





**ACTA  
FACULTATIS  
FORESTALIS  
ZVOLEN**

**58  
1/2016**

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

Predseda redakčnej rady / Editor in Chief:  
prof. Dr. Ing. Viliam Pichler

Posudzovatelia:  
Ing. Jozef Slugeň, PhD.  
prof. Ing. Štefan Žíhľavník, CSc.  
Ing. Milan Machanský PhD.  
Ing. Andrea Majlingová, PhD.  
Ing. Mariana Ujházyová, PhD.  
doc. Ing. Marek Potkány, PhD.  
Ing. Richard Hnilica, PhD.  
Ing. Lubomír Pňakovič  
Ing. Lubomír Ivan, PhD.  
Ing. Marek Ježík, PhD.  
Ing. Daniel Kurjak, PhD.  
Ing. Peter Lešo, PhD.  
Ing. Ján Parobek, 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.

Vedecký redaktor / Executive editor  
doc. Ing. Jaroslav Kmeť, PhD.

ACTA FACULTATIS FORESTALIS ZVOLEN 58 1/2016

Vydala Technická univerzita, T. G. Masaryka 2117/24, 960 53 Zvolen, IČO 00397440  
Vydanie I. – december 2016

Rozsah 185 strán, 11,98 AH, 12,52 VH

Náklad 100 výtlačkov

Tlač a grafická úprava Vydavateľstvo TU vo Zvolene

Rukopis neprešiel jazykovou úpravou

Vydanie publikácie schválené Edičnou radou TU vo Zvolene dňa 25. 1. 2016, číslo EP  
32/2016

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

<b>Ivan Hapčo:</b> Posúdenie prietokovej kapacity dvoch vybraných prietokových profilov bystriny Gidra v intraviláne obce Píla (Malé Karpaty).....	7
<b>Alena Konôpková – Daniel Kurjak – Jaroslav Kmeť:</b> Termostabilita fotosystému II kontrastných proveniencií jedle bielej.....	21
<b>Mariana Kýpeťová – Peter Jaloviar:</b> Vplyv svetelných pomerov porastu v štádiu obnovy na rast a vývoj prirodzenej obnovy tisa obyčajného <i>Taxus baccata</i> L. ....	33
<b>Matúš Sendecký:</b> Vplyv substrátu a inokulácie ektomykoríznyimi hubami na vývoj voľnokorenných semenáčikov smreka obyčajného ( <i>Picea abies</i> [L.] Karst.).....	47
<b>Jozef Výbošťok – Ján Bahýľ – Ján Merganič:</b> Využitie systému pre podporu rozhodovania pri plánovaní obnovy .....	59
<b>Michal Filípek:</b> Vplyv termínu výsadby a pôdnych kondicionérov na rast kultúr smreka obyčajného a borovice lesnej v Strážovských vrchoch .....	73
<b>Martin Zápotocký:</b> Zobrazovanie digitálnych lesníckych máp na internete .....	87
<b>Michal Hudák, Martin Lieskovský, Miloš Gejdoš:</b> Možnosti pestovania rýchlorastúcich drevín v podmienkach Liptova .....	101
<b>Matúš Žid, Martin Lieskovský, Miloš Gejdoš, Martin Slančík:</b> Riziká dlhodobého skladovania energetických štiepok .....	111
<b>Zuzana Valeriánová:</b> Hodnocení Fyzické zátěže operátorů UKT během přibližování dříví .....	125
<b>Jozef Orlej:</b> Konštrukcia a uplatnenie nového nákladného automobilu Tatra Phoenix v lesoch SR.....	137
<b>Šimon Saloň, Julián Tomašík:</b> Vplyv spektrálneho rozpätia hyper-spektrálnych záznamov na správnosť klasifikácie druhového zloženia drevín.....	147
<b>Vlastimil Murgaš:</b> Analýza rastovej odozvy buka lesného ( <i>Fagus sylvatica</i> l.) na recentnú zmenu klímy v rastovej oblasti poľana .....	163
<b>Jozef Výbošťok, Ján Merganič, Ján Bahýľ:</b> Syntéza programových riešení na podporu rozhodovania pri hospodársko-úpravníckom plánovaní .....	173



## POSÚDENIE PRIETOKOVEJ KAPACITY DVOCH VYBRANÝCH PRIETOKOVÝCH PROFILOV BYSTRINY GIDRA V INTRAVILÁNE OBCE PÍLA (MALÉ KARPATY)

Ivan H A P Ć O

**Hapĉo, I.: Posúdenie prietokovej kapacity dvoch vybraných prietokových profilov bystriny Gidra v intraviláne obce Píla (Malé Karpaty).** Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, 58/1 2016, 7 – 20.

Cieľom práce je posúdenie prietokovej kapacity vybraných profilov bystriny Gidra, ktorá spôsobila nemalé škody pri privalovej povodni v obci Píla (Malé Karpaty) dňa 07. 06. 2011. Pred a počas tejto povodne v priebehu 2–3 hodín spadlo v katastri obce 100 až 120 mm zrážok (ročný úhrn zrážok je 600 mm). Preto boli ěo najpresnejšie určené N-roĉné prietoky (napr. tzv. 100-roĉnú vodu) vo vybraných profiloch bystriny ako sú mosty a priepusty, pretože ich upchanie a následné pretrhnutie predstavuje najväĉšie riziko spojené s nevidanou deštruktívnou silou takejto prielomovej vlny. Pre výpoĉet N-roĉných prietokov bol použitý Dubov vzorec. Táto práca sa ďalej venuje problematike privalových povodní v malých hornatých povodiach, protipovodňovej ochrane, prevencii a príĉinám vzniku takýchto povodní. V neposlednom rade vysvetľuje rozdiel medzi záplavami regionálnymi a privalovými povodňami, v ěom spoĉívajú ich riziká, a preĉo môžu byť privalové povodne nebezpečnejšie a niĉivejšie.

**Kľúčové slová:** privalové povodne, extrémne zrážky, protipovodňová ochrana, osвета verejnosti

### ÚVOD A CIEĽ

V súčasnosti sa ĉasto hovorí o regionálnych povodniach, privalových povodniach a globálnych katastrofách spôsobených vrtochmi počasia. Z historických prameňov vyplýva, že povodne boli aj v minulosti, no spravidla sa píše len o tých najväĉších, ktoré boli natoľko rozsiahle, aby si našli cestu do kroník a spisov historikov. V mnohých historických mestách je možné na významných budovách nájsť zakreslené ĉiary, ktoré určujú pokiaľ až siahala voda v tom ĉi onom roku nevidanej povodne. Je ťažké jednoznaĉne tvrdiť, ĉi sa povodne vyskytujú ĉastejšie v súčasnosti ako v minulosti. Materiálne škody sú však vyššie vzhľadom na narastajúcu hustotu osídlenia. Vypuklým problémom je aj nezodpovedné správanie sa spoločnosti. Domy sa stavajú v zaplavovaných oblastiach aj napriek územným plánom, rozhodnutiam i skúsenostiam z minulosti. Autá sú zaparkované vedľa potokov a riek. Mosty, lávky, oporné múry a iné stavby na brehoch potokov a bystrín budované bez potrebných povolení a ignorujúce základné fyzikálne zákonitosti. Ak sa zmenší koryto, zmení sa aj jeho schopnosť odvádzať dostatok vody v prípade privalového dažďa. Problémom je chýbajúce povedomie verejnosti. Vedomé obĉádzanie zákonov a nariadení nepovolenými zásahmi a úpravami brehov a tokov je veľákrát príĉinou zvýšeného povodňového rizika.

Na druhej strane, v mnohých ekosystémoch majú záplavy a povodne kľúčový význam. „Veľká voda“ nielen úrodnú pôdu odnáša, ale na nížinách ju aj často prináša. Voda a jej krajnotvorný význam je neodškriepiteľný. Tvár sveta a hlavne pevniny tvarovala voda od jej vzniku. Nebyť vody a povodní, len ťažko by sme sa dnes kochali takými prírodnými skvostami ako je Slovenský Raj, Slovenský Kras, Tatranské vodopády a mnohé iné divy prírody. Dnes je už jasnejšie, že erózna sila vody a prívalových povodní nemá len negatívne následky. Počas povodní a záplav je možné vidieť, ako sa krajina doslova mení pred očami, rieky a bystriny si hľadajú nové korytá, svet je v pohybe.

Cieľom tejto práce bolo objasniť ako funguje odtok vody z krajiny, príčiny vzniku prívalových povodní v bystrinných povodiach a poskytnúť ucelenejší pohľad na problematiku povodní. Navrhnuť niekoľko opatrení, ktorými možno predchádzať povodniam a ako v prípade ich vzniku zmierniť ich následky.

## **2. PROBLEMATIKA PRÍVALOVÝCH POVODNÍ**

Prívalové povodne vznikajú najčastejšie v malých povodiach. Príčiny takýchto povodní sú často extrémne výdatné zrážky v krátkom časovom horizonte alebo dlhotrvajúce dažde, vďaka ktorým sa nasýti retenčný potenciál pôdy v povodí a zrážková voda už ďalej nebude schopná vsakovať. Lesy pokrývajú 41% rozlohy Slovenska. Retenčná schopnosť 1 m<sup>3</sup> lesnej pôdy je v priemere zadržiavanie až 300l vody (v zdravom dobre obhospodarovanom lese), čo je v prepočte 300 mm zrážkovej vody na m<sup>2</sup>. Tento priemer však zďaleka presahuje retenčné schopnosti napríklad ílovitých pôd, kde je táto zádržná schopnosť omnoho menšia. Nezanedbateľnou premennou je aj rýchlosť vsakovania vody do pôdy, tá je rozdielna podľa toho, či je pôda piesčitá, hlinitá alebo ílovitá. Z toho vyplýva, že nehrá len rolu, či je povodie zalesnené alebo nie, no významne sa na jeho vlastnostiach podpisuje aj geologické a pedologické podložie.

### **2.1. Porovnanie rizík a ničivosti prívalových a regionálnych povodní**

Porovnať prívalové povodne a regionálne záplavy sa dá z rôznych hľadísk. Regionálne povodne alebo záplavy sú neporovnateľne väčšie čo sa prietoku i rozlohy zasiahnutého územia týka, no spravidla je pri nich menej obetí na ľudských životoch. Prečo tomu tak je, je veľmi jednoduché. O regionálnych povodniach vieme takmer vždy dostatočne dlho dopredu, dajú sa predvídať s pomerne veľkou spoľahlivosťou. Je tomu tak preto, že ich spôsobujú najčastejšie dlhotrvajúce regionálne dažde, no ich priebeh je pomalší, lebo doba, za ktorú sa voda z čiastkových povodí dostane do hlavného toku je relatívne dlhá. Niekedy trvá aj niekoľko dní, kým povodňová vlna napr. na hornom toku Dunaja dosiahne hranice Slovenska. Toto všetko umožní dotknutým pripraviť sa na danú situáciu.

Presne naopak je to pri prívalových povodniach v malých povodiach, ktoré zapríčini niekoľkohodinová extrémna zrážka nad malým územím. Prívalová povodeň nasleduje bezprostredne po takejto zrážke. Obyvateľstvo si často neskoro uvedomí túto hrozbu, ak vôbec. Z tohto dôvodu sa na prichádzajúcu situáciu nestihne pripraviť, alebo ohrozenú

oblasť opustiť. Práve to robí prívalové povodne väčším zdrojom ohrozenia ľudských životov. Minulosť nám dáva jasný dôkaz v prípade povodne z 20. júla 1998 na toku Malá Svinka, kde zahynulo 52 ľudí, z toho najviac v obci Jarovnice.

## **2.2. Prívalová povodeň v obci Píla (Malé Karpaty) zo dňa 7. 6. 2011**

Dňa 7. 6. 2011 sa nad Malými Karpatami objavili nestabilné búrkové mračná dosahujúce výšku až 12 km. Medzi 14:00 a 17:00 padlo na povodie Gidry od 100 – 120 mm atmosférických zrážok. Celkový priemerný ročný úhrn zrážok na túto oblasť je 600 mm. To znamená, že za tri hodiny padla na povodie 1/6 tohto množstva. LEŠKOVÁ (2011).

### **2.2.1. Príčiny vzniku povodne**

Extrémna zrážka spôsobila, že vo veľmi krátkom čase spadlo na relatívne malé územie 34,5 km<sup>2</sup> obrovské množstvo vody. Pre ilustráciu je uvedený krátky výpočet.

1 mm zrážok na 1 m<sup>2</sup> je 1 l vody

1 mm zrážok na 1 km<sup>2</sup> je 1 000 000 l vody, teda 1000 m<sup>3</sup> vody

100 mm zrážok na 34,5 km<sup>2</sup> je 34 500 000 l vody, teda 34 500 m<sup>3</sup> vody

(ak by to bolo len 50 mm, tak by sa jednalo o 17 250 m<sup>3</sup> vody)

Približne takéto množstvo vody spadlo na povodie v priebehu 3 hodín. Povodie je na viac ako 90% svojho územia pokryté lesom a schopnosť lesa zadržiavať vodu je neodškriepiteľná a všeobecne známa. Menej známy je už fakt, že pôda potrebuje istý čas na vsiaknutie takéhoto stĺpca vody. V povodí Gidry sú priaznivé pôdne a geologické pomery, no i tak pôda a les nedokázali poňať toto množstvo zrážok v tak krátkom čase. Preto voda začala povrchovo odtekať do hustej siete tokov, či už jarkami, alebo terénymi zníženinami. Nakoľko ide o povodie kruhového (najnepriaznivejšieho) tvaru, všetka odtekajúca voda sa stretla vo vybranom profile číslo 1. Tento profil bol vybraný zámerné, pretože sa jedná o prirodzené zúženie, tiež známe ako prielom Gidry, medzi dvomi stretávajúcimi sa skalnými masívmi.

### **2.2.2. Priebeh povodne**

Hlavná povodňová vlna sa privalila z doliny hlavného toku Gidry. Podľa optických svedkov v priebehu niekoľkých minút sa z doliny tesne nad sútokom Gidry a Kamenného potoka privalilo také množstvo vody, že z toku, ktorý má bežne šírku do 4 m a hĺbku 0,15 – 0,20 m sa rozliala voda na šírku až 70 m, zaplavila miestnu komunikáciu a hladina vystúpila do výšky 1,80 m, pričom zvalila plot neďalekej obory. O 250 m nižšie po prúde pod sútokom Gidry a Kamenného potoka pri profile č. 2 dosahovala Gidra hladinu už 2 m, čo je doteraz badateľné na múroch okolitých chát a zaplavila už celú šírku dna doliny aj s cestou. Už v tomto bode sa preliala cez most tvoriaci profil č. 2 a poškodila ho. Na tomto mieste teraz stojí nový most, s ktorého kapacitným prietokom sa bude ďalej počítať.

O ďalších 660 m nižšie sa voda dostala do už spomínaného lieviku prielomu Gidry k profilu č. 1. Tu dosahovala šírku vyše 13 m a hĺbku 3 m, zaplavila cestu aj most. Most tento nápor vydržal.

Veľká sila príválovej povodne zanechala po sebe nemalé škody. Prietok v obci dosahoval hodnoty vyše  $24,42 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , čo je viac ako 100-ročné maximum ( $Q_{100}$ ).

### 2.2.3. Následky povodne

Za mostom profilu č. 1 začína najhustejšie zastavaná časť obce, kde bolo zničené alebo zanesené koryto v dĺžke 3,5 km. V spodnej časti obce boli v záhradách nánosy kameňa a štrku hrubé aj 1 – 1,2 m. O sile povodne svedčí aj fakt, že dokázala presunúť balvany o odhadovanom objeme 2 – 3  $\text{m}^3$  do prostriedku cesty. 120 m dlhý úsek cesty hneď za mostom bol tiež úplne zničený LEŠKOVÁ (2011). Ďalej bol poškodený most v profile č. 2 a zároveň bol úplne deštruovaný panelový most na hornom toku Gidry. Pravdepodobne sa profil pod týmto mostom upchal a most následne nevydržal nápor vody. Prielomová vlna spomínaný panelový most úplne rozmetala, boli z neho nájdené len trosky, kusy betónu s trčiacou armatúrou. Aj to svedčí o sile prielomovej vlny. Táto vlna v nižšej časti doliny zničila aj oplotenie zvernice. Pri povodni neboli zaznamenané žiadne straty na ľudských životoch. Je však zdokumentovaný prípad obyvateľky, ktorú zastihla povodňová vlna v dome a zachránila sa len tým, že stojac na kuchynskom stole sa jej podarilo ostať hlavou nad vodou.

### 2.2.4. Odstránenie následkov povodne

Odstraňovanie škôd si nielen v obci Píla, ale aj v ostatných obciach zasiahnutých touto povodňou vyžiadalo veľa práce. Len pre ilustráciu spomenieme, že na obnovu ciest a brehov bolo použitých 15 634,8 ton lomového kameňa, 117,5  $\text{m}^3$  betónu, vyťažených bolo 25 202  $\text{m}^3$  nánosov a odvezených bolo 396,4 ton plavenín LEŠKOVÁ (2011). Úsek zničenej cesty v obci spevnili novým oporným múrom a kritickú časť toku vysypali lomovým kameňom.

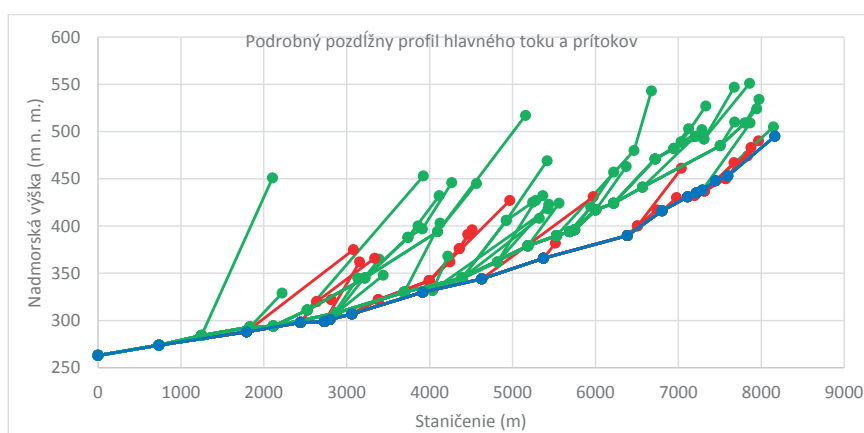
## 3. METODIKA STANOVENIA ZÁKLADNÝCH MORFOLOGICKÝCH A HYDROLOGICKÝCH CHARAKTERISTÍK POVODIA

Merania boli vykonané pre dva rôzne uzatvárajúce profily na toku, a preto v kapitole výpočtov uvádzame vždy dva údaje. Tieto profily sme vybrali na základe ich polohy a významu. Profil č. 1 sa nachádza v prirodzenej zúženine medzi dvomi skalnými masívmi protíahlých svahov, tiež známych ako prielom Gidry alebo Hučák. Ide o most medzi hlavnou a bočnou cestou so spevnenými brehmi betónovým oporným múrom. Nachádza sa tu aj prameň, ktorý zásoboval polovicu obce pitnou vodou, kým v obci nebol vybudovaný vodovod. Tento prameň bol počas povodne poškodený. Profil č. 2 sa nachádza pri vyššie položenom moste, 78 metrov pod sútokom Gidry a Kamenného potoka, vedľa vodárenského zariadenia.

Pre ilustráciu sú v tejto kapitole uvedené výpočty a grafy pre niektoré vybrané charakteristiky povodia, a to menovite: pozdĺžny profil toku, priemerný sklon svahov povodia  $I_{sv}$ , priemerná nadmorská výška povodia  $H_f$ , výpočet N-ročných prietokov podľa Duba, posúdenie kapacity profilov vzhľadom na N-ročné prietoky, kapacitný prietok  $Q_{kpp}$ .

### Pozdĺžny profil toku

Pozdĺžny profil toku nám poskytuje ucelenejší pohľad na sklon a dĺžku toku v jeho hornej a spodnej časti, na hlavnom toku i pravostrannom prítoku, zvlášť pre oba uzatvárajúce profile.



Modrá – hlavný tok; Zelená – pravostranné prítoky; Červená – ľavostranné prítoky

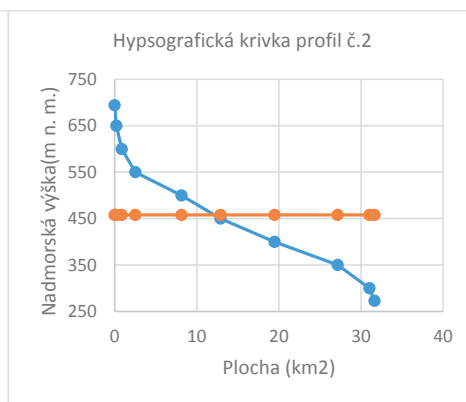
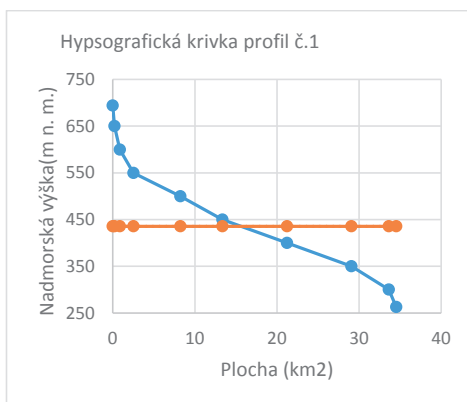
### Priemerná nadmorská výška povodia $H_f$

Celkové výškové pomery povodia vo vzťahu k ploche povodia a konkrétnymi nadmorskými výškami sme znázornili hypsografickou krivkou. Pomocou hypsografickej krivky sme determinovali aj priemernú nadmorskú výšku povodia  $H_f$  (m n. m.). Hypsografickú krivku sme zostrojili tak, že v pravouhlých súradniciach sme zostrojili vertikálnu os ( $y$ ) a horizontálnu os ( $x$ ). Na os  $y$  sme vyniesli vo vyhovujúcej mierke nadmorské výšky  $H$  (m n. m.) a na os  $x$  tiež v príslušnej mierke im zodpovedajúce plochy ohraničené vrstevnicami (v známych výškových rozdieloch, 25m) a rozvodnicou. Body sme spojili plynulou krivkou. Priemernú nadmorskú výšku sme odvodili z hypsografickej krivky tak, že sme plochu vymedzenú osami súradníc a hypsografickou krivkou previedli na obdĺžnik s rovnakou plochou a základňou, ktorá zodpovedá celkovej ploche povodia  $F_p$  (km<sup>2</sup>). Výška obdĺžnika určuje na osi  $y$  priemernú nadmorskú výšku povodia (m n. m.).

Údaje pre zostrojenie hypsografickej krivky pre povodie s uzatvárajúcim profilom 1 sú uvedené v tab. 2. Údaje pre zostrojenie hypsografickej krivky pre povodie s uzatvárajúcim profilom 2 obsahuje tab. 3.

### Hypsografická krivka profil č. 1 a profil č. 2

Poradové číslo plochy	Nadmorská výška (m n. m.)	Plocha profil 1 (km <sup>2</sup> )	Kumulat. Súčet (km)	Poradové číslo plochy	Nadmorská výška (m n. m.)	Plocha profil 2 (km <sup>2</sup> )	Kumulat. Súčet (km)
1.	650–694	0,198	0,198	1.	650–694	0,198	0,198
2.	600–650	0,673	0,871	2.	600–650	0,673	0,871
3.	550–600	1,645	2,516	3.	550–600	1,645	2,516
4.	500–550	5,726	8,242	4.	500–550	5,63	8,146
5.	450–500	5,116	13,358	5.	450–500	4,729	12,875
6.	400–450	7,855	21,213	6.	400–450	6,604	19,479
7.	350–400	7,851	29,064	7.	350–400	7,672	27,151
8.	300–350	4,555	33,619	8.	300–350	3,875	31,026
9.	263–300	0,906	34,525	9.	273–300	0,617	31,643
	<b>Spolu:</b>	34,525			<b>Spolu:</b>	31,643	



### Metodika výpočtu N-ročných prietokov podľa Duba k vybraným profilom

$Q_{max}$  je kulminačný prietok v období zväčšených (povodňových) prietokov určitej pravdepodobnosti výskytu a označuje sa ako  $Q_N$ , čiže N – ročná voda alebo prietok, ktorý sa vyskytne priemerne raz za N-rokov.  $Q_{max}$  v našich geograficko-klimatických podmienkach zapríčiňujú spravidla privalové dažde, prípadne extrémne zrážky, či náhle oteplenie spojené s topením snehu.



Hodnoty  $Q_{100}$  ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) sme zisťovali pre celé povodie a pre čiastkové povodia podľa Dubovho vzorca:

$$q_{\max} = \frac{A_o}{(Fp+1)^{n_o}} \cdot (1 \pm o_1 \pm o_2) \quad (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}) \quad (3.1)$$

$q_{\max} = q_{100}$  – maximálny špecifický odtok ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ),  
 $A_o, n_o$  – súčinitele, vyjadrujúce vplyv danej oblasti Slovenska na odtokové pomery  
 (–), určili sme ich podľa tabuľky:

**Hodnoty súčiniteľov  $A_o$  a  $n_o$**

Označenie oblasti	Odvetvová technická norma MŽP SR Hydrologické údaje povrchových vôd. Kvantifikácia povodňového režimu.	OTN ŽP 3112-1:03	
	Časť 1: Stanovenie N-ročných prietokových vln na väčších tokoch	$A_o$	$n_o$
V.3h	Povodia horných úsekov malokarpatských prítokov Dudváhu a Čiernej vody	5,4	0,625

$F_p$  – plocha povodia ( $\text{km}^2$ ),

$o_1$  – súčiniteľ, ktorý vyjadruje vplyv lesnatosti na odtokové pomery, vypočítali sme ho vzťahom:

$$o_1 = 0,5 \cdot \left( 0,5 - \frac{S_l}{S_p} \right) \quad (-) \quad (3.2)$$

$F_l$  – zalesnená plocha povodia ( $\text{km}^2$ ),

$F_p$  – plocha povodia ( $\text{km}^2$ )

$$F_l = F_p \cdot \frac{l_{\%}}{100} \quad (\text{km}^2) \quad (3.3)$$

$F_p$  – plocha povodia ( $\text{km}^2$ ),

$l_{\%}$  – lesnatosť povodia (%)

$o_2$  – súčiniteľ, ktorý vyjadruje vplyv tvaru povodia na odtokové pomery (–), určili sme ho podľa tab.4 a to na základe pomeru  $B_p:L_u$ , v ktorom:

$B_p$  – stredná šírka povodia (km), ktorú sme určili vzťahom (3.6).

**Hodnoty súčiniteľa  $o_2$  podľa pomeru  $B_p:L_u$**

$B_p:L_u$ 1:1,0 a menej	01:01,1	01:01,2	01:01,3	01:01,4	01:01,5	01:01,6	01:01,7	01:01,8	01:01,9
$o_2$	0,1	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02
$B_p:L_u$ 1:2 až 1:3	01:03,2	01:03,4	01:03,6	01:03,8	01:04,0	01:04,5	01:05,0	01:05,5	1:6,0 a viac
$o_2$	0	-0,01	-0,02	-0,03	-0,04	-0,05	-0,075	-0,1	-0,11

Posúdenie kapacity profilov vzhľadom na N-ročné prietoky

Priemernú profilovú rýchlosť  $v$  ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) sme determinovali na základe Chezyho rýchlostnej rovnice s Pavlovského rýchlostným súčiniteľom:

$$v = c \cdot \sqrt{R \cdot i} \quad (\text{m}\cdot\text{s}^{-1}) \quad (3.4)$$

$i$  – pozdĺžny sklon dna bystriny (%.0,01),

$c$  – rýchlostný súčiniteľ, vyjadruje vplyv drsnosti a tvaru PP na hodnotu priemernej profilej rýchlosti (JAKUBIS 2005); najčastejšie sa na jeho determináciu používa vzťah Pavlovského v tomto tvare:

$$c = \frac{1}{n} \cdot R^y \quad (-) \quad (3.5)$$

Vo vzťahoch (3.22) a (3.23) je:

$R$  – hydraulický rádius (m), vypočítame ho vzťahom (3.15),

$y$  – premenlivý mocniteľ (-), ktorý vypočítame vzťahom:

$$y = 2,5 \cdot \sqrt{n} - 0,13 - 0,75 \cdot \sqrt{R} (\sqrt{n} - 0,11) \quad (-) \quad (3.6)$$

$n$  – celkový stupeň drsnosti (n) pre prietokový profil (vypočítame vzťahom č. 3.14).

#### Kapacitný prietok $Q_{kpp}$

Hodnotu skutočnej (bezpečnej) kapacity prietokového profilu  $Q_{kpp}$  ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) sme vypočítali vzťahom:

$$Q_{kpp} = S_{pp} \cdot v \quad (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}) \quad (3.7)$$

$S_{pp}$  – plocha prietokového profilu ( $\text{m}^2$ ),

$v$  – priemerná profilová rýchlosť ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

#### 4. POPIS POVODÍ A VYPOČÍTANÉ CHARAKTERISTIKY

Z dôvodu veľkého množstva údajov a pre lepšiu prehľadnosť, sme nami vypočítané hodnoty a veličiny zostavili do prehľadnej tabuľky, kde môžeme ľahko porovnávať vybrané profily. Pri výpočtoch N – ročných prietokov sme identifikovali najviac ohrozené /kritické miesta a úseky vodného toku z hľadiska protipovodňovej ochrany. Výpočty N – ročných prietokov sme vykonali ako modelové a informatívne, pretože stanovenie podobných údajov odbornými pracovníkmi SHMÚ je finančne mimoriadne náročné a ich presnosť môže byť v niektorých prípadoch dosť diskutabilná. Vzhľadom na naše ciele považujeme získané výsledky za vyhovujúce. Vypočítané hodnoty  $Q_{\max} = Q_{100}$  sú uvedené pre dané uzavierajúce prietokové profily v prehľadnej tabuľke. Táto tabuľka zároveň

obsahuje všetky vstupné charakteristiky na výpočet špecifického odtoku  $q_{max}$  ( $m^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ ) podľa Dubovho vzorca (akademika Duba). V tabuľke sú uvedené hodnoty N – ročných prietokov ( $Q_1, Q_2, Q_5, Q_{10}, Q_{20}, Q_{50}$ ) k dvom uzavierajúcim prietokovým profilom povodia bystriny Gidra, spolu s ostatnými vypočítanými a nameranými hodnotami.

#### Vypočítané a namerané charakteristiky povodia

	GIDRA		Profil 1	Profil 2
1	2	3	4	5
1	Katastrálne územie		Častá (Píla)	Častá (Píla)
2	Plocha povodia	$F_p$ ( $km^2$ )	34,53	31,64
3	Zalesnená plocha povodia	$F_l$ ( $km^2$ )	31,99	29,79
4	Lesnatosť povodia	$I_{\%}$ (%)	92,65	94,14
5	Nezalesnená plocha povodia	$F_n$ ( $km^2$ )	2,54	1,85
6	Dĺžka hlavného toku	$L_t$ (km)	8,17	7,51
7	Dĺžka prítokov	$L_{pi}$ (km)	45,8	45,8
8	Celková dĺžka tokov	$L_c$ (km)	53,96	53,31
9	Hustota tokov	$r$ ( $km \cdot km^{-2}$ )	1,56	1,68
10	Dĺžka rozvodnice	$O$ (km)	25,54	23,48
11	Dĺžka údolnice	$L_u$ (km)	8,71	8,06
12	Súčiniteľ členitosti rozvodnice	$O_a$	1,23	1,18
13	Súčiniteľ A0	A0	5,4	5,4
14	Súčiniteľ n0	n0	0,625	0,625
15	Maximálny špecifický odtok	$q_{max}$ ( $m^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ )	0,485	0,507
16	Q100=Qmax	( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	16,75	16,04
17	Q1	( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	2,51	2,41
18	Q2	( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	3,94	3,77
19	Q5	( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	6,53	6,26
20	Q10	( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	8,54	8,18
21	Q20	( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	10,64	10,19
22	Q50	( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	14,15	13,56
23	Nadmorská výška prameňa	(m n. m.)	495	495
24	Nadm. výška uzav. prietok. profilu (ústia)	(m n. m.)	263	273
25	Najvyššia nadmorská výška údolnice	(m n. m.)	600	600
26	Absolútny spád toku	$\Delta H_t$ (m)	232	222
27	Priemerný sklon hlavného toku	$I_t$ (%)	5,28	5,62
28	Priemerný sklon údolnice	$I_u$ (%)	3,87	4,06
29	Nadmorská výška prameňa	(m n. m.)	495	495

	<b>GIDRA</b>		<b>Profil 1</b>	<b>Profil 2</b>
1	2	3	4	5
30	Nadm. výška uzav. prietok. profilu (ústia)	(m n. m.)	263	273
31	Najvyššia nadmorská výška údolnice	(m n. m.)	600	600
32	Absolútny spád toku	$\Delta H_t$ (m)	232	222
33	Priemerný sklon hlavného toku	$I_t$ (%)	5,28	5,62
34	Priemerný sklon údolnice	$I_u$ (%)	3,87	4,06
35	Priemerný sklon svahov povodia	$\emptyset I_{sv.pov.}$ (%)	20,51	20,31
36	Najvyššia nadmorská výška povodia	(m n. m.)	694	694
37	Absolútny spád povodia	$\Delta H_p$ (m)	431	422
38	Miera asymetrie povodia	$a$	-0,2	-0,28
39	Stredná šírka povodia	$B_p$ (km)	3,96	3,93
40	Súčiniteľ tvaru povodia	$\alpha$	0,45	0,49
41	Tvar povodia – šírka : dĺžka	-	01:01,4	01:01,2
42	Priemerná nadmorská výška povodia	HØ (m n. m.)	435,3	458
43	Čiastkový omočený obvod dna	o1 (m)	0,60	0,60
44	Čiastkový omočený obvod brehov	o2 (m)	6,54	7,80
45	Celkový omočený obvod (3.16)	Oop (m)	7,14	8,4
46	Čiastkový stupeň drsnosti dna	n1	0,03	0,03
47	Čiastkový stupeň drsnosti brehov	n2	0,019	0,03
48	Plocha pokusného prietokového profilu	Spp	7	6,7
49	Hydraulický rádius (3.15)	R	0,98	0,8
50	Celkový stupeň drsnosti (3.14)	n	0,02	0,03
51	Premenlivý mocniteľ (3.24)	y	0,2008	0,2607
52	Rýchlostný súčiniteľ (3.23)	c	49,172	31,425
53	Sklon úseku	i	0,015	0,0128
54	Priemerná profilová rýchlosť (3.22)	v (m.s <sup>-1</sup> )	5,75	3,18
55	Kapacitný prietok Qkpp (3.25)	Qkpp(m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	40,25	21,27

Podľa oficiálnych údajov SHMÚ prietok v obci počas povodne dosahoval hodnoty vyše 24,42 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> čo je viac ako 100-ročné maximum LEŠKOVÁ (2011). Toto tvrdenie však môže byť pokladané za veľmi nepresné, nakoľko prišlo k zdutiu hladiny a preliatiu mostu v profile č. 1, ktoré je možné vidieť na fotografiách z povodne. Zo zistení v tejto práci vyplýva, že prietok bol buď omnoho vyšší ako uvádza SHMÚ, pretože podľa výpočtov je kapacitný prietok Qkpp (bezpečný prietok 0,5 m pod hranou mostu) uzatvárajúceho profilu č. 1 40,25 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> a prietok pri preliatí mostu je dokonca 44,777 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Ďalšou možnosťou je, že počas povodne došlo k upchaniu priestoru pod mostom a následnému zdutiu hladiny a preliatiu mostu. Toto tvrdenie sa dá len ťažko dokázať alebo vyvrátiť, keďže nebolo zdutie hladiny v danom úseku podrobne zdokumentované.

## 5. ZÁVER

Z vypočítaných a nameraných veličín sa dá usudzovať, že vybrané profily sú navrhnuté v rámci priestorových možností obce dobre. Profil č. 1 je podľa výpočtov dimenzovaný na bezpečný kapacitný prietok  $Q_{kpp} = 40,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  čo je 2,4-násobok storočného prietoku  $Q_{100} = 16,75 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Profil č. 2 je podľa výpočtov dimenzovaný na bezpečný kapacitný prietok  $Q_{kpp} = 21,27 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  čo je približne 1,3-násobok storočného prietoku  $Q_{100} = 16,04 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . No i tak oba tieto profily povodeň z 7. 6. 2011 preliala. Z oficiálnych údajov o povodni vyplýva, že maximálny prietok povodňovej vlny mal byť  $24,42 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , čo je viac ako 100-ročné maximum LEŠKOVÁ (2011). Takéto hodnoty by v profile č. 2 znamenali kritické hodnoty prekračujúce kapacitný prietok, a hrozilo by tak upchanie profilu plávajúcimi kmeňmi a konármi. Na základe uvádzaných zistení sa však dá usudzovať, že prietok musel byť vyšší, pretože je zdokumentované preliatie mostu v profile č. 1, ktorého kapacitný prietok je  $40,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a prietok pri preliatí až  $44,777 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Z toho vyplýva, že prietok buď skutočne presiahol tieto kritické hodnoty ( $44,777 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) alebo musel byť priestor pod mostom dočasne upchatý plavenými kmeňmi a iným materiálom, čo žiaľ zdokumentované nie je. Teóriu väčšieho prietoku potvrdzuje aj fakt, že most v profile č. 2 bol natoľko poškodený, že tu dnes stojí most nový.

Je možné sledovať veľký rozdiel medzi kapacitnými prietokmi porovnávaných profilov. Je to spôsobené rozdielnym situovaním. Profil č. 1 je zvolený most, ktorý sa nachádza v prielome Gidry. Tento most je jediným priestorom, cez ktorý môže bystrina bezpečne pretekať, pretože dolinu tu zvierajú skaliská a jediný ďalší priestor mimo koryta je hlavná a vedľajšia cesta. Následne pod týmto mostom sa nachádza úzka dolina s intravilánom obce. Ďalej sa dá predpokladať, že predimenzovanie mostu priamo korešponduje s výškou násypu cesty, ktorá sa v úzkej doline nachádza pomerne vysoko nad korytom bystriny. Profil č. 2 sa naopak nachádza na otvorenejšom priestranstve inundačného územia. Nejde tu o intravilán obce, nachádza sa tu len niekoľko chat. Preto nie je takým problémom, ak sa bystrina vyleje do strán. To sa v prípade povodne dňa 7. 6. 2011 aj stalo, inundačné územie Gidry v tejto lokalite bolo zaplavené na celú šírku dna doliny, miestami do výšky 0,5 až 1 m, čo spôsobilo výšku hladiny v toku až 2 m a preliatie mostu, ktorý však tomuto náporu neodolal.

Zo zisteného ďalej vyplýva, že najbezpečnejším a v podstate jediným technickým riešením je v tomto povodí vodu spomaliť a zadržať ešte nad profilom č. 1, ideálne však ešte skôr nad profilom č. 2. Tu sú doliny Kamenného potoka a Gidry širšie, a až na niekoľko rekreačných zariadení v podstate nezastavané. Preto je možné na lesných pozemkoch v inundačnom území toku postaviť prehrádzky z drôto-kamenného muriva (tzv. gabiónové koše). Takéto prehrádzky by dokázali významne znížiť kritický prietok počas extrémnych zrážok, ale aj rýchleho topenia snehu. Priamo v intraviláne obce by jediným riešením bolo prehĺbenie a systematické vydláždenie koryta bystriny. Vzhľadom na dĺžku kritického úseku by však bolo jednoznačne menej technicky a ekonomicky náročné vybudovať spomínané prehrádzky v dolinách Gidry a Kamenného potoka. Tieto prehrádzky by mali aj ďalšie využitie. Počas letných mesiacov, keď sú privalové dažde najčastejšie, mnohokrát nasledované dlhšími obdobiami sucha, by bolo možné v prehrádzkach dočasne zadr-

žať vodu pre zlepšenie sanitárneho prietoku. Ten je v tejto lokalite mimoriadne dôležitý a zohráva kľúčovú rolu pri chove zvery vo zvernici, ktorou práve tok Gidry preteká. Táto zvýšená koncentrácia vody by poslúžila ako zdroj vody a útočisko pre zver pred letnou horúčavou. V hornej časti povodia sa nachádzajú dve malé vodné nádrže, vodná nádrž Biela skala v doline Gidry a rybník Fúgelka v doline Kamenného potoka. Ako väčšina malých vodných nádrží, v súčasnosti sú obe tieto nádrže z veľkej miery zanesené, preto nespĺňajú svoj účel a nedajú sa považovať za účinné v znižovaní povodňovej vlny. Ďalšou nevýhodou týchto dvoch nádrží je ich poloha, nachádzajú sa v najvyšších častiach toku, a preto majú vplyv na odtok len z veľmi malej časti povodia, ktorý je i tak veľmi zmenšený ich nepriaznivým technickým stavom. Je žiadúce túto situáciu napraviť, a aj napriek pomerne veľkej finančnej náročnosti čistenia vodných nádrží by bolo toto opatrenie z pohľadu technickej náročnosti jedno z najjednoduchších. V rámci rekonštrukcie týchto nádrží by sa dalo uvažovať s ich rozšírením (zvýšením retenčnej kapacity) a ďalšími technickými opatreniami proti ich opätovnému zanášaniam. Vhodným riešením by bolo vybudovanie jednej alebo viacerých malých prehrádzok na prítokoch vodných nádrží, ktoré by zachytávali splaveniny a plaveniny a ich čistenie je výrazne menej časovo a finančne náročné, ako čistenie samotnej nádrže. Pozitívom tohto riešenia by bolo opätovné sfunkčnenie rekreačných, rybo-chovných, protipožiarnych a protipovodňových funkcií týchto nádrží.

Vodná nádrž Fúgelka je oproti vodnej nádrži Biela skala umiestnená výhodnejšie. Nachádza sa totiž na sútoku viacerých významných prítokov Kamenného potoka, naopak nádrž Biela skala sa nachádza len na vedľajšom prítoku Gidry a nezachytáva vodu z väčšieho územia. Preto vidíme potenciál v zachytávaní vody v spodnej časti sledovaného povodia a to v údolí Gidry nad jej sútokom s Kamenným potokom. Malá vodná nádrž vhodne umiestnená v tejto lokalite by mohla slúžiť na všetky vyššie spomínané účely, ako sú protipovodňové a protipožiarné účely a zabezpečenie sanitárneho prietoku v suchých obdobiach. Je známe, že malé vodné nádrže majú nezanedbateľný retardačný účinok povodňovej vlny a extrémnych prietokov JAKUBIS (2002). V prípade dlhotrvajúceho obdobia sucha, by takáto vodná nádrž mohla slúžiť aj ako zdroj vody pre hasenie lesných požiarov, ktoré by sa v budúcnosti mohli častejšie v tejto oblasti objaviť. Strategická poloha tejto nádrže na spojnici dvoch najväčších dolín v povodí o rozlohe 34,5 km je pre protipožiarnu ochranu veľmi výhodná. Navrhovaná oblasť pre stavbu nádrže je aj súčasťou zvernice. Stala by sa preto takáto vodná plocha významným útočiskom a zdrojom vody pre zver. Nesmieme však opomenúť riziká a nevýhody takéhoto projektu. Hlavným problémom je vysoká finančná a časová náročnosť. Rovnako aj správne technické navrhnutie a prevedenie stavby a všetky legislatívne úkony spojené s povolením takéhoto projektu sú veľmi náročné. Preto je realizácia tejto alternatívy veľmi nepravdepodobná.

Lesnatosť povodia je vyše 90%, les a hlavne zdravý les má na odtok veľký vplyv, rovnako aj spôsob hospodárenie na lesnej pôde. Preto sa nesmie zabúdať ani na úlohy lesníkov pri starostlivosti o vodné toky, čistenie koryta a zabraňovaniu erózii pôdy jej splavovaním z lesných ciest a vytváraním terénnych rýh. Prevencia povodní a dôsledná ochrana prírody musia byť vždy prioritou.

Povodne rovnako ako samotné búrky sa nedajú celkom presne predvídať, a preto sú všetky naše pokusy spočítať maximálne prietoky len odhadom. Rovnako aj časové

rozpätie takýchto prietokov je len orientačné, zakladajú sa iba na štatistických údajoch z relatívne krátkeho obdobia, nakoľko systematické hydrologické meranie prietokov a povodňových stavov sa uskutočňuje len posledných 100 rokov v závislosti od lokality NOVOTNÝ (2007). Avšak so správnym prístupom a dobrou informovanosťou dokážeme mnohým škodám nielen na majetku predchádzať, ale sa im úplne vyhnúť. Dôležité je lepšie plánovať, s väčším dôrazom na bezpečnosť a rešpektom k prirodzeným vodným cestám. Povodne a extrémne zrážky sú prirodzené. Preto nie je správna otázka či príde taká zrážková činnosť, že sa rieka či bystrina vyleje z koryta. Správna otázka je, či na to budeme pripravení. Ak sa zmierime s faktom, že povodne tu sú a budú, možno sa k nim konečne začneme stavať s dostatočným rešpektom, bez zbytočného strachu. Strach plynie len z nepoznaného. Najvyššia priorita spočíva vo vzdelávaní a osvete širokej verejnosti. Zodpovedná a vzdelaná verejnosť lepšie pochopí dôležitosť technických aj legislatívnych opatrení. Bude ich lepšie naplňať a dodržiavať. V neposlednom rade sa potom verejnosť nenechá zavádzať samozvanými odborníkmi.

## 5. Literatúra

- JAKUBIS, M. a kol.: Ekologická protipovodňová ochrana v bystrinných povodiach kú Zvolen. Zvolen: Technická univerzita, 2005, 53 s.
- JAKUBIS, M.: Hydrológia, Návod y a príklady na cvičenia. Zvolen: Technická univerzita, 2002, 126 s. ISBN 80-228-0306-5
- VALENTÝNI, J. a JAKUBIS, M.: Lesnícke meliorácie a zahrádzanie bystrín. Zvolen: Technická univerzita, 1998, 270 s. ISBN 80-228-0793-1
- JAKUBIS, M.: Lesnícke meliorácie a zahrádzanie bystrín, Návod y a príklady na cvičenia. Zvolen: Technická univerzita, 1999, 166 s. ISBN 80-228-0874-1
- LEŠKOVÁ, D.: Prívalová povodeň na tokoch Malých Karpát v júni 2011. Bratislava: SHMÚ Centrum predpovedí a výstrah, 2011, 17 s.
- SPÁL, M.: Júnová povodeň v regióne Malých Karpát. Banská Štiavnica: SVP š.p. Banská Štiavnica, OZ Piešťany, Správa Povodia dolného Váhu Šaľa, 2011, 7s.
- VALTÝNI, J.: Lesy a povodne VŠ 5/2001/A. Zvolen: Technická univerzita, 2002, 46 s. ISBN 80228-1095-9.
- NOVOTNÝ, J. a kol.: Súčasný morfológický vývoj medzinárodného priestoru (Dunaj, Bratislava). In Geomorfológia Slovaca et Bohemica (časopis). ISSN 1337-6799, 7, 2007, 2, 7s. (72-78)
- MAKEL M. a kol.: Povodne pred, počas, po... Bratislava: SHMÚ Bratislava, 2003, 43 s. ISBN 80-88907-38-1
- JAKUBIS, M.: K problematike prívalových povodní na Slovensku a k úlohám lesníkov v ochrane krajiny pred povodňami. In Súčasný stav a východiská protipovodňovej ochrany v SR- technické a biotechnické opatrenia v povodiach (zborník). Zvolen: Technická univerzita, 2013. ISBN 978-80-228-2515-3, 9 s.(42-50)
- ZACHAR, D. a kol.: Lesnícke meliorácie. Bratislava: Príroda, 1984, 488 s.
- RAPLÍK, M., VÝBORA, P., MAREŠ, K.: Úpravy tokov. Bratislava: Alfa, 1989, 640 s.
- OTN ŽP 3112-1:03 Kvantita povrchových a podzemných vôd – Hydrologické údaje povrchových vôd – Kvantifikácia povodňového režimu, Časť 1: Stanovenie N-ročných prietokov a N-ročných prietokových vln. Bratislava: MŽP SR, 32 s.

---

Príspevok vznikol v rámci riešenia ŠVOČ 2016 na TUZVO a bakalárskej práce.

### Adresa autora:

Ivan Hapčo  
Pri Starej prachárni 13,  
83104 Bratislava  
Slovenská republika  
e-mail: ihapco@gmail.com

## **Assesment of Flow Capacity in Two Selected Profiles of Mountain Stream Gidra in the Boundaries of the Village Pila (Malé Karpaty)**

### **Summary**

Aim of this study is to calculate the flow capacity of selected profiles of mountain creek Gidra that caused considerable damage during flash flood in the village of Pila (Male Karpaty) on the 7th of June, 2011. In just 2 to 3 hours time there was total rainfall of 100 to 120 mm (annual rainfall is 600 mm). Therefore, we calculated N-year flows (ie.  $Q_{100}$ ) in the selected profiles of the stream (the two following bridges), because the blockage and subsequent rupture of the bridge poses the greatest threath associated with an unprecedented burst strength of such a breakthrough wave. For calculating the N-year flows we used Dub s formula. In this study we further look upon the issue of flash floods in small mountainous watersheds, flood protection, prevention and causes of these floods. Finally, we explain the difference between regional floods and flash floods, what are the risks, and why flash floods can be so dangerous and devastating.

**Key words:** flash floods, extreme rainfall, flood protection, public awareness



## TERMOSTABILITA FOTOSYSTÉMU II KONTRASTNÝCH PROVENIENCIÍ JEDLE BIELEJ

Alena K O N Ő P K O V Á , Daniel K U R J A K , Jaroslav K M E Ť

**Koňopková, A., Kurjak, D., Kmet', J.: Termostabilita fotosystému II kontrastných proveniencií jedle bielej.** Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, 58/1 2016, 21 – 32.

V kontexte prebiehajúcej klimatickej zmeny sa čoraz častejšie diskutuje o zmiernení jej vplyvu na lesné ekosystémy. Ako jedna z možností sa v tomto smere javí introdukcia nových nepôvodných ekotypov s vhodnejšími vlastnosťami pre budúce klimatické podmienky. Reakcia drevín na klimatické zmeny, zahŕňajúce taktiež častejšie a intenzívnejšie vlny horúčav, však nie je dostatočne známa a pre výber vhodného reprodukčného materiálu sú kľúčové práve znalosti geografických a klimatických trendov variability adaptatívne významných znakov. Predkladaná práca je preto zameraná na posúdenie základných geografických a klimatických trendov termostability fotosyntetického aparátu kontrastných proveniencií jedle bielej (*Abies alba* Mill.). Práca vychádza z provenienčného pokusu jedle bielej (IUFRO 2005) so slovenskou výskumnou plochou v lokalite Hertník (49°13' s. z. š., 21°16' v. z. d.; 390 m n. m.). Pre experiment bolo vybraných 11 proveniencií s pôvodom v rôznych nadmorských výškach. Teplotný stres bol simulovaný pomocou vodného kúpeľa pre sedem teplôt v rozmedzí od 20 do 48 °C. Miera termotolerance jednotlivých proveniencií jedle bielej bola posúdená na základe parametrov fluorescencie chlorofylu *a*, ktoré vyplývajú zo fluorescenčnej OJIP krivky: (i) T15, teplota pri ktorej hodnota parametra FV/FM klesla pod 85% maximálnej nameranej hodnoty, (ii) PD, percentuálny pokles parametra FV/FM meraného pri teplote 48 °C v porovnaní s kontrolným meraním pri 20 °C. Keďže proveniencie pochádzali z dvoch glaciálnych refúgií, štatistické vyhodnotenie bolo robené zvlášť pre osem proveniencií pochádzajúcich zo stredoeurópskej línie a pre celý dataset. Pozorovali sme významný vplyv nadmorskej výšky pôvodu na obidve sledované charakteristiky (T15 a PD). Pri provenienciách pochádzajúcich zo stredoeurópskeho refúgia sa potvrdil taktiež vplyv priemernej teploty a množstva zrážok počas vegetačnej sezóny v mieste pôvodu. Tieto trendy teda naznačujú, že stredoeurópske proveniencie z vyšších nadmorských výšok s vlhšou a chladnejšou klímou by mali byť menej náchylné k teplotnému stresu, hoci rozdiely medzi provenienciami neboli štatisticky významné. Naopak, po zahrnutí proveniencií z balkánskeho refúgia tieto trendy zmizli, keďže balkánske proveniencie vykazovali nižšie hodnoty PD a vyššie hodnoty T15 indikujúce vyššiu rezistenciu voči teplotnému stresu. Pravdepodobne je to výsledok lepšej adaptácie balkánskych proveniencií na vysoké teploty, keďže pochádzajú z miest s relatívne vyššími priemernými teplotami a s nižším úhrom zrážok počas vegetačnej sezóny.

**Kľúčové slová:** teplotný stres, provenienčný výskum, jedľa biela, *Abies alba* Mill., fluorescencia chlorofylu *a*

### ÚVOD

Jedľa biela patrí medzi dôležité európske lesné dreviny s vysokým ekologickým a ekonomickým potenciálom. V minulom storočí sme však boli svedkami výrazného poklesu jej zastúpenia vo väčšine európskych porastov (ROBAKOWSKI et al. 2002; WOLF

2003). Za rapidným poklesom zastúpenia jedle bielej stáli predovšetkým antropogénne vplyvy, čiže nevhodná holorubná pestovateľská technika, znečistenie ovzdušia v dôsledku industrializácie, či nedostatočná regulácia počtu veľkých herbivorov a ich vplyv na zmladenie. Na oslabovaní rastu, konkurencieschopnosti a celkovej fyziologickej výkonnosti jedľových porastov sa však podieľajú aj rýchlo sa meniace klimatické podmienky (KLOP-CIC et al. 2009; ROBAKOWSKI et al. 2002; SANIGA 2013; WAŻNY 2014).

Vzhľadom k súčasným trendom klimatických zmien sa pritom predpokladá, že nasledujúce obdobie sa bude vyznačovať ešte výraznejšími zmenami. Iba v podmienkach strednej Európy, sa do roku 2035 očakáva zvýšenie priemernej ročnej teploty vzduchu až o 0,7 °C a zníženie priemerného ročného úhrnu zrážok. Narastajúca teplota a predpokladané zmeny v rozložení zrážok sa navyše prejavujú vo zvýšenej frekvencii extrémnych prejavov počasia, teda výskytu dlhších a intenzívnejších období sucha, častejších privalových dažďov či vln s extrémnymi teplotami (PACHAURI et al. 2015; SHMÚ 2014). Extrémy v počasi a posun v priebehu počasia počas roka pritom môžu narušiť klimatické signály vnímané drevinami a tým narušiť fyziologické procesy, ktoré tieto signály iniciujú, poprípade iniciovať ich v nevhodnom čase (GÖMÖRY et al. 2015). Zmiernenie dopadov klimatickej zmeny na lesné porasty je preto často diskutovanou témou. Ako jedna z možností sa v tomto smere javí asistovaná migrácia, teda introdukcia nových, nepôvodných ekotypov s vhodnejšími vlastnosťami pre budúce klimatické pomery. Pre výber vhodného reprodukčného materiálu je však nutné poznať geografické a klimatické vzory variability adaptatívne významných znakov (BUSSOTTI et al. 2015; GÖMÖRY et al. 2015).

V prípade extrémnych horúčav sa predpokladá, že sa ich výskyt v priebehu roka zvýši až dvojnásobne a to najmä v mesiacoch máj až júl, teda počas hlavného vegetačného obdobia, čo môže výrazne ovplyvniť rast a výkonnosť rastlín. Vzhľadom k tomu, že extrémne horúčavy sú zvyčajne sprevádzané konkrétnymi vzormi atmosférickej cirkulácie s jasnou oblohou, slabým vetrom a advekciou horúceho vzduchu, môže dochádzať k ešte intenzívnejšiemu teplotnému namáhaniu. Navyše, dlhotrvajúce obdobia so supraoptimálnymi teplotami sú častokrát sprevádzané výskytom sucha, ktoré vedie k uzatváraniu prieduchov a tým limituje schopnosť rastlín ochladzovať sa pomocou transpirácie. Vysoké teploty preto môžu ľahko dosiahnuť prahovú hodnotu pre poškodenia fyziologických procesov (BARUA & HECKATHORN 2006; MEEHL 2004; PRIESTLEY & TAYLOR 1972). Ako najcitlivejší proces rastlín na teplotný stres sa javí fotosyntéza, pričom existujú viaceré cieľové miesta poškodenia vysokou teplotou. Ide predovšetkým o poškodenie systému fixácie CO<sub>2</sub>, bez zmeny vodivosti prieduchov a to hlavne prostredníctvom prerušenia transportu elektrónov, či inhibície aktivity enzýmu RuBisCo (BRESTIČ et al. 2010; SALVUCCI & CRAFTS-BRANDNER 2004; YAMASAKI et al. 2002). Na úrovni tylakoidnej membrány môže teplotný stres viesť k separácii jadrového komplexu PSII a svetlozberného komplexu PSII, k poškodeniu kyslík uvoľňujúceho komplexu (OEC), poprípade k poškodeniu D1 a D2 proteínu PSII (BRESTIČ et al. 2010; HALDIMANN & FELLER 2004; YAMASAKI et al. 2002; ZHANG et al. 2005). Je teda evidentné, že vhodným kritériom pre posúdenie citlivosti genetických zdrojov na vysokú teplotu je práve analýza aktivity fotosyntézy, hlavne aktivita PSII prostredníctvom parametrov fluorescencie chlorofylu *a* (BILGER et al., 1984; HALDIMANN & FELLER 2004; YAMASAKI et al., 2002; BRESTIČ et al., 2010).

Cieľom práce je preto u kontrastných proveniencií jedle bielej (i) stanoviť mieru termostability PSII, (ii) identifikovať kritické teploty, ktoré spôsobujú ireverzibilné zmeny v priebehu procesu fotosyntézy a (iii) zistiť či existujú geografické a klimatické vzory reakcie na supraoptimálne teploty.

## MATERIÁL A METÓDY

Predkladaná práca je venovaná provenienčnému výskumu jedle bielej. Slovenská výskumná plocha bola založená v roku 2005 v lokalite Hertník (49°13' s. z. š., 21°16' v. z. d.; 390 m n. m.) s použitím päťročných sadeníc 17 proveniencií jedle bielej prevažne zo strednej a juhovýchodnej Európy. Východiskový počet bol 105 sadeníc na provenienciu. Pre stanovenie miery termostability PSII sme si vytypovali 11 proveniencií s pôvodom v rôznych nadmorských výškach (Tab. 1, Obr. 1). Proveniencie pochádzali z dvoch glaciálnych refúgií, pričom osem proveniencií pochádzalo zo stredoeurópskeho refúgia a tri z balkánskeho. Základné klimatické charakteristiky miesta pôvodu boli odvodené z modelu WorldClim s rozlíšením 30 arc-sekúnd (HIJMANs et al. 2005).

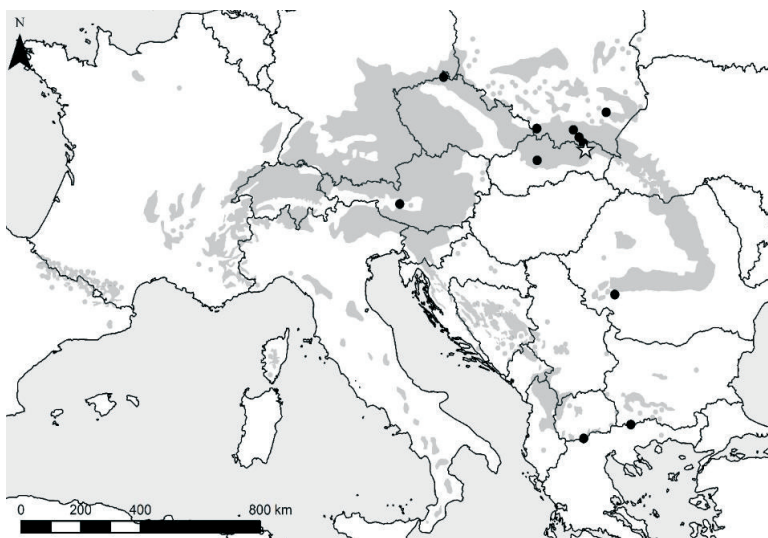
Tab. 1 Lokalizácia a základné klimatické charakteristiky 11-tich testovaných proveniencií jedle bielej a výskumnej plochy Hertník

Tab. 1 Location and the basic climatic characteristics of the 11 tested provenances of silver fir and the trial site Hertník

Ozn.	Lokalita	Geografické charakteristiky			Klimatické charakteristiky	
		E	N	Nadm. výška	$T_{5-9}$	$Z_{5-9}$
	<b>Slovensko, Hertník výskumná plocha</b>	<b>21°16'</b>	<b>49°13'</b>	<b>390</b>	<b>15,2</b>	<b>423</b>
AT	Rakúsko, Koetschach Valley	13°11'	47°06'	1300	11,1	678
CZ	Česko, České Švýcarsko	14°22'	50°52'	270	14,8	322
PL03	Poľsko, Bukowa-2	18°58'	49°43'	550	14,6	541
PL17	Poľsko, Bieśnik	20°37'	49°45'	420	15,3	471
PL21	Poľsko, Berest-1	20°57'	49°30'	690	13,2	503
PL41	Poľsko, Kadłubiska	22°19'	50°18'	250	15,8	357
SK01	Slovensko, Staré Hory	19°06'	48°49'	500	14,9	434
SK02	Slovensko, Bardejov	21°11'	49°15'	900	11,8	524
TC01*	Macedónsko, Nidže	21°40'	40°59'	1500	13,2	255
TC02*	Bulharsko, Slavjanka	23°31'	41°24'	1450	13,3	239
TC06*	Rumunsko, Valiug	22°46'	45°05'	900	14,4	459

*E* zemepisná dĺžka, *N* zemepisná šírka, *Nadm. výška* nadmorská výška (m n. m),  $T_{5-9}$  priemerná teplota počas vegetačnej sezóny (°C),  $Z_{5-9}$  priemerný úhrn zrážok počas vegetačnej sezóny (mm), \*proveniencie pochádzajúce z balkánskeho refúgia

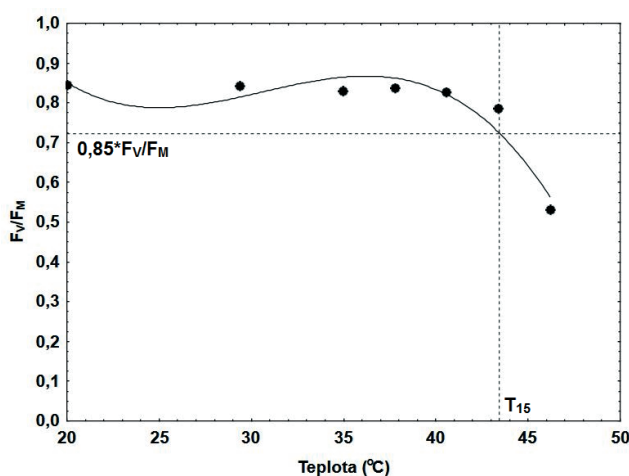
Vzorky boli odoberané z troch jedincov na provenienciu v dvoch blokoch. Išlo o sln-  
né vetvy z hornej tretiny koruny, vždy zo severnej strany stromu. Odoberaté vzorky boli  
uložené do papierových vreciek a v chlade transportované do laboratória.



Obr. 1 Lokalizácia 11-tich testovaných proveniencií jedle bielej (čiernne body) a výskumnej plochy  
Hertník (biela hviezda). Šedá oblasť predstavuje súčasné rozšírenie jedle bielej v Európe.  
Fig. 1 Location of the 11 tested provenances of silver fir (black dots) and the trial site Hertník (white  
star). The grey area represents the current distribution of silver fir in Europe.

Následne boli ihlice uzavreté do sklenených erlenmeyerových baniek a vystavené  
krátkodobému teplotnému stresu s dĺžkou trvania 30 minút. Merania boli robené v dvoch  
opakovaniach na jedinca, pričom pre každú teplotu a opakovanie boli použité nové ih-  
lice z rovnakej vetvy. Teplotný stres bol simulovaný použitím vodného kúpeľa WNE22  
(Memmert, Nemecko). Maximálna dosiahnutá teplota vzduchu vo vnútri baniek bola niž-  
šia ako teplota vody vo vodnom kúpeli, v priemere o 0,5 °C pri 30 °C a 1,8 °C pri 48 °C,  
pričom tieto rozdiely boli zohľadnené pri konečnom spracovaní dát. Vzorky boli následne  
adaptované na tmu po dobu 30 minút. Použitím fluorimetra Handy PEA (Hansatech Ltd.,  
Veľká Británia) bola u nich sekundovým saturačným pulzom s intenzitou 3500  $\mu\text{mol e-}$   
 $\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  vybudená fluorescencia chlorofylu *a*. Fluorescencia bola počas saturačného pulzu  
zaznamenaná každých 10  $\mu\text{s}$  a vykreslená na časovej osi. Takáto krivka má typický po-  
lyfázový tzv. OJIP priebeh. OJIP krivky boli hodnotené pomocou softvéru Biolyzer 3.02  
HP (UniGe, Švajčiarsko). Termostabilita PSII jednotlivých proveniencií bola stanovená  
na základe charakteristík odvodených z priebehu OJIP krivky:

- (i)  $PD$  – percentuálny pokles maximálnej fotochemickej efektívnosti PSII ( $F_V/F_M$ ) meranej pri 48 °C v porovnaní s kontrolným meraním pri 20 °C
- (ii)  $T_{15}$  – teplota pri ktorej hodnota parametra  $F_V/F_M$  klesne pod 85% maximálnej nameranej hodnoty (FROUX et al. 2004). Pre stanovenie hodnoty  $T_{15}$  boli hodnoty parametra  $F_V/F_M$  korelované s teplotami a preložené polynómom 3. stupňa.  $T_{15}$  bola vyjadrená ako teplota pri ktorej sa pretne polynóm a hodnota vyjadrujúca 85 % maximálnej nameranej hodnoty  $F_V/F_M$  (Obr. 2).

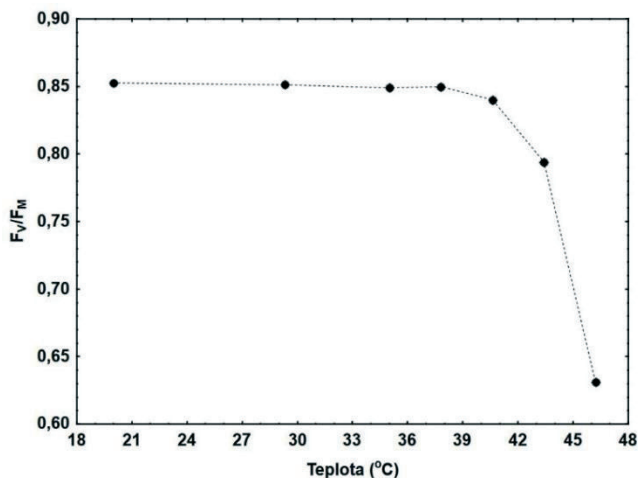


Obr. 2 Príklad reakcie parametra  $F_V/F_M$  na stúpajúcu teplotu a odvodenie parametra  $T_{15}$ .  
 Fig. 2 Example of parameter  $F_V/F_M$  response to increasing temperature and derivation of  $T_{15}$  parameter.

