahradiť. Túto skutočnosť potvrdzuje aj naše meranie, kde za obdobie 2 rokov klesol objem o $20,02 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$.



Obr. 3, 4, 5 Štruktúra pralesa vo vývojových štádiach.
 Fig. 3, 4, 5 Structure forest in the developmental stages

3.2 Clonná plocha a využitie rastového disponibilného priestoru pralesa

Analýza clonnej plochy po jednotlivých vrstvách pralesa podľa vývojových štádií prezentuje tabuľka 4. Priemerný podiel clonnej plochy korún stromov na daných tranzektoch predstavoval 206,52 %, čo predstavovalo sumu korunových projekcií 4 338,24 m² na skúmanej ploche 2 107 m². Skutočná plocha tranzektov je 1 500 m², no veľká časť korún presahovala hranice tranzektu tak bolo potrebné pomocou programu ArcGIS koruny stromov orezať a ich plochu pripočítať ku pôvodnej. Najväčší podiel clonnej plochy bol nameraný v štádiu optima, kde podiel korunových projekcií dosahoval hodnotu 234,7 %. Oproti štádiu optima malo štádium dorastania najnižšiu hodnotu korunových projekcií a to 167,13 %. V štádiu dorastania sa síce nachádzajú stromy v hornej vrstve pralesa, ale ich korunový aparát ešte nedosiahol takých dimenzií ako v štádiu optima. Strednú hodnotu korunových projekcií spomedzi vývojových štádií sme namerali v štádiu rozpadu. Jej hodnota predstavovala 217,66 % a bola spôsobená vysokým, až netypickým podielom spodnej vrstvy a to 60,35 %. Táto hodnota štádia rozpadu je spôsobená tým, že plochu odumretých, mohutných jedincov nestíha nahradiť následná generácia.

Možno povedať, že najväčší až 117,81 % podiel z plochy tranzektu bol nameraný v kategórii hornej vrstvy jedincov, pričom podiel v oboch nižších vrstiev bol výrazne menší (38,35 a 50,36 %). Najväčšia hodnota bola zistená v hornej vrstve štádia optima a 152,42 % a najnižšia hodnota bola nameraná v dolnej vrstve štádia dorastania 24,16 %

Tabuľka 2 Distribúcia clonnej plochy v rámci vývojových štádií
Table 2 Distribution of shelterwood areas within developmental stages

Štádium		dorastanie	optimum	rozpad	Spolu
Výmera (m ²)		500	500	500	
Dolná vrstva	Sk (m ²)	172	199,49	447,83	819,32
	CP (%)	24,16	30,55	38,35	38,35
Stredná vrstva	Sk (m ²)	233,6	338,39	493,14	1 065,13
	CP (%)	32,81	51,82	66,46	50,36
Horná vrstva	Sk (m ²)	784,4	995,3	674,09	2 453,79
	CP (%)	110,17	152,42	90,85	117,812
Spolu Sk (m ²)		1190	1 533,18	1 615,06	4 338,24
Spolu CP (%)		167,14	234,79	217,66	206,53

Tabuľka 5 nám podáva informácie o produkčnom využití disponibilného rastového priestoru (VDP) korunami stromov. Taktiež ako pri clonnej ploche tak aj pri využití disponibilného rastového priestoru bol podiel využitia rastového priestoru korunami najväčší v hornej vrstve stromov a to 33,94 %. Najnižšie využitie rastového priestoru korunami stromov s 2,65 % sa nachádza v dolnej vrstve. Spomedzi vývojových štádií malo naj-

lepšie využitie disponibilného priestoru štádium optima, ktoré sa prezentovalo 53,46%. Najmenší podiel využitia disponibilného rastového priestoru len s 33,00% malo štádium dorastania.

Tabuľka 3 Produkčné využitie disponibilného rastového priestoru
Table 3 Production use of the available growth area

Štádium		dorastanie	optimum	rozpad	Spolu
Dolná vrstva	Ck (m ³)	320,1	462,53	913	1 695,63
	VDP (%)	1,498	2,361	4,101	2,654
Stredná vrstva	Ck (m ³)	900,65	1 772,47	2 216,98	4 890,1
	VDP (%)	4,216	9,047	9,959	7,741
Horná vrstva	Ck (m ³)	5 828,83	8 237,72	7 232,82	21 299,37
	VDP (%)	27,289	42,05	32,492	33,944
Spolu Ck (m ³)		7 049,58	10 472,72	10 362,8	27 885,1
Spolu VPD (%)		33,004	53,459	46,553	44,339

3.3 Regeneračné procesy

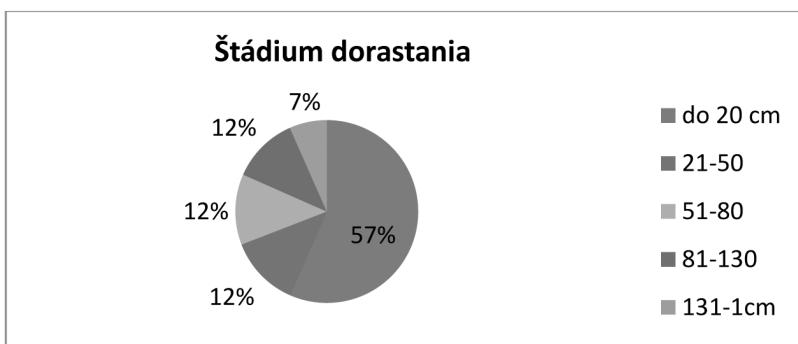
Informácie o stave a štruktúre jedincov prirodzenej obnovy pralesa Biely kameň nám podáva tab. 4. V tabuľke sú jedince zatriedené po drevinách a výškovch kategóriách na jednotlivých TVP.

Tabuľka 4 Regeneračné procesy pralesa Biely kameň
Table 4 Regenerative processes rainforest Biely kameň

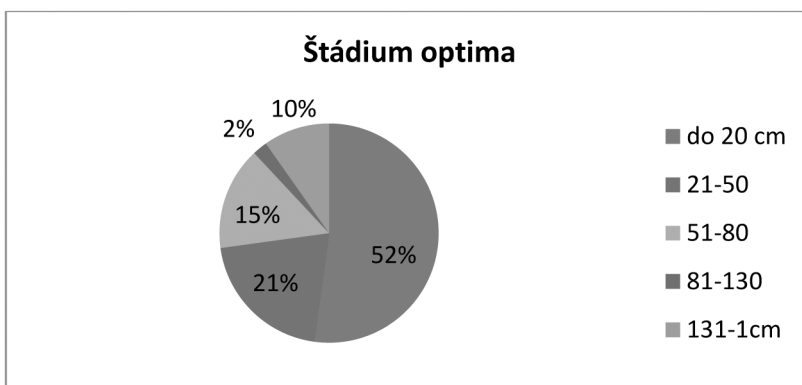
Kategória	TVP 1 – štádium dorastania				TVP 2 – štádium optima				TVP 3 – štádium rozpadu		
	BK	JD	spolu	%	BK	JD	spolu	%	BK	SPOLU	%
obnovy	6 105	2 000	8 105	56,6	4 842	211	5 053	52,2	2 632	2 632	14,4
do 20 cm	1 789	0	1 789	12,5	2 000	0	2 000	20,7	2 315	2 316	12,6
21–50	1 789	0	1 789	12,5	1 474	0	1 474	15,2	2 842	2 842	15,5
51–80	1 684	0	1 684	11,8	211	0	211	2,2	2 105	2 105	11,5
81–130	947	0	947	6,6	947	0	947	9,8	8 421	8 421	46,0
131+1 cm	12 316	2 000	14 316	100	9 474	211	9 684	100	18 316	18 316	100
spolu	86,0	14,0	100		97,8	2,2	100		100	100	
spolu %											

Na TVP 1, ktorá charakterizuje štádium dorastania je celkovo 14 316 ks.ha⁻¹ jedincov, z čoho je len 2 000 ks jedle bielej (tab. 4, obr. 6). Najväčšie zastúpenie sa nachádza v kategórii do 20 cm.

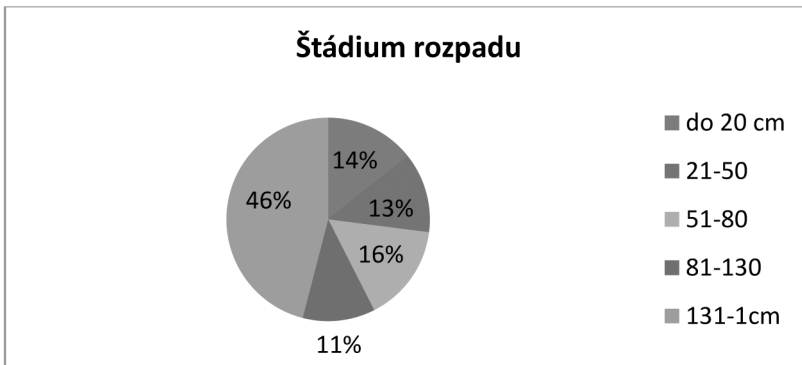
Vo vyšších kategóriách jedľa chýba, čo pravdepodobne spôsobujú vysoké stavy jelenej zveri, ktorá jú zhrýza v danej lokalite. Najnižší počet jedincov sa nachádza na TVP 2, ktorá reprezentuje štádium optima (obr. 7). Na ploche sa nachádza celkovo len 9 684 ks.ha⁻¹ z čoho je 211 ks.ha⁻¹ tvorí jedľa biela. Máme za to, že vysoký stupeň dlhodobého clonenia neposkytuje vhodné podmienky na prežívanie a odrastanie prirodzeného zmladenia. Pomerne netypická, ale nie neobvyklá situácia nastala na TVP 3 v štádiu rozpadu. Už z obrázku 8 je možné pozorovať veľmi vysoké percento v najvyššej kategórii od 131+1 cm. Na tejto ploche sa nachádza 316 ks.ha⁻¹ z čoho je 8 421 ks.ha⁻¹ v spomínanej výškovej kategórii. Možno povedať, že hustý zápoj tejto výškovej kategórie zatieni ostatné výškove kategórie a znemožňuje im prežívanie a odrastanie. Jedľa biela na tejto ploche úplne chýba, čo mohlo spôsobiť aj jej najnižšie zastúpenie v hornej vrstve spomedzi ostatných TVP.



Obrázok 6 Regeneračné procesy (štádium dorastania)
Fig. 6 Regeneration processes (stage recruitment)



Obrázok 7 Regeneračné procesy (štádium optima)
Fig. 7 Regeneration processes (stage optimum)



Obrazok 8 Regeneračné procesy (štádium rozpadu)
Fig. 8 Regeneration processes (stage disintegration)

ZÁVER

Prales Biely kameň svojou drevinovou skladbou predstavuje jeden z najtypickejších lesných ekosystémov na Slovensku. Výskum základných charakteristík štruktúry, ktorý je prezentovaný na troch trvalých výskumných plochách a troch tranzektoch potvrdil viaceré tvrdenia mnohých autorov. Z našich výsledkov je možné dedukovať, že pralessa sa nachádza na pôdach minerálne chudobnejších, vďaka čomu je jeho zásoba veľmi nízka. Výsledky meraní na TVP potvrdzujú štruktúru jednotlivých vývojových štádií. V štádiu dorastania bol zaznamenaný najväčší objemový prírastok spomedzi všetkých troch vývojových štádií. Štádiu rozpadu, ktoré sa nachádza v pokročilej fáze je zaznamenaný pokles drevnej hmoty, ktorá je spôsobená odumieraním mohutných jedincov a predstavuje 20,02 m³.ha⁻¹. V tejto fáze sa taktiež nachádza vysoký podiel stromov najnižších hrúbkových stupňov, ktoré spôsobili veľmi strmý tvar polygónu početnosti. Največšia drevná zásoba bola zaznamenaná v štádiu optima pre ktoré je táto vlastnosť typická. Analýza celkovej clonenej plochy predstavovala hodnotu 206,53 %, čo predstavovalo celkovú sumu korunových projekcií 4 338,24 m² na skúmanej ploche. Táto hodnota je typická pre viacvrstvové porasty. V štádiu rozpadu sme v dolnej vrstve namerali vysokú hodnotu clonenej plochy (60,35 %), ktorú spôsobil vysoký počet jedincov s hrúbkou d_{1,3} od 1–5 cm. Predpokladáme že tieto jedince vznikli v rovnakom období v ktorom sa nachádzala silná semenná úroda a vypadnutím niekoľkých jedincov hornej vrstvy sa im zlepšili ekologické podmienky. Využitie disponibilného priestoru korunami dosiahlo najväčšiu hodnotu štádiu optima v ktorom sa nachádzal jedinec s najväčšou plochou koruny (251,52 m²) a s objemom 2 640,98 m³. Najnižšiu hodnotu sme zaznamenali v štádiu v dorastu. Dynamika regeneračných procesov v rámci vývojových štádií je rozdielna a závisí od ekologických podmienok, ktoré jej vytvárajú jednotlivé vývojové štádiá, v ktorých sa nachádza. V štádiu rozpadu je hodnota najvyššia pri kategórii obnovy od 130+1 cm a to 8 421 ks. Máme za to, že tieto jedince sú buď rovnakého, alebo podobného veku jedincov, ktoré tvoria dolnú

vrstvu porastu. Najnižšia hodnota prirodzeného zmladenia sa nachádza v štádiu optima s hodnotou 9684. V tomto štádiu je najvyšší počet jedincov v kategórií do 20 cm, čo poukazuje na regeneračnú schopnosť štádia optimum, no podmienky pre ujímanie a odrastanie sú vďaka vysokej hodnote clonenia znemožnené.

Použitá literatúra

1. AMBROS, M. BALLA, M., BOHUŠ, M 2005: Natura 2000 / Vtáčnik. Štátna ochrana prírody SR, Banská Bystrica 2005. 12 s.
 2. BUBLINEC, E., PICHLER, V., 2001: Slovenské pralesy-biodiverzita a ochrana. UEL SAV, Zvolen, 200 s.
 3. KORPEL, Š. 1968: Z dejín stredného Pohronia a jeho lesníctva. Zborník prác Lesníckeho, porovnickeho a drevárskeho múzea. Obzor. Bratislava, 5. 19–94.
 4. KORPEL, Š. 1995: Prírode blízke pestovanie lesa. 158 s.
 5. KORPEL, Š. 1989: Pralesy Slovenska. Veda Bratislava, 329 s.
 6. LEIBUNDGUT, H. 1978: Über die Dynamik europaischer Urwalder. Allg. Forstzeitschr. 24. 686–690.
 7. LHP RÁZTOČNO I. 2009–2018
 8. SANIGA, M. 2010: Pestovanie lesa. Vysokoškolská učebnica, vydavateľstvo TU Zvolen, 326 s.
 9. SANIGA, M. 1999. Štruktúra, produkčné pomery a regeneračné procesy Badínskeho pralesa. Vydavateľstvo TU Zvolen, 64 s.
-

Adresa autora:

Bc. Pavol Caňo

Katedra pestovania lesa

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

Masarykova 24

960 53 Zvolen

Slovenská republika

e-mail: paca33@centrum.sk

Regeneračné procesy a Štruktúra biomasy pralesa NPR Biely kameň

Abstrakt

Hlavným cieľom tejto práce je porovnať zmenu hrúbkovej štruktúry podľa vývojových štádií, porovnať zmenu kruhovej základne a objemu podľa vývojových štádií pralesa za obdobie 2 rokov (2013–2015). Analyzovať priestorovú štruktúru a produkčné využitie disponibilného rastového priestoru pralesa vo vývojových štádiách. Ako posledný cieľ máme zanalyzovať zmenu štruktúry prirodzenej obnovy po vývojových štádiách. Tieto merania vykonávame na trvalých výskumných plochách (TVP) o rozmeroch 50×50 m, ktoré charakterizujú vývojové štádia pralesa. Priestorovú štruktúru, produkčné využitie rastového disponibilného priestoru a zmenu štruktúry prirodzenej obnovy sme merali na tranzektoch s rozmermi 10×50 m, ktoré boli vytýčené v rámci TVP po vývojových štádiách. Čo sa týka zmeny hrúbkovej početnosti spomedzi vývojových štádií sme najväčší rozdiel zaznamenali v štádiu rozpadu, kde sa počet zvýšil až o $196 \text{ ks} \cdot \text{ha}^{-1}$. Najväčšia zásoba bola zaznamenaná v štádiu optima $467,91 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ a najväčšia zmena, respektíve prírastok sa nachádzal v štádiu dorastania, kde činil $23,89 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Najväčšia distribúcia clonnej plochy pralesa v rámci vývojových štádií sa nachádzala v štádiu optima $234,79\%$ a najnižšiu sme zaznamenali v štádiu dorastania $167,134\%$. Pri zisťovaní zmeny štruktúry prirodzenej obnovy po vývojových štádiách sme zistili najväčší počet jedincov v štádiu rozpadu $18\,316 \text{ ks} \cdot \text{ha}^{-1}$ a najnižší počet jedincov bol zistený v štádiu optima $9\,684 \text{ ks} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Kľúčové slová: prales, buk lesný, vývojové štádia, regeneračné procesy, biomasa

KOMPARÁCIA DETRENDIZAČNÝCH METÓD PRI ANALÝZE KLIMATICKÉHO SIGNÁLU V LETOKRUHOVEJ CHRONOLÓGIÍ BUKA LESNÉHO

Vlastimil M U R G A Š

Murgaš, V.: Comparison of detrending methods when analyzing climate signal in tree-ring chronology of European beech. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 57, Suppl. 1, 2015, 89–102.

Removal of non-climatic age trends from tree-ring series is a crucial step in dendrochronology. This procedure is well-known as detrending or standardization. The paper deals with the problem of how to maximize the climate signal when applying different detrending methods. Six methods for detrending were compared from which 4 are deterministic, 1 is stochastic and 1 method represents no detrending. The empirical material consists of 40 beech increment cores collected from the area Veľké Pole district of Žarnovica. According to our findings, cubic splines yield the overall best results for preserving climate signal in the tree-ring chronology of beech. Good results also yield Huggershoff's growth function, Korf's growth function and linear function. Growth of beech in the area is mainly limited by precipitation than by air temperature. Significantly positive correlation between radial increment of detrended tree-ring widths and monthly sum of precipitation was shown in September in previous year and with monthly sum of precipitation from June to August in current year. The results suggest that cubic splines and growth functions used for detrending are more suitable for climate-growth related studies.

Key words: detrending, age trend, climate signal, dendroclimatology, tree rings

1 ÚVOD A PROBLEMATIKA

Letokruhy stromov predstavujú cenný zdroj informácií pre štúdium zmien prostredia, ktoré dnes v kontexte so zmenou klímy čoraz viac naberajú na význame. Častokrát zmeny v klíme ovplyvňujú rast stromu, pričom sekvencie priaznivých a nepriaznivých rokov (teplý a chladný rok) sú verne zaznamenané v sekvenciách širokých a úzkych letokruhov (FRITTS, 1976).

Informácie zachytené v letokruhových sériách je možné s ohľadom na cieľ výskumu charakterizovať ako cieľový signál alebo šum. V dendrochronológii sa pod pojmom signál rozumie informácia odvodená z letokruhov relevantná pre výskum. Na druhej strane, šum je definovaný ako nepodstatná informácia obsiahnutá v letokruhoch. Problém v extrakcii signálu pri analýze letokruhov spočíva v disagregácii pozorovaných širokých letokruhov do konečného počtu signálov, ktoré reprezentujú sumu vplyvov prostredia na rast stromov (COOK, KAIRIUKSTIS, 1990).

Hoci podľa Liebigovho zákona minima rast stromov limituje jeden faktor, s najväčšou pravdepodobnosťou sú stromami zaznamenané viaceré faktory limitujúce ich rast (SPEER, 2010). Vo všeobecnosti sa predpokladá, že približný vzťah medzi rastom stromov a limitujúcim klimatickým faktorom je v priebehu času nemenný (FRITTS, 1976). Treba však poznamenať, že súčasné výskumy naznačujú nesúlad s uvedeným predpokladom, t. j. môže dôjsť k zmene limitujúceho faktora. Napríklad zníženie alebo strata citlivosti letokruhovej chronológie na teploty vzduchu (BRIFFA et al., 1998a, b), zmena pozitívnej na negatívnu citlivosť voči teplotám vzduchu, alebo naopak.

COOK (1985, 1992) vo svojej práci predstavil koncepčný lineárny agregátny model, ktorý znázorňuje závislosť šírky letokruhu v danom kalendárnom roku od komplexného radu premenných vplyvujúcich na rast (1.1):

$$R_t = A_t + C_t + \delta DI_t + \delta D2_t + E_t \quad (1.1)$$

kde R_t je šírka letokruhu v roku t , A_t je vekový trend, C_t je klimatický signál, DI_t je endogénny disturbančný pulz v rámci porastu, $D2_t$ je exogénny disturbančný pulz z okolia porastu a E_t je nevysvetlená časť ročnej variability.

Cieľovým signálom je v prípade tejto práce klimaticky podmienená premenlivosť šírky letokruhových sérií. Ako už bolo spomenuté, každá letokruhová séria obsahuje aj neklimatické premenné, zapríčinené napr. disturbanciami a kompetíciou alebo biologickými vplyvmi. Pre získanie žiadaného cieľového signálu sa v dendrochronológii na odstránenie neklimatického, vekovo podmieneného rastového trendu využíva proces známy ako **detrendizácia**, resp. štandardizácia (COOK, KAIRIUKSTIS, 1990).

V súčasnosti poznáme viacero deterministických a stochastických metód, ktoré slúžia na detrendizáciu letokruhových sérií. Podrobnejšie sa danej problematike venovali napr. autori FRITTS (1976), COOK a PETERS (1981), COOK a KAIRIUKSTIS (1990), HELAMA et al. (2004) a BOŠELA et al. (2011).

Cieľom práce je vzájomné porovnanie vybraných metód detrendizácie letokruhových sérií jednotlivých stromov so zámerom čo možno najlepšie vyextrahovať klimatický signál. Očakáva sa, že s použitím kubických splajnov a rastových funkcií Korfa a Hagershoffa pri odstraňovaní vekového trendu z časovej rady letokruhových sérií sa signifikantne zvýši tesnosť korelácie medzi radiálnymi prírastkami a mesačnými klimatickými charakteristikami.

2 MATERIÁL A METÓDY

2.1 Charakteristika výskumnej plochy

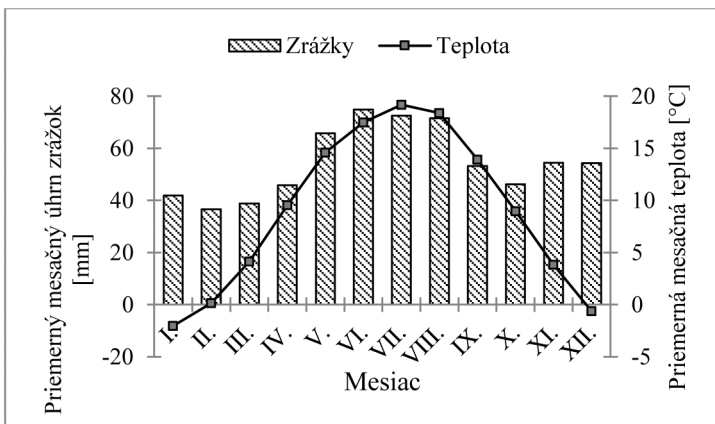
Zber empirického materiálu sa vykonal v mesiaci november 2014 v dielci 3314 na území LC Horná Ves (obr. 2.1). V teréne sa vytýčila plocha s rozmermi strán $20,0 \times 12,5$ m. Plocha bola zastúpená výhradne drevinou buk lesný (*Fagus sylvatica* L.) Na tejto ploche sa vyselektovalo a vyznačilo 20 dominantných jedincov buka.



Obr. 2.1 Lokalizácia záujmového územia

Fig. 2.1 Localization of the study area

Zdroj: <http://gis.nlcsk.org/lgis/>



Obr. 2.2 Klimadiagram pre meteorologickú stanicu Žiar nad Hronom pre obdobie 1966 – 2011

Fig. 2.2 Climograph for meteorological station Žiar nad Hronom for the period 1966 – 2011

Vek porastu je 55 rokov. Plocha sa nachádza v nadmorskej výške cca 520 m n. m. s expozíciou na východ. Priemerná ročná teplota je 6,9 °C a priemerný ročný úhrn zrážok je 730 mm. Priemerné mesačné klimatické údaje sú znázornené na obr. 2.2. Prevládajúce pôdy sú kambizeme.

2.2 Terénne merania a odber dendrochronologického materiálu

V rámci porastovej inventarizácie sa na ploche zmerali a zaznamenali údaje ako druh dreviny, hrúbka stromu meraná obvodomerom vo výške 1,3 m nad pätou kmeňa (v $d_{1,3}$), výška stromu a výška nasadenia koruny, kruhová základňa vyselektovaných stromov počítaná z dvoch svetových strán – sever a východ vo vzdialenosti 30 cm od zohľadňovaného stromu. Do poznámky sa uviedol druh poškodenia, napr. vietor, škodlivý hmyz, hniloba a pod.

Pre dendrochronologické analýzy sa Presslerovým nebožiecom odobrali z jedného stromu prírastkové vývrty vo výške $d_{1,3}$ z 2 svetových strán (zo severnej a z východnej strany). Pravdepodobnosť trafenia stržňa sa zvýšila orientovaním sa podľa prebiehajúcej osi kmeňa stromu. Počas odberu vývrtov sa najväčšia pozornosť venovala plynulému otáčaniu a vyvíjaniu rovnomerného tlaku na rukoväť nebožieca za účelom získania neporušených vzoriek. Kolmý smer vrtania k osi kmeňa sa zabezpečil kontrolou z bočnej strany stromu. Postačujúca dĺžka vývrty sa preverila priložením extrakčnej lyžice. Nakoniec sa odobraté prírastkové vývrty umiestnili do označených slamiek s priemerom 5 mm.

2.3 Laboratórne spracovanie odobratých vývrtov

Pred vlastným meraním širok letokruhov sa prírastkové vývrty umiestnili do drevených stojanov a nechali vysušiť pri izbovej teplote. Po vysušení sa nalepili do stojanov a zbrúsili najprv brúsnym papierom so zrnitosťou P 150 a neskôr P 360. Pre zvýraznenie hraníc letokruhov sa vývrty navlhčili čistou vodou. Ročné radiálne prírastky sa merali na tzv. digitalpositionometri s presnosťou $\pm 0,01$ mm. Údaje o ročných prírastkoch sa zaznamenávali v počítačovom programe DAS (Dendrochronological Analysis System), kde sa okrem iného vykonala aj grafická synchronizácia (tzv. krížové datovanie). Dôležitý ukazovateľ pri synchronizácii tvorili tzv. „pointer years“. Označujú sa nimi výrazné výkyvy (častejšie minimá ako maximá) či dokonca aj markantné úseky charakteristické pre porovnávané letokruhové série. Postup synchronizácie pozostával z niekoľkých na seba nadväzujúcich krokov. Na začiatku sa v DAS-e založili tzv. „sety“. Set tvorili letokruhové série zmeraných vývrtov. Z tohto setu sa vybrali série, ktoré sa najlepšie merali a nepredpokladal sa pri nich výskyt zdvojených alebo chýbajúcich letokruhov. Z nich sa potom vypočítala priemerná letokruhová krivka a voči nej sa zisťovali koeficienty korelácie (r) a paralelizmu (G) každej jednotlivéj letokruhovej série. Nakoniec sa voči tejto krivke grafickou metódou uskutočnila synchronizácia jednotlivých sérii na úrovni jedinca (stromu) a potom medzi stromami. Vizuálna synchronizácia sa robila po segmentoch s dĺžkou 10 až 20 rokov. Kvalita synchronizácie sa napokon preverila v programe COFECHA (HOLMES, 1983). V prípade, že obidva vývrty vykazovali dostatočne vysokú mieru súbežnosti a odpovedali si vo významných rokoch, datovaná krivka aktuálnej letokruhovej série daného stromu bola vytvorená ako priemer z týchto dvoch vývrtov.

2.4 Detrendizácia letokruhových sérií

Odstránenie vplyvu vekového trendu na veľkosť radiálneho prírastku sa previedla pomocou detrendizácie letokruhových sérií jednotlivých stromov, čím sa vlastne zabezpečila stacionarita časovej rady. Zostávajúci klimatický signál, ktorý stojí v centre našej pozornosti sa týmto posilnil.

Postup detrendizácie môžeme rozdeliť do nasledovných krokov (DRÁPELA, ZACH, 2000):

- trend letokruhovej série sa modeluje vhodnou metódou ako funkcia času,
- vypočíta sa modelová hodnota letokruhu z modelu trendu,
- vypočíta sa letokruhový index I_t podľa vzťahu 2.1

$$I_t = \frac{y_t}{\bar{y}_t} \quad (2.1)$$

kde: I_t – index radiálneho prírastku,

y_t – skutočný prírastok,

\bar{y}_t – vyrovnaná hodnota odpovedajúca vekovému trendu.

V práci sa detrendizácia letokruhových sérií vykonala podľa bežne používaných deterministických metód (pomocou lineárnej funkcie, negatívnej exponenciálnej funkcie, 2 rastových funkcií) a stochastických metód (pomocou kubického splajnu) v programe DAS a ARSTAN (Cook, 1985) (tab. 1).

Tab. 1 Vybrané metódy detrendizácie

Table 1 Selected methods of detrending

1.	–	bez detrendizácie ¹
2.	$y(t) = a + bt$	lineárna funkcia ²
3.	$y(t) = a \cdot \exp^{-bt} + c$	negatívna exponenciálna funkcia ³
4.	$\sum (y_1 - \hat{f}(x_i))^2 + \lambda^3 \int \hat{f}(x)^2 dx$	kubický splajn ⁴
5.	$y(t) = a \exp\left(\frac{b}{1-c} t^{1-c}\right) \frac{b}{t^c}$	Korfóva rastová funkcia ⁵
6.	$y(t) = a \cdot t^b \cdot \exp^{-ct} + d$	Hugershoffová rastová funkcia ⁶

y – radiálny prírastok (radial increment); t – vek (age); a, b, c, d – parametre funkcie (function parameters); x_i – premenná použitá pre predikciu prírastku (variable used for increment prediction); λ – koeficient zhladenia (smoothing parameter)

¹no detrending applied, ²linear function, ³negative exponential function, ⁴cubic spline, ⁵Korf's growth function, ⁶Hugershoff's growth function

Zo štandardizovaných letokruhových sérií jednotlivých stromov sa po odstránení autokorelácie zostavila priemerná reziduálna chronológia buka. V rámci prvej metódy bola zostavená priemerná stanovištná chronológia bez odstránenia autokorelácie.

2.5 Porovnanie tesnosti korelácie medzi hodnotami letokruhových indexov a klimatickými charakteristikami

Zistenie tesnosti korelácie a grafické spracovanie výsledkov sa vykonalo v MS Excel. Kritické hodnoty korelačného koeficienta pre hladinu významnosti $\alpha = 0,05$ (0,01) sa určili pomocou pravdepodobnostného kalkulátora v programe STATISTICA. Klimatické údaje o priemerných mesačných teplotách vzduchu a mesačných úhrnoch zrážok sa získali z meteorologickej stanice Žiar nad Hronom za obdobie rokov 1966 až 2011. Vypočítala sa priemerná teplota vzduchu a úhrn zrážok počas vegetačného obdobia, t.j. za mesiace jún až august pre obdobie rokov 1969–2011 a zistila tesnosť korelácie.

3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Celkovo sa odobralo 40 prírastkových vývrvtov z 20-tich stromov dreviny buk. Obidva prírastkové vývrty odobraté zo stromu č. 19 sa vylúčili pri synchronizácii v dôsledku veľmi úzkych a ťažko zmerateľných letokruhov. Pri synchronizácii sa dosiahli priemerne vysoké hodnoty koeficientov korelácie $r > 0,6$ a paralelizmu $G = 0,74 - 0,90$ (tab. 2).

Tab. 2 Deskriptívna štatistika letokruhových sérií
Table 2 Descriptive statistics of tree-ring series

¹ P. č.	² Séria	³ Počet rokov	⁴ r	⁵ G	⁶ MS	⁷ T – BP	⁸ T – Hollstein
1.	10BE~1	55	0,767	0,870	0,328	11,8	13,4
2.	11BE~1	48	0,759	0,904	0,305	10,6	11,4
3.	12BE~1	56	0,831	0,891	0,332	14,7	14,4
4.	13BE~1	60	0,811	0,831	0,313	12,5	14,5
5.	14BE~1	59	0,643	0,819	0,341	8,5	7,5
6.	15BE~1	60	0,858	0,831	0,320	17,8	17,7
7.	16BE~1	58	0,831	0,860	0,301	15,5	16,1
8.	17BE~1	54	0,873	0,840	0,253	14,8	16,3
9.	18BE~1	55	0,855	0,898	0,250	15,8	13,4
10.	1BE~1	55	0,856	0,889	0,260	17,3	16,9
11.	20BE~1	55	0,815	0,852	0,356	14,8	14,3
12.	2BE~1	56	0,694	0,800	0,303	11,9	12,0
13.	3BE~1	62	0,679	0,754	0,295	11,2	10,3

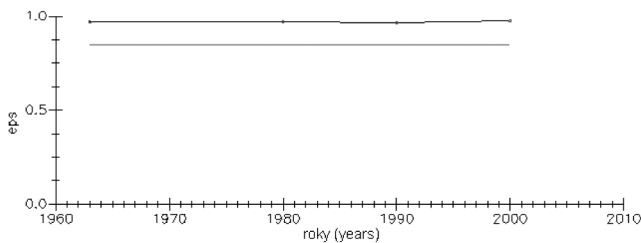
Tab. 2 Deskriptívna štatistika letokruhových sérií – pokračovanie

Table 2 Descriptive statistics of tree-ring series – continued

¹ P. č.	² Séria	³ Počet rokov	⁴ r	⁵ G	⁶ MS	⁷ T – BP	⁸ T – Hollstein
14.	4BE~1	58	0,867	0,842	0,257	15,4	18,7
15.	5BE~1	52	0,778	0,892	0,253	13,2	13,4
16.	6BE~1	59	0,799	0,793	0,310	10,6	9,0
17.	7BE~1	55	0,659	0,778	0,345	6,5	5,9
18.	8BE~1	62	0,715	0,738	0,343	9,7	12,0
19.	9BE~1	61	0,799	0,867	0,274	11,6	11,8
⁹ Spolu/ priemer	–	1 080/56	0,783	0,839	0,302	12,9	13,1

¹Serial number, ²Series, ³Number of years, ⁴Correlation with master, ⁵Gleichlaeufigkeit, ⁶Mean sensitivity, ⁷T-Value with Hollstein standardization, ⁸T-Value with Baillie-Pilcher standardization, ⁹Total/mean

Priemerná reziduálna chronológia buka bola vytvorená z 19-tich datovaných a štandardizovaných letokruhových sérií. Dĺžka priemernej reziduálnej chronológie je 62 rokov (1953 – 2014) a priemerná dĺžka letokruhových sérií je 56 rokov. Celkový počet datovaných letokruhov je 1080. Priemerná korelácia medzi sériami je 0,78 a priemerná senzitivita 0,30. Spoľahlivosť zostavených letokruhových chronológií sa preverila pomocou charakteristiky „expressed population signal - EPS“. Hodnota EPS neklesla pod hranicu 0,85 (spodná čiara) pri časovom intervale s dĺžkou okna 20 rokov a prekrytom 10 rokov (obr. 3.1).



Obr. 3.1 Zobrazenie kľzavého „expressed population signal“ (EPS) priemernej reziduálnej chronológie po detrendizácii s použitím lineárnej funkcie

Fig. 3.1 Running expressed population signal (EPS) of mean residual tree-ring chronology after detrending by linear function

Vyššia absolútna hodnota korelačného koeficienta je medzi hodnotami radiálneho prírastku a úhrnom zrážok počas obdobia vegetácie (jún – august) ako s priemernými te-

plotami vzduchu vo vegetačnom období. To znamená, že zrážky vystupujú ako limitujúci faktor pre rast buka v danej oblasti.

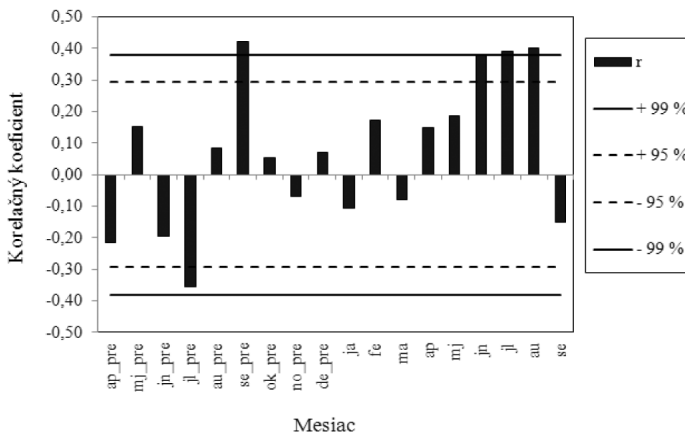
Z analýzy výsledkov tesnosti korelácie medzi hodnotami radiálneho prírastku a úhrnom zrážok počas vegetačného obdobia vyplýva, že pre najlepšiu extrakciu klimatického signálu z letokruhových sérií buka je vhodné odstrániť vekový trend pomocou kubických splajnov (tab. 3).

Tab. 3 Hodnoty korelačného koeficienta podľa jednotlivých metód detrendizácie
Table 3 Values of the correlation coefficient according to applied detrending method

Metóda ⁷	1	2	3	4a	4b	5	6
r ⁸	0,34*	0,43**	–	0,54**	0,56**	0,43**	0,46**

1 – bez detrendizácie (no detrending applied), 2 – lineárna funkcia (linear function), 3 – negatívna exponenciálna funkcia (negative exponential function), 4a – kubický splajn s dĺžkou 32 rokov, odstránenie 50 % amplitúdy signálu (32-year cubic spline with 50 % frequency cut-off), 4b – kubický splajn s dĺžkou 22 rokov, odstránenie 50 % amplitúdy signálu (22-year cubic spline with 50 % frequency cut-off), 5 – Korfová rastová funkcia (Korf's growth function), 6 – Hugershoffová rastová funkcia (Hugershoff's growth function), 7 – method, 8 – correlation coefficient, statistically significant values at $p < 0.05$ (< 0.01) are indicated with * (**)

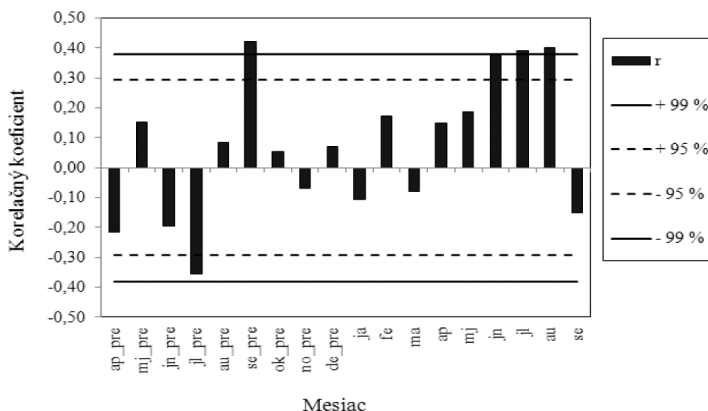
Najlepšie výsledky sa dosiahli pri použití kubického splajnu s nastavením dĺžky 22 rokov ($r = 0,56$; $p < 0,01$). Tesnosť korelácie medzi hodnotami radiálneho prírastku reziduálnej letokruhovej chronológie a mesačným úhrnom zrážok za obdobie rokov 1967 až 2011 zobrazuje obrázok 3.2.



Obr. 3.2 Tesnosť korelácie medzi radiálnymi prírastkami reziduálnej letokruhovej chronológie buka (použitý kubický splajn s dĺžkou 22 rokov) a mesačným úhrnom zrážok od apríla predchádzajúceho roka do septembra aktuálneho roka

Fig. 3.2 Simple correlations of the residual tree-ring chronology of beech (22-year cubic spline applied) with the monthly sum of precipitation from previous April to current September

Na základe obr. 3.2 môžeme konštatovať, že na rast buka signifikantne negatívne vplyvajú zrážky v júli predchádzajúceho roka ($r = -0,36$, $p < 0,05$). Signifikantne pozitívne ovplyvňujú rast zrážky v septembri predchádzajúceho roka ($r = 0,42$, $p < 0,01$) ako aj zrážky od júna do augusta v aktuálnom roku. Po odstránení vekového trendu kubickým splajnom s dĺžkou 32 rokov sa už na raste a tvorbe prírastku buka štatisticky nevýznamne podieľajú zrážky v júli v aktuálnom roku (obr. 3.3).

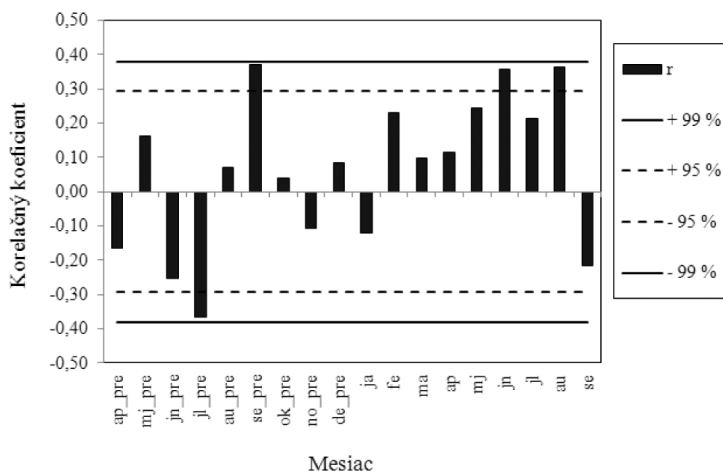


Obr. 3.3 Tesnosť korelácie medzi radiálnymi prírastkami reziduálnej letokruhovej chronológie buka (použitý kubický splajn s dĺžkou 32 rokov) a mesačným úhrnom zrážok od apríla predchádzajúceho roka do septembra aktuálneho roka

Fig. 3.3 Simple correlations of the residual tree-ring chronology of beech (32-year cubic spline applied) with the monthly sum of precipitation from previous April to current September

Kubické splajny predstavujú v súčasnosti silný a efektívny nástroj pre filtráciu neklimaticky podmienenej variability šírky letokruhov. BOŠELA et al. (2014) otestoval viacero nastavení kubického splajnu pri odstraňovaní vekového trendu. Autori zistili, že nastavením kubického splajnu s dĺžkou 10 rokov a odstránením až 70 % z amplitúdy sa dajú dosiahnuť lepšie výsledky.