Namerané údaje boli štatisticky spracované softvérom Statistica 12 (StatSoft®, USA). V prvom rade bola testovaná normalita rozdelenia výberu dát Shapiro-Wilkovým testom. Keďže rozdelenie hodnôt parametra  $PD$  sa odlišovalo od normálneho rozdelenia, dáta boli transformované pomocou logaritmického transformácie. Rozdiely medzi provenienciami boli testované jednofaktorovou analýzou variancie na hladine významnosti 5%. Následne boli posúdené geografické a klimatické trendy termostability PSII na základe lineárnych regresí priemerných nameraných hodnôt pre jednotlivé proveniencie s geografickými a klimatickými charakteristikami miesta ich pôvodu. Keďže testované proveniencie pochádzali z dvoch glaciálnych refúgií, štatistické vyhodnotenia boli robené zvlášť pre osem stredoeurópskych proveniencií a pre celý dataset.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

V práci sme sa zamerali na posúdenie termostability PSII použitím charakteristík odvodených z parametra vyjadrujúceho maximálnu fotochemickú efektívnosť PSII ( $F_V/F_M$ ). Pokles hodnoty  $F_V/F_M$  je spôsobený zvýšením bazálnej fluorescence ( $F_0$ ) alebo znížením maximálnej fluorescence ( $F_M$ ), čo indikuje nevratné poškodenie PSII v dôsledku odpojenia svetlozberných komplexov od reakčných centier PSII (BRESTIČ & ŽIVČÁK 2013; BRIANTAIS et al. 1996; PASTENES & HORTON 1996). Z tohto dôvodu sú zmeny v hodnotách  $F_V/F_M$  pripisované konformačným zmenám PSII a zmene využitia teplotnej energie a  $F_V/F_M$  teda predstavuje vhodný parameter pre posúdenie miery poškodenia PSII vplyvom supraoptimálnych teplôt. K miernemu poklesu  $F_V/F_M$  vo všeobecnosti dochádza už pri teplotách okolo 30 °C (DREYER et al. 2001), pričom ROBAKOWSKI et al. (2002) uvádzajú, že k výraznému poklesu pri sadeniciach jedle bielej dochádza pri teplotách 36 °C. Obdobné výsledky boli pozorované aj pri ďalších druhoch, napr. *Fagus sylvatica*, *Betula pendula*, *Juglans regia* a *Cedrus atlantica*, kde sa táto teplota pohybuje v rozmedzí 32–38 °C (DREYER et al. 2001; EPRON 1997). V našom experimente však pozorujeme vyššie teploty spôsobujúce významný pokles  $F_V/F_M$  a to až pri teplote 40 °C (Obr. 3). Táto skutočnosť môže byť vysvetlená použitím rastlinného materiálu rôzneho veku. V uvedených štúdiách boli totiž využité sadenice a v našom experimente testované jedince dosahovali vek 10 rokov. Navyše teplotný stres bol v našom prípade simulovaný zvlášť pre každú teplotu s použitím novej vzorky a v uvedených experimentoch bol teplotný stres simulovaný postupne sa zvyšujúcou teplotou (1 °C za minútu) na rovnakej vzorke (DREYER et al. 2001; EPRON 1997; ROBAKOWSKI et al. 2002).



Obr. 3 Reakcia parametra  $F_V/F_M$  na stúpajúcu teplotu u jedincov jedle bielej.  
Fig. 3 The parameter  $F_V/F_M$  response to increasing temperature in silver fir individuals.

Ďalej sme sa zamerali na posúdenie medziprovenienčných rozdielov v termostabilite PSII a základných geografických a klimatických vzorov variability termostability PSII pomocou parametrov  $T_{15}$  a  $PD$ . Z regresnej analýzy vyplýva, že nadmorská výška štatisticky významne ovplyvňuje obidve sledované charakteristiky. Priemerné hodnoty  $T_{15}$  pre jednotlivé proveniencie totiž narastali s narastajúcou nadmorskou výškou, od 43,8 °C pri proveniencii CZ po 45,1 °C pri proveniencii TC02. V prípade parametra  $PD$ , sme namerali provenienčné priemery v rozsahu od 24,0 % pri proveniencii TC02 až po 30,6 % pri proveniencii PL41, pričom nižšia hodnota tohto parametra znamená nižšiu mieru poškodenia teplotným stresom a *vice versa*. Regresná krivka znázorňovala pokles parametra  $PD$  s narastajúcou nadmorskou výškou. Tieto trendy boli potvrdené ako pre proveniencie pochádzajúce zo stredoeurópskeho glaciálneho refúgia tak pre celý dataset.

V prípade priemernej teploty a priemerného množstva zrážok počas vegetačnej sezóny, bol pozorovaný ich významný vplyv na mieru termostability PSII len u proveniencií pochádzajúcich zo stredoeurópskeho refúgia. Termostabilita PSII pri stredoeurópskych provenienciách totiž klesala s narastajúcou teplotou počas vegetačnej sezóny v mieste ich pôvodu a naopak stúpala so stúpajúcim úhrnom zrážok.

Tab. 2 Lineárna regresia parametrov  $PD$  a  $T_{15}$  a základných geografických a klimatických charakteristík miesta pôvodu testovaných proveniencií.

Tab. 2 Linear regression of  $PD$  and  $T_{15}$  parameters against the basic geographical and climatic characteristics of origin of tested provenances.

Parameter	Stredoeurópske proveniencie			Všetky testované proveniencie		
	Sklon	R <sup>2</sup>	P	Sklon	R <sup>2</sup>	P
<b>PD (%)</b>						
Nadm. výška	-0,0049	0,5280	0,0412*	-0,0055	0,6866	0,0016*
T <sub>5,9</sub>	0,976	0,5103	0,0465*	-1,1036	0,2864	0,0898 <sup>1</sup>
Z <sub>5,9</sub>	-0,0172	0,6710	0,0129*	0,0018	0,0063	0,8170ns
<b>T<sub>15</sub> (°C)</b>						
Nadm. výška	-0,0006	0,6849	0,0112*	0,0007	0,7779	0,0003**
T <sub>5,9</sub>	-0,1056	0,5753	0,0291*	-0,1284	0,2618	0,1077ns
Z <sub>5,9</sub>	-0,002	0,8622	0,0009**	-0,0005	0,0303	0,6088ns

Nadm. výška nadmorská výška (m n. n.),  $T_{5,9}$  priemerná teplota počas vegetačnej sezóny v mieste pôvodu (°C),  $Z_{5,9}$  priemerný úhrn zrážok počas vegetačnej sezóny v mieste pôvodu (mm),  $PD$  percentuálny pokles parametra  $F_V/F_M$  meraného pri teplote 48 °C v porovnaní s kontrolným meraním pri 20 °C (%),  $T_{15}$  teplota pri ktorej hodnota parametra  $F_V/F_M$  klesla pod 85% maximálnej nameranej hodnoty (°C), \* štatisticky významné na hladine významnosti  $P < 0.05$ , \*\* štatisticky významné na hladine významnosti  $P < 0.01$ , <sup>1</sup> marginálne štatisticky významné na hladine významnosti  $P < 0.1$ , ns štatisticky nevýznamné



Môžeme teda konštatovať, že proveniencie pochádzajúce z vyšších nadmorských výšok s chladnejšou a vlhšou klímou sú odolnejšie voči supraoptimálnym teplotám, hoci rozdiely medzi provenienciami neboli štatisticky významné (Tab. 3). Obdobný vzor reakcie na teplotný stres bol pozorovaný pri provenienciách buka lesného na výskumnej ploche Tále na strednom Slovensku. V tomto prípade však rozdiely medzi provenienciami boli štatisticky významné (zatiaľ nepublikované údaje). Takisto, GÖMÖRY et al. (2012) uvádzajú, že proveniencie smreka obyčajného, ktoré pochádzali z vyšších nadmorských výšok boli stabilnejšie a menej citlivé na kvalitu prostredia v porovnaní s provenienciami z oblastí z nižších nadmorských výšok s vyššími teplotami a nižším ročným úhrnom zrážok.

Tab. 3 Analýza variancie (F-testy a ich významnosť) parametra  $PD$  a  $T_{15}$ .

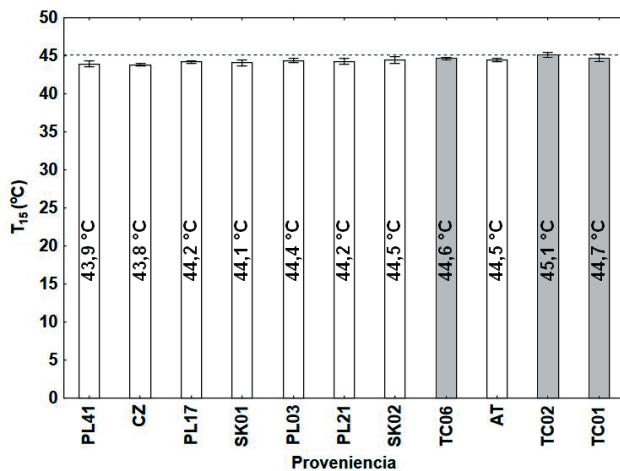
Tab. 3 Analysis of variance (F-tests and their significances) of  $PD$  parameter.

Efekt	Stredoeurópske proveniencie				Všetky testované proveniencie			
	<i>SS</i>	<i>DF</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>SS</i>	<i>DF</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
<b><math>PD</math> (%)</b>								
<b>PV</b>	1,00	7	0,75	0,633ns	3,16	10	1,63	0,106ns
<b>ERROR</b>	16,56	87			23,06	119		
<b><math>T_{15}</math> (°C)</b>								
<b>PV</b>	2,41	7	0,60	0,777ns	8,3	10	1,30	0,246ns
<b>ERROR</b>	24,30	40			34,6	55		

$PV$  proveniencia,  $PD$  percentuálny pokles parametra  $F_I/F_M$  meraného pri teplote 48 °C v porovnaní s kontrolným meraním pri 20 °C (%),  $T_{15}$  teplota pri ktorej hodnota parametra  $F_I/F_M$  klesla pod 85% maximálnej nameranej hodnoty (°C), *ns* štatisticky nevýznamné

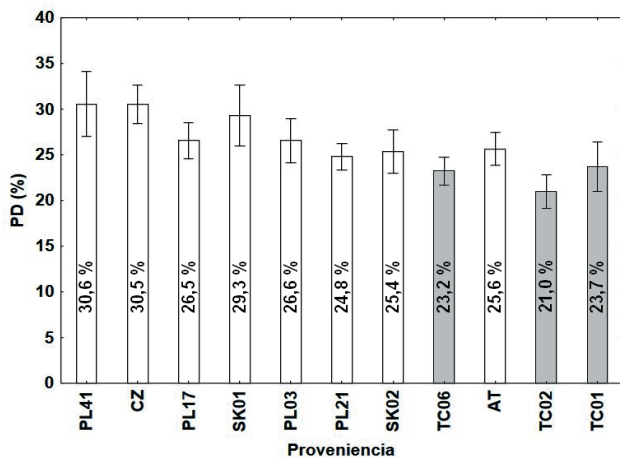
Po zahrnutí proveniencií z balkánskeho refúgia (TC01, TC02, TC06) do analýzy sa však vzťah medzi oboma charakteristikami a priemerným úhrnom zrážok počas vegetačnej sezóny nepotvrdil. Takisto priemerná teplota počas vegetačnej sezóny v mieste pôvodu významne neovplyvňovala mieru termotmostability PSII. Balkánske proveniencie totiž vykazovali vyššie hodnoty  $T_{15}$  (Obr. 4) a nižšie hodnoty  $PD$  (Obr. 5), čo by mohlo indikovať vyššiu rezistenciu voči teplotnému stresu, hoci rozdiely medzi provenienciami neboli štatisticky významné. Pravdepodobne je to dôsledok pôvodu v klimatických pásmach, kde sú zaznamenávané nižšie úhrny zrážok a vyššie teploty počas letných mesiacov v porovnaní s odpovedajúcimi nadmorskými výškami v oblasti strednej Európy, teda v temperátnom klimatickom pásme. Podľa Köppen-Geigerovej klimatickej klasifikácie totiž macedónska a bulharská proveniencia pochádzajú z juhu Balkánskeho poloostrova so značným vplyvom teplej mediteránnej klímy a rumunská proveniencie pochádza z oblastí teplej kontinentálnej klímy, ktoré sa vyznačujú suchými a teplými letami (PEEL et al., 2007).





Obr. 4 Priemer a stredná chyba parametra  $T_{15}$  pre všetky testované proveniencie. Šedé stĺpce znázorňujú balkánske proveniencie.

Fig. 4 The mean and standard error of  $T_{15}$  parameter for the all tested proveniences. The grey bars illustrate the Balkan proveniences.



Obr. 5 Priemer a stredná chyba parametra  $PD$  pre všetky testované proveniencie. Šedé stĺpce znázorňujú balkánske proveniencie.

Fig. 5 The mean and standard error of  $PD$  parameter for the all tested proveniences. The grey bars illustrate the Balkan proveniences.

## ZÁVER

Zmierňovanie dopadu klimatickej zmeny na lesné ekosystémy a posilnenie ich vitality pomocou asistovanej migrácie je v súčasnosti kľúčovou témou lesníctva. Legislatíva zatiaľ síce prenos rastlinného materiálu nepovoľuje, avšak v súčasnosti sa získava podkladový materiál pre prípravu nových pravidiel získavania a použitia lesného reprodukčného materiálu. Pre naplnenie tohto cieľa sú však potrebné aj dlhodobé pozorovanie fyziologických procesov, ktoré by nám umožnili predpovedať a modelovať reakcie drevín na meniace sa podmienky a tým umožnili identifikovať populácie s vysokým adaptačným potenciálom, ktoré by mohli byť použité ako zdroj semien pre zalesňovanie. Keďže jednou z hlavných črt klimatickej zmeny je nárast globálnych teplotných priemerov a zvýšenie frekvencie vln s vysokými teplotami, ideou našej práce bolo identifikovať supraoptimálne teploty, ktoré spôsobujú ireverzibilné zmeny v štruktúre PSII u proveniencií jedle bielej a zistiť, či existuje vzťah medzi mierou termotolerancie PSII a miestom pôvodu sledovaných proveniencií.

## Literatúra

- BARUA, D., HECKATHORN, S., A., 2006: The interactive effects of light and temperature on heat-shock protein accumulation in *Solidago altissima* (Asteraceae) in the field and laboratory. *Am. J. Bot.* 93, 102–109.
- BRESTIČ, M., OLŠOVSKÁ, K., PIVKOVÁ, J., 2010: Bioindikácia termotolerancie fotosyntetického aparátu pšenice ozimnej (*Triticum aestivum* L.). *Acta Phytochemica Zootech.* 67–71.
- BRESTIČ, M., ŽIVČÁK, M., 2013: PSII Fluorescence Techniques for Measurement of Drought and High Temperature Stress Signal in Crop Plants: Protocols and Applications. *Mol. Stress Physiol. Plants* 87–131.
- BRIANTAIS, J., M., DACOSTA, J., GOULAS, Y., DUCRUET, J., M., MOYA, I., 1996: Heat stress induces in leaves an increase of the minimum level of chlorophyll fluorescence, Fo: A time-resolved analysis. *Photosynth. Res.* 48, 189–196.
- BUSSOTTI, F., POLLASTRINI, M., HOLLAND, V., BRÜGGEMANN, W., 2015: Functional traits and adaptive capacity of European forests to climate change. *Environ. Exp. Bot.* 111, 91–113.
- DREYER, E., ROUX, X., L., MONTPIED, P., DAUDET, F., A., MASSON, F., 2001: Temperature response of leaf photosynthetic capacity in seedlings from seven temperate tree species. *Tree Physiol.* 21, 223–232.
- EPRON, D., 1997: Effects of drought on photosynthesis and on the thermotolerance of photosystem II in seedlings of cedar (*Cedrus atlantica* and *C. libani*). *J. Exp. Bot.* 48, 1835–1841.
- FROUX, F., DUCREY, M., EPRON, D., DREYER, E., 2004: Seasonal variations and acclimation potential of the thermostability of photochemistry in four Mediterranean conifers. *Ann. For. Sci.* 61, 235–241.
- GÖMÖRY, D., LONGAUER, R., HLÁSNÝ, T., PACALAJ, M., ŠTRMEŇ, S., KRAJMEROVÁ, D., 2012: Adaptation to common optimum in different populations of Norway spruce (*Picea abies* Karst.). *Eur. J. For. Res.* 131, 401–411.
- GÖMÖRY, D., LONGAUER, R., KRAJMEROVÁ, D., 2015: Vol'ba lesného reprodukčného materiálu v podmienkach klimatickej zmeny / Choice of forest reproductive material under conditions of climate change. *For. J.* 61, 124–130.
- HALDIMANN, P., FELLER, U., 2004: Inhibition of photosynthesis by high temperature in oak (*Quercus pubescens* L.) leaves grown under natural conditions closely correlates with a reversible heat-dependent reduction of the activation state of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase. *Plant Cell Environ.* 27, 1169–1183.
- HIJMANS, R., J., CAMERON, S., E., PARRA, J., L., JONES, P., G., JARVIS, A., 2005: Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* 25, 1965–1978.
- KLOPCIC, M., JERINA, K., BONCINA, A., 2009: Long-term changes of structure and tree species composition in Dinaric uneven-aged forests: are red deer an important factor? *Eur. J. For. Res.* 129, 277–288.

- MEEHL, G., A., 2004: More Intense, More Frequent, and Longer Lasting Heat Waves in the 21st Century. *Science* 305, 994–997. doi:10.1126/science.1098704
- PACHAURI, R., K., MAYER, L., Intergovernmental Panel on Climate Change (Eds.), 2015: Climate change 2014: synthesis report. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland.
- PASTENES, C., HORTON, P., 1996: Effect of High Temperature on Photosynthesis in Beans (I. Oxygen Evolution and Chlorophyll Fluorescence). *Plant Physiol.* 112, 1245–1251.
- Peel, M., C., Finlayson, B., L., McMahon, T., A., 2007: Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol Earth Syst Sci* 11, 1633–1644. doi:10.5194/hess-11-1633-2007
- PRIESTLEY, C., H., B., TAYLOR, R., J., 1972: On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters. *Mon. Weather Rev.* 100, 81–92.
- ROBAKOWSKI, P., MONTPIED, P., DREYER, E., 2002: Temperature response of photosynthesis of silver fir (*Abies alba* Mill.) seedlings. *Ann. For. Sci.* 59, 163–170.
- SALVUCCI, M., E., CRAFTS-BRANDNER, S., J., 2004: Inhibition of photosynthesis by heat stress: the activation state of Rubisco as a limiting factor in photosynthesis. *Physiol. Plant.* 120, 179–186.
- SANIGA, M., 2013: Smrek obyčajný verzus zmena klímy – ako ďalej? *Letokruhy*.
- SHMÚ, 2014. Prejav klimatickej zmeny na globálnej úrovni [www dokument]. SHMÚ. URL <http://www.shmu.sk/sk/?page=1379> (accessed 11.2.16).
- WAŽNY, R., 2014: Ectomycorrhizal communities associated with silver fir seedlings (*Abies alba* Mill.) differ largely in mature silver fir stands and in Scots pine forecrops. *Ann. For. Sci.* 71, 801–810.
- WOLF, H., 2003: Technical guidelines for genetic conservation and use for silver fir (*Abies alba*).
- YAMASAKI, T., YAMAKAWA, T., YAMANE, Y., KOIKE, H., SATOH, K., KATOH, S., 2002: Temperature acclimation of photosynthesis and related changes in photosystem II electron transport in winter wheat. *Plant Physiol.* 128, 1087–1097.
- ZHANG, J., H., HUANG, W., D., LIU, Y., P., PAN, Q., H., 2005: Effects of Temperature Acclimation Pretreatment on the Ultrastructure of Mesophyll Cells in Young Grape Plants (*Vitis vinifera* L. cv. *Jingxiu*) Under Cross-Temperature Stresses. *J. Integr. Plant Biol.* 8, 959–970.

---

Príspevok vznikol s finančnou podporou projektov *KEGA č. 015TU Z-4/2014*, *APVV-0111-10* a *VEGA č. 2/0034/14*.

Adresa autorov:

Mgr. Alena Konopková

Ing. Daniel Kurjak, PhD.

prof. Ing. Jaroslav Kmet', PhD.

Katedra integrovanej ochrany lesa a krajiny

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

Masarykova 24

960 53 Zvolen

Slovenská republika

e-mail: [alena.konopkova@tuzvo.sk](mailto:alena.konopkova@tuzvo.sk)

e-mail: [kurjak@tuzvo.sk](mailto:kurjak@tuzvo.sk)

e-mail: [kmet@tuzvo.sk](mailto:kmet@tuzvo.sk)

### **Thermostability of photosystem II of contrasting silver fir provenances**

#### **Summary**

In the context of ongoing climate changes, the mitigation of their impact on forest ecosystems is often discussed topic. As one of the possibilities seems to be the introduction of new, non-native ecotypes with more suitable traits for the future climate conditions. However, response of tree species to climate changes, including more frequent and more intensive heat waves, is not well known and for the selection of suitable reproductive material, knowledge about the geographical and climatic patterns of adaptive traits variation are

essential. Hence, in this study we focused on the assessment of basic geographical and climatic trends of thermostability of the photosynthetic apparatus in contrasting silver fir (*Abies alba* Mill.) provenances. The study is based on the provenance research of silver fir (IUFRO 2005), with the Slovak trial site in the locality of Hertník (49°13'N, 21°16'E; 390 m a. s. l.). For the experiment, 11 provenances with the origin from different altitudes were chosen. The water bath was used to stimulate heat stress for seven different temperatures ranging from 20 to 48 °C. The thermotolerance of particular silver fir provenances was assessment using the parameters of chlorophyll *a* fluorescence, which are derived from the fluorescence OJIP curve: (i) the  $T_{15}$ , the temperature at which value of the maximal photochemical efficiency of PSII ( $F_V/F_M$ ) decreases under the 85% of the maximum measured value, (ii) the *PD*, the percentage decrease of the  $F_V/F_M$  parameter measured at 48 °C compared to the control measurement at the 20 °C. As the tested provenances originated from two glacial refugia, the statistical tests were made separately for the eight provenances from the Central Europe line and for the complete dataset. We observed significant relationship between the both of the characteristics ( $T_{15}$  and *PD*) and the altitude of origin, showing increasing thermostability with the rising altitude. For the provenances from Central Europe line, the impact of the mean temperature and precipitation of origin during the vegetation season was confirmed. Hence, these trends indicate, that the Central European provenances originating from the higher altitudes with the wetter and cooler climate should be less susceptible against heat stress, although the differences between the provenances were statistically nonsignificant. Contrariwise, when the Balkan provenances were included, these trends disappeared, whereas the Balkan provenances show the slightly lower values of *PD* and higher values of  $T_{15}$  parameter indicating higher resistance against heat stress. Probably, this is a result of better adaptation of Balkan provenances to high temperatures, since these provenances originate from the sites with relatively higher mean temperatures and lower amount of precipitation during the vegetation season.

## VPLYV SVETELNÝCH POMEROV PORASTU V ŠTÁDIU OBNOVY NA RAST A VÝVOJ PRIRO- DZENEJ OBNOVY TISA OBYČAJNÉHO *TAXUS* *BACCATA* L.

Mariana K Ý P E Ť O V Á – Peter J A L O V I A R

**Kýpeťová, M. – Jaloviar, P.: Vplyv svetelných pomerov porastu v štádiu obnovy na rast a vývoj prirodzenej obnovy tisa obyčajného *Taxus baccata* L. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, 58/1 2016, 33 – 46.**

Problematika zachovania tisa obyčajného *Taxus baccata* L. v lesných ekosystémoch je v súčasnosti populárnou témou vo viacerých krajinách. Výskum a štúdiá sú však pomerne málo orientované na reakciu rastových procesov resp. úspešnosti obnovy tisa v hospodárskych lesoch. Z hľadiska regeneračných procesov tisa je zaujímavá práve interakcia zlepšených svetelných podmienok pre tis na jednej strane a konkurencie následnej generácie ostatných drevín na druhej strane. V práci sme sa snažili popísať svetelné podmienky porastu s výskytom tisa obyčajného, ktorý je v súčasnosti rozpracovaný maloplošným clonným rubom a ich vplyv na regeneračné procesy následnej generácie. Cieľom vedeckej odbornej práce je identifikovať hlavné ekologické vplyvy, ktoré rozhodujú o úspechu obnovy tisa resp. kvantifikácia miery ich vplyvu. Výsledky práce poukazujú na významný pozitívny vplyv relatívneho žiarenia na výskyt semenáčikov tisa. Z hľadiska výškovej štruktúry prirodzenej obnovy tisa je však problematické pre túto vzácnu drevinu presadiť sa v konkurencii s ostatnými drevinami dolnej etáže. Okrem toho sme na výskumnej ploche pozorovali silnú atraktivitu tisa obyčajného pre ohryz zverou. Z experimentálnych pozorovaní vyplýva, že aktívna ochrana tisa založená na obhospodarovaní lesného ekosystému sa ukazuje ako vhodné východisko pre zachovanie tisa v jeho pôvodnom prostredí. Prvou podmienkou je však vylúčenie negatívneho vplyvu ohryzu zverou. Vzhľadom na pomalý výškový rast tisa je potrebné uskutočniť aktívne zasahovanie do následnej generácie porastu v iniciálnej fáze, čím sa upravia konkurenčné vzťahy dolnej etáže v prospech tisa.

**Kľúčové slová:** tis obyčajný *Taxus baccata* L., prirodzená obnova, relatívne žiarenie, obhospodarovanie porastu, aktívna ochrana

### 1 ÚVOD A PROBLEMATIKA

Tis obyčajný je nižšie rastúci strom dosahujúci výšku približne 15 m. Typickým znakom tejto dreviny je však tvorba viacerých kmeňov. Pri náhlom osvetlení kmeňa alebo pri jeho poškodení dochádza k hojným adventívnym výhonkom. Táto silná kmeňová výmladnosť sa prejavuje pri vzniku dcérskych kmeňov, ktoré zriedkavo zarastajú do jedného materského, pričom vzniká zdanlivo jeden kmeň (PAGAN 1999).

Tis je dlhoveká drevina, ktorá sa dožíva 300 až 600 rokov, ojedinele aj vyššie 1000 rokov. Je to dvojdomá drevina, ktorá sa však zriedkavo prejavuje ako jednodomá, prípadne sa táto vlastnosť môže zmeniť v priebehu života jednotlivcej dreviny (CEDRO & ISZKUŁO 2011)

Tis je drevina oceánskej klímy, čo sa prejavuje na jeho zvýšenej citlivosti na nízke teploty a silné dlhotrvajúce mrazy (BENČAĽ 2009; PAGAN 1999). Výskyt tisa v Európe je prevažne viazaný na karbonátové podložie tvorené vápencom a dolomitom. Okrem toho je však pozorovaný aj na rôznych iných typoch pôd s rozličnými charakteristikami. Najpriaznivejšie rastové procesy tisa obyčajného sú na hlbokých, vlhkých piesočnato-hlinitých pôdach, na druhej strane nepriaznivé pôdne podmienky pre tis sú najmä suché, kamenité až balvanité pôdy (THOMAS & POLWART 2003).

Areál výskytu tisa je prevažne európsky, vyskytuje sa ostrovčekovite na celom kontinente s výnimkou chladného severu a kontinentálnej oblasti na východe. Zo severnej strany dosahuje areál maximálne do 63° severnej šírky v oblasti Nórska a Švédska, pokračuje východne cez Estónsko, Poľsko do okolia Kaspického mora a Turecka odtiaľ južne cez Grécko, severné Španielsko a Portugalsko. Najväčšie populácie tisa sú zaznamenané na Ukrajine, v Poľsku, Maďarsku, Slovensku, Rumunsku a na Kaukaze. *Taxus baccata* L. absentuje vo väčšine typických kontinentálnych klimatických oblastiach Európy a tiež v severnej a juhovýchodnej časti Ruska, na Kréte aj Islande (THOMAS & POLWART 2003; THOMAS & GARCIA-MARTÍ 2015).

Tis obyčajný (*Taxus baccata* L.) sa na území Slovenska vyskytuje ako vzácny glaciálny relikť, ktorý je vďaka svojej dlhovekosti a ojedinelému výskytu na Slovensku chránenou drevinou (ŠOLTÝS et al. 2010). V našich podmienkach sa vyskytuje veľmi zriedkavo, predovšetkým v prírodných a v prirodzených lesoch v bukovom a jedľovom-bukovom lesnom vegetačnom stupni. Dominantnou drevinou týchto porastov je buk (*Fagus sylvatica* L.) spolu s listnatými drevinami – najmä javormi. Aj keď sa vo väčšine prípadov jedná o hospodárske lesy, ich drevinové zloženie je prirodzené a všetky dreviny sú autochtónne. Autochtónnosť je v prvom rade výsledkom ich prirodzenej obnovy, ktorá je aj v súčasnosti dominantným spôsobom obnovy porastov. Tis ako tienna drevina má vynikajúcu schopnosť obnoviť sa a prežívať v tieni, extrémne tienne podmienky však výrazne redukujú jeho rast (ISZKUŁO & BORATYŃSKI 2006; PAGAN 1999).

Dlhodobé pôsobenie antropogénnej činnosti, klimatických zmien, ale aj biotických škodlivých činiteľov však pôsobí rušivo aj na zdanlivo nedotknuté ekosystémy. Vývoj tisa preto nie priaznivý a pokles jeho zastúpenia v porastoch pokračuje. KORPEL (1995) uvádza, že zlepšenie svetlených podmienok v dôsledku obhospodarovania porastov sa priaznivo prejavuje na vitalite, rastových schopnostiach a regeneračných procesoch tisa obyčajného. Skúsenosti z hospodárskych lesov s výskytom tisa ukazujú, že vzhľadom na jeho ekologické nároky pôsobí výchova a clonná obnova pozitívne nielen na dospelé jedince, ale najmä na prirodzenú obnovu tisa, ktorá hrá kľúčovú úlohu pri zachovaní a posilnení životaschopnosti druhu.

V rámci diferencovanej výškovej štruktúry porastov, v ktorých sa tis nachádza, zastupuje strednú a dolnú vrstvu. Miera osvetlenia v poraste pritom diferencuje štruktúru porastu a zároveň ovplyvňuje charakteristiky stanovišťa (JAĎUĎ & SANIGA 2013). Svetelné podmienky v dolnej vrstve porastu a na pôdnom povrchu sú jedným z najdôležitejších ekologických faktorov pre vznik a rast prirodzenej obnovy (SZWAGRZYK et al. 2001). Zároveň sú však mimoriadne heterogénne a preto aj ťažko kvantifikovateľné.

Napriek zriedkavému zastúpeniu tisa obyčajného je výskyt najmladších semenáčikov v blízkosti materských jedincov tisa pomerne bežný a je pozorovaný v širokom svetelnom, pôdnom aj vlhkostnom spektre (SEIDLING 1999). Kompletné odumieranie semenáčikov tisa starších ako 1 až 2 roky je všeobecným európskym fenoménom (ISZKUŁO et al. 2007) a mortalita mladých jedincov tisa rastúcich pod clonou materského porastu je predmetom niekoľkých štúdií v prírodných lesoch. Nepriaznivé podmienky stanovišťa, poškodenie hubami, ale hlavne bylinožravou zverou sa považujú za hlavné dôvody nedostatočnej prirodzenej obnovy tisa schopnej zaistiť prítomnosť druhu v následnom poraste vznikajúcom pod clonou materského porastu (HULME 1996; SVENNING & MAGÅRD 1999). Napriek obsahu jedovatých látok je pre zver veľmi atraktívny a bylinožravá zver ho dokonca selektívne uprednostňuje pred ostatnými drevinami. Silný negatívny dopad ohryzu prirodzenej obnovy aj dospelých jedincov tisa hrozí najmä v prezverených oblastiach (DHAR et al. 2007)

Štúdie zamerané na problematiku zachovania tisa ako súčasti lesných ekosystémov boli takmer výhradne situované do plošne chránených území (SANIGA & JALOVIAR 2005; KORPEL 1995), resp. na plochy bez lesníckeho obhospodarovania. Tis sa však veľmi často vyskytuje v hospodárskych lesoch s bežným obhospodarovaním ostatných drevín. Okrem toho sa považuje za zaujímavú drevinu aj z hľadiska hospodárskeho významu a využitia, pretože podľa WENDTA (2015) môže byť rovnocennou náhradou za vzácne tropické dreveniny. Atraktívnosť a trvanlivosť dreva dodáva tejto zaujímavej drevine unikátny charakter (KORPEL 1995; PAGAN 1999). Experimentálne práce, ktoré analyzujú obnovu tisa v obhospodarovaných porastoch, hlavne vo fáze ich obnovy nie sú známe. Z hľadiska regeneračných procesov tisa je zaujímavá práve interakcia zlepšených svetelných podmienok pre tis na jednej strane a konkurencie následnej generácie ostatných drevín na druhej strane.

Cieľom tejto práce je identifikovať hlavné ekologické vplyvy, ktoré rozhodujú o úspechu obnovy tisa resp. kvantifikácia miery ich vplyvu. Prvým zámerom bolo posúdenie dôsledkov ohryzu na etablovanie prirodzenej obnovy tisa a ostatných drevín tvoriacich ekosystém. Druhým zámerom bolo určenie vplyvu osvetlenia na regeneračné procesy porastu a špeciálne tisa pri vylúčení vplyvu zveri. Tretím zámerom je charakterizovanie konkurenčných vzťahov v rámci etáže tvorenej prirodzenou obnovou. Súčasťou analýzy dolnej etáže je tiež charakterizovanie vplyvu prirodzenej obnovy ostatných drevín lesného ekosystému na mladé jedince tisa.

## **2 MATERIÁL A METODIKA**

### **2.1 Charakteristika výskumnej oblasti**

Objektom pre analýzu štruktúry a regeneračných procesov porastu s výskytom tisa bola výskumná plocha v orografickom celku Veľká Fatra, Starohorské vrchy juh v dieľci 1150a, ktorý je majetkom Mestských lesov Banská Bystrica – Uľanka. Jedná sa o dielec s výmerou 10,79 ha, s juhovýchodnou expozíciou, so sklonom 35 %, nadmorskou výškou v rozpätí od 570 – 735 m n. m. Prevažujú rendziny a kambizeme rendzinové, miestami sa nachádza vystupujúca materská hornina.

Porast patrí do kategórie hospodárskych lesov s prevládajúcou produkčnou a protie-róznou funkciou. Horná etáž má priemerne 105 rokov a je tvorená zmesou listnatých a ih-ličnatých drevín (buk lesný, javor horský, smrek obyčajný, jaseň úzkolistý, borovica lesná a jedľa biela). Zmes prirodzenej obnovy všetkých drevín hornej etáže tvorí dolnú etáž porastu v rastovej fáze nárastu, s vekom do 10 rokov. Porast je v súčasnosti rozpracovaný clonným rubom. Zakmenenie je nerovnomerné a zredukované na priemernú hodnotu 0,5–0,6. Osobitné postavenie v poraste má tis obyčajný, ktorý je v porovnaní s hornou etážou zreteľne nižší, ale tvorí výškovo vyrovnanú a nerovnomerne zakmenenú samostatnú etáž.

V dieľci bola vytýčená trvalá výskumná plocha (TVP) 50×50 m, v ktorej centre sa nachádzala oplotená časť pravidelného štvorcového tvaru s výmerou približne 5 árov. Na TVP bola zameraná hrúbka ( $d_{1,3}$ ), výška všetkých stromov a výšky nasadenia ich korún, pozície stromov spolu s horizontálnymi priemetmi korún všetkých stromov s hrúbkou nad 7 cm boli zmerané technológiou FieldMap.

V oplotenej časti bolo náhodným výberom fixovaných 8 bodov, ktorých poloha vnútri TVP bola zameraná rovnako, ako pozície stromov. Na každom vytýčenom bode bola vyhotovená hemisférická snímka pre analýzu svetelných podmienok. Rovnako sa postupovalo aj na ďalších náhodne vybratých 7 bodoch na neoplotenej časti plochy. Pre odvo-denie vzťahu medzi relatívnym osvetlením a porastovými charakteristikami ( $G$  a suma korunových projekcií) bola ku každému bodu snímkovania vztiahnutá plocha materského porastu s polomerom 12,63 m (500 m<sup>2</sup>) so stredom v bode snímkovania.

## 2.2 Metodika merania relatívneho žiarenia

Analýza svetelných pomerov v poraste v procese obnovy sa hodnotila na základe vytvorených hemisférických snímok. Pre snímkovanie bolo použité vybavenie WinSCANOPY Mid-OMount 10MP firmy Regent Instruments Inc. (Québec, Canada), s kamerou Nikon Coolpix a objektívom s ohniskovou vzdialenosťou 8 mm. Hemisférické snímky sme zhotovili vo výške 1,3 m na v plne olistenom poraste. Analýza snímky bola založená na metóde klasifikácie reálnych farieb pixelov. Postup založený na rozlišovaní skutočných farieb je viac tolerantný k premenlivým podmienkam oblačnosti a použiteľný aj pri nezachovaní štandardných poveternostných podmienok (REGENT INSTRUMENTS, 2015) hlavne preto, lebo umožňuje analyzovať rôzne hraničné odtiene modrej a zelenej farby, ktoré správne pridelí buď do kategórie Sky (obloha) alebo Canopy (vegetácia). Z výstupov systému WinSCANOPY boli v tejto práci použité hodnoty relatívneho žiarenia (Direct, Diffuse, Total Site Factor – DSF, ISF a TSF) a hodnoty hustoty toku fotosynteticky aktívnych fotónov (PPFD) priameho a difúzneho svetla vo výške 1,3 m.



## 2.3 Metodika merania štruktúry prirodzenej obnovy

Okolo každého bodu snímkovania sme vytýčili štvorcové plochy s rozmermi 2×2 m. Na tejto ploche sme merali výšku všetkých jedincov prirodzenej obnovy a na tise okrem toho aj všetky identifikovateľné výškové prírastky tisa s presnosťou na mm. Počet identifikovaných prírastkov bol považovaný za vek jedincov prirodzenej obnovy. Spolu bolo v oplotenej ploche zmeraných 227 jedincov tisu. Na snímkovacích bodoch v neoplotenej časti TVP sme rovnako vykonali podrobné meranie výšok zmladenia a prírastkov tisa obyčajného, ich vyhodnotenie v rámci analýzy výsledkov sa však ukázalo ako veľmi problematické, pretože na tejto ploche sa nenašiel ani žiaden jedinec tisu, ktorý by nebol aspoň raz poškodený zverou. Rovnako aj v prípade ostatných drevín bolo ich poškodenie natoľko masívne, že sa zotrelí rozdiely v početnostiach, výškach a výškových prírastkoch. Preto boli z analýzy výškovej štruktúry vylúčené všetky body, ktoré sa nachádzajú v neoplotenej časti plochy a posúdenie vplyvu oplotenia na regeneračné procesy porastu sa týka iba početnosti prirodzenej obnovy tisa.

## 2.4 Štatistické spracovanie

Pre hodnotenie vplyvu denzity porastu na hodnoty relatívneho žiarenia bola použitá metóda lineárna regresia po častiach (piecewise linear regression) s určením zlomového bodu (breakpoint) nezávislej veličiny. Pre určenie významnosti rozdielov priemerových hodnôt (DSF, TSF, ISF ako aj výška a hustota prirodzenej obnovy tisa) bol použitý Studentov t-test. Vzťah výšky jedincov prirodzenej obnovy a osvetlenia bol analyzovaný metódou jednoduchej lineárnej regresie. Pre posúdenie vplyvu konkurujúceho prirodzeného zmladenia ostatných drevín, žiarenia a veku tisového zmladenia bola použitá metóda viacnásobnej lineárnej regresie.

# 3 VÝSLEDKY

## 3.1 Štruktúra materského porastu

Rozpracovanosť porastu clonným rubom sa prejavila na vysokej variabilite kruhovej základne (G) a počtu stromov (N), ktoré sú navzájom významne a pomerne tesne korelované ( $r^2 = 0,66$ ). Ich stredné hodnoty sa pohybujú v rozpätí charakteristickom pre rubné porasty v daných stanovištných podmienkach (tab. 1). Suma korunových projekcií má najmenšiu variabilitu, ale nevykazuje žiadnu významnú koreláciu s N a G.

Tab. 1 Základné biometrické charakteristiky porastu na výskumnej ploche.  
 Tab. 1 The basic statistical characteristics of the experimental stand.

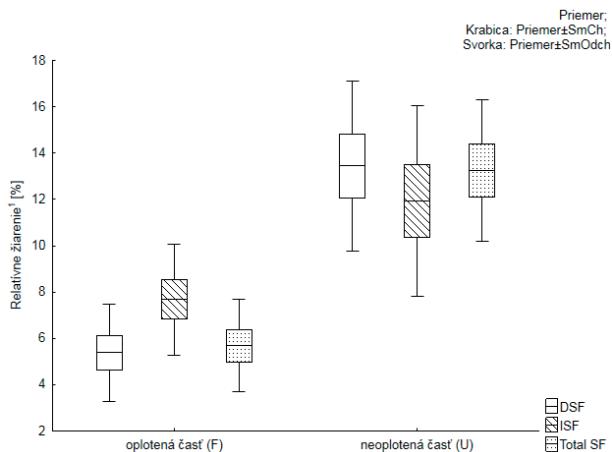
	Min	Max	Mean	Standard Error (SE)	Coefficient of variance (CV)
$d_{1,3}$ [cm]	25,7 (10,8)	37,1 (64,8)	32,1 (31,5)	1,330 (1,365)	0,12 (0,41)
$h$ [m]	17,4 (5,1)	20,7 (33,8)	19,7 (19,9)	0,355 (0,873)	0,06 (0,42)
$G$ [m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> ]	18,5	39,2	28,3	2,138	0,23
$\Sigma CP$ [m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> ]	7838,7	13143,2	11224,1	756,448	0,18
$N$ [pcs.ha <sup>-1</sup> ]	180,0	520,0	317,5	43,167	0,38

Hodnoty výšky a hrúbky uvedené ako minimum a maximum predstavujú najmenšiu a najväčšiu priemernú hodnotu zistenú na 10 kruhových plochách, hodnoty v zátvorkách sa týkajú jednotlivých stromov. Hodnoty priemeru, SE a CV uvedené v zátvorkách boli vypočítané z DBH a výšok jednotlivých stromov. / The values of height and diameter represent the minimum and maximum average determined from 10 circle plots. Numbers in brackets refers to the individual trees. The values of the diameter, the CV, and SE were calculated from DBH and height of individual trees.

### 3.2 Analýza svetelných pomerov v poraste

Všetky veličiny charakterizujúce relatívne osvetlenie majú signifikantne vyššie hodnoty na neoplotenej časti TVP (obr. 1). Na neoplotenej časti TVP bola zistená 2,5 násobne vyššia priemerná hodnota priameho žiarenia (6,31 Mol/m<sup>2</sup>day) v porovnaní s oplotenou plochou (2,52 Mol/m<sup>2</sup>day). Hodnoty difúzneho žiarenia sa medzi oplatenou a neoplotenou časťou odlišujú menej (0,83 Mol/m<sup>2</sup>day, resp. 0,54 Mol/m<sup>2</sup>day), napriek tomu aj tieto rozdiely boli signifikantné.

Použitím lomenej lineárnej regresie sme zistili pomerne tesnú závislosť medzi kruhovou základňou porastu a charakteristikami osvetlenia (obr. 2). Zistili sme, že pri hodnotách  $G$  nad 25 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> intenzita priameho a celkového osvetlenia klesá veľmi mierne resp. stagnuje. Pri difúznom osvetlení sa hraničná hodnota  $G$  presúva na cca. 30 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>. Pri znižovaní kruhovej základne pod vypočítanú hodnotu (breakpoint) sa intenzita relatívneho žiarenia zvyšuje pomerne rýchlo.

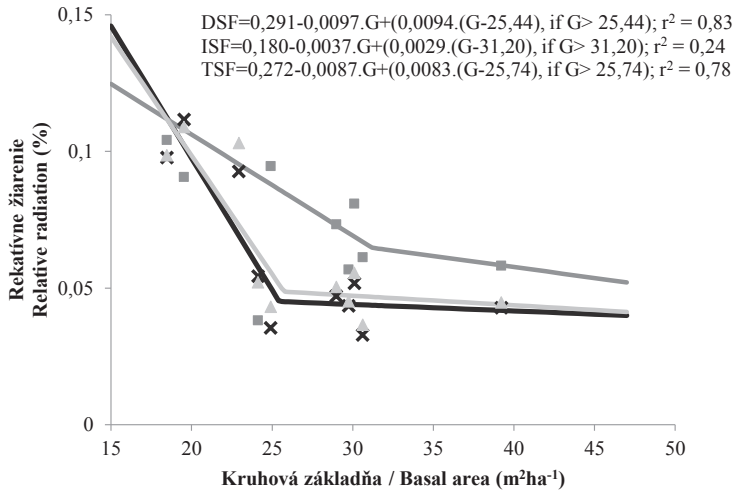


Obr. 1 Kvantifikácia svetelných pomerov v skúmanom poraste

Fig. 1 Quantification of light conditions in the experimental forest stand

DSF – priame slnečné žiarenie/direct radiation, ISF – difúzne slnečné žiarenie/indirect radiation, Total SF – celkové slnečné žiarenie/total radiation

<sup>1</sup> Relative radiation [%]; F – fenced part of permanent research plot; U – unfenced part of permanent research plot; Line – mean, Box – Mean±StdError, Whisker – Mean±StdDev.



Obr. 2 Metóda lomenej lineárnej regresie vyjadrujúca vzťah medzi kruhovou základňou a svetelnými podmienkami

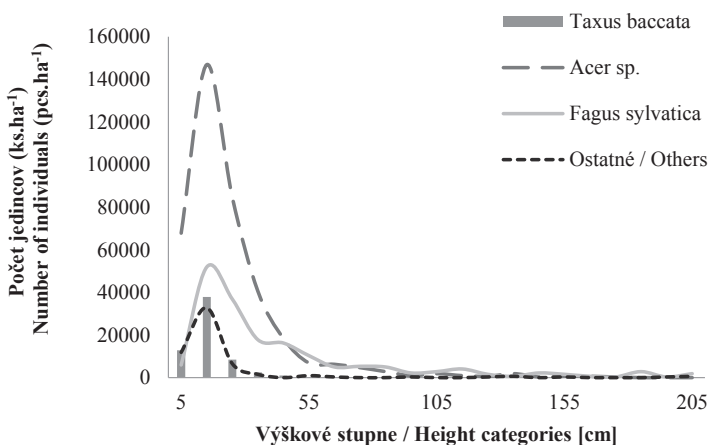
Fig. 2 Piecewise linear regression expressing the relationship between basal area and light conditions;

X – Direct site factor (priame žiarenie), ■ Indirect site factor (difúzne žiarenie), ▲ Total site factor (celkové žiarenie).

### 3.3 Štruktúra prirodzenej obnovy

Hustota dolnej etáže porastu je vysoká a dosahuje pri priemernej výške  $28,2 \pm 4,31$  cm počet  $68 \pm 18,6$  ks.m<sup>-2</sup>. Dominantné zastúpenie majú javory (*A. platanoides* L., *A. pseudoplatanus* L.), ktoré sa podieľajú na zastúpení 56,8%. Buk tvorí v dolnej etáži 25,7%, na ostatné dreviny (jedľa, smrek, jaseň) pripadá 8,3%. Frekvenčný polygón výškových početností všetkých drevín je ľavostranne asymetrický (obr. 3). Priemernú výšku nedosahuje 71,5% jedincov, ale 4,1% z celkového počtu jedincov presahuje výšku 1m. Najväčší rozdiel medzi priemerom a mediánom výšky sa zistil pri buku (44,1 vs 25,1 cm), pričom viac ako 10% bukov presahuje výšku 1 meter. Tis predstavuje 9,2% z celkového počtu jedincov dolnej etáže, ale je drevinou s najmenšou priemernou výškou a najmenším rozdielom priemernej a mediánovej výšky (15,8 vs. 14,8 cm).

Medzi intenzitou relatívneho osvetlenia a výškou následného porastu existuje síce slabá, ale významná pozitívna korelácia. Pri intenzite relatívneho osvetlenia do cca. 15% a úrovni PPFd do 5,5 mmol.m<sup>-2</sup>.day<sup>-1</sup> na rastúcu intenzitu osvetlenia najlepšie reaguje buk. S rastúcou intenzitou relatívneho osvetlenia sa zväčšuje rozdiel medzi bukom a javorom. Zaostávanie tisa za listnatými drevinami, ale aj za jedľou sa s pribúdajúcim osvetlením zväčšuje a dolná etáž tvorená predovšetkým prirodzenou obnovou listnáčov sa stáva konkurentom pomalšie odrastajúceho tisa. Korelácia priemernej výšky dolnej etáže (s vylúčením tisa) a priameho alebo globálneho relatívneho osvetlenia vysvetľuje približne 41–43% variability výšky; pri difúznom žiarení je to 24%.



Obr. 3 Početnosť jedincov prirodzenej obnovy po výškových stupňoch v oplotenej časti TVP

Fig. 3 Number of individuals of natural regeneration according to height categories in fenced part of permanent research plot

Oplotená plocha má významne vyššiu hustotu tisového zmladenia ( $p = 0,015$ ), ktoré je aj významne výškovo vyspelejšie ( $p < 0,01$ ) ako na neoplotenej ploche (tab. 2).

Po vylúčení vplyvu ohryzu na oplotenej ploche majú na výšku tisa vplyv predovšetkým intenzita relatívneho žiarenia, výška prirodzenej obnovy ostatných drevín – najmä buka a javorov a samotný vek tisu. Výška dolnej etáže bez tisa je pritom významne korelovaná s intenzitou relatívneho osvetlenia a táto vzájomná korelácia spôsobuje, že vplyv relatívneho osvetlenia na výšku tisa nie je významný.

Tab. 2 Hustota a výškové charakteristiky prirodzenej obnovy tisa obyčajného  
Tab. 2 Density and height characteristics of natural regeneration of *Taxus baccata* L.

		Oplotená časť Fenced part	Neoplotená časť Unfenced part
N	[ks.m <sup>2</sup> ]	6,24 ± 1,27	2,03 ± 0,28
Priemerná výška/Average height ± SE	[cm]	15,9 ± 0,53	7,2 ± 0,30
Medián výšky/Median of height (min a max)	[cm]	14,8 (11,4 – 18,8)	7,0 (5,5 – 8,6)
Extrémne hodnoty výšky/Extremes (min a max)	[cm]	3,5–48,8	2,5–12,7

Vek tisu, resp. čas (letopočet), kedy konkrétny jedinec vzíde, je dôležitý aj z hľadiska už existujúcich konkurenčných pomerov v dolnej vrstve. Najmä výška najmladších tisov je okrem ich vlastného veku silne ovplyvnená aj konkurenciou už etablovanej prirodzenej obnovy a tiež kvantitou iradiácie v porastovom vnútri. Na analýzu vplyvu uvedených ekologických faktorov a ich interakcií na výšku tisa sa použila viacnásobná regresná analýza so sumárnou resp. priemernou výškou prirodzenej obnovy a vekom ako nezávislými premennými (tab. 3). Potvrdilo sa, že vzťah výšky a veku je nelineárny v tvare  $y = a+x^b$  (BELLI & EK 1988) a vzťah výšky dolnej etáže a výšky tisa je v danom intervale hodnôt lineárny. Použitá regresná rovnica má tvar  $y = a+bx_1+x_2^c$ , kde  $x_1$  je výšková charakteristika druhej etáže vyjadrená buď ako priemer výšky alebo ako suma výšok všetkých jedincov a  $x_2$  je vek tisu. Podiel vysvetlenej variability je pomerne vysoký bez ohľadu na použitý parameter výšky následného porastu. Výška tisa je v oboch prípadoch významne pozitívne korelovaná s vekom. So sumou výšok ostatnej prirodzenej obnovy je výška tisa korelovaná slabo negatívne, t.j. so zvyšujúcou sa výškovou vyspelosťou prirodzenej obnovy sa výška tisa znižuje. Korelácia výšky tisa s priemernou výškou ostatnej obnovy je slabo pozitívna, avšak v priemernej výške obnovy nie je zohľadnená jej hustota.

Tab. 3 Parametre viacnásobnej regresie medzi výškou tisa, jeho vekom a výškou prirodzenej obnovy ostatných drevín dolnej etáže

Tab. 3 Parameters of multiple regression between height, age of European yew and height of other tree species of natural regeneration

	a	b	c	r <sup>2</sup>
Suma výšok DE	5,3106	-0,0705	1,4806	0,610
Priemer výšok DE	3,9218	0,0162	1,4715	0,609

$z = a + bx + y^c$ ; kde a – absolútny koeficient regresie, b – hodnota regresného koeficienta pre nezávislú premennú

a – regression coefficient, b – regression coefficient for independent variable

## 4 DISKUSIA

Fáza obnovy zmiešaných listnatých porastov v podrastovom hospodárskom spôsobe je kritická najmä pre klimaxové dreviny s úzkou ekologickou amplitúdou. Pre zachovanie ich drevinového zloženia sú dlhodobo používané obnovné postupy založené hlavne na clonnom rube a jeho modifikovaní z hľadiska veľkosti obnovných prvkov a dĺžky obnovnej doby (SMITH et al. 1997; MATTHEW 1989). Väčšina odporúčaní pre pestovateľskú prax však charakterizuje tempo znižovania hustoty korunovej klenby prostredníctvom zmien zakmenenia alebo kruhovej základne materského porastu (BURSCHEL & HUSS 1997; NYLAND 2002), hoci je známe, že vzťah týchto parametrov a osvetlenia v porastovom vnútri je zvyčajne iba voľný. Zistili sme, že neexistuje signifikantná korelácia medzi sumou horizontálnych korunových projekcií a kruhovou základňou porastu alebo počtom stromov materského porastu. Príčinu vidíme v rýchlej expanzii korún buka do priestoru uvoľneného po vyťažených stromoch z úrovne. Alokácia asimilátov do tvorby asimilačného aparátu a laterálnych prírastkov (a následne expanzie korún) má pri rastlinách prednosť pred tvorbou radiálneho prírastku (OLIVER & LARSON 1996). Podľa poznatkov z prírodných lesov si buk udržiava schopnosť expanzie korún aj vo vysokom veku (KORPEL 1992; KUCBEL et al. 2009) a veľký podiel malých porastových medzier je uzavretých práve bočným rastom korún. Výsledkom je, že po intenzívnych pestovateľských zásahoch v hornej vrstve sa denzita korunovej vrstvy príliš nezmení. Navyše, v prvej etape clonného rubu sa výber orientuje na stromy podúrovne s malými korunami, v dôsledku čoho viac klesá počet stromov ako suma korunových projekcií.

Znižovanie hustoty porastu ( $G$ ) po približne  $25 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  nespôsobuje významný nárast osvetlenia (obr. 2). Ďalším znižovaním hustoty pod breakpoint hodnotu  $G$  sa vytvárajú trvalé medzery v korunovej klenbe, čo sa prejavilo v našom prípade rýchlym nárastom relatívneho osvetlenia aj pri malej zmene zápoja hornej vrstvy. Zníženie kruhovej základne z pôvodných  $40 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  na hodnotu  $25 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  znamená zvýšenie TSF o necelé 2 %, ale zmenou  $G$  z 25 na  $15 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  stúpne hodnota TSF dvojnásobne. LÜPKE (1982) uvádza, že úroveň relatívneho žiarenia v 150 ročnom zmiešanom dubovo-bukovom poraste sa pri kruhovej základni  $23 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  dosahuje 8–12 %. Aj v našom prípade sú pri takejto kruhovej základni dosiahnuté veľmi podobné hodnoty zložiek relatívneho osvetlenia ako aj TSF. Hladina relatívneho osvetlenia však v priebehu obnovnej doby klesá v prípade, že sa do porastu dlhšiu dobu nezasahuje ďalšími rubmi. Predpokladáme, že takýto priebeh má aj relatívne osvetlenie v našom prípade a pokles úrovne relatívneho osvetlenia by podľa AMMERA (1996) mal byť rýchlejší v častiach porastu s nižším zakmenením. Zmena svetelných podmienok však znamená aj zmenu miery poškodenia následnej generácie porastu ohryzom. AMMER et al. (2010) uvádzajú, že rozsah viditeľného poškodenia porastu ohryzom je vždy vyšší na plochách s vyššou intenzitou osvetlenia. V našom prípade sa zistilo masívne poškodenie všetkých druhov drevín a zároveň aj vyššia intenzita relatívneho osvetlenia v neoplotenej časti plochy. Kauzalita poškodenia a osvetlenia nie je ale celkom jednoznačná. Aj pri dôslednom výbere a umiestnení meracích (snímkovacích) bodov v oplotenej ploche dochádza k ovplyvneniu relatívneho osvetlenia vyššími jedincami aj keď stoja v pomerne veľkej vzdialenosti. Je známe, že aj vzdialené objekty ako sú poras-

tové medzery alebo porastové okraje môžu významne pozitívne resp. negatívne ovplyvniť kvantitu dopadajúceho žiarenia (NYLAND 2002; RÖHRIG et al. 2006). Pri intenzite ohryzu, ktorý sme pozorovali je naopak vylúčené, aby jedince prirodzenej obnovy presiahli výšku snímkovania na neoplotenej ploche aj z toho dôvodu, že podľa údajov AMMERA et al. (2010) sú najviac poškodzované práve jedince prirodzenej obnovy s najväčším výškovým prírastkom. Pri používaní obnovných postupov s dlhou obnovnou dobou, ktoré vyhovujú najmä extrémne tienym drevinám (jedľa, tis) má poškodzovanie zverou najvitalnejších jedincov fatálne dôsledky pre zachovanie daného druhu dreviny.

Optimálne svetelné podmienky sú kľúčovým faktorom pre vývoj a rastové procesy následnej generácie tisa. Je veľmi náročné určiť optimálnu mieru svetelných podmienok, pretože tis reaguje na zmenu radiácie vo vnútri porastu pomerne citlivo. SANIGA (2000) vo svojej štúdií zistil, že napriek vysokej tieň znášanlivosti *Taxus baccata* L., redukcia okolitých jedincov (najmä *Fagus sylvatica* L. a *Picea abies* [L.] Karst.) na úrovni 18–20 % z objemu porastu zlepšuje výškový rast tisa, zatiaľ čo redukcia zásoby o 7–8 % sa na raste tisa nijako neprejaví (obr. 3). Populácia tisa v Dánsku je jedna z mála, ktorá preukazuje pozitívny vývoj a na rozdiel od iných krajín sa zastúpenie tisa zvyšuje (SVENNING & MAGÅRD 1999). Tento jav je výsledkom systematického obhospodarovania porastov s výskytom tisa spočívajúceho predovšetkým v selektívnom výbere veľkých rozvetvených jedincov *Fagus sylvatica* L. za účelom zlepšenia dostupnosti svetla cez vznikajúce medzery v korunovej klenbe. NIEMCZYK et al. (2015) vo svojej štúdií uvádzajú, že adekvátny výškový prírastok a vývoj prirodzenej obnovy tisa nastáva pri vhodných svetelných podmienkach v blízkosti prízemnej vrstvy, ktoré je možné zachovať pri úrovni otvorenosti zápoja približne 30%. Akákoľvek výrazne nižšia hodnota otvorenosti zápoja tzv. canopy openness, spôsobuje spomalenie rastu najmladších semenáčikov a tým sa predlžuje obdobie priamej konkurencie tisa s ostatnými drevinami dolnej etáže (ISZKUŁO & BORATYŃSKI 2004; NIEMCZYK et al. 2015). Naše výsledky poukazujú, že svetelné podmienky v prízemnej vrstve nie sú jediné rozhodujúce pre vývoj prirodzenej obnovy tisa, pretože pre tis je problematické presadiť sa v konkurencii ostatných drevín. Napriek nižšej hodnote relatívneho osvetlenia a konkurencii zmladenia ostatných drevín je výskyt/počet prirodzeného zmladenia tisa výrazne hojnejší ako mimo oplôtku. Výskyt vyššieho počtu semenáčikov v podmienkach tieňa môže byť vysvetlený aj nepriamym pozitívnym prospešným efektom korunového zápoja. Semenáčiky konkurujú s vegetáciou v boji o živiny, zatiaľ čo dospelé jedince konkurujú so semenáčikmi a ostatnou vegetáciou o svetlo. Dospelé jedince môžu nepriamo napomáhať rastu semenáčikom, pretože negatívny vplyv tienenia clonou jednotlivých korún je menší ako pozitívny vplyv zvyšovania dostupnosti živín napr. pôdných živín (LEVINE 1999). Podobne ako pri výskume v Poľsku (ISZKUŁO et al. 2014) aj v našej štúdií sme zistili, že napriek silnému vplyvu svetelných podmienok na výskyt a prežitie semenáčikov, tieto podmienky nemajú významný efekt na výšku jedincov tisa. Na rozdiel od ostatných drevín prirodzenej obnovy, ktorých výška významne reaguje na priaznivé svetelné pomery (AMMER et al. 2008).

K vzájomnej interakcii výškového rastu tisa a svetelných pomerov však neodmysliteľne patrí aj faktor zveri. FARRIS & FILIGHEDDU (2008) vo svojej štúdií potvrdili, že na stanovištiach, ktoré nepodliehajú škodlivým následkom ohryzu zverou je významný podiel

starších semenáčikov resp. dorast, schopný rásť na všetkých zatielených stanovištiach rôznej intenzity. Zároveň vyslovili návrh, že z hľadiska zachovania tisa je dôležité dodržiavať rozličnú kvalitatívnu a kvantitatívnu skladbu priestorovej distribúcie semenáčikov resp. staršieho dorastu tisa obyčajného v spásaných a nespásaných oblastiach.

## 5 ZÁVER

Z výsledkov obhospodarovaných lesov na Slovensku aj v zahraničí vyplývajú pozitívne rastové prejavy dospelých jedincov, ale aj prirodzenej obnovy tisa obyčajného. Napriek tomu, že tis patrí medzi tienne dreviny, dokáže pohotovo reagovať na priaznivé svetelné pomery formované prostredníctvom optimálnych pestovateľských opatrení. Práve reguláciou svetelných podmienok v porastovom vnútri dokážeme zabezpečiť priaznivé ekologické podmienky pre rast, vitalitu a plodnosť jedincov tisa obyčajného, ktoré sú základným predpokladom pre existenciu daného druhu. Hoci sa tis nachádza prevažne v hospodárskych lesoch, ktorých prioritou je funkcia produkčná, je potrebné, aby sme v takýchto zmiešaných porastoch s výskytom vzácnej a ohrozenej dreviny dbali na zachovanie druhu a usmerňovali pestovné opatrenia v jeho prospech.

Aktívna ochrana tisa, t.j. ochrana založená na manažmente lesného ekosystému sa ukazuje ako vhodné východisko pre zachovanie tisa v jeho pôvodnom prostredí. V rámci pestovného usmerňovania porastov s výskytom tisa je možné využiť obhospodarovanie porastov podľa princípu prirodzenej dynamiky, ktorý spočíva v ponechaní rovnakej možnosti všetkým zmladzujúcim sa drevinám dostať sa do úrovňového postavenia a presadiť sa v ďalšom vývoji. Prvou podmienkou je však vylúčenie negatívneho vplyvu ohryzu. Spolu s realizáciou technických opatrení ako sú oplocovanie alebo aplikácia repelentov, ktorými sa obmedzí vplyv zveri sa musí uskutočniť aktívne zasahovanie do následnej generácie porastu už v jej iniciálnej fáze. Vzhľadom na pomalý výškový rast tisa sa ukazuje, že úpravu konkurenčných vzťahov je potrebné urobiť už v čase, kým priemerná výška zmladenia ostatných drevín dolnej etáže, dosiahne 1 meter. Také pestovateľské opatrenie by zaistilo priaznivejšie podmienky pre úspešnú obnovu tisa z pohľadu vytvorenia lepšej pozície presadiť sa v konkurencii prirodzenej obnovy ostatných drevín.

## 6 Literatúra

- AMMER, C., 1996. Impact of ungulates on structure and dynamics of natural regeneration of mixed mountain forests in the Bavarian Alps. *For. Ecol. Manage.* 88, 43–53. doi:10.1016/S0378-1127(96)03808-X
- AMMER, C., STIMM, B., MOSANDL, R., 2008. Ontogenetic variation in the relative influence of light and belowground resources on European beech seedling growth. *Tree Physiol.* 28, 721–728. doi:10.1093/treephys/28.5.721
- AMMER, C., VOR, T., KNOKE, T., WAGNER, S., 2010. Der Wald-Wild-Konflikt. Analyse und Lösungsansätze vor dem Hintergrund rechtlicher, ökologischer und ökonomischer Zusammenhänge. Universitätsverlag Göttingen, Göttingen.
- BELLI, K.I., EK, A.K., 1988. Growth and survival modeling for planted conifers in the Great Lakes region. *For. Sci.* 34, 458–473.