Ako druhá najlepšia z metód detrendizácie sa ukázala byť metóda s využitím Huggershoffovej rastovej funkcie (obr. 3.4).

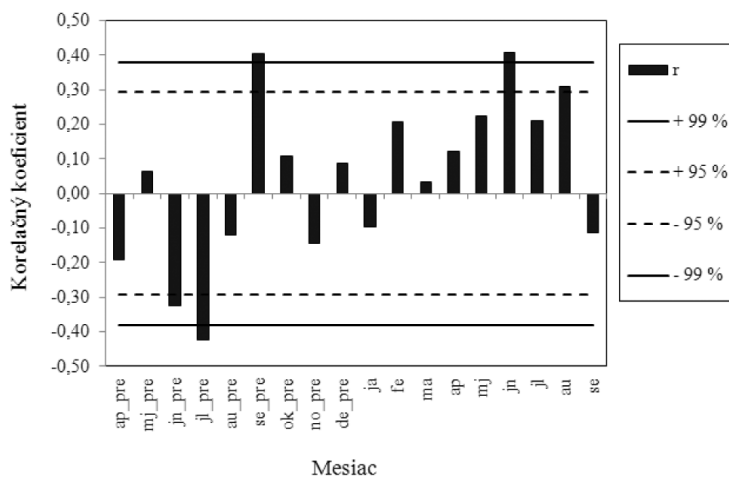


Obr. 3.4 Tesnosť korelácie medzi radiálnymi prírastkami reziduálnej letokruhovej chronológie buka (použitá Hugershoffová rastová funkcia) a mesačným úhrnom zrážok od apríla predchádzajúceho roka do septembra aktuálneho roka

Fig. 3.4 Simple correlations of the residual tree-ring chronology of beech (Hugershoff's growth function applied) with the monthly sum of precipitation from previous April to current September

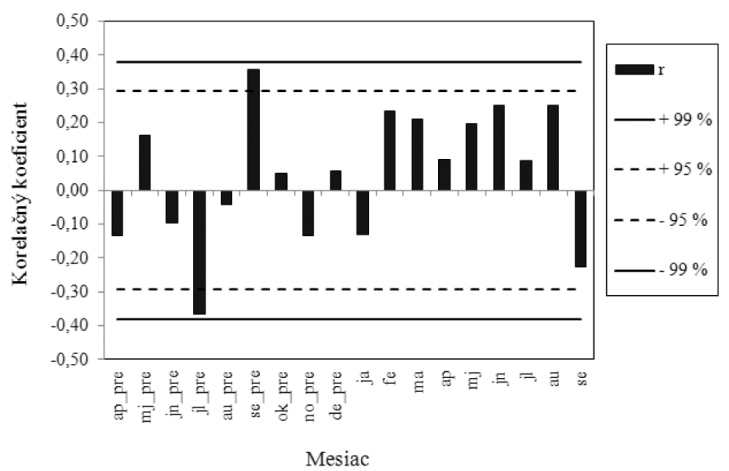
Z údajov na obr. 3.4 je vidieť, že radiálny prírastok buka signifikantne negatívne koreluje so zrážkami v júli ($r = -0,37$, $p < 0,05$) a pozitívne v septembri predchádzajúceho roka ($r = 0,37$, $p < 0,05$). V aktuálnom roku je rast signifikantne pozitívne ovplyvnený zrážkami v júni a v auguste ($r = 0,36$, $p < 0,05$). Táto rastová funkcia je kombináciou polynomickej a exponenciálnej funkcie. Dobre aproximuje rast v juvenilnej fáze a neskôr exponenciálne klesá s pribúdajúcim vekom stromu. Približne rovnaké výsledky sa dosiahli s použitím korfovej rastovej funkcie a lineárnej funkcie na odstránenie vekového trendu. Pri oboch metódach je rast buka navyše signifikantne negatívne ovplyvnený aj júnovými zrážkami v predchádzajúcom roku. Korfová rastová funkcia sa nedala použiť pre strom č. 4.

Výsledky tesnosti korelácie medzi radiálnymi prírastkami priemernej stanovištnej chronológie buka, t.j. chronológie zostavenej bez odstránenia vekového trendu a autokorelácie, a mesačnými úhrnmi zrážok zobrazuje obr. 3.6.



Obr. 3.5 Tesnosť korelácie medzi radiálnymi prírastkami reziduálnej letokruhovej chronológie buka (použitá lineárna funkcia) a mesačným úhrnom zrážok od apríla predchádzajúceho roka do septembra aktuálneho roka

Fig. 3.5 Simple correlations of the residual tree-ring chronology of beech (linear function applied) with the monthly sum of precipitation from previous April to current September



Obr. 3.6 Tesnosť korelácie medzi radiálnymi prírastkami stanovištnej letokruhovej chronológie buka (bez detrendizácie) a mesačným úhrnom zrážok od apríla predchádzajúceho roka do septembra aktuálneho roka

Fig. 3.6 Simple correlations of the site tree-ring chronology of beech (no detrending applied) with the monthly sum of precipitation from previous April to current September

Odstránenie vekového trendu pomocou negatívnej exponenciálnej funkcie sa prakticky nerealizovalo kvôli povahe časového radu nameraných širokých letokruhov. Z tohto dôvodu sa táto často aplikovaná metóda detrendizácie nemohla preveriť na našom empirickom materiáli.

Všeobecne deterministické metódy ako negatívna exponenciálna funkcia a lineárna funkcia, ktoré sa veľmi často používajú pre odstránenie vekového trendu sú menej vhodné, pretože nepripúšťajú väčšie prírastky v juvenilnej fáze porastu.

4 ZÁVER

Detrendizácia, resp. štandardizácia letokruhových sérií jednotlivých stromov predstavuje v oblasti dendrochronológie zásadný metodický krok pri zostavovaní letokruhovej chronológie danej dreveniny. Týmto sa docielili odstránenie najmä vekového trendu a zabezpečí stacionarita časovej rady radiálnych prírastkov.

V práci došlo k analýze klimatického signálu v letokruhových chronológiách buka lesného a porovnaní 6 vybraných metód detrendizácie, ktoré sa v súčasnosti najčastejšie uplatňujú. Na základe dosiahnutých výsledkov je možné odporučiť, že pre čo možno najlepší extrakciu klimatického signálu z letokruhovej chronológie buka je vhodné použiť kubický splajn. Kubický splajn spomedzi ostatných metód detrendizácie predstavuje flexibilnú krivku, ktorá najlepšie vystihuje priebeh radiálnych prírastkov v čase a dokonale odstraňuje vekový trend. Pri Hegershoffovej rastovej funkcii a lineárnej funkcii sa dosiahli porovnateľne dobré výsledky.

Predtým než sa rozhodneme, ktorú z metód detrendizácie letokruhových sérií použijeme, mali by sme v prvom rade uvažovať s vplyvom rôznych faktorov či už biotických, abiotických alebo antropogénnych. Tieto faktory narúšajú prirodzený pokles šírky letokruhov so zvyšujúcim sa vekom stromov. Preto je dôležitý individuálny prístup k jednotlivým letokruhovým sériám v procese detrendizácie. V prípadoch, kde v letokruhových sériách býva viac než jedno lokálne maximum je lepšie na odstránenie vekového trendu použiť niektorú zo stochastických metód detrendizácie, napr. pomocou kubických splajnov.

Analýza tesnosti korelácie preukázala, že rast buka v danej oblasti limituje predovšetkým mesačný úhrn zrážok než priemerná mesačná teplota vzduchu. Signifikantne pozitívne vplyvajú na rast buka zrážky od začiatku júna do konca augusta v aktuálnom roku a zrážky v septembri predchádzajúceho roka. Naproti tomu úhrn zrážok za júl v predchádzajúcom roku má negatívny účinok na jeho rast.

Treba poznamenať, že porovnávané metódy detrendizácie by sa žiadalo preveriť na rozsiahlejšom empirickom materiáli, príp. na inej hlavnej drevenine ako napr. smrek. Keďže použitie rastových funkcií má svoje logické opodstatnenie (dobré vystihujú rastový trend) je potrebné preveriť ďalšie rastové funkcie a zároveň i rôzne varianty nastavenia kubických splajnov, resp. vyskúšať dvojité detrendovanie.

Literatúra

- BOŠEĽA, M. – KULLA, L. – MARUŠÁK, R. 2011. Detrending ability of several regression equations in tree-ring research: a case study based on tree-ring data of Norway spruce (*Picea abies* [L.]). *In* Journal of Forest Science, 2011, vol. 57, no. 11, p. 491–499.
- BOŠEĽA, M. – PETRÁŠ, R. – SITKOVÁ, Z. – PRIWITZER, T. – PAJTÍK, J. – HLAVATÁ, H. – SEDMÁK, R. – TOBIN, B. 2014. Possible causes of the recent rapid increase in the radial increment of silver fir in the Western Carpathians. *In* Environmental Pollution, 2014, vol. 184, p. 211–221.
- BRIFFA, K. R. – JONES, P. D. – SCHWEINGRUBER, F. H. – OSBORN, T.J. 1998a. Influence of volcanic eruptions on Northern Hemisphere summer temperature over the past 600 years. *In* Nature, 1998, vol. 393, p. 450–455.
- BRIFFA, K. R. – SCHWEINGRUBER, F. H. – JONES, P. D. – OSBORN, T.J. – SHIYATOV, S. G. – VAGANOV, E. A. 1998b. Reduced sensitivity of recent tree-growth to temperature at high northern latitudes. *In* Nature, 1998, vol. 391, p. 678–681.
- COOK, E. R. – PETERS, K. 1981. The smoothing spline: a new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. *In* Tree-ring bulletin, 1981.
- COOK, E. R. 1985. A time series analysis approach to tree ring standardization. Dissertation at Graduate College, University of Arizona, Tucson, 1985. 171 p.
- COOK, E. R. – JOHNSON, A. H. – BLASTING, T. J. 1987. Forest decline: modeling the effect of climate in tree rings. *In* Tree Physiology, 1987, vol. 3, no. 1, p. 27–40.
- COOK, E. R. – KAIRIUKSTIS, L. A. 1990. *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher. 1990. 394 pp.
- COOK, E. R. 1992. A conceptual linear aggregate model for tree rings. *In*: E. R. COOK and L. A. KAIRIUKSTIS eds., *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher. 1990. p. 98–104.
- DRÁPELA, K. – ZACH, J. 2000. *Dendrometrie (Dendrochronologie)*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2000. 152 pp.
- FRITTS, H. C. 1976. *Tree-rings and climate*. London: Academic Press. 1976. 567 pp.
- HELAMA, S. – LINDHOLM, M. – TIMONEN, M. – ERONEN, M. 2004. Detection of climate signal in dendrochronological data analysis: a comparison of tree-ring standardization methods. *In* Theoretical and Applied Climatology, 2004, vol. 79, no. 3-4, p. 239–254
- SPEER, H. J. 2010. *Fundamentals of tree-ring research*. University of Arizona Press, 2010. 333 pp. ISBN 978-0-8165-2684-0.
-

Adresa autora:

Ing. Vlastimil Murgaš
Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie
Lesnícka fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
Slovenská republika
e-mail: xmurgasv@tuzvo.sk

Komparácia detrendizačných metód pri analýze klimatického signálu v letokruhovej chronológii buka lesného.

Abstrakt

Odstránenie vplyvu vekového trendu na veľkosť radiálneho prírastku sa v dendrochronológii tradične prevádza pomocou detrendizácie (indexácie) letokruhových sérií jednotlivých stromov za účelom dosiahnutia stacionarity časového radu. Zostávajúci klimatický signál, ktorý stojí v centre našej pozornosti sa týmto posilní. V práci sa porovnali viaceré deterministické a stochastické metódy detrendizácie letokruhových sérií pre zostavenie štandardnej chronológie buka lesného (*Fagus sylvatica* L.) s cieľom vyextrahovať čo možno najlepší klimatický signál. Detrendizácia sa vykonala podľa bežne používaných a novších metód (pomocou lineárnej funkcie, negatívnej exponenciálnej funkcie, kubických splajnov, dvoch rastových funkcií Korfa a Hegershoffa). Empirický materiál pozostával celkovo z 40-tich prírastkových vývrtov buka odobratých na záujmovom území Veľké Pole v okrese Žarnovica. Pre zistenie tesnosti korelácie medzi časovými radmi letokruhových sérií a klimatickými charakteristikami – teplota vzduchu a úhrn zrážok sa využil štatistický program STATISTICA. Z výsledkov komparatívnej analýzy vyplynuli niektoré dôležité obmedzenia a prínosy preventívnych metód detrendizácie.

Kľúčové slová: detrendizácia, klimatický signál, dendroklimatológia, letokruhy, vekový trend

NOVÝ MODEL VIRTUÁLNEJ REALITY RASTOVÉHO SIMULÁTORA SIBYLA

Peter VALENT

Valent, P.: New virtual reality model of growth simulator SIBYLA. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 57, Suppl. 1, 2015, 103–113.

System CAVE, built at Technical University in Zvolen, used for visualization and interaction with virtual forest of growth simulator SIBYLA fulfills all assumptions of sophisticated forest trainer. Practical realization of interventions in virtual reality still lacks complexity of tree crown visualization. Crowns are visualized as four rotated vertical planes, which can not provide user with sufficient experience of competition between trees when looking into crown space. Goal of the work is to propose practical solution for improvement of forest virtual reality produced by growth simulator SIBYLA by adding horizontal tree crown projection, as well as creating textures according to tree species. Approach used in modifying of forest virtual reality source code in VRML language with concept of texture creation is defined in methodology of the work. Result is complex solution, which will enrich user experience in virtual forest for possibility of assessing the competition relations assessment in crown space what is a key aspect of thinning concept realization in virtual reality.

Key words: forest trainer, CAVE system, simulator SIBYLA

1 ÚVOD

Simulátory rastu lesa napodobňujúce chovanie reálneho lesného ekosystému, sú veľmi vhodným nástrojom pre optimalizáciu jeho obhospodarovania. Zohľadňujú široké spektrum faktorov, ktoré na lesný ekosystém pôsobia. Výsledky takýchto simulácií majú často číselnú alebo grafickú podobu. Do popredia sa však čoraz viac dostáva otázka ich vizualizácie – užívateľ si potrebuje vytvoriť jasnú predstavu o výstupoch simulácií, ktoré sú často veľmi ťažko interpretovateľné inou formou než vizuálnym vnemom.

Na vizualizáciu týchto výstupov možno používať rôzne nástroje, od tých najjednoduchších až po sofistikované vizualizačné zariadenia. Takým je aj systém typu CAVE (CRUZ-NEIRA et al. 1993) vybudovaný pri Technickej univerzite vo Zvolene. Slúži na vizualizáciu a interakciu s virtuálnym lesom produkovaným rastovým simulátorom SIBYLA (FABRIKA 2005), čím vzniká jedinečný tréningový výcvikový les. Pri realizácii prevádzkových zásahov je kľúčové zhodnotenie konkurenčnej situácie v korunovom priestore stromov. Pre tieto účely je potrebné aby boli vizualizované korunové projekcie stromov, čo v pôvodnej verzii virtuálneho lesa rastového simulátora SIBYLA chýba.

Práca sa zaoberá úpravou zdrojového kódu súboru virtuálnej reality lesa v jazyku VRML (ŽÁRA 1999) vložení horizontálnej roviny predstavujúcej korunovú projekciu stromu ako aj tvorbou príslušných textúr korunových projekcií podľa jednotlivých drevín.

2 ROZBOR PROBLEMATIKY

Les je dlhoveký a dynamický systém, na ktorý pôsobí množstvo faktorov rôznej povahy, ktoré zároveň nie je vždy možné objektivizovať. Dopad hospodárskych opatrení na les väčšinou nie je okamžitý ale sa dostavuje so značným časovým oneskorením. Efektívnym východiskom zo zložitej situácie je využitie modelov rastu lesa, ktoré sa snažia napodobniť reálny lesný ekosystém na základe poznatkov o jeho štruktúre a/alebo chovaní (PRETZSCH 2009). Forma počítačového programu s možnosťou experimentovania s takýmto modelom predstavuje rastový simulátor. Ten je schopný predpovedať ako sa les bude v budúcnosti vyvíjať pri určitom spôsobe jeho pestovného usmerňovania, v určitých klimatických a stanovištných podmienkach a pri určitej východiskovej štruktúre.

2.1 Modely rastu lesa pre účely trénera výchovy lesa

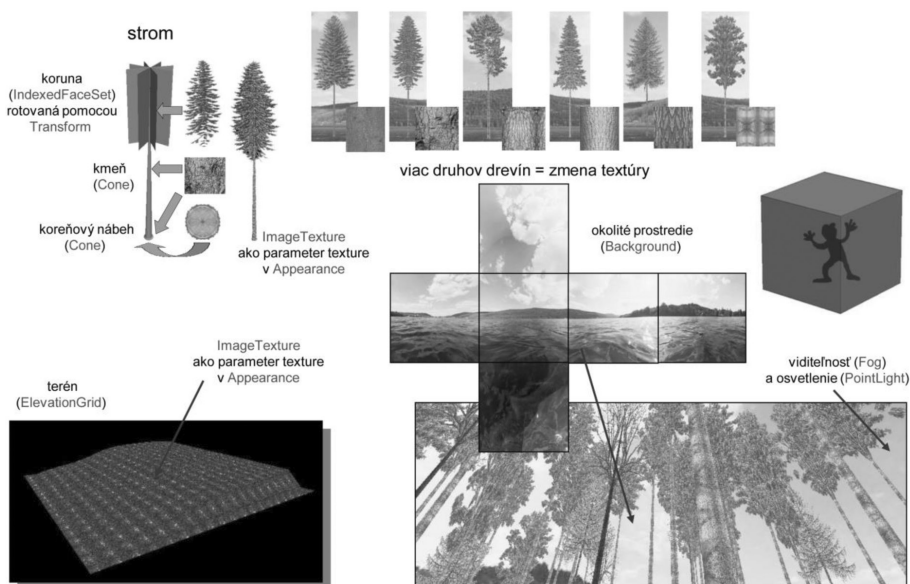
Z pohľadu využitia modelov rastu lesa pre účely trénera prebiehových zásahov v lese je prvým predpokladom adekvátna modelovacia úroveň. Tréning prebiehových zásahov s individuálnym prístupom k jednotlivým stromom si vyžaduje nasadenie stromového modelu. Príkladom tejto kategórie modelov sú modely STAND (PUKKALA 1987), SILVA (PRETZSCH et al. 1992), PROGNAUS (STERBA 1995), SIBYLA (FABRIKA 2005) a iné. Modelujú vývoj jednotlivých stromov a ich vzájomné spolužitie v čase a priestore.

Trenažér prebiehových zásahov viazaný na jednotlivé stromy si však vyžaduje aj vizualizačnú nadstavbu, ktorá zabezpečuje zobrazovanie výstupov simulácie, čím poskytuje užívateľovi vierohodnú reprezentáciu modelovaného lesného ekosystému. Vytvára tak predpoklady pre možnosť rozhodovania sa o vytážení resp. ponechaní jednotlivých stromov do ďalších rokov simulácie. Aby tento rozhodovací proces prebiehal úspešne je potrebné poskytnúť užívateľovi vizuálnu reprezentáciu čo možno najvierohodnejšiu a komplexnú. Úloha to nie je jednoduchá, vzhľadom na množstvo faktorov, ktoré pri realizácii prebiehového zásahu v reálnom lese je potrebné si všímať. Pre trenažér prebiehových zásahov je dôležitým aspektom interaktivity s vizualizovaným lesom a imerzivitou prostredia, čo spĺňa virtuálna realita. Vizualizačnými nástrojmi zobrazujúcimi výsledky rastových prognóz sú napríklad Tree-View (SEIFERT 1998) používaný pre modely SILVA (PRETZSCH et al. 1992) a BALANCE (GROTE a PRETZSCH 2002), či systémy na báze virtuálnej reality jazyka VRML97 ako Virtual Forester (LANWERT 2007) a vizualizačná nadstavba modelu SIBYLA (FABRIKA 2003). Model SIBYLA je stromovým modelom s priamo integrovanou, vlastnou vizualizačnou nadstavbou, čo z neho robí model veľmi vhodný pre tieto účely.

2.1.1 Virtuálny les rastového simulátora SIBYLA

Rastový simulátor SIBYLA je stromový, semi-empirický, pozične závislý model, parametrizovaný pre drevniny smrek, jedľa, borovica, buk a dub. Je vhodný pre rovnovéké i rôznovéké, 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 2005). Bohatá dátová základňa je domáceho i zahraničného pôvodu.

Rastový simulátor SIBYLA disponuje vizualizačnou nadstavbou v podobe prehliadacieho programu MARKO POLO 3D prieskumník. Výstupy z rastového simulátora sú využité pri tvorbe virtuálnej reality lesa syntaxou jazyka VRML97. Princíp vizualizácie je zachytený na obrázku 1.



Obr. 1 Vizualizácia lesného porastu prostredníctvom virtuálnej reality jazyka VRML v rastovom simulátore SIBYLA (FABRIKA 2005).

Fig. 1 Forest stand visualization via virtual reality of VRML language in growth simulator SIBYLA (FABRIKA 2005).

Z pohľadu predkladanej práce je dôležitou vizualizácia jednotlivého stromu, ostatné elementy prostredia virtuálneho lesa sú detailne objasnené v publikácii FABRIKA a PRETZSCH (2011).

Strom je rozdelený do troch častí: koreňový nábeh, kmeň, koruna. Kmeň a koreňový nábeh predstavujú prekrývajúce sa kužele, zatiaľ čo koruna pozostáva zo štyroch rovín pootočených o 45°. Na kmeň a koreňový nábeh sú umiestnené textúry kôry danej dreviny. Na pootočené roviny reprezentujúce korunu je nanosená textúra koruny dreviny s priehľadným pozadím (FABRIKA 2005). Stromy sú umiestnené na digitálnom modeli reliéfu v ich príslušnom priestorovom rozmiestnení.

Pri realizácii praktického zásahu vo virtuálnom lese však užívateľ potrebuje vyhodnotiť konkurenciu medzi korunami jednotlivých stromov. Avšak pri pohľade do koronového priestoru sa zvislé roviny reprezentujúce korunu stromu zobrazujú len ako línie (obrázok 2), z ktorých možno len ťažko posúdiť jej veľkosť a mieru vzájomnej konkurencie s korunami okolitých stromov.

Je preto nevyhnutné vyriešiť otázku vizualizácie korunových projekcií jednotlivých stromov vo virtuálnej realite. Tie sú potrebné pri rozhodovaní o realizácii zásahov vo virtuálnom lese zobrazovanom nielen na užívateľských počítačoch s nainštalovaným modelom SIBYLA, ale najmä pre účely trénažera výchovy lesa v prepojení na systém typu CAVE (VALENT 2014) vybudovaný na TU vo Zvolene.



Obr. 2 Pohľad do koruny stromu vo virtuálnej realite rastového modelu SIBYLA.
Fig. 2 View into crown of the tree in virtual reality of growth model SIBYLA.

3 CIELE PRÁCE

Hlavným cieľom práce je modifikácia zdrojového kódu virtuálnej reality lesa produkovaného rastovým simulátorom SIBYLA v jazyku VRML97 formou doplnenia horizontálnej projekcie korún stromov. Vedľajším cieľom je tvorba textúr korunových projekcií podľa jednotlivých drevín, ktoré budú vo virtuálnej realite lesa zobrazované. Cieľom je vytvoriť komplexné riešenie, ľahko implementovateľné a použiteľné rastovým simulátorom SIBYLA pri generovaní virtuálneho lesa novej generácie, a tým zároveň posunúť tréner výchovy lesa na vyššiu úroveň.

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), zameranej je vytvorenie unikátneho nástroja – trénera výchovy lesa.

Trener výchovy lesa bude univerzálny pre použitie tak pri tréningu manažmentu lesa v jednotlivých vygenerovaných porastových štruktúrach aj pri manažmente lesnej krajiny, čím nadväzuje na etapu PASCAL (Prognosis and Simulation of Computer Aided Landscape) projektu APVV-0069-12 NEWTON.

4 METODIKA

Metodický postup vytvorenia novej verzie virtuálneho lesa rastového simulátora SIBYLA pozostáva z vyriešenia dvoch základných úloh. Prvou je úprava už existujúceho zdrojového kódu virtuálneho lesa v jazyku VRML tak, aby sa pri vizualizácii korún jednotlivých stromov zobrazovala aj horizontálna rovina reprezentujúca korunovú projekciu stromu. Druhou nemenej dôležitou úlohou je tvorba textúr korunových projekcií podľa jednotlivých drevín vizualizovaných rastovým simulátorom SIBYLA. Výsledkom bude komplexné riešenie zobrazovania virtuálneho lesa pre účely rastových simulácií.

4.1 Metodika úpravy VRML súboru virtuálnej reality lesa modelu SIBYLA

Štruktúru súboru virtuálnej reality lesa v jazyku VRML rastového simulátora SIBYLA je možné analyzovať z ktoréhokoľvek vyprodukovaného súboru virtuálnej reality lesa. Veľmi dobre je však zdokumentovaná v práci FABRIKA 2003. V zdrojovom kóde sú zadané všetky elementy prostredia virtuálneho lesa. Sú to zvuky, osvetlenie, pozadie, hmla, krajina s terénom, používané výtyčky, kryštálové gule, rastliny a samozrejme stromy. Z pohľadu cieľov predkladanej práce sa zameriame na vizualizáciu jednotlivého stromu, resp. jeho koruny.

Všeobecný prototyp stromu pozostáva z čiastkových prototypov: koreňa, kmeňa, koruny, a označenia stromu (cieľový, neoznačený, ťažený). Jednotlivé dreviny majú zadané svoj vlastný prototyp, ktorý vychádza zo spomínaného všeobecného prototypu stromu a líši sa používanými textúrami kôry a koruny. Ako už bolo spomínané v predchá-

dziejúcich kapitolách, pri pohľade do korún stromov sa zvislé roviny reprezentujúce korunu stromu zobrazujú len ako línie (zaniká priestorový rozmer koruny) z ktorých možno ťažko posúdiť jej veľkosť a mieru vzájomnej konkurencie s korunami okolitých stromov.

Riešenie spočíva v doplnení horizontálnej roviny s textúrou príslušnej dreveniny, čo si vyžaduje vytvorenie nového prototypu a jeho integráciu do prototypu koruny, čím sa automaticky stáva súčasťou prototypu stromu a následne aj prototypov podľa jednotlivých drevín. Z dôvodu rozsiahlosti zdrojového kódu sú v práci uvedené len jeho zmeny s vysvetlivkami.

Pre vytvorenie nového prototypu korunovej projekcie je potrebné začať všeobecnou definíciou korunovej projekcie, tá pozostáva z horizontálne umiestnenej roviny, ktorá má tvar osemuholníka vytvoreného pomocou uzlu `IndexedFaceSet` s definovanými relatívnymi súradnicami vrcholov. Vrcholy osemuholníka korešpondujú s hranami zvislých rovín pôvodného prototypu koruny. Všeobecná definícia je nasledovná:

```
#-----
#vseobecna defincia korunovej projekcie
#-----
PROTO Crown_Projection [field MFString url [] field SFVec3f scale 10 10 10]{
Group {children [ Transform { scale IS scale children [ DEF _Crown_Projection Shape {
appearance Appearance {texture ImageTexture {url IS url}}
geometry IndexedFaceSet {coord Coordinate
{point [+.5 0 0, +.354 0 -.354, 0 0 -.5,-.354 0 -.354, -.5 0 0, -.354 0 +.354, 0 0 +.5,
+.354 0 +.354]} coordIndex [0 1 2 3 4 5 6 7 -1] solid FALSE}}]}
Transform {scale IS scale children USE _Crown_Projection}}}]

```

Po vytvorení všeobecnej definície korunovej projekcie vytvoríme prototyp korunovej projekcie nazvaný `PROTO PROJECTION`, ktorý vyzerá nasledovne:

```
#-----
#definicia korunovej projekcie
#-----
PROTO PROJECTION [
field MFString texture_url []
field SFVec3f translation 0 0 0
field SFVec3f scale 1 1 1]{
Group {children [Transform {translation IS translation scale IS scale children [
Crown_Projection {url IS texture_url scale 1 1 1}}]}

```

Následne je v prototypu stromu (`PROTO TREE`) zadefinovaná url adresa pre prototyp korunovej projekcie ako aj jej východiskové relatívne umiestnenie v rámci koruny cez premennú `projection` parameter nasledovne:

```
field MFString projection_texture_url []
field SFFloat projection_parameter 0.5

```

Za nimi nasleduje integrácia prototypu `PROTO PROJECTION` do prototypu stromu `PROTO TREE` pričom veľkosť (šírka) korunovej projekcie sa preberá z hodnoty `crown_parameters` (obsahuje šírku koruny) nasledovne:

```
DEF PROJEKCIA Transform {children [PROJECTION {texture_url IS projection_texture_url scale
IS crown_parameters} ] ] }
```

V definícii stromu sa nachádza aj skript pre prepočet umiestnenia a veľkosti jednotlivých častí stromu, ktoré sú vo VRML súbore reprezentované hodnotami premenných (hrúbka, výška, šírka/priemer a výška nasadenia koruny). Skript je zadefinovaný názvom

PREPOCET a novovytvorenú korunovú projekciu do neho potrebujeme integrovať zadenovaním objektu a používanej premennej (projection parameter ktorý pri výpočte bude vystupovať ako pr_param):

```
field SFNode objekt_projekcia USE PROJEKCIA
field SFFloat pr_param IS projection_parameter
```

Napokon samotný výpočet umiestnenia korunovej projekcie na požadovanú relatívnu pozíciu v rámci dĺžky koruny (výška stromu – výška nasadenia koruny). Číslo 1 znamená posun v smere osi y (0-x, 2-z) - v zmysle osi jazyka VRML je to zvislý smer a hodnoty rastú zdola nahor.

```
objekt_projekcia.translation[1] = height - ((1-pr_param)*cr_param[1]);
```

Parameter projection parameter je následne zadenovaný pri každom prototypu dreveny zvlášť, jeho hodnota odráža relatívnu vzdialenosť od začiatku koruny v rámci jej dĺžky – t.j. miesto kde je koruna dreveny najširšia, pretože šírka korunovej projekcie je totožná s priemerom koruny stromu. Príklad hodnoty u dreveny Smrek (SM):

```
field SFFloat projection_parameter 0.3
```

Hodnota 0,3 znamená, že korunová projekcia bude umiestnená v relatívnej vzdialenosti 0,3/1 dĺžky koruny v smere od jej začiatku. Pri každom prototypu dreveny je popri projection parameter definovaná aj url adresa pre textúru korunovej projekcie príslušnej dreveny a projection parameter. Príklad dreveny SM:

```
projection_texture_url "textury/projekcie/pSM.png"
projection_parameter IS projection_parameter
```

Uvedeným metodickým postupom je dosiahnuté vytvorenie horizontálnej roviny v rámci koruny každého stromu, výškovo umiestnenej v závislosti od dreveny, so šírkou korunovej projekcie rovnou šírke koruny konkrétneho stromu. Na túto rovinu je potrebné umiestniť textúru korunovej projekcie.

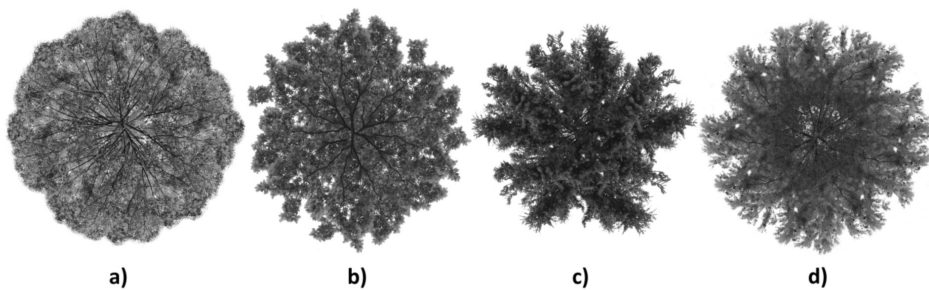
4.2 Metodika tvorby textúr korunových projekcií drevín

Pre tvorbu textúr korunových projekcií podľa jednotlivých drevín bolo potrebné najprv vyhotoviť fotografie ich korún. Fotografickou technikou bol fotoaparát CANON EOS 550D s objektívom 18-55IS. Kvôli vhodným svetelným podmienkam a minimálnym rušivým vplyvom na fotografiách boli fotené koruny solitérnych jedincov t.j. na okraji lesa resp. v Arboréte Borová hora. Fotografie boli následne spracované v prostredí grafického editora Adobe Photoshop CS4, kde sa pomocou nástrojov pre selekciu („mnohouholníkové laso“) vybrali časti koruny – izolované konáre, ktoré boli následne vhodne veľkosťne prispôsobené. Nástrojom „výber – rozsah farieb“ boli vyznačené a následne odstránené nežiaduce farebné zložky (napr. obloha). Týmto postupom vznikol izolovaný rozvetvený konár s asimilačnými orgánmi, a jeho multiplikáciou a rotáciou v obrysovej vrstve tvaru osemuholníka bola vytvorená kostra korunovej projekcie. Nepravidelnosť prechodov medzi jednotlivými duplikovanými vrstvami bola dosiahnutá pomocou nástroja „klonovacia pečiatka so vzorkou“. Nepravidelnosť obrysu korunovej projekcie vpísanej do tvaru osemuholníka sa zabezpečila obdobným spôsobom.

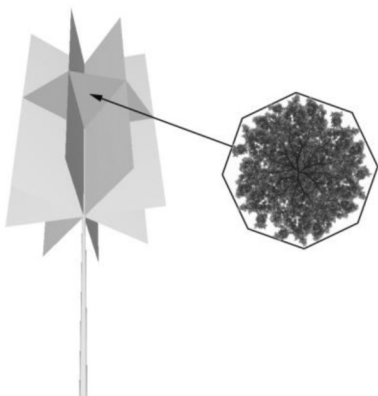
U textúr bola nastavená priehľadnosť pozadia na úroveň 30 % pri použití formátu PNG. Textúry boli nakopírované do podadresára „projekcie“ vytvoreného v rámci koreňového adresára „textury“ virtuálneho lesa rastového simulátora SIBYLA. Pri otvorení súboru virtuálnej reality sú textúry korunových projekcií veľkosťne prispôsobené pomocou skriptu spomínaného v predošlej kapitole a zobrazené na horizontálnych rovinách zodpovedajúcich drevín.

5 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Výsledkom práce je upravený zdrojový kód virtuálnej reality lesa v jazyku VRML, ktorý obohacuje doterajšiu vizualizáciu lesa o horizontálnu rovinu v tvare osemuholníka s textúrou s priehľadným pozadím. Pre rozsiahlosť zdrojového kódu (pri vizualizácii s rastlinami a terénom až 10 000 riadkov zdrojového kódu), tu nie je publikovaný celý, avšak v metodologickej časti sú zachytené všetky zmeny oproti jeho pôvodnej podobe. Spôsobom definovaným v metodologickej časti bolo vytvorených celkovo 28 textúr korunových projekcií, z čoho 26 textúr reprezentuje jednotlivé vizualizované druhy drevín a ostatné 2 sú textúry ihličnatého a listnatého suchára. Ukážka textúr je na obrázku 3. Dosiahnuté výsledky schematicky znázorňuje obrázok č. 4.

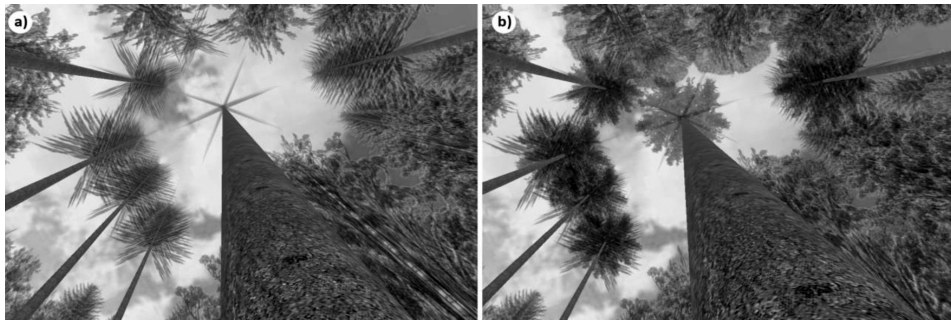


Obr. 3 Korunové projekcie podľa drevín: a) buk, b) dub, c) smrek, d) borovica.
Fig. 3 Crown projections by tree species: a) beech, b) oak, c) spruce, d) pine.



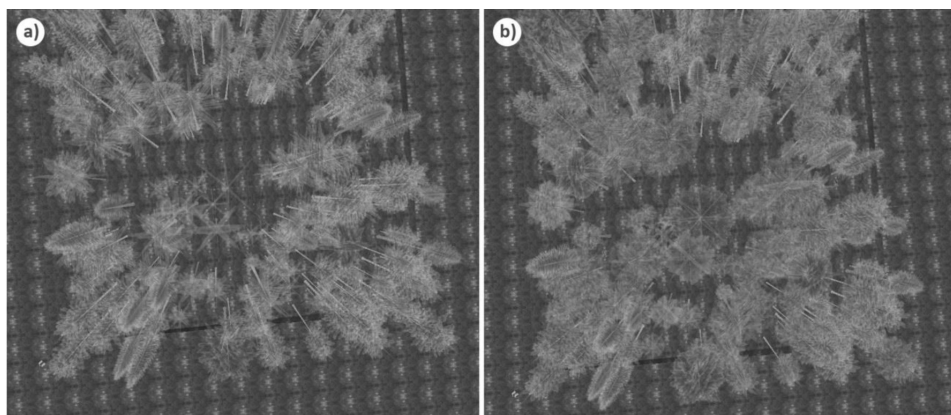
Obr. 4 Horizontálna rovina v rámci koruny stromu s príslušnou textúrou korunovej projekcie.
Fig. 4 Horizontal plane in tree crown with appropriate crown projection texture.

Horizontálne projekcie korún posúvajú trenážer výchovy lesa na novú úroveň. Užívateľ má v takomto prostredí dostatok informácií a dokáže si vytvoriť zrozumiteľnú predstavu o konkurencii v korunovom priestore, ktorá je z pohľadu realizácie výchovných opatrení mimoriadne dôležitá. Efekt vizualizácie korunových projekcií je neprehliadnuteľný a nielenže napomáha v rozhodovaní sa o zásahu v lese ale i dotvára celkový dojem z virtuálneho lesa. Dokumentujú to obrázky 5 a 6.



Obr. 5 Pohľad od päty stromu – porovnanie vizualizácie koruny stromu a) bez korunovej projekcie, b) s korunovou projekciou.

Fig. 5 View from the tree foot – tree crown visualization comparison a) without crown projection, b) with crown projection.



Obr. 6 Pri pohľade zhora – porovnanie vizualizácie koruny stromu a) bez korunovej projekcie, b) s korunovou projekciou.

Fig. 6 View from above – tree crown visualization comparison a) without crown projection, b) with crown projection.

Obrázky 4 a 5 veľmi dobre zachytávajú zmeny a samotný prínos predkladanej práce pre vizualizáciu virtuálneho lesa rastového simulátora SIBYLA. Trenažér výchovy lesa (VALENT 2014) na báze rastového simulátora SIBYLA a sofistikovaného vizualizačného systému typu CAVE vďaka tomu disponuje virtuálnou realitou, ktorá je s korunovými projekciami ešte vierohodnejšia a bližšia realite. Úlohou do blízkej budúcnosti ostáva aj nahradenie pôvodných textúr korún stromov na zvislých rovinách za reprezentatívnejšie a detailnejšie. Z dlhodobšieho hľadiska sa pri vizualizácii lesa ako perspektívne javí využitie „game enginov“ umožňujúcich vizualizáciu scén s detailnými modelmi, prvkami fyziky, pohybu objektov, striedaním počasia, rôznymi dynamickými zmenami a pod. Virtuálny les sa tým opäť o krok priblíži k realite.

6 ZÁVER

Pri tvorbe trenažérov v akejkoľvek oblasti ľudskej činnosti sa kladie veľký dôraz na ich realističnosť. Preto sú konštruované za účelom čo najvierohodnejšej reprezentácie reálneho systému pre účely simulácií, tréningu a pod. Obzvlášť v procese vzdelávania a tréningu, aby si ich užívateľ od začiatku vybudoval správne návyky a postupy realizácie trénovaných úkonov. Výnimkou nie je ani spomínaný trenažér výchovy lesa. Pokiaľ chceme pre jeho užívateľov pripraviť prostredie blízke reálnemu lesnému ekosystému so všetkým čo k tomu patrí, je potrebné doňho zakomponovať množstvo elementov. Rast lesa je zložitý proces, zmeny sa často prejavujú so značným oneskorením, rovnako ako aj zásahy v ňom musia byť realizované citlivo zohľadňujúc množstvo faktorov. Pre realizáciu prebiecky je mimo iného dôležitá aj konkurencia medzi korunami stromov v korunovom priestore. Doplnením korunovej projekcie je otázka jej posudzovania vyriešená. Užívateľ sa v prostredí virtuálneho lesa vizualizovaného systémom CAVE pohľadom do korunového priestoru získa všetky potrebné informácie. To mu pomôže v procese rozhodovania sa pri realizácii zásahu, ktorý tým bude adresnejší z pohľadu účelu vykonávaného výchovného opatrenia.

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

7 Zoznam použitej literatúry

- 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.
- FABRIKA, M., 2003: Virtual forest stand as a component of sophisticated forestry educational systems. *Journal of Forest Science*, 49 (9), s. 419–428.
- FABRIKA, M., 2005: Simulátor biodynamiky lesa SIBYLA. Konceptia, konštrukcia a programové riešenie. Habilitačná práca, Technická univerzita vo Zvolene, 238 s.
- FABRIKA, M., PRETZSCH, H., 2011: Analýza a modelovanie lesných ekosystémov. Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen 2011, 599 s.