- BENČAĽ, T., 2009. Dendrológia a ekológia drevín. Vydavateľstvo: Janka Čižmárová – PARTNER, Poniky, Zvolen.
- BURSHEL, P., HUSS, J., 1997. Grundriss des Waldbaus: Ein Leitfaden für Studium und Praxis, 3. unverän. ed. Parey, Berlin.
- CEDRO, A., ISZKUŁO, G., 2011. Do Females Differ from Males of European Yew (*Taxus baccata* L.) in Dendrochronological Analysis? *Tree-Ring Res.* 67, 3–11. doi:10.3959/2009-9.1
- DHAR, A., RUPRECHT, H., KLUMPP, R., VACIK, H., 2007. Comparison of ecological condition and conservation status of English yew population in two Austrian gene conservation forests. *J. For. Res.* 18, 181–186. doi:10.1007/s11676-007-0037-5
- FARRIS, E., FILIGHEDDU, R., 2008. Effects of browsing in relation to vegetation cover on common yew (*Taxus baccata* L.) recruitment in Mediterranean environments. *Plant Ecol.* 199, 309–318. doi:10.1007/s11258-008-9434-x
- HULME, P.E., 1996. Natural regeneration of yew (*Taxus baccata* L.): microsite, seed or herbivore limitation? *J. Ecol.* 84, 853–861.
- ISZKUŁO, G., BORATYŃSKI, A., 2006. Analysis of the relationship between photosynthetic photon flux density and natural *Taxus baccata* seedlings occurrence. *Acta Oecologica* 29, 78–84. doi:10.1016/j.actao.2005.08.001
- ISZKUŁO, G., BORATYŃSKI, A., 2004. Interaction between canopy tree species and european yew. *Polish J. Ecol.* 52, 523–531.
- ISZKUŁO, G., LEWANDOWSKI, A., JASIŃSKA, A.K., DERING, M., 2007. Light Limitation of Growth in 10-Year-Old Seedlings of *Taxus Baccata* L. (European Yew). *Polish J. Ecol.* 55, 827–831.
- ISZKUŁO, G., NOWAK-DYJETA, K., SEKIEWICZ, M., 2014. Influence of initial light intensity and deer browsing on *Taxus baccata* saplings: A six years field study. *Dendrobiology* 71, 93–99. doi:10.12657/denbio.071.009
- JAĎUB, J., SANIGA, M., 2013. Vplyv svetelných a pôdnych pomerov na výškový rast jedle bielej (*Abies Alba* Mill.) v dolnej vrstve výberkových lesov. *ZPRÁVY Lesn. VÝZKUMU* 58, 206–212.
- KORPEL, Š., 1995. Význam tisu v lesných ekosystémoch Slovenska a možnosti zlepšenia jeho stavu, SAŽP. ed. Banská Bystrica.
- KORPEL, Š., 1992. Ergebnisse der Urwaldforschung für die Waldwirtschaft im Buchen-Ökosystem. *Allg. Forstzeitschrift* 1148–1152.
- KUCBEL, S., VENCURIK, J., JALOVIAR, P., BEREŠÍK, A., 2009. Radial growth dynamics of Norway spruce in Kysucké Beskydy Mts. *Beskydy* 2, 141–147. doi:1803-2451
- LEVINE, J.M., 1999. Indirect facilitation: Evidence and predictions from a riparian community. *Ecology* 80, 1762–1769. doi:10.2307/176566
- LÜPKE, B., 1982. Versuche zur Einbringung von Lärche und Eiche in Buchenbestände. Sauerländer, Göttingen.
- MATTHEW, J.D., 1989. *Silvicultural systems*, Reprinted. ed. Oxford University Press, New York.
- NIEMCZYK, M., ŽÓLČIAK, A., WRZESIŃSKI, P., 2015. The influence of stand canopy openness on the growth of common yew (*Taxus baccata* L.). *For. Res. Pap.* 76, 42–48. doi:10.1515/frp-2015-0004
- NYLAND, R.D., 2002. *Silviculture*, second edi. ed. Waveland Press Inc., Long Grove, Illinois.
- OLIVER, C.D., LARSON, B.C., 1996. *Forest stand dynamics*, Updated Ed. ed. Wiley.
- PAGAN, J., 1999. *Lesnícka dendrológia*. Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen.
- RÖHRIG, E., BARTSCH, N., LÜPKE, B., 2006. *Waldbau auf ökologischer Grundlage*, 7. Auflage. ed. UTB Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- SANIGA, M., 2000. Štruktúra, produkčné a regeneračné procesy tisa obyčajného v štátnej prírodnej rezervácii Plavno. *J. For. Sci.* 46, 76–90.
- SANIGA, M., JALOVIAR, P., 2005. Einfluss der Naturprozesse, waldbaulicher Massnahmen und Schutzmassnahmen auf die Erhaltung der Eibe im Naturreservat Pavelcovo, Slowakei. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwes.* 156, 487–495.
- SEIDLING, W., 1999. Raumlische Struktur einer subspontanen Population von *Taxus baccata*-Jungpflanzen. *Flora* 194, 439–451.
- SMITH, D.M., LARSON, B.C., KELTY, M.J., ASHTON, P.M.S., 1997. *The Practice of Silviculture: Applied Forest Ecology*, 9th editio. ed. Wiley, Inc.
- SVENNING, J.C., MAGÅRD, E., 1999. Population ecology and conservation status of the last natural population of English yew *Taxus baccata* in Denmark. *Biol. Conserv.* 88, 173–182. doi:10.1016/S0006-3207(98)00106-2
- SZWAGRZYK, J., SZEWCZYK, J., BODZIARCZYK, J., 2001. Dynamics of seedling banks in beech forest: Results of a 10-year study on germination, growth and survival. *For. Ecol. Manage.* 141, 237–250. doi:10.1016/S0378-1127(00)00332-7

- ŠOLTÝS, A., KLÍČ, V., KUNŠTÁROVÁ, V., LUKÁČIK, I., 2010. Založení trvalých výskumných plôch s výskytom *Taxus baccata* L. v Kamienskej tisine ( Pieniny ). Pieniny – Prizr. i Człowiek 11, 45–54.
- THOMAS, P.A., GARCIA-MARTÍ, X., 2015. Response of European yews to climate change : a review Yew: a Tree under Threat 24, 1–11. doi:10.5424/fs/2015243-07465
- THOMAS, P.A., POLWART, A., 2003. *Taxus baccata* L. J. Ecol. 91, 489–524. doi:10.1046/j.1365-2745.2003.00783.x
- WENDT, F., 2015. Erfahrungen und Empfehlungen aus langjährigen Eiben-Anbau. Der Eibenfreund 20, 46–55. r Eibenfreund 20, 46–55.

Príspevok vznikol v rámci riešenia vedeckého projektu APVV 14-0014 s názvom „Štruktúrna diverzita, disturbančný režim a sukcesný vývoj vybraných bukových a zmiešaných pralesov a výskum zachovania tisu obyčajného (*Taxus baccata* L.) v bukových ekosystémoch Slovenska“.

---

Adresa autorov:

Ing. Mariana Kýpet'ová

doc. Ing. Peter Jaloviar, PhD.

Katedra pestovania lesa

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24

960 53 Zvolen

Slovenská republika

e-mail: mariana.kypetova@tuzvo.sk

e-mail: jaloviar@tuzvo.sk

### **The influence of light conditions on growth and development of natural regeneration of European yew (*Taxus baccata* L.) in managed forest stand at the regeneration stage.**

#### **Summary**

At the present time, the issue of maintenance of *Taxus baccata* L. in forest ecosystems is a popular topic in several countries. The research and studies are rarely oriented on growth reactions respectively the success of natural regeneration in managed forests. In this paper, we try to describe the light conditions of the forest stand with the occurrence of European yew, that is actually formed by small-area shelterwood cutting. The objective of this paper is the identification of the main ecological effects, which determine the success of natural regeneration and the quantification of their influence. The results of the research confirm that there is a positive significant influence of the relative radiation on the occurrence of European yew seedlings. The problematic issue for these juveniles is to succeed in the competition with other tree species of natural regeneration. In spite of that, we observed the high attractivity of selective deer browsing of *Taxus baccata* L. The experimental results ascertain the fact that active protection of European yew based on forest management is considered to be the appropriate source for maintenance of this noble species in native ecosystems. The first condition is excluding the negative factor of deer browsing. Considering the slow height growth of *Taxus baccata* L., it is important to realize an active silvicultural treatments to underwood layer in the initial phase, thereby the competitive relationship would be formed in favor of *Taxus baccata* L.

## VPLYV SUBSTRÁTU A INOKULÁCIE EKTOMYKORÍZNymi HUBAMI NA VÝVOJ VOĽNOKOREN- NÝCH SEMENÁČIKOV SMREKA OBYČAJNÉHO (*PICEA ABIES* [L.] KARST.)

Matúš S E N D E C K Ý

**Sendecký, M.: Vplyv substrátu a inokulácie ektomykoríznymi hubami na vývoj voľnokorenných semenáčikov smreka obyčajného (*Picea abies* [L.] Karst.). Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, 58/1 2016, 47 – 58.**

Predložená práca sa zaoberá testovaním vplyvu rastového substrátu a mykorrhizácie na vývoj voľnokorenných semenáčikov smreka obyčajného (*Picea abies* [L.] Karst.). Semenáčiky smreka obyčajného boli pestované v skleníku v troch rozdielnych substrátoch (rašelina, rašelina + perlit 2:1 a 1:1) inokulované komerčným ektomykoríznym (EKM) prípravkom Ectovit a mycéliovým granulovým inokulom EKM húb. Variantmi experimentu boli aj granule bez mycélia a kontrola (neinokulovaný substrát). Rast semenáčikov, výskyt ektomykoríz a obsah živín v asimilačných orgánoch boli hodnotené po dvoch vegetačných obdobiach. Dáta boli analyzované dvojfaktorovou analýzou variancie. Po prvom vegetačnom období mali semenáčiky pestované v substráte inokulovanom mycéliovým granulovým inokulom významne vyššiu hmotnosť nadzemnej časti ako v kontrole a zároveň vyššiu celkovú hmotnosť než v substráte s Ectovitom. Po druhom vegetačnom období substrát ani inokulácia nemali štatisticky významný vplyv na rast semenáčikov. Zistený bol mierny účinok inokulácie na tvorbu EKM morfortypov, celkový rozsah ektomykoríz a počet krátkych korenkov. Obsah základných živín v ihliciach semenáčikov bol vo všetkých variantoch dostatočný, pričom semenáčiky pestované v rašeline obsahovali väčšie množstvo fosforu a draslíka než v ostatných dvoch substrátoch.

**Kľúčové slová:** rastový substrát, mykorrhizácia, smrek obyčajný, voľnokorenné semenáčiky

### 1. ÚVOD A CIEĽ

Lesy na Slovensku majú pomerne pestré drevinové zloženie, v ktorom najvyššie zastúpenie z ihličnatých drevín má smrek obyčajný (23,7%). V roku 2014 bola obnova lesa vykonaná na celkovej ploche 15 934 ha, z toho na umelú obnovu pripadlo 10 751 ha, čo predstavuje zhruba 67,5 % podiel (ZELENÁ SPRÁVA 2015). Na zabezpečenie vysokého podielu umelej obnovy je predovšetkým potrebné dopestovanie kvalitného sadbového materiálu požadovaného drevinového zloženia. Kvalita má význam nielen pri obnove poškodených porastov, ale vzhľadom na meniace sa klimatické podmienky stále viac aj pri výsadbe na plochy s relatívne priaznivými podmienkami prostredia (REPÁČ *et al.* 2013). Jedným z ukazovateľov fyziologickej kvality sadenic je mykorrhizná symbióza, ktorá je prirodzenou vlastnosťou našich najvýznamnejších drevín a za určitých okolností môže napomáhať procesu rhizogenézy, príjmu vody a živín, chrániť dreviny proti patogénom

a extrémom prostredia (REPÁČ 2000, GRYNDLER *et al.* 2004). MykORIZÁCIU sadbového materiálu účinnými druhmi ektomykorizných húb v lesných škôlkach alebo pri výsadbe bola v zahraničí dosiahnutá zvýšená úspešnosť zalesňovania plôch s nepriaznivými podmienkami prostredia (MARX 1991, CASTELLANO 1996, KOWALSKI 2007). Testovaním účinkov umelej mykORIZÁCIE substrátu pri pestovaní semenáčikov smreka obyčajného a zakoreňovaní odrezkov smreka laboratórne pripraveným mycéliovým inokulom EKM húb sa na Slovensku zaoberali REPÁČ (1996, 2012), GÁPER *et al.* (1999) a REPÁČ *et al.* (2011).

Na rast semenáčikov, množstvo a zloženie ektomykoriz môže takisto významne vplývať aj typ použitého substrátu (TAMMI *et al.* 2001, REPÁČ 2007, RINCÓN *et al.* 2007). Vývoj ektomykoriz semenáčikov súvisí predovšetkým s hnojením, obsahom organického materiálu, mikrobiologickou aktivitou a pH substrátu (KROPP, LANGLOIS 1990). Účinok substrátu a režimu hnojenia na rastové charakteristiky a vývoj mykoriz obalovaných sadeníc smreka obyčajného skúmal VAARIO *et al.* (2009). Z biologického, ekonomického i praktického hľadiska je výhodná aplikácia užitočných mikroorganizmov pri pestovaní sadbového materiálu v lesnej škôlke, kde by mohli nahradiť použitie klasických fungicídov, po výsadbe zabezpečiť lepšiu adaptabilitu a rast lesných kultúr (REPÁČ 2012).

Cieľom práce je posúdiť vplyv rastového substrátu, komerčného hubového prípravku (Ectovit) a mycéliového granulového inokula vybraných EKM húb na rast koreňovej sústavy a nadzemnej časti, výskyt ektomykoriz a obsah základných živín v asimilačnom aparáte voľnokorenných semenáčikov smreka obyčajného (*Picea abies* [L.] Karst.).

## 2. MATERIÁL A METODIKA

### 2.1 Základná charakteristika a usporiadanie pokusu

Experiment bol založený v skleníku na pozemku Technickej univerzity vo Zvolene, ktorý je umiestnený v nadmorskej výške 293 m.n.m. Semenáčiky boli pestované v troch substrátoch, inokulovaných EKM prípravkom Ectovit a mycéliovým granulovým inokulom (pripravené v laboratóriu Katedry pestovania lesa TU). Variantmi experimentu boli aj granule neobsahujúce mycélium a kontrola (substrát bez aplikácie inokula alebo granúl). Rastovým substrátom bola vrchovisková rašelina (BORA Bobrov, SR) a zmes rašeliny s perlitom v objemovom pomere 2:1 a 1:1. Rašelina BORA je pre účely pestovania semenáčikov lesných drevín producentom obohatená o vermikulit, zeolit, bentonit, zeolický vápenec a NPK (14%, 16%, 18%). Experiment bol usporiadaný ako dvojfaktorový v znáhodnených blokoch, obsahoval 12 kombinácií substrátu (3) a inokulácie (4) v troch opakovaniach (blokoch). Pre pestovanie voľnokorenných semenáčikov bolo celkovo použitých 36 PVC debničiek s rozmermi 56 ´ 36 ´ 20 cm (0,20 m<sup>2</sup>).

## 2.2 Použité biologické prípravky, inokulácia, výsev, pestovanie semenáčikov

Ectovit (Symbiom s.r.o., Lanškroun, Česká republika) je prírodný mykorrhízny biopreparát na báze ektomykorrhíznych húb, ktorý zlepšuje rast rastlín. Zloženie prípravku je tvorené z dvoch hlavných častí. Prvú časť tvorí suchá zložka (zmes perlitu a rašeliny) obsahujúca spóry ektomykorrhíznych húb *Scleroderma* spp. a *Pisolithus* spp., zatiaľ čo druhú časť tvorí tekuté médium obsahujúce mycélium ďalších štyroch ektomykorrhíznych húb (*Cenococcum geophilum*, *Hebeloma velutipes*, *Laccaria proxima* a *Paxillus involutus*). Ectovit bol aplikovaný vo forme kašovitej zmesi, ktorá bola pripravená zmiešaním suchej zložky, hubového mycélia a primeraného množstva vody. Prípravok obsahujúci 650 ml mycélia.m<sup>-2</sup> substrátu bol zmiešaný s primeraným množstvom vody a v gélovej (kašovitej) forme premiešaný s vrchnou 10 cm vrstvou substrátu v objemovom pomere 1:7.

Mycéliové granulové inokulum EKM húb (*Cenococcum geophilum*, *Cortinarius* sp. *Laccaria proxima*, *Tricholoma sejunctum*) bolo pripravené podľa KROPÁČKA a CUDLÍNA (1989). Základné kroky výroby inokula sú pestovanie mycélia v tekutom živnom médiu na trepačke, premytie, homogenizácia mycélia, príprava pasty obsahujúcej mycélium (zmes 2 % vodnej suspenzie *Agricola*, nosiča agropelitu a mycélia), odkvapkávanie pasty cez sito a tvorba granúl v 5 % roztoku chloridu vápenatého, premývanie a sušenie granúl. Tzv. čisté kultúry použitých EKM húb boli získané izoláciou z dužiny plodníc a udržiavané na Katedre pestovania lesa Technickej univerzity vo Zvolene. Základné údaje sú uvedené v tab. 1. Mycéliové granulové inokulum bolo do nádob aplikované celoplošne v tenkej vrstve, asi 3 cm pod povrch substrátu, v množstve 2,5 litra granúl.m<sup>-2</sup> (34,9 g sušiny mycélia.m<sup>-2</sup>).

Tab. 1 Charakteristika čistých kultúr ektomykorrhíznych húb použitých pri inokulácii voľnokorených semenáčikov smreka obyčajného

Tab. 1 Characteristics of pure cultures of ectomycorrhizal fungi used for inoculation of bareroot Norway spruce

Huba <sup>1</sup>	Označenie Izolátu <sup>2</sup>	Miesto zberu plodnice <sup>3</sup>	Izolácia pletív <sup>4</sup>	
			Dátum <sup>5</sup>	Médium <sup>6</sup>
<i>Cenococcum geophilum</i>	SYM100	Získané od Symbiom, ČR	2010	
<i>Cortinarius</i> sp., Pavučinovec	TUZ115	Kováčová, 300 m n.m.	1994	MMN
<i>Laccaria proxima</i> (Boud.) Pat., Lakovka veľká	SYM102	Získané od Symbiom, ČR	2011	
<i>Tricholoma sejunctum</i> (Sow.:Fr.) Quél., Čírovka zelenohnedastá	TUZ182	Kováčová, 300 m n. m.	1995	BAF

<sup>1</sup>)Fungus, <sup>2</sup>)Isolate designation, <sup>3</sup>)Place of fruitbody collection, <sup>4</sup>)Tissue isolation, <sup>5</sup>)Date, <sup>6</sup>)Medium

Aplikácia biologických prípravkov a výsev semien bol vykonaný v jari 2014. Na výsev bolo použité semeno smreka obyčajného v dávke 10,5 g.m<sup>-2</sup>, ktoré bolo následne zasy-

pané tenkou vrstvou zmesi rašeliny a perlitu. Substráty boli po celý čas trvania experimentu pravidelne podľa potreby zavlažované a pleté, semenáčky potrebnú dobu ošetrované preventívnymi fungicídnymi postrekmi. Semenáčky neboli hnojené, aby boli vytvorené podmienky pre prejav potenciálnych účinkov EKM húb.

### **2.3 Odber vzoriek semenáčikov, zisťovanie ich parametrov a spracovanie**

Po skončení vegetačného obdobia (november 2014, 2015) bolo z každej zo zmiených kombinácií sledovaných účinkov a každého bloku náhodne odobratých 15 semenáčikov (spolu 540 ks) na hodnotenie biometrických znakov. Semenáčky boli odobraté tak aby nedošlo k poškodeniu koreňovej sústavy, očistené od hrubých nečistôt, vložené do mikroténových vreciek a uskladnené do hodnotenia v chladničke.

Pred vyhodnocovaním bol substrát z korieňov starostlivo zmytý pod tečúcou vodou. Na semenáčikoch bola zisťovaná výška stonky, hrúbka koreňového krčka, hmotnosť sušiny nadzemnej a koreňovej časti po sušení 48 hod pri teplote 80 °C v sušiarňi. Z hmotností bola vypočítaná celková hmotnosť semenáčka a pomer hmotností korieňov a nadzemnej časti. Počet krátkych korieňov a rozsah ektomykoríz bol hodnotený vizuálne pomocou binokulárnej lupy, pri zväčšení 10-25x, na piatich semenáčikoch z každej kombinácie a bloku (celkovo 180 ks). Hodnotenie prebiehalo na koreňovej sústave náhodne vybraných kusoch hlavných korieňov celkovej dĺžky približne asi 20 cm. Ektomykorízy sme zatriedovali na základe morfológie (vetvenie, tvar, farba, dĺžka a hrúbka, mycélium) do jednotlivých vybraných morfotypov. Rozlíšili sme 6 EKM morfotypov. Všeobecným znakom ektomykoríz bolo, že boli skrátene, mierne zhrubnuté, rôzne vetvené a bez koreňových vláskov, ktoré sú typické pre nemykorízne korieňky. Chemická analýza substrátov a asimilačných orgánov bola robená v laboratóriu Národného lesníckeho centra vo Zvolene.

Biometrické charakteristiky a rozsah mykoríz boli analyzované dvojfaktorovou analýzou rozptylu. Pre posúdenie významnosti rozdielov priemerných hodnôt sledovaných znakov medzi jednotlivými variantmi sa použil Tukeyov test ( $p \leq 0,05$ ). Analýza bola urobená na PC v štatistickom programe SAS.

## **3. VÝSLEDKY A DISKUSIA**

### **3.1 Rast semenáčikov smreka obyčajného**

Analýza biometrických charakteristík po 1. roku ukázala významný vplyv hubovej inokulácie na niektoré biometrické znaky, vplyv rastového substrátu, ani interakcie substrátu a inokulácie neboli významné. Semenáčky pestované v substráte inokulovanom mycéliovým granulovým inokulom EKM húb dosiahli významne ( $P \leq 0,05$ ) väčšiu hmotnosť nadzemnej časti (NČ) a celkovej hmotnosti (tab. 2). Hmotnosť nadzemnej časti semenáčikov bola o 48 % väčšia ako pri Ectovite a 28 % ako pri kontrolnom variante. Štúdie viacerých autorov ukázali, že substrát a inokulácia EKM hubami významne ovplyvnili

hmotnosť NČ, koreňovej sústavy (KS) a tým vzájomný pomer KS/NČ v semenáčikoch smreka (REPÁČ 1996, BRUNNER a BRODBECK 2001, FLYKT *et al.* 2008).

Tab. 2 Rastové ukazovatele (priemerné hodnoty  $\pm$  smerodajné odchýlky) jednorokých voľnokorenných semenáčikov smreka obyčajného

Tab. 2 Growth characteristics (mean values  $\pm$  standard deviations) of one-year-old bareroot Norway spruce seedlings

Variant <sup>1</sup>	Výška <sup>2</sup> stonky (cm)	Hmotnosť <sup>3</sup> nadzemnej časti v sušine (mg)	Hmotnosť <sup>4</sup> ko- reňovej sústavy v sušine (mg)	Hmotnosť <sup>5</sup> sušiny spolu (mg)	Pomer <sup>6</sup> hmotnosti KS/ NČ
Substrát / Substrate					
Rašelina <sup>7</sup>	4,04 $\pm$ 0,78	36,75 $\pm$ 25,44	20,33 $\pm$ 8,65	57,08 $\pm$ 28,16	0,72 $\pm$ 0,60
R + P <sup>8</sup> 2:1	3,92 $\pm$ 0,81	37,97 $\pm$ 16,55	24,15 $\pm$ 26,89	62,13 $\pm$ 34,71	0,67 $\pm$ 0,64
R + P 1:1	3,89 $\pm$ 0,81	34,25 $\pm$ 14,16	19,40 $\pm$ 7,59	53,65 $\pm$ 20,30	0,61 $\pm$ 0,40
Inokulácia / Inoculation					
Ectovit	3,88 $\pm$ 0,76	29,08 $\pm$ 13,65c <sup>12</sup>	20,16 $\pm$ 8,65	49,24 $\pm$ 18,44b	0,85 $\pm$ 0,65
Huba <sup>9</sup>	3,99 $\pm$ 0,82	43,07 $\pm$ 27,02a	23,87 $\pm$ 8,29	66,93 $\pm$ 30,27a	0,64 $\pm$ 0,46
Granule <sup>10</sup>	4,07 $\pm$ 0,91	39,37 $\pm$ 16,81ab	20,08 $\pm$ 7,56	59,45 $\pm$ 22,27ab	0,54 $\pm$ 0,19
Kontrola <sup>11</sup>	3,87 $\pm$ 0,72	33,78 $\pm$ 13,93bc	21,08 $\pm$ 30,82	54,86 $\pm$ 36,80ab	0,63 $\pm$ 0,75

<sup>1</sup>)Treatment, <sup>2</sup>)Stem height, <sup>3</sup>)Shoot dry weight, <sup>4</sup>)Root dry weight, <sup>5</sup>)Total dry weight, <sup>6</sup>)Root/Shoot dry weight, <sup>7</sup>)Peat, <sup>8</sup>)Peat+Perlit, <sup>9</sup>)Fungus, <sup>10</sup>)Beads, <sup>11</sup>)Control, <sup>12</sup>)Medzi priemernými hodnotami označenými rôznym písmenom je významný rozdiel ( $P \leq 0,05$ ) podľa Tukeya. Means sharing the different letter are significantly different ( $P \leq 0,05$ ) by Tukey

Po 2. roku rastový substrát ani inokulácia nemali významný vplyv na rast semenáčikov smreka (tab. 3). Hoci nie významne, o niečo nižšie hodnoty biometrických ukazovateľov, s výnimkou pomeru hmotností, boli zistené pre kontrolné neinokulované semenáčiky v porovnaní s inokulovanými. Viacerí autori dosiahli aplikáciou vegetatívneho hubového inokula stimuláciu vzchádzania, tvorby ektomykoríz alebo rastu semenáčikov viacerých druhov lesných drevín (MARX *et al.* 1978, INGLEBY *et al.* 1994, REPÁČ 1996, PARLADÉ *et al.* 1999). V ďalších experimentoch bol vplyv hubovej inokulácie na vývin EKM a rast semenáčikov indiferentný (MARX *et al.* 1976, PARLADÉ *et al.* 1999, REPÁČ 2007), a nie je nezvyčajné, že inokulácia utlmila rast semenáčikov (RINCÓN *et al.* 2001). TAMMI *et al.* (2001) uvádzajú, že medzi najvýznamnejšie okolnosti pôsobiace na rast, ale aj na tvorbu ektomykoríz semenáčikov patrí práve rastový substrát, s jeho fyzikálnymi a chemickými vlastnosťami. Významný vplyv substrátu na rast smrekových semenáčikov zistili REPÁČ (2007) a REPÁČ *et al.* (2014), pravdepodobne v dôsledku testovania a porovnávania substrátov s väčšími rozdielmi vo fyzikálnych a chemických vlastnostiach než v tomto experimente. V práci REPÁČA *et al.* (2014) aplikácia Ectovitu významne stimulovala rast krytokorenných semenáčikov smreka v čistej, na živiny chudobnej rašelini,



na rozdiel od obohatených rašelinových substrátov. Čiastočne nižšia hodnota pomeru KS/NČ u dvojročných semenáčikov v porovnaní s jednoročnými odhaľuje vyššie tempo rastu nadzemnej časti semenáčikov v druhom roku pestovania. Podľa ROMERA *et al.* (1986) je optimálny pomer koreňovej a nadzemnej časti u ihličnatých drevín v rozpätí 0,40-0,60. Hodnoty KS/NČ po druhom roku pestovania (0,41-0,52) teda vyjadrujú požadovanú proporionalitu rozvoja koreňovej sústavy a nadzemnej časti a vyváženosť vývinu semenáčikov (tab. 3).

Tab. 3 Rastové ukazovatele (priemerné hodnoty  $\pm$  smerodajné odchýlky) dvojročných voľnokorených semenáčikov smreka obyčajného

Tab. 3 Growth characteristics (mean values  $\pm$  standard deviations) of two-years-old bareroot Norway spruce seedlings

Variant <sup>1</sup>	Hrúbka <sup>2</sup> koreňového krčka	Výška <sup>3</sup> stonky (cm)	Hmotnosť <sup>4</sup> nadzemnej časti v sušine (mg)	Hmotnosť <sup>5</sup> koreňovej sústavy v sušine (mg)	Hmotnosť <sup>6</sup> sušiny spolu (mg)	Pomer <sup>7</sup> hmotnosti KS/NČ
Substrát / Substrate						
Rašelina <sup>8</sup>	1,15 $\pm$ 0,31	11,01 $\pm$ 2,37	222 $\pm$ 103	100 $\pm$ 49	322 $\pm$ 146	0,46 $\pm$ 0,14
R + P <sup>9</sup> 2:1	1,13 $\pm$ 0,30	10,17 $\pm$ 2,14	215 $\pm$ 101	104 $\pm$ 50	319 $\pm$ 144	0,49 $\pm$ 0,14
R + P 1:1	1,10 $\pm$ 0,30	10,49 $\pm$ 2,11	211 $\pm$ 94	92 $\pm$ 44	303 $\pm$ 131	0,45 $\pm$ 0,15
Inokulácia / Inoculation						
Ectovit	1,19 $\pm$ 0,33	10,71 $\pm$ 2,25	228 $\pm$ 110	114 $\pm$ 52	342 $\pm$ 155	0,52 $\pm$ 0,16
Huba <sup>10</sup>	1,10 $\pm$ 0,29	10,34 $\pm$ 2,06	207 $\pm$ 92	97 $\pm$ 47	304 $\pm$ 133	0,47 $\pm$ 0,14
Granule <sup>11</sup>	1,14 $\pm$ 0,30	11,06 $\pm$ 2,44	230 $\pm$ 107	92 $\pm$ 49	322 $\pm$ 149	0,41 $\pm$ 0,13
Kontrola <sup>12</sup>	1,09 $\pm$ 0,29	10,13 $\pm$ 2,06	198 $\pm$ 83	92 $\pm$ 41	290 $\pm$ 119	0,48 $\pm$ 0,14

<sup>1)</sup>Treatment, <sup>2)</sup>Root collar diameter, <sup>3)</sup>Stem height, <sup>4)</sup>Shoot dry weight, <sup>5)</sup>Root dry weight, <sup>6)</sup>Total dry weight, <sup>7)</sup>Root/Shoot dry weight, <sup>8)</sup>Peat, <sup>9)</sup>Peat+Perlit, <sup>10)</sup>Fungus, <sup>11)</sup>Beads, <sup>12)</sup>Control

### 3.2 ROZSAH EKTOMYKORÍZ

Celkový rozsah EKM sa po 2. roku v jednotlivých variantoch substrátu pohyboval od 83 % do 87 %, inokulácie od 78 % do 90 % (tab. 4). Významný rozdiel sa vyskytol medzi variantmi čisté granule a kontrola. Medzi rastovými substrátmi sa v tomto ukazovateli nevyskytli významné rozdiely. Inokulácia substrátu priaznivo ovplyvnila počet krátkych koreňov, ktorý bol najnižší v kontrolnom variante. Štatisticky významný rozdiel medzi jednotlivými variantmi, aj napriek výrazným rozdielom hodnôt zastúpenia EKM morfortypov, bol pozorovaný len v dvoch prípadoch (tab. 5). V prvom pre percentuálne zastúpenie tmavohnedého morfortypu medzi substrátmi, v druhom pre väčšie zastúpenie súdkovitých mykoríz pri aplikácii Ectovitu oproti ostatným variantom. Medzi substrátmi sa v tomto ukazovateli nevyskytli významné rozdiely. REPÁČ (2007) zistil významne vyšší rozsah ektomykoríz semenáčikov smreka rastúcich na kompostových než na rašelinových



substrátoch. V našich predchádzajúcich spomínaných experimentoch (REPÁČ 2007, REPÁČ *et al.* 2014) však hubová inokulácia nestimulovala tvorbu ektomykoríz, v dôsledku výskytu a silnému účinku prirodzene sa vyskytujúcich EKM húb, voči ktorým sa aplikované huby nedokázali presadiť, čo je možné konštatovať aj pre tento experiment. Kolonizácia koreňov prirodzene sa vyskytujúcimi hubami je bežná, pričom rozdiely medzi inokulovanými a neinokulovanými semenáčikmi sa môžu časom vyrovnávať (KROPÁČEK a CUDLÍN 1989). Úspech inokulácie nezávisí len od typu a veku použitého inokula, dávky inokula, načasovania inokulácie, umiestnenia inokula v rastovom médiu (REPÁČ 2011), ale tiež od medzidruhovej a vnútrodruhovej premenlivosti rastlina – huba, podmienok prostredia a iných faktorov (RINCÓN *et al.* 2007).

Tab. 4 Rozsah ektomykoríz a počet krátkych korieňov (priemerné hodnoty  $\pm$  smerodajné odchýlky) dvojiročných voľnokorenných semenáčikov smreka obyčajného

Tab. 4 Total ectomycorrhizal colonization and number of root tips (mean values  $\pm$  standard deviations) of two-years-old bareroot Norway spruce seedlings

Variant <sup>1</sup>	Rozsah EKM <sup>2</sup> (%)	Nemykorízne korieňky <sup>3</sup> (%)	Počet krátkych korieňov <sup>4</sup>
Rašelina <sup>5</sup>	83,5	16,5	126 $\pm$ 40
R + P <sup>6</sup> 2:1	84,2	15,8	147 $\pm$ 50
R + P 1:1	87,4	12,6	143 $\pm$ 42
Ectovit	84,3	15,7	145 $\pm$ 48
Huba <sup>7</sup>	87,3	12,7	140 $\pm$ 33
Granule <sup>8</sup>	90,4a <sup>10</sup>	9,6	146 $\pm$ 53
Kontrola <sup>9</sup>	78,2b	21,8	122 $\pm$ 39

<sup>1</sup>)Treatment, <sup>2</sup>)Total ectomycorrhizal colonization, <sup>3</sup>)Non-mycorrhizal root tips, <sup>4</sup>)Number of root tips, <sup>5</sup>)Peat, <sup>6</sup>)Peat+Perlit, <sup>7</sup>)Fungus, <sup>8</sup>)Beads, <sup>9</sup>)Control, <sup>10</sup>)Medzi priemernými hodnotami označenými rôznym písmenom je významný rozdiel ( $P \leq 0,05$ ) podľa Tukeya. Means sharing the different letter are significantly different ( $P \leq 0,05$ ) by Tukey

Tab. 5 Percento ektomykoríznych morfortypov (priemerné hodnoty) dvojiročných voľnokorenných semenáčikov smreka obyčajného

Tab. 5 Percent of ectomycorrhizal morphotypes (mean values) of two-years-old bareroot Norway spruce seedlings

Variant <sup>1</sup>	Ektomykorízne morfortypy <sup>2</sup>					
	Žltohnedé <sup>3</sup>	Súdkovité <sup>4</sup>	Kyjačkovité <sup>5</sup>	Oranžovo- hnedé <sup>6</sup>	Hnedé <sup>7</sup>	Tmavo- hnedé <sup>8</sup>
Rašelina <sup>9</sup>	8,7	1,2	1,7	5,9	50,8	15,2a <sup>14</sup>
R + P <sup>10</sup> 2:1	44,9	0,6	0,5	2,6	28,7	6,9b
R + P 1:1	52,7	0,7	0,0	5,9	26,5	1,6c
Ectovit	22,6	2,4a	0,1	11,5	37,4	10,3
Huba <sup>11</sup>	37,3	0,2b	0,1	1,0	38,6	10,1
Granule <sup>12</sup>	53,0	0,8b	2,4	6,6	23,0	4,6
Kontrola <sup>13</sup>	28,8	0,0b	0,4	0,0	42,3	6,7

<sup>1)</sup>Treatment, <sup>2)</sup>Ectomycorrhizal morphotypes, <sup>3)</sup>Yellow-brown, <sup>4)</sup>Barrel-shaped, <sup>5)</sup>Clubbed-shaped, <sup>6)</sup>Orange-brown, <sup>7)</sup>Brown, <sup>8)</sup>Dark brown, <sup>9)</sup>Peat, <sup>10)</sup>Peat+Perlit, <sup>11)</sup>Fungus, <sup>12)</sup>Beads, <sup>13)</sup>Control, <sup>14)</sup>Medzi priemernými hodnotami označenými rôznym písmenom je významný rozdiel ( $P \leq 0,05$ ) podľa Tukeya. Means sharing the different letter are significantly different ( $P \leq 0,05$ ) by Tukey

### 3.3 Chemické analýzy

Pre úspešnú adaptáciu sadeníc na nepriaznivé podmienky prostredia výsadbových plôch je dôležitá tiež ich fyziologická kvalita (KMEŘ *et al.* 2009, DITMAROVÁ *et al.* 2010). Analýza pôdnych vzoriek a asimilačných orgánov môže byť dôležitým podkladom pre priame posúdenie stavu výživy semenáčikov (ŠMELKOVÁ 2009). Chemická analýza rastového substrátu poukázala na najvyššie zastúpenie minerálnych živín v substráte, ktorý tvorila čistá rašelina (tab. 6). Naopak najnižšie bolo zaznamenané v zmesi rašeliny a perlitu v pomere 1:1. Podľa MARXA *et al.* (1999) za nízky obsah fosforu môžeme považovať hodnoty pod  $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Z toho je zrejme že obsah fosforu je vo všetkých variantoch na nízkej úrovni.

Tab. 6 Chemická analýza rastových substrátov použitých pre pestovanie voľnokorenných semenáčikov smreka obyčajného

Tab. 6 Chemical analysis of growth substrates used for cultivation of bareroot Norway spruce seedlings

Substrát <sup>1)</sup>	Sušina <sup>2)</sup> (%)	pH <sub>H2O</sub>	C (%)	N (%)	P (mg/kg <sup>-1</sup> )	K (mg/kg <sup>-1</sup> )	Ca (mg/kg <sup>-1</sup> )	Mg (mg/kg <sup>-1</sup> )
Rašelina <sup>3)</sup>	93,62	5,81	28,9	1,40	7,70	153	5069	1347
R + P <sup>4)</sup> 2:1	94,02	5,76	25,7	1,28	7,40	139	4545	1119
R + P 1:1	95,23	5,71	25,3	1,22	7,42	117	4441	1085

<sup>1)</sup>Substrate, <sup>2)</sup>Dry matter, <sup>3)</sup>Peat, <sup>4)</sup>Peat+Perlit

Po 2. roku bola tiež vykonaná analýza asimilačných orgánov semenáčikov. Podľa BERGMANNA (1988) dostatočný obsah dusíka v ihliciach smreka sa pohybuje v rozmedzí 1,35–1,70 %, fosforu  $1300\text{--}2500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , draslíka  $5000\text{--}12000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , vápnika  $3500\text{--}8000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  a horčíka v rozsahu  $1000\text{--}2500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Obsah minerálnych živín v ihliciach semenáčikov, s výnimkou vápnika, sa podľa tohto kritéria v našom experimente pohyboval na úrovni normálnych zásob (tab. 7). Pri analýze rastových substrátov sa ukázala zvýšená koncentrácia fosforu a draslíka v čistej rašeline v porovnaní so zmesami rašeliny a perlitu, pravdepodobne v dôsledku obsahu týchto prvkov v rašeline, na rozdiel od perlitu. EKM huby môžu zohrávať dôležitú úlohu v získavaní a transporte fosforu, draslíka a horčíka z minerálnej pôdy (JENTSCHKE *et al.* 2001, WALLANDER a HAGERBERG 2004), ale poznatky o vplyve EKM húb na príjem základných katiónov ich hosťovskou rastlinou sú doposiaľ obmedzené a nekonzistentné (BÜCKING *et al.* 2002).

Tab. 7 Chemická analýza asimilačného aparátu dvojročných voľnokorenných semenáčikov smreka obyčajného

Tab. 7 Chemical analysis of assimilatory apparatus of two-years-old bareroot Norway spruce seedlings

Substrát <sup>1</sup>	Variant <sup>2</sup>	C (%)	N (%)	P (mg/kg <sup>-1</sup> )	K (mg/kg <sup>-1</sup> )	Ca (mg/kg <sup>-1</sup> )	Mg (mg/kg <sup>-1</sup> )
Rašelina <sup>3</sup>	Ectovit	48,5	1,49	2470	8350	9450	2180
	Huba <sup>4</sup>	49,2	1,42	2630	7980	9790	2090
	Granule <sup>5</sup>	49,8	1,69	2510	8190	8930	2050
	Kontrola <sup>6</sup>	51,0	1,44	2200	7830	10000	2110
R + P <sup>7</sup> 2:1	Ectovit	51,6	1,21	1430	6700	8220	1960
	Huba	50,4	1,36	1440	6680	8450	2000
	Granule	51,4	1,38	1320	5960	8590	1950
	Kontrola	50,1	1,31	1460	6350	8560	2220
R + P 1:1	Ectovit	49,3	1,48	1340	6490	8590	1990
	Huba	50,1	1,41	1310	6060	9480	2310
	Granule	48,7	1,39	1310	6050	9220	2150
	Kontrola	49,7	1,38	1110	5350	8860	2230

<sup>1</sup>)Substrate, <sup>2</sup>) Treatment, <sup>3</sup>)Peat, <sup>4</sup>)Fungus, <sup>5</sup>)Beads, <sup>6</sup>) Control, <sup>7</sup>)Peat+Perlit

#### 4. ZÁVER

V práci bol hodnotený vplyv rastového substrátu a inokulácie substrátu EKM hubami (komerčný prípravok Ectovit, mycéliové granulové inokulum.) na vývoj jedno a dvojročných voľnokorenných semenáčikov smreka. Po 1. roku mala inokulácia mycéliovým granulovým inokulom významný vplyv na celkovú hmotnosť a hmotnosť nadzemnej časti semenáčikov. Po 2. roku boli rozdiely v biometrike semenáčikov medzi jednotlivými variantmi minimálne a štatisticky nevýznamné. Najväčšie zastúpenie ektomykoríz obsahoval substrát s čistými granulami, najnižšie kontrolný variant. Hubový prípravok Ectovit mal priaznivý vplyv na výskyt sudkovitého morfortypu. Na zastúpenie tmavohnedých ektomykoríz mal priaznivý vplyv rašelinový substrát bez zložky perlitu. Chemická analýza substrátov poukázala na nízke zastúpenie fosforu pre všetky varianty. Pri chemickej analýze asimilačného aparátu bol obsah minerálnych živín vo všetkých variantoch na úrovni normálnych zásob, pričom semenáčiky pestované v rašeline obsahovali väčšie množstvo fosforu a draslíka než v ostatných dvoch substrátoch.

Z výsledkov tejto práce nie je možné vysloviť všeobecne platné závery a odporúčania. Má charakter príspevku do testovania rôznych druhov a spôsobov aplikácie ektomykoríznych húb pri pestovaní semenáčikov smreka obyčajného, s cieľom vytypovať účinné huby a postupy prispievajúce k zlepšeniu kvality sadbového materiálu. Výsledky pouka-

zujú na náročnosť umelej mykORIZÁCIE semenáčikov v prevádzkových podmienkach, ktoré nie sú všeobecne priaznivé pre uplatnenie aplikovaných húb.

## PodĎakovanie

Práca vznikla s finančnou podporou projektu agentúry VEGA MŠRV SR a SAV č. 1/0521/13. Autor ďakuje p. I. Repáčovi za odborné usmernenie, p. J. Povalačovej a p. J. Hroncovi za technické práce.

## 5. Literatúra

- BERGMANN, W., 1988: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Entstehung, visuelle und analytische Diagnose. Veb Gustav Fischer Verlag, Jena, 762 s.
- BRUNNER, I., BRODBECK, S., 2001: Response of mycorrhizal Norway spruce seedlings to various nitrogen loads and sources. *Environmental Pollution* 114: s. 223-233
- BÜCKING, H., KUHN, A.J., SCHRÖDER, W.H., HEYSER, W., 2002: The fungal sheath of ectomycorrhizal pine roots: an apoplastic barrier for the entry of calcium, magnesium, and potassium into the root cortex? *Journal of Experimental Botany*, 53: s. 1659-1669
- CASTELLANO, M. A., 1996: Outplanting performance of mycorrhizal inoculated seedlings. In: *Concepts in mycorrhizal research* (K.G. Mukerji ed.). s. 223-301
- DITMAROVÁ, L., KURJAK, D., PALMROTH, S., KMEŤ, J., STŘELCOVÁ, K., 2010: Physiological responses of Norway spruce (*Picea abies*) seedlings to drought stress. *Tree Physiology*, 30: s. 205-213
- FLYKT, E., TIMONEN, S., PENNANEN, T., 2008: Variation of ectomycorrhizal colonisation in Norway spruce seedlings in Finnish forest nurseries. *Silva Fennica* 42: s. 571-585
- GÁPER, J., REPÁČ, I., CUDLÍN, P., 1999: *In vitro* mycorrhizae syntheses of *Inocybe lacera* and *Suillus bovinus* with *Picea abies*. In: XIII Congress of European Mycologists. Book of abstracts, s. 41
- GRYNDLER, M., *et al.*, 2004: Mykorhizní symbióza. O soužití hub s kořeny rostlin. Academia, Praha, 366 s.
- INGLEBY, K., WILSON, J., MASON, P.A., MUNRO, R.C., 1994: Effects of mycorrhizal inoculation and fertilizer regime on emergence of Sitka spruce seedlings in bare-root nursery seedbeds. *Canadian Journal of Forest Research*, 24: s. 618-623
- JENTSCHKE, G., BRANDES, B., KUHN, A.J., SCHRÖDER, W.H., GODBOLD, D.L., 2001: Interdependence of phosphorus, nitrogen, potassium and magnesium translocation by the ectomycorrhizal fungus *Paxillus involutus*. *New Phytologist*, 149: 327-337
- KMEŤ, J., DITMAROVÁ, L., PRIWITZER, T., KURJAK, D., 2009: Physiological aspects of yellowing of spruce advanced regeneration in area of the Kysucké Beskydy Mts. *Beskydy*, 2: s. 29-37
- KOWALSKI, S., 2007: Ektomikoryzy. Nowe biotechnologie w polskim skolkarstwie lesnym. Centrum informacyjne Lasow Panstwowych, Warszawa, 398 s.
- KROPÁČEK, K., CUDLÍN, P. 1989: Preparation of granulated mycorrhizal inoculum and its use in forest nurseries. In: *Interrelationships between microorganisms and plants in soil* (V. Vančura, F. Kunc eds.). Academia Praha, s. 177 – 181
- KROPP, B.R., LANGLOIS, C.G., 1990: Ectomycorrhizae in reforestation. *Canadian Journal of Forest Research* 20: s. 438-451
- MARX, D.H., 1991: The practical significance of ectomycorrhizae in forest establishment. In: *Ecophysiology of ectomycorrhizae of forest trees* (B. Hägglund ed.). The Marcus Wallenberg foundation symposia proceedings. Sweden, s. 54 – 90
- MARX, D.H., BRYAN, W.C., CORDELL, C.E., 1976: Growth and ectomycorrhizal development of pine seedlings in nursery soils infested with the fungal symbiont *Pisolithus tinctorius*. *Forest Science* 22: s. 91-100
- MARX, D.H., MORRIS W.G., MEXAL J.G., 1978: Growth and ectomycorrhizal development of loblolly pine seedlings in fumigated and nonfumigated nursery soil infested with different fungal symbionts. *Forest Science*, 24: s. 193-203

- MARX, E.S., HART, J., STEVENS, R.G., 1999: Soil test interpretation guide. Oregon State University EC 1478: 8 s.
- PARLADÉ, J., ALVAREZ, I.F., PERA, J., 1999: Coinoculation of containerized Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) and maritime pine (*Pinus pinaster*) seedlings with the ectomycorrhizal fungi *Laccaria bicolor* and *Rhizopogon* spp. *Mycorrhiza*, 8: s. 189-195
- REPÁČ, I., 1996: Inoculation of *Picea abies* (L.) Karst. seedlings with vegetative inocula of ectomycorrhizal fungi *Suillus bovinus* (L.:Fr.) O. Kuntze and *Inocybe lacera* (Fr.) Kumm. *New Forests* 12: s. 41-54
- REPÁČ, I., 2000: Mykorízna symbióza lesných drevín a jej uplatnenie v škôlkárstve. Vedecké štúdie, TU Zvolen, 2000. 69 s.
- REPÁČ, I., 2007: Ectomycorrhiza formation and growth of *Picea abies* seedlings inoculated with alginate-bead fungal inoculum in peat and bark compost substrates. *Forestry* 80(5): s. 517-530
- REPÁČ, I., 2011: Ectomycorrhizal inoculum and inoculation techniques. In *Diversity and biotechnology of ectomycorrhizae* (eds. Mahendra Rai, Ajit Varma). *Soil biology*, Vol. 25. Berlin, Heidelberg: Springer, s. 43-63
- REPÁČ, I., 2012: Vplyv dezinfekcie a inokulácie substrátu symbiotickými hubami na tvorbu ektomykoríz a rast semenáčikov smreka obyčajného (*Picea abies* [L.] Karst.). *Zprávy lesníckeho výzkumu* 57: s. 207-216
- REPÁČ, I., VENCURIK, J., BALANDA, M., 2011: Testing of microbial additives in the rooting of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stem cuttings. *Journal of Forest Science* 57, s. 555-564
- REPÁČ, I., VENCURIK, J., BALANDA, M., 2013: Využitie mikrobiálnych prípravkov pri pestovaní sadbového materiálu lesných drevín. *Vedecká monografia*. Technická univerzita vo Zvolene, 114 s.
- REPÁČ, I., BALANDA, M., VENCURIK, J., KMEŤ, J., KRAJMEROVÁ, D., PAULE, L., 2014: Effects of substrate and ectomycorrhizal inoculation on the development of two-years-old container-grown Norway spruce (*Picea abies* Karst.) seedlings. *iForest* 8: s. 487-496
- RINCÓN, A., ÁLVAREZ, I.F., PERA, J., 2001: Inoculation of containerized *Pinus pinea* L. seedlings with seven ectomycorrhizal fungi. *Mycorrhiza*, 11: s. 265-271
- RINCÓN, A., DE FELIPE, M.R., FERNÁNDEZ-PASCUAL, M., 2007: Inoculation of *Pinus halepensis* Mill. with selected ectomycorrhizal fungi improves seedling establishment 2 years after planting in a degraded gypsum soil. *Mycorrhiza* 18: s. 23-32
- ROMERO, A.E., RYDER, J., FISHER, J.T., MEXAL, J.G., 1986: Root system modification of container stock for arid land plantings. *For Ecol Manage* 16: s. 281-290
- ŠMELKOVÁ, L., 2009: Zakladanie lesa. Zvolen: TU vo Zvolene, 2009. 338 s.
- TAMMI, H., TIMONEN, S., SEN, R., 2001: Spatiotemporal colonization of Scots pine roots by introduced and indigenous ectomycorrhizal fungi in forest humus and nursery *Sphagnum* peat microcosms. *Canadian Journal of Forest Research*, 31: s. 746-756
- VAARIO, L., TERVONEN, A., HAUKIOJA, K., HAUKIOJA, M., PENNANEN, T., TIMONEN, S., 2009: The effect of nursery substrate and fertilization on the growth and ectomycorrhizal status of containerized and outplanted seedlings of *Picea abies*. *Canadian Journal of Forest Research*, 39: s. 64-75
- WALLANDER, H., HAGERBERG, D., 2004: Do ectomycorrhizal fungi have a significant role in weathering of minerals in forest soil? *Symbiosis*, 37: s. 249-257
- Zelená správa 2015: Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike za rok 2014. Ministerstvo pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR, 86 s.

---

Adresa autora:  
 Ing. Matúš Sendecký  
 Katedra pestovania lesa  
 Lesnícka fakulta  
 Technická univerzita vo Zvolene  
 T. G. Masaryka 24,  
 960 53 Zvolen, Slovenská Republika  
 e-mail: msendecky@gmail.com

**Effect of substrate and inoculation by ectomycorrhizal fungi on the development bareroot Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) seedlings**

Summary

Submitted paper deals with effect of growth substrate and mycorrhization on the development bare-root Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) seedlings. Seedlings of Norway spruce were grown in greenhouse in three different substrates (peat, peat + perlite 2:1 and 1:1) inoculated by commercial ectomycorrhizal (ECM) additive Ectovit and mycelial bead inoculum of ECM fungi. Pure beads without fungi and control (no inoculation) were the other treatments. Seedling's growth, ECM formation and nutrient content in needles were evaluated after second growing seasons. Data were analyzed by two-way analysis of variance. After the first growing season seedlings grown in substrates inoculated with bead inoculum had significantly larger top dry weight than those grown in uninoculated and Ectovit-inoculated substrates and significantly large total dry weight than in Ectovit. Neither substrate nor inoculation had significant effect on growth parameters of seedlings after the second growing season. Certain effect of substrate on occurrence of some ECM morphotypes and effect of inoculation also on total ECM mycorrhization and number of root tips was found after second growing season. The content of basic chemical elements was sufficient in all investigated treatments, but seedlings grown in peat substrate showed higher content of phosphorus and potassium than those in the other substrates.

# VYUŽITIE SYSTÉMU PRE PODPORU ROZHODOVANIA PRI PLÁNOVANÍ OBNOVY

JOZEF VÝBOŠŤOK, JÁN BAHÝĽ, JÁN MERGANIČ

---

**Výbošťok, J. – Bahýľ, J. – Merganič, J.: Využitie systému pre podporu rozhodovania pri plánovaní obnovy.** Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, 58/1 2016, 59 – 71.

Lesné hospodárstvo je veľmi komplexné a zložité odvetvie, ktorého hlavným cieľom je plánovité a trvalo udržateľné obhospodarovanie lesov Slovenska a ich rozvoj. Rozvoj lesného hospodárstva podlieha viacerým faktorom, ktoré vyplývajú z funkcií lesov. Okrem primárnej produkčnej funkcie, ponúkajú lesy širokú škálu ďalších produktov a služieb a množstvo sociálnych, ekologických a ekonomických funkcií. Racionálne riešenie problémov zosúladenia jednotlivých funkcií musí byť vykonané počítačom, pretože ľudský mozog nie je schopný riešiť tak komplikované problémy. Cieľom práce je s využitím rastového simulátora Sibyla a nástrojov optimalizácie navrhnúť vhodný plán obnovy porastu z ekonomického, ekologického a environmentálneho hľadiska na základe vybraných indikátorov. Pre účely výskumu sme zvolili porast 1487, ktorý je tvorený drevinami s rôznymi ekologickými požiadavkami. V poraste sme vykonali podrobné zisťovanie stavu lesa z dôvodu aktualizácie údajov platného PSL. Na základe zhromaždených údajov sme v rastovom simulátore SIBYLA vykonali simulácie rastu lesa pre 380 rôznych variantov obnovy porastu, výsledky rastového simulátora tvorili vstup do optimalizačného programu, v ktorom sme na základe požadovaných cieľov realizovali výber optimálneho spôsobu obnovy porastu.

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

---

## 1. ÚVOD A CIELE

Cieľavedomé obhospodarovanie lesa t.j. hospodárska úprava lesa na území Slovenska má dlhú históriu a počas svojho vývoja prešla rôznymi zmenami z dôvodu vývoja lesného hospodárstva spojeného predovšetkým s rozvojom spoločnosti. Hlavným dielom hospodárskej úpravy lesa v súčasnosti sú programy starostlivosti o les (PSL), do roku 2011 označované ako lesné hospodárske plány. Lesné hospodárske plány majú na Slovensku dlhodobú tradíciu. Povinnosti vypracovávať a hospodáriť v lese na základe lesných hospodárskych plánov bola ustanovená zákonným článkom XXXI z roku 1879. Lesné hospodárske plány na Slovensku sa vyznačovali vysokou mierou prepracovanosti jednotlivých súčastí, v porovnaní s ostatnými krajinami. Súčasný proces tvorby PSL je sprevádzaný problémami spojenými s financovaním vypracovania PSL, čo spôsobuje zníženie jeho kvality. Táto skutočnosť je často kritizovaná obhospodarovateľmi lesa, ktorí sú povinní hospodáriť v lese na základe platných programov starostlivosti o les. Ďalší významný problém tvorby PSL je spojený s vysokou mierou subjektivity pri plánovaní hospodárskych opatrení. A skutočnosťou že vlastník lesa nemá možnosť vyjadrenia k tvorbe PSL, z toho dôvodu nemusí pre vlastníka lesa PSL predstavovať optimálny

spôsob obhospodarovania lesa. Táto skutočnosť nadobudla význam v poslednom období, kedy sa za primárnu funkciu lesov nepovažuje len produkcia dreva, ale aj ostatné funkcie, napríklad ekologická a environmentálna funkcia.

Zosúladenie plnenia funkcií lesa nie je možné vykonať ľudským mozgom, pretože nie je prispôsobený na riešenie takýchto komplikovaných problémov, z tohto dôvodu je potrebné využitie výpočtovej techniky (MARUŠÁK et al., 2014). Vo svete bolo vytvorených viacero konkrétnych softvérových riešení tzv. systémov na podporu rozhodovania, ktoré pomáhajú rozhodovateľovi pri výbere vhodného spôsobu obhospodarovania lesa pri zosúladení záujmov obhospodarovateľov lesa. Systémy na podporu rozhodovania obsahujú z rastový simulátor, ktorý dokáže prognózovať vývoj lesa v dlhodobom aspekte. Výsledky rastového simulátora sa spracúvajú v optimalizačných subsystémoch založených najčastejšie na lineárnom programovaní, cieľovom programovaní alebo heuristických metódach. Výsledky optimalizačného subsystému pomáhajú rozhodovateľovi pri výbere vhodného spôsobu obhospodarovania lesa.

Cieľom práce je s využitím rastového simulátora SIBYLA (FABRIKA, 2005) a optimalizačného subsystému VisAn (LOTOV et al., 2004), vybrať vhodný spôsob obnovy porastu pre dosiahnutie rôznych cieľov, ktoré majú byť dosiahnuté pri hospodárení v lese, optimalizovať dĺžku rubnej a obnovnej doby pri vybraných spôsoboch obnovy porastu s cieľom zabezpečenia plnenia požadovaných funkcií.

## **2. PROBLEMATIKA**

### **2.1 Obnova lesných porastov**

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 obnova a jeden odvođený spôsob: kombinovaná obnova (KORPEL, 1991). Z pestovno-ťažbového odoberania zásoby obnovovaného porastu a s tým spojenými zmenami ekologického profilu, rozlišujeme tri základné spôsoby obnovy: clonnú obnovu, okrajovú obnovu a obnovu holorubom (SANIGA, 2007).

#### **Clonná obnova**

Clonná obnova porastu je charakteristická postupnou ťažbou zreých a nežiadúcich stromov materského porastu takým spôsobom, aby znižovanie clony materského porastu vytvorilo vhodné ekologické podmienky pre klíčenie, ujímanie, prežívanie a odrastanie semenáčikov a neskoršie náletov cieľovej dreviny. Následný porast tak vzniká pod clonou materského porastu a od uvedeného okamžiku do ukončenia obnovnej doby existujú oba porasty na tej istej ploche. Intenzita odoberania porastovej zásoby je prispôbená ekologickým požiadavkám vznikajúcich náletov a nárastov (SANIGA, 2007).

Nevýhodou veľkoplošnej clonnej obnovy je možnosť využitia len jedného semenného roku dreviny, čím dochádza k jej zvyhodneniu a následnej tvorbe rovnorodých porastov



(MATTHEW, 1989). Uvedenú nevýhodu je možné eliminovať, použitím skupinove clonného alebo nepravidelného clonného rubu s dlhou obnovnou dobou, s existenciou možnosti využitia viacerých semenných úrod drevín, ktoré tvoria materský porast (KORPEL, 1991).

### **Okrajová obnova**

Okrajový rub je charakteristický tým, že východisko obnovy má špecifické ekologické podmienky. Z dôvodu vplyvu materského porastu, od rozhrania, ktoré tvorí porastová stena, sa vylíšu dve časti a to vonkajší okraj a vnútorný okraj (NYLAND, 2002). Vonkajší okraj predstavuje pás od porastovej steny smerom na holú plochu, pričom sa jeho šírka rovná vzdialenosti bočného ekologického vplyvu priliehajúceho materského porastu. Šírka vonkajšieho okraja je ovplyvnená expozíciou a orientáciou obnovného prvk. Vnútorný okraj predstavuje pás od porastovej steny smerom do vnútra porastu. Jeho šírka sa rovná hĺbke dosahu vplyvu vonkajšieho prostredia na časť porastu priliehajúceho k porastovej stene. Šírka vnútorného okraja sa mení v závislosti od orientácie porastovej steny, expozície svahu, ale aj od štruktúry porastu v okrajovej zóne (MATTHEW, 1989).

Okrajový rub má širokú možnosť ovplyvňovania ekologických podmienok, ktoré vyplývajú z veľkého množstva kombinácií zníženia zakmenenia priliehajúceho porastu, orientácie porastového okraja a jeho tvaru. Skoro všetky naše dreviny sa na začiatku svojho vývoja môžu v určitej časti obnovovaného porastu dostať do zvýhodnených ekologických podmienok a to aspoň na dobu, ktorá je nevyhnutná na biologické zabezpečenie náletu.

Hlavnou nevýhodou okrajového rubu je krátka čiastková obnovná doba, ktorá nevyhovuje drevinám pomaly rastúcim a citlivým na ekologické zmeny. Ďalšou veľkou nevýhodou je dlhá celková obnovná doba potrebná na obnovenie celého porastu, kvôli pomalému postupu porastovej steny. Tento nedostatok možno odstrániť založením viacerých východísk obnovy v rámci porastu, čo môže spôsobiť zníženie stability s následnou možnosťou poškodenia porastu vetrom (KORPEL, 1991; SANIGA, 2007).

### **Obnova holorubom**

Holorub je spôsob obnovy, pri ktorom na ploche celého porastu, alebo na jeho určitej súvislej ploche dôjde k jednorazovému odstráneniu materského porastu bez predchádzajúcej existencie následného porastu. Nový následný porast vzniká na holej ploche bez akejkoľvek ochrany materského porastu, prípadne len v čiastočnej bočnej ochrane pri porastovej stene. Na voľnej ploche je možné pri zabezpečení určitých ekologických a pôdnych podmienok očakávať čiastočnú obnovu predovšetkým slnných drevín, ktoré majú semeno s lietacím zariadením a sú prispôbené extrémnym podmienkam holej rúbane (RÖHRIG et al., 2006). Jedná sa predovšetkým o prípravné dreviny ako je breza, rakyta, osika. Z hlavných drevín je to hlavne borovica a smrekovec, pričom musí byť zabezpečená podmienka, aby sa na obnovovanej ploche nerozvinula rúbanská flóra.

Hlavnou nevýhodou holorubu sú teda extrémne ekologické podmienky holej rúbane, ktoré znášajú len nenáročne dreviny. Hlavnou výhodou je jeho organizačná jednoduchosť a možnosť uplatnenia výkonných mechanizačných prostriedkov, ktoré potrebujú veľký manévrovací priestor (KORPEL, 1991).

## 2.2 Rastový simulátor Sibyla

Na princípe modelu SILVA získali autori (FABRIKA & ĎURSKÝ, 2005), v rámci projektu „Implementácia stromových rastových modelov v hospodárskej úprave lesa“, povolenie na vývoj rastového modelu pre slovenské podmienky. Nový model sa pomenoval SIBYLA: „Simulátor biodynamiky lesa“. Základnou podmienkou pri vývoji modelu boli nízke náklady, krátky časový horizont na jeho vývoj, otvorená architektúra a úplná kompatibilita s informačným spektrom v slovenskej prevádzke. Okrem nemeckej a švajčiarskej dátovej základne zhodnej s modelom SILVA, boli využité aj ďalšie zdroje zo Slovenska. V prvom rade ide o údaje z domácich rastových tabuliek (HALAJ, 1987), údaje prieskumu hrúbkovej štruktúry a výškovej štruktúry, údaje z opakovaných meraní na výskumných plochách založených Lesoprojektom Zvolen, matematické modely jednotných výškových kriviek (ŠMELKO et al., 1987), domáce objemové rovnice (PETRÁŠ & PAJTIK, 1991), stromové sortimentačné modely (PETRÁŠ & NOCIAR, 1991, 1990). Okrem dendrometrických údajov boli využité aj údaje slovenských meteorologických staníc pre odvodenie rajonizácie klímy. Model SIBYLA je zostrojený pre podmienky Slovenska a to pre dreviny smrek, jedľa, borovica, buk a dub. Matematické modely boli pretransformované do uceleného programového riešenia na personálnom počítači. Programový balík nesie názov SIBYLA SUITE. Ide o modulový systém, ktorý je združený do centrálnej aplikácie.

## 2.3 Multikriteriálna optimalizácia

Množstvo rozhodnutí a plánovacích problémov často zahŕňa niekoľko vzájomne si odporujúcich cieľov, ktoré je potrebné posudzovať súčasne. Ide o také ciele, pri ktorých vylepšovanie jedného cieľa väčšinou spôsobuje zhoršovanie iného cieľa. Tieto problémy sú všeobecne známe ako problémy multikriteriálneho rozhodovania. Proces riešenia multikriteriálneho rozhodovania sa nazýva multikriteriálna optimalizácia. Predmetom optimalizácie je poskytnúť nástroje na rozhodovanie o výbere najlepšieho možného riešenia konkrétnych úloh, ktoré môžu byť rôzneho charakteru (ROSINOVÁ & DÚBRAVSKÁ, 2007).

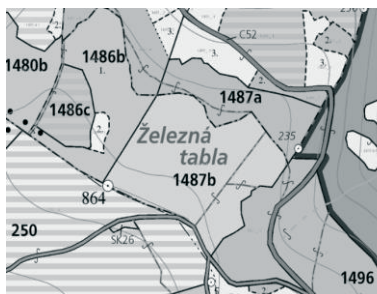
Pri riešení optimalizačného problému je potrebná jeho definícia, vybudovanie ko-rektného modelu riešeného problému a použitie vhodného optimalizačného algoritmu, ktorý vyhladá optimálne riešenie daného problému (KAYA et al., 2016). Pri budovaní modelu reálneho problému ide o identifikovanie a definovanie vektorov premenných  $x$ , ktorých hodnoty budú optimalizované. Ďalej ide o definovanie a identifikovanie rôznych podmienok a obmedzení, ktorým optimalizované premenné  $x$  podliehajú. Napokon ide aj o identifikovanie a definovanie cieľov optimalizácie a indikátorov ich plnenia, ktoré sú funkciou optimalizovaných premenných  $f(x)$ . Premenné  $x$ , ktoré majú byť optimalizované, sú veličiny, ktorých hodnoty závisia na rozhodnutí človeka, preto ich môžeme nazvať

aj rozhodovacie premenné. Pod pojmom optimálne riešenie problému rozumieme takú kombináciu rozhodovacích hodnôt  $x$ , pri ktorých hodnoty indikátorov  $f(x)$  ukazujú naplnenie požadovaných cieľov optimalizácie. Vybraný algoritmus optimalizácie dovoľuje vyhľadať optimálne riešenie v rámci definovaného modelu reálneho problému. Z tohto hľadiska je potrebné, aby model popisoval definovaný problém korektne. Rozhodovateľ musí po vybraní optimálneho riešenia vždy kontrolovať, či je zabezpečená jeho optimalita vo vzťahu k reálnemu problému. Ak je pri kontrole optimalizácie zistené, že vybrané riešenie odporuje praktickým znalostiam a skúsenostiam rozhodovateľa, celý optimalizačný proces dostáva opakovací charakter. To znamená, že celá optimalizácia sa musí opakovať na upravenom modeli reálneho problému, až kým sa nedosiahne požadované optimálne riešenie vo vzťahu k realite (MARUŠÁK et al., 2014).

### 3. MATERIÁL A METODIKA

#### 3.1 Výskumný objekt

Vybraný dielec 1487b má výmeru 5,58 ha. Pre zisťovanie porastových charakteristík bol zvolený systematický výber, pri ktorom sme na 6. kruhových plochách zisťovali údaje o poraste: vek porastu je 60 rokov, zakmenenie 0,8, celková zásoba dielca 2 681 m<sup>3</sup>. Stredná výška: BK: 28 m, JH: 27 m, SC: 27 m, SM: 29 m. Stredná hrúbka: BK: 35 cm, JH: 33 cm, SC: 34 cm, SM: 34 cm. Bonita: BK: 38, JH: 36, SC: 34, SM: 38. Na základe uvedených údajov bol v rastovom simulátore SIBYLA (FABRIKA, 2005) vytvorený modelový porast o výmere 1ha.