- GROTE, R., PRETZSCH, H., 2002: A model for individual tree development based on physiological processes. *Plant Biology* 4, s. 167–180.
- LANWERT, D., 2007: Funktions-/Strukturorientierte Pflanzenmodellierung in E-Learning-Szenarien. Dissertation thesis. Georg-August Universität Göttingen, 208 s.
- PRETZSCH, H., 1992: Konzeption und Konstruktion von Wuchsmodellen für Rein- und Mischbestände. *Forstliche Forschungsberichte München*, Nr. 115, 358 s.
- PRETZSCH, H., 2009: *Forest Dynamics, Growth and Yield. From Measurement to Model*. Springer 664 s.
- PUKKALA, T., 1987: Simulation model for natural regeneration of *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Betula pendula* and *Betula pubescens*. *Silva Fenica*, Vol. 21, s. 37–53.
- SEIFERT, S., 1998: Dreidimensionale Visualisierung des Waldwachstums. Diplomarbeit im Fachbereich Informatik der Fachhochschule München in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Ludwig-Maximilians-Universität München, München, 133 s.
- STERBA, H., 1995: PROGNAUS – ein absandsunabhängiger Wachstumssimulator für ungleichaltrige Mischbestände. DVFF – Sektion Ertragskunde, Joachimstahl, s. 173–183.
- VALENT, P., 2014: Vizualizácia lesa ako nástroj pre podporu rozhodovania a lesnícke vzdelávanie. In *Acta Facultatis Forestalis Zvolen*. 2014. zv. Roč. 56, č. Suppl. 1, s. 49-64. ISSN 0231-5785.
- ŽÁRA, J., 1999: VRML97 Laskavý průvodce virtuálními světy. Computer Press, Brno, 238 s.
-

Adresa autora:

Ing. Peter Valent

Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie – C321

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24

960 53 Zvolen

Slovenská republika

e-mail: peter.valent@tuzvo.sk

Nový model virtuálnej reality rastového simulátora SIBYLA

Abstrakt

Zariadenie typu CAVE vybudované na Technickej univerzite vo Zvolene využívané na vizualizáciu a interakciu s virtuálnym lesom rastového simulátora SIBYLA naplňa všetky predpoklady sofistikovaného trénažera lesa. Z pohľadu praktickej realizácie zásahov vo virtuálnej realite lesa však ostáva nedoriešenou otázka komplexnosti vizualizácie korún stromov. Tie sú vizualizované ako štyri zvislé pootočené roviny, ktoré užívateľovi pri pohľade do korunového priestoru neposkytujú dostatočnú predstavu o konkurencii medzi jednotlivými stromami. Cieľom práce je preto navrhnúť praktické riešenie na vylepšenie virtuálnej reality lesa produkovaného rastovým simulátorom SIBYLA vloženie horizontálnej projekcie korún stromov, ako aj vytvorenie potrebných textúr podľa jednotlivých drevín. V metodike práce je zadaný prístup použitý pri úprave zdrojového kódu virtuálnej reality lesa v jazyku VRML ako aj metodika tvorby potrebných textúr. Výsledkom je komplexné riešenie, ktoré obohatí vnem užívateľa nachádzajúceho sa vo virtuálnom lese o možnosť posudzovania konkurenčných vzťahov v korunovom priestore, čo je z hľadiska realizácie prebiekavých zásahov vo virtuálnom lese kľúčovým aspektom.

Kľúčové slová: trénažer lesa, CAVE systém, simulátor SIBYLA

VYUŽITIE RASTOVÉHO SIMULÁTORA A NÁSTROJOV OPTIMALIZÁCIE PRI PLÁNOVANÍ OBNOVY

Jozef V Ý B O Š Ť O K – Ján B A H Ý E

Výbošťok, J. – Bahýľ, J.:

Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 57, Suppl. 1, 2015, 113–129.

The main focus of this work is the use of growth simulator Sibyla and optimization tools to design an appropriate forest management plan including economic, ecological and environmental point of view, based on the selected indicators. For the purpose of the research we selected the spatial distribution of forest units (FSDU), that is representative in Slovakia stand in terms of tree species composition and frequency. We deal with a stand 391 which represents a mixture of tree species composition. In selected stand we made detailed forest stand analysis and review of option for creating various forest management plans. We conducted simulation of state forest in Sibyla program for all possible forest management plans. The optimal variant of forest management plan of stand was chosen by using optimization program and compared with the original forest management plan.

Key words:

1. ÚVOD A PROBLEMATIKA

Hospodárenie v lesoch na Slovensku je založené na pravidlách vyplývajúcich z dlhodobých lesníckych tradícií. V súčasnosti dochádza k tomu, že príroda a les stále ustupuje so zvyšujúcimi sa nárokmi spoločnosti. Hospodárska úprava lesov je odbornou oblasťou lesníctva, ktorá sa snaží hľadať východiská a riešenia k racionálnemu obhospodarovaniu lesov pri dosiahnutí trvalosti a zachovania dedičstva lesov. Hospodárska úprava lesov na Slovensku je tak základným lesným manažmentom, ktorý navrhuje opatrenia a programy pre dosiahnutie funkčne integrovaného lesného hospodárstva.

Jedným z najvýznamnejších dokumentov činnosti HÚL je program starostlivosti o les, ktorý možno charakterizovať ako nástroj vlastníka, správcu a obhospodarovateľa lesa na trvalo udržateľné obhospodarovanie lesa. Hlavným cieľom je zisťovanie prírodných, spoločenských, technických a ekonomických podmienok hospodárenia a ekologické zisťovanie stavu a vývoja lesa, za účelom dosiahnuť ciele obhospodarovania lesov podľa poslania. Výsledky rámcového plánovania sú záväzné pre všetkých vyhotovovateľov programov starostlivosti o lesy. Hlavným výstupom rámcového plánovania sú modely hospodárenia.

Väčšina cieľov, rozhodnutí, postupov a pravidiel pri obhospodarovaní lesa, ktoré sú stanovené modelom hospodárenia sú definované kvalitatívne alebo určitým doporučeným rozpätím. Z tohto dôvodu dochádza pri rozhodovaní k vysokému stupňu subjektivismu. Použitím schematických a všeobecných postupov, ktoré sú platné pre väčšie súbory porastov v rámci RD nemusí dôjsť k optimálnemu spôsobu obhospodarovania konkrétneho porastu. Proces tvorby PSL je pomerne málo prispôsobivý a flexibilný bez hlbšieho použitia exaktnej kvantitatívnej podpory v rámci plánovacieho rozhodovania. Na lesné hospodárstvo sú v súčasnosti kladené viaceré požiadavky jednotlivých záujmových skupín (spoločností). Z tohto dôvodu často dochádza ku konfliktom medzi jednotlivými záujmami pri obhospodarovaní lesa.

V súčasnosti je pre plánovanie v lese vhodné využiť multikriteriálnu optimalizáciu. Rozhodovací proces je založený na porovnávaní jednotlivých variant, ktorá ako dokáže plniť požadované ciele. Na základe zisteného stavu lesa a nasimulovaním rastu lesa pomocou rastového simulátora pri určitom spôsobe obhospodarovania sa navrhne viacero možností obhospodarovania lesa a nasimulujú sa dopady každého spôsobu obhospodarovania lesa na rast lesa.

Lesný ekosystém je zložitý systém plný dynamiky vývoja a zmien, ktoré podliehajú rozličným faktorom. Jedinečnosť lesného ekosystému je zvlášť zaujímavá pre lesnícku vedu, ktorá sa snaží pretransformovať rastové procesy lesa do sústavy rastových zákonitostí a vyjadriť ich pomocou matematických algoritmov. Tieto poznatky by boli významným prínosom pre aktuálnu situáciu a predpovedanie budúceho vývoja a zmien v lesníckej praxi. Pri aplikácii rôznych zásahov a opatrení na les je dôležité poznať dopad na lesný ekosystém.

V súčasnosti sa na prognózu vývoja lesa využívajú rastové simulátory. Vznik porastových simulátorov sa datuje na konci 60-tych rokov. Tieto umožňujú pre zvolené rastové podmienky, východiskový počet stromov a pestovateľský režim predpovedať vývoj lesných porastov. Hybridné modely sú naopak založené na rastovej konštelácii jednotlivého stromu, a preto sa označujú ako stromové rastové simulátory. Okrem toho, že základom týchto modelov je stromový model, citlivejšie reagujú aj na stanovište, sú schopné simulovať rôzne výchovné opatrenia a okrem produkčnej schopnosti sú orientované aj na ekologickú a ekonomickú schopnosť (FABRIKA & ĎURSKÝ, 2005). Možnosti využitia rastových simulátorov sú naozaj bohaté. Rastové simulátory nadväzujú na pozitívne vlastnosti rastových tabuliek, no zároveň eliminujú ich nedostatky. Ide o inovatívny spôsob, pomocou ktorého sa môžeme flexibilnejšie orientovať v lesníckej praxi a prispôbiť sa tak najnovším trendom v obhospodarovaní lesov (FABRIKA & PRETZSCH, 2011). Model obhospodarovania lesov sa stáva rámcom pre návrh podstatne podrobnejších opatrení pre obhospodarovanie konkrétneho porastu v danom desaťročí v priebehu spracovania lesného hospodárskeho plánu (SEDMÁK *et al.*, 2013). Rastový simulátor SIBYLA: „Simulátor biodynamiky lesa“ je vyvinutý rastový model pre podmienky Slovenska a to pre drevinu smrek, jedľa, borovica, buk a dub (FABRIKA & ĎURSKÝ, 2005).

Obnova lesných porastov patrí medzi najdôležitejšie činnosti v rámci celého systému pestovania lesa. Obnova zaberá rôzny časový úsek a je prostriedkom výmeny dvoch generácií stromov. Rozlišujeme dva základné druhy obnovy: prirodzená obnova a umelá obno-

va a jeden odvodený spôsob: kombinovaná obnova (KORPEL, 1991). V súčasnosti medzi najčastejšie využívané spôsoby obnovy patrí maloplošný clonný rub. Clonná obnova je základným znakom podrastového hospodárskeho spôsobu, uplatňuje sa pri ňom individuálny výber s prihliadnutím na kvalitu a stimuláciu hrúbkového prírastku. Maloplošný clonný rub je limitovaný výmerou do 3 ha. Vlastnú rúbaň ovplyvňuje nielen horná clona obnovovaného porastu, ale aj bočná clona kompaktného porastu. Pre dodržiavanie zásad prírody blízkeho obhospodarovania lesa sa používa skupinový clonný rub a ťažba podľa cieľovej hrúbky. Skupinove clonný rub patrí do maloplošnej formy clonnej obnovy a zahŕňa obnovné postupy do výmery 0,2 ha. Každá fáza clonného rubu sa uskutočňuje naraz na celej ploche skupín, ktoré sa nezväčšujú. Pri tomto obnovnom postupe treba správne využívať časové a plošné oddelenie obnovy. Uplatnením ťažby podľa cieľových hrúbok dochádza k prechodu od lesa vekových tried k výberkovému lesu. Výhodou ťažby jednotlivých stromov je vznik prirodzenej obnovy a znížené náklady na starostlivosť o nárasty. Vyššie náklady na ťažbu jednotlivým výberom boli viac než kompenzované zvýšenými výnosmi z obnovnej ťažby. Rozvoľnením porastu a znížením zakmenenia bol podporený svetlostný prírastok, a tým došlo k zvýšeniu prírastkového percenta pri ponechaných stromoch. Značný hrúbkový prírastok viedol k zvýšeniu objemu jednotlivých stromov, ku zníženiu ťažbových nákladov a v konečnom dôsledku k zvýšeniu zisku (SANIGA, 2007). Ťažba cieľových hrúbok čerpá hodnoty podľa náhodnosti ich prirodzeného rozdelenia v lese. Nie je namierená proti prírode, ale sleduje ju. Otvára dvere, ktorými sa môže ekológia do lesa navrátiť. Ekológia a ekonómia sa vzájomne podmieňujú a tiež stupňujú svoje účinky (REININGER, 1997). Podľa zákona 326 z 2005 Z. z. o lesoch je možné v niektorých opodstatnených prípadoch použiť aj obnovu holorubom. Holorub je spôsob obnovy, kedy sa na ploche celého porastu, alebo na určitej časti jednorázovo vyťaží materský porast a nový porast vzniká bez jeho ochrany, prípadne podlieha len čiastočnej bočnej ochrane pri porastovej stene. Pri holorubnom spôsobe obnovy je výrazne iná aj dynamika zmeny a zastúpenia bylinnej vegetácie. Už v prvom roku po vytvorení holej rúbane ustupuje lesná flóra a nahrádza ju rúbanisková flóra, ktorá je silným konkurentom pre nový porast na danej ploche (SANIGA, 2007).

Na výber optimálneho spôsobu obhospodarovania porastov v štádiu obnovy je možné využiť multikriteriálnu optimalizáciu, ktorej výsledkom je výber najoptimálnejších riešení na základe požadovaných cieľov (MARUŠÁK *et al.*, 2014).

Hlavným cieľom práce je vybrať optimálny spôsob obhospodarovania porastu v štádiu obnovy z hľadiska ekonomického, ekologického a environmentálneho a vybraný spôsob porovnať s platným programom starostlivosti o les.

2. MATERIÁL A METODIKA

Vybraný porast 391 sa nachádza v lesnom celku Lesy Rimavské Brezovo, ktorý má výmeru 4056,58 ha. Rozpätie nadmorských výšok je od 238 m n. m. do 916 m n. m., pričom priemerná nadmorská výška je 527 m n. m. Z hľadiska drevinového zloženia prevládajú na LC listnaté dreviny 88,25 %, ihličnaté dreviny zaberajú 11,75 %. Z celkovej výmery LC najväčšie zastúpenie z drevín má drevina buk, ktorá zaberá až 59,82 % z plochy.

Výmera zvoleného dielca je 19,29 ha a nachádza sa na severozápadnej expozícii so sklonom 50%. Vek porastu je 70 rokov a porast bol podľa programu starostlivosti o les navrhnutý za porast PRO SILVA. Zastúpenie drevín Bk 54%, Hb 23%, Sm 9%, Dz 5%, JvM 5%, JvH 4. Rubná doba 100 rokov, obnovná doba 60 rokov, doba zabezpečenia 8 rokov, zakmenenie porastu 0,8.

2.1 Zisťovanie porastových veličín

Ako prvé pri opise porastu je potrebné určenie počtu stanovísk, na ktorých sa budú zisťovať porastové veličiny. V jednotlivých porastoch volíme pre určenie porastových veličín 6–12 stanovísk. Dolná hranica rozpätia sa využíva v porastoch rovnomerne zmiešaných s rovnomerným zakmenením na celej ploche. Horná hranica rozpätia sa používa pre porasty s nerovnomerným zakmenením a nerovnomerným zmiešaním. V poraste 391 sme určili 10 stanovísk. Odstupová vzdialenosť sa vypočítala na základe výmery porastu a počtu stanovísk. V poraste 391 bola vypočítaná odstupová vzdialenosť 138 m. Pri rozmiestňovaní stanovísk sme sa riadili obvyklými štatistickými zásadami. V porastoch s väčšími sklonmi, ako je aj porast 391, bolo potrebné stanoviská založiť v spodnej v časti porastu, v strednej časti porastu a v hornej časti (pri hrebeni) z dôvodu vystihnutia meniacich sa pomerov, ktoré ovplyvňujú aj hodnoty taxačných veličín.

Na jednotlivých stanoviskách sme zisťovali nasledujúce taxačné veličiny: drevena, zastúpenie, stredná hrúbka, stredná výška, poškodenie škodlivými činiteľmi, kvalitové triedy, korunovosť, expozícia sklon, zakmenenie a vek.

2.1.1 Výpočet zásoby

Výber metódy na zistenie zásoby v jednotlivých porastoch alebo ich častiach závisí od požadovanej presnosti, hospodárnosti, účelnosti a jednoduchosti. Pri bežných inventarizáciách nemeríme pri zvolenej metóde všetky veličiny. Relatívne presne meriame hrúbky stromov, poprípade kruhové plochy a zisťujeme počet stromov. Výšky stromov, výtvarnice, výtvarnicové výšky, objem stromov a iné údaje preberáme ako priemerné, štatisticky odvodené hodnoty. Z tohto hľadiska každé určenie zásoby porastu je zaťažené určitou systematickou chybou a predstavuje vlastne odhad, ktorý sa uskutoční podľa zvolenej metódy s väčšou alebo menšou presnosťou. V súčasnosti sa výpočet zásoby porastov vykonáva týmito metódami:

- Metóda tabuliek objemu dreva stojacich stromov (KOT).
- Metóda jednotných objemových kriviek (JOK).
- Metóda výtvarnicových výšok.
- Metóda rastových tabuliek.

Rastové tabuľky sú číselné prehľady, ktoré vyjadrujú vývoj dendrometrických veličín rovnovekých, rovnorodých, plne zakmenených a optimálne obhospodarovaných porastov (VOJTĚCHOVSKÝ, 1981). Rastové tabuľky udávajú priemerné hodnoty na 1ha pre všetky porastové veličiny. Tieto údaje sú uvádzané pre tri stavy porastu (zdužený, hlavný,

podružný). V súčasnosti je na Slovensku sústava dvoch typov rastových tabuliek a to diferencované rastové tabuľky podľa zásobových úrovní a nediferencované rastové tabuľky.

Zásobu rubného porastu sme vypočítali metódou diferencovaných rastových tabuliek. Diferencované rastové tabuľky sú na rozdiel od nediferencovaných trojargumentové, to znamená že vyjadrujú vývoj porastových veličín na základe veku porastu, bonity a zásobovej úrovne. Ako prvé pri výpočte zásob sme si na základe veku a strednej výšky určili bonitu a prostredníctvom LHC sme zaradili dreviny do rastovej oblasti. Pomocou rastovej oblasti a čísla HSLT sme určili stupeň zásobovej úrovne dreviny. Tabuľkovú zásobu dreviny sme potom stanovili na základe bonity, veku a stupňa zásobovej úrovne. Tabuľková zásoba dreviny predstavuje zásobu na 1ha pri plnom zakmenení a 100% zastúpení dreviny. Ďalší postup výpočtu je totožný s výpočtom pri nediferencovaných rastových tabuľkách.

2.2 Prognóza vývoja zásob

Pre vypracovanie plánu ťažieb na niekoľko decéní dopredu je dôležité predpovedať vývoj zásob, prípadne iných porastových charakteristík. Potenciál porastu na splnenie stanovených cieľov sa posudzuje na základe stavu porastu skúmaného počas inventarizácie, a na základe simulácie jeho vývoja prostredníctvom rastových simulátorov (SEDMÁK *et al.*, 2013). Pre tento účel je potrebné využiť rastové simulátory. V našom prípade sme využili rastový simulátor Sibyla. Z technického hľadiska Sibyla využíva databázu MS Access, ktorú je potrebné vyplniť pred spustením programu (FABRIKA, 2005). Vyplňovanie údajov môže byť vykonané prostredníctvom užívateľského rozhrania samotného softvéru, alebo cez externý prístup priamo do databázy. Pre účely výskumu sme v tomto prípade vykonali vyplňovanie potrebných údajov priamo do softvéru.

- **Generátor**
Vstupnými údajmi zadávanými do modulu Generátor boli údaje podrobného zisťovania stavu lesa ako je: zásoba, stredná hrúbka, stredná výška, poškodenie, kvalitatívne triedy a zmiešanie. Okrem týchto dát sme zadávali aj údaje o veľkosti simulačnej plochy, na ktorej sa vykonáva simulácia, a veľkosť skutočnej plochy teda výmeru porastu. Po zadaní vstupných údajov sme spustili generovanie štruktúry, ktorého výsledkom boli údaje o jednotlivých stromoch, konkrétne hrúbky, výšky, parametre korún, priestorové súradnice a parametre kvality.
- **Médium**
Pomocou modulu Médium sme vybrali konkrétne porasty, v ktorých sme chceli vykonávať prognózu.
- **Lokalizátor**
V module Lokalizátor sme nastavovali klimatické a pôdne parametre, ktoré výrazným spôsobom vplyvajú na hrúbkový a výškový prírastok stromov. Konkrétne údaje o poraste môžeme nastaviť dvomi spôsobmi a to podrobným nastavením alebo zovšeobecneným nastavením. V našom prípade sme využili podrobné nastavenie, kedy sme na základe zistených údajov zadávali konkrétne hodnoty koncentrácie NO_x v ovzduší, koncentrácia CO_2 v ovzduší, obsah živín v pôde, počet dní vegetačného obdobia po-

čas roka, ročnú teplotnú amplitúdu, priemernú teplotu vo vegetačnom období, pôdnu vlhkosť a úhrn zrážok počas vegetačného obdobia pre každý porast. Počet sérií bol nastavený podľa predpokladanej dĺžky obnovy. Dĺžka série trvala 10 rokov, pričom všetky klimatické a pôdne parametre ostali nemenné, okrem priemernej ročnej teploty, ktorú sme nastavili s predpokladom nárastu teploty o 0,1 °C každých desať rokov.

- Kultivátor

V module Kultivátor sme nastavovali, aké hospodárske opatrenia majú byť vykonané v konkrétnej perióde pre jednotlivé dreviny, pričom pri plánovaní obnovnej ťažby sme šírku a plochu plánovaného obnovného rubu navrhovali v súlade s kritériami stanovenými pre použité formy hospodárskych spôsobov, ktoré sú uvedené v zákone 326/2005 Z. z. o lesoch a vyhláske 453/2006 Z. z. o hospodárskej úprave lesov a o ochrane lesa, a v súlade s ekologickým nárokom drevín navrhnutým na obnovu.

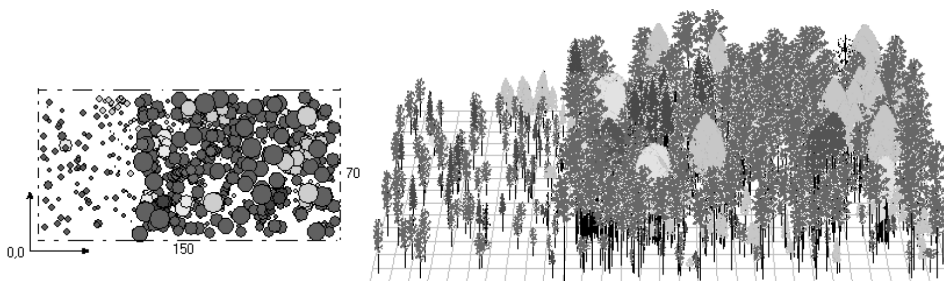
- Prorok

Po zadefinovaní jednotlivých vyššie uvedených údajov a parametrov prechádzame na samotnú prognózu, na čo slúži modul Prorok. Hlavným poslaním tohto modulu je prevádzať rastové prognózy konkrétneho porastu, pričom využíva mortalitný model, prebierkový model, konkurenčný model a prírastkový model. Pred samotným spustením prognózy je potrebné nastaviť modul Prorok. Pri nastavení je možné vylúčiť mortalitný model a biologickú variabilitu prírastku, taktiež je potrebné nastaviť počet opakovaní prognózy, tzn. koľkokrát sa má prognóza vykonať. Ďalej je možné nastaviť model prirodzenej obnovy, v ktorom nastavujeme konkrétne údaje o drevinách, najmä čo sa týka klíčivosti a čistoty semien, začiatok plodnosti, koniec plodnosti a podobne. V našom prípade slúžil model prirodzenej obnovy len na grafickú vizualizáciu, a pri výsledkoch sme uvažovali len z hodnotami hlavného porastu. Ďalej je možné nastaviť aj model umelej obnovy, v ktorom presne nastavíme roky vykonávania zalesňovania. Je možné nastaviť usporiadanie drevín, tvar zalesňovacieho prvku, jeho veľkosť atď. V našom prípade sme model umelej obnovy nevyužili. Po zadefinovaní údajov jednotlivých prvkov modulu Prorok sa pristupuje k samotnému predpovedaniu. Výsledkom prognózy je naplnenie databázovej tabuľky výstupných údajov konkrétnych stromových veličín s názvom TREES a grafické znázornenie (obr. 1).

- Kalkulátor

Ako prvé sme vykonali aktualizáciu údajov o cenách sortimentov pre vybraný lesný závod. Ďalej sme nastavili údaje o technológii ťažby dreva, medzi ktoré patrí ťažbová metóda a percentuálne prirážky, ktoré závisia od stavu porastu (sklon, členitosť terénu a klimatické podmienky). V ďalšom kroku sme nastavili technológiu sústredovania dreva, pričom v našom vytipovanom poraste sme zvolili technológiu LKT, z dôvodu dostatočnej efektívnosti, požadovanej výkonnosti a dostupnosti. Pre úplnosť bolo potrebné nastaviť technológiu manipulácie, v ktorej sme zadávali jednotlivé úkony vykonávané na lesnom sklade. Hlavným výstupom modulu Kalkulátor je výpočet prírodnej produkcie, index biodiverzity lesa, výnos z lesa a náklady na ťažbovo-dopravné procesy.

- **Prieskumník**
Modul Prieskumník prezentuje výstupné tabuľky v prehľadnej forme, a poskytuje možnosť vizualizácie porastov po jednotlivých periódach od východiskového stavu, tzn. z údajov, ktoré boli namerané pri opise porastov, až po celý výsledok rastovej prognózy. Okrem vizualizácie modul Prieskumník poskytuje výsledky vypočítané v module Kalkulátor.
- **Analytik**
Modul Analytik poskytuje analýzu predpovedaných údajov v čase, v podobe výstupov vo formáte rastových tabuliek, tabuliek biodiverzity, tabuliek sortimentov, hodnotových a ekonomických tabuliek. Významným výstupom je aj tabuľka multikriteriálneho hodnotenia lesných porastov. Okrem tabelárnych výsledkov je možné prostredníctvom modulu Analytik nahliadnuť do prehľadných graficky znázornených výstupov celého procesu.



Obr. 1: Prognóza vývoja zásob – skupinový clonný rub (2. decénium)

Fig. 1: Prognosis of developing growing stock – shelterwood thinning in groups – 2. decade

2.3 Optimalizácia obhospodarovania

Pre potreby optimalizácie obhospodarovania jednotlivých porastov sme použili softvér VisAn. Na základe výstupných údajov zo simulácií, pri použití rôznych variantov obhospodarovania sme vytvorili interaktívnu rozhodovaciu mapu (IDM), ktorou aproximujeme množinu Pareto optimálnych riešení (obr. 2).

Pod pojmom interaktívna rozhodovacia mapa rozumieme sériu dvojrozmerných grafov, ktoré zobrazujú vektory hodnôt indikátorov plnenia jednotlivých cieľov pri rôznych typoch obhospodarovania. Grafy zblížujú cieľový priestor možných riešení a zároveň tento priestor obalujú Pareto-edgeworthovým obalom, ktoré vizuálne zobrazuje Paretovskú hranicu (BORGES *et al.*, 2014). Na základe grafu môže rozhodovateľ prehodnotiť dostupné optimálne riešenia, môže bilancovať výhody a nevýhody cieľov a posúdiť veľkosť vzájomných interakcií hodnôt indikátorov v rámci množiny optimálnych riešení. Množina optimálnych riešení poskytuje kombinácie cieľových hodnôt, ktorá rozhodovateľovi najviac vyhovuje (LOTOV *et al.*, 2004).

Na záver, softvér zhodnotí jednotlivé simulácie obhospodarovania a vyberie tú, ktorá sa nachádza najbližšie k stanovenému cieľovému vektoru. Z dôvodu značnej neurčitosti, ktorá vzniká pri formulácii problému výberu jednotlivých manažmentových alternatív simulácie rastu lesa, softvér VisAn poskytuje rozhodovateľovi viacero alternatív, ktoré sa nachádzajú v blízkosti vybraného cieľového vektora. Rozhodovateľ si určí na základe doplnkovej expertnej analýzy pomocných možností variantu obhospodarovania, čo mu v konečnom dôsledku zabezpečí finálnu spokojnosť.

Pri výbere vhodného spôsobu obhospodarovania lesa do procesu vstupuje konkrétny rozhodovateľ (obhospodarovateľ lesa). V našom prípade sme nasimulovali 6 typov rozhodovateľov (tab. 1).

Tab. 1: Typy rozhodovateľov (správcov) a ich preferencie

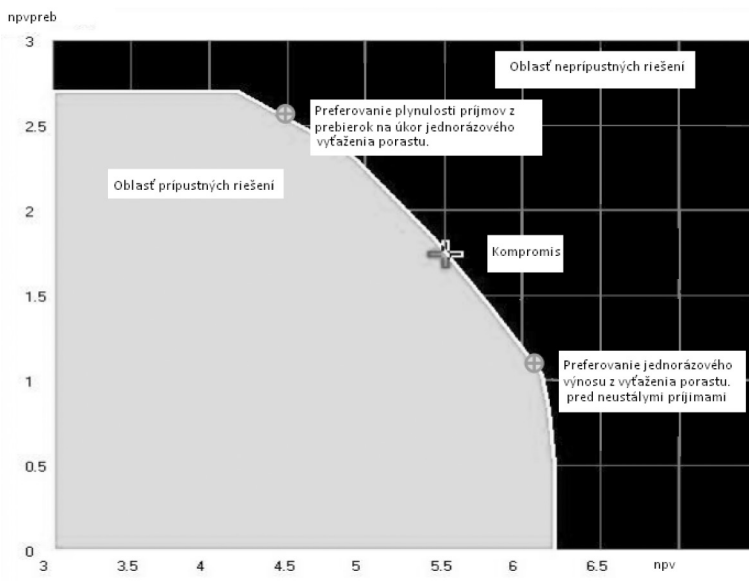
Tab. 1: Types of decision-makers and their preferences

Obhospodarovateľ	Značka	NPV	Prebierky	Biodiverzita	H/D
Správca č. 1	●	0,25	0,25	0,25	0,25
Správca č. 2	●	1	0	0	0
Správca č. 3	●	0	1	0	0
Správca č. 4	●	0	0	0,5	0,5
Správca č. 5	●	0,5	0	0	0,5
Správca č. 6	●	0	0,5	0	0,5

Správca č. 1 je charakteristický tým, že všetkým parametrom prikladá rovnakú váhu tzn., že pri súčasnom zabezpečení ekonomického zisku obhospodaruje les s ohľadom na zachovanie biodiverzity a stability porastu. Správca č. 2 preferuje maximalizáciu výnosu, pričom ostatné parametre zanedbáva. Hlavný dôraz kladie na získavanie výnosu v súčasnosti, bez ohľadu na budúcnosť. Správca č. 3 je charakteristický záujmom o trvalú vyrovnanosť produkcie, ktorá mu zabezpečí čiastočnú istotu. Správca č. 4 preferuje biodiverzitu a stabilitu porastu, pričom výnos z lesa nepokladá za prioritu. Správca č. 5 je charakteristický tým, že okrem výnosov ho zaujíma aj stabilita porastu. Správca č. 6 sa vyznačuje potrebou zabezpečenia istoty, čiže vyrovnaných príjmov a zabezpečenia trvalosti lesa. Možnosti obhospodarovania lesa sme porovnávali v rôznych fázach vývoja porastu a to v období na začiatku obnovnej doby, v rubnej dobe porastu a na konci obnovnej doby pre jednotlivé porasty.

Na obr. 2 je znázornená interaktívna mapa s vysvetlením jednotlivých zobrazovaných elementov. Zelená plocha grafu znázorňuje oblasť možných riešení, z ktorých väčšina je z pohľadu optimalizácie dominantná. Čierna plocha znázorňuje cieľovú oblasť, ktorá obsahuje neprípustné kombinácie cieľových indikátorov. Čiara, ktorá delí oblasť možných riešení (zelená plocha) a oblasť nerealistických resp. nemožných kombinácií (čierna plocha) predstavuje paretovsú hranicu pre ekonomické indikátory, na ktorých ležia vzájomne rovnocenné optimálne kombinácie kumulatívnych tržieb s prebierok a okamžitý

výnos, ktoré sú dosiahnuté pri rovnakých hodnotách stability (h/d) a indexu biodiverzity. V rámci 2D grafu sa na osi x nachádzajú čistá súčasná hodnota (NPV) a na osi y suma kumulatívnych prebierok NPVpreb.



Obr. 2: Interaktívna rozhodovacia mapa
Fig. 2: Interactive decision map

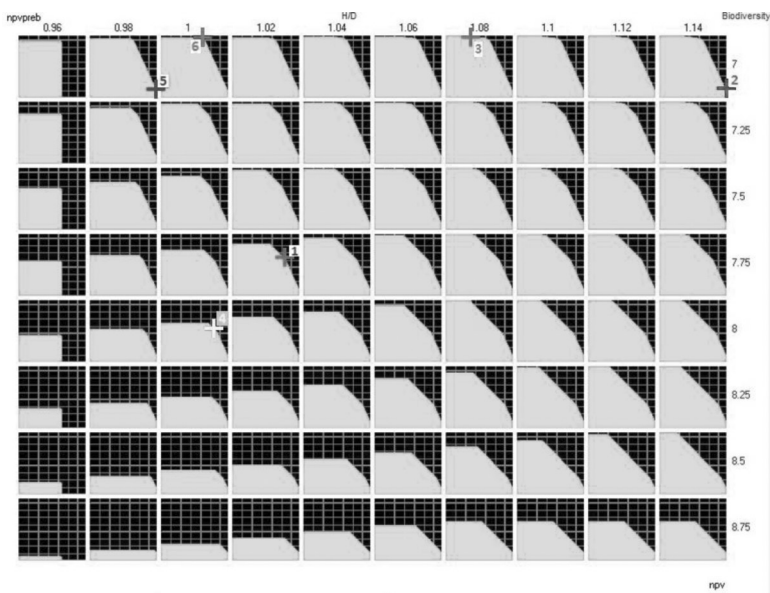
3. VÝSLEDKY

3.1 Optimalizácia obhospodarovania porastu na začiatku obnovy

Z výsledkov optimalizácie vyplýva, že pre správcu č. 1 v tomto poraste je optimálna obnova holorubom, keďže použitie holorubného HS je obmedzené zákonom 326/2005 Z. z. o lesoch, a náš porast nemôžeme zaradiť ani do jednej z výnimiek, nebudeme akceptovať tento spôsob obnovy. Ďalšou nevýhodou holorubného HS je v existencii následného porastu, pri tomto HS dochádza k čiastočnému pokrytiu plochy drevinami, ktoré znášajú podmienky holej rúbane, ale aj tak je potrebné plochu doplniť, preto sme ako optimálny spôsob obnovy zvolili skupinový clonný rub, ktorý sa nachádza v poradí druhý vo vzdialenosti od cieľového bodu. Jeho výhodou sú nielen odpadajúce náklady na zalesňovanie, ale aj vznik nerovnovážneho následného porastu, čo bolo spôsobené predĺžením OD.

Pre správcu č. 2 je taktiež najoptimálnejší spôsob obnovy skupinový clonný rub. Hlavný dôraz kladie predovšetkým na zisk, preto je potrebné minimalizovať náklady,

s čím je spojené zalesňovanie. Ako bolo spomenuté pri správcovi č. 1, pri skupinovom clonnom rube sú náklady na zalesňovanie nulové, a z toho vyplýva, že pre tento typ správcu je skupinový rub optimálnym riešením.



Obr. 3: Interaktívna rozhodovacia mapa porastu na začiatku obnovy

Fig. 3: Interactive decision map of stand at the beginning of regeneration

Z výsledkov optimalizácie vyplýva, že pre správcu č. 3 v tejto fáze vývoja porastu je najoptimálnejší spôsob obhospodarovania ťažba podľa cieľovej hrúbky. Týmto spôsobom by sa zabezpečila nepretržitá ťažba rubne zreých stromov, ktoré dosahujú požadované dimenzie drevospracujúceho priemyslu, a tak nedochádza k predčasnému vyt'aženiu. Ďalšou výhodou je vznik diferencovaného následného porastu. Ťažba sa vykonáva jednotlivým výberom na celej ploche, čím sa vytvárajú podmienky pre klíčenie a odrastanie.

Pre správcu č. 4 bol zvolený spôsob obnovy skupinovým clonným rubom. Pri skupinovom clonnom rube dochádza k zabezpečeniu všetkých požadovaných cieľov tohoto správcu a teda biodiverzity a stability porastu. Zabezpečenie vysokého stupňa biodiverzity sa dosiahne tým, že sa vytvoria podmienky pre obnovu všetkých drevín v poraste, ktoré majú rôzne ekologické nároky.

Pri správcovi č. 5 bol vybraný spôsob obnovy skupinovým clonným rubom, z dôvodu zabezpečenia dostatočného zisku z porastu a zároveň je zabezpečená aj jeho stabilita prostredníctvom diferenciacie porastu, ktorú tento spôsob obnovy zabezpečí.

Pri správcovi č. 6 sme ako optimálny spôsob obhospodarovania vybrali ťažbu podľa cieľových hrúbok. Tento spôsob obnovy poskytuje všetky požadované ciele, ktorými sú

vyrovnanosť ťažieb a stabilita porastu. Stabilita je zabezpečená dostatočným rastovým priestorom a v následnom poraste vzniká viacvrstvová štruktúra.

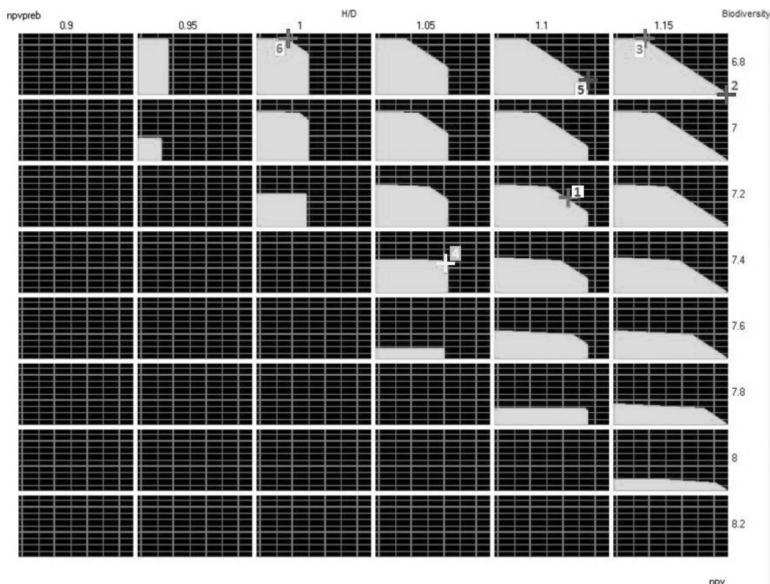
3.2 Optimalizácia obhospodarovania porastu v rubnej dobe

Pre správcu č. 1 v tomto štádiu vývoja porastu bol na základe výsledkov optimalizácie vybraný spôsob obnovy ťažbou cieľových hrúbok. V tejto fáze vývoja porastu najlepšie zabezpečí zvolený spôsob obnovy požadované ciele správcu.

Pre správcu č. 2 bol na základe výsledkov optimalizácie zvolený spôsob obnovy ťažbou cieľových hrúbok, čo predstavuje rozdiel oproti začiatku obnovy, kde jeho cieľom najviac vyhovoval skupinový clonný rub. Tento rozdiel je spôsobený lepšou výťažnosťou a zhodnotením sortimentov, pretože sa ťažia stromy s dosiahnutou požadovanou dimenziou, pričom nedochádza k predčasnému odstráneniu kvalitných stromov nedosahujúcich požadované kvantitatívne parametre.

Pre správcu č. 3 je najoptimálnejší spôsob obnovy maloplošným clonným rubom. Hlavnou výhodou oproti cieľovej hrúbke, ktorá bola pre tento typ správcu na začiatku obnovy, je obnovená doba. Pri maloplošnom clonnom rube je obnovená doba v našom prípade 30 rokov a to je postačujúca doba, počas ktorej sa porast obnoví.

Pre správcu č. 4 sa ako optimálny spôsob podľa výsledkov optimalizácie zdá byť bez zásahové hospodárenie a to predovšetkým z dôvodu zachovania veľkého stupňa biodiverzity. Zvolený porast bol vychovávaný, zakmenenie nie je vysoké, stabilita porastu je zatiaľ vysoká, ale očakávame, že s vekom bude klesať. Pre spomenuté dôvody a pre fakt, že hlavnou funkciou vybraného porastu je produkcia dreva, sme sa rozhodli zvoliť spôsob obnovy, ktorý sa nachádza v poradí druhý najbližšie od stanoveného cieľového bodu. Z nasledovného vyplýva výber spôsobu obnovy prostredníctvom ťažby cieľových hrúbok. Zvolený spôsob obnovy porastu poskytuje tomuto typu správcovi všetky ciele, ktoré chce dosiahnuť pri hospodárení v lese.



Obr. 4: Interaktívna rozhodovacia mapa porastu v rubnej dobe
 Fig. 4: Interactive decision map of stand during felling cycle

Z výsledkov optimalizácie vyplýva, že najvhodnejším spôsobom obhospodarovania porastu pre správcu č. 5 je ťažba podľa cieľovej hrúbky. Tento spôsob hospodárenia správcovi prinesie vysoký zisk zásluhou maximalizácie hodnotovej produkcie a minimalizácie nákladov. Minimum nákladov je zabezpečené prostredníctvom vzniku prirodzenej obnovy, autoreguláciou následného porastu pod clonou materského porastu a dostatočnou stabilitou.

Pri správcovi č. 6 je optimálny spôsob obhospodarovania porastu v tejto fáze jeho vývoja maloplošný clonný rub, ktorý mu poskytne požadovaný vyrovnaný výnos a stabilitu porastu.

3.3 Optimalizácia obhospodarovania porastu na konci obnovy

Z výsledkov optimalizácie vyplýva, že najlepším spôsobom obhospodarovania porastu v tejto fáze vývoja porastu je pre správcu č. 1 ťažba podľa cieľovej hrúbky, čo predstavuje identický spôsob obnovy ako v rubnej dobe.

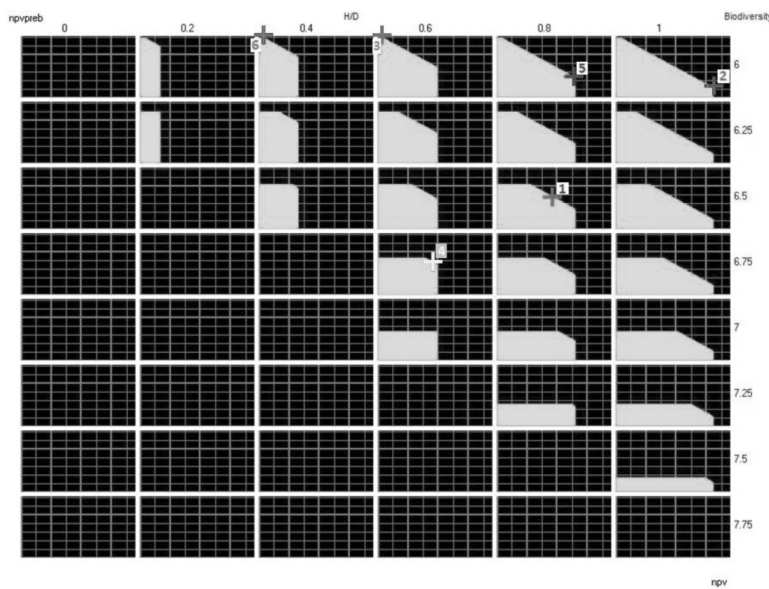
Pre správcu č. 2 je aj v tejto fáze vývoja porastu najpriaznivejším spôsobom obhospodarovania ťažba podľa cieľovej hrúbky, ktorá najlepšie vyhovie jeho požiadavkám z hľadiska dosiahnutia zisku.

Pre správcu č. 3 je najoptimálnejším spôsobom obnovy porastu maloplošný clonný rub.

Pre správcu č. 4 je najvýhodnejší spôsob obnovy skupinovým clonným rubom. Vybraný spôsob obhospodarovania sa líši oproti optimálnemu spôsobu vo veku rubnej doby, kedy bol za najvýhodnejší zvolený spôsob obhospodarovania prostredníctvom ťažby podľa cieľovej hrúbky.

Pre správcu č. 5 je optimálny spôsob obhospodarovania skupinový clonný rub. Tento spôsob obnovy umožňuje tomuto správcovi dosiahnutie všetkých požadovaných cieľov, zabezpečujúcich zisk a stabilitu porastu, ktorá mu poskytne istotu do budúcnosti.

Pre správcu č. 6 je optimálny spôsob skupinový clonný rub. Tento spôsob obnovy mu zabezpečí vyrovnaný výnos z lesa a zároveň poskytne stabilitu porastu. Hlavnou prioritou dosiahnutia stability porastu je minimalizovať poškodenie vplyvom abiotickým činiteľov, ktoré patria v súčasnosti k aktuálnej problematike hospodárenia v lesoch. Týmto pádom dosiahne správca vyrovnanosť ťažieb v budúcnosti.



Obr. 5: Interaktívna rozhodovacia mapa porastu na konci obnovy
Fig. 5: Interactive decision map of stand at the end of regeneration

3.4 Zhodnotenie výsledkov optimalizácie a porovnanie platným PSL

Súčasťou práce je aj ekonomické zhodnotenie, v rámci ktorého sme porovnávali náklady a výnosy pri uplatnení rôznych spôsobov obnovy. Pri obnove holorubom boli náklady najvyššie (tab. 2), čo je spôsobené vysokými nákladmi na zalesňovanie ktoré predstavujú 1 800 eur/ha. Výnosy pri použití tohto spôsobu obnovy boli najnižšie, z dôvo-

du jednorazového odstránenia všetkých stromov bez možnosti prírastku na najkvalitnejších stromoch uvoľnením rastového priestoru, tak ako to umožňujú ostatné spôsoby obnovy. Najvyšší výnos a zároveň aj zisk bol dosiahnutý pri skupinovom clonnom rube, kde za dlhú obnovnú dobu došlo k naakumulovaniu prírastku na najkvalitnejších jedincoch v poraste, a to spôsobilo ich lepšie zhodnotenie na trhu. Pri ťažbe podľa cieľovej hrúbky za dané obdobie ešte nedošlo k vyťaženiu všetkých stromov v poraste (tab. 3:), pretože nedosiahli požadované dimenzie, zostávajúca zásoba po 6.decéniu predstavuje 47 m³.

Tab. 2: Zhodnotenie ekonomických ukazovateľov (€/ha)

Tab. 2: Assessment of economic indicators (€/ha)

	Náklady	Výnosy	Zisk
Holorub	9 320	21 030	11 710
Maloplošný clonný rub	7 807	24 754	16 947
Skupinový clonný rub	8 243	26 368	18 125
Ťažba podľa cieľovej hrúbky	8 832	25 228	16 396

Výsledky optimalizácie s platným programom starostlivosti o les sme porovnávali vo fáze vývoja na začiatku obnovy, pretože práve táto fáza je východisková pre vypracovanie PSL.

Porast 391 bol pri vypracovaní programu starostlivosti o les navrhnutý za porast Pro Silva, v ktorom je predpísaná obnova maloplošným skupinovým clonným rubom na jednu priemernú výšku porastu. Z výsledkov optimalizácie vyplýva, že tento spôsob obnovy najlepšie plní požadované ciele vo fáze vývoja na začiatku obnovy pre všetky typy správcov okrem správcu č. 3 a správcu č. 6. Skupinový clonný rub je teda rozhodne spôsob obnovy, ktorým sa akceptujú princípy prírody blízkeho obhospodarovania lesa. Za ďalší optimálny spôsob pre obnovu porastu 391, ktorý je v súlade s prírodou blízky obhospodarovaním podľa optimalizácie je ťažba podľa cieľovej hrúbky.

Tab. 3: Výška ťažby za decénium (m³/ha)

Tab. 3: Amount of harvesting for decennium (m³/ha)

	1. decénium	2. decénium	3. decénium	4. decénium	5. decénium	6. decénium	Σ
Holorub	111	115	104				330
Maloplošný clonný rub	116	122	113				351
Skupinový clonný rub	60	53	61	67	58	64	363
Ťažba podľa cieľovej hrúbky	37	39	57	63	56	66	318

4. DISKUSIA A ZÁVER

V súčasnosti sa hospodárenie v lese stáva skôr celospoločenskou problematikou a hlavný dôraz pri obhospodarovaní sa kladie na ekologizáciu v podobe jemnejších spôsobov obhospodarovania lesa, ktoré plne podporujú prirodzenú obnovu a tvorbu zmiešaných štrukturalizovaných porastov. Podporovanie koncepcie prírode blízkeho obhospodarovania lesa sa pozitívne prejavuje v lepšej stabilite porastu v zvyšovaní odolnostného potenciálu či biodiverzity. Aktuálne využívaný plánovací systém hospodárskej úpravy na Slovensku je ovplyvnený tradičnými zaužívanými postupmi a spoločnosťou. Do plánovacieho procesu obhospodarovania lesa vstupuje viacero kritérií, ktoré je potrebné optimálne zohľadniť a vytvoriť tak priaznivý vyvážený výsledok vyhovujúci všetkým dotknutým stranám. Podľa KURTTILA *et al.*, 2012 sa multikritériálna optimalizácia pokúša o koordináciu a riadenie viacerých požiadaviek, výsledkom čoho je plán opatrení, ktorý bude riadiť obhospodarovanie lesných zdrojov tak, aby vyhovoval všetkým potrebám majiteľov najlepším spôsobom. Multikritériálna optimalizácia môže priniesť racionálne riešenie komplexných problémov manažmentu v lesníctve v podobe jednoznačných a prehľadných výsledkov.

Celý postup optimalizácie, od simulácie vývoja lesa až po vytvorenie iteratívnej rozhodovacej mapy, je pri dostatočných vedomostiach a praktických skúsenostiach ľahko realizovateľný. Nespornou výhodou simulácie stavu lesa prostredníctvom rastového simulátora je možnosť nasimulovať rozličné hospodárske opatrenia a zhodnotiť ich účinnosť a správnosť použitia. V reálnom existujúcom lese sú akékoľvek pokusy prevádzky rozličných hospodárskych opatrení nemožné, z dôvodu pomalého rastu lesa. Podľa MARUŠÁKA *et al.*, 2014 najväčšou výhodou optimalizácie IDM je jej komplexnosť a intuitívnosť. Rozhodovateľ si svoje požiadavky stanovuje prostredníctvom cieľových hodnôt jednotlivých indikátorov a zároveň po preskúmaní pareto optimálnych riešení posúdi reálne riešenia a zhodnotí, aké možnosti je schopné poskytnúť konkrétny porast skúmaného územia. Po tomto zhodnotení je vylúčená možnosť, že si rozhodovateľ vyberie ciele, ktoré sú nereálne pre dané územie, alebo že si vyberie neprípustnú kombináciu cieľových indikátorov. Vďaka tomuto systému je zvolený optimálny variant skutočne variantom, ktorý v plnej miere akceptuje požiadavky rozhodovateľa a preto ho výsledok nesklame. Ak nastane zmena stavu lesa, môžeme preveriť plnenie aktuálnych platných cieľov hospodárenia. V prípade nesúladu súčasného stavu s platnými cieľmi, môžeme preplánovať obhospodarovanie porastu alebo zmeniť ciele hospodárenia.

Aktuálny trend v lesníctve je uprednostňovanie integrovaného hospodárenia v lese a preto je dôležité, aby aj plánované hospodárske opatrenia neboli skonštruované subjektívne podľa parametrov jednotlivca. Dôležitým poznatkom je skutočnosť, že optimálny spôsob obhospodarovania sa v priebehu vývoja porastu mení. Existuje viacero faktorov, ktoré môžu ovplyvniť vlastníka lesa poprípade obhospodarovateľa k zmene obnoveného postupu počas obnovnej doby. Hlavným faktorom je požiadavka dosiahnutia iných želaných cieľov, ktoré chcel dosiahnuť na začiatku obnovy, to znamená predovšetkým prechod na jemnejší spôsob hospodárenia. Ďalším faktorom, ktorý môže ovplyvniť ob-

hospodarovateľa poprípade vlastníka lesa je situácia na trhu s drevom v danom období. Tejto situácii môže prispôbiť aj zmenu obnovného postupu s cieľom maximalizovať produkciu daných sortimentov. Hlavnou výhodou systému je jeho flexibilita, ktorá umožňuje reagovať na zmenené požiadavky obhospodarovateľa počas vývoja porastu a tým naplniť požadované ciele.

Príspevok vznikol na základe výskumu riešeného v projekte Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR a Slovenskej akadémie vied 1/0804/14 (VEGA): Aktualizácia mapovania, usporiadania vlastníctva k lesným pozemkom a určenie stavu krajiny modernými prostriedkami družicovej geodézie a leteckého prieskumu.

5. Literatúra

- BORGES, J. G., GARCIA-GONZALO, J., BUSHENKOV, V., MCDILL, M. E., MARQUES, S., & OLIVEIRA, M. M., 2014: Addressing Multicriteria Forest Management With Pareto Frontier Methods: An Application in Portugal. *Forest Science*, 60 (1), 63–72.
- FABRIKA, M., 2005: Simulátor biodynamiky lesa SIBYLA, koncepcia, konštrukcia a programové riešenie. Habilitačná práca. Technická univerzita vo Zvolene, 238 s.
- FABRIKA, M. – ĎURSKÝ, J. 2005. Stromové rastové simulátory. EFRA – Vedecká agentúra pre ekológiu a lesníctvo, Zvolen 2005, 112 s. ISBN 80-969434-7-2
- FABRIKA, M. – PRETZSCH, H. 2011. Analýza a modelovanie lesných ekosystémov. Technická univerzita vo Zvolene, 2011, 599 s. ISBN 978-80-228-2181-0
- KORPEL, Š. *et al.*, 1991. Pestovanie lesa. Príroda, vydavateľstvo kníh a časopisov, v Bratislave, 1991, 472 s. ISBN 80-07-00428-9
- KURTTILA, M., HUJALA, T., PYKÄLÄINEN, J., 2012: *Half a million hectares of forest planning annually without optimization – why?* Presentation. Scientific Conference: Implementation of DSS into the Forestry Practice, May 10–12, 2012, Zvolen, Slovakia
- LOTOV, Alexander V., BUSHENKOV, Vladimír A., KAMENEV, Georgy K., 2004: *Interactive decision maps: Approximation and visualization of Pareto frontier*. Springer Science & Business Media
- MARUŠÁK, R. *et al.*, 2014. Systémy pro podporu rozhodování v lesním hospodářství s cílem posílení produkčních i mimoprodukčních funkcí lesa. Česká zemědělská univerzita v Praze, Výzkumný projekt NAZV, 2014, 120 s.
- REININGER, H. 1997. Hospodaření v lesích kláštera Schlägl. Těžba cílových tloušťek anebo výběr v lese věkových tříd. Agrospoj Praha, 1997, 120 s.
- SANIGA, M. 2007. Pestovanie lesa. Vysokoškolská učebnica. Technická univerzita vo Zvolene, 2007, 311 s. ISBN 978-80-228-1715-8
- SEDMÁK, R. – FABRIKA, M. – BAHÝL, J. – PÔBIŠ, I. – TUČEK, J.: Application of simulation and optimization tools for developing forest management plans in the Slovak natural and management conditions. In *Implementation of DSS tools into the forestry practice : reviewed conference proceedings*. Zvolen: Technical University in Zvolen, 2013, s. 139--152. ISBN 978-80-228-2510-8
- VOJTĚCHOVSKÝ, J. 1981. Hospodárska úprava lesov I. Príroda, vydavateľstvo kníh a časopisov, n. p., v Bratislave 1981, 138 s. P. – S. č. 371 339
- Vyhláška Ministerstva pôdohospodárstva Slovenskej republiky č. 453/2006 Z. z. o hospodárskej úprave lesov a ochrane lesa
- Zákon NR SR o lesoch č. 326/2005 Z. z. v znení neskorších predpisov

Adresa autorov:

Ing. Jozef Výbošťok

Ing. Ján Bahýľ PhD.

Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

Masarykova 24

960 53 Zvolen

Slovenská republika

e-mail: vybostok85@gmail.com

e-mail: jan.bahyl@tuzvo.sk

Využitie rastového simulátora a nástrojov optimalizácie pri plánovaní obnovy

Abstrakt

Cieľom práce je s využitím rastového simulátora SIBYLA a nástrojov optimalizácie navrhnuť vhodný plán hospodárskych opatrení z ekonomického, ekologického a environmentálneho hľadiska na základe vybraných indikátorov. Pre účely výskumu bola zvolená jednotka priestorového rozdelenia lesa, ktorá je reprezentatívnou vzorkou porastov na území Slovenska z pohľadu drevinového zloženia a frekvencie výskytu. Jedná sa o porast 391, ktorý reprezentuje zmes drevinového zloženia, s prevahou buka. V poraste sa vykonalo podrobné zisťovanie stavu lesa a následne posúdenie možností pre tvorbu rozličných manažmentových plánov. Na základe zhromaždených údajov sme v programe Sibyla vykonali simulácie stavu lesa pre jednotlivé hospodárske opatrenia manažmentových plánov. S využitím optimalizačného programu sme z vypracovaných plánov pre jednotlivý porast vybrali optimálny variant obhospodarovania, ktorý sme porovnali s pôvodným plánom hospodárskych opatrení.

Kľúčové slová: obhospodarovanie lesov, hospodárska úprava lesov, multikriteriálna optimalizácia, rastový simulátor SIBYLA

ENERGETICKÉ VLASTNOSTI PELIET, BRIKIET A DREVENÉHO UHLIA PRODUKOVANÝCH NA SLOVENSKU

Miroslav ŠTULAJTER – Martin LIESKOVSKÝ –
– Valéria MESSINGEROVÁ

Štulajter, m., Lieskovský, M., Messingerová, V.: **Energy properties of pellets, briquettes and charcoal.** Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 57, Suppl. 1, 2015, 133–144.

The goal of this thesis was to obtain and analyze the samples of solid biofuels, specifically pellets, briquettes and charcoal. It is a noble biofuels, for the production of which is a raw material modified so that fuel can be normalized size, length and uniformity of burning and optimum shape for the transport and storage. On the obtained samples were determined and then compared the following characteristics: relative humidity, calorific value, ash content, and on the pellets the ratio of fine particles too. These are the essential characteristics by which a consumer can assess the quality of the fuel. Procedure for the determination of these parameters can be found in chapter methodology of laboratory work. Based on the founding of calorific values of each sample was taken calculate of the fuel consumption and heating costs in the model of energy consumption of 100 GJ per year.

Key words:

1. ÚVOD A CIEĽ

Tuhé biopalivá predstavujú energetické nosiče, ktorých spaľovanie výrazne nezaťažuje životné prostredie a ktorých výroba nevyžaduje vysoké vstupy energií či nákladov. Je to ideálna náhrada za fosílnu palivá pri využívaní obnoviteľných prírodných zdrojov, hlavne biomasy. Vyskytujú sa v rozličných veľkostiach a formách napríklad ako: palivové drevo, kôra, drevené štiepky, piliny a hobliny, drevený šrot, pelety, brikety. Každoročne sa vyprodukuje veľké množstvo odpadovej biomasy, ktorej zhodnotenie je možné jedine v podobe paliva. Pre využitie v spaľovacích zariadeniach ale musí najskôr prejsť úpravou – transformáciou na vhodnejšiu formu. Premena odpadovej biomasy na palivo s požadovanými vlastnosťami sa nazýva zušľachtovanie. Zušľachtovaním sa vstupná surovina upravuje tak aby palivo malo normalizovanú veľkosť, dĺžku a rovnomernosť horenia a optimálny tvar pre prepravu a skladovanie. Najstarším ušľachtilým palivom je drevené uhlie. Karbonizáciou dreva v milieroch sa získavalo palivo s vysokou hustotou energie, ktoré je v metalurgickom priemysle používané dodnes. Výroba tepelnej energie spaľovaním dreveného uhlia ale nie je pre jeho vysokú cenu ekonomická. Pre využívanie v malých vykurovacích zariadeniach majú osobitý význam hlavne brikety a pelety. Sú to moderné ušľachtilé palivá s vysokým obsahom energie a priaznivou cenou.

Cieľ tejto práce bol v stanovení a v porovnaní základných vlastností vybraných druhov peliet, brikiet a dreveného uhlia. Išlo o vzorky od rôznych výrobcov vyrobených z rôznej vstupnej suroviny. Na vzorkách sa určovala vlhkosť, výhrevnosť, obsah popola a pri peletách aj podiel jemných častíc. Sú to základné parametre podľa ktorých vieme posúdiť kvalitu paliva. Podľa zistenej výhrevnosti sa vypočítali náklady na vykurovanie a spotreba paliva za rok.

2 EXPERIMENTÁLNY MATERIÁL

Rozbor sa vykonával na desiatich vzorkách peliet, šiestich vzorkách brikiet a jednej vzorke dreveného uhlia. Jednalo sa o drevené pelety a briкеты z rôznej suroviny a od rôznych výrobcov zo Slovenska. Na porovnanie vlastností peliet bola do rozboru zaradená aj jedna vzorka agropeliet zo sena.

Tabuľka 1: Prehľad vzoriek peliet

Table 1: Summary of pellets samples

Poradové číslo	Výrobca	Surovina	Dĺžka	Priemer	Cena €/t s DPH
Vzorka č. 1	Ekoenergia klasik	SM piliny	10–30	6 mm	210
Vzorka č. 2	Ekoenergia extra	SM piliny	10–30	6 mm	232
Vzorka č. 3	Star pelet	SM piliny	20–30	6 mm	186
Vzorka č. 4	Terapax	BK, DB piliny	10–45	6 mm	220
Vzorka č. 5	Demedito	SM piliny a drevný prach	20–30	6 mm	198
Vzorka č. 6	Biomasa	SM piliny	20–40	6 mm	226
Vzorka č. 7	Holzpelet	SM piliny	10–30	6 mm	210
Vzorka č. 8	Drevogold	SM piliny	20–30	6 mm	206
Vzorka č. 9	Biomac	BK piliny	10–30	8 mm	239
Vzorka č. 10	Agripon	seno	10–30	8 mm	156

Tabuľka 2: Prehľad vzoriek brikiet

Table 2: Summary of briquettes samples

Poradové číslo	Výrobca	Tvar	Surovina	Rozmer (cm)	Cena €/t s DPH
Vzorka č. 1	Impex	Valec s dierou	SM piliny s obsahom kôry	Ø 9 × 26	190
Vzorka č. 2	Biomac	Valec plný	SM piliny s obsahom kôry	Ø 9 × 26	185
Vzorka č. 3	Biomac	Tehla	BK a DB piliny	15 × 6,5 × 10	183

Tabuľka 2: Prehľad vzoriek brikiet – pokračovanie

Table 2: Summary of briquettes samples

Poradové číslo	Výrobca	Tvar	Surovina	Rozmer (cm)	Cena €/t s DPH
Vzorka č. 4	Ekoenergia Premium soft	Tehla	Hoblina a piliny z mäkkých drevín	15,5 × 6,5 × 9	172
Vzorka č. 5	Ekoenergia Premium hard	Tehla	Hoblina a piliny z tvrdých drevín	15,5 × 6,5 × 9	175
Vzorka č. 6	Bioenergia	Valec plný	SM piliny	Ø 6 × 6	170

3 ROZBOR PROBLEMATIKY

3.1 Ušľachtilé biopalivá

Procesom ušľachtenia paliva dochádza k homogenizácii jeho zloženia a veľkosti, k úprave jeho vlhkosti a ďalších fyzikálno-mechanických vlastností. Palivo má optimálny tvar pre spaľovanie, rýchlosť, dĺžku a rovnomernosť horenia, optimálny tvar pre automatizovanú dopravu v procese skladovania, manipuláciu pri preprave a pri skladovaní. Hustota energonosiča limituje komfort pri preprave a minimalizuje náklady na dopravu a skladovanie zušľachtovaním odpadu je aj možné meniť chemické vlastnosti paliva. Takto upravené palivo má neobmedzenú stálosť bez biodegradovateľných procesov. Technológie zhutňovania sú jedným z možných riešení ako transformovať drevený odpad na moderné palivo. V minulosti bola na Slovensku rozšírená najmä technológia briketovania. Na domácom trhu sú rozšírenejšie brikety v tvare valca alebo kvádra. Veľmi progresívne sa v poslednom období rozvíja technológia peletovania (Šooš 2010).

Hlavným dôvodom výroby ušľachtilých palív je potreba úpravy materiálu – biomasy na vhodnejšiu formu vyhovujúcu technológiám spaľovania. Výroba takýchto palív súvisí s možnosťou lepšieho zabezpečovania dopravy a skladovania. Pri palivách ako sú pelety, brikety a drevené uhlie sa technologicky upravujú vlastnosti vstupného materiálu tak, aby bol využitý v čo najväčšej miere energetický potenciál biomasy. Úpravami získame hlavne zníženie vlhkosti vstupnej suroviny, čo sa prejaví na vyššej výhrevnosti paliva a na jednoduchšej manipulácii a skladovateľnosti. Medzi ušľachtilé palivá patrí drevené uhlie, brikety a pelety (TRENČIANSKY a kol. 2007).

3.2 Drevené uhlie

Drevené uhlie je definované ako drobný až kusovitý, tvrdý, pórovitý, ľahko horľavý, vysoko uhlíkatý nekryštalický produkt suchej destilácie dreva, majúci čiernu farbu, matný kovový lesk, výraznú drevitú štruktúru, pri náraze kovový zvuk, lastúrovitý lom a vysokú absorpčnú schopnosť. Obsahuje malý podiel síry, jeho bod vznietenia je v rozmedzí 300 až 400 °C, výhrevnosť priemerne 27,2 MJ.kg⁻¹ a merná hmotnosť 0,20

$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Vlhkosť dreveného uhlia je do 8%, obsah popola v sušine do 2 % a obsah uhlíka minimálne 80%. Čím je vyššia karbonizačná teplota, tým väčší je aj obsah uhlíka, ktorý môže činiť aj viac ako 90%. Karbonizačná teplota ovplyvňuje aj tvrdosť, čím je vyššia tým tvrdšie je vypálené uhlie. Drobnosť uhlia je ovplyvnená predovšetkým použitou drevinou. Najviac sa drobí uhlie vyrobené z topol'a, jelše, javora a brezy. Najmenej sa drobí uhlie vyrobené z ihličnatých drevín. Dobře vypálené drevené uhlie horí pomaly a vydáva sálavé teplo 400 až 500 °C bez plameňov a dymu. Čerstvé vypálené uhlie je náchylné na samovznietenie. Preto sa pred balíkováním musí nechať tri až štyri dni dozrievať. Výroba dreveného uhlia je najstaršou a stále používanou metódou zušľachtovania dreva pre energetické využitie (SIMANOV 1995).

3.3 Brikety

Brikety sú druhom ekologického paliva, ktoré vzniká lisovaním suchého odpadu z drevospracujúcej alebo poľnohospodárskej výroby. Lisovaním vzniká palivo s vysokou hustotou 1 000 až 1 200 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a výhrevnosťou 12 až 18 $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. U kvalitných drevených briketách výhrevnosť presahuje 18 $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Obsah vody v briketách nesmie prekročiť 15%. Tvar brikiet môže byť rôzny napr. valce, tehly alebo šesťhrany o priemere 40 až 100 mm a dĺžke 300 mm. Briketami je možné kúriť vo všetkých typoch krbov, kozubov a kotlov na tuhé palivá. Vysokú energetickú hodnotu paliva je možné najlepšie využiť v kotloch na drevoplyn, pri ktorých sa palivo najskôr splyňuje a až potom sa plyn spaľuje pri účinnosti až 90%. Medzi výhody brikiet patrí okrem iného aj veľmi nízky obsah popola. Na rozdiel od peliet nie je možné zabezpečiť vykurovanie briketami plne automaticky. Brikety umožňujú ekonomické skladovanie a vysoký komfort pri kúrení v kotloch na tuhé palivá (TRENČIANSKY a kol. 2007).

3.4 Pelety

Pelety sú granule valcovitého tvaru vyrobené zo suchých pilín, sena alebo slamy s priemerom 6 až 10 milimetrov a dĺžkou od 20 do 50 milimetrov. Vznikajú silným stlačením vstupnej suroviny bez prídavku chemických prísad. Výhrevnosť peliet sa pohybuje okolo 18 MJ. Jeden kilogram drevených peliet sa vyrovná jedenému a pol litra vykurovacieho oleja alebo 0,5 m^3 zemného plynu. Pelety sú CO_2 neutrálne. Pri horení peliet vzniká len toľko CO_2 koľko spotrebujú rastliny v priebehu svojho rastu (SCHÜTTE 2005).

Pelety sú vyrábané silným stlačením vstupnej suroviny, ktoré sa nazýva peletovanie. Pre súdržnosť peliet má okrem lisovania význam obsah lignínu alebo obsah živice v dreve. Lignín sa vplyvom tlaku roztaví a slúži ako prirodzené pojivo. Pre lepšiu súdržnosť sa môže k vstupnej surovine pridať pomocné pojivo ako škrob alebo melasa. Peletovaním vzniká nový druh dreveného paliva s vysokou energetickou hustotou, dobrými spaľovacími vlastnosťami a vynikajúcimi vlastnosťami z hľadiska dopravy a manipulácie, ktoré umožňujú ekonomické skladovanie, predzásobovanie a automatický prívod paliva ku spaľovacej komore (HOLZ 2007). Pelety je možné používať v širokej výkonovej škále kotlov a krbov v rodinných domoch a vo väčších budovách. Vzhľadom k povahe paliva

ide o čistý a obnoviteľný zdroj energie. Ich kvalita sa posudzuje podľa niekoľkých noriem, na trhu prevládajú nemecké normy DIN a DIN plus, rakúska norma ÖNORM M 7135 a európska norma EN 14961-1 (STUPAVSKÝ 2012).

Kotle na pelety ponúkajú možnosť využitia energie dreva v malých systémoch s vysokým stupňom automatizácie a jednoduchou údržbou. Spaľovaním peliet sa dosahuje vysoká kvalita spaľovania s nízkymi emisiami. V porovnaní so štiepkami majú drevné pelety oveľa vyššiu hustotu energie, čomu zodpovedajú aj menšie skladovacie priestory. Vďaka týmto výhodám sa stáva použitie krbov na pelety a ústredné vykurovanie na pelety čoraz žiadanejšie (HASLERR 2001).

Podľa VERNERA (2007) rozdeľujeme pelety na:

Drevné – vyrábajú sa lisovaním suchej drevenej hmoty – pilín, kôry a drevenej štiepky.

Drevné pelety sa ďalej delia na:

biele – vyrobené z čistej drevej hmoty, predovšetkým z pilín,

tmavé – vyrobené z pilín zmiešaných s kôrou.

Alternatívne pelety – vyrábajú sa lisovaním rastlín alebo ich časťami a ďalej sa delia na:

agropelaty – vyrábajú sa lisovaním poľnohospodárskych komodít – energetických rastlín, repkovej slamy, obilnej slamy, odpadov po čistení obilnín a olejnín, sena apod.

ostatné – vyrábajú sa lisovaním rôznych, inak ťažko využiteľných materiálov (napr. drveného starého papiera, uhľového prachu), prípadne sa tieto materiály miešajú s pilinami alebo spomenutými poľnohospodárskymi komoditami.

4 METODIKA PRÁCE

4.1 Stanovenie relatívnej vlhkosti

Stanovenie vlhkosti bolo prevedené sušiacim procesom laboratórne, podľa EN 14774-1, EN 14774-2 Tuhé biopalivá. Stanovenie obsahu vlhkosti. Metóda sušením v sušiarňi. Táto metóda špecifikuje stanovenie obsahu vody pre biopalivá, ktoré je možné využiť ako palivo. Princípom metódy je zistenie hmotnosti vlhkej a vysušenej vzorky vážením s presnosťou na 0,01 g. Sušenie sa uskutočnilo v laboratórnej sušiarňi Memmert. Sušenie vzoriek sa vykonáva v sušiarňi pri teplote 103 ± 2 °C do konštantnej hmotnosti. Z hmotnosti vzorky pred vysušením a po vysušení je možné vypočítať relatívnu vlhkosť W_r . Relatívna vlhkosť dreva je definovaná ako podiel hmotnosti vody nachádzajúcej sa vo vzorke dreva k hmotnosti vlhkej vzorky dreva.

Stanovenie relatívnej vlhkosti vyjadruje vzťah:

$$W_r = \frac{m_w - m_0}{m_w} \times 100 \quad [\%]$$

m_w – hmotnosť vlhkej vzorky [g],

m_0 – hmotnosť vzorky po vysušení [g].

4.2 Stanovenie spaľovacieho tepla a výhrevnosti

Spaľovacie teplo Q_s [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$] je definované ako teplo, ktoré sa uvoľní dokonalým spálením (oxidáciou aktívnych prvkov horľaviny) 1 kg paliva a ochladením spalín a popola na východziu teplotu (t.j. $20\text{ }^\circ\text{C}$), pričom vodná para skondenzuje a zmení sa na vodu. Spaľovacie teplo sa stanovuje experimentálne meraním v kalorimetri. Výhrevnosť Q_n [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$] je definovaná ako teplo, ktoré sa uvoľní dokonalým spálením 1 kg paliva pri ochladení spalín na pôvodnú teplotu okolia ($t = 20\text{ }^\circ\text{C}$), pričom voda (odparená z paliva, vzniknutá oxidáciou vodíka nachádzajúcom sa v palive a privedená vlhkým vzduchom) zostáva v plynnom stave. K výpočtu výhrevnosti je potrebné stanoviť spálne teplo z odobratých vzoriek. Na stanovenie spálneho tepla bol použitý kalorimeter IKA C200. Spaľovacie teplo sa vypočíta podľa vzorca:

$$Q_s = \frac{C(D_t - K) - c}{m}$$

Pričom: C je tepelná kapacita kalorimetrického systému, [$\text{J}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$],
 D_t – celkový vzostup teploty v hlavnom úseku, [$^\circ\text{C}$],
K – oprava na výmenu tepla s okolitou atmosférou, [$^\circ\text{C}$],
c – súčet opráv [J],

$c = c_1 + c_2 + c_3 + c_4$ c_2, c_3 a c_4 zanedbáme

c_1 – oprava na teplo, uvoľnené spálením nitky 50 J,
m – hmotnosť navážky analytickej vzorky paliva [g].

Výpočet výhrevnosti podľa STN ISO 1928:2003

$$q_{v,net,m} = [q_{v,gr,d} - 206,0 \times w(H)_d] \times (1 - 0,01 \times M_T) - 23,05 \times M_T$$

$q_{v,net,m}$ – výhrevnosť paliva pri konštantnom objeme s obsahom vody [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$],

$q_{v,gr,d}$ – spaľovacie teplo pri konštantnom objeme v bezvodom stave [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$],

$w(H)_d$ – percentuálny podiel vodíka [%],

M_T – obsah celkovej vody v palive pre ktorý sa prepočet vyžaduje – relatívna vlhkosť [%].

4.3 Stanovenie obsahu popola

Obsah popola bol stanovený podľa normy STN EN 14775 Tuhé biopalivá, stanovenie obsahu popola. Obsah popola sa stanovuje výpočtom z hmotnosti zvyšku, ktorý zostane po tom, ako sa vzorka zohreje vo vzduchu v prísne kontrolovaných podmienkach tykajúcich sa času, hmotnosti vzorky a špecifikácie zariadenia na kontrolovanú teplotu (550 ± 10) $^\circ\text{C}$.

Obsah popola (A_d) sa vypočíta podľa vzorca:

$$A_d = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \times 100 \times \frac{100}{100 - M_{ad}}$$

- m_1 – hmotnosť prázdnej misky v gramoch,
- m_2 – hmotnosť misky so skúšobnou vzorkou,
- m_3 – hmotnosť misky s popolom v gramoch,
- M_{ad} – percentuálny obsah vlhkosti v skúšobnej vzorke použitej na stanovenie.

Výsledky sa musia uvádzať ako priemer dvoch stanovení zaokrúhlený na najbližšiu 0,1 %.

4.4 Stanovenie podielu častíc menších ako 3,15 mm

Stanovenie množstva jemných častíc upravuje technická norma STN EN 15149-2 Tuhé biopalivá, stanovenie rozdelenia veľkostí častíc. Časť 2: Metóda s vibračným sitom s veľkosťou otvorov 3,15 mm a menej. Základný granulometrický rozbor peliet je vykonávaný sitovaním t. j. preosievaním na sitách s veľkosťou medzier v pletive 3,15 mm na automatickom vibračnom sitovacom stroji. Veľkosť vzorky musí byť minimálne 50 g a výška vrstvy nesmie presiahnuť 2 cm. Vzorka sa váži s presnosťou na 0,01 g. Vzorka sa rozloží do rovnomernej vrstvy na site a začne sa preosievanie. Doba sitovania vzorky je 5 minút. Po ukončení sitovania sa odváži vzorka, ktorá ostala nad sitom a vzorka ktorá prepadla do zbernej nádoby. Výsledok sa vyjadří ako percento celkovej hmotnosti obidvoch podielov.

5 VÝSLEDKY

Zo získaných vzoriek peliet najlepšiu kvalitu dosahovali pelety od firmy Biomac vyrobené z čistých bukových pilín. Mali najmenší obsah popola (0,29 %), veľmi nízky podiel jemných častíc (0,16 %), vlhkosť iba 5,16 % a najlepšiu výhrevnosť až 18 102 kJ/kg. Dobre obstáli pelety Ekoenergia extra, Demedito, Biomasa, Holzpelet a Drevogold, ktoré mali výhrevnosť nad 17 000 kJ.kg⁻¹, vlhkosť nižšiu ako 10 %, obsah popola pod 1 % a nízky podiel jemných častíc. Pelety Ekoenergia klasik, Star pelet a Terapax môžeme označiť za menej kvalitné hlavne kvôli vyššej vlhkosti a nižšej výhrevnosti. Pelety od firmy Agripon vyrobené zo sena kvalitou výrazne zaostávajú za drevenými peletami.

Z brikiet najlepšiu výhrevnosť dosahovali vzorky Ekoenergia Premium hard (16 897 kJ.kg⁻¹) a Biomac tehla (16 539 kJ.kg⁻¹). Tieto brikety sú v tvare tehly a sú vyrobené z pilín z tvrdých drevín bez obsahu kôry. Obidva druhy mali zároveň aj najnižšiu vlhkosť a nízky obsah popola. Najnižší obsah popola bol nameraný pri vzorke od firmy Bioenergia iba 0,29 %. Vyšší obsah popola nameraný pri vzorkách Impex (1,51 %) a Biomac valec (2,51 %) je spôsobený väčším zastúpením kôry vo vstupnej surovine. Najhoršie obstála vzorka od firmy Impex, ktorá mala veľmi nízku výhrevnosť (14 857 kJ.kg⁻¹),

vyššiu vlhkosť a obsah popola. Drevené uhlie podľa očakávania dosiahlo veľmi vysokú výhrevnosť 29 526 kJ.kg⁻¹ a vyšší obsah popola 9,35 %.

Tabuľka 3: Porovnanie sledovaných energetických charakteristík peliet

Table 3: Observed pellets energy characteristics of the comparison

Vzorka	Relatívna Vlhkosť (%)	Výhrevnosť (kJ.kg ⁻¹)	Obsah popola (%)	Podiel jemných častíc (%)
Ekoenergia klasik	11,20	16 334	1,37	0,57
Ekoenergia extra	8,75	17 116	0,60	0,31
Star pelet	11,15	16 616	0,41	1,28
Terapax	10,45	16 176	0,56	1,16
Demedito	7,67	17 110	0,78	0,72
Biomasa	8,18	17 215	0,70	0,12
Holzpelet	6,96	17 564	0,42	0,82
Drevogold	7,23	17 467	0,39	0,31
Biomac	5,16	18 102	0,29	0,16
Agripon	13,42	13 206	19,89	1,32

Tabuľka 4: Porovnanie sledovaných energetických charakteristík brikiet a dreveného uhlia

Table 4: Observed briquettes and charcoal energy characteristics comparison

Vzorka	Relatívna Vlhkosť (%)	Výhrevnosť (kJ.kg ⁻¹)	Obsah popola (%)
Impex	11,17	14 857	1,51
Biomac valec	12,60	15 760	2,51
Biomac tehla	6,52	16 539	0,35
Ekoenergia premium soft	11,70	15 507	0,43
Ekoenergia premium hard	8,68	16, 897	0,43
Bioenergia	11,17	15 498	0,29
Drevené uhlie Handlová	6,5	29 526	9,35

5.1 Stanovenie ročnej spotreby paliva

Pre výpočet ročnej spotreby paliva potrebujeme poznať výhrevnosť paliva, potrebu tepla na vykurovanie a prevádzkovú účinnosť kotla. Ročná spotreba paliva sa potom vypočíta podľa vzťahu (LYČKA 2011):

$$m_r = \frac{Q}{H_{MJ} \times \eta} \times 100$$

- m_r – ročná spotreba paliva v tonách,
 Q – potreba tepla na vykurovanie v GJ,
 H_{MJ} – výhrevnosť použitého paliva v MJ/kg,
 η – účinnosť kotla v %.

Pri výpočte bol použitý modelový prípad spotreby energie 100 GJ za rok a nasledovné účinnosti kotlov:

- špeciálny kotol na drevené pelety: 92 %
- špeciálny kotol na rastlinné pelety: 90 %
- zplyňovací kotol na drevo (brikety): 86 %
- automatický kotol na uhlie: 86 %

(www.tzb-info.cz)

Tabuľka 5: Ročná spotreba a náklady na vykurovanie peletami

Table 5: Annual consumption and pellets heating cost

Vzorka	Výhrevnosť (kJ.kg ⁻¹)	Cena za 1 tonu (€)	Cena za 1 GJ (€)	Spotreba paliva (t)	Náklady (€/rok)
Ekoenergia klasik	16 334	210	12,86	6,65	1 397,46
Ekoenergia extra	17 116	232	13,55	6,35	1 473,32
Star pelet	16 616	186	11,19	6,54	1 216,74
Terapax	16 176	220	13,60	6,72	1 478,30
Demedito	17 110	196	11,46	6,35	1 245,14
Biomasa	17 215	226	13,13	6,31	1 426,97
Holzpelet	17 564	240	13,66	6,19	1 485,25
Drevogold	17 467	206	10,31	6,22	1 120,13
Biomac	18 102	239	13,20	6,00	1 435,10
Agripon	13 206	156	11,81	8,41	1 312,54

Tabuľka 6: Ročná spotreba a náklady na vykurovanie briketami

Table 6: Annual consumption and briquettes heating costs

Vzorka	Výhrevnosť (kJ.kg ⁻¹)	Cena za 1 tonu (€)	Cena za 1 GJ (€)	Spotreba paliva (t)	Náklady (€/rok)
Impex	14 857	190	12,79	7,83	1 487,05
Biomac valec	15 760	185	11,79	7,38	1 364,95
Biomac tehla	16 539	183	11,06	7,03	1 286,6
Ekoenergia Premium Soft	15 507	172	11,09	7,50	1 289,74
Ekoenergia Premium Hard	16 897	175	10,36	6,88	1 204,29
Bioenergia	15 498	170	10,97	7,50	1 275,48

Tabuľka 7: Ročná spotreba a náklady na vykurovanie dreveným uhlím
 Table 7: Annual consumption and charcoal heating costs:

Vzorka	Výhrevnosť (kJ.kg ⁻¹)	Cena za 1 tonu s DPH (€)	Cena za 1 GJ (€)	Spotreba paliva (t)	Náklady (€/rok)
Drevené uhlie Handlová	29 526	636	21,54	3,94	2 504,69

Výsledná spotreba paliva je závislá hlavne na jeho výhrevnosti. Čím je hustota energie vyššia, tým je spotreba paliva nižšia. To potvrdzujú aj vypočítané výsledky kde najnižšiu spotrebu paliva dosahovalo drevené uhlie (3,94 t/rok). Z peliet dosiahli najnižšiu spotrebu pelety Biomac 6 t/rok a z brikiet briкеты Ekoenergia. Premium Hard 6,88 t/rok. Z porovnania nákladov na vykurovanie vyplýva že hlavným ukazovateľom určujúcim výsledné náklady nie je výhrevnosť ale cena paliva. Aj pelety vyrobené zo sena s veľmi malou výhrevnosťou (13 206 kJ.kg⁻¹) ponúkaných za priaznivú cenu dokážu vo výsledných nákladoch konkurovať kvalitným dreveným peletám či briketám. Na výsledné náklady vplýva mnoho faktorov, ktoré nie sú v tomto modelovom príklade započítané a preto treba pri plánovaní rátať s o niečo vyššími výdavkami. Najväčší nárast ceny spôsobí menšia účinnosť kotlov, ktorá v skutočnosti nedosahuje také vysoké percentá ako boli použité v príklade. Pri výpočte spotreby paliva boli použité maximálne možné účinnosti kotlov, ktoré sa v bežnej prevádzke nedajú dosiahnuť. Výrobcom kotlov testujú účinnosť v ideálnych laboratórnych podmienkach kde palivo dostáva optimálne množstvo vzduchu a straty z pevného a plynného nedopalku sú minimálne. V reálnej prevádzke preto treba rátať s menšou účinnosťou kotlov a tým aj vyššou spotrebou paliva. Spotrebu paliva môže tiež ovplyvniť nesprávny spôsob prevádzky spaľovacieho zariadenia. Ak kotol na pelety alebo briкеты ide na minimálny výkon, dochádza k nedokonalému spaľovaniu a tým aj k zníženiu účinnosti výroby tepla. Výrobcom preto odporúčajú prevádzkovať kotle na pelety na minimálne 60 % svojho menovitého výkonu a splyňovacie kotle na drevo na minimálne 50 % svojho menovitého výkonu. Ceny týchto palív tiež nie sú stále a menia sa v priebehu niekoľkých mesiacov. Najnižšiu cenu dosahujú mimo vykurovacieho obdobia, kedy je aj najvýhodnejšie predzásobiť sa na zimu.