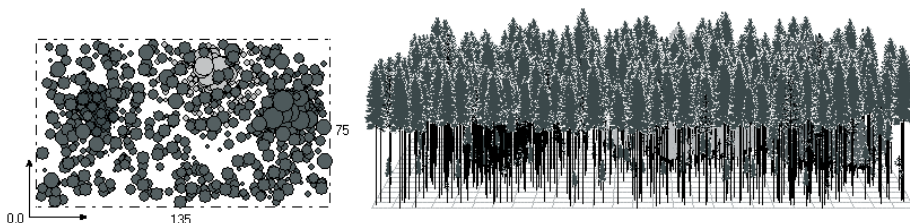
Obr. 1 Porastová mapa dielec 1487b (<http://gis.nlcsk.org/lgis/>)

Fig. 1 Forest map of stand unit 1478b

#### 3.3 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 (SED-

MÁK et al., 2013). 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. V rastovom simulátore sme simulovali 380 spôsobov obnovy porastu, s rôznou dĺžkou rubnej a obnovnej doby, a v prípade výberkového rubu aj cieľovú hrúbku a počet cieľových stromov.



Obr. 2 Prognóza vývoja zásob – výberkový rub (1. decénium)  
Fig. 2 Prognosis of growing stock – single-tree selection (1. decade)

### 3.5 Výber indikátorov

Cieľom multikriteriálnej optimalizácie bola maximalizácia plnenia produkčných a mimo produkčných funkcií lesa a ich zosúladenie. Ako indikátory plnenia týchto funkcií boli využité výsledky, ktoré sú výstupom rastového simulátora SIBYLA. Z hľadiska produkčných funkcií to bola čistá súčasná hodnota porastu (NPV) (VALACH, 2011) a kumulatívna čistá súčasná hodnota výnosu z ťažieb (NPVC.). Mimoprodukčné funkcie lesa boli reprezentované dvojicou indikátorov a to diverzitou a stabilitou porastu. Stabilita porastu bola vypočítaná na základe pomeru priemernej výšky ( $H$ ) a priemernej hrúbky dreviny ( $D$ ) v danom veku. Diverzita bola počítaná ako celková diverzita porastu podľa JAEHNEHO a DOHRENBRUSCHA (1997) na základe vzťahov:

$$\alpha = \log(m) \cdot (1,5 - Z_{\max} - Z_{\min})$$

$$\beta = 1 - \frac{h_{\min}}{h_{\max}}$$

$$\chi = \left(1 - \frac{r_{\min}}{r_{\max}}\right)$$

$$d = [1 - \log(KA_{\min})] + \left(1 - \frac{KD_{\min}}{KD_{\max}}\right)$$

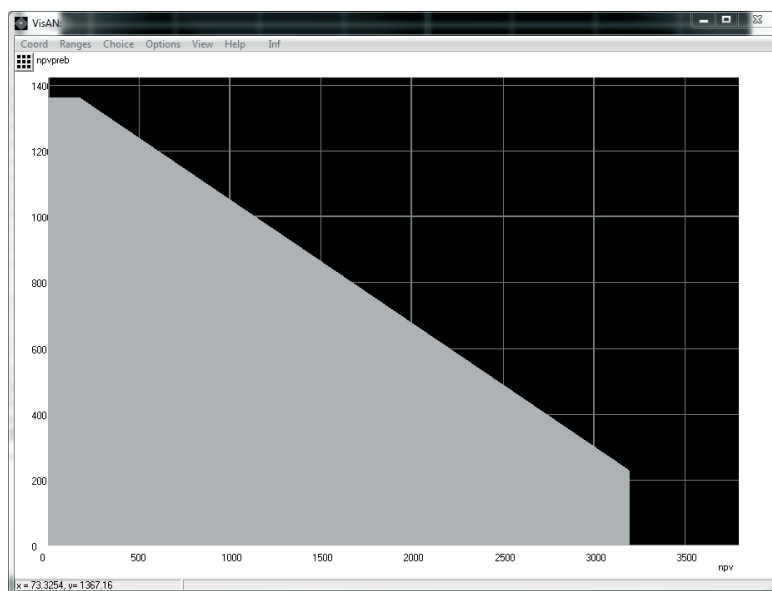
$$\varepsilon = 4 \cdot \alpha + 3 \cdot \beta + \chi + d$$

Celková diverzita (*epsilon*) vyjadruje agregáciu parciálnych zložiek diverzity: diverzity druhového zloženia (*alfa*), diverzity vertikálnej štruktúry (*beta*), diverzity priestorového rozmiestnenia stromov (*chi*) a diverzity korunovej diferenciacie (*delta*). Do výpočtov vstupujú: počet drevin ( $m$ ), maximálne a minimálne zastúpenie drevin ( $Z_{\max}$  a  $Z_{\min}$ ), maximálna a minimálna výška stromu v poraste ( $h_{\max}$  a  $h_{\min}$ ), maximálny a minimálny

rozostup stromov ( $r_{max}$  a  $r_{min}$ ), minimálna výška nasadenia koruny ( $KA_{min}$ ) a minimálny a maximálny priemer koruny ( $KD_{min}$  a  $KD_{max}$ ). Ak je výsledná hodnota väčšia alebo rovná 9, potom má porast mimoriadne rôznorodú štruktúru, hodnota v rozpätí od 8 do 8,9 značí rôznorodú štruktúru, index od 6 do 7,9 znamená nerovnomernú výstavbu, pri hodnotách v intervale od 4 do 5,9 ide o rovnomernú výstavbu a pri hodnotách pod 4 má porast monotónnu výstavbu (JAEHNE & DOHRENBUSCH, 1997).

### 3.4 Optimalizácia obnovy

Pre potreby multikriteriálnej optimalizácie obnovy porastu 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. 3).



Obr. 3: Interaktívna rozhodovacia mapa  
Fig. 3 Interactive decision map

Na základe týchto máp môže rozhodovateľ vidieť, čo je racionálne a dosiahnuteľné v rozhodovacom priestore. V prirodzenej škále môže analyzovať vzájomné medzi výmeny zámeny cieľových indikátorov a môže sa rozhodnúť, aký Pareto optimálny vektor cieľových hodnôt  $z \in Z$  bude preferovať. IDM sa vytvárajú pre lepšie porozumenie multikriteriálneho problému a tým pádom aj pre výber lepšej rozhodovacej alternatívy (BORGES et al., 2014; GARCIA-GONZALO et al., 2015). Umožňujú v prijateľnejšej forme ako tabuľko-

vej, porovnať rôzne alternatívy a tak dospieť k najlepšiemu možnému rozhodnutiu s ohľadom na všetky obmedzujúce kritéria, tzn. s ohľadom na všetky protichodné ciele (LOTOV et al., 2004). Za pomoci IDM techník si potom rozhodovateľ na základe svojich preferencií vyberá jedno optimálne riešenie, ktoré najlepšie odpovedá jeho požiadavkám. V našom prípade sme vytvorili 4 typy rozhodovateľov (tab. 1), ktorí na základe IDM vyberajú vhodný spôsob obnovy porastu za účelom dosiahnutia preferovaných cieľov (GARCIA-GONZALO et al., 2013).

Tab. 1 Preferencie rozhodovateľov  
Tab. 1 Preference of decision makers

Rozhodovateľ	Značka	NPV	NPVC	Diverzita	Stabilita
1	■	1	0	0	0
2	●	0	1	0	0
3	■	0	0	0.5	0.5
4	▲	0.25	0.25	0.25	0.25

1. rozhodovateľ je charakteristický tým, že prikladá maximálnu váhu okamžitým výnosom z ťažby.
2. rozhodovateľ je charakteristický tým, že prikladá maximálnu váhu vyrovnaným výnosom z ťažieb počas obnovnej doby.
3. rozhodovateľ je charakteristický tým, že prikladá maximálnu váhu biodiverzite a stabilite porastu.
4. rozhodovateľ je charakteristický tým, že chce hospodárením čiastkovo naplniť všetky ciele, to znamená všetkým ukazovateľom prikladá rovnakú váhu.

## 4. VÝSLEDKY

### 4.1 Optimalizácia obnovy porastu 1487b

Z výsledkov optimalizácie porastu 1487b vyplýva skutočnosť, že pre rozhodovateľa č.1 preferujúceho číстую súčasnú hodnotu porastu (NPV) je najvhodnejší spôsob obnovy porastu okrajovým clonným rubom trojfázovým, s tromi zásahmi za decénium, s dĺžkou rubnej doby 100 rokov a dĺžkou obnovnej doby 20 rokov. Pri tomto spôsobe obnovy dosiahol indikátor NPV 100%, čo predstavuje 29 957 €·ha<sup>-1</sup>, plnenie indikátora NPVC predstavovalo 57%, čo je 15 739 €·ha<sup>-1</sup>, s indikátorov charakterizujúcich plnenie mimoprodukčných funkcií bola stabilita plnená na 67% (0.51), pri súčasnom plnení diverzity na 69% čo predstavuje 4.1. Pre rozhodovateľa č.2, ktorého cieľom je maximalizácia čistej súčasnej hodnoty výnosov z ťažby (NPVC) je optimálny spôsob obnovy individuálnym výberom, na základe cieľovej hrúbky s rubnou dobou 160 rokov a obnovnou dobou 20 rokov. Tento spôsob obnovy plní jemu najviac preferovanú funkciu NPVC na 100%, čo predstavuje 27 657 €·ha<sup>-1</sup>, indikátor NPV pri tomto spôsobe dosahuje hodnotu 17 007 €·ha<sup>-1</sup>

(57%), pri simultánnom plnení diverzity na 69% (4.08) a stability na 82%, čo predstavuje hodnotu 0.62. Pre rozhodovateľa preferujúceho plnenie mimoprodukčných funkcií reprezentovaných indikátormi stabilita a diverzita je najlepší spôsob obnovy výberkovým rubom s dimenziou rubného typu 70cm s jedným cieľovým stromom na hektár. Pri tomto spôsobe obnovy porastu je indikátor stability plnený na 84% (0.62) a indikátor diverzity na 99%, čo predstavuje hodnotu 5.87% z pohľadu plnenia produkčných funkcií indikátor NPV dosahuje hodnotu 8 020 €·ha<sup>-1</sup> (27%), indikátor NPVC bol plnený na 13%, čo predstavuje 3 685 €·ha<sup>-1</sup>. Pre rozhodovateľa č.4 preferujúceho súčasné plnenie všetkých indikátorov sa ako optimálny spôsob obnovy porastu javí trojfázový okrajový clonný rub s tromi zásahmi za decénium s rubnou dobou 140 rokov a obnovnou dobou 20 rokov. Pri tomto spôsobe obnovy dosiahol indikátor NPV 97% (28 957 €·ha<sup>-1</sup>), indikátor NPVC dosiahol hodnotu 23 282 €·ha<sup>-1</sup> čo predstavuje 84%, indikátor stability reprezentujúci plnenie mimoprodukčných funkcií dosiahol 86% (0.64), indikátor diverzity predstavoval plnenie tejto funkcie na 69%, čo predstavuje hodnotu 4.09.



Obr. 4 Optimalizácia obnovy porastu 1487b

Fig. 4 Optimization of forest management in stand unit 1487b

## 4.2 Porovnanie optimálnej dĺžky rubnej a obnovnej pri použitých spôsoboch obnovy

Z tabuľky porovnania optimálnej dĺžky rubnej a obnovnej doby pri použitých hospodárskych spôsoboch obnovy vyplýva, že pre dosiahnutie maximálneho NPV sú vhodné predovšetkým krátke rubné a obnovné doby. Naopak pre dosiahnutie maximálneho NPV/ťažby sú vhodné dlhé rubné doby, ktoré dokážu vhodne naplniť požiadavku vyrovnaného výnosu z ťažby. Vo všeobecnosti môžeme tvrdiť, že z pohľadu zabezpečenia maximálneho plnenia požiadavky na diverzitu a stabilitu porastu sa vhodná dĺžka rubnej a obnovnej doby pohybuje skôr v dolnej polovici hodnoty posudzovaných rubných dôb.

Z aspektu rovnomerného plnenia všetkých funkcií sa ako vhodná dĺžka rubnej doby javí rubná doba nachádzajúca sa v strede skúmaného rozpätia, pričom dĺžka obnovnej doby pre zabezpečenie rovnomerného plnenia všetkých funkcií je variabilná.

Tab. 3 Optimalizácia dĺžky rubnej a obnovnej doby

Tab. 3 Optimization of duration of rotation and regeneration period

Spôsob obnovy	Cieľ							
	NPV		NPVC		Diverzita, stabilita		Diverzita, stabilita, NPV, NPVC	
	RD	OD	RD	OD	RD	OD	RD	OD
Maloplošný clonný rub 2 fázy	90	20	160	60	100	30	120	60
Maloplošný clonný rub 3 fázy	90	20	160	60	100	30	130	50
Maloplošný holorub 1 zásah	100	30	160	30	100	30	120	20
Maloplošný holorub 2 zásahy	100	30	160	60	100	30	130	40
Veľkoplošný holorub	90	10	160	10	150	10	130	10
Cieľová hrúbka	100	20	160	20	110	30	140	30
Veľkoplošný clonný rub 2 fázy	120	20	160	20	130	20	150	20
Veľkoplošný clonný rub 3 fázy	110	30	150	20	110	30	130	20
Okrajový clonný rub 2 fázy	90	20	150	30	100	50	130	50
Okrajový clonný rub 3 fázy	90	20	160	30	100	20	140	20

## 5. DISKUSIA

Prezentovaný spôsob plánovania hospodárskych opatrení sa javí ako vhodný z pohľadu zosúladienia produkčných a mimoprodukčných funkcií lesa vo väzbe na rôzne typy rozhodovateľov, pretože podľa KANGAS et al., (2013) je potrebné v súčasnosti zamerať sa na plnenie ekologických, ekonomických aj sociálnych funkcií. Jednoducho povedané lesy majú byť využívané na rôzne účely, nie len na produkciu dreva (DAVIS et al., 2001; SCHÜTZ, 1999). Je potrebné odpútať sa v procese plánovania hospodárskych opatrení od zaužívaných doktrín, ktorými sú štandardy zahrňujúce primárnu produkciu dreva či dlhodobý trvalý výnos (GLÜCK, 1987), pretože výrazným spôsobom ovplyvňujú plnenie rôznorodých funkcií lesa (PUKKALA, 2016). Navrhnutý systém plánovania obhospodarovania lesov založený na rastovom simulátore SIBYLA, ktorý bol využitý vo viacerých prácach (AMBROZ et al., 2015; HLÁSNY et al., 2014; HOREMANS et al., 2016; KOBLIHA et al., 2013; VACEK et al., 2010) a optimalizačného subsystému VisAn (BORGES et al., 2013) prináša vhodné výsledky, ktoré sme sa snažili prezentovať na modelovom poraste. Optimalizačný subsystém VisAn tvorí súčasť DSS Sadflor (GARCIA-GONZALO et al., 2015), ktorý obsahuje vlastný rastový simulátor StandSim (BORGES, 2013). SIBYLA



na rozdiel od simulátora StandSim obsahuje širšie spektrum funkcionalít cez plánovanie rôznych typov obnovy a výchovy porastu, 3D vizualizácie lesa a nastavenie rôznych klimatických scenárov (FABRIKA, 2005). Optimalizačný modul umožňuje jednoduchý výber optimálneho riešenia zosúladením požiadaviek všetkých zainteresovaných, na základe rozhodovacích máp priamo na obrazovke počítača (LOTOV et al., 2004). Celý proces takto navrhnutého plánovania hospodárskych opatrení je flexibilný a umožňuje rozhodovateľovi resp. vlastníkovi lesa kedykoľvek meniť ciele, ktoré majú byť dosiahnuté pri obhospodarovaní lesa.

## 6. ZÁVER

Na základe širokého spektra rôznych spôsobov obhospodarovania lesa je možné usmerňovať obhospodarovanie lesov s väčšou alebo menšou preferenciou produkčných či mimoprodukčných funkcií lesa. Hoci má konečné slovo pri voľbe vhodného spôsobu práve rozhodovateľ (SHEPPARD & MEITNER, 2005) je potrebné uvedomiť si, že ďalší vývoj lesa je úzko spätý s prírodnými, ekologickými a biologickými zákonitostami lesného ekosystému, ktoré je potrebné mať na zreteli pri obhospodarovaní daného typu lesa. Pre zosúladenie ekologických faktorov a subjektívnych preferencií vlastníka či obhospodarovateľa lesa je potrebné riešiť problematiku návrhu obhospodarovania porastu multispektrálne. Pomocou multikriteriálnej optimalizácie dokáže obhospodarovateľ ekonomicky, biologicky a prostredníctvom rastového simulátora i vizuálne posúdiť výhody a nevýhody vybraných spôsobov obhospodarovania a zároveň plnenie stanovených preferencií a cieľov.

## 7. Zoznam literatúry

- AMBROZ, R., VACEK, S., VACEK, Z., KRÁL, J., ŠTEFANČÍK, I., 2015. Current and simulated structure, growth parameters and regeneration of beech forests with different game management in the Lány Game Enclosure. *For. J.* 61, 78–88. doi:10.1515/forj-2015-0016
- BORGES, J.G., 2013. SADFLOR – Tutorial 37.
- BORGES, J.G., GARCIA-GONZALO, J., BUSHENKOV, V., MCDILL, M.E., MARQUES, S., OLIVEIRA, M.M., 2013. Methods : An Application in Portugal. *For. Sci.* 1–11.
- BORGES, J.G., NORDSTRÖM, E.M., GARCIA-GONZALO, J., HUJALA, T., TRASOBARES, A., 2014. Computer-based tools for supporting forest management. The experience and the expertise world-wide.
- DAVIS, L.V., JOHNSON, K.N., BETTINGER, P.S., HOWARD, T.E., 2001. *Forest management- to sustain ecological, economic and social values.* 4th end. McGraw-Hill, New York.
- FABRIKA, M., 2005. Simulátor biodynamiky lesa SIBYLA, koncepcia, konštrukcia a programové riešenie. Technická univerzita vo Zvolene.
- FABRIKA, M., ĎURSKÝ, J., 2005. Stromové rastové simulátory. EFRA – Vedecká agentúra pre ekológiu a lesníctvo, Zvolen.
- GARCIA-GONZALO, J., BUSHENKOV, V., MCDILL, M.E., BORGES, J.G., 2015. A decision support system for assessing trade-offs between ecosystem management goals: An application in portugal. *Forests* 6, 65–87. doi:10.3390/f6010065
- GARCIA-GONZALO, J., PALMA, J.H.M., FREIRE, J.P.A., TOME, M., MATEUS, R., RODRIGUEZ, L.C.E., BUSHENKOV, V., BORGES, J.G., 2013. A decision support system for a multi stakeholder 's decision process in a Portuguese National Forest 22, 359–373. doi:10.5424/fs/2013222-03793
- GLÜCK, P., 1987. Social values in forestry. *Ambio* 158–160.
- HALAJ, J., 1987. Rastové tabuľky hlavných drevín ČSSR. *Príroda Bratislava.*

- HLÁSNÝ, T., BARCZA, Z., BARKA, I., MERGANIČOVÁ, K., SEDMÁK, R., KERN, A., PAJTÍK, J., BALÁZS, B., FABRIKA, M., CHURKINA, G., 2014. Future carbon cycle in mountain spruce forests of Central Europe: Modelling framework and ecological inferences. *For. Ecol. Manage.* 328, 55–68. doi:10.1016/j.foreco.2014.04.038
- HOREMANS, J.A., BOSELA, M., DOBOR, L., BARNA, M., BAHYL, J., DECKMYN, G., FABRIKA, M., SEDMAK, R., CEULEMANS, R., 2016. Variance decomposition of predictions of stem biomass increment for European beech: Contribution of selected sources of uncertainty. *For. Ecol. Manage.* 361, 46–55. doi:10.1016/j.foreco.2015.10.048
- JAEHNE, S., DOHRENBUSCH, A., 1997. A method to evaluate forest stand diversity. *Forstwiss. Cent.* 333–345.
- KANGAS, A., KANGAS, J., KURTILLA, M., 2013. *Decision Support for Forest Management*. Springer.
- KAYA, A., BETTINGER, P., BOSTON, K., AKBULUT, R., UCAR, Z., SIRY, J., MERRY, K., CIESZEWSKI, C., 2016. Optimisation in Forest Management. *Curr. For. Reports* 2, 1–17. doi:10.1007/s40725-016-0027-y
- KOBLIHA, J., STEJSKAL, J., LSTIBŮREK, M., MARUŠÁK, R., SLÁVIK, M., 2013. Selection of European larch provenances based on productivity and economic values. *J. For. Sci.* 59, 424–435.
- KORPEL, Š., 1991. *Pestovanie lesa. Príroda, vydavateľstvo kníh a časopisov*, v Bratislave.
- LOTOV, A., BUSHENKOV, V., KAMENEV, G., 2004. *Interactive decision maps: Approximation and visualization of Pareto frontier*. Kluwer Academic Publishers.
- MARUŠÁK, R., SEDMÁK, R., HLÁSNÝ, T., ZAHRADNÍK, D., SUROVÝ, P., ŠÁLEK, L., KAŠPAR, J., VOPĚNKA, P., URBÁNEK, V., 2014. *Systémy pro podporu rozhodování v lesním hospodářství s cílem posílení produkce a jejich mimoproduktů a jejich funkcí lesa*. Neperiodická zpráva za rok 2014.
- MATTHEW, J.D., 1989. *Silvicultural systems*, Reprinted. ed. Oxford University Press, New York.
- NYLAND, R.D., 2002. *Silviculture*, second ed. ed. Waveland Press Inc., Long Grove, Illinois.
- PETRÁŠ, R., NOCIAR, V., 1991. Nové sortimentačné tabuľky hlavných ihličnatých drevín. *Lesn. časopis* 37, 377–392.
- PETRÁŠ, R., NOCIAR, V., 1990. Nové sortimentačné tabuľky hlavných listnatých drevín. *Lesn. časopis* 36, 535–552.
- PETRÁŠ, R., PAJTÍK, J., 1991. Sústava česko-slovenských objemových tabuliek drevín. *Lesn. časopis* 37, 49–56.
- PUKKALA, T., 2016. Which type of forest management provides most ecosystem services? *For. Ecosyst.* 3, 9. doi:10.1186/s40663-016-0068-5
- RÖHRIG, E., BARTSCH, N., LÜPKE, B., 2006. *Waldbau auf ökologischer Grundlage (7. Auflage)*. Stuttgart: UTB Verlag Eugen Ulmer.
- ROSINOVÁ, D., DÚBRAVSKÁ, M., 2007. *Optimalizácia*. Slovenská technická univerzita.
- SANIGA, M., 2007. *Pestovanie lesa*. Vysokoškolská učebnica. Technická univerzita vo Zvolene.
- SEDMÁK, R., FABRIKA, M., BAHÝE, J., IVAN, P., TUČEK, J., 2013. Application of simulation and optimization tools for developing forest management plans in the Slovak natural and management conditions. *Implement. DSS TOOLS INTO For. Pract.* 139–152.
- SHEPPARD, S., MEITNER, M., 2005. Using multi-criteria analysis and visualisation for sustainable forest management planning with stakeholder groups. *For. Ecol. Manage.* 207, 171–187. doi:10.1016/j.foreco.2004.10.032
- SCHÜTZ, J.P., 1999. Close-to-nature silviculture: is this concept compatible with species diversity? *For.* 72, 359–366. doi:10.1093/forestry/72.4.359
- ŠMELKO, Š., PÁNEK, F., ZANVIT, B., 1987. Matematická formulácia systému jednotných výškových kriviek rovnovekých porastov SSR. *Acta Fac. For. Zvolen.*
- VACEK, S., VYCEK, Z., BÍLEK, L., NOSKOVÁ, I., SCHWARZ, O., 2010. Structure and development of forest stands on permanent research plots in the Krkonoše Mts. *J. For. Sci.* 56, 555–569.
- VALACH, J., 2011. *Investiční rozhodování a dlouhodobé financování*. EKOPRESS.
- Výhláška 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

---

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-15-0714, APVV 15-0265, APVV 0069-12.

Adresa autorov:

Ing. Jozef Výboštok  
Ing. Ján Bahýľ, PhD.  
doc. Ing. Ján Merganič, PhD.  
Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie  
Lesnícka fakulta  
Technická univerzita vo Zvolene  
T.G.Masaryka 24  
960 53 Zvolen  
Slovenská republika  
email: jozef.vybostok@tuzvo.sk  
email: jan.bahyl@tuzvo.sk  
email: merganic@tuzvo.sk

## **Using a decision support system for forest management planning of stand regeneration**

### **Summary**

Development of forest management is subject to a number of factors resulting from forest functions. Besides the timber production function, forest ecosystems offer a wide range of other products and services included in social, environmental and economic functions. Harmonization of the fulfilment of forest functions cannot be performed only by the human brain because it is not adapted to deal with such complicated issue. Therefore, it is necessary to use a computer technology. The aim of this paper is the use of the growth simulator Sibyla and optimization subsystem VisAn for selection of the appropriate method of stand regeneration in an effort to achieve various objectives of forest management. Moreover, the aim of this work is to optimize the duration of rotation and regeneration period of selected forest management methods together with the compliance of specified forest manager's objectives.

The output data of growth simulator present the basic information for the formation of interactive decision map (IDM) according to various methods of forest management. Eventually, we created four types of decision makers as representatives of forest managers with different preferences of forest management objectives. Interactive decision maps provide the appropriate forest management method in order to achieve required objective of decision makers. The results show that the combination of the use of growth simulator, multicriterial optimization and adequate knowledge of forest manager is and an optimal appropriate way of forest management planning in accordance with the fulfilment of various forest functions. In addition, the experimental design of forest management planning is totally flexible and decision maker is able to coordinate the planning according to the actual state of forest and the current situation in forestry.



## VPLYV TERMÍNU VÝSADBY A PŮDNYCH KONDICIONÉROV NA RAST KULTÚR SMREKA OBYČAJNÉHO A BOROVICE LESNEJ V STRÁŽOVSKÝCH VRCHOCH

Michal F I L Í P E K

**Filípek, M.: Vplyv termínu výsadby a pôdnych kondicionérov na rast kultúr smreka obyčajného a borovice lesnej v Strážovských vrchoch.** Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, 58/1 2016, 73 – 85.

Práca sa zaoberá hodnotením účinku hydrogélových pôdnych kondicionérov a termínu výsadby na rast, prežívanie sadenic borovice lesnej (*Pinus sylvestris* (L.) a smreka obyčajného *Picea abies* (L.) Karst.). Výskumná plocha bola založená na holine, ktorá vznikla po veternej kalamite v Strážovských vrchoch. Ako sadbový materiál boli použité voľnokorenné a krytokorenné sadenice, vysadené v jesennom a jarnom termíne. Použité boli hydrogély Stockosorb a Ectovit. Stockosorb je typický hydrogél a Ectovit je hydrogél s ektomykoríznymi spórmi a hýfami hubového mycélia. Experiment bol založený v jeseni 2013 a na jar 2014. Experimentálny materiál bol zbieraný po prvom a druhom vegetačnom období. Hlavné charakteristiky merané na sadenicach boli hrúbka kmienka, výška sadenice, ročný výškový prírastok a objem nadzemnej časti. Tiež sa vykonali chemické analýzy fotosyntetického aparátu. Krytokorenné sadenice smreka vysadené v jeseni vykazovali signifikantne vyššie hodnoty v meraných charakteristikách hrúbka kmienka, výška a objem nadzemnej časti po prvom a tiež druhom vegetačnom období. Borovicové sadenice vysadené v jesennom termíne dosiahli signifikantne vyššie hodnoty pri charakteristike výška avšak len po prvom vegetačnom období. Tieto výsledky dokazujú, že umelá inokulácia, použitie hydrogélův, krytokorenných sadenic a jesenného termínu výsadby môžu byť úspešne použité v lesníckej prevádzke.

**Kľúčové slová:** hydrogél, ektomykoriza, krytokorenný, voľnokorenný, smrek, borovica, termín výsadby

### 1 ÚVOD A CIEĽ

V posledných dvoch desaťročiach je v lesníckej praxi viditeľný posun smerujúci k uprednostňovaniu prirodzenej obnovy lesných porastov. Využitie prirodzenej obnovy má nesporné výhody nielen z hľadiska ekonomického ale tiež ekologického. Nakoľko pri správnom použití a načasovaní jednotlivých prvkov obnovy je lesný hospodár schopný zabezpečiť existenciu následného porastu bez rizika vzniku holej plochy so všetkými jej negatívne pôsobiacimi vplyvmi. Navyše následná generácia stromov vzniknutá z prirodzenej obnovy bude s najväčšou pravdepodobnosťou disponovať genetickými vlastnosťami prispôbenými daným špecifickým prírodným podmienkam. Priestor pre využívanie umelej obnovy sa takýmto spôsobom obmedzil na také podmienky, kde nie je vznik následnej generácie prirodzenou cestou možný. Jedná sa najmä o oblasti, ktoré si z hľadiska úzko špecifických ekologických podmienok vyžadujú realizovať umelú obnovu lesných

porastov. Medzi takéto podmienky môžeme zaradiť napríklad zalesňovanie viatych pieskov na Záhorí, dopĺňovanie medzier ktoré v porastoch vznikli po neúspešnej prirodzenej obnove, vnášanie nových druhov do rovnorodých porastov (napríklad formou podsadiieb) a niektoré ďalšie špecifické prípady. Predmetom záujmu sa v súčasných meniacich sa prírodných podmienkach stávajú stále viac aktuálne obnovy kalamitných holín. Vznik týchto holín má pôvod najmä v pôsobení vetra, prípadne podkôrneho hmyzu. S ohľadom na vysokú finančnú náročnosť umelej obnovy je potrebné, aby sa maximalizoval účinok, a aby sa vo zvýšenej miere dbalo na kvalitu používaného sadbového materiálu. Rovnako dôležitým faktorom je aj kvalita vykonávaných zalesňovacích prác. Ako vhodný nástroj na zvyšovanie ujímavosti výsadiieb a zlepšenie rastu v prvých vegetačných obdobiach po výsadbe sa v poslednej dobe ukazuje používanie rôznych pôdnych kondicionérov. Aplikácia pôdnych kondicionérov sa viaže na použitie či už pri pestovaní v lesných škôlkach alebo priamo pri výsadbe na zalesňovanej lokalite. V poslednom období sa hydroabsorbenty a mykorízne prípravky javia ako vhodné prostriedky na zlepšenie prekonávania nepriaznivých podmienok prostredia. Vo všeobecnosti môžeme tvrdiť, že tieto prípravky optimalizujú príjem vody a živín. Taktiež bol zistený priaznivý vplyv na vývin koreňovej sústavy, čím sa priamo ovplyvňuje rozsah ujímavosti výsadiieb (TUČEKOVÁ 2011).

Cieľom výskumu bolo zhodnotenie vplyvu pôsobenia aplikovaných prípravkov (Stockosorb a Ectovit) a termínu výsadby (jar, jeseň) na ujímanie, prežívanie, rast a minerálnu výživu sadeníc. Testované boli sadenice smreka a borovice v dvoch typoch krytokorenný a voľnokorenný. Do testovania sme zahrnuli aj termíny výsadby a to jarný a jesenný. Takto sme sa snažili dosiahnuť čo možno najkomplexnejší pohľad na ujímavosť, prežívanie a odrastanie sadeníc na výskumnej ploche. Výskumná výsadbová plocha bola založená v podmienkach kalamitnej plochy v Strážovských vrchoch. Merania a pozorovania boli uskutočnené po prvom a druhom vegetačnom období

## **2 ROZBOR PROBLEMATIKY**

### **2.1 Sadbový materiál a termín výsadby**

V našich podmienkach, štandardne využívaný voľnokorenný sadbový materiál pestovaný na voľných záhonoch, dopĺňajú v stále väčšej miere sadenice pestované pod PET krytmi, fóliovníkmi a krytokorenné sadenice. Obalovaný sadbový materiál prináša mnohé výhody v porovnaní so štandardným voľnokorenným materiálom ako napr. predĺženie termínu zalesňovania alebo lepšie prekonávanie šoku z presadenia. TUČEKOVÁ (2003) uvádza, že podľa analýz prírodných podmienok je možné do budúcnosti počítať až s 30% podielom obalovaných sadeníc z celkového množstva pestovaného materiálu na Slovensku.

Termín zalesňovania závisí od vlastností drevín, pomerov prostredia v čase výsadby a použitému typu sadbového materiálu. Termín zalesňovania musí rešpektovať periodicitu rastu koreňov. Z prevádzkového hľadiska najčastejšie využívaný jarný termín je možné vhodne doplniť využitím letného resp. jesenného termínu výsadby a to najmä na lokalitách, kde je z rôznych dôvodov úspešnosť zalesňovania v jarnom termíne ohrozená. (Šmelková 2009).

## 2.2 Charakteristika a aplikácia použitých prípravkov

Látky označované ako pôdne kondicionéry, sú vo svojej podstate všetky látky prírodného alebo syntetického charakteru, ktoré môžu obsahovať okrem živín aj ďalšie pozitívne pôsobiace látky (napr. vitamíny, fytohormóny, stopové prvky a pod.). Pôsobením týchto prospešných látok sa zabezpečí zlepšenie chemických, fyzikálnych a biologických vlastností pôdy, ktoré plnia dôležitú úlohu najmä na stanovištiach extrémne exponovaných vplyvu nepriaznivých faktorov. Pestované dreviny sú ovplyvňované súčasne mnohými biotickými aj abiotickými činiteľmi, čo u rastlín vyvoláva stres (REPÁČ a kol. 2013). Hlavnou úlohou pôdnych kondicionérov je predovšetkým zvýšenie sorpčnej kapacity. Podľa mechanizmu, akým kondicionéry pôsobia, môžu zlepšiť hospodárenie rastlín s vodou a živinami a výrazne ovplyvňovať mikrobiálne procesy v bezprostrednej blízkosti koreňov. Môžu tiež pôsobiť stimulačne na účinok iných látok alebo na seba viazať škodlivé látky. Aplikácia je možná vo forme prášku, granúl, gélu alebo tekutiny priamo na korene rastlín alebo pri výsadbe do jamky (FILČÁK 2012). Pozitívny vplyv moderných prípravkov v umelej obnove je po viacročných pozorovaniach preukázateľný (KULLA a kol. 2009). Aplikácia pôdneho kondicionéra sa realizuje už pri pestovaní sadbového materiálu v lesných škôlkach. Ak nebol použitý pri pestovaní sadeníc alebo semenáčikov je ho možné použiť pri zalesňovaní (FERENCOVÁ, SARVAŠOVÁ, 2007). Použitie kondicionérov je nákladnejším opatrením, ktoré sa odporúča najmä v problémových oblastiach, kde predstavujú perspektívnu možnosť zvýšenia ujatosti a prežívania kultúr. Táto problematika je v posledných rokoch predmetom lesníckeho výskumu. Na základe viacročných pozorovaní sa v umelej obnove preukazuje pozitívny vplyv kondicionérov na zlepšenie zdravotného stavu, vitality, pôdnej aktivity a je perspektívnym nástrojom na znižovanie šoku z presadenia (KULLA a kol. 2009).

Ectovit (Symbiom s.r.o., Lanškroun, Česká republika) je prírodný biopreparát na báze ektomykoríznych húb. Je určený na vytvorenie ektomykoríznej symbiôzy medzi koreňmi hostiteľskej rastliny a ektomykoríznymi hubami obsiahnutými v prípravku. Prípravok tvoria dve zložky, a to suchá (zmes perlitu a rašeliny, ktorá slúži ako nosič spór ektomykoríznych húb pestrec obyčajný (*Scleroderma citrinum* Pers.) a hráškovec obyčajný (*Pisolithus arrhizus* (Scop.) Rauschert), práškový hydrogél, látky podporujúce tvorbu EKM symbiôzy – humáty, mleté horniny, výťažky morských organizmov) a tekutá (mycélium ektomykoríznych húb). Prípravok obyčajne obsahuje mycélium štyroch druhov EKM húb, vybraných podľa momentálnej dispozície a cielenej dreviny z väčšieho množstva EKM húb, ktorými disponuje producent. V jednotlivých experimentoch prezentovaných v tejto práci bolo použité mycélium niektorých štyroch z týchto EKM húb – muchotrávka červená (*Amanita muscaria* (L.) Lam) 2 izoláty, muchotrávka červenkastá (*Amanita rubescens* Pers.), *Cenococcum geophilum*, slzivka obyčajná (*Hebeloma crustuliniforme* (Bull.) Quél.), slzivka plst'onohá (*Hebeloma velutipes* Bruchet), lakovka obyčajná (*Laccaria laccata* (Scop.) Cooke), lakovka veľká (*Laccaria Proxima* (Boud.) Pat.) a čechračka podvinutá (*Paxillus involutus* (Batsch) Fr.). Prípravok bol aplikovaný vo forme gélu (riedkej pasty), do ktorého sa namáčali korene sadeníc bezprostredne pred výsadbou. Gél bol pripravený zmiešaním suchej zložky, hubového mycélia a primeraného množstva vody,

aby prípravok priľnul na korene. Výrobca ponúka preparát v 100 g, 300 g alebo 3 kg balení, pričom 300 g balenie by malo vystačiť na aplikáciu k 100 ks sadeníc, záleží však na veľkosti a hustote ich koreňového systému ([www.symbiom.cz](http://www.symbiom.cz)).

Stockosorb (Evonik Stockhausen GmbH, Krefeld, Nemecko) z chemického hľadiska sa jedná o polyakrylamidovú zlúčeninu vo forme práškoveho koncentráту. Je to vysokoúčinný hydroabsorbent, ktorý je schopný viazať extrémne množstvo vody. Vo vodnom prostredí ju na seba silno viaže a tým vytvára gél. Výrobca udáva, že gél z 1 g hydrogélu Stockosorb je schopný viazať až 300 ml vody. Gél nanosený na koreňové sústavy drevín dokáže tak ochrániť najjemnejšie koreňky rastliny pred poškodením suchom a podporiť jej rast i v extrémnych podmienkach prostredia. Prípravok by mal svojou prítomnosťou zabezpečiť aj prežívanie sadeníc a semenáčikov a posúvať toleranciu jedincov voči stresu spôsobenému suchom ([www.creasorb.com](http://www.creasorb.com)).

### 2.3 Mykorízna symbióza

Mykoríznu symbiózu možno charakterizovať ako obojstranne prospešný mutualistický vzťah medzi hubou a rastlinou, kde na jednej strane huba získava najmä sacharidy (hexózy), na druhej strane rastlina zase minerálne soli, najmä fosforečnany. Takmer všetky rastliny, ktoré rastú na súši vytvárajú v nejakej podobe symbiotický vzťah. Najčastejšie sa jedná o vzťah s hubami, vtedy hovoríme o mykoríznej symbióze. (GRYNDLER a kol. 2004). Pre využitie v lesníctve má najväčšiu perspektívu uplatnenia ektomykoríza, ktorá je typická pre spolužitie húb a drevín a jej charakteristickým znakom je, že huba nepreniká do vnútorných priestorov buniek. Úsek koreňa kolonizovaný hubou je často zdurený. Hýfy v medzibunkových priestoroch tvoria Hartigovu sieť. Spleť hýf na povrchu koreňov je potom označovaná ako hýfový plášť. Tento typ mykoríznej symbiózy sa tvorí takmer výhradne s kermi a stromami teda drevnatými rastlinami, s nedrevnatými rastlinami sa tvorí len zriedka (CAIRNEY 2000).

## 3 METODIKA A EXPERIMENTÁLNY MATERIÁL

### 3.1 Základné informácie o výskumnej výsadbovej ploche (lokalita, usporiadanie experimentu, charakteristika prostredia a sadbového materiálu)

Voľba vysádzaných drevín zodpovedala podmienkam stanovišťa (typologickým jednotkám, predpisu PSL) na danej lokalite. Sadbový materiál použitý pri výsadbe zodpovedal požiadavkám zákona o lesnom reprodukčnom materiáli, teda pochádzal z uznaných zdrojov LRM, bol zaregistrovaný orgánom štátnej odbornej kontroly a mal vhodný pôvod. Experimenty boli založené v blokoch s trojnásobným opakovaním. Sadenice a semenáčky boli vysádzané jamkovou sadbou.

Výskumná výsadbová plocha bola založená na jeseň 2013 a dizajn plochy bol dotvorený na jar 2014 na holine po vetrovej kalamite. Obhospodarovateľom je urbárske pozemkové spoločenstvo Čičmany a leží v geomorfologickom celku Strážovské vrchy, lesná



oblasť 25 A Strážovské vrchy. Geologickým podložím je vápenec, pôdny typ rendzina, miestami veľmi plytká. Plocha je v nadmorskej výške 670 m, výmera jedného bloku bola 0,16 ha a celková výmera 0,48 ha, expozícia SZ, sklon 30%, použité prípravky Ectovit a Stockosorb, rozstup sadeníc 1,4 m, počet sadeníc na hektár 5 000 pre obe dreviny. Pôvodný porast mal vek 110 rokov, zakmenenie 0,7, zastúpenie drevín smrek 94%, buk 6%. Dielec v ktorom leží výsadbová plocha sa nachádza v 5. (jedľovo-bukovom) lesnom vegetačnom stupni, parí do HSLT 511 živné jedľové bučiny, skupina lesných typov Fageto-Aceretum. Predpísané obnovné drevinové zloženie drevín podľa PSL je buk 50%, smrek 40% a borovica 10%.

Príprava prostredia výsadbovej plochy spočívala vo vyčistení plochy zo zvyškov drevnej hmoty po náhodnej ťažbe ich uhadzovaním do hromád, ktoré boli spálené. Na výskumnú plochu boli vysadené voľnokorenné semenáčky borovice lesnej a sadenice smreka obyčajného. Voľnokorenné sadenice a semenáčky boli vypestované v miestnej malej lesnej škôlke, krytokorenné v malej lesnej škôlke pri Liptovskom Hrádku. V jesennom termíne boli vysadené sadenice bez použitia prípravku. V jarnom termíne bol dizajn plochy dotvorený neošetrenými sadenicami a sadenicami ošetrenými prípravkami Ectovit a Stockosorb. Spolu bolo vysadených 2 400 ks sadeníc (50 ks × 2 dreviny × 2 typy sadeníc × 4 varianty (jeseň, jar, jar+Ectovit, jar+Stockosorb) × 3 bloky). Základné údaje o použitých semenáčikoch a sadenicách sú v tab. 1.

Tab. 1 Základná charakteristika voľnokorenných (VK) a krytokorenných (KK) sadeníc smreka obyčajného a borovice lesnej vysadených jeseni 2013 a na jar 2014 (bez a s aplikáciou prípravkov Ectovit a Stockosorb)

Table 1 Basic characteristic of bareroot and container-grown Norway spruce and Scots pine seedlings planted in autumn 2013 and spring 2014 (whit and without application of commercial additives Ectovit and Stockosorb)

Drevina	Typ	Evidenčný kód	Semenný zdroj	Semenárska oblasť	Vek	obal
Smrek obyčajný	VK	pab214MT-630	UP kat. B	Fatransko-tatranská	2+2	–
	KK	pab243LM-630	UP kat. B	Fatransko-tatranská	2+0	Plantek F
Borovica lesná	VK	psy315PP-023	Semenný sad	Severoslovenská	1+0	–
	KK	psy214TR-007	UP kat. B	Severoslovenská	2+0	Plantek F

### 3.2 Zber a sporacovanie experimentálneho materiálu

Po prvom aj druhom vegetačnom období sa v mesiaci november pristúpilo k hodnoteniu prežívania, poškodenia a rastu lesných kultúr. Hodnotené biometrické charakteristiky nadzemnej časti boli výška kmienka, výškový prírastok, hrúbka kmienka a objem nadzemnej časti vypočítaný (hrúbka<sup>2</sup> × výška). Do hodnotenia biometrických vlastností sa vybrali len zdravé nepoškodené jedince. Výskumná výsadbová plocha (VPP) bola založená v rámci prevádzkových zalesňovacích povinností. Preto sa po prvom aj druhom vegetačnom období sa odbrali 4 koreňové sústavy z každej drevín, typu, variantu

a opakovania. Teda po prvom aj druhom vegetačnom období sa jednalo spolu o 192 ko-reňových sústav. Prežívanie (po 1. roku ako ujatosť) bolo hodnotené ako percento živých (zdravé + poškodené) jedincov z počtu vysadených. Poškodenie ako percento počtu poškodených z celkového počtu prežívajúcich jedincov.

Z viacerých jedincov z každého z troch opakovaní boli odobraté asimilačné orgány pre chemické analýzy za účelom zistenia obsahu C a základných živín (N, P, K, Ca, Mg). Chemické rozbory boli robené len z jednej zmiešanej vzorky pre každý variant. N a C boli stanovené analyzátorom NCS-FLASH 1112, ďalšie minerálne prvky po zmineralizovaní materiálu použitím metódy AES-ICP. Chemické analýzy boli vykonané v laboratóriu NLC Zvolen.

Rastové charakteristiky experimentu boli analyzované jednofaktorovou analýzou variancie (ANOVA). Významnosť rozdielov medzi úrovňami hodnotených faktorov alebo ich kombináciami bola posúdená Tukeyovým testom pri hladine významnosti ( $P < 0,05$ ). Výpočty boli uskutočňované softvérom SAS (Institute Inc., USA).

## 4 VÝSLEDKY

### 4.1 Ujatosť a prežívanie sadeníc

Priemerná ujatosť semenáčikov resp. sadeníc oboch drevín bez ohľadu na aplikáciu komerčných prípravkov bola po prvom vegetačnom období na úrovni 75,8%. Po prvom vegetačnom období teda uhynulo 24,2% zo všetkých vysadených sadeníc. Priemerné prežívanie všetkých drevín spolu bez ohľadu na variant bolo po druhom roku 56%. V priebehu 2. roka teda uhynulo 19,8% zo všetkých vysadených sadeníc. Podrobné údaje o prežívaní sadeníc po prvom a druhom vegetačnom období vid' tab. 2.

Tab. 2 Prežívanie (% z vysadených semenáčikov/sadeníc) výsadiieb smreka obyčajného a borovice lesnej po prvom a druhom vegetačnom období po výsadbe

Table 2 Survival (% from outplanted seedlings) of Norway spruce and Scots pine plantation after the first and second growing season

	Smrek voľnokorenný		Smrek krytokorenný		Borovica voľnokorenná		Borovica krytokorenná	
	1. rok	2. rok	1. rok	2. rok	1. rok	2. rok	1. rok	2. rok
Jeseň	85	79	79	66	45	23	84	62
Jar	93	84	73	38	47	21	79	71
Ectovit	95	79	77	61	67	30	80	64
Stock.	93	70	85	62	36	23	87	63
Priemer	92	78	79	57	49	24	83	65

C, (%), N (%), P, (g.kg<sup>-1</sup>) K, (g.kg<sup>-1</sup>) Ca(g.kg<sup>-1</sup>), Mg (g.kg<sup>-1</sup>)

### 4.2 Poškodenie semenáčikov resp. sadeníc

Najčastejším činiteľom, ktorý spôsoboval poškodenie sadeníc bola zver a sucho, ktoré sa prejavovalo uschnutým vrcholcom. V druhej vegetačnej sezóne bol domi-

nantným poškodením prežívajúcich sadeníc suchý vrcholec, ktorý mohol súvisieť aj so samotnou výsadbou a úplným neprispôbením sa sadeníc na výsadbovej ploche. V druhom vegetačnom období bolo najčastejšie zistené poškodenie spôsobené zverou. Túto skutočnosť môžeme prisúdiť aspoň čiastočnému odrasteniu sadeníc, ktoré sa tak stali viac vyhl'adávané zverou. Okrem týchto poškodení sme zistili aj ďalšie ako napríklad mechanické poškodenie pri vyžínaní a v 2. roku pribudlo poškodenie asimilačného aparátu ploskankou sadenicovou na mladých sadeniciach borovice a poškodenie terminálneho výhonku smreka nesprávnou aplikáciou repelentného prípravku proti zveri. Tieto druhy poškodenia sme zahrnuli do kategórie iné. Podrobné údaje o škodlivých činiteľoch tab. 3.

Tab. 3 Poškodenie (% z prežívajúcich semenáčikov/sadeníc) výsadiel smreka obyčajného a borovice lesnej po prvom a druhom vegetačnom období po výsadbe

Table 3 Damage (% from outplanted seedlings) of Norway spruce and Scots pine plantation after the first and second growing season.

	Smrek voľnokorenný			Smrek krytokorenný			Borovica voľnokorenná			Borovica krytokorenná		
	Zver	Suchý vrchol	Iné	Zver	Suchý vrchol	Iné	Zver	Suchý vrchol	Iné	Zver	Suchý vrchol.	Iné
Po 1. vegetačnom období												
Jes.	3	3,7	0	0	4,2	0	2,9	10,3	0	1,6	7,9	0,8
Jar	0,7	2,1	0	0	5,9	0	0	5,6	0	1,6	6,3	0
Ect.	1,4	2,8	0	0	9,5	0	1	5	0	1,6	3,3	0
Stock	1,5	6,2	0	0,8	10,2	0	0	3,7	0	0	5,1	0
Po 2. vegetačnom období												
Jes.	4,3	2,5	0,9	6,2	7,2	0	3	15,5	0	6,7	0	6,7
Jar	10,6	0,8	0,8	5,5	1,8	0	7,7	0	3,3	7,8	1	7,7
Ect.	7,8	0,9	0	14,6	2,2	1,1	15,9	4,5	0	7,4	3,2	1,1
Stock	9,8	3	0	4,4	8,8	16,5	0	0	0	5,4	1,1	5,4

### 4.3 Biometrické charakteristiky

Aplikácia komerčných prípravkov nemala štatisticky významný vplyv ( $P < 0,05$ ) na výškový prírastok a ostatné biometrické charakteristiky s výnimkou znaku výška kmienka po 1. vegetačnom období pri sadeniciach smreka krytokorenného ošetrených prípravkom Stockosorb v porovnaní s prípravkom Ectovit. Pozitívny vplyv na rastové parametre sa teda potvrdil len v tomto jedinom prípade, v 2. vegetačnom období neboli zistené žiadne štatisticky významné rozdiely.

V našom prípade je možné konštatovať, že štatisticky významný vplyv na jednotlivé parametre mal jesenný termín výsadby. Po prvom vegetačnom období sa potvrdil štatisticky významný vplyv jesenného termínu v prípade smreka krytokorenného pri hrúbke kmienka v porovnaní s ostatnými variantmi po 1. aj 2. vegetačnom období. Rovnako sa v porovnaní s ostatnými variantmi potvrdil vplyv jesenného termínu výsadby pri výške

kmienka po 1. vegetačnom období a po 2. vegetačnom období len v porovnaní s variantmi Ectovit a Stockosorb. Pri objeme po 1. vegetačnom období v porovnaní so všetkými a po druhom vegetačnom období v porovnaní s variantom Ectovit.

Štatistický významný vplyv jesenného termínu je možné konštatovať aj pri borovici voľnokorenej a krytokorenej po 1. vegetačnom období pri veličine výška. Výška z jesenného termínu voľnokorenej borovice vykazovala významné hodnoty v porovnaní so všetkými ostatnými variantami a v prípade krytokorenej borovice v porovnaní s variantami jar a Ectovit. Na základe pozorovaných charakteristík konštatujeme priaznivý vplyv jesenného termínu výsadby. Podrobné údaje o biometrických charakteristikách sa nachádzajú v tab. 6 a hodnoty F a P koeficientov a ďalších zdrojov variability použitej analýzy rozptylu (ANOVA) v tab. 5.

Tab. 4 Priemerné hodnoty  $\pm$  smerodajné odchyľky rastových parametrov semenáčikov/sadeníc smreka obyčajného a borovice lesnej po prvom a druhom vegetačnom období po výsadbe.

Table 4 Mean values  $\pm$  standard deviations of growth parameters of Norway spruce and Scots pine plantations after the first and the second growing season after outplanting

	Hrúbka kmeňka (mm)		Výška kmeňka (cm)		Výškový prírastok (cm)		Objem (cm <sup>3</sup> )	
	1. rok	2. rok	1. rok	2. rok	1. rok	2. rok	1. rok	2. rok
	Smrek obyčajný, voľnokorenný							
Jeseň	8,0 $\pm$ 2,1 <sup>a</sup>	9,3 $\pm$ 1,8 <sup>a</sup>	43,3 $\pm$ 10,3 <sup>a</sup>	48,1 $\pm$ 9,0 <sup>a</sup>	9,1 $\pm$ 5,0 <sup>a</sup>	5,2 $\pm$ 4,1 <sup>a</sup>	29,6 $\pm$ 21,8 <sup>a</sup>	45,0 $\pm$ 24,0 <sup>a</sup>
Jar	7,9 $\pm$ 1,7 <sup>a</sup>	9,8 $\pm$ 2,3 <sup>a</sup>	40,9 $\pm$ 7,7 <sup>a</sup>	46,7 $\pm$ 7,7 <sup>a</sup>	8,6 $\pm$ 2,2 <sup>a</sup>	7,8 $\pm$ 4,7 <sup>a</sup>	27,9 $\pm$ 15,8 <sup>a</sup>	48,8 $\pm$ 28,4 <sup>a</sup>
Jar+Ect.	7,7 $\pm$ 1,9 <sup>a</sup>	10,0 $\pm$ 2,3 <sup>a</sup>	41,6 $\pm$ 6,9 <sup>a</sup>	46,8 $\pm$ 7,7 <sup>a</sup>	8,3 $\pm$ 3,0 <sup>a</sup>	5,1 $\pm$ 3,6 <sup>a</sup>	27,6 $\pm$ 17,6 <sup>a</sup>	50,6 $\pm$ 27,0 <sup>a</sup>
Jar+Stoc.	7,3 $\pm$ 1,9 <sup>a</sup>	9,7 $\pm$ 1,9 <sup>a</sup>	38,9 $\pm$ 11,5 <sup>a</sup>	45,7 $\pm$ 8,4 <sup>a</sup>	7,8 $\pm$ 3,3 <sup>a</sup>	4,6 $\pm$ 2,4 <sup>a</sup>	24,4 $\pm$ 16,9 <sup>a</sup>	47,0 $\pm$ 25,1 <sup>a</sup>
	Smrek obyčajný, krytokorenný							
Jeseň	6,4 $\pm$ 1,7 <sup>a</sup>	8,1 $\pm$ 2,0 <sup>a</sup>	35,5 $\pm$ 5,0 <sup>a</sup>	41,1 $\pm$ 6,4 <sup>a</sup>	7,0 $\pm$ 2,5 <sup>a</sup>	6,5 $\pm$ 3,7 <sup>a</sup>	15,5 $\pm$ 8,4 <sup>a</sup>	29,3 $\pm$ 16,2 <sup>a</sup>
Jar	3,9 $\pm$ 0,8 <sup>b</sup>	6,3 $\pm$ 1,7 <sup>b</sup>	27,8 $\pm$ 4,0 <sup>b</sup>	35,7 $\pm$ 7,8 <sup>ab</sup>	5,5 $\pm$ 2,1 <sup>a</sup>	7,9 $\pm$ 5,0 <sup>a</sup>	4,4 $\pm$ 2,3 <sup>b</sup>	16,6 $\pm$ 15,3 <sup>ab</sup>
Jar+Ect.	4,5 $\pm$ 0,8 <sup>b</sup>	6,0 $\pm$ 1,3 <sup>b</sup>	26,4 $\pm$ 4,0 <sup>c</sup>	32,5 $\pm$ 5,7 <sup>b</sup>	5,9 $\pm$ 2,7 <sup>a</sup>	6,8 $\pm$ 3,6 <sup>a</sup>	5,5 $\pm$ 2,4 <sup>b</sup>	12,6 $\pm$ 7,5 <sup>b</sup>
Jar+Stoc.	4,2 $\pm$ 1,0 <sup>b</sup>	6,6 $\pm$ 1,7 <sup>b</sup>	28,1 $\pm$ 4,6 <sup>b</sup>	34,6 $\pm$ 6,2 <sup>b</sup>	5,6 $\pm$ 2,7 <sup>a</sup>	9,0 $\pm$ 4,7 <sup>a</sup>	5,4 $\pm$ 3,0 <sup>b</sup>	16,4 $\pm$ 9,8 <sup>ab</sup>
	Borovica lesná, voľnokorenná							
Jeseň	4,0 $\pm$ 0,8 <sup>a</sup>	5,4 $\pm$ 1,1 <sup>a</sup>	17,8 $\pm$ 5,6 <sup>a</sup>	29,5 $\pm$ 5,9 <sup>a</sup>	5,5 $\pm$ 5,7 <sup>a</sup>	10,5 $\pm$ 2,8 <sup>a</sup>	3,1 $\pm$ 1,9 <sup>a</sup>	9,3 $\pm$ 4,6 <sup>a</sup>
Jar	3,8 $\pm$ 1,3 <sup>a</sup>	5,9 $\pm$ 2,0 <sup>a</sup>	14,6 $\pm$ 4,3 <sup>b</sup>	27,5 $\pm$ 9,4 <sup>a</sup>	3,0 $\pm$ 4,0 <sup>a</sup>	11,4 $\pm$ 5,6 <sup>a</sup>	2,4 $\pm$ 1,9 <sup>a</sup>	12,0 $\pm$ 10,8 <sup>a</sup>
Jar+Ect.	4,0 $\pm$ 1,1 <sup>a</sup>	5,5 $\pm$ 1,3 <sup>a</sup>	16,0 $\pm$ 4,1 <sup>b</sup>	27,0 $\pm$ 7,3 <sup>a</sup>	0,6 $\pm$ 2,1 <sup>a</sup>	10,1 $\pm$ 4,0 <sup>a</sup>	2,8 $\pm$ 2,0 <sup>a</sup>	9,0 $\pm$ 6,4 <sup>a</sup>
Jar+Stoc.	4,1 $\pm$ 1,1 <sup>a</sup>	5,1 $\pm$ 1,6 <sup>a</sup>	15,5 $\pm$ 4,7 <sup>b</sup>	24,0 $\pm$ 8,5 <sup>a</sup>	4,7 $\pm$ 4,7 <sup>a</sup>	8,5 $\pm$ 5,6 <sup>a</sup>	3,0 $\pm$ 0,5 <sup>a</sup>	8,0 $\pm$ 8,1 <sup>a</sup>
	Borovica lesná, krytokorenná							
Jeseň	6,1 $\pm$ 1,8 <sup>a</sup>	9,2 $\pm$ 2,2 <sup>a</sup>	36,5 $\pm$ 7,7 <sup>a</sup>	42,7 $\pm$ 8,7 <sup>a</sup>	10,5 $\pm$ 4,0 <sup>a</sup>	13,3 $\pm$ 4,0 <sup>a</sup>	15,5 $\pm$ 12,3 <sup>a</sup>	46,0 $\pm$ 25,4 <sup>a</sup>
Jar	5,7 $\pm$ 2,9 <sup>a</sup>	8,1 $\pm$ 1,9 <sup>a</sup>	33,2 $\pm$ 6,4 <sup>b</sup>	45,1 $\pm$ 7,1 <sup>a</sup>	7,7 $\pm$ 4,1 <sup>a</sup>	12,0 $\pm$ 4,5 <sup>a</sup>	13,4 $\pm$ 29,0 <sup>a</sup>	32,0 $\pm$ 18,1 <sup>a</sup>
Jar+Ect.	6,1 $\pm$ 1,7 <sup>a</sup>	9,4 $\pm$ 2,4 <sup>a</sup>	32,9 $\pm$ 7,8 <sup>b</sup>	46,9 $\pm$ 7,8 <sup>a</sup>	8,7 $\pm$ 3,6 <sup>a</sup>	13,8 $\pm$ 4,7 <sup>a</sup>	13,9 $\pm$ 10,4 <sup>a</sup>	46,5 $\pm$ 29,0 <sup>a</sup>
Jar+Stoc.	5,7 $\pm$ 1,5 <sup>a</sup>	9,0 $\pm$ 2,1 <sup>a</sup>	35,7 $\pm$ 6,8 <sup>ab</sup>	48,3 $\pm$ 8,7 <sup>a</sup>	8,5 $\pm$ 4,1 <sup>a</sup>	13,7 $\pm$ 4,4 <sup>a</sup>	12,8 $\pm$ 8,5 <sup>a</sup>	42,5 $\pm$ 25,0 <sup>a</sup>

Osnačenie variantov rôznymi písmenami znamená, že výsledky sú navzájom štatisticky významné

Tab. 5 Analýza rozptylu (F a P hodnoty) účinku aplikácie prípravkov (Ectovit, Stockosorb) a termínu výsadby (jar a jeseň) na rastové parametre semenáčikov/sadeníc smreka obyčajného a borovice lesnej po prvom a druhom vegetačnom období

Table 5 Analysis of variance (F a P value) of effects of application of additives (Ectovit, Stockosorb) and planting term (autumn, spring) on growth parameters of outplanted Norway spruce and Scots pine seedlings after the first and the second growing season

	SM VK				SM KK			
	1. rok		2. rok		1. rok		2. rok	
	F	P	F	P	F	P	F	P
Hrúbka	4,29	0,0613	1,08	0,4256	22,86	0,0012	13,08	0,0048
Výška	1,87	0,2352	0,87	0,5085	361,07	0,0001	10,47	0,0085
Prírastok	1,32	0,3528	0,77	0,5507	19,13	0,0018	8,19	0,0153
Objem	1,16	0,3984	1,96	0,2216	4,42	0,0578	3,40	0,0944

	BO VK				BO KK			
	1. rok		2. rok		1. rok		2. rok	
	F	P	F	P	F	P	F	P
Hrúbka	0,20	0,8936	0,2	0,8914	0,87	0,5055	3,19	0,1055
Výška	14,95	0,0036	0,55	0,6654	7,40	0,0193	2,34	0,1728
Prírastok	0,57	0,6527	0,21	0,8876	0,72	0,5780	3,01	0,1165
Prírastok	2,08	0,2047	0,43	0,7390	2,92	0,1225	1,28	0,3634

	Zdroje variability							
	1. rok				2. rok			
	SM VK	SM KK	BO VK	BO KK	SM VK	SM KK	BO VK	BO KK
Reziduál	537	459	281	484	385	259	102	290
Celkom	548	470	292	495	396	270	113	301

F-hodnota Fisherovho testu, P-hodnota koeficientu hladiny významnosti, stupne voľnosti: variant = 3, opakovanie = 2, experimentálna chyba = 6

#### 4.4 Chemické analýzy

Po 1. aj 2. roku boli hodnoty obsahu uhlíka pri oboch druhoch drevín a variantoch pomerne vyrovnané. Výnimku tvorila len borovica voľnokorenná, kde boli hodnoty mierne nižšie po 1. roku avšak po druhom roku sa vyrovnali s ostatnými variantmi. Koncentrácie ďalších prvkov preukazovali mierne odchýlky. Borovica voľnokorenná dosiahla aj v prípade ďalších živín nižšie hodnoty, čo môžeme prisúdiť nedostatočnej vyspelosti použitého sadbového materiálu pre dané podmienky prostredia, ktoré vyžadujú jednoznačne vyspelejší materiál čo je možno vidieť nie len na obsahu jednotlivých prvkov ale aj na ďalších skúmaných charakteristikách. Kompletné údaje o hodnotách všetkých zisťovaných prvkov sú v tab. 6.

Tab. 6 Chemická analýza asimilačného aparátu semenáčikov/sadeníc smreka obyčajného a borovice lesnej po prvom a druhom vegetačnom období

Table 6 Chemical analysis of photosynthetic apparatus of Norway spruce and Scots pine after the first and the second growing season

	1. rok						2. rok					
	C	N	P	K	Ca	Mg	C	N	P	K	Ca	Mg
SM VK												
Jes	54,1	1,14	1,50	4,07	6,70	1,96	50,0	2,52	1,24	4,28	6,80	1,68
Jar	52,5	1,01	1,23	3,51	6,05	1,24	48,6	2,72	1,70	5,29	8,18	1,64
Ect	56,0	1,41	1,54	4,76	9,67	1,44	50,3	2,68	1,61	5,08	7,93	1,76
Stoc	52,6	1,04	1,42	4,78	6,94	1,30	49,1	2,86	1,59	5,51	7,79	1,46
SM KK												
Jes	52,4	1,69	1,71	6,8	8,82	1,42	49,2	2,46	1,43	4,56	5,65	1,33
Jar	51,3	1,06	1,43	5,53	6,58	1,59	49,5	2,33	1,50	4,30	4,52	1,26
Ect	52,3	1,09	1,60	6,18	8,99	1,28	50,9	2,44	1,42	4,37	6,10	1,25
Stoc	48,1	1,32	1,60	6,36	7,98	1,68	49,2	2,32	1,22	4,06	5,84	1,60
BO VK												
Jes	–	–	–	–	–	–	51,3	2,84	1,81	5,43	3,64	1,61
Jar	48,7	1,32	1,75	3,58	1,97	1,37	50,2	2,49	1,64	5,80	2,76	1,28
Ect	46,1	1,35	1,59	4,57	3,04	1,84	51,2	2,40	1,51	5,09	3,46	1,55
Stoc	48,8	1,38	1,80	4,55	2,55	1,70	48,4	2,40	1,85	5,17	3,19	1,51
BO KK												
Jes	52,2	1,74	1,69	6,26	5,07	2,24	48,3	2,54	1,578	5,16	3,45	1,39
Jar	48,8	1,68	1,73	5,83	5,36	1,92	50,0	2,56	1,48	3,97	3,71	1,86
Ect	52,1	1,60	1,59	5,98	4,35	1,04	48,6	2,55	1,52	5,41	2,88	1,42
Stoc	53,1	1,77	1,75	6,29	4,72	1,88	47,2	2,47	1,67	5,18	3,23	1,57

## 5 DISKUSIA

Výsledky autorov, ktorý sa zaoberali aplikáciou mykorrhíznych aj nemykorrhíznych pôdnych kondicionérov sú rôzne. V niektorých prípadoch uvádzajú autori vplyv stimulačných prípravkov na rast a prežívanie semenáčikov ako stimulačný (REPÁČ a kol. 2011, Šušlík 2011, TUČEKOVÁ a kol. 2007), v iných prípadoch zase ako indiferentný (REPÁČ 2007, TUČEKOVÁ a kol. 2007). Spôsob, akým zareagujú sadenice na aplikáciu prípravku sú rôzne a závisia od viacerých faktorov. Jedná sa napríklad o spôsob a metódu aplikácie inokula. Ak sa jedná o mikrobiálne prípravky, jedná sa najčastejšie o interakcie medzi hubou, drevinou a prostredím (REPÁČ 2007).

V našom prípade sme dospeli k záveru, že prípravky pôsobili stimulačne aj indiferentne. Najvýraznejšie sa prejavil priaznivý vplyv prípravku Ectovit na parametre zisťo-

vaných biometrických veličín. Pozitívny účinok tohto prípravku uvádzajú vo svojich prácach aj iní autori (ŠUŠLÍK 2011, REPÁČ a kol. 2011). Použitie prípravku Ectovit na ujatosť semenáčikov po prvom vegetačnom období sa prejavil v prípade voľnokorenej borovice, kde v porovnaní s priemernou hodnotou ujatosti všetkých variant nastala ujatosť o takmer 20% vyššia, ako v bola priemerná hodnota ujatosti voľnokorenej sadby borovice. Priaznivý vplyv na ujatosť výsadiieb ovplyvnený prípravkom Ectovit uvádzajú aj iní autori (REPÁČ a kol. 2013).

Pri použití prípravku Stockosorb sa neprejavili v našom prípade významné zlepšenia týkajúce sa parametrov meraných biometrických znakov a ani ujatosti jednotlivých drevín a typov sadby. U viacerých skúmaných parametrov boli namerané dokonca nižšie parametre nielen v porovnaní s prípravkom Ectovit ale aj s kontrolným variantmi označovaným ako jar. MAUER (2007) uvádza, že prípravok Stockosorb výrazne ovplyvnil, ako ujatosť sadeníc tak aj priemerné hodnoty meraných biometrických veličín na sadenicích.

## 6 ZÁVER

Na základe zhodnotenia ujatosti a prežívania sme zistili, že ako najvhodnejší typ sadbového materiálu bol smrek voľnokorenný, bez ohľadu na variant. Ako najmenej vhodný sa javila borovica voľnokorenná, u ktorej sa po prvom vegetačnom období prejavil pozitívny vplyv prípravku Ectovit, kedy bola ujatosť o 31% vyššia ako v prípade ošetrovania sadeníc prípravkom Stockosorb. Prežívanie po 2. vegetačnom období pri voľnokorenej borovici nevykázalo významné rozdiely.

Hodnotením rastových veličín sme zistili pri krytokorennom smreku ako najvýznamnejší vplyv na všetky veličiny jesenný termín výsadby, pričom sa aj štatisticky potvrdil v prípade hrúbok, výšok a objemu a to po prvom aj druhom roku. Po prvom roku sa potvrdil vplyv jesenného termínu výsadby na výškový rast borovice voľnokorenej aj krytokorenej.

Účinky prípravkov na obsah základných živín v asimilačných orgánoch sadeníc dosahovali značnú variabilitu. Hodnoty takto získané boli veľmi variabilné a vo viacerých prípadoch sa však vyskytli mierne stimulačné resp. inhibičné účinky v závislosti od vysadenej dreviny, veku sadeníc a vegetačného obdobia. Nízke hodnoty viacerých prvkov boli dosiahnuté najmä po prvom vegetačnom období v prípade voľnokorenej borovice. Túto skutočnosť je možné pripísať nevhodnosti stanovištných podmienok pre takéto sadbový materiál a s tým spojenú nedostatočnú minerálnu výživu.

Pri snahe o zlepšenie výsledkov umelej obnovy by sa malo prihliadať v prvom rade na kvalitu vykonaných prác pri výsadbe. Ak je výsadba realizovaná kvalitne, technicky správne a svedomito, začínajú hrať svoju úlohu ďalšie faktory, ktoré podmieňujú existenciu kultúry na zalesňovanej ploche. Dôležité je aj použitie kvalitného sadbového materiálu, ktorý bude stanovištné a pôvodom vhodný pre dané podmienky a takisto je dôležitá druhová skladba a spôsob zmiešania. Na vhodných lokalitách je opodstatnené využitie rôznych aditív, ktoré majú zlepšiť podmienky pre ďalšiu existenciu kultúry na zalesnenej ploche, ako napríklad hydrogélové prípravky, mikrobiálne prípravky alebo hnojivá. Na posúdenie



je aj presadzovanie jesenného termínu výsadby, ktorý sa v posledných rokoch ukazuje ako veľmi dôležitý pozitívny faktor na ujímavosť, prežívanie a vývoj kultúr. Jesenný termín môže odrážať najmä preto, že sadenice sa na ploche nachádzajú už od jesene a stávajú sa často objektom záujmu pre zver už v čase pred prvým vegetačným obdobím.

## 7 Literatúra

- CAIRNEY, J. W. G., Evolution of mycorrhiza systems. In *Naturwissenschaften*. 2000, vol. 87, no. 11, p. 467-475.
- FERENCOVÁ, I., SARVAŠOVÁ, I. 2007. Vplyv kondicionérov na ujímavosť a rast sadeníc po zalesnení In. *Acta Facultatis Forestalis*. 2007, roč. 49, č. 1, s. 129-140
- FILČÁK R. 2012. *Intenzifikácia postupov zalesňovania kalamitných holín so zameraním na rekonštrukciu smrečín*: Bakalárska práca. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka Fakulta, 2012. 53 s.
- GRYNDLER, M. et al 2004. Mykorhizní symbióza (O spolužití hub s kořeny rostlin), 1. vyd. Praha: Academia, 2004, 366 s. ISBN 80-200-1240-0
- KULLA, L. a kol. 2009. Modely hospodárenia a pestovanie stabilných smrekových porastov, 1. vyd. Zvolen : NLC, 2009, 15 s.
- MAUER, O. 2007. Možnosti ochrany lesných kultúr v období príušku. In *Aktuálne problémy lesného škôľkarstva, semenárstva a umelej obnovy lesa* NLC, 2007. s 145-149
- REPÁČ, I. 2007: Ectomycorrhiza formation and growth of *Picea abies* seedlings inoculated with alginate-bead fungal inoculum in peat and bark compost substrates. In *Forstry* [online]. vol. 80, no. 5 p. 517-530.
- REPÁČ, I. a kol. 2011. Vplyv mykorizácie a hnojenia na vývoj intenzívne pestovaných krytokorenných semenáčikov smreka obyčajného. *Aktuálne problémy lesného škôľkarstva semenárstva a umelej obnovy lesa*, NLC Zvolen
- REPÁČ, I., KMEŤ, J., VENCÚRIK, J., BALANDA, M., 2013. Účinky aplikácie komerčných stimulačných prípravkov na prežívanie, rastové a fyziologické parametre výsadby smreka obyčajného a buka lesného. *Zprávy lesníckeho výzkumu*, 58, 2013 (2), s.167-175.
- ŠMELKOVÁ, L., 2009. Zakladanie lesa. Vysokoškolská učebnica. 1. vyd. Zvolen: TU Zvolen, 2009. 339 s. ISBN 978-228- 2051-6
- ŠUŠLÍK, D. 2011: *Aplikácia stimulačných prípravkov pri pestovaní semenáčikov lesných drevín*. Bakalárska práca, Technická univerzita vo Zvolene, 43 s.
- TUČEKOVÁ, A. 2003. Obaľované sadenice (semenáčiky) – áno, či nie? In *Slovenské Lesokruhy*. 2003, č. 1-2, s. 11-13.
- TUČEKOVÁ, A. 2011. Netradičné progresívne technologické postupy umelej obnovy po kalamitách veľkého rozsahu. In *Les & Letokruhy*, 2011, roč. 67, č. 9-10, Príloha: Lesnícke listy pre prax, 2011 č. 5, s 1-8.
- TUČEKOVÁ, A. a kol. 2007. *Netradičné postupy umelej obnovy kalamitných holín v rámci OZ Čadca*. výskumná štúdia. NLC LVÚ Zvolen: 2007
- <<http://www.creasorb.com/product/creasorb/en/products/stockosorb/applications/forestry/pages/default.aspx> [cit. 14.2.2016]>
- <<https://www.symbiom.cz/cs/p-5-ectovit/?cat=2> [cit. 15.2.2016]>
-



## ZOBRAZOVANIE DIGITÁLNYCH LESNÍCKYCH MÁP NA INTERNETE

Martin Z Á P O T O C K Ý

**Zápotocký, M.: Zobrazovanie digitálnych lesníckych máp na internete.** Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, 58/1 2016, 87 – 100.

V práci prezentujeme uplatnenie mapových web aplikácií pre zobrazovanie geografických údajov na internete pre oblasť lesného hospodárstva a životného prostredia. Hlavným cieľom práce je vytvoriť súbor niekoľkých aplikácií so zameraním sa na zobrazovanie digitálnych mapových výstupov územia VŠLP a významných lesníckych miest na Slovensku. Jedná sa o aplikácie, ktoré predstavujú voľne šíriteľný a prístupný nástroj pre všetkých zamestnancov TU vo Zvolene ako aj pre širokú verejnosť. Poskytujú základné možnosti zobrazovania podkladových máp záujmového územia s poskytovaním informácií o jednotkách priestorového rozdelenia lesa v prehľadných grafických zobrazeniach s využitím kódovacích jazykov HTML, CSS a JavaScript pomocou rozhrania ASP.NET. Výsledky sú prezentované v troch samostatných aplikáciách pre zobrazovanie ortofotomáp a tematických máp VŠLP, zobrazovanie digitálnych modelov terénu a povrchu územia VŠLP a zobrazovanie významných lesníckych miest Slovenskej republiky. Aplikácie by mali slúžiť najmä pre efektívnejšie zisťovanie geografických a taxačných údajov jednotiek priestorového rozdelenia lesa pre potreby VŠLP vo vedení prevádzky a nadriadeným za účelom zvýšenia ich informovanosti o význame informačných technológií v lesnom hospodárstve. Mapové web aplikácie zároveň nájdu uplatnenie pri zvýšení povedomia širokej verejnosti o činnostiach v lesnom hospodárstve a životnom prostredí.

**Kľúčové slová:** digitálna mapa, geografická databáza, Internet GIS, mapová služba, lesnícky podnik

### 1. ÚVOD A CIEĽ

Prudký rozvoj kartografie od druhej polovice 20. rokov je výrazne poznačený rozvojom vedy a techniky v rôznych oblastiach spoločenského života. V tomto období sa registruje postupný prechod od manuálne vytváraných mapových podkladov až po tvorbu interaktívnych digitálnych máp, ktoré sú dostupné prostredníctvom internetu. Táto forma publikovania priestorových údajov v posledných rokoch predstavuje významný prvok v rámci sprístupňovania mapových poznatkov o záujmových územiach pre jednotlivých užívateľov. Využívanie týchto technológií nachádza uplatnenie v rámci geografických informačných systémov štátnej a verejnej správy v oblastiach geodézie, kartografie a katastra, životného prostredia, dopravy, vodného hospodárstva, pôdohospodárstva a armády. Zdieľanie priestorových údajov zároveň predstavuje nevyhnutnú zložku pre správne obhospodarovanie priestorových jednotiek rozdelenia lesa. Touto cestou je možné získaný objem informácií efektívne distribuovať zamestnancom štátnej správy lesného hospodárstva, odborným lesným hospodárom, vyhotoviteľom programov starostlivosti o les, vedecko-výskumným pracovníkom, ako aj širokej verejnosti.

Predložená práca sa zaoberá tvorbou mapových web aplikácií pre sprístupňovanie taxačných údajov, ortofotomáp a tematických máp lesných porastov na území VŠLP, digitálnych modelov tohto územia a interaktívnej mapy pre zobrazovanie významných lesníckych miest Slovenskej republiky. Účelom web aplikácií je poskytovať komplexné informácie o lesných porastoch na základe aktuálnych geografických údajov, ktoré sú uložené v relačnom systéme riadenia bázy údajov. Prostredníctvom aplikácie pracovníci a študenti TU Zvolen, budú môcť získať informácie vo forme máp, tabuliek a grafov. Súčasťou práce je aj mapová aplikácia pre zobrazovanie významných lesníckych miest na území Slovenskej republiky, ktorou sa zvyšuje povedomie širokej verejnosti o aktivitách a historickom vývoji lesného hospodárstva.

## **2 EXPERIMENTÁLNY MATERIÁL**

### **2.1 Použitý materiál**

Pre vytvorenie mapových web aplikácií bolo pre naše potreby nutné prispôbiť vektorové vrstvy poskytnuté Národným lesníckym centrom – Ústavom lesných zdrojov a informatiky Zvolen a následne z nich vytvoriť mapové web služby pre zdieľanie geografických údajov prostredníctvom internetu. Zároveň sme využili už existujúcu mapovú aplikáciu s názvom Ortofotomapy VŠLP, obsahujúcu sériu ortofotomáp územia VŠLP. V práci sme použili historickú a aktuálnu ortofotomapu Slovenska, ktorá bola obstaraná v rámci projektu Centrum excelentnosti pre podporu rozhodovania v lese a krajine, ITMS 26220120069, Technická univerzita vo Zvolene. Historická čierno-biela ortofotomapa bola vytvorená z archívnych leteckých snímok spoločnosťou GEODIS SLOVAKIA, s.r.o. Historické letecké meračské snímky vyhotovil Topografický ústav Banská Bystrica. Ortofotomapu vyhotovili spoločnosti EUROSENSE, s.r.o. a GEODIS SLOVAKIA, s.r.o. Farebné ortofotomapy (rok 2007 a 2011) s rozlíšením 30 cm a 10 cm z územia VŠLP spracoval doc. Ing. Bc. Miroslav Kardoš, PhD., Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie, Technická univerzita vo Zvolene. Letecké snímky boli vyhotovené v roku 2011 kamerou UltraCam X, snímkovanie a údaje leteckého laserového skenovania zabezpečila spoločnosť PHOTOMAP, s.r.o. Ortofotomapu z roku 1978 a 2007 vytvoril NLC – Ústav lesných zdrojov a informatiky Zvolen. Mapové podklady a tematické vrstvy lesníckych máp vyhotovil Ústav lesných zdrojov a informatiky – NLC Zvolen.

Na vyhotovenie mapových výstupov a interaktívnych digitálnych máp významných lesníckych miest na Slovensku boli použité vybrané vrstvy z Vojenského informačného systému o území (VISÚ), © Topografický ústav Banská Bystrica.

### **2.2 Hardvérové vybavenie**

#### **Osobný počítač**

Úprava vrstiev a webovej mapovej aplikácie prebehla na osobnom notebooku spoločnosti Lenovo. Operačným systémom je Windows 7 Professional.

Parametre:

- procesor: Intel® Core™ i3-3110M CPU @ 2 x 2,40 GHz
- systémová pamäť (RAM): 8,00 GB, DDR3
- typ systému: 64-bitový operačný systém
- kapacita úložiska: 1 TB
- grafické karty: Intel HD Graphics 4000 (integrovaná)

AMD Radeon™ HD 8750 2 GB (dedikovaná)

### **Pracovná stanica laboratória geoinformatiky**

Úprava vrstiev a samotná tvorba web aplikácie prebehla na pracovnej stanici spoločnosti Hewlett-Packard Company. Operačným systémom je Windows 7 Professional.

Parametre:

- procesor: Intel® Xeon® CPU E5-2660 0 @ 2 x 2,20 GHz
- systémová pamäť (RAM): 16,00 GB, DDR3
- typ systému: 64-bitový operačný systém
- kapacita úložiska: 1 TB
- grafická karta: NVIDIA Quadro K5000 4 GB

## **2.3 Softvérové vybavenie**

V rámci úprav tematických vrstiev bol využívaný geografický informačný systém ArcGIS for Desktop spoločnosti ESRI, pričom sa v prevažnej miere využíval modul ArcMap pre zobrazovanie a editáciu vrstiev a modul ArcCatalog pre správu geografických databáz a import/export údajov. Z dostupných zdrojov bola vyhotovená geografická databáza v prostredí Microsoft SQL Server. Implementácia zobrazovacích mapových služieb bola vykonaná pomocou ArcGIS for Server. Pre sprístupnenie údajov z programu starostlivosti o les mimo mapovej aplikácie bola vyhotovená sada formulárov a zostáv v systéme Microsoft Access. Budovanie samotnej aplikácie sa uskutočnilo vo vývojovom prostredí Microsoft Visual Studio. Úprava obrazových materiálov pre potreby zhľadú aplikácie bola vykonaná s využitím systému Gimp.

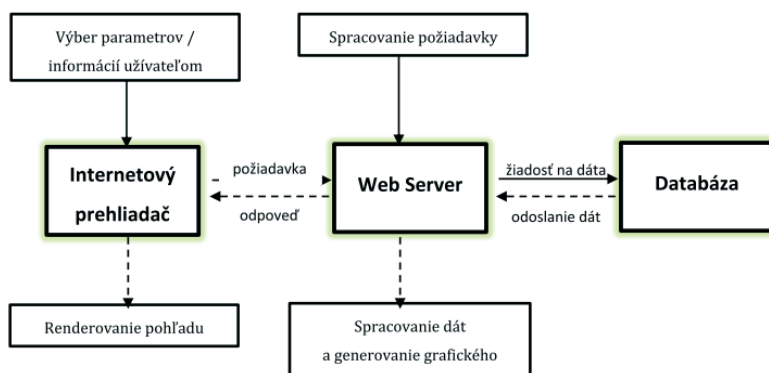
Pre potreby zobrazovania postupných úprav mapových web aplikácií sme využívali niekoľko internetových prehliadačov. Je to spôsobené ich nejednotnou kompatibilitou s použitými kódovacími jazykmi. Z dôvodu, že súčasní užívatelia internetu využívajú rôzne prehliadače, sme museli našu aplikáciu prispôsobiť tak, aby ju bolo možné zobrazovať v najrozšírenejších z nich (Google Chrome, Mozilla Firefox, Opera, Internet Explorer (verzie 9+) a Safari).

## **3 ROZBOR PROBLEMATIKY**

### **3.1 Mapová web aplikácia**

Mapové web aplikácie predstavujú vhodnú internetovú prezentáciu mapového diela a záujmovej oblasti oživeného o interaktívne odkazy na jednotlivé objekty a prvky na mape. Umožňuje nastavenie a zmenu veľkosti mierky prehľadovej mapy. Tiež je

možné vyhľadávať prvky na mape podľa vlastnej potreby a záujmu. Vytvorenú interaktívnu mapu je následne možné vložiť na web. Týmto spôsobom sa umožnilo sprístupnenie rôznych druhov máp pre všetkých internetových užívateľov, ktorí si tak jednoducho bez inštalácie náročných softvérov môžu cez webový prehliadač nájsť hľadané informácie o záujmovom území.



Obr. 1 – Schéma prenosu užívateľskej požiadavky (KOLIOS, 2015)  
Fig. 1 – Scheme of transmission of user requirements (KOLIOS, 2015)

Peng a Tsou (2003) uvádzajú, že vývoj GIS zdieľaných prostredníctvom internetu sleduje rozvoj počítačových technológií a telekomunikačných sietí. Vývoj smeroval od desktopových GIS k internetovým GIS, až k v súčasnosti rozšíreným mobilným GIS. Spolu s rozvojom mapových web aplikácií sa menili aj technológie využívané pri ich tvorbe. Začiatok evolúcie spočíval vo vytváraní statických máp, ktoré boli publikované a vyvíjané do statických webových aplikácií, až do interaktívnych web GIS. Statické mapy publikované na internetových stránkach boli v prevažnej miere v grafickom formáte (PDF, GIF, JPEG). Mapy sú zvyčajne súčasťou HTML dokumentu pre jeho obohatenie. Užívateľia ich nemôžu ovplyvňovať ani meniť ich zobrazenie.

Zjednodušenú schému prenosu užívateľskej požiadavky až k získaniu odpovede v rámci webovej GIS aplikácie uvádza Kolios a kol. (2015) na obrázku 1. Prvá časť (prezenčná) zahŕňa užívateľské rozhranie a je priamo spojená s užívateľmi internetu. Na druhej strane komunikuje s časťou pre web server, ktorému zasiela danú požiadavku. Výsledkom je odpoveď vo forme údajov v podobe zobrazenia na web stránke. Tretou časťou je úložný priestor tvorený z dát na databázovom serveri.

### 3.2 Mapové web služby

S využívaním internetových technológií v poslednom desaťročí, web služby sa objavili za účelom poskytovania údajov na internete z dôvodu zvýšenia dopytu po geografických informáciách (SHI, 2015).

Web službu (angl. *Web Service*) definujeme ako zapuzdrenú logiku jednej aplikácie, ktorú je možné využiť v rámci inej aplikácie. Z tohto dôvodu ide o strojovú interakciu, čiže nie je možné ich prehliadať v internetovom prehliadači. Preto nie sú určené pre ľudskú interakciu. Klimánek a Cibulka (2008) ich opisujú ako užitočný prostriedok pre reprezentáciu digitálnych geografických údajov v internetovom prostredí.

Pod pojmom mapová web služba rozumieme fakt, že výsledný produkt je odobratý z GIS a následne zdieľaný s ľuďmi, ktorí nemusia mať priamy prístup k údajom organizácie. Cieľom väčšiny mapových web služieb je podpora inteligentných máp, ktorá umožňuje priestorové a atribútové dopyty, navigáciu a analýzu. Zostavenie užitočných internetových máp je vecou nájdania (alebo vytvorenia) správnej kombinácie web služieb, ktoré dotvoria požadovaný účel (PENG – TSOU, 2003).

Služby, používané v našich aplikáciách, môžu pochádzať výhradne z našich vlastných serverov alebo z kombinovania rôznych serverov. Existuje aj mnoho bezplatných služieb, ktoré môžu zlepšiť vytvárané aplikácie, ako produkty spoločnosti ESRI, OpenStreetMap a ďalšie zdroje. Okrem uvedeného je možné pridať aj web služby, ktoré umožňujú lokalizovať súčasnú polohu pri pridávaní príspevkov na stránkach sociálnych médií, ako Flickr a Twitter, ktoré taktiež môžu zvyšovať hodnotu webovej stránky.

V prípade využitia GIS ako web služby sa otvára celý rad aplikácií, ktoré môžu byť spustené na pracovných staniciach, tabletoch, počítačoch alebo mobilných smartfónoch. Vyhotovenie webových služieb je možné vystaviť len v rámci svojej organizácie alebo pre ľubovoľné zariadenie, ktoré je možné pripojiť na internet.

### **3.3 Kódovacie jazyky**

#### **3.3.1 HTML5 a CSS3**

HTML5 spolu s CSS3, ktoré tvoria neoddeliteľnú súčasť, predstavujú v súčasnosti nové možnosti doposiaľ známej tvorby internetových stránok a tým posúvajú možnosti tvorby veľmi ďaleko za tie predchádzajúce.

Hypertextový značkový jazyk HTML predstavuje značkový jazyk určený na tvorbu web stránok a iných údajov zobraziteľných v internetovom prehliadači. HTML kladie dôraz skôr na prezentáciu informácií (fonty, odseky, písmo, a i.) ako na ich význam. HTML 5 pridáva a vylepšuje širokú škálu funkcií, ktorá zahŕňa pokročilé nástroje pre prácu s rôznymi rozhraniami, multimédiami, formulármi a štruktúrami, aby sa autorom webových stránok ponúкло viac flexibility a interoperability a tým umožnilo vznik nových webových stránok a služieb. Na práci budovania HTML5, ktorá sa zahájila už v roku 2004, sa podieľalo mnoho kľúčových spoločností v oblasti internetového sveta, vrátane zástupcov výrobcov štyroch majoritných prehliadačov (Microsoft, Apple, Mozilla, a Opera) a množstva ďalších organizácií a jednotlivcov s rozdielnymi záujmami a skúsenosťami.

Technológia kaskádových štýlov predstavuje metódu pre pokročilé programovanie webových stránok. Princíp kaskádových štýlov je založený na skutočnosti, že určitá vlastnosť (font, farba, ...) sa nepredpisuje jednému prvku, ale ak je to možné, všetkým prvkom

rovnakého druhu naraz. Tieto štýly sa potom dajú umiestniť do externého súboru, ktorý následne determinuje vzhľad celého webu. CSS3 je rozdelený na moduly. Obsahuje staré špecifikácie CSS (ktorý bol rozdelený na menšie kúsky), ako aj nové moduly (textové efekty, animácie, 2D/3D transformácie, ...). Väčšina z CSS3 modulov sú odporúčania W3C. Očakávané dokončenie tejto technológie sa predpokladá na rok 2015, avšak už skôr bola väčšina modulov podporovaná najpoužívanejšími webovými prehliadačmi.

### **3.3.2 JavaScript**

JavaScript predstavuje všestranný programovací jazyk, ktorý od svojho skromného počiatku v polovici 90. rokov 20. storočia, keby bol akýmsi doplnkom od spoločnosti Netscape k jazyku Visual Basic spoločnosti Microsoft, vyrástol do jedného z najobľúbenejších programovacích jazykov na svete (PEHLIVANIAN – NGUYEN, 2009).

Ďalšia definícia hovorí, že JavaScript predstavuje skriptovací jazyk, ktorý sa zvyčajne používa ako dynamická súčasť web stránok. Nakoľko prebieha len na strane klienta, internetový prehliadač dovoľuje JavaScript-u vykonávať len obmedzené množstvo operácií. Vo všeobecnosti mu povoľuje len prácu s web stránkou, v ktorej sa nachádza.

JavaScript sa zároveň používa na obohatenie správania sa webovej stránky. Medzi jeho hlavnú výhodu patrí rýchla reakcia stránky (nie je potreba dodatočného sťahovania). Najčastejšie sa využíva pri otváraní pop-up okien, zmenách na stránke pri pohybe myšou, overovanie správnosti dát vyplnených vo formulári, nariadenia v texte a ďalšie možnosti.

## **3.4 Mapové web aplikácie v lesnom hospodárstve Slovenskej republiky**

Rozvoj web GIS prináša v oblasti lesného hospodárstva a životného prostredia množstvo výhod ako pripojenie a transparentnosť údajov, nezávislosť platformy, nenáročné softvérové a hardvérové vybavenie, lepšia vizualizácia a zníženie nákladov. Zároveň umožňujú záujmovým skupinám a komunitám participovať pri environmentálnych problémoch, ktoré ich ovplyvňujú (AL-SABHAN et al., 2003).

Národné lesnícke centrum (NLC) – Ústav lesných zdrojov a informatiky v rámci svojej odbornej pôsobnosti disponuje jedinečnou databázou informácií o lesoch na Slovensku, ktorá sa tvorila niekoľko desaťročí v procese tvorby programov starostlivosti o les a pri rôznych prieskumoch a výskumoch v lesných ekosystémoch. Na zber, spravovanie, spracovávanie, analýzy a publikovanie spracovaných výstupov sa v minulosti používalo veľké množstvo špecializovaného softvéru a rôznych softvérových aplikácií vyvinutých vo vlastnej réžii, či externými dodávateľmi. Keďže takýto stav už prestal zodpovedať aktuálnym požiadavkám na komplexný lesnícky informačný systém, kolektív pracovníkov NLC na základe dlhoročných skúseností s využívaním geografických informačných systémov navrhol a rieši projekt „Lesnícky GIS“ (CIBULA et al., 2012).

Lesnícky GIS je budovaný s využitím dostupných technológií (ArcGIS for Server, MS SQL Server, ArcSDE a Silverlight). Súčasné prevedenie systému predstavuje viacvr-



tvovú aplikáciu, ktorá využíva z hľadiska mapových služieb ArcGIS for Server a z hľadiska údajových služieb WCF RIA Services. Uvedené služby získavajú údaje zo širokej bázy priestorových a taxačných informácií, ktorou NLC disponuje. Ide o údaje z programov starostlivosti o les, lesnej hospodárskej evidencie, WEBLES, lesnickej digitálnej mapy a i. (CIBULA et al., 2012).

Príkladom zdieľania údajov prostredníctvom internetu je aj mapová web aplikácia MAVYSK vyhotovená NLC v rámci Programu rozvoja vidieka SR 2014-2020. Aplikácia je zameraná na mapovanie výskytu škodlivých činiteľov, sledovanie invázných hmyzích druhov a kontrolu realizovaných opatrení ochrany lesa do digitálnej mapy. Aplikácia je vybudovaná pre potreby vlastníkov a užívateľov lesa, so zameraním na opatrenie „Podpora na prevenciu škôd v lesoch spôsobených lesnými požiarimi a prírodnými katastrofami a katastrofickými udalosťami“.

Problematika zdieľania geografických údajov pomocou internetu bola v minulosti riešená aj na Katedre hospodárskej úpravy lesov a geodézie na Lesnickej fakulte. Bola vytvorená mapová web aplikácia Arboréta Borová hora vo Zvolene, aplikácie pre zobrazovanie včelej pastvy a aplikácie pre zobrazovanie ortofotomáp Slovenska.

#### 4 METODIKA PRÁCE

Predložená práca sa okrem tvorby mapových web aplikácií venuje aj vytvoreniu geografickej databázy údajov Programu starostlivosti o les pre územie Vysokoškolského lesnickeho podniku Technickej univerzity vo Zvolene.

Pre naplnenie geografickej databázy sme mali k dispozícii univerzálnu tabuľku taxačných údajov o lesných porastoch územia VŠLP. Z uvedeného dôvodu sme pre splnenie normalizačných podmienok rozdelili túto reláciu na 3 hlavné tabuľky (*jprl*, *etaze*, *dreviny*) s niekoľkými číselníkmi. Pre tabuľku *jprl* sme zvolili ako primárny kľúč atribút *IDPS*. Tento číselný atribút predstavuje zoskupenie číslíc (číslo dielca, čiastkovej plochy, porastovej skupiny, rok založenia programu, a i.), ktorý jednoznačne identifikuje každú jednotku priestorového rozdelenia lesa (JPRL). K tejto tabuľke sme pripojili tabuľku *etaze*, ktorá má primárny kľúč zložený z dvoch atribútov – *IDPS* a *ET* (označenie etáže). K tabuľke *etaze* sme pripojili tabuľku *dreviny*, ktorá nemá primárny kľúč. Tabuľka *jprl* je k tabuľke *etaze* vo vzťahu 1:N a tabuľka *etaze* je k tabuľke *dreviny* vo vzťahu 1:N (porast môže byť zložený z viacerých etáží a etáž môže mať viac druhov stromov).

Za účelom jednoduchého využitia samotnej databázy bez aplikácie pre potreby názornej ukážky využitia databázy v rámci výučby odborných predmetov na lesnickej fakulte sme vytvorili niekoľko formulárov a zostáv. Vstupný formulár, ktorý sa automaticky aktivuje po spustení databázy v systéme MS Access, umožňuje prístup k jednotlivým objektom. Formuláre a zostavy boli v prevažnej miere vyhotovené interaktívne v návrhovom zobrazení. Tvorba formuláru s filtrovaním hodnôt podľa škodlivého činiteľa si vyžadovala zložitejšie riešenie. Z tohto dôvodu bola vytvorená procedúra, ktorou sa vyberú všetky záznamy, v ktorých sa nachádzajú hodnoty vybrané z rozbaľovacieho menu užívateľom. Vo výslednom formulári sa zobrazujú celé názvy škodlivých činiteľov a názvy drevín

s lokalizáciou v jednotlivých porastoch. Výsledné záznamy je možné vytlačiť v podobe zostavy.

Prispôbenie vektorových vrstiev pre účely mapových aplikácií sa uskutočnilo v prostredí ArcGIS for Desktop, ktoré boli obsiahnuté v geografických databázach záujmového územia VŠLP z roku 2004 a roku 2014, ktoré vyhotovilo Národné lesnícke centrum. Tieto geografické databázy boli zložené z veľkého počtu tried elementov (*Feature Classes*). Na základe potrieb aplikácie sme vybrali niekoľko z nich so zameraním sa na zachytenie najdôležitejších prvkov v záujmovom území. Úprava vektorových vrstiev zároveň spočívala vo vhodnom nastavení popisných údajov pre porasty, lesnú cestnú sieť a vrstevnice, vhodných mierok pre zobrazovanie vrstiev a farieb so zameraním sa na značkový kľúč Lesníckej digitálnej mapy. Nakoľko nie vždy bolo pre naše potreby vhodné použitie zobrazenia uvedeného v značkovom kľúči, v niektorých prípadoch sme sa inšpirovali zobrazením v Lesníckom GIS (napr. červené zobrazenie hraníc a popisných údajov porastov). V niektorých prípadoch bolo potrebné pre zabezpečenie lepšej čitateľnosti popisných údajov vrstevníc, porastov a lesnej cestnej siete na podklade tmavej ortofotomapy nastaviť bielu masku. Pre označenie porastov sme využili schému využitú v rámci Lesníckeho GIS, ktorá pozostáva zo súboru troch číslíc – z dielca, čiastkovej plochy a porastovej skupiny s postupným oddelovaním pomocou podtržníkov (napr. pre dielec č. 38, čiastkovú plochu „b“ a porastovú skupinu II. 38\_b\_2). Pri procese úprav popisných údajov sme využili nástroj *Maplex label engine*.

Znázornenie významných lesníckych miest na Slovensku v rámci aplikácie pre ich zobrazovanie je uskutočnené na základe práce Digitálna mapa významných lesníckych objektov (ORÁVIKOVÁ, 2016). Znázornenie digitálnych modelov v rámci aplikácie pre ich zobrazovanie je uskutočnené na základe práce Digitálne modely povrchov z údajov leteckého laserového skenovania (VRANOVÁ, 2016).

Súčasťou mapovej web aplikácie pre územie VŠLP je aj možnosť grafického znázornenia zastúpenia drevín na tomto území. Údaje o zastúpení jednotlivých drevín sa nachádzajú v tabuľke dreviny. Túto tabuľku bolo potrebné prepojiť s vrstvou obsahujúcou geometriu porastov. Takto sme každému porastu priradili údaje o zastúpeniach drevín, ktoré sa v nich nachádzajú. S využitím nástroje *Select by Attribute* sme následne uskutočnili filtráciu porastov podľa percentuálneho zastúpenia drevín. Po tomto rozdielovaní sme farebne rozlíšili jednotlivé kategórie. Kategórie zastúpenia drevín sme rozdelili do 4 základných skupín (SANIGA, 2010):

- základná (viac ako 30% zastúpenie danej dreviny),
- primiešaná (zastúpenie od 20 do 29%),
- vtrúsená (od 10 do 19%),
- jednotlivá prímes (menej ako 10%).

Príprava vrstiev pre tvorbu aplikácie ukázala, že niektoré úpravy nie sú podporované pri tvorbe mapových web služieb. Jednalo sa predovšetkým o nastavenie priehľadnosti pre porasty. Túto úpravu je potrebné vykonať dodatočne pri programovaní aplikácie jazykom JavaScript (napr. nastavenie úrovne priehľadnosti).

Na úpravu vektorových vrstiev nadväzuje vytvorenie mapových web služieb pomocou ArcMap. Ako predprípravu bolo potrebné pre vektorovú vrstvu zobrazujúcu vo

výslednej aplikácii vytvoriť samostatný projekt (.mxd). Ak by sme všetky vrstvy nechali v jednom projekte, nebolo by ich možné samostatne aktivovať a deaktivovať. Táto skutočnosť bola využitá v niektorých prípadoch, keď sa v rámci jedného projektu ponechalo niekoľko vektorových vrstiev. Ako príklad uvedieme projekt „lesná cestná sieť“, ktorý je zložený z líniových vrstiev pre rôzne typy ciest a koľajnice.

Po príprave všetkých projektov sa uskutočnila tvorba mapových web služieb. V rámci *Service Editor* sme nastavili ďalšie informácie potrebné pre tvorbu web služby, ako využitie údajov v rámci vrstiev, nachádzajúcich sa v projekte, načítavanie dlaždíc z vyrovnávacej pamäte počítača, minimálnu a maximálnu mierku pre dlaždice, súhrn informácií o danej službe, tagy, opis služby a autorov použitých vrstiev. Po vyplnení všetkých položiek sme zvolili možnosť analyzovania a identifikácie potenciálnych výkonnostných prekážok a chýb, ktoré bude potrebné adresovať predtým, ako budeme môcť publikovať projekt ako mapovú službu. Po ukončení analýzy sa v tabuľkovej forme zobrazí výpis prekážok alebo chýb, ktoré sú označené stupňom vážnosti. Ak je danej chybe priradený najvyšší stupeň vážnosti, je potrebné chybu opraviť. Po opravení týchto chýb je možné cez *Publish* publikovať mapovú službu.

Pre zobrazovanie ortofotomáp a vektorových vrstiev v aplikácii sme využili kódovacie jazyky HTML5, CSS3 a JavaScript. Aplikovanie jednotlivých máp prebehlo pomocou vývojového rozhrania ArcGIS API for JavaScript spolu s knižnicou Dojo Toolkit. Proces programovania sa vykonal v prostredí Visual Studio, pričom aplikácia predstavuje webovú stránku vo forme web formulára ASP.NET s príponou .aspx. Umiestnenie mapových služieb do aplikácie sme vykonali pomocou tvorby premenných obsahujúcich literál poľa, pričom prvky poľa predstavujú samotné mapové služby. Takto sme vytvorili polia oddelene pre ortofotomapy a vektorové vrstvy. Odkaz na službu, uložený na serveri, je obsiahnutý v dvoch poliach. V jednom poli je zaznamenaná cesta k priečinku, v ktorom je služba uložená, v druhom poli je uvedený názov služby. Pre generovanie ortofotomáp a výstupov z digitálneho modelu reliéfu a terénu sme v rámci ArcGIS API for JavaScript využili triedu *ArcGISTiledMapServiceLayer*, ktorá umožňuje pracovať s „kešovanými“ (angl. *cached*) službami. Takáto služba namiesto dynamicky zobrazovaných máp prístupuje k dlaždiciam (angl. *tiles*) z vyrovnávacej pamäte. Mapové dlaždice sú zvyčajne o rozmeroch 256x256 pixlov a sú na serveri organizované v špecifickej štruktúre. Rozsah mapy, ktorý je zobrazený pri práci s aplikáciou, determinuje, ktoré dlaždice sa zo servera siahnu. Nakoľko sú tieto dlaždice malé, sú prehliadačom uložené do vyrovnávacej pamäte. Z tohto dôvodu, pri posúvaní po mape na nové miesto a následne späť, nedochádza k opätovnému stiahnutiu dlaždíc.

V porovnaní s dynamickými rastrovými údajmi, tieto nevyužívajú pri svojom zobrazovaní dlaždice. Pomocou ArcGIS API for JavaScript sa posiela požiadavka na ArcGIS Server o súčasnom rozsahu mapy. Ten vracia obrázok, ktorý zodpovedá danému rozsahu mapy. Týmto spôsobom sme zobrazili mapové služby obsahujúce vektorové vrstvy s využitím triedy *ArcGISDynamicMapServiceLayer*.

Vzhľadom na väčší počet služieb sme sa rozhodli prechádzať ich pomocou cyklov, čím sa kód bloku spúšťa po určený počet opakovaní.

Pre zobrazovanie ortofotomáp a vrstiev v aplikácii sme využili knižnicu jQuery, v rámci ktorej sme vytvorili rozkladacie menu, v ktorom je možné ich zobrazenie pomocou vhodných komponentov (radiobox pre ortofotomapu, checkbox pre vektorovú vrstvu).

## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 Štruktúra projektu a aplikácií

Webové stránky projektu boli vytvorené prostredníctvom kódovacích jazykov HTML, CSS a JavaScript pomocou vývojového rozhrania ASP.NET v prostredí Microsoft Visual Studio. Za účelom zjednotenia jednotlivých aplikácií je štruktúra v aplikáciách rovnaká. Z hľadiska zjednodušenia tvorby jednotlivých častí aplikácie sme použité súbory rozdelili do priečinkov obsahujúcich tematicky rovnaké súbory:

- img – priečinok obsahujúci použité obrázky a fotografie,
- css – súbory obsahujúce kaskádové štýly,
- scripts – zložený zo súborov obsahujúcich kód v jazyku JavaScript,
- web\_stranka – obsahuje súbor podstránok aplikácie,
- Default.aspx – hlavný formulár aplikácie.

Na základe posúdenia z hľadiska poskytnutia všetkých výstupov prostredníctvom internetu, sme sa rozhodli vytvoriť úvodnú stránku, ktorá umožňuje:

- spustenie aplikácie,
- otvorenie prehľadu údajov VŠLP,
- otvorenie základných informácií o aplikácii,
- stiahnutie práce.

Pre potreby mapovej web aplikácie pre zobrazovanie významných lesníckych miest na Slovensku, sme sa rozhodli vytvoriť úvodnú stránku, ktorá umožňuje:

- spustenie aplikácie,
- otvorenie základných informácií o aplikácii,
- katalóg významných lesníckych miest.

Sprístupnenie k jednotlivým podstránkam je uskutočnené pomocou tlačidiel s krátkym popisom o ich obsahu. Umiestnenie mapovej web aplikácie VŠLP je na mapovom serveri Technickej univerzity vo Zvolene na stránke [http://mapy.tuzvo.sk/zapotocky/web\\_stranka/](http://mapy.tuzvo.sk/zapotocky/web_stranka/). Umiestnenie mapovej web aplikácie Významné lesnícke miesta na Slovensku je na stránke [http://mapy.tuzvo.sk/zapotocky/vyznamne\\_miesta\\_sr/web\\_stranka/](http://mapy.tuzvo.sk/zapotocky/vyznamne_miesta_sr/web_stranka/).

### 5.2 SÚČASTI APLIKÁCIÍ

Po spustení mapovej web aplikácie VŠLP sa užívateľovi automaticky aktivuje vrstva polohopisu a ako podkladová mapa ortofotomapa VŠLP s rozlíšením 10cm. Počiatočný výrez je nastavený na zobrazenie celej ortofotomapy. Po spustení mapovej web aplikácie digitálnych modelov VŠLP sa automaticky zobrazuje kombinácia digitálneho modelu reliéfu a odvodeniny – tieňovanie. V aplikácii sa nachádzajú dva panely pre prácu s aplikáciou – zobrazovací a ovládací panel.

## Ovládací panel

Pre zabezpečenie základných možností manipulácie a zobrazovania máp sme vytvorili niekoľko nástrojov, ktoré sú umiestnené v ľavej hornej časti mapového okna. Menu je zložené z nasledovných nástrojov:

- výber plochy pre priblíženie,
- výber plochy pre vzdialenie,
- pohľad späť,
- pohľad dopredu,
- zobrazenie celej mapy,
- posúvanie sa po mape.

Tlačidlo pre zapnutie polohopisu je pri spustení aktivované. Opätovným stlačením sa vrstva polohopisu vypne. Výber plochy pre priblíženie a vzdialenie sa uskutočňuje potiahnutím myškou po mapovom okne nad približovaným/vzdáľovaným územím. Týmto spôsobom sa naznačí štvoruholník, ktorým sa určí miesto pre priblíženie/vzdialenie. Nástroj pre vrátenie pohľadu späť vráti zobrazenie mapy na predchádzajúci výrez. Nástrojom pre vrátenie pohľadu dopredu sa obnoví výrez, ktorý sa zmenil po stlačení predchádzajúceho tlačidla pre vrátenie pohľadu späť. Tlačidlom pre zobrazenie celej mapy sa v mapovom okne zobrazí stav ako po jej spustení. Nástroj pre posúvanie sa po mapu umožňuje užívateľovi klikom myši posúvať mapou po danom výreze.

## Zobrazovací panel

V ľavej časti aplikácie pod ovládacím panelom sa nachádzajú tlačidlá zobrazovacieho panelu v podobe rozbaľovacieho menu.

Rozbaľovacie menu v rámci aplikácie pre zobrazovanie ortofotomáp a tematických vrstiev VŠLP je rozdelené na niekoľko častí:

- Ortofotomapy,
- Vektorové vrstvy,
- DTM a DSM,
- Zastúpenie DR,
- Údaje o VŠLP,
- aplikácii,
- Kontakt.

*Ortofotomapy* obsahujú sadu ortofotomáp, ktoré je možné aktivovať príslušným radioboxom. Pre účely našej aplikácie sme vybrali len tie, ktoré sú najvhodnejšie pre zobrazovanie územia VŠLP. *Vektorové vrstvy* obsahujú vrstvy jednotiek priestorového rozdelenia lesa, vrstevnice a lesnú cestnú sieť. *DTM a DSM* umožňuje spustenie samostatnej aplikácie pre zobrazovanie výstupov digitálneho modelu terénu a reliéfu. Zastúpenie DR slúži pre zobrazenie vrstiev znázorňujúcich percentuálne zastúpenia základných drevín. Po spustení je tento súbor vrstiev deaktivovaný. Údaje o VŠLP umožňujú prechod na web

stránku, poskytujúcu základné informácie o území VŠLP ako aj o údajoch o jednotlivých porastoch v tabuľkovom a grafickom zobrazení. V časti *O aplikácii* sú uvedené základné informácie a autori použitých údajov. *Kontakt* obsahuje e-mailové adresy autorov. Zobrazovací panel pre ostatné aplikácie je prispôbený potrebám danej aplikácie spolu s možnosťou prechodu na ďalšiu aplikáciu.

### **Ostatné súčasti aplikácie**

Medzi ďalšie prvky aplikácie patrí mierka mapy, ikona signalizujúca načítavanie mapy, tlačidlá pre zdieľanie a ovládanie aplikácie. V prípade mierky ide o dynamickú grafickú mierku v kilometroch/metroch, ktorá znázorňuje mierku aktuálneho mapového okna. Ikona signalizujúca načítavanie máp je aktivovaná počas načítavania mapových služieb v internetovom prehliadači. Po ich načítavaní sa ikona deaktivuje. V pravej dolnej časti aplikácie sa nachádza dvojica okrúhlych tlačidiel pre priblíženie/vzdialenie mapy vzhľadom na stred aktuálneho výrezu o jednu úroveň.

Tvorba jednotlivých panelov a ostatných súčastí aplikácie bola vytvorená za účelom jednoduchej a užívateľsky intuitívnej manipulácie s ich nástrojmi. Pre znázornenie funkcionality jednotlivých nástrojov sa v ľavej dolnej časti mapového okna nachádza tlačidlo umožňujúce zobrazenie jednotlivých nástrojov s ich jednoduchým popisom. Súčasťou aplikácie je aj tlačidlo umožňujúce jej zdieľanie prostredníctvom sociálnych sietí (Facebook, Gmail, LinkedIn, Twitter a e-mail). Uvedené súčasti sa nachádzajú v každej mapovej web aplikácii.

## **5.3 Mapové web aplikácie**

### **Mapová web aplikácia pre zobrazovanie ortofotomáp a tematických máp VŠLP**

Jedná sa o mapovú aplikáciu zameranú na zobrazovanie ortofotomáp záujmového územia spolu so zobrazovaním vektorových vrstiev polohopisu, jednotiek priestorového rozdelenia lesa, lesnej cestnej siete, vrstevníc a zastúpenia základných drevín záujmového územia. Nástrojom *kreslenie* je možné vykonávať kreslenie základných geometrických tvarov (body, línie, polygóny), prípadne aj zložitejších objektov (obdĺžnik, kruh, trojuholník). Užívateľ si z ponuky zvolí geometrický tvar, ktorý chce nakresliť na mapovom okne. Línie a polygóny je možné kresliť aj voľným ťahom kliknutím na myši a následným ťahom.

### **Mapová web aplikácia digitálnych povrchov VŠLP**

Táto mapová aplikácia predstavuje rozšírenie predchádzajúcej aplikácie VŠLP, ktorá je zameraná na zobrazovanie digitálneho modelu reliéfu a terénu s ich odvodeninami. Ide o hypsometriu, sklon v stupňoch, orientáciu, tieňovanie, profilovú, planárnu a horizontál-

nu krivosť spolu s príslušnými legendami k nim. Vstupné mračno bodov pre tvorbu digitálneho modelu pochádza z leteckého laserového skenovania spoločnosťou PHOTOMAP, s.r.o. . Zalietavanie územia VŠLP sa uskutočnilo v letnom aj zimnom období. Pre potreby našej práce sme využívali len výstupy z digitálnych modelov z letného obdobia. Pre odlišenie od mapovej aplikácie pre zobrazovanie ortofotomáp a tematických máp sme zvolili odlišnú farbu prostredia.

## **Mapová web aplikácia významných lesníckych miest Slovenska**

Aplikácia pre zobrazovanie významných lesníckych území na Slovensku vychádza z geografickej databázy vyhotovenej v rámci práce Digitálna mapa významných lesníckych objektov (ORÁVIKOVÁ, 2016). Významné miesta sú za účelom generalizácie všetkých objektov zoskupené do niekoľkých kategórií s rovnakým symbolom zobrazenia na ortofotomape Slovenska (Arboréta, Náučné chodníky, Zvernice, a i.). Súčasťou aplikácie je Katalóg významných lesníckych území Slovenska. Na základe výberu kraja a kategórie sa zobrazí príslušné lesnícky významné územie s charakteristikou a fotografiou.

## **6 ZÁVER**

V súčasnej dobe zamestnanci a študenti TUZVO používajú na prácu s geografickými údajmi ArcGIS for Desktop. Údaje sú uložené v lokálnych geografických databázach, ktoré sú naplnené podľa špecifických potrieb riešenia úloh. Pre prácu a spracovanie popisných informácií sa využíva MS Excel. Tieto spôsoby správy údajov nezodpovedajú súčasným možnostiam poskytovania informácií. Z tohto dôvodu predpokladáme, že práve mapová aplikácia zabezpečí jednoduchú distribúciu dát, bez znalosti zložitých softvérových produktov. Užívateľia si môžu vyhľadať informácie o drevinách v danom poraste, interaktívne zobrazíť situáciu na mape, zobrazíť potrebné vrstvy, vybrať vhodnú podkladovú mapu a pod.

Výsledky, získané z nazbieraných údajov v tejto práci by mali slúžiť najmä pre efektívnejšie zisťovanie taxačných údajov JPRL, ale aj pre potreby VŠLP vo vedení prevádzky a nadriadeným za účelom zvýšenia ich informovanosti o význame geografickej databázy. Zároveň pomôže poukázať na nedostatky v riadení, čím sa môžu tieto chyby odstrániť a tým nadobudnúť zadané ciele. Mapové aplikácie zároveň slúžia pre zvýšenie povedomia širokej verejnosti o aktivitách v lesnom hospodárstve. V budúcom období môžu nájsť svoje uplatnenie pre tvorbu mobilnej aplikácie, ktorá by umožnila efektívnu orientáciu a zisťovanie údajov priamo v lesnom prostredí s využitím služby GPS.

Výsledné mapové aplikácie spolu s vytvorenou geografickou databázou pre územie VŠLP a významné lesnícke miesta na Slovensku sú k dispozícii na Katedre hospodárskej úpravy lesov a geodézie na Lesníckej fakulte.



## 7 literatúra

- AL-SABHAN, W. a kol. 2003. A real-time hydrological model for flood prediction using GIS and the WWW. In Computers, Environment and Urban Systems. ISSN 0198-9715, 2003, roč. 27, č. 1, s. 9-32.
- KOLIOS, S. a kol. 2015. A WebGIS platform to monitor environmental conditions in ports and their surroundings in South Eastern Europe. In Environmental Monitoring and Assessment. ISSN 0167-6369, 2015, roč. 187, č. 9, 16 s.
- CIBULA, R. et al., 2012. Lesnícky GIS – aplikované využívanie geopriestorových údajov a služieb geopriestorových údajov, internetový zdroj:  
[http://historiaenviroforum.sazp.sk/uploads/2012/10/page/prezentacie-3/Zbornik\\_2012.pdf](http://historiaenviroforum.sazp.sk/uploads/2012/10/page/prezentacie-3/Zbornik_2012.pdf) [20.05. 2016]
- PEHLIVANIAN, A. – NGUYEN, D. 2014. JavaScript Okamžite. Brno : Computer Press, 2014. 160 s. ISBN 978-80-251-4163-2.
- PENG, Z. – TSOU, M. 2003. Internet GIS: distributed geographic information services for internet and wireless networks. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2003. 679 s. ISBN 0-471-35923-8.
- ORÁVIKOVÁ, J. 2016. Digitálna mapa významných lesníckych objektov. Diplomová práca. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2016. 80 s.
- SANIGA, M. 2010. Pestovanie Lesa. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2010. 327 s. ISBN 978-80-228-2102-5.
- SHI, S. 2015. Design and development of an online geoinformation service delivery of geospatial models in the United Kingdom . In Environmental Earth Sciences. ISSN 1866-6280, 2015, roč. 74, č. 10, 7069-7080 s.
- VRANOVÁ, S. 2016. Digitálne modely povrchov z údajov leteckého laserového skenovania. Diplomová práca. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2016. 80 s.

---

Adresa autora:

Ing. Martin Zápotocký

Ulica Terézie Vansovej 9414/18A

96 001 Zvolen

Slovenská republika

e-mail: [martin.zapotocky@tuzvo.sk](mailto:martin.zapotocky@tuzvo.sk)

### Displaying of digital forest maps on the Internet

#### Summary

In this work we present the usage of web mapping applications for sharing geographic information on the Internet for field of forestry and environment. The main objective was to create the set of several web mapping applications focused on displaying of digital mapping outputs of area of interest – Vysokoškolský lesnícky podnik Technickej univerzity vo Zvolene (VšLP) and important forest places in Slovakia. These are applications that are freely distributed and accessible tool for all employees of the Technical University in Zvolen and the general public. Applications provides displaying of base maps of area of interest with providing of information about spatial distribution of forest units in a clear graphic representations using coding languages HTML, CSS and JavaScript with the aid of ASP.NET framework. The results are presented in three separate applications for displaying the orthophotos and thematic maps of the VšLP, displaying digital terrain models and surfaces of the VšLP and displaying of important forest places of the Slovak Republic. Applications should serve primarily for more effective detection of mensurational and geographical data of forest stands, but also for the needs VšLP in operations management and superiors in order to increase their awareness of the importance of information technology in forestry. Web mapping applications also find usage for increasing of public awareness about activities of forestry and the environment.



## MOŽNOSTI PESTOVANIA RÝCHLORASTÚCICH DREVÍN V PODMIENKACH LIPTOVA

Míchal H U D Á K, Martin L I E S K O V S K Ý, Miloš G E J D O Š

**Hudák, M., Lieskovský, M., Gejdoš, M.:** Možnosti pestovania rýchlorastúcich drevín v podmienkach Liptova, Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, 58/1 2016, 101 – 109.

Hlavným zdrojom energie pre ľudstvo sú fosílné palivá. Ich spaľovaním, využívaním, ťažbou a prepravou vznikajú nepriaznivé dopady na prírodné ekosystémy. Preto by sa ľudstvo malo zamerať na ich obmedzenie a nahradenie čistými zdrojmi energie. Za alternatívu fosílnych palív sa považujú zdroje energie, ktorá je obnoviteľná. Takými zdrojmi je energia slnečná, veterná, energia tečúcej vody a biomasa. Cieľom práce je posúdenie možností pestovania rýchlorastúcich drevín v oblasti Liptova na vybranej lokalite v katastrálnom území obce Vavrišovo. V súčasnosti, keď má spoločnosť vysoké požiadavky na energetické zdroje, javí sa pestovanie rýchlorastúcich drevín ako opodstatnené. Práca je zameraná na ciele pestovanú biomasu pre energetické využitie v podmienkach Liptova – rýchlorastúce dreviny. Rýchlorastúce dreviny majú špecifické požiadavky pre svoj rast, aby dosahovali maximálnu produkciu za čo najkratší čas. Medzi tieto podmienky patria: optimálna hĺbka pôdy, dostatok vody, a optimálna hodnota pH. V práci sa nachádza analýza, ktorá rýchlorastúca drevina je pre miestne podmienky najvhodnejšia na účel pestovania. Aké pestovateľské opatrenia je potrebné použiť v súvislosti s prípravou pôdy, výsadbou, zberom a tiež výber mechanizácie. Jedným z cieľov práce je charakteristika energetického potenciálu vybraných rýchlorastúcich drevín vrby (*Salix viminalis* II) a dvoch klonov topoľa (*Ivachnová*, Liptov).

Kľúčové slová: rýchlorastúce dreviny, biomasa, obnoviteľné zdroje energie

### 1 ÚVOD A PROBLEMATIKA

Pestovanie RRD za účelom energetického zhodnotenia je jednou z možností ako využiť málo produktívne poľnohospodárske pôdy a takisto iné odlesnené plochy, ktoré sa nedajú použiť na pestovanie poľnohospodárskych plodín a krmovín. Podľa charakteristiky RDD sú to práve také druhy drevín, ktoré za krátku dobu vytvoria oveľa väčší objemový a výškový prírastok oproti bežným drevinám, ktoré sa pestujú v lesnom hospodárstve. To znamená, že za rovnaký čas dosahujú väčší hektárový prírastok. V porovnaní s lesnými drevinami je ich obnovená doba výrazne kratšia. Zvyčajne sa pohybuje od 2 do 5 rokov a ich celková životnosť na plantáži dosahuje 20 až 30 rokov.

Medzi rýchlorastúce dreviny v stredoeurópskych podmienkach zaradíme tie, ktorých ročná objemová produkcia presahuje  $10\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ . Vrby produkujú v priemere o 20% viac biomasy ako topole. Hlavnými atribútmi pre pestovanie drevín s krátkou (11–15) a veľmi krátkou rubnou dobou (3–10 rokov) je maximálna produkcia dendromasy ( nadzemná časť bez asimilačných orgánov) a odolnosť voči chorobám a škodcom a dobrá schopnosť vytvárať výmladky z koreňov a pňov VARGA, GODÓ (2002).

Rýchlorastúce dreviny sú energetické rastliny drevinového charakteru s krátkou dobou obrastania a hmotnostným prírastkom prevyšujúcim priemerný prírastok hmoty ostatných drevín, a preto sa pestujú a zberajú na výrobu obnoviteľnej energie PORVAZ A KOL. (2009)

Alternatívne využitie poľnohospodárskej pôdy, ktorá nie je rentabilná pre produkciu potravín je jej využitie na pestovanie rastlín za účelom získania biomasy na výrobu energie. Medzi takéto rastliny na Slovensku zaraďujeme RRD ako vŕba, topoľ, agát a jelša. RRD v porovnaní s hospodárskymi lesmi a taktiež aj s energetickými porastmi majú výhodu v kratšej rubnej dobe a rovnako je ňou väčšia hektárová produkcia za jednotku času. V podmienkach Slovenska je vyčlenených približne 360 000 ha poľnohospodárskej pôdy, ktoré by mohli byť použité na pestovanie energetických plodín. Pre určenie vhodnej lokality na pestovanie RRD na poľnohospodárskych pôdach sa vychádza z analýzy produkčného potenciálu BPEJ a typologicko-produkčných kategórií poľnohospodárskych pôd. Rovnako pri lokalizácii vhodných plôch sa nesmie vyberať pôda, ktorá je potrebná na zabezpečenie potravinárskej produkcie Slovenska. Výber vhodných pôd tak eliminoval najproduktívnejšie pôdy a zároveň vyberal nevyužívané plochy, aby bolo najracionálnejšie využitie pôdneho fondu Slovenska. Pri návrhu využitia poľnohospodárskej pôdy na nepoľnohospodárske účely ako pestovanie RRD, tento návrh musí odobriť orgán ochrany poľnohospodárskej pôdy. Vykonáva sa to na základe bonitovanej pôdno-ekologickej jednotky aby poľnohospodárska pôda mohla byť dočasne odňatá z pôdneho fondu a mohlo byť dovolené použitie na nepoľnohospodárske účely. Pri pestovaní RRD je potrebné aj stanovisko od orgánov štátnej správy, ktoré sú dotknuté. A to orgány štátnej správy lesného hospodárstva a v oblasti ochrany prírody a krajiny.

Medzi druhy rýchlorastúcich drevín, ktoré sú vhodné na pestovanie v podmienka Liptova môžeme zaradiť Vŕbu košíkársku (*Salix viminalis II*), Topoľ čierny (*Populus nigra*), klon „*Ivachnová*“ a balzamový hybrid topoľa (*P. trichocarpa* × *P. maximoviczii*) klon „*Liptov*“.

*Salix viminalis II* vyhovuje nadmorská výška od 400 do 600 m.n.m. Nemá vysoké nároky na kvalitu pôdy, čo je u väčšiny vŕb charakteristické. Vyhovujú jej pôdy ílovité, hlinité, piesočnaté, rašelinové, ktoré sú zamokrené alebo svieže. V optimálnych podmienkach sa rubná doba pohybuje medzi 3-6 rokmi a dosahovaná objemová produkcia je 10-16 ton biomasy v suchom stave na hektár.

Klon *Ivachnová* dosahuje najvyššiu objemovú produkciu sú v rozpätí od 400 do 600 m.n.m. Vyžaduje pôdy ílovité, hlinité alebo piesčité. Vyhovujú mu zamokrené a svieže stanovišťa. V optimálnych podmienkach sa rubná doba pohybuje medzi 3-5 rokmi a dosahovaná objemová produkcia je 8-10 ton biomasy v suchom stave na hektár.

Klon *Liptov* – má veľmi podobné nároky na kvalitu stanovišťa ako klon *Ivachnová*. Vyhovujú mu ílovité, hlinité a rašelinové pôdy, a taktiež vyžaduje zamokrené a svieže pôdy. Rubný vek dosahuje medzi 4-7 rokom a objemová produkcia je 8-12 ton biomasy v suchom stave na hektár TRENČIANSKY A KOL. (2007).

## 2 CIEĽ PRÁCE

Hlavným cieľom príspevku je vyhodnotiť možnosti a perspektívu pestovania RRD v podmienkach Liptova. Medzi čiastkové ciele je možné zaradiť opis vytipovanej lokality, na ktorej je analyzovaná vhodnosť pestovania RRD, a to z aspektu klimatologických, pôdných a geologických pomerov a iných lokálnych pomerov.

Náplňou tejto práce je aj posúdenie možnosti na zakladanie plantáží v náročných podmienkach Liptova, za účelom dosiahnutia čo najväčšej produkcie a zníženia energetickej závislosti na fosílnych palivách, čím by sa prispelo k zlepšeniu ekologických dopadov na životné prostredie.

## 3 MATERIÁL A METÓDY

### 3.1 Charakteristika skúmaného územia

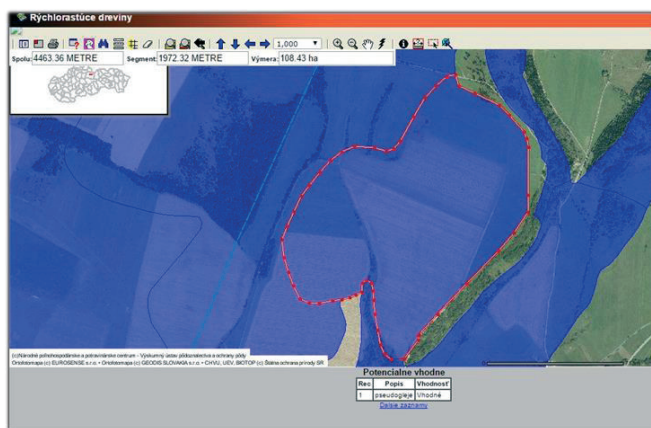
Centrálna časť Liptovskej kotliny spadá do miernej klimatickej oblasti kde priemerné ročné teploty dosahujú 7-8 °C. Hornatá časť Liptova spadá do chladnej klimatickej oblasti kde teploty klesajú úmerne s nadmorskou výškou. Priemerné ročné úhrny zrážok sú 711mm na m<sup>2</sup>. Geografická poloha Liptova zapríčiňuje, že centrálna časť kotliny je v zrážkovom tieni pohorí Veľká Fatra, Chočské vrchy, Západné Tatry. Najvyššie úhrny zrážok sú v júli a najnižšie vo februári. Najvyššie teploty sú v mesiaci júl a najnižšie v mesiaci január TUŽINSKÝ, (2007).

Najrozšírenejšie pôdy sú kambizme (hnedé pôdy). V podmienkach Liptova sú častokrát oglejené. Ich najväčší výskyt v rámci regiónu Liptov je v jeho západnej časti odlišujú sa však väčším obsahom humusu a oglejením, ktoré je intenzívne. Poľnohospodársky obrábané pôdy Liptova sa vyskytujú v centrálnej časti Liptovskej kotliny okolo riek. Sú to ilimerizované pôdy – luvizeme. Ich pôdna reakcia a obsah živín je pozmenený hnojením, vápnením a ďalšími poľnohospodárskymi opatreniami. Na úpätí Západných a Vysokých Tatier sa vyskytujú pseudogleje a oglejené pôdy. V pohoriach Chočských vrchov a Veľkej Fatry, čiastočne aj Nízkych Tatier sa na materských horninách vápencov, dolomitov a travertínov vyskytujú rendziny, ktoré sú ťažké až stredne ťažké pôdy. V nivných oblastiach Liptova, kde sú dlhodobé zamokrené pôdy sú rozšírené rašelinové pôdy a glejové pôdy. Počas minulého režimu boli vykonané hydrotechnologické opatrenia čiže meliorácie na zamokrených pôdach, ktoré sa dali využiť na poľnohospodárske účely. ([www.podnemapysk](http://www.podnemapysk))

### 3.2 Výber plochy

Za modelovú plochu pre pestovanie rýchlorastúcich drevín bola zvolená plocha v okrese Liptovský Mikuláš, v katastrálnom území obce Vavrišovo v lokalite Dvoriská. Na obrázku 1. je možné vidieť zvolenú plochu ktorá je ohraničená bodkovanou čiarou. Výber plochy pre pestovanie RRD bol stanovený na základe vhodnosti pôd, podľa pôd-

nych máp, kódu BPEJ v danej lokalite, ktorý je 1089012. Podľa tohto kódu vieme, že oblasť spadá do klimaticky chladnej a vlhkej oblasti, pôdny typ je pseudoglej, je to rovina bez vodnej erózie, slabo skeletnatá pôda (s obsahom skeletu 5–25% v hornej vrstve, v pod povrchovom horizonte 10–20 %), plytká pôda s hĺbkou 30 cm.



Obr. 3 Vhodná lokalita na pestovanie RRD – Vavrišovo (zdroj: www.podnemapy.sk)

### 3.3 Stanovenie relatívnej vlhkosti dendromasy, spaľovacieho tepla, výhrevnosti a obsahu popola

Za účelom dosiahnutia stanovených cieľov, boli experimentálne práce zamerané na stanovenie vybraných energetických vlastností dendromasy vypestovanej na plantážach RRD, na vzorkách vrby (*Salix viminalis II*) a dvoch klonov topoľa (*Ivachnová, Liptov*) Vzorky boli odobrané mimo vegetačného obdobia (december 2015). Z pohľadu energetiky je vyšší dopyt po štiepkach práve v zimných mesiacoch počas vykurovacej sezóny. Hodnotenie kvalitatívnych parametrov energetických štiepok nájdeme v prácach viacerých autorov DZURENDA ET AL. (2014), DZURENDA, ZOLIAK (2011), DZURENDA ET AL. (2010), ZOLIAK, HECL (2010), ORAVEC ET AL. (2012), a ďalší.

Stanovenie vlhkosti bolo prevedené sušiacim procesom – gravimetriou, laboratórne, podľa STN 48 0058: 2004 Sortimenty dreva – Listnaté štiepky a piliny. Táto metóda špecifikuje stanovenie obsahu vody pre drevné štiepky, ktoré je možné využiť ako palivo. Princípom metódy je zistenie hmotnosti vlhkého a vysušeného dreva vážením s presnosťou na 0,01 g. Sušenie sa uskutočnilo v laboratórnej sušiarňi Memmert. Sušenie vzoriek sa vykonáva v sušiarňi pri teplote  $103 \pm 2$  °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:

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

$m_w$  – hmotnosť vlhkej vzorky [g]

$m_o$  – hmotnosť vzorky po vysušení [g]

Spaľovacie teplo  $Q_s$  [kJ·kg<sup>-1</sup>] 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 °C), pričom vodná para skondenzuje a zmení sa na vodu. Spaľovacie teplo sa stanovuje experimentálne meraním v kalorimetri.