5 ZÁVER

Ušľachtilé biopalivá z biomasy predstavujú nové alternatívu, ktoré ponúka vysoký komfort prevádzky za veľmi priaznivú cenu. Súčasne to sú veľmi ekologické palivá, ktorých produkcia CO₂ pri spaľovaní sa rovná spotrebe CO₂ rastlinami pri raste. Ako vstupný materiál sa používajú inak nevyužitú odpady či už z lesníckej alebo poľnohospodárskej výroby. V poslednom období sa začali výrobcovia na Slovensku zameriavať nielen na export ale aj na domáci predaj. Takto sa môže zachovať regionálny charakter výroby z vlastných zdrojov bez nutného dovozu drahej energie zo zahraničia.

Cieľom práce bolo zistenie základných parametrov peliet a brikiety z rôznej suroviny a od rôznych výrobcov a ich následné porovnanie. Z merania vyplýva že najlepšiu kvalitu dosahujú pelety a brikiety vyrobené z čistej piliny z tvrdých listnáčov. Vlhkosť a výhrevnosť sú dve vlastnosti peliet, ktoré sa navzájom ovplyvňujú. Pri menšej relatívnej vlhkosti sa dosahuje lepšia výhrevnosť a tým aj lepšie zhodnotenie paliva. Obsah popola má vplyv hlavne na údržbu kotla a komfort prevádzky. Zvýšený obsah popola môže mať na svedomí nekvalitná vstupná surovina alebo vyšší obsah kôry v drevných pilinách. Z porovnania nákladov na vykurovanie nie je možné jasne povedať ktorý druh paliva je výhodnejší. Aj pelety nízkej kvality vyrobené z poľnohospodárskych zvyškov za priaznivú cenu konkurujú vysokokvalitným dreveným peletám. Trh ponúka veľký výber možností a variantov. Ak chceme vyšší komfort prevádzky porovnateľný zo zemným plynom ideálnym variantom sú pelety. Vyššie vstupné náklady na preletový kotol však môžu odradiť viacerých záujemcov. Pre tých sú tu brikiety na ktoré nie je potrebný špeciálny kotol a môžu sa spaľovať aj v obyčajných kotloch na drevo. Drevené uhlie sa nákladmi na vykurovanie nemôže rovnať peletám alebo briketám, no je to veľmi zaujímavé palivo s dlhou tradíciou výroby a s vysokým obsahom energie.

Práca poskytuje cenné informácie o priemerných vlastnostiach ušľachtilých biopalív od domácich výrobcov podľa ktorých sa môže užívateľ orientovať v širokom spektre ponúk.

Pod'akovanie

Táto práca bola vypracovaná v rámci riešenia grantového projektu: VEGA – SR č. 1/0678/14, Optimalizácia technologických, technických, ekonomických a biologických princípov výroby energetickej dendromasy.

6 Literatúra

- HASLER, P., NUSSBAUMER, T., 2001. Herstellung von Holzpellets. [online]. [cit. 2.4.2013]. Dostupné na internete: http://www.bfe.admin.ch/php/modules/enet/streamfile.php?file=00000007184_df&name=210184.pdf
- HOLZ, T., 2007. Topíme dřevěnými peletami, Grada Publishing a.s., Praha, ISBN 978-80-247-1634-3
- LIESKOVSKÝ, M., 2012. Hodnotenie energetických charakteristík drevných peliet
- LYČKA, Z., 2011. Dřevní peleta, peleta mýtu zbavená, LING Vydavatelství s.r.o., Krnov, ISBN 978-80-904914-0-3
- SCHÜTTE, A., 2005. Holzpellets, komfortabel, effizient, zukunftssicher. [online]. [cit. 2.4.2013]. Dostupné na internete: http://www.schornsteinfeger-liv-hessen.de/bilder_he/files/pdf_179_holzpellets2005.pdf
- SIMANOV, V., 1995. Energetické využití dříví, Terra polis, Olomouc
- STN EN 14961-1 Tuhé biopalivá. Špecifikácia a triedy palív. Časť 1 – Všeobecné požiadavky STN EN 14775 Tuhé biopalivá, stanovenie obsahu popola
- STN EN 15149-2 Tuhé biopalivá, stanovenie rozdelenia veľkostí častíc. Časť 2: Metóda s vibračným sitom s veľkosťou otvorov 3,15 mm a menej
- STUPAVSKÝ, V., 2012. Historie dřevních pelet v zalesněném a úspěšném Rakousku, [cit. 2013-05-03]. Dostupné na internete: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/historie-drevnich-pelet-v-zalesnenem-a-uspesnem-rakousku>>. ISSN: 1801-2655.
- ŠOOŠ, L., KRÍŽAN, P., MATÚŠ, M., 2010. Tuhé ušľachtilé palivá ako alternatíva ku klasickým energonosičom, Strojnícka fakulta STU, Bratislava
- VERNER, V., 2007. Alternativní pelety, [cit. 2013-05-03]. Dostupné na internete: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/alternativni-pelety>>. ISSN: 1801-2655.

Adresa autorov:

Ing. Miroslav Štulajter
Ing. Martin Lieskovský, PhD.
prof. Ing. Valéria Messingerová, CSc.
Technická univerzita vo Zvolene
Lesnícka fakulta
Katedra lesnej ťažby, logistiky a meliorácií
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
e-mail: miroslav.stulajter@gmail.com
lieskovsky@tuzvo.sk
messingerova@tuzvo.sk

Energetické vlastnosti vybraných ušľachtilých biopalív

Abstrakt

Cieľom práce bolo analyzovanie vzoriek tuhých biopalív, konkrétne peliet, brikiet a dreveného uhlia. Ide o ušľachtilé biopalivá, pri výrobe ktorých sa vstupná surovina upravuje tak aby palivo malo normalizovanú veľkosť, dĺžku, rovnomernosť horenia a optimálny tvar pre prepravu a skladovanie. Na získaných vzorkách sa určovali a následne porovnávali tieto charakteristiky: relatívna vlhkosť, výhrevnosť a obsah popola. Pri peletách bol určený aj podiel jemných častíc. Sú to základné vlastnosti podľa ktorých je možné posúdiť kvalitu paliva. Postup stanovenia parametrov sledovaných biopalív vychádza z platných technických noriem. Na základe zistenej výhrevnosti jednotlivých vzoriek bol urobený výpočet spotreby paliva a nákladov na vykurovanie pri modelovej spotrebe energie 100 GJ za rok. Najlepšie v hodnotení sledovaných parametrov dopadli pelety Biomac z čistých bukových pilín. Z výsledkov porovnania nákladov je však zrejmé, že hlavným ukazovateľom určujúcim celkové náklady nie je výhrevnosť ale cena paliva. Aj pelety vyrobené zo sena s veľmi malou výhrevnosťou ($13\,206\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) ponúkané za priaznivú cenu dokážu vo výsledných nákladoch konkurovať kvalitným dreveným peletám či briketám.

Kľúčové slová: pelety, brikety, výhrevnosť

VYUŽITIE HYPERSPEKTRÁLNYCH DÁT V KOMBINÁCII S VÝSTUPMI LETECKÉHO LASEROVÉHO SCANU PRI URČOVANÍ DRUHOV DREVÍN

Šimon S A L O Ň

Saloň, Š.: Usability of hyperspectral remote sensing materials in determining the characteristics of the tree. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 57, Suppl. 1, 2015, 145–159.

The work is dedicated to qualitative classification of the selected area (with the main emphasis on species composition) using Gaussian maximum likelihood algorithm in ENVI 5.0 software environment, on the basis of hyperspectral data provided through the AISA Eagle system.

The second part is dedicated to the combination of the raster classification of selected area with the airborne laser scan output. The combination provides us a derived position of objects representing the crown projections of individual species. A secondary aim of the work is the creation, analysis and implementation of hyperspectral curves of the classes to the hyperspectral library. It enables an automatized classification of the selected area. The result is the map outputs of raster and vector representation, which describe the position of classified objects.

The final part is dedicated to the demonstration of use of final outputs in precision forestry as a full-featured multifunction source of information to support decision making.

Key words: hyperspectral data, airborne laser scan, forestry, GIS

1 ÚVOD A CIELE

Neustále sa rozvíjajúce technológie a metodiky spracovania dát na rôznej úrovni automatizácie v integrácii s GIS (geografickými informačnými systémami) poskytujú bohatú paletu informácií s takmer neobmedzenou využiteľnosťou v rôznych odvetviach hospodárstva i mimo nich. V lesnom hospodárstve možno využiť celú škálu technológií na zabezpečovanie potrebných a primerane presných informácií pri tvorbe PSL. Pri určovaní hraníc jednotlivých JPRL sa momentálne využíva prevažne fotogrametria, GNSS technológie, geodetické metódy a letecky laserový scan. Pri odvodzovaní porastových veličín a určovaní hraníc JPRL (jednotiek priestorového rozdelenia lesa) má najväčšiu perspektívu práve letecky laserový scan. Všetky tieto technológie sa navzájom integrujú a dopĺňajú. V poslednom období sa dostáva dopopredia aj využívanie hyperspektrálnych materiálov, ktoré zachytávajú odraznosti jednotlivých prvkov v rôznych vlnových dĺžkach, na báze ktorých sa určuje kvalita a teda sa prisudzuje príslušnosť prvku do jednotlivej triedy.

Práca je zameraná na využiteľnosť hyperspektrálnych dát získaných systémom AISA Eagles v kombinácii s vhodne spracovanými dátami leteckého laserového scanu (ALS) pre odvetvie lesného hospodárstva.

Cieľom práce je:

- vhodným metodickým postupom na podklade hyperspektrálnych dát klasifikovať záujmové územie s primárnym zameraním na drevinové zloženie,
- z dát leteckého laserového scanu odvodiť korunové projekcie jednotlivých drevín zvolenej časti porastu,
- posúdiť vhodnosť využitia výstupov integrujúcich letecké laserové scanovanie a hyperspektrálne dáta, ako možnej vhodnej inventarizačnej metódy pri zbere a vyhodnocovaní časti dát pre potreby precízneho lesníctva.

2 PROBLEMATIKA

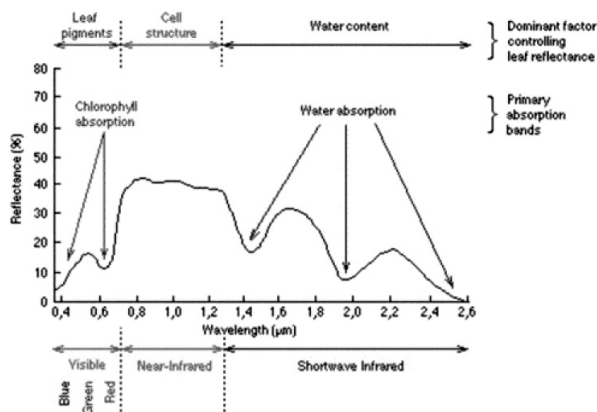
Tvorbou a využitím multispektrálnych a hyperspektrálnych dát sa zaoberá DPZ (diaľkového prieskumu Zeme). Cieľ DPZ je zameraný na určovanie kvality. Využíva poznatky o vlastnostiach elektromagnetického žiarenia. Jednotlivé povrchy objektov majú pri interakcii s jednotlivými vlnovými dĺžkami elektromagnetického žiarenia rôznu úroveň odraznosti. Táto skutočnosť tvorí podstatu princípu pri spektrálnej klasifikácii obrazu. S ohľadom na aplikáciu hyperspektrálnych dát pre určovanie druhov drevín je na obr. č. 1 uvedené priemerne spektrálne správanie sa vegetácie, ktoré je podrobnejšie analyzované v kapitole 2.2 Spektrálne správanie sa vegetácie.

2.1 Hyperspektrálne dáta

Doposiaľ nebola záväzne prijatá presná definícia charakterizujúca hyperspektrálne dáta. Na základe dostupných údajov však možno zhrnúť a opísať najdôležitejšie špecifiká, ich výhody a nevýhody. Základným znakom hyperspektrálnych dát je, že obsahujú veľké množstvo spektrálnych kanálov elektromagnetického žiarenia. Tie zachytávajú odraznosti jednotlivých objektov a javov v úzkych (od 10 μm) na seba nadväzujúcich intervaloch elektromagnetického spektra pri zachytávaní rôzneho celkového elektromagnetického spektra.

Práve tento technický parameter predurčuje tieto dáta k multifunkčnému využitiu. Vedľa jemnejšie a presnejšie zachytávať a opisovať spektrálne správanie sa objektov, čo má napríklad veľký význam pri sledovaní zmien odraznosti vegetácie v rámci rôznych časových radov (sledovanie a vyhodnocovanie fenológie,...). Medzi nevýhody hyperspektrálnych dát patrí ich náročné spracovanie zamerané na radiometrické a geometrické korekcie.

2.2 Spektrálne správanie sa vegetácie



Obrázok 1: Spektrálne správanie sa vegetácie

Image 1: Spectral behavior of vegetation

http://nptel.ac.in/courses/105104100/lectureD_20/D_20_3.htm

Ako možno vidieť, spektrálne správanie sa vegetácie (ich listov) v jednotlivých vlnových dĺžkach ovplyvňujú v najväčšej miere tri faktory, ktorých rozpätia sú schematicky znázornené v uvádzanom obrázku nad textom. Odrazivosť vegetácie v prvom rozpätí vlnových dĺžok (0,400 µm – cca 0,650 µm) sa mení primárne v závislosti od listových pigmentov (chlorofyl a, b, karotenoidy, fykobiliny,...), ktoré výrazne pohlcujú elektromagnetické žiarenie v týchto vlnových dĺžkach. V rozpätí vlnových dĺžok (0,650 µm – 1,3 µm) má výrazný vplyv na zmenu odrazivosti bunková štruktúra orgánov jednotlivých druhov vegetácie. Uvádzané rozpätie ponúka vysokohodnotné informácie, na základe ktorých je možné už vizuálne (porovnávaním) identifikovať celú paletu objektov a javov s ohľadom na zameranie. Tretia časť elektromagnetického žiarenia (1,3–2,6 µm) je výrazne pohlcovaná v závislosti od podielu vody v pletivách. Každý druh vegetácie má svoju identickú krivku spektrálneho správania sa. Práve tento fakt je predmetom skúmania pri ich klasifikácii. Tu ale nastáva problém tzv. zmiešaného pixelu, ktorého problematiku podrobnejšie rieši VAN DER MEER, et. al. 2001.

2.3 Spektrálna klasifikácia obrazu

Pod pojmom klasifikácia obrazu rozumieme zatriedovanie obrazových prvkov do tried na základe vopred stanovených kritérií. Dnešné digitálne rastrové reprezentácie môžu nadobúdať hodnoty v rozsahu až 24-bit, čo predstavuje 16 777 216 možných hodnôt v rámci pixelu pri snímaní. Pri hyperspektrálnych dátach sú tieto snímky buď v 12-bitovom alebo 16-bitovom formáte. Potencionálne vedia tieto 16-bitové snímky zachytiť až

65 536 stupňov odraznosti, ktoré sa v počítačovom prostredí vizuálne prejavujú rôznym stupňom odtieňov sivej, s ktorými vie počítač pracovať a ďalej vyhodnocovať. Len ťažko si možno predstaviť človeka schopného rozpoznať 65 536 odtieňov sivej, ktorý by dokázal takéto dáta zatriediť a klasifikovať len na základe ich odtieňa. Pod spektrálnou klasifikáciou obrazu rozumieme automatizované zatriedovanie jednotlivých pixelov do tried prostredníctvom rozhodovacích pravidiel (algoritmov), ktoré zohľadňujú hodnoty DN charakterizujúce spektrálnu odrazivosť objektov a javov zachytených v rámci pixelu.

Spektrálna klasifikácia obrazu sa delí na:

- a) nekontrolovanú,
- b) kontrolovanú.

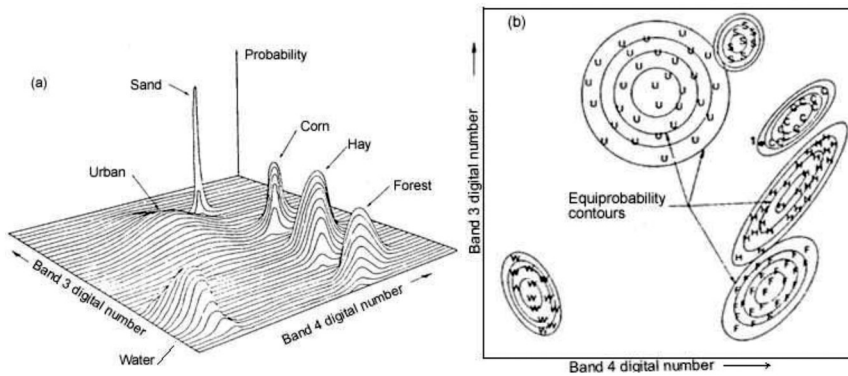
2.4 Kontrolovaná klasifikácia – Gaussian maximum likelihood

Pri kontrolovanej klasifikácii poznáme vopred klasifikačné triedy, ktoré identifikujeme priamo pri terénnych prácach (referenčné údaje). Všetky identifikované objekty patriace do príslušnej triedy tvoria tréningovú množinu, na podklade ktorej sa vytvára interpretačný kľúč z hodnôt DN v jednotlivých vlnových dĺžkach. Prostredníctvom vytvoreného interpretačného kľúča sa po porovnávaní zatriedujú jednotlivé obrazové prvky do príslušných tried.

a) Gaussov klasifikačný algoritmus maximálnej pravdepodobnosti

Algoritmus je založený na princípe klasifikácie využívajúcej rozptyl a kovarianciu exaktne vytvorených tréningových množín (ROI). Pri klasifikácii vychádza z normálneho rozdelenia hodnôt DN v rámci jednotlivých tréningových množín. Vlastnosti výberového súboru (hodnoty DN) popisuje mierou polohy, ktorou je priemer. Ten určuje polohu priemernej DN hodnoty v rámci 2D priestoru. Veľkosť je definovaná mierou variability a to rozptylom, pričom jej tvar a orientácia je popísaná kovarianciou, ktorá je kalkulovaná v rámci regresnej a korelačnej analýzy. Z týchto parametrov sa pre každý obrazový prvok vstupujúci do klasifikácie vypočíta štatistická pravdepodobnosť pre každú jednu stanovenú triedu. Prvok bude teda zaradený do triedy podľa vypočítanej najväčšej pravdepodobnosti, pri zohľadnení všetkých pravdepodobností voči triedam. Potrebná prahová pravdepodobnosť sa volí pri parametroch klasifikácie. Výhodou tejto metódy je, že zohľadňuje kolísanie DN hodnôt a že nedochádza k preklasifikovaniu (zaradeniu jedného obrazového prvku k dvom triedam). Nevýhodou je však prácnosť a časová náročnosť pri zohľadnení potrebných terénnych šetreniach (ŽÍHLAVNÍK, Š., SCHEER, L. 2001).

Rozšírením o Bayesovu klasifikáciu možno dosiahnuť optimálnejšie výsledky. Princíp spočíva v zohľadňovaní dvoch faktorov pri každej klasifikovanej triede. Ide o pridelenie rôznej pravdepodobnosti v závislosti od výskytu určitého prvku v klasifikovanej oblasti a priradeniu váhy nákladov spojených s chybnou klasifikáciou (THOMAS M. LILLESAND, et al. 2008). Schematické zobrazenie popisujúce princíp práce algoritmu je na obr. 11. Zobrazenie princípu práce algoritmu GAUSSIAN MAXIMUM LIKELIHOOD v: a) 3D priestore, b) 2D priestore.



Obrázok 2: Zobrazenie princípu práce algoritmu GAUSSIAN MAXIMUM LIKELIHOOD
v: a) 3D priestore, b) 2D priestore

Image 2: The scheme of the GAUSSIAN MAXIMUM LIKELIHOOD algorithm work principle
in a: a) 3D space, b) 2D space

Zdroj: http://nptel.ac.in/courses/105104100/lectureD_28/D_28_4.htm

Pri tomto parametrickom algoritme sa dosahujú pri vyhodnocovaní presnosti naj-
lepšie výsledky. Avšak na druhej strane vyžaduje precíznu prípravu a zber dát, ktoré sú
časovo a finančne náročné.

3 EXPERIMENTÁLNY MATERIÁL A METODIKA

3.1 Experimentálny materiál

Experimentálny materiál pozostával z/zo:

- pracovnej mapy vhodnej spektrálnej kompozície doplnenej o bodové pole polygónového ťahu,
- stabilizovaného a signalizovaného bodového poľa polygónového ťahu, ktoré slúžilo ako hlavný orientačný prvok v lesnatej záujmovej lokalite pri zbere potrebných informácií,
- bodov zameraných GNSS prijímačom (Trimble geo xh6000 series), zachytávajújúcich polohu záujmových prvkov,
- opisu porastov LHC z aktuálneho PSL pre vybranú lokalitu,
- dát leteckého laserového scanu,
- hyperspektrálnych dát systému *AISA eagles*.

Pre širšie súvislosti uvádzame podrobnejšie informácie o hyperspektrálnych dátach:

- priestorová rozlišovacia schopnosť snímky: 0,5 m,
- rádiometrické rozlíšenie: 16-bit (65 536 možných hodnôt DN výsledného rastra pri snímaní),

- spektrálne rozlíšenie: 10 μm ,
- spektrálny rozsah: 0,400–1,000 μm ,
- počet spektrálnych pásiem: 65,
- projekčný súradnicový systém: UTM 32,
- časový aspekt: 8,7–10,7.

3.2 Metodika

3.2.1 Prípravné práce

Prípravné práce pozostávali z/ zo:

- a) analýzy dostupných hyperspektrálnych materiálov celého VŠLP a zvolenie záujmovej lokality,
- b) tvorby vektorovej vrstvy vizuálne farebne odlišných objektov, ktoré budú pri terénnych prácach predmetom prešetrovania,
- c) vytvorenia terénnej mapy, ktorej obsah bol nasledovný:
 - rastrová podkladová vrstva bola tvorená vhodnou kompozíciou spektrálnych pásiem, výsledkom ktorej bola letecká snímka v nepravých farbách (v kvázi červenom spektre ju tvorila vrstva (band) s vlnovou dĺžkou 0,810 μm , v zelenom spektre 0,680 μm a modrom spektre 0,587 μm ,
 - vektorová vrstva charakterizovala polohu zameraných bodov polygónového ťahu a záujmových objektov, ktoré bolo potrebné pri terénnom šetrení identifikovať a kvalitatívne zatriediť do tried,
 - gridová vrstva v spone 50 \times 50 m naprieč mapovým listom znázorňovala priebeh projekčnej siete a zlepšovala tak orientáciu v záujmovej lokalite,
 - mimorámové údaje dopĺňali praktickú využiteľnosť terénnej mapy, šlo najmä o mierky (číselná, grafická), legendu, severku a textovú časť.

Prvotná analýza prebiehala cez modul 2D Scatter plot, kde bolo možné nahrubo vizuálne identifikovať hierarchicky najvyššie (dobře separované) triedy, ktoré reprezentovali štruktúru lokality (listnaté dreviny, ihličnaté dreviny, lúka, cesta).

3.2.2 Terénne práce

Terénne práce sa zameriavali hlavne na prešetrovanie, identifikovanie a kvalitatívne zatriedovanie objektov vytvorenej vektorovej vrstvy do tried. Pre orientáciu v teréne sa využívalo existujúce bodové pole polygónového ťahu, vytvorená terénna mapa a buzola. Zároveň sa do terénnej mapy zakresľovala poloha a plocha prvkov, ktoré boli mimo vytvorenej vektorovej vrstvy a buď:

- a) plošne rozširovali už existujúce kvalitatívne triedy,
- b) vylišovali nové kvalitatívne triedy.

V tomto bode však nastal časom popri šetrení problém. Problém týkajúci sa miery zohľadňovania detailu pri vyčleňovaní tried v závislosti od záujmu lesníctva. Pri vyčleňovaní tried boli použité nasledovné kritéria:

- a) plošné zastúpenie v lokalite (lúka, cesta,...),
- b) identifikovateľnosť na snímke,
- c) druhová príbuznosť objektov a ich zlúčenie (zjednodušenie) pri čo najmenej strate informácií.

K príkladu možno uviesť prípad dvoch druhov drevín z rodu *Pinus* v rámci lokality. Dominantným druhom bola *Pinus sylvestris* L., zároveň sa v lokalite nachádzala aj *Pinus strobus* L., ktorá nieje v lokalite rozšírená a na snímke nieje rozpoznateľná. Jej plošné zastúpenie by nepostačovalo na vytvorenie ROI podľa odporúčaných kritérií, o ktorých bude zmienka nasledujúcej kapitole: 4.2.3 Kancelárske práce. Na podklade týchto informácií bolo rozhodnuté, že aj keď sa tento druh dreviny v záujmovom území nachádza, nebude pre ňu vytvorená osobitná kvalitatívna skupina. Zároveň sa lokalita s jej výskytom nezaďovala do ROI pre drevinu *Pinus sylvestris* L. Rovnako táto lokalita nevstupovala ani ako kontrolná referenčná plocha. Tým sa zamedzilo zbytočnému skresľovaniu výstupných štatistík (pre ROI) a následným skresleniam pri hodnotení presnosti klasifikácie. Pre výskumne účely postačovalo v určitých prípadoch vytvoriť triedy pre jednotlivé rody drevín (pr. *Crataegus* sp.). Súčasťou terénnych prác bol aj odber zimných púčikov sporných nezaradených, ale na snímke identifikovaných druhov drevín. Je potrebné si uvedomiť, že hyperspektrálne dát poskytujú multifunkčný zdroj informácií a je len na nás, aby sme vhodne stanovili predmet skúmania, od ktorého sa bude odvíjať proces mapovania.

3.2.3 Kancelárske práce

V tejto fáze sa systematicky spracovávali údaje a dáta z terénneho šetrenia. Postupne sa podľa odporúčaných metód a kritérií dospelo k prechodným a finálnym výstupom, z ktorých boli kalkulované a interpretované výsledky.

Pre zhrnutie sa v tejto kapitole budeme v krátkosti venovať:

- a) tvorbe masky (vylúčenie zatienených častí z klasifikácie),
- b) trérovacím množinám (ROI), kontroly ich odlučiteľnosti a vizualizácie, tvorba referenčných dát,
- c) tvorbe hyperspektrálnych kriviek a ich exportovaním do spektrálnej knižnice,
- d) klasifikačnému algoritmu Gaussian Maximum Likelihood (zvoleným parametrom pri klasifikácii),
- e) metodike spracovania LIDAR dát a tvorbe korunových projekcii,
- f) zonálnej štatistike.

Spracovanie prebiehalo v softwarovom prostredí ENVI 5.0 od firmy EXELIS, Excell od firmy MICROSOFT a ArcMap 10.2 od firmy ESRI.

a) Výsek záujmového územia a tvorba masky reprezentujúcu tieň

V softwarovom prostredí ENVI cez modul *RESIZE DATA* bolo vyextrahované záujmové územie so všetkými vlnovými dĺžkami, ktoré bolo definované polygónom vo vektorovej reprezentácii. Masku v tomto ponímaní možno opísať ako časť územia, ktorá nemá vstupovať do klasifikácie. V našom prípade išlo o vytvorenie masky pre časti úze-

mia výrazne zatienené. Dôvodom je fakt, že zatienené časti objektov majú iné spektrálne chovanie, ako aj iné hodnoty DN, čo by výrazne ovplyvnilo štatistické charakteristiky výberových súborov jednotlivých tried. Pre tento účel bola po analýze vybraná vrstva z hyperspektrálnych dát, ktorá opticky najviac vystihuje polohu tieňa. Výber vrstvy prebehol čisto subjektívne a celkovo je táto časť spracovania údajov a tvorba výstupov výlučne subjektívna. Pre tento účel bola zvolená vrstva 42 zachytávajúca vlnovú dĺžku 0,7727 μm . Za pomoci histogramu bola určená hraničná hodnota DN, po ktorú budeme všetky rastre s danou hodnotou DN klasifikovať ako tieň. Pre tento prípad boli všetky rastre s hodnotou DN v intervale 0–1 100 DN (okrem cesty, ktorá bola v druhom kroku vypustená) klasifikované cez modul *RECLASSIFY* ako tieň. Rastrová reprezentácia bola prevedená cez modul *RASTER TO POLYGON* do vektorovej reprezentácie.

b) Tvorba tréningových množín (ROI) a referenčných dát

Cez modul *ROI TOOLS* v prostredí ENVI 5.0, boli postupne vytvárané polygóny charakterizujúce polohu objektov patriacich jednotlivým triedam. Minimálny počet rastrov tvoriacich výberový súbor jednej triedy, pre ktorú budú kalkulované štatistické charakteristiky bol zvolený na 650 rastrov na jednu triedu. Pri stanovení potrebného rozsahu výberového súboru sme sa snažili držať odporúčaní podľa LILLESAND *et al.* (2008), ktorý uvádza, že rozsah výberového súboru by sa mal pohybovať na úrovni $10n$ až $100n$, kde n je množstvo spektrálnych kanálov analyzovaných hyperspektrálnych dát. V našom prípade to predstavovalo $10 \times 65 = 650$ potrebných pixelov na triedu. Vytvárané ROI boli podľa situácie rovnomerne priestorovo usporiadané tak, aby zabezpečovali čo najlepšiu reprezentatívnosť. Pre takto vytvorené ROI prebehla v module *COMPUTE ROI SEPARABILITY*, ktorý používa na výpočet vzdialenosti *Jeffries-Matusitov* algoritmus, kalkulácia oddeliteľnosti jednotlivých tried. Výsledkom je koeficient v rozsahu od 0 po 2. Hodnota 0 indikuje žiadnu (zlú) separabilitu medzi porovnávanou dvojicou trieda hodnota 2 indikuje vysokú separabilitu. Všeobecne možno už výsledky z hodnotou nad 1.9 možno považovať za uspokojivé (THOMAS *et al.* 2001).

V druhej časti týchto prác boli spracované a vytvorené aj tzv. referenčné dáta, ktoré charakterizovali polohu jednotlivých porovnávacích tried, na báze ktorých prebiehalo zisťovanie presnosti klasifikácie. Po analýze oddeliteľnosti jednotlivých tried sa pristúpilo ku kalkulácii štatistických charakteristík pre jednotlivé triedy cez modul *COMPUTE ALL STATISTIC*. Oddeliteľnosť jednotlivých tried je možné vizualizovať v module *N-DIMENSION VISUALIZER*.

c) Tvorba hyperspektrálnych kriviek a ich export do hyperspektrálnej knižnice

Po zohľadnení všetkých skutočností s ohľadom na minimálny rozsah výberového súboru a potvrdenú oddeliteľnosť sa pristúpilo ku kalkulácii štatistických charakteristík opisujúcich spektrálne správanie jednotlivých tried, ktoré prebehlo v module *COMPUTE ALL STATISTIC*. Výsledkom kalkulácie bola podrobná štatistika pozostávajúca z regresnej a korelačnej analýzy a z mier polohy a variability. Súčasťou výstupov

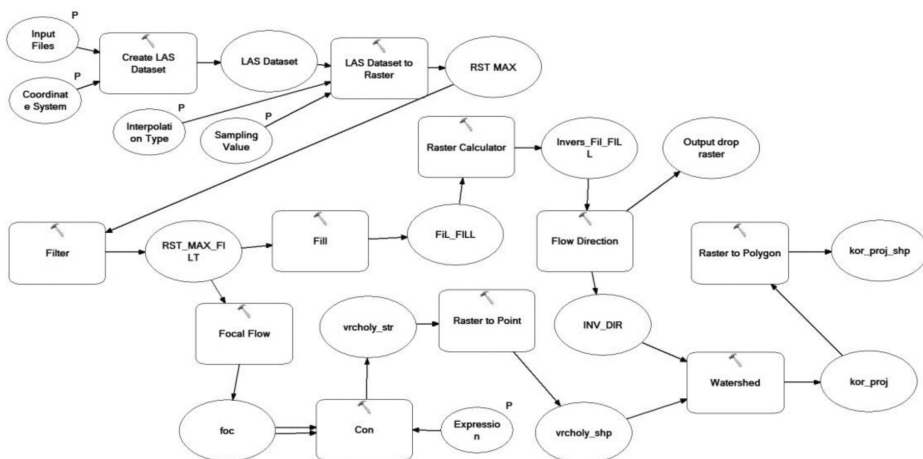
sú aj hyperspektrálne krivky jednotlivých tried odzrkadľujúcich ich priemerné spektrálne správanie sa v rámci jednotlivých vlnových dĺžok. Tieto empiricky získane krivky možno exportovať do spektrálnej knižnice, ktorá slúži ako zdroj informácií pri klasifikačnom algoritme SAM.

d) *Klasifikácia lokality prostredníctvom parametrického algoritmu Gaussian Maximum Likelihood*

Je to algoritmus zohľadňujúci rozptyl a kovariáciu tréningových množín, pričom pri výpočte ráta s Gausovým normálnym rozmiestnením DN hodnôt vytvorených tréningových množín. Ako vstup pre klasifikáciu sme použili výsek záujmového územia a všetky založené a overené ROI. Hodnota pravdepodobnosti pri klasifikácii bola pre všetky triedy nastavená na 0,1. V prvom kroku bolo záujmové územie klasifikované pri zohľadnení full setu (pri použití všetkých vlnových dĺžok od 0,400 μm po 1,00 μm), a v druhom kroku iba z rozpätia spektrálnych vlnových dĺžok od 0,700 μm po 1,000 μm . Dôvodom bol fakt, že v tomto rozmedzí vlnových dĺžok je už vizuálne lepšia odlišiteľnosť jednotlivých tried.

e) *metodika spracovania LIDAR dát a tvorba korunových projekcií*

Samotnej metodike spracovania sa venuje viacero autorov a výskumných tímov. Pre potreby odvodzenia korunových projekcií drevín bola použitá metodika podľa Michaela Swamera, ktorý odvodzuje korunové projekcie na báze tvorby povodí. Na obrázku 17. Spracovanie dát ALS: podľa metodiky Michael Swamer, je znázornený celý proces spracovania laserových dát, ako aj odvodzovania korunových projekcií v prostredí ArcMap10.2 prostredníctvom modulu *model builder* (obrázok 2).



Obrázok 3: Spracovanie LAS – odvodzovanie korunových projekcií

Image 3: LAS processing – derive crown projections

f) Zonálna štatistika

Klasifikované územie v rastrovej reprezentácii bolo exportované z prostredia ENVI 5.0 vo formáte TIFF, ktorý je čitateľný pre software ArcMap, v ktorom prebiehalo ďalšie spracovanie. Do založeného projektu boli naimportované vytvorené korunové projekcie. Cez modul *ZONAL STATISTIC AS TABLE* prevezmeme a pridáme atribúty majoritného zastúpenia pixelov danej triedy polygónu, do ktorého spadajú. Výsledkom je po prepojení cez *JOIN TABLE* vektorová reprezentácia korunových projekcií, ktorá ma naplnenú databázu s informáciami o identite jednotlivých korunových projekcií vo vzťahu k drevinám.

5 VÝSLEDKY

Pri terénnych prácach bolo v záujmovom území nájdených 16 druhov drevín a to: *Pinus sylvestris* L., *Pinus Strobus* L., *Juniperus comunis* L., *Abies alba* Mill., *Picea abies* L., *Larix decidua* Mill., *Betula pendula* Roth., *Fagus sylvatica* L., *Quercus* sp., *Cerasus avium* L., *Tilia* sp., *Populus* sp., *Carpinus betulus* L., *Acer pseudoplatanus* L., *Fraxinus excelsior* L., *Crataegus* sp.

Nie všetky druhy drevín však spĺňali požiadavku na minimálny rozsah výberového súboru, ktorý mal byť tvorený z minimálne 650 pixelov. Niektoré druhy drevín neboli na hyperspektrálnych dátach ani identifikovateľné. Z týchto dôvodov boli vylúčené z budúcej klasifikácie dreviny *Juniperus comunis* L., *Pinus strobus* L., *Abies alba* Mill., *Cerasus avium* L., *Populus* sp.

V tab. 1: Popis mapovaných prvkov, je uvedený prehľad identifikovaných drevín, ich množstvo pixelov, z ktorých sa skladali trénovacie množiny (tvorili výberový súbor pre kalkuláciu štatistických charakteristík), počet lokalít, z ktorých sa skladali, ako aj množstvo nájdených a identifikovaných referenčných dát.

Tab. 1: Popis mapovaných prvkov

Table 1: The description of the mapped elements

Mapovaný prvok	Výmera referenčných prvkov v pixloch	Počet referenčných plôch	Výmera kontrolných referenčných prvkov v pixloch
<i>Larix decidua</i> Mill.	133	3	–
<i>Picea abies</i> L.	942	13	943
<i>Pinus sylvestris</i> L.	935	8	1,173
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	335	1	–
<i>Betula pendula</i> Roth.	201	1	–
<i>Tilia</i> sp.	661	7	747
<i>Acer platanoides</i> L.	284	1	–
<i>Carpinus betulus</i> L.	682	6	1,671

Tab. 1: Popis mapovaných prvkov – pokračovanie
 Table 1: The description of the mapped elements – continued

Mapovaný prvok	Výmera referenčných prvkov v pixloch	Počet referenčných plôch	Výmera kontrolných referenčných prvkov v pixloch
<i>Crataegus</i> sp.	408	3	534
<i>Quercus</i> sp.	693	4	2,123
<i>Fagus sylvatica</i> L.	788	5	965
Cesta	449	4	540
Pokosená lúka	2,476	2	5,240
Nepokosená lúka	976	2	1,205

Ako vidieť v tabuľke 1: Popis mapovaných prvkov, pre finálnu klasifikáciu bolo vybraných a použitých 14 tried, z ktorých len 8 spĺňalo kritérium minimálnej výmery výberového súboru (sivo vyznačené bunky). Pri štyroch triedach dokonca absentovalo potrebné množstvo referenčných dát v pixeloch pre zhodnotenie presnosti klasifikácie. (*Larix decidua* Mill., *Fraxinus excelsior* L., *Betula pendula* Roth., *Acer platanoides* L.).

Tab. 2: Vplyv použitého elektromagnetického rozpätia na presnosť klasifikácie Gaussian maximum likelihood v %

Table 2: The impact of the used electromagnetic range on accuracy of classification Gaussian maximum likelihood classification in%

Trieda	Nadhodnotenie		Podhodnotenie		Prod.Acc.		User Acc.	
	0,7–1,0 μm	0,4–1,0 μm	0,7–1,0 μm	0,4–1,0 μm	0,7–1,0 μm	0,4–1,0 μm	0,7–1,0 μm	0,4–1,0 μm
<i>Carpinus betulus</i> L.	33,77	24,7	20,23	62,9	79,77	37,1	66,23	75,3
cesta	0,68	0	0	0	100	100	99,32	100
<i>Crataegus</i> sp.	27,82	0	1,15	37,18	98,85	62,82	72,18	100
<i>Fagus sylvatica</i> L.	15,67	44,02	28,68	11,32	71,32	88,68	84,33	55,98
nepokosená lúka	2,75	0	2,1	1,09	97,9	98,91	97,25	100
<i>Picea abies</i> L.	5,77	9,51	11,78	2,56	88,22	97,44	94,23	90,49
<i>Pinus sylvestris</i> L.	4,46	2,12	3,29	4,68	96,71	95,32	95,54	97,88
pokosená lúka	0,06	0,21	0,66	0	99,34	100	99,94	99,79
<i>Quercus</i> sp.	15,34	14,75	13,78	16,91	86,22	83,09	84,66	85,25
<i>Tilia</i> sp.	5,7	36,62	34,35	0,4	65,65	99,6	94,3	63,38

Charakteristika hodnotení k tab. 2:

- Chyby z nadhodnotenia (Errors of Commission). Popisujú, aká časť referenčných dát bola zaradená do nesprávnych klasifikačných tried.

- Chyby z podhodnotenia (Errors of Omission). Popisujú, akej časti klasifikovaných dát boli priradené nesprávne referenčné dáta, resp. pravá presnosť v zameraní, či klasifikovaný pixel padol alebo nepadol do referenčných dát, ktoré mu odpovedajú.
- Producentská správnosť (Producer's Accuracy). Opisuje presnosť všetkých klasifikovaných tried, kde sa pri výpočte porovnávajú referenčné triedy s jednotlivými klasifikovanými triedami.
- Užívateľská správnosť (User's Accuracy). Opisuje presnosť klasifikovaných tried, pričom porovnáva každú jednu klasifikovanú triedu individuálne s referenčnými triedami.