Výhrevnosť  $Q_n$  [kJ·kg<sup>-1</sup>] je definovaná ako teplo, ktoré sa uvoľní dokonalým spálením 1 kg paliva pri ochladení spalín na pôvodnú teplotu okolia ( $t = 20$  °C), pričom voda (odparená z paliva, vzniknutá oxidáciou vodíka nachádzajúcom sa v palive a privedená vlhkým vzduchom) zostáva v plynnom stave.

K výpočtu výhrevnosti bolo potrebné stanoviť spaľné teplo z odobratých vzoriek. Na stanovenie spaľného tepla sme použili kalorimeter IKA C200. Metodiku stanovenia spaľovacieho tepla a výpočtu výhrevnosti popisuje STN ISO 1928:2003.

Postup prác pri stanovovaní popola vychádza z požiadaviek normy STN ISO 1171 Tuhé palivá. Stanovenie popola (44 1378).

## 7 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Vývoj relatívnej vlhkosti bol hodnotený ako priemerná vlhkosť pre celý vzorník a pri sledovaných vzorkách meraný v každej 20 cm sekcii samostatne. Jednotlivé hodnoty sú uvedené v tabuľke 1.

Tab. 1. Relatívna vlhkosť vybraných rýchlorastúcich drevín

Drevina / klon	Namerané hodnoty relatívnej vlhkosti dreva [%]			
	Min.	Max.	Priemer	Sm. odchýlka
Salix viminalis II	51,4	57,3	54,8	1,97
klon Ivachnová	41,6	59,8	50,6	5,34
klon Liptov	45	53,6	49,8	3,43

Tab. 1. Relative moisture o

Drevina / klon	Namerané hodnoty relatívnej vlhkosti dreva [%]			
	Min.	Max.	Priemer	Sm. odchýlka
Salix viminalis II	51,4	57,3	54,8	1,97
Populus klon Ivachnová	41,6	59,8	50,6	5,34
Populus klon Liptov	45	53,6	49,8	3,43

Skutočne obsiahnutá a využiteľná energia je ako výhrevnosť vypočítaná v tabuľke 3. Pre výpočet je použitý vzťah podľa STN ISO 1928:2003, kde okrem spaľovacieho tepla a relatívnej vlhkosti vstupuje do výpočtu percentuálny podiel vodíka. Vo výpočte boli použité hodnoty H pre drevo 6,01%. Tieto hodnoty stanovili *Dzurenda, Zoliak (2011)* pre topoľ a boli použité vo výpočte, nakoľko sa jedná o príbuzné klony.

Tab. 2. Spaľovacie teplo energetických štiepok rýchlorastúcich drevín  
Tab. 2. Combustion heat of wood chips

Drevina / klon	spaľovacie teplo [kJ.kg <sup>-1</sup> ] q(D)v,net,m			
	Min.	Max.	Priemer	Sm. odchýlka
Salix viminalis II	19 153	19 478	19 347	113
klon Ivachnová	19 562	19 870	19 642	106
klon Liptov	18 797	19 464	19 300	232

Tab.3. Výhrevnosť energetických štiepok rýchlorastúcich drevín  
Tab.3. Calorific

Drevina / klon	výhrevnosť[kJ.kg <sup>-1</sup> ] q(D)v,gr,d			
	Min.	Max.	Priemer	Sm. odchýlka
Salix viminalis II	8 314	9 376	8 736	371
klon Ivachnová	7 873	11 424	9 694	1 038
klon Liptov	8 720	10 692	9 698	735

Priemerné hodnoty spaľovacieho tepla sa pohybovali od 19 300 kJ.kg<sup>-1</sup> do 19 642 kJ.kg<sup>-1</sup>. Výhrevnosť sledovaných rýchlorastúcich drevín v čase zberu bola najnižšia pri *Salix viminalis II* priemerná hodnota predstavovala 8 736 kJ.kg<sup>-1</sup> a takmer rovnaká pri oboch sledovaných klonoch topoľov 9 694 – 9 698 kJ.kg<sup>-1</sup>.

Podiel popola vo vzorkách bol analyzovaný podľa STN EN 14775:2010. Empirické hodnoty obsahu popola rýchlorastúcich drevín prezentuje tabuľka 4.

Tab. 4. Podiel popola rýchlorastúcich drevín  
Tab. 4. Proportion of ash

Drevina / klon	Podiel popola [%]			
	Min.	Max.	Priemer	Sm. odchýlka
Salix viminalis II	0,70	2,40	1,58	0,79
klon Ivachnová	0,80	3,10	1,98	1,03
klon Liptov	0,80	3,50	2,10	1,24

Z výsledkov empiricky stanovených hodnôt obsahu popola je možné konštatovať, že obsah popola bol najnižší u vŕby *Salix viminalis II* pričom priemerná hodnota nespálitelných častí predstavovala 1,58%.

(DZURENDA A KOL., 2013) udávajú podiel anorganického zvyšku – popola zo spaľovania energetických štiepok vyrobených z dendromasy plantážnicky pestovaných rýchlorastúcich drevín: *Salix viminalis* a *Populus* v rubnej dobe 5 rokov. Podiel popola zo spaľovania vřbových energetických štiepok v suchom stave analyzovaných klonov je v rozpätí hodnôt  $A_d = 0,72 \div 1,11\%$  a energetických štiepok analyzovaných topoľov  $A_d = 0,92 \div 1,54\%$ . Uvedené hodnoty radia predmetnú energetickú štiepku medzi nízkopoplnaté palivá. Z porovnania uvedených hodnôt s popolnatosťou dreva listnatých drevín plynie, že sú to hodnoty 2 ÷ 5 krát vyššie. Vyššiu popolnatosť energetických štiepok analyzovaných klonov vřb a topoľov spôsobuje zvýšený podiel juvenilnej kôry s vyššou popolnatosťou. Z energetického hľadiska je to balast, negatívne vplývajúci na základné energetické vlastnosti biopaliva – spalné teplo a výhrevnosť.

## 5 ZÁVER

Rýchlorastúce dreviny pestované za účelom získania biomasy a jej následného zhodnotenia ako zdroja energie, budú s najväčšou pravdepodobnosťou rásť na význame v hospodárstve štátov. Pri obmedzených zdrojoch fosílnych palív je spoločnosť nútená hľadať alternatívy a RRD sú určite jednou z nich. Medzi ich neodškriepiteľné výhody patria filtrácia znečistených pôd, využitie pôd, ktoré nie sú vhodné a dostatočne hodnotné pre poľnohospodársku produkciu, ochladzovanie miestnej klímy, ukladaniu uhlíka zo vzduchu, tvorby pracovných miest a podpora lokálnej ekonomiky. Rozvoj pestovania RRD musí byť podporený štátom vzhľadom na mnohé legislatívne prekážky, rozdrobenosť pozemkov, neochotu vlastníkov pozemkov a nedostatok podnikateľskej odvahy a nedostatočné spracovateľské kapacity v rámci regiónov. Podpora štátu by mala byť nasmerovaná do investícií na nadobudnutie strojov a zariadení, ktoré sú pri pestovaní RRD a ich následnom spracovaní a spaľovaní nevyhnutné. Taktiež motivovať veľké štátne a aj súkromné firmy aby si zabezpečovali vykurovanie a výrobu energie z obnoviteľných zdrojov. Aktuálna situácia ani z ďaleka nedosahuje potenciál, ktorý v sebe RRD ukrývajú. Liptov je pre pestovanie rýchlorastúcich drevín z hľadiska nízkej rentability poľnohospodárskych pôd optimálnym regiónom na Slovensku a spolu s klimatickou zmenou a nárastom teplôt sa zväčší počet klonov a variet drevín, ktoré tu budú môcť byť pestované.

## Literatúra

- DZURENDA, L., BANSKI, A., DZURENDA, M., 2014. Energetic properties of green wood chips from *Salix viminalis* grown on plantations. In: *Scientia agriculturae bohemica*, 45, 2014 (1): 44–49.
- DZURENDA, L., GEFFERTOVÁ, J., HECL, V. 2010: Energy characteristics of the wood-chip produced from *Salix viminalis* – clone ULV. In: *Drvna industrija*, 61(1) 27-3, ISSN 0012-6772.
- DZURENDA L., RIDZIK L., DZURENDA M. 2013. Popolnatosť biopaliva – energetickej štiepky z dendromasy porastov plantážnicky pestovaných vřb a topoľov. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 55(1): 111–118. ISSN 1336-3824.
- DZURENDA, L., ZOLIAK, M. 2011: Chemické zloženie horľaviny energetickej štiepky z dendromasy plantážnicky pestovanej dreviny *populus* klon Max 5. In: *Acta Facultatis Xylogologiae*, 53 (1): 87-92. ISSN 1336-3824



- ORAVEC, M. – BARTKO, M.- SLAMKA, M. 2012. Postupy intenzifikácie produkcie drevnej biomasy na energetické využitie. Zvolen: Národné lesnícke centrum, 2012, 64 s.
- POVRAZ, P., NAŠČÁKOVÁ, J., KOTOROVÁ, D., KOVÁČ, L. 2009. Poľné plodiny ako zdroj biomasy na energetické využitie v podmienkach Slovenska. In. Inovatívne technológie pre efektívne využitie biomasy v energetike, Podniková fakulta v Košiciach, ekonomická univerzita v Bratislave, s. 66 – 75, ISBN 978-80-225-2962-4.
- STN 48 0058: 2004 Sortimenty dreva – Listnaté štiepky a piliny.
- STN EN 14775:2010: Tuhé biopalivá. Stanovenie obsahu popola
- STN EN 14961-1:2010 Tuhé biopalivá – Špecifikácie a triedy palív. Všeobecné požiadavky
- STN ISO 1928:2003 Tuhé palivá – Stanovenie spalného tepla kalorimetrickou metódou v tlakovej nádobe a výpočet výhrevnosti.
- TRENČIANSKY, M.- LIESKOVSKÝ, M.- ORAVEC, M. 2007. Energetické zhodnotenie biomasy. Zvolen: Národné lesnícke centrum, 2007.147 s. ISBN 978-80-8093-050-9
- TUŽINSKÝ, L.2007. Bioklimatológia. Technická univerzita vo Zvolene, 2007, 149s. , ISBN 978-80-228-1799-8
- VARGA, L., GODÓ, T. 2002. Rýchlorastúce dreviny a možnosti zvýšenia produkcie biomasy na energiu. In Využívanie lesnej biomasy na energetické účely v podmienkach SR. Zvolen : LVU, s. 28–37.
- ZOLIAK, M., HECL, V. 2010. Obsah dusíka v horľavine štiepky plantažnicky pestovanej dreviny Populus – klon Oxford. In: Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva 2010. Zvolen: TU vo Zvolene, s. 259–266, ISBN 978-80-228-2143-8.
- PÓDNE MAPY [online]. Dostupné na internete:  
<http://www.podnemapy.sk/bpej/viewer.htm?activelayer=2&layers=001>
- 

#### **PodĎakovanie:**

Táto práca bola vypracovaná v rámci riešenia grantových projektov: VEGA–SR č. 1/0678/14, Optimalizácia technologických, technických, ekonomických a biologických princípov výroby energetickej dendromasy a KEGA 012TU Z-4/2014 E-learningové vzdelávacie moduly spracovania náhodných ťažieb dreva.

Adresa autorov:

Bc. Michal Hudák

Ing. Martin Lieskovský, PhD.,

Ing. Miloš Gejdoš, PhD.

Katedra lesnej ťažby, logistiky a meliorácií

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24

960 53 Zvolen

Slovenská republika

e-mail: [mclhudak@gmail.com](mailto:mclhudak@gmail.com)

[lieskovsky@tuzvo.sk](mailto:lieskovsky@tuzvo.sk)

[gejdos@tuzvo.sk](mailto:gejdos@tuzvo.sk)

#### **Possibilities for Cultivation Fast Growing Tree Species in Conditions of Liptov**

##### **Summary**

The main source of energy for mankind are fossil fuels. Their combustion, exploitation, production and transportation generates negative impact on natural ecosystems. Therefore, mankind should focus on the re-



duction and replacement of clean energy sources. As an alternative to fossil fuels are considered sources such as solar, hydro, wind energy and also energy from biomass. The aim of the work is to assess the possibilities for cultivation of fast growing tree species in conditions of Liptov region on specific selected site in the cadastre of village Vavrišovo. Planting fast-growing trees in presence when society has high demand on energy resources of the planet seems highly justified, as it is a renewable energy source. The work is focused on biomass component and fast growing trees. Fast-growing woody plants have specific requirements in growth in order to achieve maximum production in the shortest time. These conditions are: optimum depth of soil, abundant water, optimal pH value. In thesis is analysis, which fast growing tree is most suitable for planting in local conditions. Which cultivation techniques should be used such as soil preparation, planting, harvesting and selection of machinery. Furthermore, classification of local specifics of soil, geology and climatic character.

**Keywords:** fast- growing trees, biomass, renewable source of energy



## RIZIKÁ DLHODOBÉHO SKLADOVANIA ENERGETICKÝCH ŠTIEPOK

Matúš Ž I D, Martin L I E S K O V S K Ý, Miloš G E J D O Š,  
Martin S L A N Č Í K

Žid, M., Lieskovský, M., Gejšo, M., Slančík, M.: Riziká dlhodobého skladovania. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, 58/1 2016, 111 – 124.

### Abstrakt

Cieľom práce je analyzovať rizika dlhodobého skladovania energetických štiepok využívaných v teplárňach ako zdroj energie. Práca popisuje riziká vyplývajúce z dlhodobého skladovania, medzi ktoré zaraďujeme riziko straty objemu sušiny, riziko samovznietenia a následného požiaru, a tiež zdravotné riziko, ktoré spôsobujú huby a plesne prirodzene sa vyvíjajúce počas rozkladu dlhodobo skladovaných štiepok. V praktickej časti boli analýze podrobené štyri vytipované sklady s podrobným popisom nedostatkov. Skladované štiepky boli podrobené mikrobiologickým skúškam v akreditovanom laboratóriu s cieľom identifikovať huby a plesne nachádzajúce sa v hromadách, a tak dokázať prítomnosť rodov, ktoré spôsobujú infekcie a choroby. V závere práca obsahuje návrh technológie skladovania energetických štiepok, ktorá minimalizuje všetky popísané riziká a nedostatky v praxi používaných pracovných postupov. Význam práce spočíva v poukázaní na bezpečnostné a zdravotné riziká dlhodobého skladovania energetických štiepok.

**Kľúčové slová:** energetické štiepky, riziká dlhodobého skladovania, samovznietenie, choroby, infekcie, vzorový technologický postup

### 1. ÚVOD A CIEĽ

Obnoviteľné zdroje energie nadobúdajú v súčasnosti čoraz väčší význam. Ich využívanie je intenzívne propagované a rôznou formou podporované. Vysoký podiel zastupujú drevené energetické štiepky produkované lesníckou činnosťou, drevospracujúcim priemyslom a poľnohospodárstvom. Zmysel používania ekologických zdrojov energie je najmä v ich tzv. CO<sub>2</sub> neutrálnosti a šetrnosti k životnému prostrediu. Tieto fakty nemožno popierať, ale na druhej strane je potrebné venovať pozornosť rizikám spojením s ich využívaním a predovšetkým skladovaním.

Pri nevhodnom skladovaní energetických štiepok dochádza v hromadách k zvyšovaniu intenzity prirodzených biologických procesov. Vysoká vlhkosť a teplota čerstvého materiálu sú vhodnými podmienkami pre rast, rozvoj húb a plesní, ktoré sú hlavnými pôvodcami rizík skladovania štiepok. Dochádza k stratám objemu sušiny, ktoré sú sprevádzané zvyšovaním teploty hromady. Nekontrolovaný nárast teploty predstavuje bezpečnostné riziko, pretože vysoká teplota, prítomnosť vzduchu a horľavej látky sú predpokladom k samovznieteniu. Huby a plesne rastúce v skladovaných štiepkach uvoľňujú spóry, ktoré sú vo zvýšenej koncentrácii alergénne a môžu byť pôvodcami ochorení rôzneho druhu.

Ohrození sú predovšetkým zamestnanci každodenne manipulujúci so štiepkami a ľudia bývajúci v tesnej blízkosti skladov, kde sú štiepky skladované dlhodobo.

Hlavným cieľom práce je analýza rizík dlhodobého skladovania energetických štiepok a spôsobov, a návrh ako sa daným rizikám je možné vyhnúť. Práca sa taktiež venuje zhodnoteniu dodržiavania technických a bezpečnostných prvkov pri skladovaní štiepok vo vybraných teplárnach s návrhom opatrení na zlepšenie skutkového stavu pre jednotlivé sklady.

## **2. PROBLEMATIKA**

### **2.1 Riziká skladovania energetických štiepok**

Skladovanie energetických štiepok prináša so sebou aj množstvo rizík, s ktorými je potrebné počítať. Tieto riziká nie je možné úplne odstrániť, no vhodným technologickým spôsobom ich môžeme takmer úplne minimalizovať.

Skladovanie biomasy je spojené s radom rizík, medzi ktoré zaraďujeme:

- straty objemu – riziko spôsobené biologickými procesmi
- samovznietenie – riziko požiaru
- rast húb a plesní – zdravotné riziko
- zápach – zaťaženie životného prostredia

Vymenované riziká sa vo väčšom rozsahu vyskytujú iba pri skladovaní čerstvých vlhkých štiepok a kôry. Vyskytujú sa najmä v dôsledku biologických procesov prebiehajúcich v skladovanom materiáli (Hartmann, et al.,2007).

#### **Strata objemu sušiny**

Parenchymatické bunky, hydrolýza celulóзовých komponentov v kyslom prostredí, chemické okysličovanie, biologická aktivita baktérií a húb spôsobujú pomerne rýchly rozklad skladovaných štiepok, čo spôsobuje stratu objemu – odbúravanie sušiny a zväčšovanie vlhkosti. Pri vlhkosti štiepok do 30% predstavuje úbytok sušiny cca 0,5 – 1% a vlhkosti do 50% až 1 – 2% mesačne. V prvom mesiaci skladovania je priebeh rozkladu pozvoľnejší, pričom straty sušiny predstavujú 0,6 – 3%. Aktivita mikroorganizmov a húb v ďalších mesiacoch skladovania (2. až 5. mesiac) narastá, čo zvyšuje stratu na 5,5% mesačne. V šiestom až ôsmom mesiaci sa straty ustália na 2,5 – 3,3% mesačne. Pri skladovaní štiepok 7 až 8 mesiacov môžu straty na objeme predstavovať až cca 20% (Oravec, Bartko, Slamka, 2012). Straty objemu sušiny môžu byť kompenzované a to v prípade, keď počas skladovania klesne obsah vody v štiepkach, čo má za následok nárast výhrevnosti (Hartmann, et al.,2007).

#### **Riziko samovznietenia**

Skladovanie štiepok je sprevádzané odbúravaním sušiny, čoho následkom je zvyšovanie vnútornej teploty skladovanej hmoty na 50 – 70 °C. Teplota môže za určitých podmienok dosiahnuť takú vysokú hodnotu, že môže dôjsť k samovznieteniu štiepok (najčas-

tejšie dochádza pri prekročení teploty 100 °C (Oravec, Bartko, Slamka, 2012). Počiatočné zahrievanie novonasypaných čerstvých štiepok je spôsobené predovšetkým dýchaním ešte živých parenchymatických buniek. Pri zahriatí štiepok nad 40 °C dochádza k zastaveniu respirácie. Ďalšie zahrievanie hromady je preukázateľne spôsobené metabolizmom húb a baktérií. Huby prežívajú do teploty asi 60 °C, ale termofilné baktérie zvyšujú teplotu štiepok až na hodnotu väčšiu ako 75 až 80 °C, pri ktorej dochádza k zastaveniu ich činnosti. Aj napriek tomu dokáže skladovaná biomasa dosiahnuť teploty väčšie ako 100 °C. Nad touto hranicou začínajú procesy termochemickej konverzie a chemickej oxidácie, ktoré môžu viesť k samovznieteniu. Ani pri dosiahnutí teploty viac ako 80 °C nedochádza k dezinfekcii štiepok, pretože mikroorganizmy prečkajú v stave pokoja. Po následnom ochladení začínajú byť aktívne a môže nastať opätovné zvyšovanie teploty hromady. Rýchlosť, akou teplota štiepok narastá závisí od rôznych kritérií, medzi ktoré zaradujeme – obsah vody, štruktúra a hustota materiálu (veľkosť frakcií), množstvo skladovaného materiálu, typ skladu (krytý / otvorený), nečistoty, klimatické faktory, počiatočné napadnutie štiepokovaného materiálu hubami (Hartmann, et al., 2007).

## Huby a plesne

Rast húb a plesní je ovplyvnený radom faktorov, z ktorých najvýznamnejšie sú teplota a voda (vlhkosť). Riziká pre ľudské zdravie predstavujú spóry húb a plesní, ktoré sa vyvíjajú počas skladovania štiepok a pri manipulácii s nimi sa dostávajú do ovzdušia. Následne sú spúšťačmi zdravotných komplikácií, ako sú alergie a mykotoxikózy (Hartmann, et al., 2007). Pri analýze vzduchu nachádzajúceho sa v areáli skladu energetických štiepok bolo preukázané, že pri manipulácii so štiepkami sa vo vzduchu nachádza viac ako 1000 KTJ.m<sup>-3</sup> (kolónii tvoriacich jednotiek na meter kubický), čo je doporučený zdravotný limit (1000 CFU – Colony forming units). Pri manuálnej práci na hromade bol pracovník vystavený až 4864 ± 580 KTJ.m<sup>-3</sup>, čo predstavuje takmer 5 násobne prekročenie limitu. Pri práci s čelným nakladačom s klimatizovanou kabínou bol strojník vystavený len 894 ± 82 KTJ.m<sup>-3</sup>. Počas manipulácie so štiepkou sa vo vzduchu nachádzajú spóry s počtom v priemere cca 1689 KTJ.m<sup>-3</sup>. Bolo zistené, že množstvo spór nachádzajúcich sa vo vzduchu klesne pri manipulácii so štiepkou pod hodnotu 1000 KTJ.m<sup>-3</sup> až vo vzdialenosti 300 metrov od hromady. Je preto možné považovať tento priestor za ohrozenú zónu s potenciálnym zdravotným rizikom (Barontini, et al., 2014).

„Invazívne mykózy sú infekcie vyvolané mikroskopickými hubami postihujúce vnútorné orgány a orgánové systémy. Predstavujú veľmi závažnú, život ohrozujúcu infekčnú komplikáciu imunokompromitovaných pacientov. Sú príčinami morbidít a mortality predovšetkým u pacientov s hematologickými malignitami, ale i mnohými inými základnými chorobami, ktoré oslabujú imunitu. Ako pôvodcovia týchto infekcií sa uplatňujú predovšetkým druhy rodov *Candida* a *Aspergillus*, ale aj tzv. vzácnejšie mykotické patogény, ako sú mikromycéty triedy *Zygomycetes*, *Fusarium spp.*, *Alternaria spp.*, *Scedosporium spp.* a iné“ (Belanová, a kol., 2012).

## **2.2 Požiadavky na protipožiarnu bezpečnosť pri skladovaní, ukladaní a pri manipulácii s tuhými horľavými látkami**

Vyhláška 258/2007 Z. z. ustanovuje požiadavky na protipožiarnu bezpečnosť pri skladovaní, ukladaní a pri manipulácii s tuhými horľavými látkami. Popísané sú najdôležitejšie body, ktoré súvisia so skladovaným energetických štiepok.

Pri každom voľnom sklade tuhého paliva musí byť vhodná plocha so spevneným povrchom určená na rozhrňovanie zapareného paliva a na jeho vychladenie. Ložné plochy voľného skladu tuhého paliva musia byť urovnané, vyčistené, zbavené porastov a iných organických materiálov, uvalcované a vyhotovené so sklonom, ktorý umožňuje odtok vody. Hromady tuhého paliva vo voľnom sklade tuhého paliva sa umiestňujú vo vzdialenosti najmenej 3 m od zdroja tepla, napríklad od parovodov alebo od dymovodov. Skládka žeravého popola sa musí umiestniť najmenej 10 m od hromady tuhého paliva. Ložná plocha otvoreného skladu dreva musí mať vhodný spevnený povrch, musí byť odvodnená, vyčistená a zbavená porastov a iných organických materiálov. Štiepky a piliny sa musia uskladňovať na voľnej hromade bez preskladnenia najviac 60 dní. V otvorenom sklade dreva musí byť aspoň jedna hlavná vnútorná línia napojená na prístupovú komunikáciu z oboch strán. Otvorený sklad dreva musí byť zabezpečený proti vstupu nepovolaných osôb a viditeľne označený zákazovými značkami.

## **3. METODIKA PRÁCE**

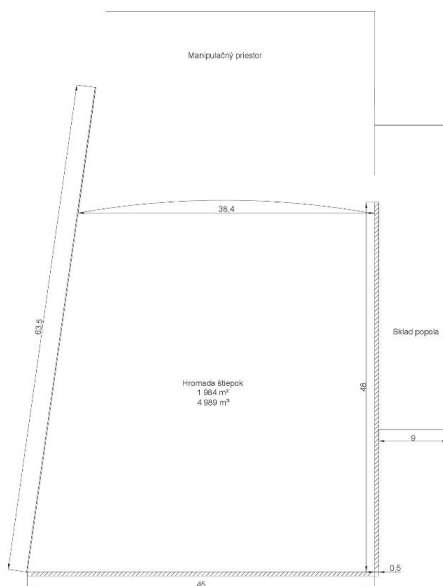
Analýze boli podrobené 4 vybrané sklady, pri ktorých bolo hodnotené, či sú v súlade s Vyhláškou 258/2007 Z. z. o požiadavkách na protipožiarnu bezpečnosť pri skladovaní, ukladaní a pri manipulácii s tuhými horľavými látkami. Zo skladov boli systematicky odoberané vzorky skladovaných štiepok. Tie boli podrobené mikrobiologickým skúšam, vykonané Národným referenčným centrom pre mykológiu životného prostredia patriacim pod Regionálny úrad verejného zdravotníctva. Z každého skladu boli odobratých 5 vzoriek a ešte v daný deň boli odovzdané do laboratória.

## **4. VÝSLEDKY**

### **4.1. Sklad energetických štiepok A**

Povrch plochy celého areálu skladu spĺňa podmienku vhodného spevnenia povrchu, nakoľko je tvorený betónovými panelovými prefabrikátmi, ktoré zabraňujú premiešavaniu a znečisťovaniu skladovanej hmoty s pôdou a umožňujú relatívne dobre využitie čelného nakladača pri manipulácii so štiepkov. Na ložnej ploche skladu absentuje odvodnenie, čo prispieva k rýchlejšiemu znehodnoteniu materiálu spodných vrstiev hromady. Oplotenie areálu je tvorené betónovým plotom, pričom tento plot slúži aj čiastočne ako oporný múr pre boky hromady štiepok. Daný múr dostatočne slúži aj na zabezpečenie skladu proti vstupu nepovolaných osôb, no úplne chýbajúca brána zo zadnej strany areálu umožňuje nekontrolovateľný vstup do areálu.

V priestoroch skladu je dostatočné množstvo zákazových značiek, no zo strany, ktorá nie je zabezpečená proti vstupu sa nenachádza žiadna takáto značka, ani len informácia o vstupe na miesto so zvýšeným rizikom vzniku požiaru. Zásoby energetických štiepok nachádzajúce sa v danom otvorenom sklade dreva tvoria jednu celistvú hromadu s plochou o výmere cca 1984 m<sup>2</sup> a množstvom suroviny o objeme cca 4989 m<sup>3</sup> bez vytvorenia aspoň jednej hlavnej vnútornej línie napojenej na prístupovú komunikáciu, čo predstavuje jedno zo závažnejších porušení odseku 9 §19 Vyhlášky 258/2007 Z. z.



Obr. 1 Model skladu energetických štiepok A  
 Fig. 1 Model of wood chips storage A

Zvýšené bezpečnostné riziko predstavuje skládka popola, ktorá sa v danom sklade nachádza 50 cm od základne hromady skladovaných štiepok. Je oddelená pol metra hrubým a 2 metre vysokým betónovým múrom, ale výška oboch hromád siahá nad daný múr, čím vzniká vysoké riziko vzniku požiaru.

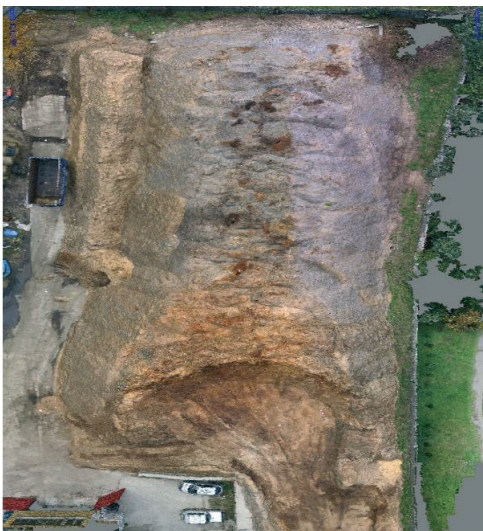
Aj keď v čase analýzy nebola hromada žeravá, existuje predpoklad že dochádza na danom mieste k sypaniu žeravého popola, nakoľko sa v areáli nenachádzal iný sklad žeravého popola. V prípade, že k danému skladovaniu naozaj dochádza, predstavuje dané konanie najzávažnejšie porušenie vyhlášky, a to porušenie odseku 5 §13, ktorý zakazuje umiestenie skládky žeravého popola vo vzdialenosti menšej ako 10 m od hromady tuhého paliva.

V skladovom priestore sa nachádza dostatočne veľká voľná spevnená plocha, ktorá v prípade potreby môže slúžiť na rozhrňanie materiálu pri prípadnej likvidácii ohnisk samovznietenia. Pri skladovaní energetických štiepok predstavuje toto riziko najväčšiu

hrozbu, preto je potrebné, aby bol sklad takouto plochou vybavený. Analyzovaná hromada mala zvýšené riziko samovznietenia, čoho dôkazom bol vysoký výpar na niektorých miestach hromady. Tento jav bol spôsobený vysokou vlhkosťou a teplotou skladovaného materiálu na danom mieste.

Analyzovaná hromada bola podrobená mikrobiologickým skúškam v akreditovanom laboratóriu UVZ SR. Bolo odobratých 5 vzoriek z vhodne rozmiestnených stanovísk. Vo vzorkách boli identifikované *Trichoderma koningii*, *T. viride*, *Cladosporium cladosporioides*, *Aspergillus brasiliensis*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus sp.*, *Mucor racemosus*, *M. hiemalis*, *Fusarium nivale*, *F. oxysporum*, *Eurotium sp.*, *Pantoea*, aeróbné sporulanty a kvasinky. Medzi identifikovanými druhmi sa nachádzajú aj druhy spôsobujúce niektoré závažné ochorenia a infekcie. Najväčšie riziko predstavuje prítomnosť rodu *Aspergillus*, *Fusarium*, ktoré spôsobujú invázne mykózy, mykotické infekcie.

Na základe STN 92 0400 a po konzultácii s požiarnym špecialistom navrhujeme vybudovať nadzemný požiarny hydrant s potrubím s priemerom 200 mm a odberom vody 25 l.s<sup>-1</sup>. Odôvodňujeme to tým, že sa jedná o sklad energetických štiepok s vysokým požiarnym zaťažením, pričom hodnota voľnej skládky je vyššia ako náklady na zabezpečenie vody na hasenie. V prípade, že je vybudovaný podzemný hydrant s požadovanou kapacitou, odporúčame dôkladne označiť miesto odberu. Vytvorenie aspoň jednej vnútornej línie nepredstavuje veľký problém pre prevádzkovateľa skladu, nakoľko ložná plocha skladu má dostatočne veľkú výmeru, čiže aj po vytvorení vnútornej línie bude možné zabezpečiť dostatočnú zásobu materiálu. Problémom nebude ani napojenie línie na prístupovú komunikáciu z oboch strán, pretože popri sklade vedie cesta a po vytvorení brány na bočnej strane areálu sa bude dať jednoducho dostať na prístupovú komunikáciu.



Obr. 2 Letecká snímka skladu B, MOKROŠ et al. (2016)  
Fig. 2 Aerial image storage B, MOKROŠ et al. (2016)

## 4.2 Sklad energetických štiepok B

Povrch areálu skladu energetických štiepok B je tvorený betónovými panelovými prefabrikátmi, čím daný sklad spĺňa podmienku vhodného spevnenia povrchu skladu, ktorú udáva vyhláška. Úprava povrchu umožňuje využitie čelného nakladača pri manipulácii so štiepkami, a taktiež dostatočne zabraňuje znečisťovaniu a premiešavaniu skladovanej hmoty s pôdou. Ložná plocha skladu nie je vybavená žiadnym odvodnením, čoho následkom môže byť rýchle znehodnotenie skladovaného materiálu v spodných vrstvách hromady. Sklad štiepok je súčasťou veľkého areálu a nachádza sa v jeho zadnej koncovej časti.



Ložná plocha hromady štiepok ma výmeru 2002 m<sup>2</sup> a je na nej uložených 4713 m<sup>3</sup> skladovaného materiálu. Zásoby energetických štiepok uložené v sklade tvoria jednu veľkú hromadu, bez vytvorenej aspoň jednej hlavnej vnútornej línie napojenej na prístupovú komunikáciu. Riziko samovznietenia predstavuje jedno z najzávažnejších rizík pri skladovaní energetických štiepok a mala by sa mu venovať zvýšená pozornosť. Je potrebné, aby bol sklad takouto plochou vybavený, pretože v prípade samovznietenia a zahorenia materiálu je potrebné ohnisko vybrať a uložiť mimo hromady, rozhrnúť a materiál nechať vychladnúť.

Vo vzorkách boli identifikované *Cladosporium cladosporoides*, *Aspergillus brasiliensis*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus sp.*, *Eurotium sp.*, *Mucor racemosus*, *Mucor spinosus*, *Pantoea*, *Fusarium nivale*, *Fusarium oxysporum*, kvasinky a aeróbne sporulanty. Medzi druhmi, ktoré boli identifikované pri analýze sa nachádzajú ja druhy spôsobujúce niektoré závažné ochorenia a infekcie. Najväčšie riziko predstavuje prítomnosť rodov *Aspergillus* a *Fusarium*, ktoré spôsobujú invázne mykózy a mykotické infekcie.

### 4.3 Sklad energetických štiepok C

Povrch skladu je tvorený z betónových panelových prefabrikátov, pričom povrch spĺňa podmienku vhodného spevnenia povrchu skladu. Panely dostatočne zabraňujú premiešavaniu a znečisťovaniu štiepok pôdou, a zároveň umožňujú využitie čelného nakladača pri manipulácii so skladovaným materiálom. Areál skladu je oplotený vysokým betónovým múrom, pričom v niektorých častiach skladu slúži tento plot aj ako oporný múr pre hromadu štiepok. Oplotenie vyhovuje vyhláske, pretože dostatočne zabraňuje vstupu nepovolaných osôb a tým chráni areál pred vznikom škôd spôsobených cudzím zavinením. V areáli skladu sa nachádzajú zákazové značky, no bolo by potrebné ich doplniť, nakoľko sa nenachádzajú v predpísanej forme a počte.

Zásoby energetických štiepok uložené v danom sklade sú rozdelené na dve menšie hromady, pričom ich spoločná výmera predstavuje 231 m<sup>2</sup> a je na nich uložených 242 m<sup>3</sup> materiálu. Areál skladu je vybavený primerane veľkou voľnou spevnenou plochou, ktorá by mohla slúžiť pri prípadnej likvidácii ohnisk zahorenia alebo zaparenia. Aj v sklade C dochádza k zaparovaniu skladovaného materiálu, no ak zoberieme do úvahy množstvo materiálu, ktoré sa tu nachádza, nepredstavuje tento jav významné bezpečnostné riziko, pretože tento materiál je v krátkej dobe spracovaný.

Vo vzorkách boli identifikované *Aspergillus brasiliensis*, *Geotrichum candidum*, *Rhizopus arrhizus*, *Rhizopus nigricans*, *Mucor spinosus*, *Eurotium sp.* a kvasinky. Medzi identifikovanými druhmi sa nachádza jeden rod, ktorý môže spôsobiť závažné ochorenia, ale vzhľadom na to, že tento rod bol identifikovaný len v jednej vzorke a štiepky nie sú v danom sklade skladované dlhšiu dobu, nepredstavuje tento nález väčšie riziko.

### 4.4 Sklad energetických štiepok D

Časť plochy (cca  $\frac{3}{4}$ ) analyzovaného skladu je tvorená betónovými panelovými prefabrikátmi, pričom spĺňa podmienku vhodného spevnenia, ale zvyšná časť ložnej

plochy je bez potrebnej úpravy. Na celej ložnej ploche absentuje odvodnenie, pričom na miestach, kde nie je vhodné spevnenie dochádza k vytváraniu kolají, v ktorých stojí voda, a následnej tvorbe bahna a pomiestnemu znečisťovaniu skladovaných štiepok pôdou a bahnom.

Znečistený materiál nepredstavuje priame bezpečnostné riziko, ale spôsobuje zvýšené opotrebovanie dopravných ciest spaľovacieho zariadenia a znižuje tak jeho životnosť. Dochádza k zvýšeniu podielu nespáliteľných častíc a celkovému zhoršeniu fyzikálnych vlastností energetických štiepok ako paliva. Celý areál skladu je oplotený, a tak by mal byť zabezpečený proti vstupu nepovolaných osôb, no zo zadnej strany je toto oplotenie zničené.

Energetické štiepky uložené na ložnej ploche skladu tvoria jednu veľkú celistvú hromadu s výmerou 1754 m<sup>2</sup>, pričom na skladovanej hromade je uložených 3596 m<sup>3</sup> štiepok bez vytvorenia aspoň jednej hlavnej vnútornej línie napojenej na prístupovú komunikáciu.



Obr. 3 Letecká snímka skladu D MOKROŠ et al. (2016)

Fig. 3 Aerial image storage D MOKROŠ et al. (2016)

Zvýšené bezpečnostné riziko predstavuje skládka popola, ktorá sa v analyzovanom sklade nachádza približne 7 metrov od hromady skladovaných štiepok. V čase analýzy skladu nebola hromada popola žeravá, ale nakoľko sa v sklade nenachádza iná skládka popola, je veľmi pravdepodobné, že na dané miesto je uskladňovaný aj žeravý popol. Umiestňovanie žeravého popola v blízkosti menšej ako 10m od hromady tuhého paliva je zakázané. Aj v prípade, že nedochádza na hromade k skladovaniu žeravého popola, existuje pri zvýšenom vetre riziko vzniku požiaru, pretože môže ľahko dôjsť k rozfúkaniu ešte úplne nevychladnutých uhlíkov na hromadu štiepky a následnému vzniku požiaru.

Vo vzorkách štiepok boli identifikované *Eurotium sp.*, *Mucor spinosus*, *Aspergillus brasiliensis*, *Aspergillus flavus*, *Rhizopus arrhizus*, *Rhizopus nigricans*, *Geotrichium candidum* a kvasinky. Medzi druhmi, ktoré boli identifikované pri analýze sa nachádza aj rod *Aspergillus*, ktorý spôsobuje závažné infekcie a ochorenia.

#### **4.5 Vzorové technologické postupy skladovania energetických štiepok**

Väčšina doteraz používaných technologických postupov spracovania energetickej biomasy spočíva v štiepkovaní biomasy na lokalite peň, respektíve na odvoznom mieste a následnom navážaní štiepok do skladov a vytváraním veľkých zásob. Aj napriek tomu, že vyhláška zakazuje skladovanie štiepok bez preskladnenia viac ako 60 dní, realita je často iná. Pri dlhodobom skladovaní dochádza k znižovaniu kvality nahromadenej hmoty, k zvyšovaniu bezpečnostného rizika a hlavne zdravotného rizika vyplývajúceho z rozvoja mikroorganizmov a drevokazných húb, ktorých početnosť sa zvyšuje s rastúcou dobou skladovania. Všetky tieto rizika je možné eliminovať len skrátením doby uskladnenia energetickej biomasy vo forme štiepok.

Štiepky používané na energetické účely pochádzajú z viacerých zdrojov. Určitá časť podielu biomasy pochádza zo štiepkovania celých stromov, zvyčajne pochádzajúcich z výchovných ťažieb, ťažieb spojených s čisteným poľnohospodárskym pôdnym fondom alebo z likvidácie tzv. bielych plôch. Takáto hmota je tenších dimenzií s veľkým podielom konárov, chaoticky usporiadaná a skladovanie zaberá veľa miesta. Preprava takejto hmoty na väčšie vzdialenosti predstavuje podstatne zvýšené náklady, preto je výhodné takéto materiály spracovávať hneď na lesnom sklade. Výhodou je, ak je možné uskladnené stromy nechať preschnúť na uskladnenej hromade niekoľko mesiacov a až následne spracovávať a navážať do skladov koncových spotrebiteľov už vo forme štiepok. Pri použití takéhoto vstupného materiálu nie je vhodné zmeniť lokalitu štiepkovania, iba spôsob skladovania.

Časť hmoty pochádza z menej kvalitných sortimentov surového dreva pochádzajúceho z obnovných alebo výchovných ťažieb, pričom toto drevo je odvetvené a skrátene na prepravné dĺžky. Do tejto skupiny môžeme zaradiť aj odpad z drevospracujúceho priemyslu (odrezky). Takýto materiál sa dá pomerne dobre prepravovať, pričom doprava nepredstavuje zvýšené náklady v porovnaní s prepravou štiepok. Pri používaní takéhoto materiálu sa dá uvažovať so zmenou zaužívaných technológií a zmenou lokality spracovania sortimentov do formy štiepok. Aby bolo možné skrátiť dobu skladovania materiálu vo forme štiepok, je potrebné zvýšiť podiel skladovaných sortimentov surového dreva do maximálnej novej miery.

#### **Technológia výroby energetických štiepok na sklade teplárne (elektrárne)**

Pracovný postup je založený na krátkodobom uskladnení štiepok v sklade, pričom podstatná väčšina dlhodobo uložennej biomasy je vo forme surového dreva. K štiepkovaniu biomasy dochádza niekoľko dní pred jej spotrebovaním priamo na sklade spotrebiteľa. Pri dlhodobom skladovaní výrezov surového dreva nedochádza tak k intenzívnemu zaparo-

vaniu a tvorbe mikroorganizmov, ako je to u štiepok, preto skladovanie takýchto výrezov nepredstavuje bezpečnostné a zdravotné riziko. Výhodou skladovania výrezov surového dreva je fakt, že uskladnená hmota nenaberá takú vysokú vlhkosť ako je to pri skladovaní štiepok. Na rozdiel od klasických technológií dochádza k zvýšeniu podielu práce na sklade, pretože je potrebné postupné dopĺňovanie skladu energetických štiepok štiepkovaním skladovaných výrezov surového dreva. Nevýhodou tejto technológie je zvýšená hlučnosť na sklade, ale nakoľko podstatná časť týchto zariadení sa nachádza v priemyselných častiach miest, nepredstavuje tento fakt zvyčajne problémy. Ak porovnáme vzniknutý hluk s tým, o koľko znížime bezpečnostné a hlavne zdravotné riziko, javí sa táto technológia ako výhodnejšia.

Sklad je potrebné rozdeliť na štyri časti – manipulačná plocha s vnútornými líniami, voľná spevnená plocha určená pre prípadnú likvidáciu ohnisk samovznietenia, sklad výrezov surového dreva a sklad energetických štiepok. Veľkosť jednotlivých častí závisí od dennej spotreby paliva a celkovej veľkosti skladu. Najväčší podiel na rozlohe predstavuje sklad výrezov surového dreva, ktorý tvorí hlavnú zásobu biomasy pre spracovanie. Veľkosť a počet vnútorných línií a veľkosť spevnenej plochy určenej ako prechodné úložisko samovznietených čerstvých štiepok upravuje Vyhláška 258/2007. Povrch skladu by mal byť tvorený bituménovým krytom, alebo cestným betónom s povrchovou úpravou pre vonkajšie plochy, aby bolo možné v plnej miere využívať manipulačnú techniku. Plocha skladu by mala byť dobre vypádovaná s kvalitným odvodnením, aby v priestoroch skladu nestála voda a nezneškodnocovala tak skladovaný materiál.

### *Sklad surového dreva*

Sklad surového dreva musí tvoriť najväčšiu časť skladu, pretože predstavuje základ zásob biomasy. Skladovanie je jednoduché, vyžaduje len opornú konštrukciu (múr, podpery a iné), aby nedochádzalo k samovoľnému rozval'ovaniu hromád. Takto uložené drevo dokáže rýchlejšie preschnúť a v porovnaní so štiepkami nenaberá do seba také množstvo dažďovej vody. Medzery medzi jednotlivými kmeňmi urýchľujú proces vysušovania, a zároveň zabraňujú intenzívnemu zaparovaniu. Ak zoberieme do úvahy fakt, že 1 m<sup>3</sup> voľne sypaných štiepok sa rovná 0,59 priestorového metra rovnaneého dreva (to sa rovná 0,41 m<sup>3</sup> dreva), zistíme že skladovanie guľatiny je priestorovo menej náročné ako skladovanie rovnakej hmoty vo forme štiepok.

### *Manipulačná plocha*

Medzi skladoom výrezov surového dreva a skladoom energetických štiepok musí byť dostatočne veľká voľná manipulačná plocha, aby bolo možné na ňu umiestniť štiepkovač s potrebným manipulačným priestorom. Musí poskytovať dostatok priestoru pre manipuláciu s výrezmi surového dreva a so štiepkami zo skladu štiepok do spaľovacieho zariadenia – kotla.

### *Sklad energetických štiepok*

Vlhkosť štiepok má najväčší vplyv na výhrevnosť. Nárast vlhkosti štiepky znižuje výhrevnosť, a tak dochádza k finančným stratám. Je vhodné, ak je sklad štiepok vybavený strechou, aby nedochádzalo k zvyšovaniu vlhkosti suchej štiepky. Vybudovanie prístreška predstavuje zvýšené náklady, no z dlhodobého hľadiska sa táto investícia vráti. Tento sklad nemusí byť veľký, no je potrebné, aby doň vošla biomasa potrebná minimálne na týždennú plnú prevádzku. Dopĺňanie skladu je potrebné zosúladiť so spotrebou biomasy, aby nedochádzalo k tvorbe nadbytočných zásob, a tak predlžovaniu doby skladovania. Výhodne by bolo, ak by bol prístup do skladu z dvoch strán, aby sa dal odoberať zo skladu stále starší materiál, nie len čerstvý z prednej časti.

Je potrebné skonštatovať, že táto technológia vyžaduje vyššie počiatočné investície vynaložené na výstavbu a chod teplárne alebo elektrárne, ale podstatne sa znížia rizika vyplývajúce zo skladovania energetických štiepok. Ak sa zamestnanci skladov zaradia do rizikových skupín a dôjde k vyplácaniu odškodnení za vzniknuté choroby z povolania, bude táto technológia podstatne lacnejšia ako doposiaľ zaužívané pracovné postupy.

### **Skladovanie energetických štiepok pod špeciálnou fóliou**

V prípade potreby dlhodobého skladovania energetických štiepok (z potreby vytvárania rezerv, pri nadbytku materiálu a iné) je možné využiť technológiu skladovania štiepok pod špeciálnou fóliou. Osvedčila sa v Nemecku a iných krajinách, kde sa štiepky používajú dlhšiu dobu.

Princípom tejto technológie je použitie špeciálnej fólie, ktorá umožňuje unik pár tvoriacich sa v štiepkach a vetranie zakrytého materiálu, pričom z vonkajšej strany je fólia pre vodu nepriepustná. Nedochádza tak k absorpcii dažďovej vody do hromady štiepok. Aby sa zabezpečilo lepšie schnutie materiálu, do hromady sú systematicky uložené vetracie rúry (šachty) napojené na komíny, ktoré zabezpečujú lepšiu cirkuláciu vzduchu vo vnútri hromady. Problémy spojené so zaparovaním a zahrievaním materiálu sú minimalizované vylúčením jemných frakcií štiepok zo skladovanej hromady. Jemné frakcie obsahujú aj zelené časti (listy a ihlice), ktoré podliehajú intenzívnemu a rýchlemu rozkladu, a tak spôsobujú najväčšie rizika skladovania štiepok. Pred uskladnením sú štiepky roztriedené, pričom hrubé frakcie sú určené na dlhodobé skladovanie a jemné frakcie sú buď v krátkej dobe spálené alebo sa využívajú na iné účely (napr. kompost). Pri skladovaní hrubých frakcií nedochádza k zaparovaniu, samozahrievaniu, pretože medzi jednotlivými kusmi štiepok sa nachádzajú priedušné medzery. Dochádza tak k znižovaniu vlhkosti a teploty, čo neumožňuje rozvoj baktérií a húb v takom rozsahu, ako u netriedených štiepkach.

Použitie technológie je limitované hlavne zakúpením triedičky, ktorá by umožňovala roztriedenie frakcií štiepok. Technológia vyžaduje zvýšené investície a náklady, no je tiež jednou z účinných a overených ciest eliminácie rizík vyplývajúcich z dlhodobého skladovania energetických štiepok.

#### 4. DISKUSIA

Hlavným cieľom práce bolo analyzovať a popísať riziká dlhodobého skladovania energetických štiepok a vypracovať návrh riešenia, ako sa daným rizikám vyhnúť a ako ich odstrániť. Pri dlhodobom skladovaní dochádza k výkyvom vlhkosti a teploty hromady, pričom v hromadách dochádza k rozvoju húb a plesní. Pri analýze skladov boli identifikované rody: *Aspergillus*, *Fusarium*, *Mucor*, *Trichoderma* *Cladosporium* *Eurotium* a iné, ktoré sú častými pôvodcami infekcií a ochorení.

Pri skladovaní štiepok 3 až 6 mesiacov dochádza k tvorbe hubových spór, ktoré môžu spôsobovať hygienické problémy, alergické reakcie a ochorenia dýchacích ciest. Z celkového počtu 6 – 8 analyzovaných teplomilných druhov húb, ktoré sú potenciálnymi ľudskými patogénmi spôsobujúcimi infekcie a choroby, výskum potvrdil prítomnosť 2 až 4 druhov v štiepkach veľkých frakcií a 4 až 8 druhov v štiepkach drobných frakcií. Pleseň *Aspergillus fumigatus*, ktorá má najväčší patogénny vplyv na človeka bola v štiepkach veľkých frakcií identifikovaná u 76 % a v štiepkach stredných a drobných frakcií u 93 % analyzovaných vzoriek z celkového počtu 756 (Suchomel, a kol., 2009). Barontini et al. (2014) zistil, že pracovník manuálne pracujúci na hromade štiepok bol vystavený cca 4864 KTJ.m<sup>-3</sup>, čo je takmer 5 násobné prekročenie zdravotného limitu. Pri manipulácii so štiepkou klesne počet KTJ.m<sup>-3</sup> spór pod hranicu zdravotného limitu vo vzdialenosti až cca 300 metrov od hromady.

Skladovanie štiepok je sprevádzané teplotnými zmenami, ktoré sú vyvolané rozkladom organického materiálu. V skladovaných hromadách bola preukázaná zvýšená teplota, čoho dôkazom bol aj zápach, intenzívny výpar a zuhoľnatenie materiálu. Tieto teplotné zmeny môžu za určitých okolností viesť až k samovznieteniu štiepok a následnému požiaru. Hartmann et al. (2007) uvádza, že počiatočné zahrievanie čerstvých štiepok je spôsobené dýchaním ešte živých parenchymatických buniek, ďalšie zahrievanie je spôsobené metabolizmom húb, baktérií a zvyšovanie teploty nad 80 °C spôsobujú termofilné baktérie. Kuchtik (1988) zistil, že 10 až 14 dní po založení hromád štiepok dochádza k prudkému nárastu teploty v strednej časti, pričom teplota zvyčajne dosahuje hodnoty 65 – 80 °C. Suchomel a kol. (2012) namerali na začiatku sledovaného obdobia v hromadách štiepok teplota osikového teplotu 47,8 °C vo výške 1,5 m nad zemou.

#### 5. ZÁVER

Existuje viacero spôsobov skladovania štiepok, no najvhodnejšie je skladovať štiepky pod strechou s dobrým vetraním a predovšetkým s krátkou dobou skladovania, aby bolo možné získať najvyššiu energetickú výťažnosť a celkový energetický zisk.

Bolo dokázané, že aj v analyzovaných skladoch sa nachádzajú druhy húb a plesní, ktoré môžu spôsobovať závažné choroby a infekcie. Medzi najnebezpečnejšie zistené rody identifikované pri mikrobiologických skúškach zaradujeme rody *Fusarium*, *Aspergillus*, *Mucor*, ktoré najčastejšie spôsobujú infekcie pľúc (*aspergilóza*), močových ciest, centrálného nervového systému, kože a kožných štruktúr, oka a iné, pričom v spojení s inými



chorobami môžu mať aj fatálne následky. V skladoch bolo preukázané zvýšené bezpečnostné riziko, predovšetkým riziko požiaru, a to najmä nesprávnym umiestnením skládky popola, skladovaním veľkého objemu štiepok bez vytvorenia aspoň jednej vnútornej línie, pričom evidentne dochádza v hromadách k intenzívnemu zahrievaniu skladovaného materiálu a chýbala taktiež plocha určená na rozhňanie vznietených štiepok. Sklady neboli dostatočne vybavené vodou na hasenie, zabezpečené proti vstupu nepovolanych osôb a nemali správne umiestnené zákazové značky.

Popísané riziká je možné odstrániť použitím vhodných technológií skladovania a spracovania štiepok, preto bol v práci navrhutý vzorový technologický postup, použitím ktorého je možné minimalizovať rizika dlhodobého skladovania energetickej štiepok. Princípom postupu je minimalizácia doby skladovania dendromasy vo forme štiepok a skladovanie štiepok pod priedušným prístreškom. Hlavná zásoba biomasy uložená v sklade je tvorená výrezmi surového dreva a štiepkovaná je priebežne, pár dní pred spaľovaním. Výhodou tohto postupu je lepšie preschnutie materiálu, menší objem skladovaného surového dreva, nevytváranie húb a plesní a neznehodnocovanie štiepok poversternosťami vplyvmi.

### Pod'akovanie:

Táto práca bola vypracovaná v rámci riešenia grantových projektov: VEGA–SR č. 1/0678/14, Optimalizácia technologických, technických, ekonomických a biologických princípov výroby energetickej dendromasy a KEGA 012TU Z-4/2014 E-learningové vzdelávacie moduly spracovania náhodných ťažieb dreva.

## 6. LITERATÚRA

- BARONTINI, M. et al. 2014. Airborne fungi in biofuel wood chip storage sites. In *International biodeterioration and Biodegradation*. USA : Elsevier, 2014. ISSN 0964-8305, p. 17-22.
- BELANOVÁ, K. a kol. 2012. Výskyt húb pri skladovaní lesných štiepok. In *Biomasa a riziká pri jej spracovaní*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2012. ISBN 978-80-228-2365-4, s. 49-59.
- HARTMANN, H. et al. 2007. *Handbuch Bioenergie – Kleinanlagen*. Gülzow : Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V, 2007. 224s. ISBN 3-00-011041-0.
- KUCHTÍK, J. 1988. Komplexní zpracování lesní biomasy II. Brno: VŠZ, 1988, p. 275 p.
- MOKROŠ, M., TABAČÁK, M., LIESKOVSKÝ, M., FABRIKA, M. 2016: Unmanned Aerial Vehicle Use For Wood Chips Pile Volume Estimation, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B1, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic, isprs-archives-XLI-B1-953-2016
- ORAVEC, M. – BARTKO, M. – SLAMKA, M. 2012. *Postupy intenzifikácie produkcie drevnej biomasy na energeticke účely*. Zvolen : Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 2012. 64 s.
- STN 48 0057 Ihličnaté štiepy a piliny
- STN 48 0058 Listnaté štiepy a piliny
- STN 92 0400 Voda na hasenie požiarov
- SUCHOMEL, J. – BELANOVÁ, K. 2012. *Analýza vybraných rizík pri spracovaní lesnej biomasy na energeticke účely*. Zvolen : Vydavateľstvo TU vo Zvolene, 2012. 107s. ISBN 978-80-228-2400-2.
- VYHLÁŠKA 258/2007 Z. z. o požiadavkách na protipožiarnu bezpečnosť pri skladovaní, ukladaní a pri manipulácii s tuhými horľavými látkami

Adresy autorov:  
Ing. Matúš Žid  
06511 Nová Ľubovňa 600  
e-mail: matus.zid@gmail.com

Ing. Martin Lieskovský, PhD.  
Ing. Miloš Gejdoš, PhD.  
Ing. Martin Slančík, PhD.  
Katedra lesnej ťažby, logistiky a meliorácií  
LF TU vo Zvolene  
T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen  
e-mail: lieskovsky@tuzvo.sk  
e-mail: gejdos@tuzvo.sk  
e-mail: slancik@tuzvo.sk

### **Risks in long-term storing of wood chips**

#### **Summary**

The aim of this work is to analyze the risks of long-term storing of wood chips which are used in heat stations as an energy source. The work describes the risks of long-term storage. These risks are mainly: the risk of losing dry content, the risk of self-ignition and subsequent fire and health risks that cause fungus and mold which are naturally evolve during the decomposition of long-term stored chips. In The practical part were four selected storages analyzed, with description of the lacks. Storage chips were analyzed with microbiological testing in accredited laboratory. The aim was to identify funguses and molds in storages and demonstrate the presence of genera that cause infection and diseases. In the conclusion work contains a proposal for the technology of wood chips storage, which minimize all described risks and lacks in workflows which are used in practice. Importance of the work consists in a demonstration of the safety and health risks of long-term wood chips storage

**Key words:** energy wood chips, risks of long-term storing, spontaneous combustion, disease, infections, model technological process



## HODNOCENÍ FYZICKÉ ZÁTĚŽE OPERÁTORŮ UKT BĚHEM PŘIBLIŽOVÁNÍ DŘÍVÍ

Zuzana VALERIÁNOVÁ

**Valeriánová, Z.: Hodnocení fyzické zátěže operátorů UKT během přibližování dříví.** Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, 58/1 2016, 125 – 135.

Příspěvek se zabývá problematikou fyzické zátěže operátorů univerzálních kolových traktorů (UKT) u vybraných činností během přibližování dříví na území České republiky a Slovenska. Fyzická zátěž byla hodnocena pomocí sporttesteru využívajícího technologii společnosti Firstbeat Technologies Ltd., kalkulujícího fyzickou zátěž na základě vztahu srdeční frekvence a energetického výdeje. Z předem definovaných kategorií činností bylo jako nejvíce fyzicky zatěžující sestavení nákladu a jízda s nákladem. Měřené výsledky byly porovnány se subjektivním hodnocením míry fyzické zátěže samotnými operátory traktorů při dotazníkovém šetření, u kterého byly zjištěny při porovnání jednotlivých kategorií činností mezi sebou obdobné výsledky, jako při měření sportstetrem.

**Klíčová slova:** energetický výdej, fyzická zátěž, přibližování dříví, UKT

### 1. ÚVOD A CÍL

Přibližování dříví bývá často odbornou i laickou veřejností považováno pro operátory traktorů za velmi fyzicky náročnou činnost, kdy při práci v mnohdy těžce předvídatelném a nepříznivém prostředí (např. z důvodu terénních a klimatických), dochází k zátěži vibracemi a hlukem. Navíc je při ní manipulováno s těžkou dřevní hmotou, přičemž pracovník často mění obtížné pracovní polohy (např. při připevňování úvazků), přičemž mnoho z nich je z fyziologického hlediska nepříznivých. Přesto je množství studií a prací, popisujících problematiku hodnocení fyzické zátěže během přibližování dříví, stále poměrně malé. Proto je cílem tohoto příspěvku přinést informace o možných způsobech jejího hodnocení u operátorů UKT a u dvou vybraných metod – měření pomocí sporttesteru využívajícího technologii společnosti Firstbeat Technologies Ltd. a pomocí dotazníkového šetření, které se týkalo předem definovaných kategorií činností během soustředování dříví, informovat o výsledcích šetření.

### 2. MOŽNÉ ZPŮSOBY HODNOCENÍ FYZICKÉ ZÁTĚŽE

V průběhu pracovní činnosti jsou operátoři vystaveni fyzické zátěži, která má celou řadu aspektů a neexistuje žádné standardní hodnocení, které je schopno veškeré z nich zahrnout. Proto se pro většinu studií doporučuje kombinace více metod hodnocení.

(HASKELL, 2012, MELANSON Jr et al., 1996) Je nutné, aby byla při výběru metody hodnocení fyzické aktivity věnována dostatečná pozornost jejím výhodám a nedostatkům. (SYLVIA et al., 2014) Přehled často používaných metod je uveden v tabulce 1. (FIRST-BEAT-TECHNOLOGIES, 2007)

## 2.1. Hodnocení fyzické zátěže pomocí měření srdeční frekvence

Hodnocení fyzické zátěže během pracovní činnosti bylo historicky založeno na měření spotřeby kyslíku ( $V_{O_{2max}}$ ), jehož provedení je však v provozních podmínkách poměrně obtížné. Protože je hodnota srdeční frekvence při submaximálním zatížení v setrvalém stavu přímo úměrná spotřebě kyslíku a lze ji jednoduše měřit, začala být využívána k odhadu spotřeby kyslíku, potažmo fyzické zátěže. (BARTŮŇKOVÁ, 1996, SMOLANDER et al., 2008, SPURR et al., 1988, ŠEDIVÝ, 2006)

Kalibrační křivky srdeční frekvence a spotřeby kyslíku byly tradičně získávány pomocí cyklo-ergometru nebo na běžeckém pásu. Na základě získaných údajů byl pak předpokládán lineární vztah mezi dvěma proměnnými modelován pomocí grafické nebo lineární regresní analýzy. Výsledek byl následně použit k posouzení, avšak jen pro jednoho pracovníka. (KOLUS et al., 2014, RODAHL et al., 1974, SMOLANDER et al., 2008)

V dnešní době se již uplatňují moderní metody stanovení fyzické zátěže pouze na základě monitorování srdeční frekvence, bez individuální kalibrace, umožňující měření v provozních podmínkách, které však přináší přesnost výsledků podobnou podmínkám laboratorním. Takovou metodou je i metoda, která byla vytvořena společností Firstbeat Technologies. (FIRSTBEAT-TECHNOLOGIES, 2007, SMOLANDER et al., 2008)

Od vynalezení prvního elektrokardiografu (EKG) v roce 1902 byl zaznamenán významný vývoj i v uživatelské pohodlnosti měřících přístrojů. Přibližně 30 let od sestrojení Holterova monitoru v roce 1949 umožňujícího záznam EKG díky přenosné jednotce po dobu 24 hodin, byl vyvinut první bezdrátový monitor srdeční frekvence skládající se z vysílače, který mohl být pomocí elektrod na jedno použití nebo elastického pásu s elektrodami přichycen na hrudníku, a z přijímače, který byl umístěn na zápěstí ve formě monitoru připomínajícího náramkové hodinky. Od roku 1983 začaly být používány lehké telemetrické monitory srdeční frekvence, přičemž bylo prokázáno, že jsou přesné a vhodné k měření v terénních podmínkách. (ACHTEN, JEUKENDRUP, 2003, HOLTER, 1961, LAUKKANEN, VIRTANEN, 1998, SCHWEIGGER'S, 2007, TALIB et al., 2005)

Tabulka 1 – Výčet často používaných metod hodnocení fyzické zátěže (FIRSTBEAT-TECHNOLOGIES, 2007)

Table 1 – List of frequently used methods for an evaluation of the physical load (FIRSTBEAT-TECHNOLOGIES, 2007)

Metoda	Výhody	Nevýhody
Přímá kalorimetrie	Nejvíce přesná metoda k odhadu výdeje energie s minimem chyb.	Finančně velmi náročná metoda. Není aplikovatelná mimo laboratorní prostředí.
Nepřímá kalorimetrie	Přesná metoda (chyby přibližně 5%) k posouzení výdeje energie. Je možná také analýza nádech-nádech. Jsou k dispozici přenosné přístroje se srovnatelnou přesností.	Finančně náročná metoda. Není možné dlouhodobé měření. Nedovoluje každodenní používání.
Metoda „Doubly labeled water“	Přesná metoda (chyby jsou obvykle menší než 5%) je vhodná k dlouhotrvajícímu měření (4-20 dnů), nebo pro velký počet subjektů/probandů.	Velmi finančně náročná. Chybí informace o krátkých intervalech aktivity během sledovaného období, k dispozici jsou pouze informace o celkové vynaložené energii.
Metoda společnosti Firstbeat založená na měření srdeční frekvence	Snadná metoda s relativně vysokou přesností (chyby 7-10%), přestože nevyžaduje laboratorní kalibraci. Poskytuje odhad výdeje energie v sekundových intervalech.	Finančně nenáročná metoda, ale má více chyb v porovnání s kalorimetrií nebo „Doubly labeled water“ metodou. Vyžaduje sběr dat o srdeční frekvenci na úrovni jednotlivých úderů s dostatečnou přesností.
Měření srdeční frekvence používající individuální laboratorní kalibraci	Tradiční metoda s nižším procentem chyb (15-25%) v porovnání s metodou používající obecné rovnice. Nepotřebuje data o jednotlivých úderech srdce, ale pouze o průměrné srdeční frekvenci.	Relativně finančně nenáročná metoda. Měření velkého množství subjektů je náročné vzhledem ke kalibračnímu procesu. Srdeční frekvence je více ovlivněna jinými faktory než fyzickou aktivitou.
Tradiční metoda měření srdeční frekvence používající obecné rovnice	Snadná metoda. Nejsou vyžadována data o jednotlivých srdečních úderech.	Finančně nenáročná metoda, ale s rizikem velkého množství chyb (20-35%) ve vztahu srdeční frekvence-výdej energie, zejména pokud není provedena individuální kalibrace.
Odhad založený na detekci pohybu	Většinou velmi jednoduché měření s velkou nepřesností (20-35%). Poskytuje spolehlivě souhrnné informace o období fyzické aktivity.	Finančně nenáročná metoda. Jednoosé senzory nejsou dost citlivé k vyčíslení výdeje energie (chyby více než 60%). Nejvíce jsou vhodné pro identifikaci period (času a doby trvání) fyzické aktivity.
Záznamy aktivity a dotazníky	Metoda nevyžaduje nutně hardware. Pro přesné měření je vyžadováno velké množství času a zkušeností osoby, která výdej energie odhaduje. Uživatelé mohou těžit ze sebehodnocení.	Finančně velmi nenáročná metoda s velkou nepřesností (20-60%). Chybějí informace o okamžitých hodnotách výdeje energie.

## 2.2. Hodnocení fyzické zátěže pomocí dotazníkového šetření

Dotazníková šetření jsou oblíbenou metodou hodnocení fyzické aktivity a zátěže, zejména pokud je nutné oslovit velké množství respondentů. Je vhodné i k ověření dat, získaných jinými metodami. Zmíněné alternativní metody je vhodné používat, protože každá výzkumná metoda má své výhody i nevýhody a pro většinu studií je proto doporučováno využít více z nich. Výhodou je, že pomocí dotazníků je možné hodnotit trvání, intenzitu, frekvenci i typ pohybové aktivity a dotazníky mohou být použity v různých formách – prostřednictvím osobního rozhovoru, pomocí telefonu nebo pošty. Za nevýhodu se dá považovat existence velkého množství typů dotazníků, jejichž forma není unifikována, protože historicky byly pro jednotlivé studie vytvářeny speciální dotazníky. Navíc hrozí riziko, že operátoři nesprávně porozumí dotazům. Proto je porovnání dat z dotazníkových šetření a z různých zdrojů často velmi obtížné. (BALOGH, 2004, POPPEL, 2012, UENO, 2013)

## 2.3. Legislativní úprava

V České republice je nejvyšší minutový přípustný hygienický limit energetického výdeje při práci s celkovou fyzickou zátěží upraven nařízením vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. V příloze č. 5 je definován pro muže všech věkových kategorií jednotně, jako 34,5 kJ/min. Odlišně je pak stanoven pro dívky (do 18ti let), ženy a chlapce (do 18ti let).

Na Slovensku problematiku upravuje vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 542/2007 Sb., o podrobnostech ochrany zdraví před fyzickou zátěží při práci, psychickou pracovní zátěží a senzorickou zátěží při práci. Obdobně jako v legislativě České republiky, jsou v příloze č. 2 stanoveny maximální přípustné hodnoty energetického výdeje při fyzické práci vykonávané velkými svalovými skupinami zvláště pro dívky (do 18ti let), ženy, chlapce (do 18ti let) a muže. U mužů je maximální minutový přípustný energetický výdej stanoven dle jednotlivých věkových skupin tak, jak je uvedeno v tabulce 2.

Tabulka 2 – Maximální minutový přípustný energetický výdej pro muže dle legislativní úpravy na Slovensku

Table 2 – Maximum allowable minute energy expenditure for men according legislative limits established for Slovakia

Věková skupina	Maximální přípustný energetický výdej (kJ/min.)
18–29 let	41,1
30–39 let	38,7
40–49 let	34,5
50–59 let	30,9
60–65 let	28,7

### 3. METODIKA PRÁCE

Terénní měření probíhala v letech 2011 – 2014 na území Česká republika a Slovenska v nadmořských výškách 300 – 700 m. n. m., v terénech se svažitostí max. 25 %, bez větších terénních překážek.

Pro měření a dotazníkové šetření bylo vybráno 16 mužů s délkou praxe v přibližování dříví minimálně šest měsíců. Jejich průměrný věk byl 34 let (nejmladšímu bylo 22 let, nejstaršímu bylo 53 let). Operátoři museli pro zařazení do šetření pracovat ve směně trvající minimálně čtyři hodiny.

Pro účely studie bylo zvoleno 12 univerzálních kolových traktorů s uzavřenou kabinou, s rokem výroby 1996 – 2008. Výrobce, model, rok výroby, výkon traktoru, jeho vybavení a různé typy nářadí, které byly v návaznosti na jednotlivé traktory použity, nebyly pro účely příspěvku primárně uvažovány, a to z důvodu omezení počtu proměnných vstupujících do výsledků, čímž se snížilo riziko špatné interpretace výsledků z důvodu zaměřenosti na velký detail.

#### 3.1. Přípravné práce

Před vlastním měřením bylo provedeno pozorování, jehož výstupem bylo rozdělení celkového času pracovní směny do jednotlivých úseků pracovní operace přibližování: ° sestavení nákladu, ° jízda s nákladem, ° složení nákladu, ° uložení nákladu na skládku, ° přejezd, ° ostatní.

U sestavení nákladu bylo za jeho počátek považováno vystoupení operátora z traktoru na vývozním místě a za jeho ukončení nastoupení operátora do traktoru. Jízda s nákladem byla započata nastoupením operátora do traktoru na vývozním místě a ukončena vystoupením z něj na místě odvozním. U složení nákladu bylo za počátek považováno vystoupení operátora z traktoru na odvozním místě a za jeho konec nastoupení na odvozním místě. Pokud operátor ukládal náklad na skládku, bylo za jeho začátek považováno nastoupení do traktoru na odvozním místě a za jeho konec odjezd z odvozního místa. Přejezd byl započat odjezdem z odvozního místa, pokud operátor ukládal náklad na skládku nebo nastoupením operátora do traktoru, pokud k ukládání nedošlo. Přejezd byl ukončen vystoupením operátora z traktoru na vývozním místě. Do kategorie ostatní byly vymezeny přestávky a ostatní činnosti, které se během pracovní směny vyskytly, jako například příprava, údržba a oprava stroje, přeprava na servisní místo při poruchách, apod., ale pro účely příspěvku nebyly dále hodnoceny. Veškeré činnosti byly hodnoceny na lokalitě mezi vývozním a odvozním místem (lokalita mezi pařezem a vývozním místem nebyla zahrnuta).

#### 3.2. Hodnocení fyzické zátěže pomocí měření srdeční frekvence

Měření fyzické zátěže bylo provedeno pomocí sporttesteru Forerunner 110 HR od společnosti Garmin Ltd., jenž se skládá z náramku s monitorem a z bezdrátového snímače srdečního tepu, který je upevněn na hrudním pásu. Sporttester vyhodnocuje fyzickou zátěž dle technologie společnosti Firstbeat Technologies Ltd., která se zaměřuje na hodnocení fyziologických funkcí během pracovního procesu a při sportu. Metoda odhadu výdeje

energie založena na měření srdeční frekvence je založena na vztahu mezi kardiorespiračními funkcemi a energetickým výdejem, přičemž využívá informace o rychlosti dýchání a kinetice spotřeby kyslíku, stejně jako informace o metabolismu těla.

Vzhledem k množství faktorů, které mohou ovlivnit hodnocení fyzické zátěže, bylo před vlastním měřením nutné zjistit o každém operátorovi množství informací. K tomuto účelu byl sestaven dotazník, pomocí kterého byly zjišťovány následující údaje: jméno, věk, délka praxe při práci traktoristy, nemoci akutního i chronického charakteru, případná medikace a zdravotní komplikace v minulosti, které mohou ovlivnit výkon práce. Po vyplnění dotazníku byly informace v něm uvedené s každým operátorem konzultovány s cílem zaměřit se zejména na problematiku zdravotního stavu, u které se vzhledem ke složitosti popisu problému předpokládá největší míra nepřesností. Vzhledem k citlivosti osobních údajů probíhal rozhovor pouze s operátorem, bez přítomnosti dalších osob. Zjištěné údaje o zdravotním stavu byly konzultovány s lékařem, pokud mohlo dojít k negativnímu ovlivnění měření fyzické zátěže, byli operátoři z dalšího měření vyloučeni.

Operátorovi bylo po vyplnění dotazníku přiděleno číslo, pod kterým byly zjištěné údaje o jeho osobě hodnoceny. Z důvodů citlivosti dat, s cílem ochrany osobních údajů nebylo nadále se jménem operátora pracováno.

Jako kontrolní měření byl u operátorů měřen stupeň fyzické zátěže v klidovém stavu po dobu jedné minuty. U každého z operátorů bylo provedeno toto měření před plánovaným denním pracovním výkonem (před pracovní směnou) a poté po skončení pracovní směny v každém z pozorovaných pracovních dnů. V obou případech těmto měřením nepředcházela žádná fyzická zátěž, operátor po dobu minimálně pěti minut před měřením nehybně seděl.

Dále byla měřena fyzická zátěž během jedné minuty volné chůze. Směr chůze byl volen co možná nejpřímější, bez prudkých změn směru, v pracovním oděvu. Stejně jako měření předcházející, bylo u každého z operátorů provedeno toto měření před plánovaným denním pracovním výkonem (před pracovní směnou) a poté po pracovní směně v každém z pozorovaných pracovních dnů, přičemž tomuto měření předcházelo měření v klidu.

Při výkonu jednotlivých pracovních úseků bylo u každého operátora provedeno minimálně deset, maximálně dvanáct měření každého z nich a to v délce minimálně jedné minuty a maximálně tří minut, přičemž výsledná hodnota byla poté přepočtem vyjádřena na dobu jedné minuty. V jednom pracovním dnu u každého z jednotlivých úseků neproběhlo více než pět měření u jednoho operátora. Každý úsek pracovní operace byl měřen u všech operátorů, výjimku tvořilo uložení nákladu na skládku, které prováděla jen polovina z nich.

### **3.3. Hodnocení fyzické zátěže pomocí dotazníkového šetření**

Pomocí dotazníkového šetření bylo zjišťováno subjektivní porovnání míry fyzické zátěže u předem definovaných úseků pracovní operace soustředování mezi sebou (mimo kategorii ostatních činností v pracovní směně). Operátoři byli požádáni, aby hodnotili fyzickou zátěž během práce pomocí níže uvedené stupnice:

- |                               |                                |
|-------------------------------|--------------------------------|
| 0 – žádná fyzická zátěž       | 3 – střední fyzická zátěž      |
| 1 – velmi mírná fyzická zátěž | 4 – vysoká fyzická zátěž       |
| 2 – mírná fyzická zátěž       | 5 – velmi vysoká fyzická zátěž |

Dotazníky byly operátorům rozdány v každém z pracovních dnů po práci, výsledné hodnoty byly poté aritmeticky zprůměrovány. Z důvodů získání objektivních dat bylo zvoleno anonymní dotazování.

#### 4. VÝSLEDKY A DISKUZE

Při hodnocení fyzické zátěže pomocí měření srdeční frekvence s použitím sporttesteru využívajícího technologii společnosti Firstbeat Technologies Ltd., byl mezi jednotlivými úseky pracovní operace pozorován značný rozdíl v aritmetickém průměru hodnot. Největší fyzické zatížení pro pracovníka představovalo sestavení nákladu – 23,2 kJ/min., kde se také nacházely největší odchylky hodnot od jejich aritmetického průměru. Dále to byla jízda s nákladem s průměrnou hodnotou fyzické zátěže – 18,4 kJ/min. Naopak nejnižší zátěž byla pozorována při přejezdu – 15,9 kJ/min. a uložení nákladu na skládku – 16,1 kJ/min. Bližší údaje týkající se počtu měřených hodnot ( $n$ ), jejich aritmetického průměru ( $\mu$ ), směrodatné odchylky ( $\sigma$ ) a minimálních (min.) a maximálních (max.) hodnot jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3 – Fyzická zátěž hodnocená pomocí měření srdeční frekvence  
Table 3 – Physical load assessed by measuring heart rate

Úsek pracovní operace	Fyzická zátěž při produktivním pracovním čase (kJ/min.)				
	n	$\mu$	$\sigma$	min.	max.
Úsek pracovní operace					
Jízda s nákladem	182	23,2	5,5	12,0	44,1
Odvoz nákladu	179	18,4	3,2	12,5	32,8
Složení nákladu	168	16,7	3,8	13,7	29,1
Uložení nákladu na skládku	91	16,1	3,1	12,2	27,0
Přejezd	189	15,9	2,5	11,9	24,6

Získané hodnoty byly porovnány s legislativní úpravou v České republice, kde je stanoven nejvyšší minutový přípustný hygienický limit energetického výdeje při práci s celkovou fyzickou zátěží jednotně (na 34,5 kJ/min.). Na Slovensku je rozdílný u jednotlivých věkových skupin, přičemž nejnižší z nich je stanoven od 60 do 65 let věku operátora (28,7 kJ/min.). V tabulce 4 jsou uvedena měření překračující zmíněnou hodnotu a porovnána s legislativními limity.

Tabulka 4 – Sledovaný počet překročení jednotlivých legislativních limitů stanovených pro Českou republiku a pro Slovensko

Table 4 – The observed number of exceedances individual legislative limits established for the Czech Republic and Slovakia

Úsek pracovní operace	Maximální přípustný minutový energetický výdej (kJ/min.)				
	41,4	38,7	34,5	30,9	28,7
	<b>Počet případů překročení legislativních limitů (z celkového počtu měřených hodnot)</b>				
Sestavení nákladu	2	3	7	18	26
Jízda s nákladem	0	0	0	1	4
Složení nákladu	0	0	0	0	1
Uložení nákladu na skládku	0	0	0	0	2
Přejezd	0	0	0	0	0

Získané výsledky upozorňují na nutnost monitorování fyzické zátěže operátorů traktorů během soustředování dříví z důvodu ochrany zdraví a vyhovění legislativním limitům, které byly během šetření překročeny, přestože terénní měření probíhala v oblastech bez větších terénních překážek a se svažitostí max. 25 %. Lze předpokládat, že při práci s překážkami a ve vyšších nadmořských výškách bude docházet ještě k vyšší fyzické zátěži operátorů než té, která byla zjištěna.

Dále je nutné zohlednit skutečnost, že mohlo docházet k tzv. Hawthornovu efektu (Hawthorne Effect), kdy pracovníci pod vědomím účasti ve studii přizpůsobují své chování tomu, jakým způsobem o účelu studie uvažují (Berthelot et al., 2011). V našem případě tak mohlo docházet k chování snižující míru fyzické zátěže, která mimo měření pro účely studie mohla být vyšší. V neposlední řadě nelze vyloučit výkyvy v míře fyzické zátěže, zejména však krátkodobé, ke kterým dochází vlivem různorodosti pracovního procesu, pracovního prostředí a individuality operátorů.

Z důvodu nízkého počtu traktorů zahrnutých do měření a omezení počtu proměnných vstupujících do výsledků nebyl pro účely příspěvku primárně uvažován výrobce, model, rok výroby a výkon traktoru, jeho vybavení a různé typy nářadí, které byly v návaznosti na jednotlivé traktory použity, apod. Získané výsledky je vhodné vnímat jako zdroj výchozích informací, které by bylo vhodné prohloubit dalším výzkumem při zohlednění výše zmíněných skutečností, stejně jako faktorů, u nichž byl pozorován vliv na ergonomii pracovního místa a fyzickou zátěž. Těmi jsou například vibrace (Scarlett et al., 2007, Mellemet et al., 2013, Velmurugan et al., 2014), hluk (Desmet et al., 2003, Aybek et al., 2010, Bilski, 2013), konstrukce sedačky (Mehta, Tewari, 2000, Hostens et al., 2004, Mehta et al., 2008), rozložení ovládacích prvků v kabině (Kumar et al., 2009) nebo psychická zátěž (De Rivecourt et al., 2008).

U všech činností byl pozorován stejný trend výsledků během kontrolních měření, kdy byla naměřena nejmenší intenzita zatížení v klidu před a po práci, dále pak během volné



chůze před a po práci, přičemž hodnoty kontrolních měření ani v jednom případě nepřesáhly hodnoty naměřené při vlastní práci během přiblížování. Z těchto výsledků lze usuzovat, že neproběhla chybná měření z důvodu nefunkčnosti sporttesteru nebo jeho chybného použití (např. nepřilnutí bezdrátového snímače srdečního tepu upevněného na hrudním pásu ke kůži operátora) a že měření pomocí sporttesteru využívajícího technologii společnosti Firstbeat Technologies Ltd. je spolehlivé a vhodné pro daný účel.

Během dotazníkového šetření hodnotili operátoři jako nejvíce fyzicky namáhavé sestavení nákladu, jehož hodnota 4,1 nejlépe odpovídá stupni 4 – vysoká fyzická zátěž. Bližší výsledky uvádí tabulka 5.

Tabulka 5 – Hodnocení fyzické zátěže pomocí dotazníkového šetření u jednotlivých úseků pracovní operace

Table 5 – Evaluation of physical stress using a questionnaire survey for individual sections of the working operations

Úsek pracovní operace	Průměrná fyzická zátěž na stupnici 0 (žádná zátěž) až 5 (velmi vysoká zátěž)
Sestavení nákladu	4,1
Jízda s nákladem	3,8
Složení nákladu	3,5
Uložení nákladu na skládku	3,6
Přejezd	2,9

Při seřazení vybraných úseků pracovní operace soustředování dříví mezi sebou dle míry fyzické zátěže během práce od nejvíce po nejméně fyzicky náročnou vykázalo dotazníkové šetření stejné výsledky, jako hodnocení fyzické zátěže pomocí měření srdeční frekvence, mimo dvě operace – složení nákladu a jeho uložení na skládku. Při dotazníkovém šetření určili operátoři uložení nákladu na skládku jako více fyzicky zatěžující než složení nákladu, při hodnocení pomocí měření srdeční frekvence tomu bylo naopak. Z těchto výsledků lze usuzovat na relativně dobrou schopnost operátorů subjektivně porovnat míru fyzické zátěže u jednotlivých činností. Tuto skutečnost lze využít v dalším šetření, například při hodnocení rizik při práci a vytipování nejnáročnějších činností. Přestože je hodnocení fyzické zátěže pomocí dotazníků v porovnání s ostatními metodami nenáročné na provedení a potřebné vybavení, v praxi bylo operátory traktorů pozitivně přijímáno a ti mohou těžit ze sebehodnocení. Nedoporučuje se ji však pro vysoký počet možných nepřesností a chybějících informací o okamžitých hodnotách výdeje energie využívat jako metodu jedinou, ale využívat ji v kombinaci s hodnocením fyzické zátěže pomocí měření srdeční frekvence nebo jinou, výše zmíněnou metodou, s menším předpokládaným procentem chyb.

## 5. SEZNAM CITOVANÉ LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

- ACHTEN, J. & JEUKENDRUP, A. E. 2003. Heart rate monitoring. *Sports medicine*, 33, 517-538.
- AYBEK, A., KAMER, H. A. & ARSLAN, S. 2010. Personal noise exposures of operators of agricultural tractors. *Appl Ergon*, 41, 274-81.
- BALOGH, I., ØRBÆK, P., OHLSSON, K., NORDANDER, C., UNGE, J., WINKEL, J., HANSSON, G.-Å. & GROUP, M. S. N. S. 2004. Self-assessed and directly measured occupational physical activities — influence of musculoskeletal complaints, age and gender. *Applied ergonomics*, 35, 49-56.
- BARTŮŇKOVÁ, S. 1996. *Praktická cvičení z fyziologie pohybové zátěže*, Praha, Karolinum.
- BERTHELOT, J.-M., LE GOFF, B. & MAUGARS, Y. 2011. The Hawthorne effect: stronger than the placebo effect? *Joint Bone Spine*, 78, 335-336.
- BILSKI, B. 2013. Audible and infrasonic noise levels in the cabins of modern agricultural tractors—does the risk of adverse, exposure-dependent effects still exist? *Int J Occup Med Environ Health*, 26, 488-93.
- DE RIVECOURT, M., KUPERUS, M., POST, W. & MULDER, L. 2008. Cardiovascular and eye activity measures as indices for momentary changes in mental effort during simulated flight. *Ergonomics*, 51, 1295-1319.
- DESMET, W., PLUYMERS, B. & SAS, P. 2003. Vibro-acoustic analysis procedures for the evaluation of the sound insulation characteristics of agricultural machinery cabins. *Journal of Sound and Vibration*, 266, 407-441.
- FIRSTBEAT-TECHNOLOGIES. 2007. Energy Expenditure Estimation Method Based on Heart Rate Measurement. Available: <https://www.firstbeat.com/science-and-physiology/> [Accessed 2012].
- HASKELL, W. L. 2012. Physical activity by self-report: a brief history and future issues. *J Phys Act Health*, 9, S5-S10.
- HOLTER, N. J. 1961. New Method for Heart Studies Continuous electrocardiography of active subjects over long periods is now practical. *Science*, 134, 1214-1220.
- HOSTENS, I., DEPREEZ, K. & RAMON, H. 2004. An improved design of air suspension for seats of mobile agricultural machines. *Journal of Sound and Vibration*, 276, 141-156.
- KOLUS, A., DUBE, P. A., IMBEAU, D., LABIB, R. & DUBEAU, D. 2014. Estimating oxygen consumption from heart rate using adaptive neuro-fuzzy inference system and analytical approaches. *Appl Ergon*, 45, 1475-83.
- KUMAR, A., BHASKAR, G. & SINGH, J. K. 2009. Assessment of controls layout of Indian tractors. *Appl Ergon*, 40, 91-102.
- LAUKKANEN, R. M. & VIRTANEN, P. K. 1998. Heart rate monitors: state of the art. *Journal of sports sciences*, 16, 3-7.
- MELANSON JR, E. L., FREEDSON, P. S. & BLAIR, S. 1996. Physical activity assessment: a review of methods. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 36, 385-396.
- MEHTA, C. & TEWARI, V. 2000. Seating discomfort for tractor operators – a critical review. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 25, 661-674.
- MEHTA, C. R., GITE, L. P., PHARADE, S. C., MAJUMDER, J. & PANDEY, M. M. 2008. Review of anthropometric considerations for tractor seat design. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38, 546-554.
- MELEMEZ, K., TUNAY, M. & EMIR, T. 2013. The role of seat suspension in whole-body vibration affecting skidding tractor operators. *J. Food Agric. Environ*, 11, 1211-1215.
- POPPEL, M. N. M., CHINAPAW, M. J. M., MOKKINK, L. B., MECHELEN, W. & TERWEE, C. B. 2012. Physical Activity Questionnaires for Adults. *Sports Medicine*, 40, 565-600.
- RODAHL, K., VOKAC, Z., FUGELLI, P., VAAGE, O. & MAEHLUM, S. 1974. Circulatory strain, estimated energy output and catecholamine excretion in Norwegian coastal fishermen. *Ergonomics*, 17, 585-602.
- SCARLETT, A. J., PRICE, J. S. & STAYNER, R. M. 2007. Whole-body vibration: Evaluation of emission and exposure levels arising from agricultural tractors. *Journal of Terramechanics*, 44, 65-73.
- SCHWEIGGER'S, C. 2007. Willem Einthoven (1860–1927): Father of Electrocardiography. *Cardiology journal*, 14, 316-317.
- SMOLANDER, J., JUUTI, T., KINNUNEN, M. L., LAINE, K., LOUHEVAARA, V., MANNIKKO, K. & RUS-

- KO, H. 2008. A new heart rate variability-based method for the estimation of oxygen consumption without individual laboratory calibration: application example on postal workers. *Appl Ergon*, 39, 325-31.
- SPURR, G., PRENTICE, A., MURGATROYD, P., GOLDBERG, G., REINA, J. & CHRISTMAN, N. 1988. Energy expenditure from minute-by-minute heart-rate recording: comparison with indirect calorimetry. *The American journal of clinical nutrition*, 48, 552-559.
- SYLVIA, L. G., BERNSTEIN, E. E., HUBBARD, J. L., KEATING, L. & ANDERSON, E. J. 2014. Practical guide to measuring physical activity. *J Acad Nutr Diet*, 114, 199-208.
- ŠEDIVÝ, V. 2006. Ergonomie a BOZP. Mendelova univerzita v Brně.
- TALIB, S., MULAY, P. & PATIL, A. 2005. Twenty-four hour ambulatory Holter monitoring and heart rate variability in healthy individuals. *Journal, Indian Academy of Clinical Medicine*, 6, 136-141.
- UENO, D. T., SEBASTIÃO, É., CORAZZA, D. I. & GOBBI, S. 2013. Methods for assessing physical activity: a systematic review focused on older adults. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, 15, 256-265.
- VELMURUGAN, P., KUMARASWAMIDHAS, L. A. & SANKARANARAYANASAMY, K. 2014. Whole Body Vibration Analysis for Drivers of Suspended Cabin Tractor Semitrailer. *Experimental Techniques*, 38, 47-53.
- 

Adresa autora:

Ing. et Ing. Zuzana Valeriánová

Ústav lesnické a dřevařské techniky

Lesnická a dřevařská fakulta

Mendelova univerzita v Brně

Zemědělská 3, 61300 Brno (Černá Pole)

Česká republika

e-mail: [xvaleria@node.mendelu.cz](mailto:xvaleria@node.mendelu.cz)

### **Determination of the physical stress of tractor operators during skidding**

#### **Summary**

Article deals with the physical stress of tractor operators during skidding in the Czech Republic and Slovakia. Physical activity was evaluated in pre-defined categories of activities using sporttester utilizing technology from Firstbeat Technologies Ltd., calculating physical stress on the relationship of heart rate and energy expenditure. Among them the preparation and transportation with a load were the most physically strenuous. Results measured by Sporttester were compared with self-assessment questionnaires, in which similar results were found when comparing the defined categories of activities between each other.



## KONŠTRUKCIA A UPLATNENIE NOVÉHO NÁKLADNÉHO AUTOMOBILU TATRA PHOENIX V LESOCH SR

Jozef O R L E J

**ORLEJ, J.: Construction and Practical Use of New Truck Tatra Phoenix 158 in Slovak Forests.** Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, 58/1 2016, 137 – 146.

The thesis is focused on evaluation of lorry Tatra Phoenix on-stream, which is used for timber haulage. In this thesis we were focusing on vehicles owned by Lesy SR. The thesis describes construction of lorry and its superstructure, which consist of crane and several trailers and semi-trailers. Specifically, we were focusing on superstructures which are assembled in OZLT Banská Bystrica. We described hydraulic cranes Essel, trailers Swan and ZLT auto. We looked closer at advantages and disadvantages of this model beside an older model T 815 Terno 1. We evaluated a consumption of vehicle Tatra, which are working in RSLT Vranov nad Topľou. The lowest consumption per 100km had Tatra Euro 5 with a value of 57,123 l.100 km<sup>-1</sup>. The following model is Tatra Phoenix T158 Euro 6. Lowest consumption per m<sup>3</sup> had Tatra 815 Euro 1, with a value of 1,403 l.m<sup>-3</sup>. Also you evaluate the health and safety in the haulage.

**Key words:** timber haulage, Tatra Phoenix, fuel consumption

### 1 ÚVOD

Odvoz dreva sa vykonáva prakticky len nákladnými automobilmi, ktoré sú špeciálne adaptované pre nakladanie, prepravu a skladanie dreva. V súčasnosti je na trhu mnoho výrobcov nákladných automobilov, ktoré sú vhodné aj pre použitie v lesnom hospodárstve. K významným výrobcom patria značky ako: Scania, Man, Daf, Mercedes-Benz, Iveco, Volvo, Renault, Kamaz a česká Tatra. Automobilky každoročne vyvíjajú a prichádzajú s novými inováciami pre svoje vozidlá. Pracujú na nových motoroch pri ktorých zvyšujú ich výkon a zároveň znižujú spotrebu PHM a taktiež škodlivých emisií. Na odvoz dreva nestačí samotný automobil, je potrebné namontovať nadstavbu, ktorá pozostáva z hydraulického nakladacieho žeriava, oplenových alebo plošinových klaníc a taktiež aj poloprívesov, prívesov a návesov. V súčasnosti je na trhu mnoho zahraničných a domácich firiem, ktoré sa zaoberajú montážou nadstavieb ako napr. R.CH. Ruskovce, Umikov CZ a mnoho iných.

Na trhu s drevom požiadavky po drevnej surovine stúpajú a takisto sa zvyšujú nároky na produktivitu procesu odvozu dreva. Úlohou práce bolo zhodnotiť Tatru Phoenix a nadstavby k nej adaptované, vyhodnotiť spotrebu PHM a porovnať s predošlým starším modelom T815 Terno1.

## 2 MATERIÁL A METÓDY

K vypracovaniu práce sme potrebovali informácie o vozidle Tatra Phoenix, ktoré sme získali prevažne z prospektov spoločnosti Tatra Trucks a.s. a internetových stránok. Navštívili sme Odštepňý závod lesnej techniky so sídlom v Banskej Bystrici, kde nám poskytli údaje o výkonoch odvezených objemov dreva pre rok 2015 a tiež technické údaje o nadstavbách, ktoré priamo montujú na nákladné automobily Tatra. Tiež sme navštívili Regionálne stredisko lesnej techniky vo Vranove nad Topľou, kde nám poskytli odvezené objemy pre rok 2015 a spotreby pohonných hmôt za rok 2015. Potrebovali sme tiež odbornú literatúru, ktorú sme našli v Slovenskej lesníckej a drevárskej knižnici vo Zvolene. Odborné rady a postrehy z praxe sme priamo získali od vodičov, ktorí pracujú s odvoznými súpravami prostredníctvom ankety alebo tiež osobnou komunikáciou.



Obr. 1 Tatra Phoenix Euro 6 s hydraulickým nakladacím žeriavom Essel 140Z  
Fig. 1 Tatra Phoenix Euro 6 with hydraulic crane Essel 140Z

## 3 VÝSLEDKY

Kapitola sa zameriava na charakteristiku nákladného automobilu Tatra Phoenix, hydraulických nakladacích žeriavov Essel, polopríviesov ZLT Auto Wild 16 a prívesov Svan. Zameriava sa aj na vyhodnocovanie spotreby PHM a množstvo odvezenej drevnej suroviny.

### 3.1 Tatra Phoenix

Modelový rad Phoenix bol vyvinutý v spolupráci s výrobcou nákladných automobilov DAF Trucks, ktorá je dcérskou spoločnosťou obchodnej spoločnosti Paccar. To má za následok použitie niektorých zdieľaných prvkov, ktoré nie sú v produkcii spoločnosti Tatra. V tomto prípade hovoríme o kabíne DAF a tiež použitom hnacom agre-

gáte Paccar MX. Najvýraznejšími rysmi motora je použitie vstrekovania Common Rail, integrované priamo do bloku motora a turbodúchadlo s premenlivou geometriou lopatiek, čo zásadným spôsobom zlepšuje odozvu motora pri rôznych otáčkach a znižuje spotrebu paliva a produkciu škodlivých emisií (Tatra Phoenix Návod k obsluze, 2015). Vzhľadom k nástupu a povinnosti dodržiavať emisné normy Euro 6 pre členské štáty EÚ bola na prelome roku 2014 a 2015 predstavená faceliftovaná modelová rada Phoenix s motormi Paccar MX-11 a MX-13 (Molva, 2015). Na hnací agregát Paccar MX nadväzuje prevodovka, v štandardnej výbave manuálna šestnásťstupňová ZF 16S 2530. Na želanie je dodávaná automatizovaná prevodovka ZF 16S 2630 AS-Tronic, taktiež šestnásťstupňová alebo je možné zvoliť automatizovanú šestnásťstupňovú prevodovku Allison 4500. Prevodovky ZF sa dodávajú v kombinácii s jednokotúčovou spojkou ZF Sachs a prevodovka Allison je dodávaná vrátane hydrodynamického meniča. V hnacom trakte je tiež dvojstupňová prídavná prevodovka Tatra 2.30 TRK.

Jedným z charakteristických konštrukčných prvkov vozidiel Tatra sú výkyvné polonápravy, ktoré nenájdeme u iných vozidlách, než značky Tatra. Pre istý a bezpečný pohyb v teréne je vozidlo vybavené uzávierkami, všetkými osovými i medzinápravovým diferenciálom (Tatra Phoenix Euro 6, 2015) Všetky nápravy vozidla sú poháňané a vybavené uzávierkou pre prejazd v teréne. Uprostred nápravy je skriňa, kde sú uložené dve tanierové kolesá, pre každú polonápravu jedno. Diferenciál je umiestnený mimo nápravy v tzv. centrálnej nosnej rúre. Diferenciál je tzv. korunkového, resp. valcového typu, na rozdiel od bežného kuželovitého diferenciálu. (Vávra, 2013). Vzduchová sústava na podvozku je riadená pomocou elektronického managementu, ktorý optimalizuje spotrebu vzduchu a prevádzku kompresora a prispieva k zníženiu spotreby paliva (Tatra Phoenix Euro 6, 2015).

### 3.2 Hydraulický nakladací žeriav

Hydraulické nakladacie žeriavy sú najviac používanými nakladacími zariadeniami, ktorými je adaptovaná väčšina automobilov pre odvoz dlhého, stredne dlhého aj krátkeho dreva (Lukáč, 1999). Hydraulický žeriav je vybavený čeľuťami, ktoré podľa nosnosti uchopia jeden alebo niekoľko výrezov a uložia ich na nákladný automobil. Rovnakým spôsobom sa náklad aj skladá. Hydraulický žeriav obsluhuje vodič odvozného prostriedku. Jeden pracovník drevo nakladá, odváža a aj skladá. Práca je veľmi produktívna a šetrí sily pracovníka, ktorý pri tejto technológii vôbec nepríde do priameho styku s drevom. To má veľký význam pre bezpečnosť a hygienu práce. Zvyšujú sa však nároky na zručnosť vodiča, ale aj na jeho schopnosti, keďže ide o obsluhu zložitého stroja (Zloch et. al, 1973).

Základom hydraulického žeriavu je hydraulické rameno, ktoré sa otáča na zvislom stĺpe. Stavebná výška hydraulického žeriava je od 2 500-2 800 mm, záleží od prevedenia. Montuje sa za kabínu nákladného automobilu pri polopríviesových a návesových súpravách, pri valníkoch za kabínou alebo na konci ložnej plochy. Transportná pozícia môže byť nad kabínou typ „L“ alebo typ „Z“, čo je ekonomická transportná pozícia, ktorá ne-

zaberá príliš veľa priestoru z ložnej plochy vozidla (Klvač, 2012). Hydraulické rameno je dvojdielne a jeho posledný diel je výsuvný. Na konci ramena je drapák ovládaný hydraulicky jedným pracovníkom z vyvýšeného sedadla. Základným vybavením hydraulického žeriavu je drapák. Otáčanie drapáku oproti vlastnému na ramene hydraulického žeriavu umožňuje kĺbový záves, rotátor, v rozmedzí asi 200 až 300°, poprípade s nekonečným otáčaním na obe strany (Petříček, 1983). Dnes je na trhu mnoho dostupných modelov hydraulických žeriavov. Najdôležitejšími charakteristikami hydraulických žeriavov, ktoré treba zvažovať pri kúpe sú: presah, zdvihový moment a uhol otočenia. (Klvač, 2012). K popredným výrobcom hydraulických žeriavov patria : Loglift, Epsilon Palfinger, Penz, V-Kran, Ostroj a Essel.

### **3.3 Prípojné vozidlá**

Prípojné vozidlá sú cestné nemotorové vozidlá určené k preprave nákladu. Pripájajú sa k nemotorovým vozidlám. Podľa druhu prípojných vozidiel rozoznávame prívesové, poloprívesové, návesové a kombinované súpravy. Dlhé drevo sa odváža na poloprívesových súpravách a návesových súpravách, výrezy a rovnané drevo na prívesových a návesových súpravách.

#### **3.3.1 Návesy**

Náves je samostatne prípojné vozidlo. Predná časť sa ukladá na sedlo (točnicu) alebo na návesný čap ťahača návesov, na ktorý sa prenáša podstatná časť hmotnosti návesu. (Petříček, 1984).

#### **3.3.2 Poloprívesy**

Polopríves je prípojné vozidlo slúžiace k doprave dlhého materiálu, ktoré však nie je schopné samostatne prepravovať náklad. Dopravovaný dlhý materiál je jednou časťou uložený na ťažnom prostriedku a druhou časťou je na poloprívese. Pred jazdou naprázdno sa polopríves pripája pomocou oje k ťažnému vozidlu alebo sa na ňom prepravuje. Pri odvoze dreva sa používajú jednonápravové a dvojnápravové poloprívesy (Petříček, 1984).

##### **3.3.2.1 ZLT Auto Wild 16- dvojnápravový polopríves**

Dvojnápravový polopríves Wild 16 je určený pre odvoz dlhého dreva alebo výrezov s minimálnou dĺžkou 6m. Je určené pre spojenie do súpravy s ťažným vozidlom vybaveným pre nakladanie hydraulickým žeriavom. Dvojnápravový príves s výsuvnou ojou s užitočnou hmotnosťou 14t zamedzuje prekročenie užitočnej hmotnosti jedno nápravových prívesov pri zaistení vyťaženia súpravy a využitia výkonu motora. Polopríves je určený pre spojenie do súpravy automobilu vyššej hmotnostnej kategórie, upravenými pre odvoz dlhého dreva alebo iných samonosných materiálov. Celková hmotnosť prívesu WILD 16 nesmie presiahnuť 18t. Celkový rozmer súpravy nesmie presiahnuť dĺžku 18m.



Náklad musí byť naložený tak, aby zhruba 1/3 jeho dĺžky presahovala cez oplien poloprívěsu dozadu. Týmto naložením sa dosiahne požadované zaťaženie ťažného vozidla a tiež oboch náprav poloprívěsu.

Tabuľka 1 Technické údaje poloprívěsu ZLT Auto Wild 16 (Návod k obsluze Prívěs Wild 16)  
Table 1 Technical parameters of the ZLT Auto Wild semitrailer

Technické údaje	
Dĺžka	5 300 – 10 300 mm
Šírka	2 550 mm
Výška	3 510
Výška ložnej plochy (nezaťažený)	1 550
Výška ložnej plochy (zaťažený)	1 200 mm
Svetlá výška	400 mm
Celková hmotnosť	18 000 kg
Pohotovostná hmotnosť	3 980 kg
Užitočná hmotnosť	14 020 kg
Rázvor náprav	1 320 mm
Rozchod kolies	2 010 mm
Nápravy	BPW 120 kN
Brzdy	bubnové
Priemer brzdových bubnov	420 mm
Typ brzdového obloženia	TEXTAR
Šírka obloženia	200 mm
Pneumatiky	18 R–22,5 20 PR NR 15 (NR 27)
Rozmer disku kolesa	22,5×14,00
Hustenie	650 kPa
Brzdová sústava	650 kPa
Napätie elektrickej inštalácie	24 V
Najvyššia povolená rýchlosť	80 km. hod <sup>-1</sup>

### 3.3.3 Prívěsy

Prívěs je prípojné vozidlo schopné samostatne prepravovať náklad. Sú jedno-nápravové a viacnápravové. Prívěsy slúžiace na odvoz dreva sú opatrené oplienmi. Prívěsy určené pre nákladné automobily sú spravidla, dvojnápravové alebo trojnápravové, masívnej konštrukcie, s lepším odpružením a účinnejšou brzdovou sústavou, čo vyplýva z vyššej rýchlosti jazdy a zaťaženia prívěsu (Petříček, 1984).

### 3.4 Porovnanie Tatry T158 a T815

Nákladný automobil Tatra T815 bol uvedený na trh v roku 1983. Od tejto doby sa Tatra 815 stala dominantným vozidlom pri odvoze dreva (Klvač, 2012). Modelová rada T 815 bola pre vývoj dôležitá kvôli tomu, že v rámci jej výroby došlo k rozhodnutiu o ďalšom vývoji vzduchom chladeného vidlicového osemvalca s preplňovaním a medzichladičom stlačeného vzduchu, smerom k emisným normám Euro 0 až Euro 5. Z maximálneho výkonu 177 kW a točivého momentu 850 N.m sa motor s minimálnymi konštrukčnými zásahmi dostal až na 325 kW maximálneho výkonu a 2100 Nm točivého momentu. Tatra 815 sa vyrábala v rôznych modifikáciách od roku 1983 do roku 2011. Bola poháňaná vlastným vzduchom chladeným motorom ale v ponuke boli aj kvapalinou chladené motory značiek Deutz, Cummins a Caterpillar. Tatra T158 Phoenix prišla na trh v roku 2011. Je dodávaná výlučne s kvapalinou chladenými motormi značky Paccar (www.tatra.cz).

Tabuľka 2 Prehľad rozdielov T 158 a T 815 (Tatra motory)

Table 2 Review of differences of T 158 and T 815

	Tatra T 158			Tatra T 815 TERRN°1	
Motor	Paccar MX			Tatra, Deutz, Cummins a Caterpillar	
Počet valcov	6			8	
Prevodovka	ZF	ZF AS-Tronic	Allison	Tatra	
Počet stupňov	16			14	10
Najväčšia prípustná hmotnosť vozidla	30 000 kg			28 500 kg	
Najväčšia príp. hmotnosť naloženej jazdnej súpravy	54 000 kg			55 500 kg	
Max. stúpavosť pri 100%	30 000 kg			28 500 kg	
Kabína	Daf			Tatra	

### 3.5 Vyhodnotenie a porovnanie výsledkov

Potrebné podklady pre zisťovanie spotreby PHM a objemov odvezenej drevnej suroviny sme zistili od RSLT Vranov nad Topľou. Výsledky zaznamenávajú obdobie kalendárneho roka 2015. Tatra 815, Euro1–5 vrátane T 158 Euro 5 boli pozorované počas celých 12 mesiacov. Jedno vozidlo T158 Euro 6 začalo pracovať od 7. mesiaca a výsledky sú pozorované na 6 mesiacoch. Dve vozidlá T158 Euro 6 sa zaviedli do vozového parku RSLT Vranov nad Topľou až v 9. mesiaci a boli pozorované len 4 mesiace. Najnižšiu spotrebu PHM za sledované obdobie na 100 km mala Tatra 815 Euro 5, spotreba dosahovala hodnotu 57,123 l.100 km<sup>-1</sup>, nasledovala Tatra Phoenix Euro 6, s hodnotou 57,743 l.100 km<sup>-1</sup>. Najnižšiu spotrebu na odvezený 1 m<sup>3</sup> drevnej suroviny mala Tatra 815 Euro 1 s hodnotou 1,403 l.m<sup>-3</sup>. Nasledovala Tatra Phoenix Euro 5 s hodnotou 1,532 l.m<sup>-3</sup> (tabuľka 3). Podobné výsledky udáva Klvač, 2013, ktoré sú uvedené v tabuľke č. 4.

Tabuľka 3 Vyhodnotené údaje odvozných súprav (RSLT Vranov nad Topľou)  
 Table 3 Review of data about the timber trucks (RSLT Vranov nad Topľou)

Typ vozidla	Počet vozidiel [ks]	Priemerná spotreba pre jedno vozidlo [l]	Priemerný počet najazdených km pre jedno vozidlo [km]	Spotreba na 1 km [l]	Spotreba na 100 km [l]	Priemer objemu prepraveného dreva [m <sup>3</sup> ]	Spotreba na 1 m <sup>3</sup> [l]
T815	9	23 731,85	29 731,10	0,798	79,822	15 426,66	1,538
T815 Euro 1	5	27 659,48	35 263,00	0,784	78,438	19 713,86	1,403
T815 Euro2	4	28 888,07	47 041,00	0,614	61,410	14 519,83	1,990
T815 Euro 4	4	30 519,50	49 721,75	0,614	61,381	18 375,69	1,661
T815 Euro 5	2	35 896,28	62 840,50	0,571	57,123	16 376,22	2,192
T158 Euro 5	14	34 517,93	54 873,81	0,629	62,904	22 524,27	1,532
T158 Euro 6	3	11 105,24	19 232,33	0,577	57,743	4 886,76	2,273

Tabuľka 4 Hodnoty spotreby PHM podľa Klvača (2013)  
 Table 4 Fuel consumption rates (Klvač, 2013)

Vozidlo	Priemerná spotreba na 1m <sup>3</sup> [l]	Priemerná spotreba na 100 km [l]
Iveco	2,26	66,74
Tatra	1,93	72,25
Mercedes-Benz	2,71	58,31

V týchto meraniach spotreby značku Iveco reprezentovali modely: Astra, MP260 a Stralis. Tatra bola zastúpená len modelom 815. Pri automobiloch Mercedes-Benz boli zastúpené modely 3344, 3341, 2644 a 3348 (Klvač et. al., 2013).

### 3.6 Ochrana zdravia a bezpečnosti práce pri odvoze dreva

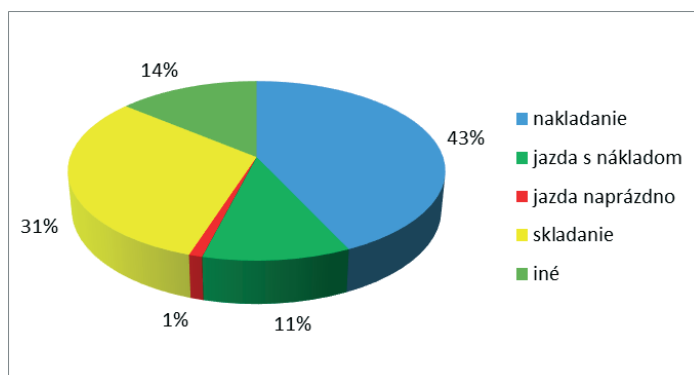
Pre prácu v odvoze dreva musia mať pracovníci predpísanú kvalifikáciu, musia byť zdravotne spôsobilí pre túto činnosť. Sú povinný podrobiť sa zdravotnej prehliadke v určených intervaloch, podrobiť sa vstupnému a potom periodickému školeniu. Pri práci sú povinný používať predpísané OOPP. Odvozná súprava musí byť v prevádzkyschopnom stave odpovedajúcom technickým podmienkam výrobcu (Lukáč, 1999). Odvozný prostriedok určený na nakladanie a vykladanie dreva musí byť vybavený, ak ide o dlhé drevo, klanicovými oplenní schváleného typu vrátane ich nadstavcov, upínacím zariadením nákladu, rebríkom alebo pevne zabudovanými stúpačkami na bezpečný výstup a zostup z plošiny odvozného prostriedku a dostatočným počtom podkladacích klinov na jeho zabezpečenie proti samovoľnému pohybu (Vyhláška 46/ 2010 Z.z)

### 3.6.1 Analýza pracovných úrazov

V ťažbovo-výrobnom procese bolo za obdobie rokov 2000 – 2007 v subjekte Lesy SR, š.p. registrovaných celkom 1256 pracovných úrazov. Analýzou frekvencie úrazov v rámci fáz a pracovných činností bola ako najrizikovejšia vyhodnotená fáza ťažby dreva s percentuálnym podielom 35 % zo všetkých registrovaných úrazov. Vysoký výskyt pracovných úrazov bol pri sústreďovaní dreva (18 %) a pri práci na MES (14 %).

### 3.6.2 Pracovné úrazy pri odvoze dreva

Nakladanie a skladanie sú najrizikovejšími operáciami v odvoze dreva (obr. 2). Spolu sa pri týchto operáciách stalo 74 % zo všetkých pracovných úrazov (Suchomel, 2008). Drevo je vo svojej podstate nevýhodný materiál pre odvoz, pretože je krivé, zbiehavé, dlhé, objemné a ťažké. (Lukáč, 1999).



Obr. 2 Rozdelenie úrazov pri rôznych činnostiach odvozu dreva  
Fig. 2 Distribution of the work accidents during timber transport

## 4 ZÁVER

Odvoz dreva je technicky, technologicky a tiež aj ekonomicky najlepšie vyriešená fáza technickej výroby dreva. Význam odvozných súprav v Slovenskej republike je neustále na vzostupe. Veľkou výhodou je schopnosť nakladania a skladania drevnej suroviny pomocou hydraulického nakladacieho žeriava s drapákom, pokiaľ je ním vozidlo vybavené. Neoddeliteľnou a veľmi dôležitou súčasťou odvozných súprav je nadstavba, ktorá má vplyv na celkovú výkonnosť i ekonomickú efektívnosť odvozných súprav. V tejto práci sme sa hlavne zamerali na odvozné súpravy typu Tatra Phoenix T158, hydraulické žeriavy Essel, oplénové poloprívesy ZLT Auto a klanicové prívesy Svan. Zároveň sme vyhodnotili spotreby PHM a objemy odvezeného dreva za rok 2015. Najnižšiu spotrebu na 100km mala Tatra T815 Euro 5 s hodnotou 57,123 l.100 km<sup>-1</sup>. Nasledovala najnovšia

Tatra Phoenix T158 Euro 6 a priemerne odpracovala len necelé 4 mesiace v roku 2015. Najnižšiu spotrebu na 1 m<sup>3</sup> drevnej suroviny dosiahla stará Tatra 815 Euro 1, s hodnotou 1,403 l.m<sup>-3</sup>. Nasledovala Tatra Phoenix T158 Euro 5. Hodnota spotreby dosiahla 1,532 l.m<sup>-3</sup>. RSLT Vranov nad Topľou disponuje niekoľkými Tatrami T158 Univerzal, ktoré sa v praxi celkovo neosvedčili ako univerzál v pravom slova zmysle. Dôvodov je niekoľko. Významným faktorom je hmotnosť, ktorá je vyššia oproti bežnej odvoznej súprave Tatra T158, z dôvodu dlhšej dĺžky ťažného vozidla. Takisto hmotnosť zvyšuje aj oplénová plošina, ktorá váži okolo 2 000 kg a to značne znižuje objem prepraveného dreva. Ďalšou nevýhodou je časová náročnosť prestavby, ktorá môže trvať až 5 hodín. To znevýhodňuje ekonomickú efektívnosť a vozidlo má zbytočné prestoje. K Tatre Phoenix Univerzal sa najčastejšie montuje HR Essel 140Z. Výhodou je jej pomerné nižšia hmotnosť oproti silnejším žeriavom ale na druhej strane je nedostatočná, má krátky dosah pre nakladanie výrezov na príves Svan, z dôvodu umiestnenia za kabínou vozidla. Preto je potrebné príves odopínať a nakladať ho z boku ťažným vozidlom. Ďalšou nevýhodou sú časté opravy HŽ Essel. Medzi výhody Tatre Phoenix patrí kabína, ktorá je priestraná a pohodlná a vodičovi poskytuje komfort pri každodennej práci.

Na záver môžeme skonštatovať, že Tatra Phoenix v prevádzke RSLT Vranov nad Topľou za sledované obdobie dosahuje vyššiu spotrebu PHM ako predchádzajúci model 815 Termol. Rozdiel činí 0,07 l.km<sup>-1</sup>.

### Použitá literatúra

1. LUKÁČ, T. 1999. *Lesné dopravníctvo*. 2. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 1999. 228 s. ISBN 80-228-0857-1
2. KLVAČ, R. 2012. *Round wood haulage*, disertation thesis. Brno : Mendel univerzity, 2012.
3. KLVAČ, Radomír, et al. Fuel Consumption in Timber Haulage. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2013, 34.2: 229-240.
4. MOLVA, M. 2015. *Návrh nosiče výměnných nástaveb za agrotahač 6 x 6*. diplomová práca, Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2015. 83 s
5. PETŘÍČEK, V. a kol. 1984. *Mechanizační prostředky v lesnictví*. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1984. 288 s.
6. SUCHOMEL, J. a kol. 2008. *Analýza pracovných úrazov v Lesoch SR, š.p.* 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2008. 136 s. ISBN 978-80-228-1979-4
7. VÁVRA, R. 2013. *Nápravy moderních nákladních automobilu*. Bakalárska práca, Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2013. 42s.
8. ZLOCH, S. a kol. 1973. *Lesná ťažba*. 1. vyd. Bratislava: Príroda, 1973. 429s.
9. TATRA PHOENIX, NÁVOD K OBSLUZE, Tatra Trucks a.s., 2015
10. TATRA PHOENIX EURO 6, Tatra Trucks a.s., 2015
10. Vyhláška č. 46/ 2010 Z.z. z 29. januára 2010 ktorou sa ustanovujú podrobnosti na zaistenie bezpečnosti a ochrany zdravia pri lesnej práci a podrobnosti o odbornej spôsobilosti na výkon niektorých pracovných činností a na obsluhu niektorých technických zariadení
11. Tatra motory: <http://www.tatra.cz/proc-tatru/technicka-koncepce-tatra/motory/>

## **Konštrukcia a uplatnenie nového nákladného automobilu Tatra Phoenix v lesoch SR**

### **Abstrakt**

Práca je zameraná na zhodnotenie nákladného automobilu na odvoz dreva Tatra Phoenix v prevádzke. V tejto práci sme sa zamerali na vozidlá, ktoré sú vo vlastníctve Lesov SR, š.p. Práca opisuje konštrukciu nákladného automobilu, ale aj jeho nadstavby, ktorá pozostáva z hydraulického žeriava a rôznych opleňových nadstavieb, návesov, príviesov a polopríviesov. Konkrétne sme sa zamerali na nadstavby, ktoré sa montujú na Odštepnom závode lesnej techniky v Banskej Bystrici. Popísali sme hydraulické žeriavy Essel, príviesy Svan a polopríviesy ZLT auto. Zamerali sme sa aj na výhody a nevýhody oproti predchádzajúcemu, staršiemu modelu T 815 Terrno1. Vyhodnotili sme spotrebu odvozných súprav Tatra, ktoré pracujú na RSLT Vranov nad Topľou. Najnižšiu spotrebu na 100 km mala Tatra T815 Euro 5 s hodnotou 57,123 l.100 km<sup>-1</sup>. Nasledovala najnovšia Tatra Phoenix T158 Euro 6. Najnižšiu spotrebu na 1 m<sup>3</sup> drevnej suroviny dosiahla stará Tatra 815 Euro 1, s hodnotou 1,403 l.m<sup>-3</sup>. Nasledovala Tatra Phoenix T158 Euro 5. Hodnota spotreby dosiahla 1,532 l.m<sup>-3</sup> Tiež sme zhodnotili ochranu zdravia a bezpečnosť pri odvoze dreva.

**Kľúčové slová:** odvoz dreva, Tatra Phoenix, spotreba PHM

## VPLYV SPEKTRÁLNEHO ROZPÄTIA HYPER-SPEKTRÁLNYCH ZÁZNAMOV NA SPRÁVNOSŤ KLASIFIKÁCIE DRUHOVÉHO ZLOŽENIA DREVÍN

Šimon S A L O Ň, Julián T O M A Š T I K

**Saloň Š., Tomašík J.: Vplyv spektrálneho rozpätia hyper-spektrálnych záznamov na správnosť klasifikácie druhového zloženia drevín.** Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, 58/1 2016, 147 – 162.

### ABSTRAKT

Práca sa venuje vplyvu vybraných rozpätí elektromagnetického žiarenia na výslednú správnosť spektrálnej klasifikácie obrazu so zameraním sa na určovanie druhového drevinového zloženia. Spektrálna klasifikácia obrazu bola vykonaná v špecializovanom softvéri ENVI 5.1 na podklade hyperspektrálnych materiálov z roku 2006 získaných prostredníctvom hyperspektrálneho senzora AISA Eagle. Materiál poskytuje dáta zachytávajúce elektromagnetické žiarenie v rozsahu 400 – 1000 nanometrov pri celkovom počte 130 snímaných spektrálnych kanálov so spektrálnym rozlíšením 4.32 nm a pri geometrickom rozlíšení obrazového prvku 0.6 m. V záujmovom území bolo lokalizovaných 6 druhov drevín (*Picea abies* L., *Pinus sylvestris* L., *Tilia* sp., *Carpinus betulus* L., *Quercus* sp., *Fagus sylvatica* L.) s dostatočným plošným zastúpením. Spektrálna klasifikácia obrazu bola vykonaná pomocou algoritmov „spectral angle mapper“ a „Gaussian maximum likelihood“ pre rozpätia elektromagnetického žiarenia 420 – 690, 500 – 800, 690 – 800 a 750 – 1000 nm. Rozpätia boli zvolené na základe posúdenia spektrálnych profilov jednotlivých druhov drevín a ich výrazných zmien v rámci dostupného spektra. Výsledky spektrálnych klasifikácií ponúkajú zaujímavý zdroj informácií pre aplikácie GIS v lesníctve. Preto je potrebné analyzovať ich informačný potenciál a možnosti využitia pri poznaní celkových správnostiach klasifikácií.

**Kľúčové slová:** hyperspektrálne záznamy, AISA, lesníctvo, GIS

### 1 ÚVOD A CIELE

Lesnícke mapovanie sa vzťahuje na plochu o výmere 2.006 mil. hektárov lesných pozemkov Slovenska, čo predstavuje 41 % podiel z celkovej výmery štátu. Úlohou mapovania lesov je zabezpečiť spoľahlivé polohopisné a výškopisné podklady pre vyhotovenie lesníckych máp. Pod lesnícke mapovanie spadá aj oblasť zisťovania stavu lesa. Nachádzame sa v dobe, ktorá sa vyznačuje maximálnou racionalizáciou a zefektívňovaním prác prostredníctvom neustále zvyšujúcej sa presnosti a rýchlosti technológii, ako aj ich metód zameraných na získavanie a spracovanie dát pri čo najvyššom stupni automatizácie. Cieľom celého tohto snaženia je dosiahnuť čo najlepšiu ekonomickú efektívnosť pri dostupných riešeniach a možnostiach v závislosti od znižujúceho sa času na zber, spracovanie, analyzovanie a vyhodnocovanie už spomínaných dát. Práve tento dôvod je hybnou silou pri hľadaní riešení v aplikáciách rôznych technológii v rámci jednotlivých výrobných od-

vetviach. Výnimkou nie je ani lesníctvo, kde je snaha za pomoci digitálnej fotogrametrie, laserového scanu a DPZ zabezpečiť čo najpresnejšie a najspoľahlivejšie dáta. Za pomoci týchto dát je možné rýchlo a efektívne odvodzovať vybrané porastové charakteristiky pre jednotlivé jednotky priestorového rozdelenia lesa, avšak zatiaľ na úkor požadovanej presnosti a správnosti. Aj napriek tomu však tieto technológie poskytujú veľkú škálu možností ich využitia, ktoré jednoznačne zefektívňujú fungovanie lesného hospodárstva. Príspevok je venovaný využiteľnosti a aplikácii hyperspektrálnych záznamov získaných senzorom AISA Eagle pri určovaní druhov drevín.

Príspevok si kladie za úlohu riešenie dvoch špecifických otázok:

- a) či má použitie rôzneho vybraného spektrálneho rozpätia výrazný vplyv na správnosť spektrálnej obrazovej klasifikácie,
- b) ktoré vybrané spektrálne rozpätie je najvhodnejšie aplikovať pri spektrálnej klasifikácii obrazu so zameraním sa na určovanie druhov drevín.

Ciel práce: Analýza správnosti klasifikácie v závislosti od použitého klasifikačného algoritmu a zvoleného elektromagnetického rozpätia.

## **2 PROBLEMATIKA**

### **2.1 Hyperspektrálne záznamy**

Hyperspektrálne záznamy zachytávajú odrazivosť jednotlivých povrchov rôznych na seba úzko nadväzujúcich vlnových dĺžkach elektromagnetického žiarenia. Z týchto materiálov je možné vhodným spôsobom odvodiť spektrálne profily jednotlivých povrchov, ktoré v podstate popisujú spektrálne správanie sa týchto povrchov. Spektrálne profily vybraných povrchov sa nachádzajú na obrázku 4. Parametre hyperspektrálnych záznamov sú priamo závislé od typu hyperspektrálneho senzora, prostredníctvom ktorého boli vyhotovené. Medzi najpodstatnejšie parametre senzorov patria: geometrické rozlíšenie, rádiometrické rozlíšenie, spektrálne rozlíšenie, spektrálne rozpätie, počet spektrálnych kanálov a mnoho ďalších parametrov, ktoré majú súvis s plánovaním leteckej kampane a ovplyvňujú výslednú kvalitu hyperspektrálnych záznamov (výška letu, rýchlosť letu, prekryt,..).

### **2.2 Využitie hyperspektrálnych dát**

- a) Všeobecné aplikácie

Diaľkovému prieskumu Zeme, konkrétne problematike využiteľnosti multispektrálnych a hyperspektrálnych materiálov pre spoločnosť, sa v súčasnosti venuje viacero autorov v závislosti od oblasti a predmetu skúmania. Aplikácia týchto materiálov vychádza z rovnakých princípov založených na fakte, že každý povrch (objekt) ma v rôznych elektromagnetických dĺžkach rôznu odrazivosť. Spektrálne správanie sa povrchov vieme teda opísať spektrálnym profilom, na ktorom základe je možné daný povrch klasifikovať do tried. Z tohto dôvodu sa môžeme stretnúť s ich širokým praktickým uplatnením napríklad v pôdohospodárstve pri odhade biomasy (PSOMA, et al., 2011 [14]), detekcie zmeny



fyziológického stavu plodín (MAHLEIN, et al., 2012 [9]), v kriminalistike pri odhaľovaní pestovania nezákonnej vegetácie (KALACSKA, 2011 [4]), v potravinárstve pri automatizovanej detekcii kvalitatívne nevyhovujúcich produktov (KIM, et al., 2001 [5]), v oblasti geológie a pedológie klasifikácia pôd (FINN, et al., 2011[2]), pri klasifikácii a extrakcii polohy budov v urbanizovanej oblasti (MCNALLY, et al. 2011 [11]), a mnoho iných.

#### b) Aplikácie v oblasti lesníctva

Pre oblasť lesníctva sa aplikáciou multispektrálnych a hyperspektrálnych materiálov venovalo viacero zahraničných a domácich autorov. Stanoveniu obsahu chlorofylu v asimilačných orgánoch sa venoval ZARCO-TEJADA, et al., 2004 [23], porovnávaním vegetačného indexu LAI vypočítaného z multispektrálnych materiálov Landsat ETM + a hyperspektrálnych materiálov AVIRIS sa venoval LEE, K., et al., 2004 [7]. Spektrálnym charakteristikám rôznych častí koruny smreka *Picea abies* L. sa venoval MALEKOVSKÝ, et al., 2003 [10]. Podrobnou analýzou teoretických a praktických možností aplikácii hyperspektrálnych záznamov pre odhad indexov defoliácie *Picea abies* L., monitorovania a odhadu poškodenia asimilačných orgánov drevín vypracoval RAŠI, [16],[17]. Aplikácii hyperspektrálnych záznamov pri tvorbe palivových modelov a šírenia lesných požiarov sa venoval JIA, et al., 2006 [3]. Aplikácii spektrálnych profilov pri klasifikácii druhov drevín sa podrobnejšie venoval THENKABAIL, et al., 2004 [19]. Na Slovensku sa širšou aplikáciou materiálov DPZ venoval vo svojej monografii BUCHA, et al., 2014 [1], ktorá vznikla v rámci projektu ITMS: 26220120069 „Centrum excelentnosti pre podporu rozhodovania v lese a krajine“. Tvorbe experimentálnej databázy podporných údajov pre spracovanie hyperspektrálnych leteckých snímok z územia VŠLP sa venoval KOREŇ, et al., 2007 [6]. Klasifikácii drevinového zloženia z leteckých hyperspektrálnych záznamov sa venoval TUČEK, et al., 2011 [22]. Problematike určovania stavu krajiny bola venovaná značná časť projektu VEGA1/0804/14. Získane poznatky z riešenia doterajších projektov možno priamo uplatniť v ďalších výskumoch.

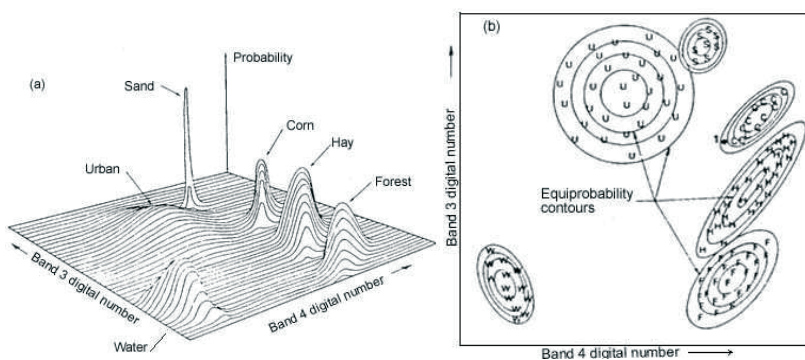
### 2.3 Klasifikačné algoritmy

#### a) Gaussov klasifikačný algoritmus maximálnej pravdepodobnosti (Gaussian maximum likelihood)

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, et al., 2001 [24]).

Rozšírením o Bayesovu klasifikáciu možno dosiahnuť optimálnejšie výsledky. Princíp spočíva v pridelení rôznych pravdepodobností v závislosti od výskytu určitého prvku v klasifikovanej oblasti priradeniu váhy nákladov spojených s chybnou klasifikáciou LILLESAND, et al., 2008 [8]. Schematické zobrazenie popisujúce princíp práce algoritmu ja na obr. 1. Schéma princípu algoritmu Gaussian maximum likelihood v: a) 3D priestore, b) 2D priestore.



Obr. 1: Schéma princípu fungovania algoritmu Gaussian maximum likelihood: a) 3D priestore, b) 2D priestore

FIGURE 1: The scheme of the GAUSSIAN MAXIMUM LIKELIHOOD algorithm work principle in: a) 3D space, b) 2D space

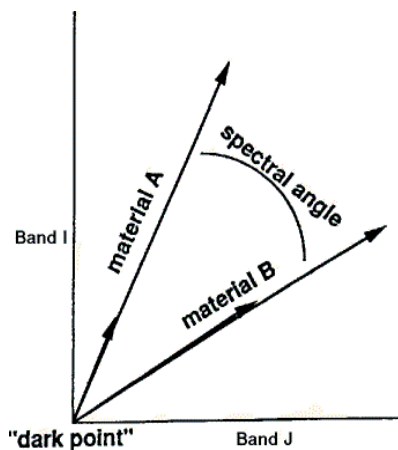
Zdroj: [http://nptel.ac.in/courses/105104100/lectureD\\_28/D\\_28\\_4.htm](http://nptel.ac.in/courses/105104100/lectureD_28/D_28_4.htm)

Pri použití parametrického algoritmu sú dosahované pri spektrálnej klasifikácii obrazu v porovnaní s algoritmom SAM lepšie výsledky. Avšak na druhej strane tomu predchádza precízna príprava a zber dát, ktoré sú časovo a finančne náročné.

#### b) Klasifikačný algoritmus SAM (Spectral angle mapper)

Klasifikačný algoritmus SAM pracuje na princípe porovnávania uhlu medzi vektorom referenčného bodu a vektorom bodu (obrazového prvku - pixla) vstupujúcim do klasifikácie, pričom oba vektory vychádzajú z nulového bodu lokálneho súradnicového systému, ktorý je tvorený dvoma rôznymi spektrálnymi pásmami. Princíp klasifikácie je schematicky znázornený na Obr. 2 Princíp klasifikácie podľa algoritmu SAM. Uhly sa porovnávajú a klasifikujú v n-dimenzionálnom priestore, kde n je počet dostupných nasnímaných kanálov reprezentujúcich jednotlivé vlnové dĺžky elektromagnetického žiarenia. Ako príklad si môžeme uviesť hodnotu obrazového prvku v určitom spektre, ktorá sa zmení v závislosti

od použitej vlnovej dĺžky. Túto zmenu DN hodnôt v rôznych spektrách toho istého obrazového prvku môžeme vyjadriť aj uhlom medzi nimi, ktorý ich zviaza. Ak sa veľkosť uhlu vyjadrujúceho zmenu hodnoty DN v konkrétnych dvoch spektrách rovná uhlu odpovedajúcemu referenčnému uhlu  $\pm$  povolená hraničná odchýlka uhlu, potom bude porovnávaný obrazový prvok zaradený do najpravdepodobnejšej jednej triedy. Vytvára sa tak n-dimenzionálny priestor, v ktorom prebieha klasifikácia prvku v každej jednej dimenzii na základe hranične stanovenej odchýlky od spomínaného uhlu. Zjednodušene sa porovnáva priebeh spektrálnych profilov obrazového elementu s jednotlivými priebehmi referenčných spektrálnych profilov. Pôvod referenčných hyperspektrálnych kriviek, ktoré vstupujú do klasifikácie ako vzor môže byť nasledovný a to: a) buď vznikli na podklade dostupných hyperspektrálnych dát odvodením z tréningových množín reprezentujúcich jednotlivé prvky, b) alebo boli získané v laboratórnych podmienkach za použitia vhodných metód a technológií. Je to lineárny model a jeho najväčšou výhodou je relatívna necitlivosť voči zmenám hodnoty DN obrazového prvku. Pri klasifikácii teda nerozhoduje hodnota DN, ktorá popisuje odraznosť, ale zmena hodnoty DN medzi dvoma spektrálnymi kanálmi, ktoré vieme vyjadriť uhlom, (RASHMI, et al., 2014 [15]). K zhrnutiu môžeme stručne popísať jej výhody a nevýhody. Výhodou je, že ak disponujeme spektrálnymi knižnicami, ktoré obsahujú spektrálne profily jednotlivých objektov (prvkov), môžeme použitím tohto algoritmu dosiahnuť vysoký stupeň automatizácie pri vylúčení terénnych prác. Je pomerne necitlivá na kolísanie hodnôt DN, keďže pri klasifikácii zohľadňuje uhol a možno ním klasifikovať aj zatienené lokality. Nevýhodou je, že pri absencii spektrálnych knižníc je potrebný podobný postup ako pri spomínanom algoritme Gaussian maximum likelihood. Okrem toho vykazuje algoritmus SAM v porovnaní s algoritmom Gaussian maximum likelihood nižšie správnosti klasifikácie.