V tabuľke č. 2 je uvedené zhodnotenie presnosti klasifikácie (v %). Je to len zlomok informácií o presnosti klasifikácie, preto hodnotíme len tie najpodstatnejšie: nadhodnocovanie jednotlivých tried, podhodnocovanie jednotlivých tried, producentská presnosť a užívateľská presnosť. Sivou farbou je vyznačená producentská presnosť z dôvodu že nám popisuje presnosť z podhodnotenia, kde boli priamo porovnávané referenčné dáta s vyprodukovanými. V tabuľke jasne vidieť, že použitý algoritmus dosahuje väčšiu presnosť pri použití spektrálneho rozpätia od 0,7–1,0 μm . Dokonca bolo z celkového množstva 15 141 referenčných pixelov klasifikovaných pri tomto rozpätí 13 3660 pixelov oproti 11 480 pixelom pri použití elektromagnetického rozpätia 0,4–1,0 μm . Klasifikovalo sa teda viac pixelov pri vyššej presnosti. Trieda *Crataegus sp.* je najviac zasiahnutá zmiešaním pixelu, keďže pixel reprezentujúci polohu danej triedy obsahoval aj značnú časť triedy lúka. Preto táto trieda reagovala na zníženie presnosti pri použití celého rozparia elektromagnetického spektra.

Tab. č. 3: Porovnanie presnosti a správnosti v závislosti od elektromagnetického rozpätia (MAX_LIKE)

Table 3: The comparison of the accuracy and precision, depending of the electromagnetic range (MAX_LIKE)

Klasifikačný algoritmus	rozpätie	OA %	Kappa index*	Δ_p
Gaussian maximum likelihood	0,400–1.00	89,477	0,8687	$\pm 0,00629$
	0.700–1.00	90,695	0,8862	$\pm 0,00949$

V tabuľke č. 3 vidíme zhrnutie opisujúce rozpätie, celkovú presnosť klasifikácie (OA %), kappa koeficient a očakávanú odchýlku od klasifikácie.

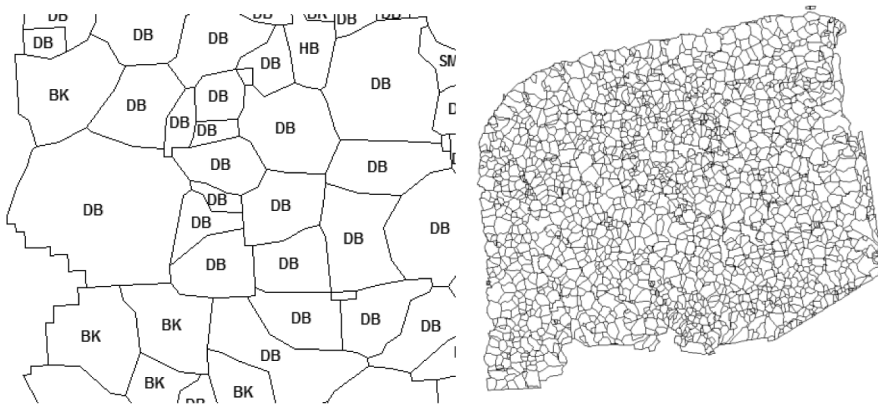
OA % – celková presnosť klasifikácie nám popisuje koľko všetkých obrazových prvkov bolo klasifikovaných správne.

Kappa koeficient: popisuje koľko % chýb sme odstránili pri použití algoritmu s danými parametrami pri daných podmienkach, ktoré by vznikli, ak sme použili úplne náhodnú klasifikáciu.

Δ_p – odchýlka od kappa indexu nám charakterizuje náhodnú chybu, ktorú môžeme očakávať pri klasifikácii s titulu pôsobenia náhodných faktorov.

Jednou z možností zlepšenia klasifikácie je spojenie výsledných klasifikačných rastrov s výsledkami leteckého laserového scanu v prostredí ArcMap cez modul *Zonal statistic as table* pri nastavení zohľadňovania majoritnej početnosti pixelu padnutého do jednotlivých polygónov reprezentujúcich korunové projekcie. Výsledkom sú teda korunové projekcie jednotlivých druhov drevín doplnené o atribúty z podkladového rastra (obr. č. 3). Presnejšie korunové projekcie pre účely porovnávania by bolo možné získať napr. použitím technológie Field-Map (TOMAŠTÍK, TUNÁK 2015), čo by ale bolo neúmerne časovo náročnejšie.

Pri aplikácii tejto fúzie vychádzame z podstaty, že nieje potrebné klasifikovať všetky obrazové prvky, ale iba tie, ktoré s najväčšou pravdepodobnosťou spadajú do danej triedy. Tieto kritéria sa nastavujú pri klasifikácii.



Obrázok: Korunové projekcie s priradeným atribútom drevín
Image 4: The crown projections with an associated attribute of tree species

6 ZÁVER

Na základe dosiahnutých výsledkov možno potvrdiť perspektívnosť využiteľnosti hyperspektrálnych dát v kombinácii s laserovým leteckým scanom. S novými prístupmi a metódami spracovania ALS možno očakávať zvýšenie presnosti pri odvodzovaní korunových projekcií (podľa VEGÁ C.; DURRIEU, S., bola dosiahnutá presnosť pri identifikácii 73,97 %), a zamedziť tak napr. ich nadmernej fragmentácii alebo naopak prílišnému zhlukovaniu. Za týchto predpokladov možno očakávať celkové zlepšenie presnosti pri pridelovaní atribútov z rastrovej vrstvy (výstupu klasifikácie) vektorovej (korunové projekcie jednotlivých drevín).

Po analýze výsledkov tejto fúzie sme dospeli k záveru, že nieje nutné klasifikovať všetky rastre skúmaného územia, ale iba tie, ktoré budú skutočne reprezentovať danú triedu pri požadovanej presnosti. To je potrebné zabezpečiť pri nastavení hraničných kritických hodnôt pri vybranej klasifikácii. Podmienkou pre zonálnu štatistiku je, aby aspoň

jeden raster charakterizujúci konkrétnu triedu padol do polygónu reprezentujúceho korunovú projekciu drevin, ktorej bude priradený atribút z rastra. Je však nutne podotknúť, že pre prepojenie týchto dvoch technológií je potrebné ich precízne predspracovanie (geometrické korekcie, georeferencovanie, rádiometrické korekcie, ...). Ďalším možným riešením pre krok vpred k automatizovanému spracovaniu je vytvorenie hyperspektrálnych kriviek významných druhov drevin v laboratórnych podmienkach, pričom by sa pri vytváraní kriviek zohľadňovala fenofáza, ontogenéza a zdravotný stav drevin. Disponovaním takýmito dátami by sa zamedzilo prácnym terénnym prácam zameraných na zber k tvorbe trénovacích množín a zúžil by sa len na zisťovanie presnosti klasifikácie a zberu referenčných dát, prípadne by sa len prešetrovali polohy klasifikovaných druhov drevin. V neposlednom rade je potrebné spomenúť problematiku tzv. čistoty pixelu reprezentujúceho istý povrch, respektíve jeho mixu v reálnych podmienkach, ktorý ovplyvňuje hodnotu DN a tým zasahuje do celkového výsledku klasifikácie. Záverom možno zhrnúť, že aj keď je tu veľa otázok, je možné očakávať progres týchto technológií smerom k presnosti a úrovni automatizácie.

6 Použitá literatúra

- LILLESAND, T., M., KIEFER, R., W., CHIPMAN, J. W., 2008. *Remote sensing and image interpretation*. 6th edition. USA, 2008. 804 pages. ISBN 978-0-470-05245-7.
- SWAMMER, M. [cit. 2015.03.02] Dostupné na internete: <http://web.pdx.edu/~jduh/courses/geog493f12/Projects/SwamerHouser.pdf>
- TOMAŠTIK, J., TUNÁK, D., 2015. *Compass measurement still a suitable surveying method in specific conditions*. *Geodesy and Cartography* 41(1), Taylor & Francis, s. 31–40
- THOMAS, V. et al., 2002. Image classification of northern peatland complex using spectral and plant community data [online]. In *Remote sensing of environment 84*, 2002.p. 83–99. [cit. 2015.02.26] Dostupné na internete: http://www.yorku.ca/jrmiller/Papers/03Thomas_RSE_FenClassification.pdf
- ŽIHLAVNÍK, Š., SCHEER, L., 2001. *Dial'kový prieskum Zeme v lesníctve*. Zvolen: Vydavateľstvo TU Zvolen, 2001. 289 s. ISBN 80-228-0991-8.
-

Adresa autora:

Využitelnost' hyperspektrálních materiálů DPZ při určování stromových charakteristik

Abstrakt

Práce sa venuje kvalitatívnemu klasifikovaniu zvoleného územia (s hlavným dôrazom na drevinové zloženie) za pomoci algoritmu Gaussian maximum likelihood v softwarovom prostredí ENVI 5.0 na podklade hyperspektrálnych dát zabezpečených prostredníctvom systému AISA EAGLE.

Druhá časť práce je venovaná kombinácii takto klasifikovaného územia rastrovej reprezentácie s výstupom leteckého laserového scanu, ktorý nám poskytuje odvodenú polohu objektov reprezentujúcich korunové projekcie jednotlivých drevín. Sekundárnym zámerom práce je vytvorenie, analýza a implementácia hyperspektrálnych kriviek jednotlivých tried do hyperspektrálnej knižnice, na základe ktorých je možné automatizovane klasifikovať zvolené územie. Výsledkom sú mapové výstupy rastrovej a vektorovej reprezentácie popisujúce polohu jednotlivých klasifikovaných objektov.

Záver práce je venovaný demonštrácii využiteľnosti finálnych výstupov pre potreby precízneho lesníctva ako plnohodnotného multifunkčného zdroja informácií pre podporu rozhodovania sa.

Kľúčové slová: hyperspektrálne dáta, letecký laserový scan, lesníctvo, GIS

ZISŤOVANIE DENDROMETRICKÝCH VELIČÍN POMOCOU ÚDAJOV Z MOBILNÉHO MAPOVACIEHO SYSTÉMU

Juraj Č E R Ň A V A

Čerňava, J.: Estimation of tree parameters using data produced by mobile mapping system.
Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 57, Suppl. 1, 2015, 161–171.

Nowadays the feasibility of mobile mapping systems is up to date subject. These systems produce various data types, but for measurements for the most of the application are used point clouds produced by mobile laser scanner. Application of such systems for acquiring the data for regular forest inventory could improve forest management. We very often interfere with incidental felling in regular operation, which can disorganize sustainable forest management. Highly automated mobile mapping systems can help update forest structure data after these unpredictable changes and support felling balance. Based on the mentioned facts the work focuses on processing the point clouds produced by mobile mapping system and testing the precision, which can this technology provide. On the territory of The University Forest Enterprise in the area of Včelien, which is species-rich and age-disparate, was carried out data collection by the mobile mapping system of company GEODIS Brno spol. s r.o. These data were processed into a form that allow measurements of tree diameter. Consequently, measured diameters were compared with diameter measured using conventional methods. RMSE value was 2,39 cm, which represents 8,03% of average tree diameter measured using conventional methods. The achieved result led to the artificial form factor of stem estimation experiment. Estimated tree parameters are critical for forest enterprises management and their automated derivation from spatial data has a potential to not just make work necessary for their collection easier but also make forest inventory more economical.

Key words: mobile mapping system, laser scanning, tree diameter measurement

1 ÚVOD

Laserové skenovanie je revolučná technológia, ktorá spôsobila prevrat nielen v lesníctve ale aj mnohých príbuzných oblastiach. Laserové skenery pripravené na leteckých nosičoch dokázali produkovať digitálne modely terénu aj pod povrchom súvislého zápoja korún stromov, ktorý bežne používané metódy fotogrametrie nedokázali poskytnúť. Táto skutočnosť následne vyústila do získavania výšok stromov z normalizovaného digitálneho modelu reliéfu resp. výškového modelu zápoja korún, čo významne prispelo k precíznejšiemu stanoveniu zásob porastov. Týmto sa z veľkej časti vyriešil problém zisťovania výšky porastu.

Následným zvyšovaním hustoty bodov leteckých laserových skenerov sa začal výskum v oblasti aplikácie Lidar-u sústreďovať na automatizáciu zisťovania zásob porastov,

pre ktorú bola technológia akousi hybnou silou. Spočiatku sa údaje z leteckých laserových skenerov začali kombinovať s konvenčnými meraniami hrúbok a následne boli odvodené rady algoritmov pre výpočet zásob porastov. Konvenčné merania hrúbok a výšok ale aj dlhodobá sledovaná hrúbková štruktúra na trvalých monitorovacích plochách slúžili na zistenie vzťahov medzi výškou a hrúbkou pre jednotlivé štruktúrne identické časti porastu. Na výpočet zásob takýmito algoritmi bolo potrebné z empirických meraní odvodiť koeficienty závislé najmä od kvality stanovišť resp. bonity ale aj konštanty reprezentujúce drevinové zloženie porastu. Takéto zisťovanie zásob bolo navrhnuté za účelom prevádzkového zisťovania zásob najmä rozsiahlych lesných komplexov, kde boli nepriaznivé podmienky pre bežné merania, avšak presnosť výpočtu zásob takýmto spôsobom bola pomerne nízka. Takýto prístup odhadovania zásob je charakteristický najmä pre prácu HOLLAUS et al. [9].

V poslednej dobe začínajú do oblasti hospodárskej úpravy lesov prenikať mobilné mapovacie systémy. Tieto systémy sa skladajú z viacerých komponentov slúžiacich na zber geopriestorových údajov. Vo veľkej väčšine sa jedná o mobilný laserový skener, panoramatickú kameru, fotogrametrické kamery prípadne fotografické kamery s vysokým rozlíšením ale aj hyperspektrálne kamery. Výstup mobilného laserového skenera je závislý od nosiča zariadenia. Pri pozemných mobilných skenovaníach sa tento podobá výstupu získanému pomocou jednoskenovej ale aj multiskenovej metódy. Na fúziu viacerých skenov nie je potrebné umiestnenie referenčných bodov, nakoľko táto je zabezpečená pomocou kooperácie GNSS a inerciálnej meracej jednotky.

WEZYK et al. [28] či LEEUWEN a NIEUWENHUIS [27] považujú za potencionálne využiť údaje v podobe mračna bodov pri lesníckych inventarizáciách. Z týchto dát je možné získať porastové charakteristiky ale aj charakteristiky individuálneho stromu.

V rámci prác KANKARE et al. [11], LINDBERG et al [14] a SRINIVASAN et al. [20] sa autorom podarilo odvodiť informáciu o hrúbke stromu z mračna bodov produkovaného pozemnými laserovými skenermi.

Okrem bežne zisťovanej hrúbky stromu sa viacerí autori ako napríklad LIANG [13] zamerali aj na zisťovanie ďalších dendrometrických veličín opisujúcich tvar kmeňa, z nich najmä na odvodzovanie morfolologickej krivky.

V rámci väčšiny výskumov boli použité na zber dát statické pozemné laserové skenery, avšak v práci JAAKOLA et al. [10] už dokázali autori odvodiť informáciu o hrúbke stromu aj z dát získaných mobilným mapovacím systémom. V oboch prípadoch sa však informácie odvodzovali z mračna bodov ako typu dát produkovaných či už pozemnými laserovými skenermi alebo mobilnými mapovacími systémami.

Rovnako ako už v spomínanej práci HOLLAUS et al. [9], aj mobilné mapovacie systémy vykazujú potenciál dopĺňania informácií o štruktúre porastov na ich kombinovanie s výškovými modelmi produkovanými leteckými laserovými skenermi a potenciál tvorby veľmi presných algoritmov na získavanie informácie o zásobách porastov s vysokým stupňom automatizácie.

2 MATERIÁL A METÓDY

2.1 Záujmové územie

Zber dát prostredníctvom mobilného mapovacieho systému prebiehal v marci 2014 v oblasti Včelien, patriacej pod lesnú správu Budča v rámci LHC ŠLP TU Zvolen. Porasty v danej oblasti tvoria najmä svieže bučiny, živné a svieže dubové bučiny ale aj iné. Mapovací systém nasadený na osobnom automobile zozbieral údaje z celej oblasti v okolí cesty. Konvenčné merania boli vykonané v rámci niektorých vybraných dielcov, najmä na prvom rade stromov od cesty, o ktorých sa dalo predpokladať, že budú identifikovateľné aj na mračnách bodov. Skenovanie prebehlo ešte v čase vegetačného pokoja, kedy je veľmi výhodne skenovať najmä listnaté porasty. Plocha je z veľkej časti tvorená genetickou základňou. Z tejto boli do výberového súboru začlenené najmä buky v dieľci 518. O takýchto jedincoch sa dá predpokladať, že budú symetrické, čo nepriamo zvyšuje presnosť výsledkov meraní na dátach zozbieraných jednoskenovou metódou.

2.2 Mobilný mapovací systém

Mobilný mapovací systém (ďalej len MMS) sa obvykle skladá z viacerých zariadení umiestnených na nosiči. Niektoré z nich slúžia na určovanie polohy a orientácie vozidla, iné na samotné mapovanie. Všetky zariadenia sú prepojené pomocou tzv. riadiacej jednotky. Pomocou nej sa do počítača zbierajú priestorové údaje z GNSS prijímača udávajúceho priestorovú polohu MMS, z inerciálnej meracej jednotky zaznamenávajúcej orientáciu MMS a prípadne aj z odometrov merajúcich rýchlosť a vzdialenosť, ktorú vozidlo prekonalo. Kombinácia týchto troch rôznych druhov meraní je veľkou výhodou MMS. V porovnaní s klasickým meraním totiž zaisťuje stabilnú presnosť v určení polohy vozidla, a to najmä v miestach, kde býva príjem GNSS signálu blokován vysokými budovami, stromami alebo inými konštrukciami, a kde teda môže dôjsť k výpadku GNSS riešenia.

Z nameraných údajov je možné v ktoromkoľvek okamihu určiť polohu a orientáciu vozidla, a to rovnako ako v reálnom čase tak i s väčšou presnosťou po ukončení merania, pomocou tzv. post-processingu. Vypočítaná trajektória je následne transformovaná do vybraného súradnicového systému tak, aby bola jednoducho začleniteľná do dostupných geografických informačných systémov a bolo ju možné priamo zobrazit' spolu s ďalšími rastrovými údajmi, ako napríklad ortofotomapy.

Riadiaca jednotka zabezpečuje taktiež zber dát zo zariadenia, ktoré slúžia na mapovanie záujmového územia. Tu patria rôzne typy digitálnych kamier, ale aj mobilný laserový skener.

Mobilný mapovací systém spoločnosti GEODIS Brno spol. s r.o. použitý pri mapovaní záujmového územia sa skladá z panoramatickej kamery, dvoch fotografických kamier po stranách MMS pre zjednodušenie identifikácie meraných objektov. Okrem kamerového systému zahŕňa MMS aj mobilný laserový skener.

2.3 Spracovanie údajov z mobilného laserového skenera

V prvej fáze spracovania bolo potrebné dáta dostať do takého stavu, ktorý by čo najviac podporil rýchlosť spracovania a taktiež poskytol čo najväčší manévrovací priestor na spracovanie údajov. Takúto formu bodové mračno nadobudlo prostredníctvom viacerých krokov spracovania v prostredí softvérového balíka Las Tools.

Prvým krokom bolo pridelenie priestorových indexov mračnu bodov v pôvodnom laserovom formáte. Následne sa mračno priestorovo rozčlenilo podľa štvorcovej siete na spracovateľné celky a konvertovalo do formátu natívneho pre softvérové prostredie, v ktorom celé spracovanie prebiehalo. Po tomto pripravení údajov sa následne vybralo z celkového mračna bodov záujmové územie. Pri ďalšom spracovaní sa tak použilo redukované mračno bodov a zabránilo sa tak redundancii údajov.

Ďalším krokom spracovania bolo potrebné definovať body terénu. Tieto algoritmus klasifikuje na základe minimálnej nadmorskej výšky po krokoch voliteľného rozmeru. Terén môže charakterizovať jeden alebo viacero bodov. Počet bodov tvoriacich terén je závislý od užívateľom nastaviteľnej tolerancie. Táto tolerancia bola variabilne nastavená tak, aby séria bodov priradených triede bodov terénu čo najviac reprezentovala povrch terénu skúmaného celku.

Po klasifikovaní bodov terénu je potrebné v mračne bodov klasifikovať body vo výškovom intervale, ktorého stred sa nachádza vo výške 1,3 m, v ktorej sa bežne meria hrúbka kmeňa. Tento krok samotný producent softvéru nazýva výškovou normalizáciou. Pre tento účel vyberieme segment bodov tak, aby obsahoval dostatočný počet bodov opisujúcich priebeh kmeňa. Výška tohto segmentu je závislá od použitého laserového skenera charakterizovaného najmä určitou hustotou bodov, ale aj hustoty podrastu pred kmeňom a použitej metódy skenovania. V našom prípade výstup laserového skenera závisel od tvaru cesty, po ktorej osobný automobil prechádzal. V oblasti zákrut, kde dochádzalo k viacnásobnému skenovaniu určitých oblastí, môžeme výstup stotožniť s výstupom poskytovaným pozemnými laserovými skenovacími systémami pri použití multiskenovej metódy. Vo väčšine prípadov sa však výstup podobal skôr výstupu laserového skenera s použitím jednoskenovej metódy. Vybraný segment bol klasifikovaný do novej triedy bodov.

V poslednom kroku spracovania bolo potrebné extrahovať klasifikovaný segment z mračna bodov. Tento proces bol prevedený pomocou aplikácie na odstraňovanie bodov šumu. Algoritmus, ktorý softvér využíva, prechádza mračno bodov priestorovou maskou v tvare kocky resp. kvádra voliteľného rozmeru. Prostredníctvom tejto masky vyhľadáva algoritmus miesta mračna s nižšou hustotou bodov. Tolerancia hustoty bodov bola nastavená na vysokú hodnotu tak, že algoritmus klasifikoval a odstránil všetky body mračna, pričom do výpočtu nezahrnul body triedy, v ktorej bol klasifikovaný segment vo výške 1,3 metra.

Napokon bolo mračno spätne prevedené do štandardného laserového formátu a jednotlivé listy, vytvorené priestorovým rozčlenením podľa štvorcovej siete, spojené do komplexného mračna bodov pre ďalšie spracovanie.



Obr. 1: Znáozornenie klasifikovaného segmentu vo výškovom intervale od 1,25 po 1,35 m.
 Fig. 1: Illustration of classified segment in height interval from 1.25 to 1.35 m.

2.4 Meranie na mračne bodov

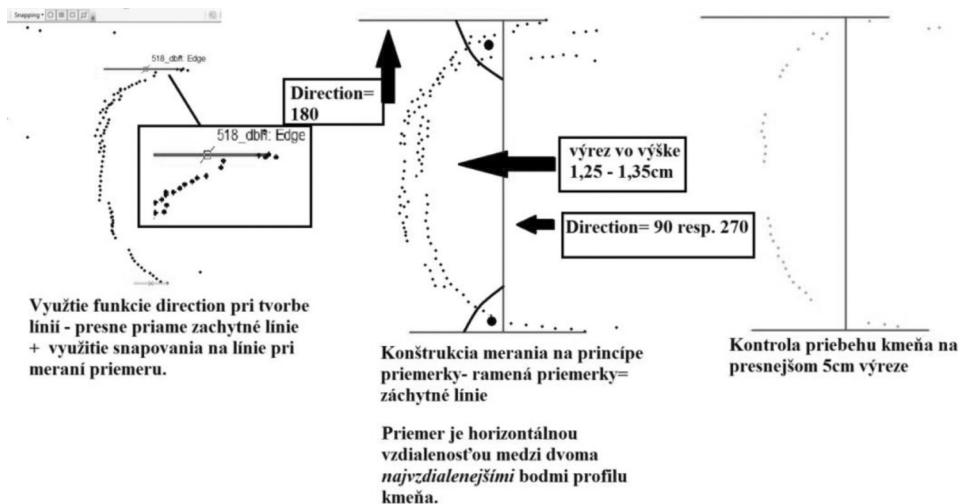
Po získaní výškových segmentov je potrebné tieto segmenty zobrazit' ako horizontálny rez. Na tento účel nám poslúži geoinformačný systém ArcGIS.

Geoinformačný systém ArcGIS s laserovým formátom dát pracovať nevie, avšak vie ho konvertovať do takej podoby, aby sa dali body mračna zobrazovať a aby sa na nich dalo efektívne merať.

Skutočná konverzia nastáva až po získaní informácie o rozstupe bodov resp. vytvorení las datasetu. Na meranie vzťahov medzi bodmi mračna je najvhodnejším formátom ESRI shapefile. Tento dovoľuje, na rozdiel od las datasetu slúžiaceho len ako vizualizačný formát, aj možnosť pripájania meraní na body mračna. Konverzný modul prevedie pôvodný súbor v laserovom formáte priamo do shapefile formátu typu multipoint. Multipoint je tvorený zhlukmi bodov s konštantnou početnosťou. Celý zhluk tvorí jeden neoddeliteľný celok a je možné vypočítať len súradnice centroidu tohto zhluku.

Meranie priemeru kmeňa prebiehalo prostredníctvom tvorby línie dvoch najvzdialenejších bodov opisujúcich priebeh kmeňa. Meranie, ktoré bolo použité v našom prípade funguje na rovnakom princípe ako bežná priemerka. Z dvoch bodov boli vynesené prostredníctvom funkcie direction rovnobežky – ramená priemerky a rovnako ako pri prvom kroku bola na tieto rovnobežky prichytená funkciou snapping kolmica charakterizujúca priemer kmeňa, a teda odčítaciu stupnicu resp. pravítko priemerky. Samotný výpočet priemeru kmeňa prebieha v databáze nami vytvorených línií, kde sa vypočíta ich dĺžka

v rámci výpočtu geometrie tvaru. Takto získame databázu priemerov kmeňov vo výške 1,3 metra s ich zobrazením pri príslušnom kmeni. Túto databázu môžeme následne vyexportovať do iných formátov čitateľných softvéromi vykonávajúcimi štatistické spracovanie.



Obr. 2: Schéma postupu merania priemerov kmeňov vo výške 1,3 m na segmentoch extrahovaných z bodového mračna.

Fig. 2: Scheme of DBH measuring method using segments derived from point cloud.

2.5 Tvorba nepravých výtvarníc z údajov produkovaných mobilným mapovacím systémom

Výtvarnica predstavuje hodnotu opisujúcu tvar kmeňa. Nepravá výtvarnica dosahuje hodnoty od 0,33, kedy sa tvar kmeňa približuje kužeľu po hodnotu 1,00 reprezentujúcu valec. Takáto hodnota slúži na spresnenie výpočtu objemu stojaceho kmeňa. Na tvorbu nepravéj výtvarnice stiahnutej na výšku 1,3 m je potrebné získať informáciu o hrúbke kmeňa vo výške 0,15 m, 1,3 m a z každého 1 resp. 2 nasledujúcich metrov v závislosti od maximálnej výšky, z ktorej informáciu o hrúbke dokážeme získať. Informáciu o hrúbke v rozličných výškach sme získali rovnakým spôsobom ako pri meraní hrúbok vo výške 1,3 m.

Vzhľadom nato, že pozícia skenera sa nachádza blízko zemského povrchu, informáciu o hrúbke je možné získať len v obmedzenej výške. Prechodu laserových lúčov na povrch kmeňa vo väčšej výške prekážajú konáre, ale aj obmedzené pole, v rámci ktorého laserový skener dokáže získavať priestorové dáta.

Okrem informácie o hrúbke v rozličných výškach je potrebné na získanie informácie o výtvarnici zistiť aj výšku stromu. Túto je tiež možné odvodiť z údajov, z ktorých sme získali ostatné informácie. Na toto spracovanie sme použili postup, ktorý sa bežne používa na zistenie výšky porastu a následnú identifikáciu korún. Tento postup sa opiera o vyhľadovaný raster lokálnych maxim normalizovaného digitálneho modelu reliéfu. Normalizovaný digitálny model reliéfu získame odčítaním digitálneho modelu terénu od digitálneho modelu povrchu. Po získaní informácií o výške a hrúbke v rozličných výškach môžeme pristúpiť k samotnej tvorbe výtvarnic.

3 VÝSLEDKY A VYHODNOTENIE

Základné štatistické informácie boli vypočítané v softvéri STATISTICA. Merania a ich rozdiely boli spracované pomocou Microsoft Office Excel, do ktorého bola aj importovaná databáza z pôvodného shape súboru. Za presnú hodnotu pri výpočte chyby merania sme stanovili meranie milimetrovou priemerkou.

Meranie bolo vykonané konvenčným postupom, teda kolmo na spádnicu vo výške 1,3 metra a výpočtom aritmetického priemeru dvoch na seba kolmých hrúbok v prípade, že bol kmeň príliš asymetrický.

Celkový výberový súbor, v rámci ktorého bolo uskutočnené porovnávanie činil 103 stromov.

Prvým krokom štatistického vyhodnotenia bolo testovanie štatistických hypotéz. Toto prebehlo v programe STATISTICA prostredníctvom testu hypotézy pre strednú hodnotu, pri ktorom nepoznáme rozptyl chýb merania hrúbok. Softvérom vypočítané testovacie kritérium bolo porovnané s tabuľkovou kritickou hodnotou Studentovho rozdelenia s hladinou významnosti rovnou $\alpha = 0,05$. Po porovnaní týchto dvoch hodnôt prijímame nulovú hypotézu a môžeme tvrdiť, že meranie priemerov kmeňov vo výške 1,3 m na bodových mračnách s 95 % pravdepodobnosťou nevykazuje systematickú chybu.

Priemery namerané na bodových mračnách boli z veľkej väčšiny podhodnotené v priemere o $-0,314$ cm, čo v relatívnom vyjadrení predstavuje 1,05 % z priemerného kmeňa. Absolútne chyby meraní sa pohybovali v intervale od $-8,2$ cm po $5,35$ cm.

Hodnota celkovej chyby vyjadrenej strednou kvadratickou chybou bola $2,39$ cm, a teda 8,03 % z hrúbky priemerného kmeňa nameraného konvenčným postupom.

Maximálna absolútna chyba merania $8,2$ cm vznikla podhodnotením z dôvodu nedostatku bodov na povrchu kmeňa. Minimálna absolútna chyba činila $0,01$ cm.

Relatívne chyby vzťahujúce sa na priemer kmeňov nameraných milimetrovou priemerkou sa pohybovali v intervale od $-19,39\%$ do $17,27\%$.

Hodnoty výtvarnic boli všeobecne signifikatne podhodnotené. Toto podhodnotenie bolo spôsobené najmä tým, že objem veľkej časti kmeňa bol vypočítaný prostredníctvom objemu kužeľa. Najlepšie výsledky boli dosiahnuté pri buku. Táto priaznivá situácia bola zapríčinená obdobím, v ktorom zber údajov prebiehal. Počas vegetačného pokoja neprekážajú prechodu laserových lúčov na povrch kmeňa v oblasti koruny asimilačné orgány.

4 DISKUSIA

LIANG [13] porovnáva výsledky merania dendrometrických veličín na bodových mračnách vyprodukovanými použitím všetkých troch metód skenovania, jednoskenovej, multiskenovej i multijednoskenovej metódy, ktorú vo svojej práci predstavil. Pri jednoskenovom prístupe dosiahol autor hodnotu strednej kvadratickej chyby na úrovni stromu rovnú 1,29 cm s biasom rovným 0,16 cm.

JAAKKOLA et al. [10] použili pri svojom výskume mobilný mapovací systém ROAMER, ktorý bol pripevnený na bezpilotnú helikoptéru (UAV) Align T-Rex 600E umožňujúcu meranie z rôznych výšok nad terénom. Výška letu sa pohybovala v intervale od 10 do 40 m. Toto meranie vykazovalo strednú kvadratickú chybu merania priemerov vo výške 1,3 m rovnú 2,1 cm. Tento výsledok sa približuje presnosti, ktorú sa podarilo získať pri našom výskume.

Výberový súbor použitý v práci LINDBERG et al. [14] sa skladal z 2276-tich stromov rozložených na 6 skusných plochách. 93 % súboru tvoril smrek obyčajný, 5 % listnaté stromy zložené z viacerých druhov rodu Breza a 2 % tvorila borovica lesná. Priemerná hrúbka kmeňa vo výške 1,3 m dosahovala hodnotu 26,8 cm, ktorá je porovnateľná s našim stredným kmeňom s hrúbkou 29,79 cm. Pri skenovaní bola použitá jednoskenová metóda, ktorej výstup je podobný prevažnej väčšine dát získaných mobilným mapovacím systémom pri našom výskume. V tomto prípade autori dosiahli Bias 1,6 mm, čo tvorilo 0,5 % z priemerného kmeňa a strednú chybu 38 mm tvoriacu 13,1 % zo stredného kmeňa použitím dát z pozemného laserového skenera.

SRINIVASAN et al. [20] merali pri svojom výskume hrúbky pomocou priemeru valca priloženého na segmenty variabilnej výšky extrahované z kmeňa získaného jednoskenovou metódou prostredníctvom pozemného laserového skenera. Na tomto valci boli zmerané dva na seba kolmé priemery. Prvý zo S na J a ďalší z V na Z. Autor porovnáva tieto segmenty a hodnotí pri akej výške segmentu pripadol na valec najväčší počet bodov. Na dvoch skusných plochách zložených z stromov borovice kadidlovej (*Pinus taeda* L.), dubu (*Quercus* sp.) a ambrovníka styxového (*Liquidambar styraciflua* L.). Použitím jednoskenovej metódy získal strednú chybu pohybujúcu sa v intervale od 1,39 cm do 2,43 cm. V práci porovnáva viacero stromov zväčša okolo hrúbky 20 až 25 cm. Vzhľadom nato, že veľká časť výberového súboru spadá pod borovicovú plantáž, môžeme očakávať, že priemerná hrúbka sa bude pohybovať v tomto intervale, prípadne s ním bude porovnateľná. Autor dosiahol presnosť podobnú výsledku nášho výskumu.

5 ZÁVER

Ako bolo spomenuté už v úvode, mobilné mapovacie systémy vykazujú potenciál na zúčastnenie sa pri tvorbe veľmi presných algoritmov na výpočet zásob porastov. Presnosti získané pomocou takéhoto jednoduchého a ľahko dostupného spracovania môžeme považovať za uspokojivé. Napokon kombináciou takýchto meraní v pravidelných intervaloch môžeme získať informáciu o výtvarniciach kmeňov, ktorú považujeme za veľmi hodnotnú najmä preto, že v bežnej praxi sú na získanie takejto informácie potrebné

deštrukčné merania. Je predpokladateľné, že jej integrovaním do algoritmov na výpočet zásob sa presnosť výpočtu zásob týmito algoritmi signifikantne zvýši.

Za asi jeden z najväčších prínosov takéhoto výskumu pokladám naznačenie princípov merania priemerov kmeňa bez informácie o jeho celkovom priebehu. Napriek tomu, že dnes je už dostupná ďaleko presnejšia metóda laserového skenovania- multiskenová nato, aby sme dosiahli vysokú presnosť aj touto metódou, potrebujeme aplikovať zložitejšie a časovo náročnejšie postupy. Tieto je možné do veľkej miery zautomatizovať, avšak čas potrebný na viacnásobné premiestnenie skenera a referenčných bodov na zber údajov z jednej skusnej plochy je neporovnateľný s časom potrebným na prechod automobilu resp. iného takéhoto nosiča vŕokol skusnej plochy, ktorý postačuje na zber dát technológiou mobilného mapovania. Ďalšou výhodou takýchto systémov je zber údajov pripojenými kamerami, ktorý výrazne uľahčuje identifikáciu stromov ako objektov záujmu na skene. V konečnom dôsledku je pokus obsiahnutý v práci len pilotný a slúži na oboznámenie sa s dátami z laserového skenovania a na stanovenie hypotéz o úspešnosti aplikácie mobilných mapovacích systémom s použitím zložitejších postupov.

Už po absolvovaní tohoto výskumu sa dá predpokladať použitie takého nosiča zariadenia, ktorý dovoľí v lesnom prostredí použitie multiskenovej metódy, zároveň však je potrebné dbať nato, aby sa zachovala myšlienka mobilizácie takéhoto zberu dát. Pre účel získania takých dát, ktoré by mohli slúžiť ako empirický materiál na vylepšovanie rastrových simulátorov, je takýto vývoj nevyhnutný.

Ak by sa však jednalo o homogénny porast, plantáž rýchlo rastúcich drevín môžeme zautomatizovaním spomenutých princípov dosiahnuť dobré výsledky pri minimálnej časovej náročnosti.

Pod'akovanie

Na tomto mieste by som chcel poďakovať prof. Ing. Jánovi Tučekovi, Csc. za sprostredkovanie veľmi aktuálnych dát a spoločnosti Geodis Brno, spol. s r.o. za poskytnutie dát z mobilného mapovacieho systému a následnú spoluprácu pri spracovaní týchto dát.

Príspevok vznikol v rámci riešenia vedeckého projektu VEGA 1/0953/13.

6 Literatúra

1. BALTSAVIAS, E. A comparison between photogrammetry and laser scanning. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, vol. 54. no. 2. Zurich, Switzerland 1999.
2. BIENERT, A. et al. Application of terrestrial laser scanners for the determination of forest inventory parameters. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science. Dresden, Germany 2006
3. CÉDRIC, V. – DURRIEUA, S. Multi-level filtering segmentation to measure individual tree parameters based on Lidar data: Application to a mountainous forest with heterogeneous stands. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, vol. 13. Pondichery, India 2011.
4. ESRI. <http://esri.com/>
5. ESRI. <http://resources.arcgis.com/>
6. FABRIKA, M. – PRETZSCH, H. Analýza a modelovanie lesných ekosystémov. Technická univerzita vo Zvolene, 2011 Zvolen. ISBN 978-80-228-21810

7. GEODIS BRNO, spol. s r.o. <http://www.geodis.cz/cz/index.php>
 8. GEODIS BRNO, spol. s r.o. PanoramaGIS Software pro práci s daty pořízenými mobilním mapovacím systémem, Manuál k aplikaci. Geodis Brno, spol. s r.o., 2011 Brno.
 9. HOLLAUS, M. et al. Airborne Laser Scanning of Forest Stem Volume in a Mountainous Environment. Sensors, vol. 7. Vienna, Austria 2007. ISSN 1424-8220.
 10. JAAKOLA, A. et al. A low-cost multi-sensoral mobile mapping system and its feasibility for treemeasurements. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 65. Masala, Finland 2010.
 11. KANKARE, V. et al. Individual tree biomass estimation using terrestrial laser scanning. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 75. Helsinki, Finland 2012.
 12. KOREŇ, M. – SMREČEK, R. Prevádzka GIS. Návod na cvičenia so systémom ArcEditor. Technická univerzita vo Zvolene, 2011 Zvolen. ISBN 978-80-228-2310-4.
 13. LIANG, X. Feasibility of Terrestrial Laser Scanning for Plotwise Forest Inventories. Dizertačná práca. Aalto University, Tampere 2013.
 14. LINDBERG, E. et al. Estimation of stem attributes using a combination of terrestrial and airborne laser scanning. European Journal of Forest Research, vol. 131, no. 6. Umeå, Sweden 2012.
 15. RAPIDLASSO GmbH. <http://rapidlasso.com>
 16. RIEGL Laser Measurement Systems GmbH. <http://www.riegl.com/>
 17. SCHEER, L. – SEDMÁK, R. Biometria. 2. vydanie. Technická univerzita vo Zvolene, 2010 Zvolen. ISBN 978-80-228-2103-2.
 18. SOTÁK, M. Inerciálny navigačný systém v simulinku. Akadémia ozbrojených síl gen. M. R. Štefánika. Lip-tovský Mikuláš, Slovenská republika 2009.
 19. SMREČEK, R. Určenie výšky porastu pomocou leteckého laserového skenovania. GIS Ostrava 2012- Současné výzvy geoinformatiky. VŠB – Technická univerzita Ostrava 2012.
 20. SRINIVASAN, S. et al. Terrestrial Laser Scanning as an Effective Tool to Retrieve Tree Level Height, Crown Width, and Stem Diameter. Remote Sensing. vol. 7. College Station, USA 2015.
 21. SUMNAL, M. J. – HILL, R. A. – HINSLEY, S. A. The estimation of forest inventory parameters from small-footprint waveform and discrete return airborne LiDAR data. SilviaLaser. School of Applied Science, Bournemouth University, Talbot Campus, Poole, Dorset 2012. SL2012-020.
 22. ŠMELKO, Š. Dendrometria. 2. vydanie. Technická univerzita vo Zvolene, 2007 Zvolen. ISBN 978-80-228-1828-5.
 23. TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE. <http://gis.tuzvo.sk>
 24. TRIMBLE NAVIGATION, LTD. [HTTP://www.trimble.com/imaging/inpho.aspx](http://www.trimble.com/imaging/inpho.aspx)
 25. TUČEK, J. Geografické informační systémy. Principy a praxe. Computer Press, 1998 Praha. ISBN 80-7226-091-X.
 26. TUČEK, J. et al. Základy GIS- Návod na cvičenia so systémom IDRISI. Technická univerzita vo Zvolene, 2011 Zvolen. ISBN 978-80-228-2244-2.
 27. VAN LEEUWEN, M. – NIEUWENHUIS, M. Retrieval of forest structural parameters using Lidar remote sensing. In European Journal of Forest Research. 2010 vol. 129. s. 749–770.
 28. WEZYK, P. et al. Terrestrial Laser Scanning Versus Traditional Forest Inventory First result from Polish Forests. In International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. 2007. vol. 36, part 3/W52. s. 424–430. ISSN 1682-1777.
-

Adresa autora:

Bc. Juraj Čerňava

Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

Masarykova 24

960 53 Zvolen

Slovenská republika

e-mail: jurajcernava@gmail.com

Zisťovanie dendrometrických veličín pomocou údajov z mobilného mapovacieho systému

Abstrakt

Problematika využitia mobilných mapovacích systémov je v dnešnej dobe veľmi aktuálna. Tieto systémy produkujú viacero druhov údajov, ale na merania sa vo veľkej väčšine aplikácií používajú výhradne mračná bodov z mobilného laserového skenera. Použitie takýchto systémov pri zbere údajov v rámci pravidelnej taxácie lesa by mohlo zefektívniť manažovanie lesa. Veľmi často sa v bežnej prevádzke stretávame s náhodnou ťažbou, ktorá môže narušiť trvalo udržateľné hospodárenie v lese. Vysoko automatizované mobilné mapovacie systémy môžu dopomôcť zaktualizovať údaje o štruktúre porastu po takýchto nečakaných zmenách a zároveň podporiť vyrovnanosť ťažby. Na základe uvedeného je práca zameraná na spracovanie mračien bodov z mobilného mapovacieho systému a testovaniu presnosti, ktorú dokáže táto technológia poskytnúť. Na území Vysokoškolského lesníckeho podniku v oblasti Včelien, ktorá je drevinovo bohatá a vekovo rozrôznená, bol uskutočnený zber dát pomocou mobilného mapovacieho systému spoločnosti GEODIS Brno spol. s r.o. Tieto dáta boli spracované do takej podoby, aby bolo možné na mračne bodov z mobilných laserových skenerov zmerať hrúbku stromu. Zmerané hrúbky boli následne porovnané s hrúbkami nameranými konvenčným postupom v teréne. Celková chyba vyjadrená strednou kvadratickou chybou dosiahla hodnotu 2,39 cm, a teda 8,03 % z hrúbky priemerného kmeňa nameraného konvenčným postupom. Dosiahnutý výsledok vyústil do experimentu zisťovania informácie o nepravej výtvarnici kmeňa. Zisťované dendrometrické veličiny sú kritické pre manažment lesných podnikov a ich automatizované odvodzovanie z priestorových dát má potenciál nielen uľahčiť práce potrebné na ich získavanie ale aj znížiť ekonomickú náročnosť zisťovania stavu lesa.

Kľúčové slová: mobilný mapovací systém, laserové skenovanie, meranie hrúbok

PREDIKCIA FINANČNEJ STABILITY LESNÉHO PODNIKU

Eva OSTROLUCKÁ – Iveta HAJDÚCHOVÁ

Ostroľucká, E., Hajdúchová, I.: Forecast of the Financial Stability in the Forest Company.
Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 57, Suppl. 1, 2015, 173–183.

This paper deals with application methods of financial analysis ex-ante and assessment financial situation of the University Forest Enterprise. The input information was received from financial statement for the period 2009–2013. Research is based on relevant theoretical knowledge, and reviewed of financial statements by business and specifics of business. Results of application methods are interpreted on the base of categories included in theoretical part. Also this part contains the graphic illustration of trend. In the paper, we offer suggestions and measures for analysed company on the based results of financial analysis ex-ante and we predicted future development of financial situation of company.

Key words: Financial analysis ex-ante, Forecast the financial stability of the company, Financial situation of company, Financial development

1. ÚVOD

Finančná situácia akéhokoľvek podniku je veľmi citlivá oblasť, ktorou sa spravidla zaoberá oddelenie finančného riadenia podniku. Finančné riadenie sa zahŕňa jednotlivé činnosti, ktoré majú v podniku nie len zabezpečiť dostatočný objem finančných prostriedkov, ale aj prijať rozhodnutia na ich alokáciu. V neposlednom rade, finančné riadenie zahŕňa aj finančné plánovanie a finančnú kontrolu, ktorá vychádza z minulých výsledkov a faktorov, ktoré ich determinovali. A práve v tejto časti finančného riadenia je možné predpovedať budúcu finančnú situáciu podniku.

Doterajšie skúsenosti autorov (LESÁKOVÁ, Ľ. a kol. 2007, HAJDÚCHOVÁ, I. a kol. 2011, ŠNIRCOVÁ, J. 1997) len potvrdzujú, že väčšina problémov vyplývajúca z hlavnej činnosti a prevádzky podniku sa prejaví aj v zhoršenej finančnej situácii. S použitím modelov, ktoré majú schopnosť odzrkadľovať anomálie v podniku smerujúcu k budúcim finančným ťažkostiam, je možné včasne identifikovať a predpovedať prichádzajúcu platobnú neschopnosť, či dokonca bankrot podniku, ešte skôr, ako takýto problém prepukne aj navonok.

Mnohí autori (VLACHYNSKÝ, 1996; ZALAI a kol., 2000; LESÁKOVÁ a kol. 2013) tvrdia, že samotné finančné plánovanie vychádza z kvalitnej finančnej analýzy a kontroly predchádzajúcich výsledkov podniku. Tak ako uvádza LESÁKOVÁ a kol. (2013) „jedným zo základných informačných vstupov vo finančnom plánovaní podniku sú účtovné výkazy

a na základe nich spracovávaná finančná analýza, ktorá je východiskom pri zostavovaní finančných plánov pre budúce obdobia“. Ďalšími, no nie menej dôležitými, vstupnými informáciami, ktoré poskytnú analytikovi obraz aj o externých väzbách sú nepochybne makroekonomické prognózy, úrokové miery, stav a očakávaný vývoj odvetvia, v ktorom podnik vykonáva svoju podnikateľskú činnosť.

Teda, na základe zostavenej finančnej analýzy a vypočítaných finančných pomero- vých ukazovateľov, môžeme nie len zhodnotiť doterajšiu a aktuálnu finančnú situáciu podniku, identifikovať jeho slabé a silné stránky, ale s použitím vhodných predikčných metód môžeme predikovať jeho finančnú budúcnosť a vývoj. Až na základe týchto zozbieraných informácií môže manažér vysloviť relevantne a objektívne podložené závery o tom, aké finančné rozhodnutia sa majú prijať pre ďalšie napredovanie podniku smerom k vytýčeným cieľom.

Na základe týchto skutočností a neustálej aktuálnosti danej témy, sme sa rozhodli predikovať finančnú situáciu Vysokoškolského lesníckeho podniku (Voslep), s ohľadom na špecifiká podnikania na lesnej pôde, s použitím výkazov účtovnej závierky za obdobie 2009–2013. Tento podnik je súčasťou Technickej univerzity vo Zvolene a svojou účelovou činnosťou zabezpečuje vedecko-výskumnú, ale aj vzdelávaciu činnosť, čím sa stáva pre chod a rozvoj univerzity nenahraditeľný. Na základe publikácie LUKÁČA a HOLÉCYHO (1992) môžeme medzi špecifiká podnikania na lesnej pôde zaradiť nasledovné:

- mimoriadne dlhá rubná doba (30 až 100 rokov),
- špecifické nároky jednotlivých drevín na geografické prostredie,
- priebežné získavanie surovín – existencia časovej rozdielnosti v dokončovaní výroby; výrobný proces nekončí jednorazovo, jeho ukončenie je neustále, po celé obdobie rubnej doby,
- rozdielna forma účasti lesa vo výrobnom procese,
- rozptýlenosť v rámci priestoru, tzn. vzdialenosť jednotlivých pracovísk – spôsobuje zvýšené režijné náklady, sťaženie riadenia lesnej výroby,
- sezónnosť a závislosť pestovateľskej činnosti na prírodných podmienkach.

Ekonomické výsledky podnikov pôsobiacich na lesnej pôde sú ovplyvňované uvedenými zvláštnosťami lesnej výroby, ktoré sťažujú porovnávanie dosahovaných výsledkov s podnikmi, ktoré pôsobia v iných odvetviach. Rozvoj lesného hospodárstva je závislý na vývoji veľkého množstva faktorov ekonomického, ale aj prírodného charakteru, medzi ktoré môžeme zaradiť konflikty medzi „ekológiou“ a „ekonomikou“ hospodárenia v lese, zmeny v dôležitosti funkcií lesov, vývoj cenovej hladiny dreva na svetových trhoch, tlak na zvyšovanie využívania lesnej biomasy na energetické účely, zvyšovanie a v neposlednom rade aj pôsobenia klimatických zmien a ich dopad na lesné ekosystémy.

Predložená práca sa zameriava na aplikáciu metód finančnej analýzy ex-ante, pomocou ktorých je možné predpovedať finančný vývoj podniku a predísť tak možným finančným problémom. Výsledky jednotlivých metód sú zaradené do kategórií skupín v súlade s teoretickými východiskami problematiky. Interpretácia výsledkov je doplnená o grafické spracovanie trendov jednotlivých metód. V závere práce poskytneme zhodnotenie zistených výsledkov a návrhy pre podnik do budúcnosti.

2. MATERIÁL A METÓDY

Metódy skúmania použité v predloženej práci sa opierajú o relevantné pramene a autorov, ktorí tieto metódy prezentujú vo svojich publikáciách. Analytická časť práce, je venovaná aplikácií vybraných metód predyhovania finančného vývoja na Vysokoškolský lesnícky podnik. Pre samotnú aplikáciu metód skúmania bolo nutné zozbierať a zosúladiť vstupné údaje, pričom pre finančnú analýzu ex-ante sú použité výkazy účtovnej závierky za obdobie rokov 2009 až 2013, ale aj výpočty jednotlivých finančných pomerových ukazovateľov finančnej analýzy ex-post, ktoré tvoria vstupné informácie pre uplatnenie metód finančnej analýzy ex-ante.

Medzi metódy bodového hodnotenia zaraďujeme Rýchly test a Tamariho rizikový index. Pri hodnotení podniku s použitím Rýchleho testu je pre analyzovaný podnik najlepší čo najnižší výsledný súčet bodov, naopak pri Tamariho bodovom hodnotení je stupnica poňatá opačne. Podľa HAJDÚCHOVEJ a kol. (2011) je možné použité ukazovatele, ako aj bodovú stupnicu Rýchleho testu modifikovať podľa špecifických podmienok, v ktorých analyzovaný podnik pôsobí.

V rámci matematicko-štatistických metód, presnejšie pri jednorozmernej diskriminačnej analýze aplikujeme na príklade Voslep Beaverovu analýzu, ktorá pozostáva z grafického porovnania hodnôt ukazovateľa pre prosperujúce podniky a neprosperujúce podniky. Grafické znázornenie obsahuje krivku vývoja ukazovateľov pre prosperujúce a neprosperujúce podniky. Keďže sa jedná o jednorozmernú analýzu, prosperita podniku sa určuje na základe vývoja jedného ukazovateľa. Beaver však zoskupil 6 ukazovateľov, na základe ktorých vieme s najväčšou pravdepodobnosťou odhadnúť budúce smerovanie podniku.

Viacrozmerná diskriminačná analýza je zastúpená Altmanovou metodikou, ktorá sa považuje za najpoužívanejšiu metódu v rámci predikcie finančnej stability. Autor použil také ukazovatele, pri ktorých sa potvrdila najtesnejšia závislosť či už na pozitívnom, alebo negatívnom finančnom vývoji akciových spoločností obchodujúcich na burze, pre ktoré zostavil diskriminačnú funkciu, tzv. Z-skóre. Pre potreby aplikácie tejto metodiky na Voslep sme použili modifikáciu modelu zostavenú pre lesné podniky, ktoré nemajú spravidla formu akciovej spoločnosti a stanovenie trhovej hodnoty vlastného kapitálu by bolo zložité. Modifikácia vzťahu a jeho interpretácia je nasledovná:

$$Z = 0,717x_1 + 0,847x_2 + 3,107x_3 + 0,420x_4 + 0,998x_5 \quad (1)$$

$$x_1 = \frac{\text{čistý pracovný kapitál}}{\text{celkové aktíva}} \quad x_2 = \frac{\text{čistý zisk (po zdanení, pred rozdelením)}}{\text{celkové aktíva}}$$

$$x_3 = \frac{\text{EBIT}}{\text{celkové aktíva}} \quad x_4 = \frac{\text{vlastný kapitál}}{\text{cudzí kapitál}} \quad x_5 = \frac{\text{tržby}}{\text{celkové aktíva}}$$

- ak je $Z > 2,9$ je finančná situácia podniku dobrá,
- ak je $Z > 1,2$ a $< 2,9$ je finančná situácia podniku priemerná, bankrot je možný,
- ak je $Z < 1,2$ je finančná situácia podniku kritická a bankrot je veľmi pravdepodobný (HAJDÚCHOVÁ a kol., 2011).

Ďalšou metódou je Index bonity disponuje šiestimi pomerovými ukazovateľmi. Vzťah výpočtu indexu a interpretácia výsledku podľa literatúry (ZALAI A KOL., 2010) je nasledovný:

$$B = 1,5x_1 + 0,08x_2 + 10x_3 + 5x_4 + 0,3x_5 + 0,1x_6 \quad (2)$$

$$x_1 = \frac{\text{cash flow}}{\text{cudzí kapitál}} \quad x_2 = \frac{\text{celkové aktíva}}{\text{cudzí kapitál}} \quad x_3 = \frac{\text{EBIT}}{\text{celkové aktíva}}$$

$$x_4 = \frac{\text{EBIT}}{\text{celkové výkony}} \quad x_5 = \frac{\text{zásoby}}{\text{celkové výkony}} \quad x_6 = \frac{\text{celkové výkony}}{\text{celkové aktíva}}$$

extrémne zlá	veľmi zlá	zlá	určité problémy	dobrá	veľmi dobrá	extrémne dobrá
-3	-2	-1	0	1	2	3

Obr. 1 Index bonity (ZALAI a kol., 2010)

Fig. 1 Solvency index

Posledná viacrozmerná diskriminačná metóda, ktorá je uplatnená sa nazýva Binkertova diskriminačná funkcia. Autormi tohto modelu sú finanční analytici BINKERT A ZALAI (1999). Výhodou uplatnenia tejto funkcie je, že jej vzťah ako aj použité ukazovatele a hodnoty konštant sú prispôbené podmienkam slovenskej ekonomiky. Odlišnosť tejto funkcie od vyššie uvedených je v tom, že diskriminačná funkcia zahŕňa vo svojom výpočte len posledné tri sledované roky. Funkcia sa teda nevyjadruje ako trend, ale je vyjadrená ako jedna hodnota, ktorá determinuje budúci vývoj podniku. Vzťah výpočtu diskriminačnej funkcie pre slovenské podniky je nasledovný:

$$D_s^{Ipo3} = 0,180u_1^1 + 0,147u_{40}^2 + 0,237u_{49}^2 + 0,377u_{63}^2 + 0,514u_{13}^3 + 0,505u_{29}^3 + 0,271u_{30}^3 + 0,207u_9^2 \quad (3)$$

u_1^1 = obežný majetok / krátkodobé záväzky celkom analyzovaného roka 1,

u_{40}^2 = vlastný kapitál / investičný majetok analyzovaného roka 2,

u_{49}^2 = výsledok hospodárenia / tržby analyzovaného roka 2,

u_{63}^2 = výnosy / pridaná hodnota analyzovaného roka 2,

u_{13}^3 = (celkový majetok bežného roka / vlastný kapitál predchádzajúceho roka) – 1, pre analyzovaný rok 3,

u_{29}^3 = (vlastný kapitál bežného roka / vlastný kapitál predchádzajúceho roka) – 1, pre analyzovaný rok 3,

u_{30}^3 = (cudzí zdroje bežného roka / cudzie zdroje predchádzajúceho roka) – 1, pre analyzovaný rok 3.

Autori modelu zistili, že priemerná hodnota D pre slovenské prosperujúce podniky bola 4,35 a pre neprosperujúce podniky dosahovali hodnotu – 4,35 (ZALAI, 2000).

Na základe zaradenia výsledkov jednotlivých metód je možné vyhodnotiť finančnú situáciu Voslep, ale aj odhadnúť jeho finančný vývoj.

3. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Finančné smerovanie podniku predikujeme na základe informácií z ročných rozborov o činnosti Voslep, ale aj s použitím výkazov účtovnej závierky a vypočítaných ukazovateľov finančnej analýzy ex-post za obdobie rokov 2009–2013. Tento podnik môžeme charakterizovať ako špecifický podnikateľský subjekt, ktorého hlavnou činnosťou je účelová a podnikateľská činnosť, pričom špecifiká tohto podniku sme analyzovali v Úvode. Z finančného hľadiska má podnik aj inú špecifickú črtu, ktorou je financovanie činnosti z vlastných zdrojov podniku. To znamená, že podnik nie je závislý od poskytovateľov úverov, čo pozitívne vplýva na celkovú zadlženosť podniku.

Na základe špecifik analyzovaného podniku a aplikovaných metód finančnej analýzy ex-ante môžeme predikovať budúci finančný vývoj Voslep. Pred tým však chceme upozorniť na nutnosť sledovania trendu výsledných hodnôt aplikovaných modelov, tiež na rozdiely s hodnotami v krajinách s rozvinutou trhovou ekonomikou a zdôrazniť potrebu použiť viac metód a porovnať ich výsledky. Až potom predpovedať možný vývoj podniku. V rámci predloženej práce sme aplikovali na príklade Voslep päť predikčných metód. Tieto metódy môžeme rozdeliť do skupiny metód bodového hodnotenia a matematicko-štatistických metód, ktoré v sebe zahŕňajú metódy jednorozmernej a viacrozmernej diskriminačnej analýzy, pričom modely definujú a predikujú finančnú situáciu buď z pohľadu možného bankrotu (bankrotné modely), alebo z pohľadu bonity podniku (modely bodového hodnotenia – bonitné modely).

Metódy bodového hodnotenia

Bonitu podniku hodnotia metódy bodového hodnotenia, medzi ktoré patria Rýchly test a Tamariho rizikový index. Táto skupina metód sa vyznačuje subjektívnym hodnotením, na rozdiel od matematicko-štatistických modelov, tiež sú charakteristické svojou rýchlou a jednoduchou aplikáciou. Bonitné modely, tzv. modely ex-post, dávajú odpoveď na otázku, či je Voslep v dobrej finančnej kondícii, alebo v zlej. To znamená, že konštatujú finančnú situáciu podniku podľa výsledkov z minulosti. Tabuľka 1 zobrazuje výsledky bonitných metód spolu s vyznačením zóny dobrej finančnej kondície podniku.

Tab. 1 Výsledky metód bodového hodnotenia

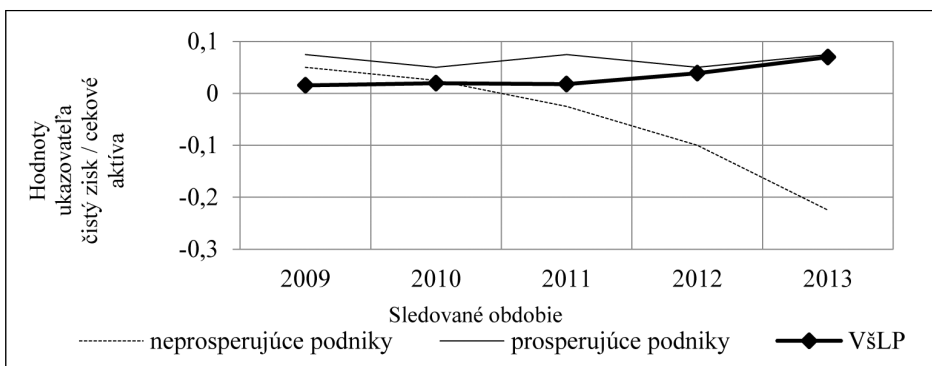
Tab. 1 Results scoring methods

	2009	2010	2011	2012	2013	Zóna dobrej finančnej situácie
Rýchly test	6	6	8	5	4	4 body
Tamariho rizikový index	83	84	79	86	77	60–100 bodov

Na základe výsledkov metód bodového hodnotenia môžeme konštatovať, že finančná budúcnosť podniku je stabilná. Podnik vykazoval kolísavý trend v rámci Rýchleho testu a v prvých troch rokoch dosahoval vyššie výsledné hodnoty. Tento fakt bol spôsobený nízkymi hodnotami rentability celkového kapitálu, na ktoré vplýval nízky výsledok hospodárenia. Výsledky Tamariho rizikového indexu sa nachádzajú nad zónou dobrej finančnej situácie, čo len potvrdzuje fakt, že finančná budúcnosť podniku nie je ohrozená.

Matematicko-štatistické metódy

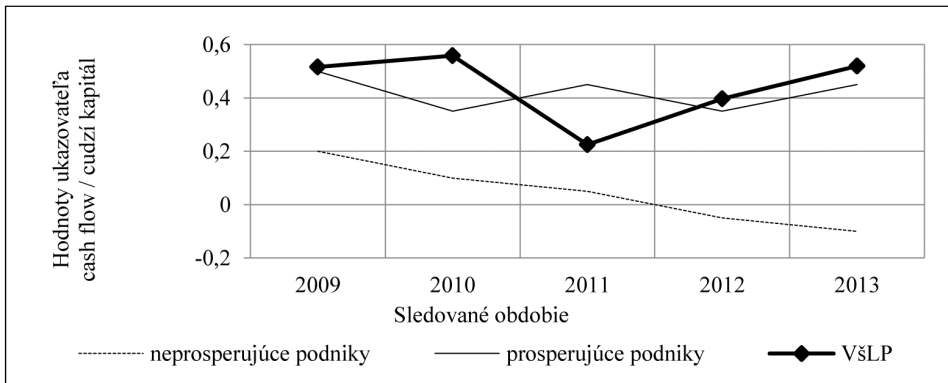
Bankrotné modely, čiže modely finančnej analýzy ex-ante, dávajú odpoveď na otázku či a s akou pravdepodobnosťou sa Voslep do určitej doby dostane do finančných problémov, alebo nie, to znamená, že sa tieto modely snažia predpovedať finančnú budúcnosť podniku. Bankrotné modely sme na príklade Voslep uplatnili vo forme jednorozmernej a viacrozmernej diskriminačnej analýzy. Jednorozmernú diskriminačnú analýzu reprezentuje Beaverova metodika, ktorá je založená na grafickom vykreslení pomerových ukazovateľov, pričom je vývoj týchto ukazovateľov rozdielny, v prípade že je podnik prosperujúci a v prípade, že podnik zbankrotoval. V rámci predloženej práce sme aplikovali na Voslep dva ukazovatele Beaverovej metodiky, ktoré sa vyznačujú, podľa autora, najvyššou vypovedacou schopnosťou.



Obr. 1 Vývoj ukazovateľa čistý zisk / celkové aktíva

Fig. 1 Trend indicators net profit / total assets

Vývoj dvoch vybraných ukazovateľov nenaznačuje, prichádzajúci bankrot podniku a Voslep vykazuje hodnoty na úrovni prosperujúcich podnikov. Jediný negatívny moment, sme zaznamenali pri ukazovateli ROA v prvých dvoch rokoch, kde sa podnik dostal do zóny neprosperujúcich podnikov v dôsledku nízkeho výsledku hospodárenia. Ten sa však v nasledujúcich rokoch zvyšoval, čo vyvrátilo predpoklad bankrotu na základe Beaverovej analýzy. Výsledky ďalších bankrotných modelov zahŕňa tabuľka 12 spolu s vyznačením zóny prosperity a dobrej finančnej budúcnosti podniku.



Obr. 2 Vývoj ukazovateľa cash flow / cudzí kapitál
 Fig. 2 Trend indicator cash flow / foreign capital

Tab. 2 Výsledky matematicko-štatistických metód
 Tab. 2 Results of mathematical-statistical methods

	2009	2010	2011	2012	2013	Zóna prosperity a dobrej finančnej budúcnosti
Altmanova metodika	3,25	3,75	1,96	2,56	2,63	$Z > 2,9$
Index bonity	2,66	2,90	2,06	2,63	3,53	$B \geq 3$

Z uvedených výsledkov v tabuľke 2 môžeme vyvodit' nasledovný záver. Výsledky Altmanovho Z-skóre zaraďujú Voslep v prvých dvoch rokoch do skupiny podnikov v zóne prosperity a nepravdepodobného bankrotu. V ďalších rokoch bol, ale zaznamenaný pokles hodnoty Z-skóre, čo podnik zaraďilo do skupiny podnikov priemerných, pričom bankrot nie je vylúčený. Hodnota Z-skóre však mala od roku 2011 stúpajúcu tendenciu, čo značí pozitívny vývoj podniku a vysokú pravdepodobnosť opätovného zaradenia podniku do skupiny neohrozených podnikov.

Za kritický rok môžeme považovať rok 2011, kedy ukazovateľ Z-skóre klesol až na hodnotu 1,96, a to z dôvodu prudkého poklesu hodnoty ukazovateľa x_4 . Ukazovateľ x_4 predstavuje stupeň finančnej samostatnosti. V roku 2011 sa prudko zvýšil objem cudzích zdrojov, čo malo za následok taký hmatateľný prepád tohto ukazovateľa.

Ukazovateľ x_1 tiež vykazoval veľmi kolísavý trend. Je pomerom čistého pracovného kapitálu k celkovým aktívam, v roku 2012 dosiahol najvyššiu hodnotu, a to 0,16, čo je oproti iným rokom výrazný nárast. V prípade, že by podnik zvýšil objem obežného majetku alebo by naopak znížil objem krátkodobých záväzkov, vykazoval by ukazovateľ x_1 oveľa priaznivejšie výsledky.

Na základe Altmanovej metodiky sa považuje za najdôležitejší ukazovateľ, ukazovateľ x_3 , ktorému je pridelená váha s hodnotou 3,107. Tento ukazovateľ vyjadruje pomer zisku pred zdanením a odpočítaní nákladových úrokov k celkovým aktívam. Ukazovateľ v prípade Voslep vykazoval rastúcu tendenciu, pričom bola hodnota najvyššia v roku 2013. Tento trend je ovplyvnený hlavne narastajúcim výsledkom hospodárenia.

Na základe Indexu bonity môžeme podnik zaradiť do skupiny podnikov s dobrou finančnou situáciou, pričom sme v roku 2011 zaznamenali najvýraznejší prepád výslednej hodnoty indexu. Naopak v roku 2013 podnik dosiahol najvyššiu hodnotu v rámci Indexu bonity, čím sa zaradil do skupiny podnikov s extrémne dobrou finančnou situáciou. Môžeme zhodnotiť, že interpretácia Altmanovej metodiky a Indexu bonity je takmer rovnaká, nakoľko podnik vykazuje pozitívne výsledky a za kritický rok môžeme označiť rok 2011.

Posledná metóda, uplatnená na Voslep, bola Binkertova diskriminačná funkcia, ktorej modifikácia bola prispôbená presne podmienkam slovenskej ekonomiky. Binkertovu diskriminačnú funkciu sme vyčíslil pre roky 2011–2013, kde hodnota funkcie dosiahla hodnotu 2,164a 2010–2012, kde podnik vykazoval hodnotu funkcie 1,718. Na základe výsledkov tejto funkcie môžeme Voslep zaradiť do skupiny podnikov, ktoré nie sú ohrozené bankrotom a sú prosperujúce.

Ukazovatele obsiahnuté v diskriminačnej funkcií sú zamerané na tri oblasti podnikových výsledkov, ktoré sú obsiahnuté v tabuľke 3 a 4. Ukazovatele posledného analyzovaného roku hodnotia majetkovú situáciu podniku. Práve v tejto oblasti sa najčastejšie prejavujú začínajúce problémy slovenských podnikov. Analyzovaný rok 2 je hodnotený na základe ukazovateľov vypovedajúcich o situácii hospodárskeho výsledku. Najaktuálnejší rok je hodnotený len z pohľadu finančnej situácie podniku, práve táto oblasť býva posledným výstražným impulzom pred insolventnosťou podniku.

Tab. 3 Oblasti podnikových výsledkov za roky 2011–2013

Tab. 3 Areas of business results for the years 2011–2013

	analyzovaný rok 3	analyzovaný rok 2	analyzovaný rok 1
	2011	2012	2013
Situácia hospodárskeho výsledku		$u_{49}^2 = 0,017$ $u_{63}^2 = 1,026$ $u_9^2 = 0,010$	
Finančná situácia		$u_{40}^2 = 0,205$	$u_1^1 = 0,312$
Majetková situácia	$u_{13}^3 = 0,187$ $u_{29}^3 = 0,015$ $u_{30}^3 = 0,391$		

Tab. 4 Oblasti podnikových výsledkov za roky 2010 – 2012
 Tab. 4 Areas of business results for the years 2010–2012

	analyzovaný rok 3	analyzovaný rok 2	analyzovaný rok 1
	2010	2011	2012
Situácia hospodárskeho výsledku		$u_{49}^2 = 0,009$ $u_{63}^2 = 1,080$ $u_9^2 = 0,005$	
Finančná situácia		$u_{40}^2 = 0,183$	$u_1^1 = 0,391$
Majetková situácia	$u_{13}^3 = 0,080$ $u_{29}^3 = 0,008$ $u_{30}^3 = -0,040$		

Z porovnania jednotlivých oblastí podnikových výsledkov dvoch sledovaných období, môžeme konštatovať, že najvýraznejšia zmena nastala v oblasti majetkovej situácie podniku. V roku 2010 podnik zaznamenal hodnoty ukazovateľov v tejto oblasti na veľmi nízkej úrovni. Je však dôležité, že sa podnik dokázal z týchto nepriaznivých čísel dostať a za sledované obdobie rokov 2010–2013 dosiahol oveľa priaznivejšie výsledky ako v predchádzajúcom období.

Na základe vyššie uvedeného textu, ako aj z podrobnejšej analýzy jednotlivých finančných pomerových ukazovateľov, môžeme vyvodiť záver, že Voslep patrí medzi prosperujúce podniky, pričom bankrot podniku je nepravdepodobný. Ak bude podnik udržiavať ukazovatele likvidity a zadlženosti na takej úrovni ako boli vykazované v rámci sledovaného obdobia, pričom bude dodržiavať platobnú disciplínu a uhrádzať svoje krátkodobé záväzky včas, prispeje to k prosperite podniku aj v budúcnosti. Rastúce hodnoty výsledku hospodárenia a teda aj hodnôt rentability, podniku zabezpečia rast a zlepšenie postavenia Voslep v rámci Technickej univerzity vo Zvolene. Ak bude podnik schopný aj v budúcom období zabezpečovať dostatočný objem finančných zdrojov hlavne z vlastnej podnikateľskej činnosti, posilní rozvoj Voslep smerom k účelovej činnosti, čo je hlavným strategickým zámerom tohto podnikateľského subjektu.

4. ZÁVER

Predikciu finančnej situácie lesného podniku sme vykonali na príklade Vysoškoleckého lesníckeho podniku, ktorý je účelovým pracoviskom Technickej univerzity vo Zvolene. Tento subjekt sa vyznačuje špecifikami vyplývajúcimi z podnikania na lesnej pôde a tiež špecifickým postavením vo vzťahu k univerzite. Na základe teoretických znalostí a vstupných informácií z analyzovaného podniku za obdobie rokov 2009–2013, sme

aplikovali jednotlivé metódy finančnej analýzy ex-ante, ktorá slúži analytikovi na predpovedanie možného budúceho vývoja podniku, prípadne odhalenie blížiaceho sa bankrotu či iných finančných problémov podniku. Uplatnením metodických postupov finančných analýz ex-ante, sme dospeli k naplneniu cieľa práce, a teda k možnosti predyhovania finančného vývoja VŠLP.

Na základe výsledkov aplikovaných metód finančnej analýzy ex-ante môžeme konštatovať, že sa analyzovaný podnik zaraďuje medzi prosperujúce podniky, ktorým v najbližšom období nehrozí bankrot. Priaznivé výsledky finančnej analýzy ex-ante, ale aj ex-post, determinujú stabilnú finančnú budúcnosť podniku. Najvýraznejšie komparatívne výhody podniku vidíme, hlavne v rastúcej rentabilite podniku, priaznivých výsledkoch likvidity a financovaní činnosti podniku vlastnými zdrojmi. VŠLP disponuje tiež komparatívnou výhodou, ktorá plynie z nefinančných faktorov, medzi ktoré môžeme zaradiť vykonávanie účelovej činnosti na veľmi vysokej úrovni. Spomedzi aplikovaných metód predikcie finančného vývoja podniku odporúčame VŠLP aplikáciu Rýchleho testu, ale aj Altmanovho Z-skóre, či Binkertovej diskriminačnej funkcie. Vypovedacia schopnosť ostatných modelov je menej presná, preto ich pre VŠLP odporúčame používať ako doplnkové.

Z výsledkov analýz vyplýva, že vyššie uvedené metódy ex-ante vykazujú dobrú vypovedaciu schopnosť pre predikciu finančnej situácie v špecifických podmienkach lesného hospodárstva, preto odporúčame, aby ich podniky využívali ako nutnú nadstavbu finančnej analýzy ex-post, čo im pomôže vytvoriť ucelený pohľad o finančnej situácii podniku, ale aj v určitom predstihu predpovedať jeho možné finančné ťažkosti.

Literatúra

- HAJDÚCHOVÁ, I. a kol. 2011. *Finančná stabilita podniku*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2011. 51 s. ISBN 978-80-228-2215-2.
- LESÁKOVÁ, E. a kol. 2007. *Finančno-ekonomická analýza podniku*. Banská Bystrica: Univerzita Mateja Bela, Ekonomická fakulta, 2007. 207 s. ISBN 978-80-8083-379-4.
- LESÁKOVÁ, E. a kol. 2013. *Firemné plánovanie v malých a stredných podnikoch*. Banská Bystrica: Univerzita Mateja Bela, Ekonomická fakulta, 2013. 238 s. ISBN 978-80-557-0508-8.
- LUKÁČ, A., HOLÉČY, J. 1992. *Ekonomika lesného hospodárstva*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 1992. 176 s. ISBN 80-228-0168-2.
- Šnircová, J. 1997. Možnosti prognózovania finančnej situácie podnikov v slovenskej ekonomike. In *Biatic. Odborný bankový časopis*. ISSN 1335-0900, 1997, ročník 5, zväzok 4. 15–22 s.
- TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE. Vysokoškolský lesnícky podnik, 2012. *Strategický zámer rozvoja Voslep na roky 2012–2015 s výhľadom do roku 2020*: strategický zámer. Zvolen: Voslep, 2012. 32 s.
- TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE. Vysokoškolský lesnícky podnik, 2014. *Výkazy účtovnej závierky Vysokoškolského lesníckeho podniku k 31. 12. 2013*: súvaha a výkaz ziskov a strát. Zvolen: Voslep, 2014. 7 s.
- TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE. Vysokoškolský lesnícky podnik, 2013. *Výkazy účtovnej závierky Vysokoškolského lesníckeho podniku k 31. 12. 2011*: súvaha a výkaz ziskov a strát. Zvolen: Voslep, 2013. 7 s.
- TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE. Vysokoškolský lesnícky podnik, 2012. *Výkazy účtovnej závierky Vysokoškolského lesníckeho podniku k 31. 12. 2011*: súvaha a výkaz ziskov a strát. Zvolen: Voslep, 2012. 7 s.
- TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE. Vysokoškolský lesnícky podnik, 2011. *Výkazy účtovnej závierky Vysokoškolského lesníckeho podniku k 31. 12. 2010*: súvaha a výkaz ziskov a strát. Zvolen: Voslep, 2011. 7 s.
- TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE. Vysokoškolský lesnícky podnik, 2010. *Výkazy účtovnej závierky Vysokoškolského lesníckeho podniku k 31. 12. 2009*: súvaha a výkaz ziskov a strát. Zvolen: Voslep, 2013. 7 s.

- VLACHYNSKÝ, K. 1996. *Finančný manažment*. 2. dopl. a rozš. vyd. Bratislava : Elita, 1996. 327 s. ISBN 80-8044-014-X.
- ZALAI, K. 2000. Osobitosti prognózovania finančného vývoja slovenských podnikov. In *Biatec. Odborný bankový časopis*. ISSN 1335-0900, 2000, ročník 8, zväzok 4. 12–14 s.
- ZALAI, K. a kol. 2010. *Finančno-ekonomická analýza podniku*. Bratislava : Sprintvfra, 2010. 448s. ISBN 80-89393-15-2.
-

Adresa autorov:

Bc. Eva Ostrolucká
prof. Ing. Iveta Hajdúchová, PhD.
Technická univerzita vo Zvolene
Lesnícka fakulta
Katedra ekonomiky a riadenia lesného hospodárstva
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
e-mail: ostrolucka.eva@gmail.com
hajduchova@tuzvo.sk

Predikcia finančnej stability lesného podniku

Abstrakt

INNOVATION ACTIVITIES OF CONTRACTOR FIRMS IN SLOVAK FORESTRY

Martina Š T Ě R B O V Á

Štěrbová, M.: *Innovation Activities of Contractor Firms in Slovak Forestry*. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 57, Suppl. 1, 2015, 185–196.

Innovations are one of the most important economic and business phenomena of our times. In economic theory they are considered as the major driver of economic development and growth, and help turning ideas and knowledge into products and services. They also have got their own place and importance in the forestry service sector. The aim of the research was to analyse innovation behaviour and innovation potential of contractor firms in the market of forestry services in Slovakia, in the first place in the area of timber harvesting and transport. The analysis of innovation behaviour was based on research in firms drawn from a database of enterprises by random. The information sources were provided by people responsible for their management, by filling out a prepared questionnaire. The analysis of innovation potential was assessed by case studies, which contain interviews with the innovators and the best practice innovations. The results of the study indicate low innovation activity and high innovation potential in the sector of forest services. The main obstacles for adoption and application of innovations are lack of own financial sources, high investments and operating costs and tax load. On the other hand, offer of loans, cooperation and support from public and EU sources appeared as the most important fostering factors for innovations.

Key words: innovation behaviour, innovation potential, contractor firms, market of forestry services

1 INTRODUCTION AND OBJECTIVE

Forestry has traditionally been perceived as an economic activity, which aims are to establish and cultivate forest to produce timber. This sector is often considered as a mature, “low-tech” industry which invests comparatively little into research and development and is mainly an innovation user. However, developments in the sector have led to a widely shared perception that past practice might not necessarily bring future success. This opens up opportunities for innovations in the forest sector (RAMETSTEINER, WEISS, KUBECZKO, 2005).

Innovations are vital to economic growth and development. The OECD (2005) defines innovation in its Oslo Manual as “the implementation of a new or significantly improved product (good or service), or process, new marketing method, or a new organisational method in business practices, workplace organisation or external relations”. The minimum requirement for an innovation is that the product, process, marketing method

or organisational method have to be new to the firm or significantly improved (RAMET-STEINER, WEISS, 2004).

Innovation capacity is generally regarded as a main condition for the competitiveness of all businesses. Innovative behaviour represents a set of business activities that are specializing in constant implementation of innovations. It is considered as a way how entrepreneur adapt, apply and refine new knowledge and ideas which are very important for economic development of regions (ŠULEK, 2002).

We consider innovation potential as an appropriate characteristics of an existing innovation environment in the company. It means an environment where innovations are created, developed and executed. The term of innovation potential identifies a specific company's ability how to use knowledge and experience of employees to achieve higher competitiveness in market conditions and the way how to use own internal sources the most effectively in order to improve and rationalize product or process (PITTNER, ŠVEJDA, 2004).

The aim of the presented study is to analyze innovation behavior and innovation potential of contractor firms in Slovak forestry, in the first place in the area of timber harvesting and transport. This study is connected to similar research of forest owners of projects INNOFORCE, IPOLES and Centre of Excellence II – Completing of Center of Excellence: Adaptive Forest Ecosystems, which deals of the development of science and improving knowledge needed for enhance the sustainability of the forest sector.

2 THEORETICAL BACKGROUND

In recent years, the overriding role of forestry is associated with the provision of a wide range of services. These services are provided by contractor firms in the market of forestry services which is relatively new and young, originated about 20 years ago. The restitution process of returning of forest property and restructuring of state-owned enterprises can be considered as an main impulse for the creation of this sector. The community of forestry contractors' consists of more than 21 000 business entities, 95% of them are micro enterprises, that don't own and use forest lands, but only provide and ensure the full range of forestry services. Nowadays, the main part of the extraction and transport of timber is providing by these business entities.

The market of forestry services in Slovakia has got following specific features, that can be considered as the main problems of sector: dominance of state forest enterprise, problematic public tenders, unstable market, uncertainty and sale ability risks, supply of services exceeds demand, low price of provided services, lack of job offers.

In general, the emphasis in the process of providing forestry services has been put on quality. The basic elements of success are the innovations that lead to the use of specific technologies, which providers understand as their competitive advantage. A strong competition on the forestry service providers' side is partially forcing entrepreneurs to invest money in new advanced technologies. It is quite obvious that firms with modern technologies are able to obtain employment contracts (PALUŠ et al., 2011).

The minimum requirement for an innovation is that the product, process, marketing method or organisational method must be new to the firm (or significantly improved). A common feature of an innovation is that it must have been implemented on the market or when it is taken into use by customers. New processes, marketing methods or organisational methods are implemented when they are brought into actual use in the firm's operations (OECD 2005). JARSKÝ (2014) distinguishes four main types of innovation – product, process, marketing and organisational innovations – which are further sub-divided. Institutional innovation as a separate category was added by WEISS et al. (2010).

Besides the above classified types of innovation that refer to innovations on a firm level, the concept of institutional innovations is of increasing relevance when analysing policies and institutions. Institutions are understood here to denote “the rules of the game”. Institutional innovations refer to innovations in the public/policy sphere. Institutional innovations may include new or adaptation of existing organizations, new or significantly modified rules as laid down in laws, decrees or policies as well as new or significantly modified procedures in developing and implementing policies (WEISS et al., 2010).

There is a growing consensus in the innovation system literature that innovations are the result of the institutional process (NELSON, WINTER, 1977), which means that the entrepreneur is not the only one who is responsible for the innovativeness of the company (LUNDVALL et al., 2001, EDQUIST, 2001). The integration into the system of institutions that can support innovations is really important. The innovation systems represent a set of different institutions and actors who influence innovation processes in a given territory and they have been categorized into the national, regional and sectorial innovation systems. The innovation system of the forestry service sector has an influence on competition and cooperation, which is necessary for the implementation of innovation activities. The ability of contractor firms to generate innovations currently depends on the ability of firms to work and interact as a part of the system. The basic functions of that innovation system in the forestry service sector are cooperation between the various actors, exchange of information and reducing uncertainty, management of conflict and risk, creating new innovations, and their dissemination and use (EDQUIST, JOHNSON, 1997, DOSI, 1998). For researching innovation and innovation policies in forestry, the approaches of sectoral innovation systems and regional innovation systems are of particular importance, putting emphasis on the sectoral institutional system in the former or regional networks in the latter (RAMETSTEINER, WEISS, 2004).

In the current economy, innovation ability and its application into practice can be considered as the basic assumption for the success of enterprise. Innovations constitute a significant connecting bridge between the present and the future of any organization. The ability to generate innovations is a necessary condition for the competitiveness of all enterprises. Innovations represent a step forward, the opportunity to grow faster, better and smarter than the surrounding competitors.

3 MATERIAL AND METHODS

For the analysis of innovation behavior and innovation potential of contractor firms in Slovak forestry following materials were used: questionnaire and case studies.