Obr. 2: Princíp klasifikácie podľa algoritmu SAM  
 FIGURE 2: The principle of classification by the SAM algorithm  
 Zdroj: <http://www.ltid.inpe.br/tutorial/tut9.htm>

## 2.4 Hodnotenie správnosti klasifikácie

Každý výstup klasifikácie je potrebné vyhodnotiť po stránke správnosti. Na účely tohto hodnotenia môžeme využívať: a) referenčné obrazové prvky, b) referenčné polygóny. Princíp analýzy správnosti spektrálnej klasifikácie spočíva v porovnávaní klasifikovaných obrazových prvkov s prvkami, ktoré skutočne reprezentujú daný povrch (referenčné dáta). Je to v podstate jednoduché prekryvanie rastrových vrstiev, kedy klasifikovaný obrazový prvok buď padne do triedy do ktorej patrí (správna klasifikácia), alebo nepadne (nesprávna klasifikácia).

Pri vyhodnocovaní správnosti klasifikácie sa kalkulujú pre jednotlivé triedy:

- 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.
- Diagonála v kontingenčnej tabuľke nám popisuje počet správne zaradených obrazových prvkov.
- Producentská správnosť (Producer's Accuracy). Opisuje správnosť všetkých klasifikovaných tried, kde sa pri kalkulácii porovnávajú referenčné triedy s jednotlivými klasifikovanými triedami.
- Užívateľská správnosť (User's Accuracy). Opisuje správnosť klasifikovaných tried, pričom porovnáva každú jednu klasifikovanú triedu individuálne s referenčnými triedami.
- Celková správnosť (Overall Accuracy). Opisuje celkovú správnosť klasifikácie pri zohľadnení užívateľskej a producentskej presnosti pri všetkých triedach. Je to v podstate vážený aritmeticky priemer.

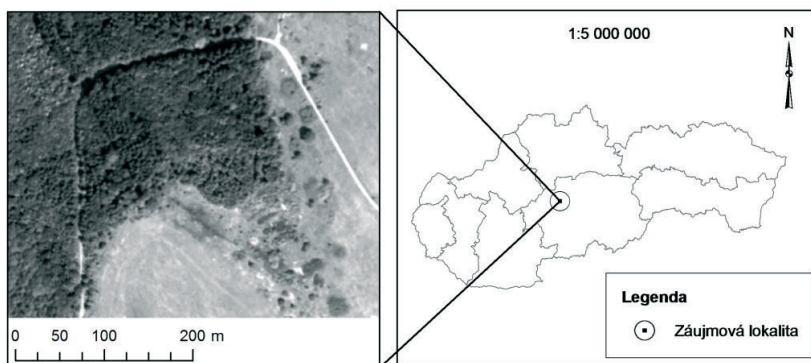
Chyba správnosti klasifikácie sa môže skladať so systematickej a náhodnej chyby. Systematickú chybu je možno po identifikovaní a analýze odstrániť. Je to miera vychýlenia od normálneho očakávaného stavu, ktorú už možno považovať za štatisticky významnú. Náhodná chyba sa pohybuje v rozmedziach okolo priemernej očakávanej hodnoty, ktorej vychýlenie od priemeru nie je štatisticky významné, lebo vzniká prostredníctvom náhodne pôsobiacich neuvažovaných faktorov.

KHAT index, resp. kappa index je štatistickou mierou zhody medzi referenčnými a klasifikovanými údajmi. Zabezpečuje vylúčenie zhody z dôvodu náhody. Vychádza sa z predpokladu, že aj pri úplne náhodnej klasifikácii môže byť časť klasifikovaných údajov zaradená správne. Kappa index teda vyjadruje proporcionálnu redukciu chyby dosiahnutej pri klasifikácii v porovnaní s chybou, ktorá by vznikla pri náhodnej klasifikácii. Kappa index teda môže nadobudnúť hodnoty v intervale od 0 po 1. Vypočítaná hodnota indexu opisuje, koľko % chýb bolo odstránených za pomoci použitia určitého parametrického klasifikačného algoritmu, ktoré by vznikli, ak by sa použil náhodný proces klasifikácie.

### 3 EXPERIMENTÁLNY MATERIÁL A METODIKA

#### 2.1 Experimentálny materiál

a) Lokalita: Záujmová lokalita sa nachádza v Banskobystrickom kraji v okolí obce Sielnica. Zvolená lokalita sa vyznačuje bohatým druhovým drevinovým zložením a je ideálna na experimentálnu spektrálnu klasifikáciu obrazu.



Obr. 3: Záujmová lokalita  
FIGURE 3: Area of interest

Zdroj shp. vrstvy SR: <https://www.geoportal.sk/sk/kataster-nehnutelnosti/na-stiahnutie/>

#### b) Hyperspektrálne materiály

- Hyperspektrálny senzor: AISA Eagle
- geometrické rozlíšenie: 0.6 m
- rádiometrické rozlíšenie: 16-bit
- spektrálne rozlíšenie : 4.32 nm
- spektrálny rozsah: 400 – 1000 nm
- počet spektrálnych pásiem: 130
- projekčný súradnicový systém: UTM 34
- rok vyhotovenia: 2006

#### c) Hardvérové a softvérové vybavenie PC

Hardvér:

PC Zostava:

- HP Workstation Z800
- Procesor: Intel Xeon X5690 3.47 GHz a 3,46 GHz (procesory: 2)

- Ram: 16 GB, DDR3 SDRAM – ECC, 1333 MHz
- Grafická karta: Nvidia Quadro 5000, 4GB GDDR5
- HDD: 1 TB, 7200 rpm

Inerciálna jednotka Novatel ProPak6, KVH1750  
Softvér: ArcMap 10.x, ENVI 5.1, Inertial Explorer 8.60,

d) Ostatné materiály a prístrojové vybavenie:

- opis porastov LHC z aktuálneho PSL pre vybranú lokalitu
- vektorová reprezentácia zachytávajúca polohy stromov

## 3.2 Metodika

### 3.2.1 Zber geopriestorových údajov

Zameriavanie polohy jednotlivých druhov drevín sa vykonávalo prostredníctvom inerciálnej jednotky Novatel ProPak6, KVH 1750 podľa odporúčanej metodiky dodávateľa, ktorá zabezpečuje čo najvyššiu presnosť určenia polohy záujmového bodu.

Na orientáciu v teréne bola vytvorená ortofotomapa vhodnej kompozície, ktorá pozostávala z:

- rastrovej podkladovej vrstvy vhodnej kompozície. Na zostavenie kompozície boli použité vlnové dĺžky 810, 680 a 587 nanometrov,
- vektorovej vrstvy zaznamenávajúcej polohu povrchov (objektov), ktoré boli výrazne rádiometricky odlišné a bolo ich potrebné v teréne identifikovať a kvalitatívne zatriediť do tried,
- grídovej vrstvy v spone 50 x 50 m naprieč mapovým listom, ktorá znázorňovala priebeh projekčnej siete a zlepšovala tak orientáciu v záujmovej lokalite,
- mimorámových značiek: grafická mierka, legenda

Kritéria pre zber geopriestorových údajov:

- Identifikovateľnosť na snímke. Keďže hyperspektrálne materiály boli vyhotovené v roku 2006, bolo nutné pri určovaní polohy zohľadniť možné zmeny (vypadnutie jedinca, zmena tvaru korunových projekcií, presun drevín na nižšej etáži,...) a overiť, či korunová projekcia zachytená na hyperspektrálnych materiáloch odpovedá polohe koruny zameriavanej pri terénnom šetrení.
- Druhovú príbuznosť povrchov (objektov) a ich zlúčenie (zjednodušenie) pri čo najmenšej strate informácií. K príkladu možno uviesť prípad dvoch druhov drevín z rodu *Pinus* sp. v rámci lokality. Dominantným druhom bola *Pinus sylvestris* L., zároveň sa v lokalite nachádzala aj *Pinus strobus* L., ktorá nie je v lokalite rozšírená a na snímke nie je rozpoznateľná. Jej plošné zastúpenie by nepostačovalo na vytvorenie trénovacích množín (ROI) podľa odporúčaných metodiky (LILLESAND, et al., 2008 [8]), ktorá bude podrobnejšie uvedená pri metodike spracovania údajov. Na podklade týchto informácií bolo rozhodnuté, že aj keď sa tento druh dreviny v záujmovom území na-

chádza, nebude pre ňu vytvorená osobitná kvalitatívna skupina. Zároveň sa lokalita s *Pinus strobus* L., nezaraďovala do ROI pre drevinu *Pinus sylvestris* L.. Rovnako táto lokalita nevstupovala ani ako kontrolná referenčná plocha. Tým sa zamedzilo zväčšovaniu variability hodnôt DN pre triedu *Pinus* sp., ktorú by sme museli následne vytvoriť.

Súčasťou terénnych prác bol aj odber zimných púčikov na identifikáciu sporných nezaradených, ale na snímke identifikovaných druhov drevín.

### 3.2.2 Spracovanie údajov

a) Spracovanie nameraných geopriestorových dát:

Spracovanie prebehlo v softvéri Inertial Explorer 8.60 podľa metodiky uvedenej v manuály. Z bodového poľa boli vyextrahované body reprezentujúce polohy stromov na základe časového údaju zaznamenaného v terénnom zápisníku. Výsledne bodová vektorová reprezentácia bola transformovaná z WGS 84 do súradnicového systému UTM 34N.

b) Tvorba trénovacích množín a referenčných dát (Region of interest – ROI):

Cez modul ROI TOOLS v prostredí ENVI 5.1, boli postupne vytvárané polygóny charakterizujúce polohu objektov patriacich jednotlivým triedam. Polohu objektov určovalo naimportované bodové pole získane spracovaním nameraných dát z inerciálnej jednotky. Minimálny počet pixlov tvoriacich výberový súbor jednej triedy, pre ktorú boli kalkulované štatistické charakteristiky, bol zvolený na 660. Pri tvorbe ROI bola splnená požiadavka minimálneho rozsahu výberového súboru reprezentujúceho triedu podľa odporúčani (LILLESAND, et al., 2008 [8]), ktorý uvádza, že rozsah výberového súboru by sa mal pohybovať na úrovni  $10n$  až  $100n$ , kde  $n$  je množstvo spektrálnych kanálov analyzovaných hyperspektrálnych dát. Pre náš experiment bolo použitých najviac 66 spektrálnych kanálov, čo predstavovalo  $10 \times 66 = 660$  potrebných pixlov na triedu. Vytvárané ROI boli podľa situácie rovnomerne priestorovo rozložené tak, aby zabezpečovali čo najlepšiu reprezentatívnosť. Pre takto vytvorené ROI prebehla v module COMPUTE ROI SEPARABILITY kalkulácia oddeliteľnosti jednotlivých tried. Modul používa na výpočet vzdialenosti Jeffries-Matusitov algoritmus. Výsledkom je koeficienty rozsahu od 0 po 2. Hodnota 0 indikuje žiadnu (zlú) separabilitu medzi porovnávanou dvojicou tried. Hodnota 2 indikuje vysokú separabilitu. Všeobecne možno už výsledky z hodnotou nad 1.9 možno považovať za uspokojivé (THOMAS, et al., 2002 [20]). V druhej časti týchto prác boli spracované a vytvorené aj tzv. referenčné dáta, ktoré charakterizovali polohu jednotlivých tried, ktoré slúžili ako referenčné (porovnávacie dáta). Na ich báze boli analyzované správnosti klasifikácie. Po analýze oddeliteľnosti jednotlivých tried sa pristúpilo ku kalkulácii štatistických charakteristík pre jednotlivé triedy cez modul COMPUTE ALL STATISTIC.



#### c) Tvorba masky les/neles

Maska les/neles bola vygenerovaná prostredníctvom spektrálnej klasifikácie. Pri spektrálnej klasifikácii obrazu bolo vytvorených 5 trénovacích množín reprezentujúcich ihličnatý les, listnatý les, cestu a lúku pokosenú a nepokosenú. Pri klasifikácii bolo použité celé dostupné spektrum. S vektorovou vrstvou sa následne manipulovalo v prostredí ArcGis, v ktorom bol spojením vytvorený polygón reprezentujúci les. Táto maska bola následne použitá pri klasifikácii drevinového zloženia, kde do spektrálnej klasifikácie obrazu vstupovalo len územie porastene lesom. Dôvodom použitia masky je eliminácia ostatných prvkov územia, ktorých spektrálne profily resp. trénovanie množiny do klasifikácie nevstupovali.

#### d) tvorba spektrálnej knižnice

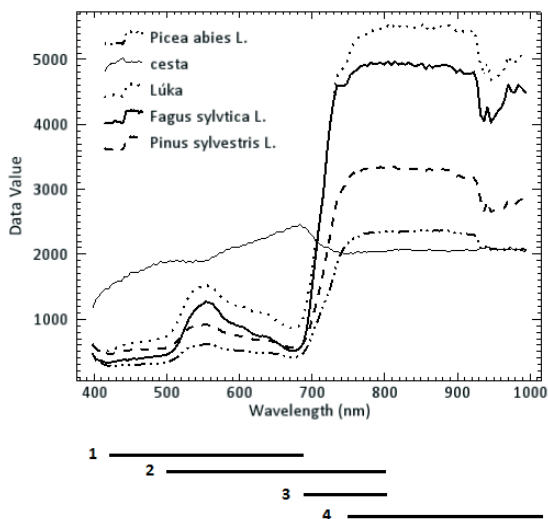
Po zohľadnení všetkých skutočností s ohľadom na minimálny rozsah výberového súboru a potvrdenej oddeliteľnosti sa pristúpilo ku kalkulácii štatistických charakteristík opisujúcich spektrálne správanie sa jednotlivých (povrchov) tried, ktoré prebehlo v moduly COMPUTE ALL STATISTIC. Výstupom modulu sú aj okrem štatistických charakteristík spektrálne profily jednotlivých tried popisujúce ich priemerné spektrálne správanie sa v rámci jednotlivých vlnových dĺžkach. Empiricky získane profily boli exportované do spektrálnej knižnice, ktorá slúžila ako referenčná báza údajov pri klasifikačnom algoritme SAM.

#### e) spektrálna klasifikácia obrazu

Pred spektrálnou klasifikáciou obrazu boli na základe analýzy spektrálnych profilov vybraných povrchov zvolené 4 spektrálne rozpätia, v ktorých sú rozdiely profilov voči sebe najviac výrazné. Podrobne na obr. 4. Pre porovnanie sa použilo pri klasifikácii aj celé dostupné spektrum, ktoré však nespĺňalo požadované podmienky (ROI mali nedostatočnú výmeru vyjadrenú v obrazových jednotkách).

Pri klasifikácii obrazu boli použité algoritmy SAM a Gaussov algoritmus maximálnej vierohodnosti. Pri Gaussovom algoritme bola hodnota parametra pravdepodobnosti zvolená hodnota 0.2. Pri algoritme SAM bola zvolená hodnota odklonu uhla 0.1.





Obr. 4: Spektrálne profily objektov a vybrané experimentálne spektrálne rozpätia v nm:  
 FIGURE 4: The spectral profiles of selected elements (objects) and experimental spectral ranges  
 in nm: 1) 420 – 690 2) 500 – 800 3) 690 – 800 4) 750 – 1000

### 3.2.3 Vyhodnocovanie

Na vyhodnotenie správnosti obrazovej spektrálnej klasifikácie slúži modul Confusion Matrix Using Ground Truth Image. Ako vstup bola použitá séria klasifikovaných obrazov územia a rastrovej vrstvy referenčných dát slúžiacej na porovnávanie.

## 5 VÝSLEDKY

Pri terénnych prácach bolo v záujmovom území zmapovaných 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..

Pre analýzu vplyvu spektrálneho rozpätia na správnosť spektrálnej klasifikácie obrazu bolo vybraných 6 plošne najzastúpenejších drevín. Zvolené dreviny a podrobnejšie atribúty sa nachádzajú v tabuľke 1.

Tab. 1: Popis mapovaných prvkov  
Table 1: Description of map elements

Drevina	Výmera ROI spolu v pixloch	Počet ROI plôch	Výmera kontrolných referenčných prvkov v pixloch
<i>Picea abies</i> L.	676	17	943
<i>Pinus sylvestris</i> L.	935	13	1,173
<i>Tilia</i> sp.	680	6	747
<i>Carpinus betulus</i> L.	716	12	380
<i>Quercus</i> sp.	812	8	764
<i>Fagus sylvatica</i> L.	769	5	459

Pri výmere trérovacej množiny triedy *Carpinus betulus* L. bol problém so splnením minimálnej odporúčanej výmery v pixloch, čo sa odzrkadilo na výmere kontrolných referenčných tejto triedy. Dôvodom je najmä nízke plošné zastúpenie dreveniny a jej ustupovanie do podúrovne. Zároveň bola problémová identifikácia korunových projekcií na záznamoch z roku 2007 v konfrontácii s reálnym stavom (2016). Zvyšných 5 tried bolo dostatočné plošné zastúpených nato, aby bolo možné vytvoriť ROI aj kontrolne plochy o dostatočnej výmere na účely analýz.

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

Table 2: Impact selected electromagnetic range for classification accuracy: Gaussian maximum likelihood.

Algoritmus	Gaussian maximum likelihood									
	420 – 690		500 – 800		690 – 800		750 – 1000		400 – 1000	
Správnosti	Prod. Acc.	User Acc.	Prod. Acc.	User Acc.	Prod. Acc.	User Acc.	Prod. Acc.	User Acc.	Prod. Acc.	User Acc.
Druh dreveniny	%									
<i>Carpinus betulus</i> L.	42.73	67.13	61.99	81.68	91.13	57.65	53.19	72.9	73.6	70.19
<i>Fagus sylvatica</i> L.	71.40	85.50	85.80	91.13	98.07	95.41	71.19	75.95	68.06	97.9
<i>Picea abies</i> L.	98.20	88.48	100.00	91.73	88.18	99.02	92.3	85.17	98.36	92.45
<i>Pinus sylvestris</i> L.	93.84	98.85	94.73	100.00	99.14	91.45	85.88	94.12	95.33	98.87
<i>Quercus</i> sp.	85.66	56.28	82.65	65.68	63.13	93.63	66.73	62.62	79.65	71.77
<i>Tilia</i> sp.	97.51	85.02	99.72	83.72	90.56	98.34	89.47	53.57	99.17	88.61

Z dostupných výsledkov možno zhodnotiť nasledovné: drevenina *Carpinus betulus* L. dosahuje najlepšiu správnosť klasifikácie pri použití spektrálneho rozpätia 690 - 800 nm, *Fagus sylvatica* L. pri 690 – 800 nm., *Picea abies* L. pri 500 – 800 nm, *Pinus sylvestris* L. pri 690 – 800 nm, *Quercus* sp. pri 420 – 690 nm. A *Tilia* sp. pri 500 – 800 nm.

Najnižšia správnosť klasifikácie v závislosti od použitého spektrálneho rozpätia podľa jednotlivých druhov drevenín: *Carpinus betulus* L. dosahuje najnižšiu správnosť klasifi-

kácie pri použití spektrálneho rozpätia 420 – 690 nm, *Fagus sylvatica* L. pri 400 – 1000 nm., *Picea abies* L. pri 690 – 800 nm, *Pinus sylvestris* L. pri 750 – 1000 nm, *Quercus* sp. pri 690 – 800 nm. a *Tilia* sp. pri 750 – 1000 nm.

Tab. 3: Vplyv použitého elektromagnetického rozpätia na presnosť klasifikácie: Spectral angle mapper

Table. 3: Impact selected electromagnetic range for classification accuracy: Spectral angle mapper

Algoritmus	Spectral angle mapper									
	420 – 690		500 – 800		690 – 800		750 – 1000		400 – 1000	
Spektrálne rozpätie (nm)										
Správnosti (%)	Prod. Acc.	User Acc.	Prod. Acc.	User Acc.	Prod. Acc.	User Acc.	Prod. Acc.	User Acc.	Prod. Acc.	User Acc.
Druh dreveniny										
<i>Carpinus betulus</i> L.	52.93	53.07	23.85	33.57	32.4	45.77	19.26	43.27	39.93	28.06
<i>Fagus sylvatica</i> L.	56.16	88.78	47.9	100	44.89	69.81	52.82	78.33	100	49.9
<i>Picea abies</i> L.	88.74	82.72	79.6	73.68	84.51	85.5	65.25	56.21	78.92	87.13
<i>Pinus sylvestris</i> L.	86.98	99.77	82.9	85.02	71.07	80.34	73.76	70.4	91.91	85.88
<i>Quercus</i> sp.	76.39	56.11	83.19	43.93	83.54	44.95	37.52	27.93	46.82	88.5
<i>Tilia</i> sp.	86.7	74.17	70.64	82.79	62.33	56.39	38.5	22.71	84.13	77.84

Z dostupných výsledkov možno zhodnotiť nasledovné: drevenina *Carpinus betulus* L. dosahuje najlepšiu správnosť klasifikácie pri použití spektrálneho rozpätia 420 – 690 nm, *Fagus sylvatica* L. pri 400 – 1000 nm, *Picea abies* L. pri 420 – 690 nm, *Pinus sylvestris* L. pri 400 – 1000 nm, *Quercus* sp. pri 690 – 800 nm. a *Tilia* sp. pri 420 – 690 nm.

Najnižšia správnosť klasifikácie v závislosti od použitia spektrálneho rozpätia podľa jednotlivých druhov dreveniny: *Carpinus betulus* L. dosahuje najnižšiu správnosť klasifikácie pri použití spektrálneho rozpätia 750 – 1000 nm, *Fagus sylvatica* L. pri 690 – 800 nm, *Picea abies* L. pri 750 – 1000 nm, *Pinus sylvestris* L. pri 690 – 800 nm, *Quercus* sp. pri 750 – 1000 nm. a *Tilia* sp. pri 750 – 1000 nm.

Tab. 4: Porovnanie správnosti klasifikácie v závislosti od elektromagnetického rozpätia

Table 4: Suitability comparison of classification depends on electromagnetic range.

Klasifikačný algoritmus	spektrálne rozpätie (nm)	OA %	Kappa index
Gaussian maximum likelihood	420 – 690	80,31	0,7602
	500 – 800	86,38	0,834
	690 – 800	87,17	0,844
	750 – 1000	75,8213	0,7066
	400–1000	85,9396	0,8275
Spectral angle mapper (SAM)	420 – 690	74,7429	0,6915
	500 – 800	64,6438	0,567
	690 – 800	62,9669	0,5492
	750 – 1000	49,8029	0,3897
	400–1000	69,2449	0,6243

Pri porovnaní celkových správnosti klasifikácie v závislosti od použitého klasifikačného algoritmu a zvoleného spektrálneho rozpätia možno zhodnotiť nasledovne:

- územie klasifikované algoritmom Gaussian maximum likelihood dosiahlo najvyššie percento správne klasifikovaných prvkov (pixlov) pri spektrálnom rozlíšení 690 – 800 nm a najnižšie percento správne klasifikovaných prvkov (pixlov) pri spektrálnom rozlíšení 750 – 1000 nm.
- územie klasifikované algoritmom spectral angle mapper dosiahlo najvyššie percento správne klasifikovaných prvkov (pixlov) pri spektrálnom rozlíšení 420 – 690 nm a najnižšie percento správne klasifikovaných prvkov (pixlov) pri spektrálnom rozlíšení 750 – 1000.

Interpretácia hodnotení správnosti k tabuľkám 2 až 4:

- Producent'ská správnosť (Producent's Accuracy). Opisuje správnosť všetkých klasifikovaných tried, kde sa pri výpočte porovnávajú referenčné triedy s jednotlivými klasifikovanými triedami.
- Uživateľ'ská správnosť (User's Accuracy). Opisuje správnosť klasifikovaných tried, pričom porovnáva každú jednu klasifikovanú triedu individuálne s referenčnými triedami.
- Overall accuracy (OA %) – celková správnosť 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.

## 6 ZÁVER

Záverom možno potvrdiť, že použité elektromagnetické rozpätie ma výrazný vplyv na správnosť klasifikácie. Pri Gausovom klasifikačnom algoritme bola dosiahnutá najvyššia správnosť klasifikácie pri použití elektromagnetického rozpätia 690 – 800 nm, teda v spektre prechodu z viditeľného do blízkeho infračerveného spektra. Celková správnosť klasifikácie sa pohybovala v rozpätiach 75,82% – 87,17% a rozdiel v celkovej správnosti klasifikácie dosiahol 11,35%. Pri Spectral angle mapper algoritme bola dosiahnutá najvyššia správnosť klasifikácie pri použití elektromagnetického rozpätia 420–690 nm, teda vo viditeľnom spektre. Celková správnosť klasifikácie sa pohybovala v rozpätiach 62,97% – 74,74% a rozdiel v celkovej správnosti klasifikácie dosiahol 11,77%.

Ďalšie zaujímavé výstupy by mali priniesť nove prístupy spracovania hyperspektrálnych záznamov prostredníctvom inovovaných klasifikačných algoritmov. Tvorbe algoritmov sa venovala PADMA, et al., 2014 [13], ktorá prepojila klasifikačný algoritmus spectral angle mapper s algoritmom jeffries–matusita, ktorý analyzuje a vyhodnocuje vzdialenosti medzi spektrálnymi triedami. Touto fúziou dosiahla zvýšenie celkovej správnosti klasifikácie v intervale od 15 do 18%. Analýze klasifikačných algoritmov sa venuje vo svojej monografii MORTON, et al., 2014 [12], ktorý poskytuje prehľad skriptov v jazyku python. Pri mapovaní pozícií stromov bola využitá technológia Inercialna jednotka No-

vatel ProPak6, KVH1750, ktorá momentálne z dôvodu vysokej obstarávacej ceny nieje bežne dostupná. Presnejšie a ekonomicky menej náročne pozície stromov by bolo možné získať napr. použitím technológie (Field-Map TOMAŠTRÍK, et al., 2015 [21]), ktorý sa osvedčil pri národnej inventarizácii a monitoringu lesov (ŠMELKO, et al. 2008 [18]).

## 7 Použitá literatúra

- [1] Bucha, T., et al. 2014: Satelity v službách lesa. Bratislava: SAP, 202 s. ISBN 978 – 80 – 89607 – 25 – 9
- [2] Finn, et al., 2011: Remote Sensing of Soil Moisture Using Airborne Hyperspectral Data. In *GIScience & Remote Sensing*, [online], 48, No. 4, p. 522–540. Dostupné na internete: [http://cegis.usgs.gov/soil\\_moisture/pdf/remote\\_sensing.pdf](http://cegis.usgs.gov/soil_moisture/pdf/remote_sensing.pdf)
- [3] Jia, G. J., Burke, I.C., Kaufmann, M. r., Goetz, a. F.H., Kindel, B.C., P.U, Y. 2006a: Estimates of forest canopy fuel attributes using hyperspectral data. *Forest Ecology and Management*, 229(1–3): p. 27 – 38.
- [4] Kalacska M., Bouchard, M., 2011: Using police seizure data and hyperspectral imagery to estimate the size of an outdoor cannabis industry, In *Police Practice and Research: An International Journal*, **Volume 12, Issue 5**: p. 424 – 434.
- [5] Kim, M.S., Chen, Y.R., Mehl P.M., 2001: Hyperspectral reflectance and fluorescence imaging system for food quality and safety. In *Transactions of the ASAE*, [online], Vol.44(3): 721 -729, ISSN 0001–2351, [cit. 02.4.2016], Dostupné na internete: <https://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/person/3003/2001Kim44-3TransASAE721-729.pdf>
- [6] Koreň, M., Tuček, J., Čerman P., 2007: Hyperspectral aerial photos and their utilization in forestry. *Lesn. Čas. – Forestry Journal*, 53(3): p. 251 – 262, 2007, ref. 23. Discussion paper. ISSN 0323–104623 ref.
- [7] Lee, K., Cohen, E., Kennedy, R.E., Maierberger T.K., Gower, S.T., 2004: Hyperspectral versus multispectral data for estimating leaf area index in four different biomes. In *Remote Sensing of Environment*. [online], Vol 91.Issues 3-4, p. 508-520. Dostupné na internete : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425704001282>
- [8] 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.[9] Mahlein A., Steiner, U., Hillnhutter, Ch., Dehne, H., Oerke, E., 2012: Hyperspectral imaging for small-scale analysis of symptoms caused by different sugar beet diseases. In *Plant Methods* 8:3,[online], Dostupné na internete: <http://plantmethods.biomedcentral.com/articles/10.1186/1746-4811-8-3>
- [10] Malekovsky, Z., Clevers, J.G.P.W., Arkimaa, H., [Kuusmanen, v., Cudlín, P., Polák, T., 2003: Spectral differences of the functional crown parts and status of Norway spruce trees studied using remotesensing. In *Ecology (Bratislava)*. 22(1), p. 207 – 210. – 13.
- [11] McNally, J.D. A., McKenzie J.P.S., 2011: Combining multispectral aerial imagery and digital surface models to extract urban building. In *Journal of Maps*,7:1,51 – 59, [online], ISSN 1744 – 5647. [cit. 04.4.2016], Dostupné na internete: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.4113/jom.2011.1152>
- [12] Morton J. Canty., 2014: *Image Analysis, Classification and Change Detection in Remote Sensing: With Algorithms for ENVI/IDL and Python*, Third Edition, CRC Press, ISBN 978-1-4665-7037-5, 576 Pages.
- [13] Padma S., Sanjeevia S., 2014: Jeffries Matusita-Spectral Angle Mapper (JM-SAM) spectral matching for species level mapping at Bhitarkanika, Muthupet and Pichavaram mangroves, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-8, 1403-1411,[cit. 04.4.2016]. Dostupne na internete: <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-8/1403/2014/isprsarchives-XL-8-1403-2014.pdf>
- [14] Psoma, A., Kneubuhler, M., Hubers, S., Itten, K., Zimmermann, N.E., 2011: Hyperspectral remote sensing for estimating aboveground biomass and for exploring species richness patterns of grassland habitats. In *International Journal of Remote Sensing* , [online], Vol. 32, No. 24, 20 December 2011, p. 9007–9031, ISSN 0143-1161 (Print), 1366-5901 (Online), [cit. 04.4.2016], Dostupné na internete: [http://www.wsl.ch/staff/niklaus.zimmermann/papers/IntJRemoteSens\\_Psomas\\_2011.pdf](http://www.wsl.ch/staff/niklaus.zimmermann/papers/IntJRemoteSens_Psomas_2011.pdf)[15] Rashmi, S., Addamani, S., Venkat, S., Ravikiran, S., 2014: Spectral Angle Mapper Algorithm for Remote Sensing Image Classification. In *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology* [online], vol. 1, issue 4, 2014. ISSN 2348 – 7968. [cit. 04.4.2016], Dostupné na internete: [http://ijiset.com/v1s4/IJISSET\\_V1\\_I4\\_27.pdf](http://ijiset.com/v1s4/IJISSET_V1_I4_27.pdf).

- [16] Raši, R. 2001: Využitie spektrálnej odraznosti pri klasifikácii poškodenia asimilačného aparátu stromov [Usage of spectral reflectance for classification of tree foliage damage; Eng. summary]. In MINDÁŠ, J. (ed.) Stav a perspektívy ekologického výskumu horských lesných ekosystémov. Zborník referátov a posterov z medzinárodnej vedeckej konferencie, 22. – 25. október 2001, Zvolen, LVÚ Zvolen, vydané na CD, ISBN 80-88853-44-3.
- [17] Raši, R. 2003: Narrow-band spectral indices for foliage loss of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) estimation. *Ekológia*, vol. 22, Supplement 1/2003, p. 288 – 290, ISSN 1335-342X.
- [18] Šmelko, Š., Šebeň, V., Bošefa, M., Merganič, J., Jankovič, J., 2008: Národná inventarizácia a monitoring lesov Slovenskej republiky 2005-2006. Základná koncepcia a výber zo súhrnných informácií. In: *Les/Lesokruhy*, roč. 64, č. 5-6, 2008, s. 16. [Príloha]
- [19] Thenkabail, p. S., Enclonab, E. A., Ashtonb, M. S., Van der Meerd, B., 2004: Accuracy assessments of hyperspectral wave band performance for vegetation analysis applications. *Remote Sensing of Environment*, vol. 91, p. 354 – 376. – 19.
- [20] Thomas, v., Treitz, P., Jelinski, D., Miller, J., Lafleur, P., McCaughey, J.H., 2002: Image classification of norhernpealan complex using spectral and plant community data [online]. In *Remote sensing of environment* 84, 2002.p. 83 – 99. [cit. 05.4.2016]. Dostupné na internete: [http://www.yorku.ca/jrmiller/Papers/03Thomas\\_RSE\\_FenClassification.pdf](http://www.yorku.ca/jrmiller/Papers/03Thomas_RSE_FenClassification.pdf)
- [21] 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
- [22] Tuček, J., Koreň, M. Majlingova, A., Smreček, R., Suchomel J., 2011: Geoinformatika a geoinformačné technológie v precíznom lesníctve. I. vydanie, 166 strán, Technická univerzita vo Zvolene, ISBN 978 – 80 – 228 – 2345 – 6.
- [23] Zarco-Tejada, P.J., Miller, J.R., Morales, A., Berjón A., Ahuera, J., 2004: Hyperspectral indices and model simulation for chlorophyll estimation in open-canopy tree crops [online]. *Remote Sensing of Environment* 90 (2004) 463–476. Dostupné na internete: [https://www.researchgate.net/profile/John\\_Miller27/publication/222411125\\_Hyperspectral\\_indices\\_and\\_model\\_simulation\\_for\\_chlorophyll\\_estimation\\_in\\_open-canopy\\_tree\\_crops/links/0deec529f494edf67c000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/John_Miller27/publication/222411125_Hyperspectral_indices_and_model_simulation_for_chlorophyll_estimation_in_open-canopy_tree_crops/links/0deec529f494edf67c000000.pdf)
- [24] Žihlavník, Š., Scheer, E., 2001: Diaľkový prieskum Zeme v lesníctve. Zvolen: Vydavateľstvo TU Zvolen, 2001. 289 s. ISBN 80-228-0991-8
-

## ANALÝZA RASTOVEJ ODOZVY BUKA LESNÉHO (*FAGUS SYLVATICA* L.) NA RECENTNÚ ZMENU KLÍMY V RASTOVEJ OBLASTI POĽANA

Vlastimil MURGAŠ

**Murgaš, V.: Analýza rastovej odozvy buka lesného (*Fagus sylvatica* L.) na recentnú zmenu klímy v rastovej oblasti Poľana. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, 58/1 2016, 163 – 172.**

V práci sa analyzovali prírastkové reakcie buka lesného (*Fagus sylvatica* L.) na recentné zmeny klímy podľa lesných vegetačných stuňov (lvs) s úmyslom pripraviť koncepčné návrhy a implementovať ich do hospodárskej úpravy lesov a pestovania lesov. Výskum bol realizovaný v rokoch 2012 – 2013 na výškovom gradiente rastovej oblasti Poľana. Lesné porasty boli vybraté od 2. po 7. lvs tak, aby sa pokryla celá ekologická amplitúda vybranej dreviny. Empirický materiál tvorilo 110 prírastkových vývrtov buka. Skutočné a modelové radiálne prírastky buka boli porovnané v 2 časových obdobiach: referenčné 1961 – 1990 a porovnávacie 1991 – 2012. Modelové radiálne prírastky sa získali simuláciou skutočných porastov v stromovom rastovom simulátore Sibyla za predpokladu nezmenených klimatických podmienok. Kvantifikácia prírastkových zmien buka sa uskutočnila na základe rozdielu priemerných hodnôt modelových a skutočných prírastkov v období 1991 – 2012 podľa jednotlivých lvs. Výsledky práce poukazujú na mierne zhoršenie rastu buka v nižších nadmorských výškach a bez výrazných zmien v jeho rastovom optime. Naproti tomu priaznivejšie podmienky pre rast buka sa vytvárajú vo vyšších nadmorských výškach.

**Kľúčové slová:** buk, rast, prírastok, Sibyla, lesný vegetačný stupeň

### 1 ÚVOD A PROBLEMATIKA

Lesné ekosystémy tvoria významnú zložku biosféry. Svojou existenciou regulujú klimatické výkyvy na globálnej až regionálnej úrovni a plnia dôležitú úlohu pri koloobehu uhlíka na Zemi. Uhlík je stromami viazaný najmä v lesnej biomase a lesnej pôde. V dôsledku toho je klimatický systém Zeme do značnej miery závislý od vývoja a stavu lesa.

Ľudská činnosť narušila rovnováhu v prírode a výraznou mierou prispela ku globálnemu otepľovaniu planéty zvyšovaním podielu skleníkových plynov v atmosfére od začiatku priemyselnej revolúcie. Záver piatej hodnotiacej správy Medzivládneho panelu OSN pre klimatickú zmenu jednoznačne potvrdil hypotézu, že človek je hlavnou príčinou zmeny klímy (IPCC, 2013). Následky globálneho otepľovania môžeme zaznamenať v raste teploty vzduchu, výšky hladiny oceánov, v časovej a priestorovej distribúcii zrážok a pod.

Vo všeobecnosti sa pre strednú Európu očakávajú nasledujúce trendy, ktoré budú mať značný dopad na lesné ekosystémy (ALBERT, SCHMIDT, 2010):

- zvýšené teploty vzduchu v lete a zime predĺžia vegetačné obdobie,
- nižší úhrn zrážok počas letného obdobia, ale zvýšený úhrn v zimnom období,
- častejší výskyt extrémov počasia, napr. dlhotrvajúce suchá, privalové dažde, víchrice,
- zmeny v chemizme atmosféry, zvyšovanie koncentrácie CO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub> ako aj vyššia koncentrácia O<sub>3</sub>.

Zmeny klimatických charakteristík budú pravdepodobne viesť k zmene dynamiky prírastkov a zvýšenému výskytu odumretých stromov (MATALA et al., 2005; ALLEN et al. 2010). Podľa LINDNERA et al. (2010) reakcia lesných drevín na klimatickú zmenu môže byť pozitívna ako aj negatívna a je variabilná pozdĺž gradientov zemepisnej šírky a nadmorskej výšky, bioklimatických zón a lesných typov. Zvýšené teploty vzduchu vo vyšších nadmorských výškach alebo zemepisných šírkach predlžujú vegetačné obdobie, čím priaznivo vplývajú na rast a produkciu drevín (HLÁSNY et al., 2011). Naproti tomu nižšia dostupnosť vody v spojitosti s vyššími teplotami môže vystupovať ako limitujúci faktor pre tie dreviny, ktoré sa vyskytujú na spodnej hranici svojej ekologickej amplitúdy.

Buk lesný (*Fagus sylvatica* L.) sa zaraďuje medzi hlavné a hospodársky významné dreviny v európskych lesoch. Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike za rok 2014 udáva zastúpenie buka na úrovni 33% z celkovej výmery lesov (ZELENÁ SPRÁVA 2015). LINDNER et al. (2010) považujú buk na rozdiel od smreka za perspektívnejší druh v meniacich sa bioklimatických podmienkach Európy. Avšak viacero autorov je názoru, že je relatívne citlivý na sucho (KÖCHER, 2009; LEUSCHNER, 2009). Výskumy v nižších polohách rozšírenia buka potvrdzujú tieto tvrdenia a naznačujú, že buk je senzitívny na veľmi suché roky s následkom jeho odumierania (PEÑUELAS et al., 2007; MÁTYÁS et al., 2010). Na citlivosť voči extrémnym a dlhotrvajúcim suchám v dôsledku prebiehajúcich klimatických zmien upozornili rovnako GESSLER et al. (2007) a GRANIER et al. (2007).

V súčasnosti nie je ucelená báza poznatkov o prírastkových reakciách buka pozdĺž gradientu nadmorskej výšky. Preto cieľom práce je kvantifikovať radiálne prírastkové reakcie buka na recentné zmeny klímy podľa lesných vegetačných stupňov (lvs) so zámerom pripraviť koncepčné návrhy a implementovať ich do hospodárskej úpravy lesov a pestovania lesov.

## 2 MATERIÁL A METÓDY

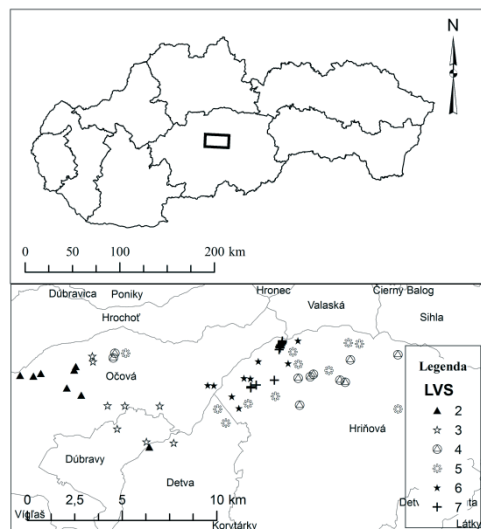
### 2.1 Charakteristika skúmaného územia

Zber empirického materiálu sa realizoval v lesných porastoch patriacich do orografického celku Poľana v rokoch 2012 a 2013 (obr. 1).

Na základe geomorfologického členenia Slovenskej republiky patrí Poľana do oblasti Slovenského stredohoria a provincie Západných Karpát (MAZÚR, LUKNIŠ, 1986). Poľana predstavuje pozostatok silne erodovaného stratovulkánu, ktorý hraničí na západe so Zvolenskou kotlinou, na juhozápade až juhu so Slatinskou kotlinou, na severe a východe s Veporskými vrchmi. Najvyššie položený bod dosahuje nadmorskú výšku 1458 m n. m.

Územie charakterizuje výrazná vertikálna stupňovitosť vegetácie s výškovým rozpätím takmer 1000 m. Geologickú stavbu charakterizuje striedanie odolných andezitových





Obr. 1 Lokalizácia záujmového územia a miesta odberu vzoriek podľa lvs  
 Fig. 1 Location of the study area with sampling points according to forest vegetation zones  
 Zdroj: shp. vrstvy SR: <https://www.geoportal.sk/sk/kataster-nehnutelnosti/na-stiahnutie/>

a ryolitových prúdov s vrstvami menej odolných tufov a tufitov. Prevládajúci pôdny typ je andozem na neovulkanitoch. Za mierne teplú klimatickú oblasť sa vyznačuje územie s hornou hranicou nadmorskej výšky 700 – 800 m. Nad touto hranicou prináleží územie do mierne chladnej a chladnej oblasti, pričom do horskej studenej klímy patria iba vrcholové partie Poľany. Priemerné januárové teploty sa pohybujú od  $-5$  do  $-4$  °C a priemerné júlové teploty od 16 do 18 °C. Pre vrcholové časti Poľany sú príznačné priemerné januárové teploty  $-7$  až  $-5$  °C a priemerné júlové teploty 11,5 – 13,5 °C. Priemerný ročný úhrn zrážok je 900 – 1000 mm (KOLEKTÍV, 2002). Nachádza sa tu pestrý komplex lesov od dubín, cez jedľové bučiny až po prirodzené vrcholové smrečiny s výskytom skoro všetkých lesných vegetačných stupňov, t.j. od bukovo-dubového po smrekový lvs.

## 2.2 Stanovenie počtu výberových porastov, plôch a vývrtov

Výskum bol založený na výberovom reprezentatívnom prieskume rastu buka podľa lvs tvoriacich výškový vegetačný gradient. Výber sa uskutočnil pomocou umiestnenia 10-stromových pokusných plôch s variabilnou výmerou do vhodných výberových porastov. Primárnu výberovú jednotku pre dendrochronologické analýzy tvoril stredný a horný kmeň identifikovaný na ploche porastu podľa Weisseho pravidla (šiesty strom od najtenšieho – stredný kmeň) alebo ako najhrubší strom zo všetkých 10-tich (odpovedajúci 95 % kvantilu rozdelenia hrúbkových početností – horný kmeň). Tab. 1 zachytáva počet výberových stanovišť a odobraných prírastkových vývrvtov v členení podľa lvs a kategórie stromov.

Tab. 1 Počet výberových stanovišť a vývrtov podľa lvs a kategórie stromov  
 Table 1 Number of sampling sites and increment cores per forest vegetation zones and tree category

<sup>1</sup> lvs	<sup>2</sup> Počet výberových stanovišť	<sup>3</sup> Kategória stromov	<sup>4</sup> Počet vývrtov	<sup>5</sup> Spolu za lvs	<sup>6</sup> Nadmorská výška (m n. m.)
2	8	<sup>7</sup> D <sup>8</sup> W	8 8	16	500 – 626
3	8	D W	8 8	16	517 – 742
4	10	D W	10 10	20	819 – 1026
5	11	D W	11 11	22	652 – 1215
6	9	D W	9 9	18	1146 – 1276
7	14	D W	14 4	18	1288 – 1393
Celkom:	60			110	

<sup>1</sup>Forest vegetation zone, <sup>2</sup>Number of sampling sites, <sup>3</sup>Tree category, <sup>4</sup>Number of increment cores, <sup>5</sup>Total number of increment cores per FVZ, <sup>6</sup>Altitude, <sup>7</sup>D – dominant tree (horný kmeň), <sup>8</sup>W – Weiss tree (stredný kmeň)

Zásadnou metodickou otázkou celého prieskumu bolo preto stanovenie potrebného počtu porastov, pokusných plôch, a tým aj počtu vývrtov na záujmovom území podľa jednotlivých lvs. Cieľom bolo zostaviť priemernú prírastkovú krivku buka v konkrétnom lvs so zvolenou presnosťou  $\pm 10\%$  a spoľahlivosťou 95%. Výber lesných porastov sa uskutočnil pomocou PPS výberu, pričom za váhy sa použili výmera porastu a zastúpenie dreviny. Počet plôch v rámci porastu a počet porastov sa napokon stanovil podľa zásad a vzorcov platných pre jednostupňový výber (ŠMELKO, 2007). Vyseletovali sa porasty staršie ako 80 rokov semenného pôvodu prevažne s južnou expozíciou na živných stanovištiach so zastúpením buka nad 10%.

### 2.3 Terénne merania, odber a spracovanie dendrochronologického materiálu

Od hranice výberového porastu sa urobilo 50 alebo 100 krokov smerom do jeho stredu. Na meračskom bode sa zamerali GPS súradnice, nadmorská výška, sklon a expozícia svahu. Urobila sa selekcia 10 najbližších stromov buka a podľa Weisseho pravidla sa určil stredný (6. najhrubší) a horný kmeň (10. najhrubší strom). Taxačnou priemerkou sa zmerali hrúbky stromov v  $d_{1,3}$ , príp. najhrubšie stromy pomocou obvodomeru. Výška stredného a horného kmeňa sa odmerala výškomerom Vertex. Kruhovú základňu dreviny na hektár sa zistila pomocou zrkadlového relaskopu. Presslerovým nebožiecom sa odobral 1 prírastkový vývrt zo stredného i horného kmeňa vo výške 1,3 m pod 45° uhlom voči

spádnicí terénu, striedavo strom od stromu z ľavej a pravej strany so snahou vyhnúť sa reálnemu drevu. Vývrty sa nalepili do drevených stojanov s vyfrézovanými drážkami šírky 5 mm a hĺbky 2 mm. Ďalšie spracovanie extrahovaných vývrtov sa riadilo podľa všeobecných zásad a postupov uplatňovaných v dendrochronológii (COOK, KAIRIUKSTIS, 1990). Ročné radiálne prírastky sa merali na digitálnom poziciometri s presnosťou  $\pm 0,01$  mm. Údaje o ročných prírastkoch sa zaznamenávali v programe DAS (Dendrochronological Analysis System), v ktorom sa vykonala grafická synchronizácia. Kvalita synchronizácie sa napokon preverila v programe COFECHA (HOLMES, 1983).

## 2.4 Modelovanie hrúbkových prírastkov v rastovom simulátore Sibyla

Pomocou modelu Sibyla sa simuloval rast skutočných porastov podľa jednotlivých lvs. V module **Generátor** sa vygenerovali pre každý porast 3 štruktúry na ploche 0,36 hektára. Vstupné porastové údaje (stredná hrúbka, stredná výška a zásoba dreveniny) sa dopočítali pomocou rastových tabuliek pre združený porast. Vek skutočných porastov sa znížil o 53 rokov a zároveň sa tým nastavil začiatok simulácie od roku 1960. Skutočné zastúpenie drevín sa odvodilo z kruhovej základne. Pre každú drevinu sa vybrala priemerná zásobová úroveň. Štruktúry boli napokon vygenerované pre 6 období s dĺžkou periódy 10 rokov. V module **Lokalizátor** sa na základe stanovištných údajov z terénnych meraní vykonal prevod nepriamej bonitácie na priamu. Takto zistené hodnoty vstupných veličín pre priamu bonitáciu sa ďalej spresnili úpravou hodnôt priemernej teploty vzduchu a zrážok vo vegetačnom období tak, aby bonita dreveniny bola rovnaká ako údaj uvedený v programe starostlivosti o lesy. V rámci modulu **Kultivátor** sa nastavila pre väčšinu porastov a dreveniny podúrovňová prebierka. Sila prebierky sa zadala cez konštantu, a to znížením zakmenenia združeného porastu na 0,9. Marginálne existenčné skóre sa nastavilo na hodnotu 0,9. V prípade, že buk mal na simulačnej ploche nízke zastúpenie a nachádzal sa zväčša v podúrovni, zvolila sa metóda budúcich rubných stromov (BRs). Rozostup BRs sa nastavil na hodnotu 7 m a stupeň pomoci BRs na hodnotu 2. Bez zásahu sa simulovali tie porasty, ktoré sa nachádzali na území Národnej prírodnej rezervácie Zadná Poľana. Cez modul **Prorok** sa postupne vygenerovali plochy všetkých lesných porastov za konštantných klimatických podmienok podľa lvs za obdobie 60 rokov. Počet opakovaní rastovej prognózy sa nastavil na hodnotu 3. Následne sa z výstupného súboru PRO-ROK.dbf pre každý virtuálny porast vybralo 10 najbližších stromov a zistili sa informácie o stredných a horných kmeňoch. Verifikácia modelu sa vykonala na perióde 1961 – 1990 (referenčné obdobie) pri porovnaní prírastkov skutočných stromov s modelovými a zistilo sa vychýlenie (bias) modelu. Odstránenie biasu z modelu sa docielilo úpravou informácií o každoročnom raste stredných a horných kmeňov uložených vo výstupe modulu **Prorok** (FABRIKA, PRETZSCH, 2011).

## 2.5 Kvantifikácia prírastkových zmien

Kvantifikácia prírastkových zmien buka sa uskutočnila na základe rozdielu priemerných hodnôt skutočných a modelových radiálnych prírastkov v porovnávacom období 1991 – 2012 podľa lvs a kategórie stromov. Výsledky simulácii sa ďalej analyzovali v programe STATISTICA a MS Excel. Vypočítali sa štatistické charakteristiky a pomocou dvojvýberového t-testu sa preverila nulová hypotéza o zhode stredných hodnôt skutočných a modelových prírastkov.

## 3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

V rastovej oblasti Poľana sa založilo na výškovom vegetačnom gradiente 60 výberových stanovišť a odobralo celkovo 110 prírastkových vývrtov buka podľa lvs. Tab. 2 znázorňuje základné štatistické charakteristiky prírastkov a výsledky testovania nulovej hypotézy o zhode stredných hodnôt v dvoch základných súboroch podľa lvs.

Tab. 2 Štatistické charakteristiky skutočných a modelových radiálnych prírastkov podľa lvs pre periódu 1991 – 2012

Table 2 Descriptive statistics of real and model radial increments per FVZ for the period 1991 – 2012

<sup>1</sup> lvs	<sup>2</sup> Druh prírastku	<sup>3</sup> $\bar{t}_r$ (v st. mm)	<sup>4</sup> Rozdiel (%)	<sup>5</sup> $s_x$ (%)	<sup>6</sup> t	<sup>7</sup> p-hodnota
2	<sup>8</sup> Realita <sup>9</sup> Model	223,0 274,3	-23,0	16,1 4,3	-6,27	<0,001
3	Realita Model	207,4 230,6	-11,2	17,9 4,4	-2,68	0,014
4	Realita Model	161,9 184,0	-13,7	14,1 5,9	-4,00	0,001
5	Realita Model	180,3 178,3	1,1	20,7	0,29	0,776
6	Realita Model	114,2 112,9	1,1	19,5 4,8	0,25	0,808
7	Realita Model	150,3 127,2	15,4	25,1 5,2	2,66	0,015

<sup>1</sup>Forest vegetation zone, <sup>2</sup>Type of increment, <sup>3</sup>Mean radial increment in hundredths of millimeter, <sup>4</sup>Difference, <sup>5</sup>Coefficient of variation, <sup>6</sup>t-value, <sup>7</sup>p-value, <sup>8</sup>Real, <sup>9</sup>Model

Tu si môžeme všimnúť, že priemerné skutočné radiálne prírastky buka sú menšie v 2. až 4. lesnom vegetačnom stupni ako predpovedal rastový simulátor Sibyla pri nezmenenej klíme. Rozdiel skutočných a modelových prírastkov je signifikantný ( $p < 0,05$ ). Najväčší pokles v produkcii (-23%) môžeme pozorovať v 2. lvs. Na druhej strane nesignifikantný

rozdiel prírastkov je zaznamenaný v 5. a 6. lvs. Pri hornej hranici rozšírenia buka pozorujeme signifikantne zlepšený rast (15,4 %), čo môžeme prisúdiť zvýšeným teplotám vzduchu vo vyšších nadmorských výškach (HLÁSNY et al., 2011). Práve teplota vzduchu je limitujúcim faktorom pre rast buka v týchto nadmorských výškach. Naopak, v nižších nadmorských výškach sú pre buk limitujúcim faktorom zrážky. Detailnejšie výsledky podľa kategórií stromov a lvs podáva tab. 3.

Tab. 3 Štatistické charakteristiky skutočných a modelových radiálnych prírastkov podľa kategórie stromov a lvs pre periódu 1991 – 2012

Table 3 Descriptive statistics of real and model radial increments per FVZ for the period 1991 – 2012

<sup>1</sup> lvs	<sup>2</sup> Kat. stromov	<sup>3</sup> Druh prírastku	<sup>4</sup> $\bar{t}_r$ (v st. mm)	<sup>5</sup> Rozdiel (%)	<sup>6</sup> $s_x$ % (%)	<sup>7</sup> t	<sup>8</sup> p-hodnota
2	D <sup>9</sup>	Realita <sup>11</sup> Model <sup>12</sup>	225,4 316,3	-40,3	18,2 6,2	-9,6	<0,001
3	D	Realita Model	226,0 249,5	-10,4	21,1 5,3	-2,2	0,037
4	D	Realita Model	198,6 224,1	-12,8	15,3 7,9	-3,4	0,003
5	D	Realita Model	184,4 206,6	-12,1	17,7 7,5	-2,8	0,011
6	D	Realita Model	95,8 99,2	-3,6	24,0 6,4	-0,6	0,528
7	D	Realita Model	154,2 127,1	17,6	26,0 6,5	3,0	0,008
2	W <sup>10</sup>	Realita Model	220,6 232,3	-5,3	16,4 6,9	-1,2	0,234
3	W	Realita Model	188,9 211,7	-12,1	14,9 6,4	-3,1	0,005
4	W	Realita Model	125,1 144,0	-15,1	14,1 7,9	-4,3	<0,001
5	W	Realita Model	176,2 150,0	14,9	15,9 7,8	3,7	0,001
6	W	Realita Model	130,6 125,1	4,2	18,2 7,8	1,0	0,330
7	W	Realita Model	137,2 127,4	7,1	28,1 11,6	1,0	0,335

<sup>1</sup>Forest vegetation zone, <sup>2</sup>Tree category, <sup>3</sup>Type of increment, <sup>4</sup>Mean radial increment in hundredths of millimeter, <sup>5</sup>Difference, <sup>6</sup>Coefficient of variation, <sup>7</sup>t-value, <sup>8</sup>p-value, <sup>9</sup>D – dominant tree (horný kmeň), <sup>10</sup>W – Weiss tree (stredný kmeň), <sup>11</sup>Real, <sup>12</sup>Model

Z tab. 3 je zjavné, že dominantné jedince buka reagujú oveľa citlivejšie na recentnú zmenu klímy ako stredné kmene. Tieto rozdiely súvisia s biosociologickým postavením stromov v poraste. Dominantné jedince predstavujú nadúrovňové stromy v poraste a stredné kmene zase stromy úrovňové. V období vegetácie dopadá viac slnečného žiarenia na koruny nadúrovňových stromov, pričom intenzita transpirácie je vyššia. Signifikantné zníženie produkcie dominantných jedincov je najvýraznejšie v 2. lvs na úrovni -40,3%. Negatívny dopad recentnej zmeny klímy na rast sa významne prejavil v 3. – 5. lvs. Dominantné jedince buka si bez výraznejších zmien zachovávajú svoju produkciu iba v 6. lvs. Naproti tomu, priaznivejšie podmienky pre ich rast sa vytvorili v 7. lvs. Pri stredných kmeňoch je situácia podobná v 3. a 4. lvs. Zaujímavosťou je, že rastový simulátor predpovedal v 5. lvs menej vhodné podmienky pre rast stredných kmeňov ako je tomu v skutočnosti. Predpokladá sa, že mikroklíma vo vnútri porastu pozitívne ovplyvňuje viac stredné než horné kmene. V ostatných vegetačných stupňoch, t.j. v 2., 6. a 7. je rozdiel v produkcii nesignifikantný.

V porovnaní s referenčným obdobím 1961 – 1990 sa do roku 2100 predpokladá 10 % pokles úhrnu zrážok na väčšine územia Slovenska. Zvýšenie frekvencie výskytu extrémnych období sucha bude predstavovať citelné riziko pre lesy v nižších a stredných polohách (HLÁSNY et al., 2014). Vplyvom klimatickej zmeny pravdepodobne dôjde tiež k zvýšeniu výskytu biotických a abiotických disturbancií čo môže spôsobiť značné poškodenie lesných ekosystémov (LINDNER et al., 2010). Na základe rastových simulácií do konca tohto storočia sa predpokladá, že buk bude z nižších lvs postupne vytláčaný dubom do lvs vyšších, kde bude vytvárať silný konkurenčný tlak pre ostatné dreviny, napr. smrek (ČABOUNA et al., 2008; HLÁSNY et al., 2011). Podľa ČABOUNA et al. (2008) sa dá očakávať expanzia buka v 5. – 7. lvs na úkor smrekových porastov.

#### 4 ZÁVER

Problematika zmeny klímy sa dotýka všetkých odvetví ľudskej činnosti, lesné hospodárstvo nevyjimajúc. Moderné lesníctvo musí preto počítať s dopadmi klimatickej zmeny pri súčasnom zabezpečení tak produkčných, ako aj mimoprodukčných funkcií lesa.

V predloženom príspevku sa kvantifikoval vplyv recentnej zmeny klímy na rast bukových porastov v rastovej oblasti Poľana v periode 1991 – 2012. Z dosiahnutých výsledkov môžeme vyvodit' tieto predikcie možného vývoja:

- v dôsledku deficitu zrážok a pôdnej vlhky bude buk postupne nahrádzať dub v 2. a 3. lvs, pričom zvýšená mortalita buka povedie k možnému narušeniu celkovej stability lesných porastov,
- produkčné optimum buka sa bude posúvať do vyšších polôh,
- priaznivejšie podmienky pre rast a regeneráciu bukových porastov sa vytvoria v 5. – 7. lvs,
- na zmenu klímy reagujú citlivejšie nadúrovňové stromy,
- pravdepodobne celkovo poklesne produkcia bukových porastov na Slovensku.

Na základe uvedeného bude potrebné pri obnove a zakladaní lesných porastov v nižších nadmorských výškach uprednostňovať dreviny tolerantné voči suchu ako je napr. dub a cer na rozdiel od buka. Cieľom by malo byť postupné zvyšovanie druhovej a genetickej diverzity porastov. Pestovnými zásahmi zabezpečiť hrúbkovú a výškovú diferenciaciu porastov a zároveň sa týmto dosiahne aj zvýšenie ich statickej stability. Ak je to účelné, pre porasty na nepriaznivých stanovištiach vykonať prevod, resp. prebudovu. Keďže v práci sa analyzovala len drevina buk, bolo by vhodné preskúmať rastové reakcie ďalších hospodársky významných druhov drevín.

## Literatúra

- ALBERT, M., SCHMIDT, M. 2010. Climate-sensitive modelling of site-productivity relationships for Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and common beech (*Fagus sylvatica* L.). In *Forest Ecology and Management*. 2010, vol. 259, no. 4, p. 739–749.
- ALLEN, C. D., MACALADY, A. K., CHENCHOUNI, H., BACHELET, D., MCDOWELL, N., VENNETIER, M., KITZBERGER, T., RIGLING, A., BRESHEARS, D. D., HOGG E. H., GONZALEZ, P., FENSHAM, R., ZHANG, Z., CASTRO, J., DEMIDOVA, N., LIM, J.-H., ALLARD, G., RUNNING, S. W., SEMERCI, A., COBB, N. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. In *Forest ecology and management*. 2010, vol. 259, no.4, p. 660–684.
- COOK, E. R., KAIRIUKSTIS, L. A. 1990. *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher. 1990. 394 pp.
- ČABOUN, V., MINĎÁŠ, J., PRIWITZER, T., ZÚBRİK, M., MORAVČÍK, M. 2008. *Vplyv globálnej klimatickej zmeny na lesy Slovenska: záverečná správa*. Zvolen: NLC-LVÚ, 2008. 579 s.
- FABRIKA, M., PRETZSCH, H. 2011. *Analýza a modelovanie lesných ekosystémov*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2011. 599 pp. ISBN 978-80-228-2181-0.
- GESSLER, A., KEITEL, C., KREUZWIESER, J., MATYSSEK, R., SEILER, W., RENNENBERG, H. 2007. Potential risks for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in a changing climate. In *Trees*. 2007, vol. 21, no. 1, p. 1–11.
- GRANIER, A., REICHSTEIN, M., BRÉDA, N., JANSSENS, I. A., FALGE, E., CIAIS, P., GRÜNWARD, T., AUBINET, M., BERBIGIER, P., BERNHOFER, C., BUCHMANN, N., FACINI, O., GRASSI, G., HEINESCH, B., ILVESNIEMI, H., KERONEN, P., KNOHL, A., KÖSTNER, B., LAGERGREN, F., LINDROTH, A., LONGDOZ, B., LOUSTAU, D., MATEUS, J., MONTAGNANI, L., NYS, C., MOORS, E., PAPALE, D., PEIFFER, M., PILEGAARD, K., PITA, G., PUMPANEN, P., RAMBAL, S., REBMANN, C., RODRIGUES, A., SEUFERT, G., TENHUNEN, J., VESALA, T., WANG, Q. 2007. Evidence for soil water control on carbon and water dynamics in European forests during the extremely dry year: 2003. In *Agricultural and Forest Meteorology*. 2007, vol. 143, no. 1, p. 123–145.
- HLÁSNY, T., BARCZA, Z., FABRIKA, M., BALÁZS, B., CHURKINA, G., PAJTÍK, J., SEDMÁK, R., TURČÁNI, M. 2011. Climate change impacts on growth and carbon balance of forests in Central Europe. In *Climate Research*. 2011, vol. 47, no. 3, p. 219–236.
- HLÁSNY, T., MÁTYÁS, C., SEIDL, R., KULLA, L., MERGANIČOVÁ, K., TROMBIK, J., DOBOR, L., BARCZA, Z., KONÔPKA, B. 2014. Climate change increases the drought risk in Central European forests: What are the options for adaptation?. In *Forestry Journal*. 2014, vol. 60, no. 1, p. 5–18.
- HOLMES, R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. In *Tree-Ring Bulletin*, 1983, vol. 43, no. 1, p. 69-78.
- IPCC. 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds. STOCKER, T. F. et al.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1535 pp.
- KOLEKTÍV 2002: *Atlas krajiny Slovenskej republiky*. 1. vyd. Bratislava: Ministerstvo životného prostredia SR; Banská Bystrica: Slovenská agentúra životného prostredia. 2002. 344 s.
- KÖCHER, P., GEBAUER, T., HORNA, V., LEUSCHNER, C. 2009. Leaf water status and stem xylem flux in relation to soil drought in five temperate broad-leaved tree species with contrasting water use strategies. In *Annals of Forest Science*. Springer Verlag (Germany). 2009, vol. 66, no. 1, p. 11.

- LEUSCHNER, C. 2009. Die Trockenheitsempfindlichkeit der Rotbuche vor dem Hintergrund des prognostizierten Klimawandels. In *Jahrbuch der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen*. 2009, p. 281–296.
- LINDNER, M., MAROSCHEK, M., NETHERER, S., KREMER, A., BARBATI, A., GARCIA-GONZALO, J., SEIDL, R., DELZON, S., CORONA, P., KOLSTRÖM, M., LEXER, M. J., MARCHETTI, M. 2010. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. In *Forest Ecology and Management*. 2010, vol. 259, no. 4, p. 698–709.
- MATALA, J., OJANSUU, R., PELTOLA, H., SIEVÄNEN, R., KELLOMÄKI, S. 2005. Introducing effects of temperature and CO<sub>2</sub> elevation on tree growth into a statistical growth and yield model. In *Ecological Modelling*. vol. 181, no. 2, p. 173–190.
- MÁTYÁS, C., BERKI, I., CZÚCZ, B., GÁLOS, B., MÓRICZ, N., RASZTOVITS, E. 2010. Future of beech in Southeast Europe from the perspective of evolutionary ecology. In *Acta Silvatica Lignaria Hungarica*. ISSN 1787-064X, 2010, vol. 6, p. 91–110.
- MAZÚR, E., LUKNIŠ, M. 1986. *Geomorfologické členenie SSR a ČSSR. Časť Slovensko. Mapa 1 : 500 000*. In *Mazúr, E