The analysis of innovation behaviour was based on research in 115 firms (Table 1) drawn from a database of enterprises by random. The contractor firms in Slovak forestry represented the basic population of the survey. The data collection was based on questionnaire using closed, semi open and open questions. The information sources were provided by people responsible for their management and product or process-related decisions, by filling out a prepared questionnaire during structured interviews. The questionnaire was broadly focused on innovations, but for the purposes of this study we chose following areas: types of implemented innovations, types of customers of contractor firms, types of provided services by these firms, fostering and impeding factors to innovation, initiatives and incentives that lead to innovation and reasons for no innovation activity. We chose these areas in order to identify only the basic characteristics related to innovation behaviour of contractor firms in Slovak forestry service sector.

Table 1 Respondents' structure according to the company size
Tabuľka 1 Štruktúra respondentov podľa veľkosti podniku

Company size	Criterion	Total number
Micro enterprises	0–9 employees	91
Small enterprises	10–50 employees	21
Medium enterprises	more than 50 employees	3

The analysis of innovation potential was assessed by case studies, which contain interviews with the innovators and the best practice innovations. These represent the best practices and methods that reliably lead to the best results from the possible alternatives. We focused on successful types of implemented innovations with considerable market potential. For the creating of case studies were used the semi-structured interviews with innovators which were focused on specific innovations implemented in the enterprises. The structure of the interview was broadly focused on innovation process, but for the purposes of this study we chose following topics: initial ideas, challenges to innovation, problems in innovation process, fostering and impeding factors, results and benefits of implementation of innovation.

4 RESULTS

The results of research show that only cca 35% of firms implemented innovations during the last three years. The size of enterprise appeared not to be important for the innovation activity of contractor firms (Figure 1).

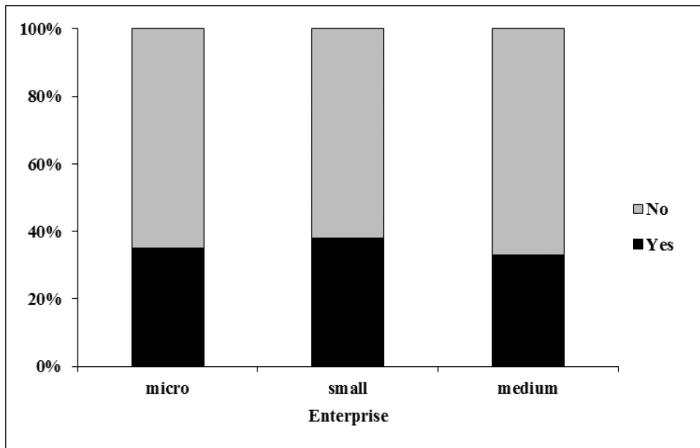


Figure 1 Innovation activity according to the size of firms
 Obrázok 1 Inovačná aktivita v závislosti od veľkosti podniku

The types of innovations which were successful can be divided into four categories: products, services, technological and organizational innovations. Technological, respectively process innovations have the biggest share on the successful innovations (Figure 2). We can conclude that the innovation activity of firms was focused on the acquisition of new machinery and technical equipment, because current mechanization don't meet the needs of development of modern technology and has got a negative impact on the environment.

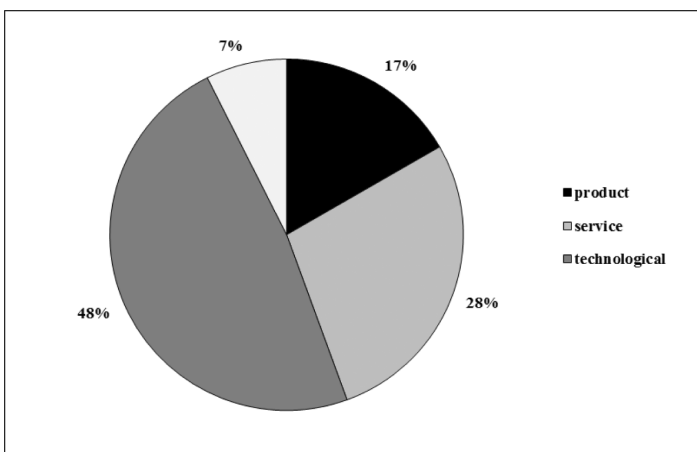


Figure 2 Types of successful innovations
 Obrázok 2 Typy úspešných inovácií

Services in forestry sector are mostly provided for state, private and communal forest owners (Figure 3). For the market of forestry services is typical that these external companies provide the main production activities and not the secondary activities, which are normally outsourced in other sectors. The contractor firms provide mainly following types of services: timber harvesting, skidding and wood handling (Figure 4).

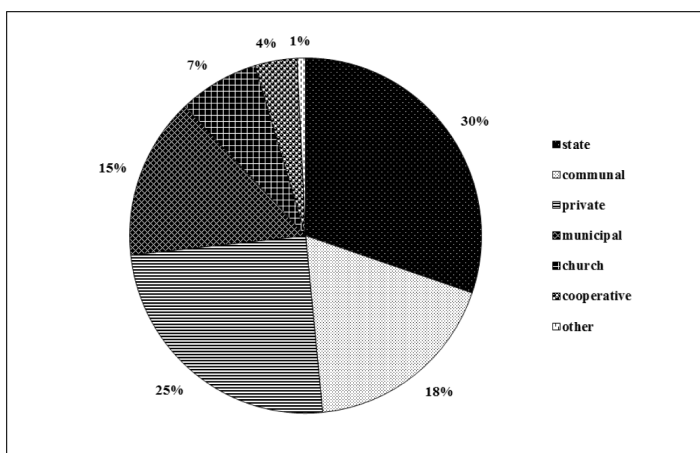


Figure 3 Types of customers – forest owners
Obrázok 3 Štruktúra odberateľov služieb

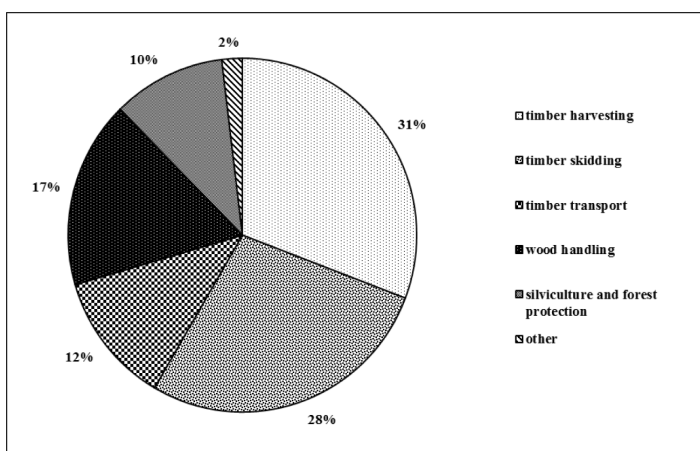


Figure 4 Types of provided services
Obrázok 4 Štruktúra poskytovaných služieb

The most of innovative impulses for innovations came from own management or co-workers, customers, forest managers and lot of innovators were inspired by the experi-

tions and journals. The most important reasons and motivations for innovations and the most often expectations of innovators were also identified (Table 2).

Table 2 Reasons and expectations of innovation process
Tabuľka 2 Dôvody a očakávania inováčného procesu

No.	Reasons and Motivations	Expectations
1	increasing profits	better financial support of innovations
2	improving technological processes	new legislative, bureaucracy and tax load reduction
3	increasing labour productivity	better cooperation, creating of clusters
4	cost reduction	increasing of price for services and enough work
5	environment protection	more information and learning opportunities

In order to assessment of the main characteristics of innovation behaviour following fostering and impeding factors of the innovation process were identified (Table 3). Offer of loans and cooperation remain as the most important fostering factors. On the other hand, lack of own financial sources, high investments and operating costs and tax load was identified as the most important impeding factors.

Table 3 Fostering and impeding factors of innovation process
Tabuľka 3 Podporné a obmedzujúce factory inováčného procesu

No.	Fostering Factors	Impeding Factors
1	offer of financial services – loans	lack of financial sources
2	cooperation with customers and suppliers	high investments and operating costs
3	cooperation with other contractors	tax load, laws and legislative
4	qualified employees	lack of qualified employees
5	support of public and EU sources	sales risks and lack of information

According to the results of research it can be reported that nearly 65% of contractors' didn't implement any innovation. The main and most often reasons for no innovation activity can be divided into two categories: internal and external reasons (Table 4).

Table 4 Internal and external reasons for no innovation activity
Tabuľka 4 Interné a externé bariéry inováčnej aktivity

No.	Internal reasons	External reasons
1	own financial situation	low price of provided services
2	innovations are not necessary	lack of job and unstable income of contracts
3	do not need innovations to increase profits	uncertainty and risk of sales of services
4	actual operating results are fully satisfactory	problems with public tenders
5	high investments and operating costs	strong competitors and lack of financial support

For analysis of innovation potential case studies were made. The four types of implemented innovations in firms with considerable market potential are shown in Table 5.

Table 5 Successful innovations
Tabuľka 5 Úspešné inovácie

Type	Successful innovations
Technological	cableways, logging machinery, forwarders, transport vehicles
Services	rent of technology, new software, export of logging debris, brushwood and firewood, entering a new market, international transport
Products	wood chips, ecological fuel and oil, new types of steel ropes
Organizational	outsourcing, insourcing, reorganization of timber transport

Based on the outcomes of case studies it can be said that initial ideas of innovations came from company management, other enterprises, customers or inspirations were from abroad. The implementation of new products, services, technical and organisational innovations was connected to several challenges and problems (Table 6).

Table 6 Challenges and problems of innovation processes
Tabuľka 6 Výzvy a problémy inovačného procesu

	Innovations		
	Technological	Products and services	Organizational
Challenges	new technologies in Slovakia abroad competitors manual work reduction changes of law increasing profits and cost reduction	effective cost management extension of portfolio entering new markets achieve a higher technical level higher level of quality	better cooperation cost reduction
Problems	economic situation market conditions supply of services exceeds demand lack of knowledge about how new technology works	unstable market low prices of provided services	ineffective cooperation frequent downtime

The innovation process in contractor firms was supported by fostering factors and on the other hand some impending factors made it more difficult (Table 7).

Table 7 Fostering and impending factors according case studies
 Tabuľka 7 Podporné a obmedzujúce faktory na základe prípadových štúdií

Factors	Innovations		
	Technological	Products and services	Organizational
Fostering	financial support from EU sources possibility of leasing personal characteristics of innovator	positive approach to modernization willingness to learn new things	clear strategy courage to make changes
Impeding	lack of financial sources high investments costs uncertainty and risk of sales bureaucracy and lack of guidance	lack of public support laws and legislative problematic public tenders	lack of information lack of qualified employees

By implementation of listed four types of innovations firms achieved a lot of results and benefits. The following can be considered as the most important for them: higher sales and profits, cost reduction, higher labour productivity, simpler work processes, rationalization of work, less physical work and higher safety, efficiency and flexibility, high performance equipment, low fuel consumption, accurate and reliable machinery and of course environment protection.

5 DISCUSSION

This study is connected to similar research of innovations of forest owners in Slovakia “Centre of Excellence: Adaptive Forest Ecosystems”. The innovation activity of contractor firms and forest owners in Slovakia appeared comparable in general as well as according to the product, service, technological and organizational innovations.

There is a limited innovation activity in contractor firms and forest holdings and innovations are often incremental and not new for the sector (DOBŠINSKÁ, SARVAŠOVÁ, ŠÁLKKA, 2010). Technological innovations (new machinery and technical equipment) dominated in contractor firms and also in forest holdings, because the current mechanization is not consistent with the needs of development of modern technology. Innovations provide a competitive advantage, because environmental factors play an important role in the selection of supplier.

The results of research of this subjects shows that the most important fostering and impeding factors are very similar, too. Offer of financial sources and cooperation within the sector is important for contractor firms and also for forest holdings. The lack of financial sources, high costs and sale ability risks appeared as the most significant impediments for innovative contractors and holdings. The barriers to innovation were also similar, such as lack of own funding, high investments and operating costs and sale ability risks.

6 CONCLUSION

According to the results of research we can conducted that there is low innovation activity in contractor firms in Slovak forestry, only 35% of micro, 38% of small and 33% of medium sized enterprises implemented innovations during last 3 years and nearly 65% of respondents did not implement any innovation during selected period. It follows that the size of company did not play an important role of innovation activity of contractor firms. On the other hand, based on the case studies, it can be said there is high innovation potential in the sector of forest services. Forestry is currently influenced by number of changes, which bring a wide range of possibilities of using new knowledge, so this is the appropriate time and environment for innovations.

The ability of contractor firms to generate innovations currently depends not only on the activity of individual subjects, but also on the ability to work and interact as a part of the Innovation System, which does not explicitly exist (ŠTĚRBOVÁ, ŠÁLKA, PALUŠ, 2014). We observed some activities that could be described as innovation system functions.

A degree of innovation activity mainly depends on the financial situation of firms. Lack of own funding and difficulty to fulfil conditions for obtaining support from public and EU funds, make innovation process more difficult. The innovation system provides some financial support for innovation activities.

Vertical and horizontal cooperation within the sector is very important. Unfortunately, a cluster – an effective system with innovation networks for promoting innovation does not exist. In the forestry services market clustering is in its beginning and enterprises merge together and work as partners mainly on an informal level (ŠTĚRBOVÁ et al., 2014). At present, the function of a cluster is fulfilled by The Association of Entrepreneurs and Freelancers working in Forestry. The innovation system does not provide enough information about possible innovations and support of innovations.

Generally, an effective system of subsidies, management of cooperation and conflicts, availability of information on innovations and information exchange between actors in the sector, could significantly increase innovation activity of contractor firms in the Slovak forestry.

Acknowledgements

This study was supported by the Scientific Grant Agency of the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic, Grant No. 1/0678/14 and Slovak Research and Development Agency under the contract No. APVV-0057-11.

References

- DOBŠINSKÁ, Z., SARVAŠOVÁ, Z., ŠÁLKA, J. (2010): Changes of innovation behaviour in Slovakian forestry. In: The Annals of the “Stefan cel Mare” University of Suceava. Fascicle of The Faculty of Economics and Public Administration. Vol. 10. No 2 (12). ISSN 2066-575X.
- DOSI, G., (1988): Sources, Procedures and Microeconomic Effects of Innovations, *Journal of Economic Literature*, 26, 1120–1171.

- EDQUIST, C. (2001): The system of innovation approach and innovation policy — an account of the state of the art. Lead paper at the Nelson Winter Conference, DRUID Aalborg, June 12–15, 2001.
- EDQUIST, C., JOHNSON, B. (1997): Institutions and organizations in systems of innovation. In: Edquist C. (ed), Systems of innovation: technologies, institutions, and organizations. F. Pinter, London, 41–63.
- OECD (2005): Oslo Manual: Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data. 3rd Edition, Paris, OECD.
- JARSKÝ, V. (2014): Inovace v lesním hospodářství – systémový pohled. Powerprint, Praha. pp. 136. ISBN 978-80-87415-98-6.
- LUNDVALL, B.A., JOHNSON, B., ANDERSEN, E.S., DALUM, B., (2001): National systems of production, innovation and competence building. Paper at the Nelson Winter Conference, DRUID Aalborg, June 12–15, 2001.
- NELSON, R., WINTER, S.G. (1977): In search for useful theory of innovation. Research Policy, 6, 36–76.
- PALUŠ, H., KAPUTA, V., PAROBK, J., ŠUPÍN, M., ŠULEK, R., FODREK, L. (2011): Trh s lesníckymi službami. Zvolen: TU Zvolen, 2011. pp. 45. ISBN 978-80-228-2334-0.
- PIITTNER, M., ŠVEJDA, P. (2004): Řízení inovací v podniku. AIP ČR, Praha, 2004. pp. 87. ISBN 80-903153-2-1.
- RAMETSTEINER, E., WEISS, G., (2004): Innovation and Entrepreneurship in Forestry in Central Europe. Draft paper presented at “Sustain Life – Secure Survival II” Conference, Prague, Czech Republic. September 22–25, 2004.
- RAMETSTEINER, E., WEISS, G., KUBECZKO, K. (2005): Innovation and entrepreneurship in Forestry in Central Europe – European Forest Institute Research Report. EFI. Brill Academic Publishers, Biggleswade Bedfordshire. ISBN 90-041-4589-3.
- ŠTĚRBOVÁ, M., LOUČANOVÁ, E., ŠÁLKA, J., PALUŠ, H. (2014): The regional innovation paradoxes of forestry contractors firms in Slovakia. Zagreb: International Association for Economics and Management in Wood Processing and Furniture Manufacturing – WoodEMA, 2014. ISBN 978-953-57822-2-3.
- ŠTĚRBOVÁ, M., ŠÁLKA, J., PALUŠ, H. (2014): Inovačný systém v sektore lesníckych služieb. Acta Facultatis Forestalis Zvolen. 2014. 113-126. ISSN 0231-5785.
- ŠULEK, R. (2002): Funkcie a úloha lesov v rozvoji vidieka. In: Financovanie 2002 Lesy Drevo, zborník z konferencie s medzinárodnou účasťou. TU Zvolen, 65–71.
- WEISS, G., ŠÁLKA, J., DOBŠINSKÁ, Z., AGGESTAM, F., TYKKÄ, S., BAUER, A., RAMETSTEINER, E. (2010): Integrating Innovation in Forest and Development Policies: Comparative Analysis of National Policies across. In: Rametsteiner, E., Weiss, G., Ollonqvist, P. & Slee, B. (eds.). Policy Integration and Coordination: the Case of Innovation and the Forest Sector in Europe, 10; OPOCE, Brussels, 41–86.
-

Adresa autora:

Ing. Martina Štěrbová
Katedra ekonomiky a riadenia lesného hospodárstva
Lesnícka fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 01 Zvolen
Slovenská republika
e-mail:martina.sterboval@gmail.com

Inovačné aktivity firiem poskytujúcich služby v slovenskom lesníctve

Abstrakt

Inovácie sú jedným z najdôležitejších ekonomických a obchodných javov dnešnej doby. V ekonomickej teórii sa považujú za hlavný hnací motor hospodárskeho rozvoja a významný faktor ekonomického rastu. Pod pojmom inovácie možno označiť zavádzanie nových produktov a služieb, vnášanie nových metód, technológií a poznatkov do praxe. Svoje miesto a význam majú aj v sektore lesníckych služieb. Cieľom predloženého výskumu bolo analyzovať inovačné správanie a inovačný potenciál firiem poskytujúcich služby v slovenskom lesníctve, predovšetkým v rámci ťažbovo-dopravného procesu. Analýza inovačného správania bola založená na výskume realizovanom v dodávateľských firmách vybraných z databázy podnikov náhodným spôsobom. Informačné zdroje poskytli osoby zodpovedné za ich riadenie, prostredníctvom vyplnenia dotazníka. Dotazník bol zameraný na inovácie v širších súvislostiach, avšak pre účely tejto štúdie boli vybrané nasledujúce oblasti: typy realizovaných inovácií, podporné a brzdiace faktory inovačného procesu, iniciatívy a stimuly, ktoré viedli k inováciám, ako aj dôvody, ktoré neumožnili realizovať inovačné aktivity. Analýza inovačného potenciálu bola hodnotená prostredníctvom prípadových štúdií, ktoré obsahujú rozhovory s inovátormi a tzv. „best practice technology“. Tie predstavujú osvedčené postupy a metódy, ktoré spoľahlivo vedú k najlepším výsledkom z možných alternatív. Našu pozornosť sme pritom zamerali na úspešné typy realizovaných inovácií so značným trhovým potenciálom. Záver štúdie definuje mieru inovačnej aktivity a inovačného potenciálu firiem poskytujúcich služby v lesníctve, ako aj determinanty a faktory, ktoré majú vplyv na zavádzanie inovácií na trhu lesníckych služieb.

Kľúčové slová: inovačné správanie, inovačný potenciál, firmy poskytujúce služby, trh s lesníckymi službami

ASSESSING THE ASSETS AND CAPITAL STRUCTURE IN DIFFERENT FOREST COMPANIES

Igor V I S Z L A I

Viszlai, I.: Assessing the Assets and Capital Structure in Different Forest Companies. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 57, Suppl. 1, 2015, 197–206.

Management of forest companies is complicated, due to various specifications. The combination of commercial and non-commercial activities in forests is making their financial management even harder. In the present paper we tried to analyse asset and capital structure in different forest companies and searched for differences between the model situation and real conditions. We used three basic financial rules for assessing and analysing assets and capital structure - Golden rule of financing, Current Ratio and One to One rule. The results of the work gave us an overview of the asset and capital structure in the selected forest companies, differences between those companies and also database for further analysis.

Key words: analysis, asset, capital, differences, forest companies

1. INTRODUCTION AND THEORETICAL FRAMEWORK

Practical Forest Management divides three basic categories of forests: production (commercial) forests, protective and special purpose forests. Rational management of commercial forests usually leads to the profit of an organization, which managing these forests. However, other categories and sub-categories of protective forests and special purpose forests require certain specifications and deviations from ordinary management. In many cases, managing of forest stands is limited, which has the effect of increasing costs and reducing profits of company, which is managing in those forest categories. The methodology of calculation of the following costs incurred, as well as the possibility of paying refunds are not currently adequately developed, considering the influence various external factors: biotic, abiotic as well as the impact of climate change.

That is why we would like to focus on the precise quantification of the following costs incurred in the simulation of different scenarios for development of the forest stands as well as the possibility of financing forestry companies, which manage the forests not only in commercial forests, but also in special purpose and protection forests. Research will obtain information on the differentiation of economic measures in response to the forest categories in relation to the determination of the optimal amount of costs and revenues, considering the possibility of profit and efficiency of the individual categories of forests.

The conclusions of the analysis will lead to exact information for state forest policy and the government about the needs, how to provide subsidies for protective forests and special purpose forests.

In general, the assets structure means all things, cash, receivables and other assets belonging to the company and used for business purposes. Capital is a resource, which covers company assets. The effort, how to manage and finance the asset of the company has led a number of theorists and practitioners (ZHANG, 2005; LELAND, 1994) to formulate the problem of optimal asset and capital structure. In general, it is based on two principles:

1. The company should have only assets, that is required for its activities (manufacturing, services, and trade) and can be used up.
2. Financing of company asset is necessary to provide from the cheapest sources.

Economic criteria and principles for financing the company assets are based on the principles of their minimization with maximal economic efficiency of their use: maximum yield, profit, etc. (MYERS, 1984; BREALEY – MYERS, 1992). Some authors also talking about affecting the capital structure by sources of capital (FAULKENDER – PETERSEN, 2006).

Optimizing asset in forestry enterprise is different. This process has some problems, because in forestry sector, there are some specifications. Not all assets are used for commercial activities and some of the company actives (forest roads etc.) are used in combination for both commercial and non-commercial activities and the problem is to determine the proportion. Forest enterprise assets and forest management are also bringing side effects that could be used by commercially oriented companies (hotels, recreational facilities, agricultural undertakings).

Another assessing problem is that there are not economic criteria for measuring long-term effectiveness of assets. Those criteria are the basis for the creation of future long-term yields e.g. soil conservation, meliorations etc. (HAJDÚCHOVÁ, 2006).

Long production period in forestry extended payback period of financial resources, which are bound through silviculture activities in forests and timber reserves, the technical equipment and forest roads.

2. MATERIAL AND METHODS

In present work, we tried to analyse asset and capital structure in different forest companies according to ratio of forest categories in those companies. The main hypothesis of this study stems from the fact that the management in categories of protective forests and special purpose forests require reaching of the cost for silviculture, but also for other activities – accessing the forest stands, protective measures etc. On the other hand, there are lower revenues, for example, due to retention of wood in the stand or stands growing more than to felling maturity. Therefore we assume that the forest enterprises managing on forest land in the above categories of forests are economically less powerful.

For assessing and analysing assets and capital structure were chosen different forest companies. All of them are managing forests, but they are different in their organization structure, form of ownership, in the size of the company and they are also managing dif-

ferent forest stands in different forest categories¹ (productive forest, special purpose forest, protective forest). We tried to choose representative company from each category and collect data and information, which are suitable to compare. In a table below, there are selected forest companies with percentage of each category of forests, which is the most important factor.

Tab. 1 Forest-managing area of selected companies divided in the forest categories
Tab. 1 Podiel jednotlivých kategórií lesov vybraných lesných podnikov

Original company name	Category of forests [%]		
	Productive forests	Special purpose forests	Protective forests
Lesy SR, š.p.	74	10	16
Štátne lesy TANAP-u	4	30	66
Vysokoškolský lesnícky podnik	9	78	13
Mestské lesy Košice, a.s.	28	57	15
Mestské lesy Kremnica, s.r.o.	84	2	14

The primary source of relevant information is accounting. In accounting, there are accumulated information about financial situation of company. All selected companies summarizing and preparing annual report according to GAAP. Generally Accepted Accounting Principles (GAAP) refer to the standard framework of guidelines for financial accounting used in any given jurisdiction; generally known as accounting standards or standard accounting practice (BRAGG, 2012). Annual report consists of three basic parts:

- Balance Sheet.
- Income Statement.
- Notes (Retained Earnings Statement, Statement of Cash Flows, etc.).

Balance sheet is the corporation's financial position at a point in time as represented by its level of assets, liabilities, and shareholders' equity (MANESS, 1988). It is divided into two sections. The first section shows the assets. The second section shows the liabilities (or debts) and owner's equity, which together represent the claims against the assets. The total assets always equal the combined total of the liabilities and the owner's equity (or capital) (SPURGA, 2004). The income statement presents information on the financial results of company's business activities over a period of time (ROBINSON, et. al. 2012) resp. level of revenues, expenses, and profit that occurred during a given accounting period (MANESS, 1988).

¹Forest categorization according to Act on Forests No. 326/2005 of the Coll. Function of the forest depends not only on human subjective requirements, significantly (and objective) it limits the individual site conditions of forest stands. Therefore, the categorization is closely related to forest habitat classification and typing stand into the category is based on the dominant type of habitat in the stand.

Based on the long-term analysis, there were derived some rules that can be applied in optimization and management of assets and capital structure in forest enterprises. To the simplest and most common additive methods of assessing asset and capital structure belongs: Golden rule of financing, Current Ratio and One to One rule. Golden rule of financing says, that long term corporate assets has to be financed by long term sources of financing, that means own capital or long term external capital sources. Following this rule is necessary for retaining financial stability. In case of sooner maturity of corporate sources than their refunding, company should have problems with liquidity.

Current ratio, also known as part of liquidity ratios (MANESS, 1988), says that value of current corporate assets should be more than twice the short-term external capital. The ratio is mainly used to give an idea of the company's ability to pay back its short-term liabilities (debt and payables) with its short-term assets (cash, inventory, receivables) (BREALEY – Myers, 1992).

Following One to one rule means, that ratio of own corporate capital and external capital should be one to one. This rule cannot be applied in trading companies where the total amount of actives is mainly created by current short-term assets. Because of it, external capital sources in those companies can raise up to 60–70% (HAJDÚCHOVÁ, 2011). On the other side, using of external sources of financing in forestry enterprises is very limited. In the State Forest enterprise of Slovak republic, external sources of financing represent only 2.73% (GREEN REPORT, 2012).

3. RESULTS

First part of work deals with comparison of asset and capital structure in selected forest companies with model. In model we can see, that on the side of assets is ratio between long term and short term asset fifty percent. On the other side, liabilities and owners' equity is divided in forty percent for own equity and long term liabilities and short term liabilities represent only twenty percent. In a table two is shown the average percentage of assets and liabilities and owners' equity in selected forest companies (average form year 2008–2012). For better illustration, there is figure one with graphical representation of asset and capital structure in selected forest companies compared with model.

Tab. 2 Asset and capital structure of selected forest companies

Tab. 2 Majetková a kapitálová štruktúra vybraných lesných podnikov

Ø	Asset and capital structure [%]				
	Own equity	Long term liabilities	Short term liabilities	Long term asset	Short term asset
Lesy SR	92.45	1.69	5.86	93.63	6.37
ŠL TANAP-u	17.11	72.62	10.27	91.01	8.99
VŠLP	78.20	0.42	21.38	64.84	35.16

Tab. 2 Asset and capital structure of selected forest companies – continued

Tab. 2 Majetková a kapitálová štruktúra vybraných lesných podnikov 0 pokračovanie

Ø	Asset and capital structure [%]				
	Own equity	Long term liabilities	Short term liabilities	Long term asset	Short term asset
ML Košice	35.77	24.36	39.87	65.07	34.93
ML Kremnica	23.87	35.16	40.97	69.53	30.47
Model	40	40	20	50	50

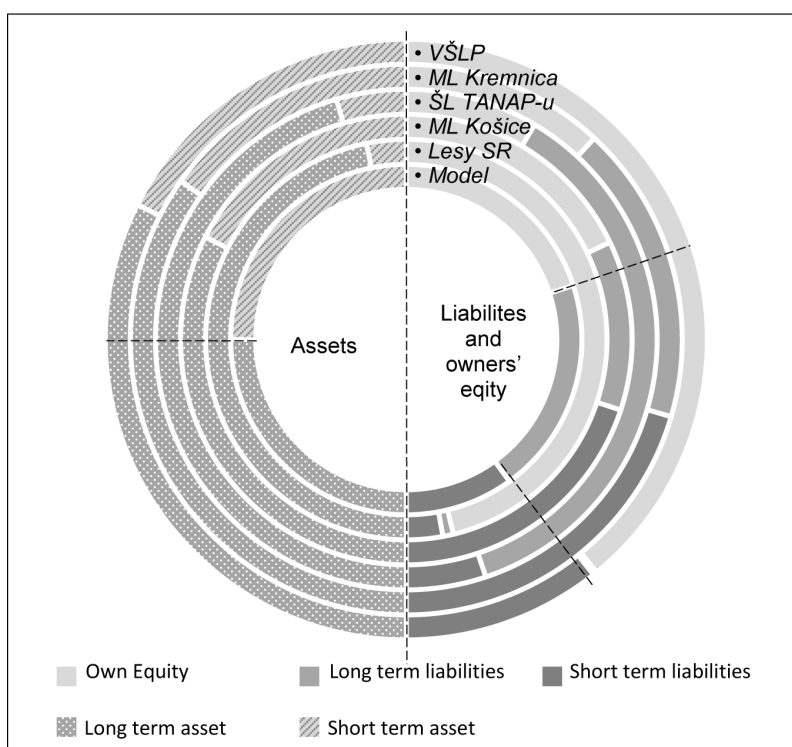


Fig. 1 Graphical illustration of asset and capital structure of selected forest companies

Obr. 1 Grafické znázornenie majetkovej a kapitálovej štruktúry vybraných lesných podnikov

As we can see in figure 1, all selected companies have different asset and capital structure. Differences are between companies, but also between companies and model. If we are focusing on asset structure, the private forest companies (ML Košice and ML

Kremnica) and VŠLP are closer to model situation. Proportion of long term (fixed) assets is higher than in the model, but not too much. Different situation is in state companies, where is proportion of long term assets more than 90%. On the side of liabilities and owners' equity is situation similar. None of selected companies copy the model. Also private companies have the capital structure closer to the model. They have more short term liabilities and less proportion of own equity. Problem of state company Lesy SR is that they have just less than 8% of liabilities and huge proportion of owners' equity (more than 90%). Similar situation is in VŠLP, where long term liabilities represent only 0.4% and together with short term liabilities just 22%. On the other side, in second state company (ŠL TANAP-u) is proportion of liabilities higher than in model (83%).

Interpretation of reasons why companies' asset and capital structures are so different from model will be explained in second part of work, which is dealing with analysis of financial rules connected with asset and capital structure.

Golden rule of financing

As we said, golden rule of financing is telling us, that long term corporate assets has to be financed by long term sources of financing. When the long term corporate asset is higher than long term sources of financing, we are talking about under-capitalization, which means that for financing of long term assets in company using the short term sources. This situation may leads to the risk of problems with paying the short term liabilities. Opposite situation is, when the long term sources of financing are higher than long term corporate assets. It means that part of current asset is covered by long term sources. This situation we call over-capitalization and for company it is not as dangerous as under-capitalization. Covering the long term corporate assets by long term sources of financing in selected forest companies is shown in table 3.

Tab. 3 Covering the long term corporate assets by long term sources of financing – Golden rule of financing

Tab. 3 Krytie dlhodobého majetku dlhodobými zdrojmi financovania – Zlaté pravidlo financovania

	Golden rule of financing [%]				
	2008	2009	2010	2011	2012
VŠLP	124.8•	125.5•	121.3•	125.3•	140.1•
Lesy SR	99.2*	99.6*	101.5•	103.0•	101.8•
ŠL TANAP-u	112.7•	110.5•	108.7•	106.7•	106.7•
ML Košice	113.3•	121.3•	109.1•	125.1•	115.0•
ML Kremnica	114.8•	121.2•	131.5•	140.2•	146.6•

* under-capitalization

• over-capitalization

The ideal situation is when 100% of long term corporate assets is covered by long term sources of financing. In the table we can see that in the last three years all of the companies are over-capitalized. The closest to the optimal situation is the state enterprise Lesy SR, but three years ago they were in the opposite situation and were slightly under-capitalized. The reason is that the management's plans for the next year are sometimes not fulfilled and at the end of the year values are different due to salvage fellings, bad weather conditions, or on the other hand differences between planned and real values are caused by savings in cost activities (investments, maintenance etc.). The most over-capitalized companies are the private company ML Kremnica and VŠLP. We can say that all of the companies are financially stable, without problems with paying their short term liabilities.

Current ratio

In order to fulfil the rule current ratio, company's value of current corporate assets should be more than twice the short-term external capital. On the other hand, there are many factors and influences which are affecting the rule. For example it is macro-environment of the company or approach to the management of current assets (aggressive, conservative or neutral approach). The increase of the ratio may be caused by the high level of stocks or non-paying defaulters, while the decline in the value of this indicator may be the result of greater efficiency. Table 4 shows following the Current ratio rule in selected companies.

Tab. 4 Following the Current ratio rule in selected forest companies

Tab. 4 Dodržiavanie pravidla Current ratio v rámci vybraných lesných podnikov

	Current ratio				
	2008	2009	2010	2011	2012
VŠLP	1.00*	1.14•	1.17•	0.82*	1.11•
Lesy SR	0.41*	0.45*	0.60*	0.67*	0.60*
ŠL TANAP-u	10.68•	7.32•	10.26•	2.88•	3.91•
ML Košice	0.75*	0.75*	0.63*	0.84*	0.67*
ML Kremnica	1.18•	1.49•	1.47•	1.63•	2.34•

* not following the rule

• following the rule

For following current ratio rule is necessary to reach value more than 1. In this case, situation is different between both private companies. ML Kremnica reached the value more than one, last year it was more than 2. In second private company, ML Košice, are values under 1 which means, that they are not following the rule and they are producing uncovered debt. Same situation is in state company Lesy SR, where are values deeply under 1. In VŠLP are values around 1, some years they are following the rule and some not. The highest values are in state company ŠL TANAP-u, but from year 2008 (10.68)

they are decreasing (3.91 in 2012). They are producing the highest values of Net Working Capital.

One to One

This rule is dealing just with structure of capital and has no relation to assets and therefore the use of sources. Following the rule means to have ratio between own capital and foreign capital 1:1. Foreign sources of financing are contributing on the growth company value. If the company does not using foreign sources, it leads to reducing of the potential for economic growth and investment development. In Table 5 are selected forest companies and values of One to One rule.

Tab. 5 Following the One to One rule in selected forest companies

Tab. 5 Dodržiavanie pravidla One to One v rámci vybraných lesných podnikov

	One to One [%]				
	2008	2009	2010	2011	2012
VŠLP	20.56	16.28	13.66	32.40	24.90
Lesy SR	5.73	4.89	11.00	11.65	11.99
ŠL TANAP-u	10.48	7.49	5.51	5.51	4.15
ML Košice	62.78	74.89	65.01	57.91	59.02
ML Kremnica	20.93	18.12	25.55	23.80	17.95

We are talking about ideal situation, when the ratio is 1:1. When we are counting the rule as ratio between foreign and own capital multiplied by 100 (to have result in %), it means that ideal situation is 100%. As we can see, none of selected companies follow this rule. The closest to the optimum is private company ML Košice. In general all other companies reached low values of One to One rule which means, that they are losing their opportunity of economic growth. Reasons for interpretation of this situation we can find in historical development of the companies. In the past, almost all capital sources were own. In just past 20 years, after market change, companies are looking for external sources for financing their activities.

4. CONCLUSIONS

Results of the present work point out on differences between forest companies. Those differences are in some cases between public and private companies and in some cases also between each company in private or public sector. We can say that asset and capital structure in researched companies is not optimal as model says, but situation in none of companies is critical. Analysis of asset and capital structure according to rules of financing find out some problems connected mostly with lack of foreign investments

and foreign capital. All companies are also over-capitalized. For companies this situation means losing the opportunity for investment development and economic growth. Another problem is that most of assets in companies are long term. It is important to find out solution for increase the short term assets to keep them in optimal balance.

Analysis of asset and capital structure uncovered us some problems with financing of forest companies and gave us data-basement for deeper analysis of economic performance in forest companies. Results can be correlated with other factors such as the relationship between the different categories of forests and rules of financing, or the proportion of forest categories and the overall economic performance of the company, rated by other, more sophisticated methods. After that we can exactly say, how huge is the impact of forest categorization and structure of forest categories in forest companies on economic performance in forest companies.

Acknowledgements

This work was supported by the financial support of the project VEGA 1/0584/13 “Economic and legal conditions of market functioning in the forest economy”.

References

- Act on Forests number 326/2005 of the Coll, in wording of Act number 275/2007 of the Coll
- BRAGG, S.M., 2011. Wiley GAAP 2012: Interpretation and Application of Generally Accepted Accounting Principles. John Wiley & Sons.
- BREALEY, R.A. – MYERS, S.C., 2003. Principles of corporate finance. McGraw-Hill, Inc.
- FAULKENDER, M.W. – PETERSEN, M.A., 2006. Does the Source of Capital Affect Capital Structure? Review of Financial Studies, Vol. 19, No. 1, pp. 45–79.
- HAJDÚCHOVÁ, I., GIERTLIOVÁ, B., TRENČIANSKY, M., ŠULEK, R., IVAN, L., 2011. Finančná stabilita podniku. Technical University in Zvolen, ISBN 978-80-228-2215-2.
- KRÁĽOVIČ, J. – VLACHYNSKÝ, K., 2006. Finančný management. Iura Edition, ISBN 80-8078-042-0.
- LELAND, H.E., 1994. Corporate Debt Value, Bond Covenants, and Optimal Capital Structure. The Journal of Finance Volume 49, Issue 4, pp. 1213–1252.
- Green report 2012, Report on forest management in the Slovak Republic in 2011, the Ministry of Agriculture, Bratislava, November, 2012, 67 p.
- MANESS, T.S., 1988. Introduction to Corporate Finance. McGraw-Hill, Inc., ISBN 0-07-039934-4.
- MYERS, S.C., 1984. The Capital Structure Puzzle. Journal of Finance, 39, pp. 575–592.
- ROBINSON, T.R., HENRY, E., PIRIE, W.L., BROIHahn, M.A., COPE, A.T., 2012. International Financial Statement Analysis (CFA Institute Investment Series), 2nd Edition. CFA Institute, ISBN: 978-0-470-91662-9.
- SPURGA, R.C., 2004. Balance Sheet Basics: Financial Management for Nonfinancial Managers. Penguin Group, Inc., eISBN: 978-1-101-48402-9.
- ZHANG, X., 2005. Financial Viability Analysis and Capital Structure Optimization in Privatized Public Infrastructure Projects. J. Constr. Eng. Manage., 131(6), pp. 656–668.
-

Adresa autora:
Ing. Igor Viszlai
Katedra ekonomiky a riadenia lesného hospodárstva
Lesnícka fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
Masarykova 24
960 53 Zvolen
Slovenská republika
e-mail: igor.viszlai@gmail.com

Posúdenie majetkovej a kapitálovej štruktúry vo vybraných lesných podnikoch

Abstrakt

Praktická hospodárska úprava lesov rozlišuje tri základné kategórie lesov. Lesy hospodárske, lesy osobitného určenia a lesy ochranné. Racionálne obhospodarovanie hospodárskych lesov zväčša vedie k vytváraniu zisku organizácie, ktorá v týchto lesoch hospodári. Avšak ostatné kategórie a subkategórie ochranných lesov a lesov osobitného určenia si vyžadujú isté špecifiká a odchýlky od bežného hospodárenia. Ide zväčša o obmedzenie hospodárenia, ktoré má za následok zvýšenie nákladov a zníženie ziskov podnikov obhospodarujúcich dané porasty. Taktiež možno pozorovať zmeny v majetkovej a kapitálovej štruktúre podnikov obhospodarujúcich dané kategórie lesov. Práca sa preto zaoberá analýzou majetkovej a kapitálovej štruktúry vybraných lesných podnikov. Pre účely práce bolo zvolených 5 rôznych lesných podnikov. Všetky z nich obhospodarujú lesné pozemky, avšak líšia sa v organizačnej štruktúre, forme vlastníctva a veľkosti podniku. Taktiež sa líšia v pomere obhospodarovania jednotlivých kategórií lesov (lesy hospodárske, ochranné a lesy osobitného určenia).

Z výsledkov práce je možné pozorovať rozdiely v majetkovej a kapitálovej štruktúre jednotlivých lesných podnikov a to medzi podnikmi navzájom, avšak aj v porovnaní podnikov s modelom. Pri analýze pravidiel financovania (zlaté pravidlo financovania, pravidlo Current ratio a One to One) taktiež vidíme rozdiely medzi jednotlivými podnikmi. Rozdiely sú jednak v podnikoch štátnych a súkromných, ale aj v podnikoch, ktoré obhospodarujú rozličné kategórie lesov. Väčšina problémov je spojená s nedostatkom cudzích zdrojov financovania, čo pre podniky znamená zníženie potenciálneho ekonomického rastu a investičného rozvoja.

Podklady vyplývajúce z práce nám umožňujú ďalej skúmať finančnú a ekonomickú výkonnosť daných lesných podnikov a výsledky korelovať s inými faktormi, ako je závislosť medzi kategóriou lesov a jednotlivými pravidlami financovania, či medzi podielom kategórií lesov a celkovou ekonomickou výkonnosťou podniku hodnotenou inými, sofistikovanejšími metódami.

Kľúčové slová: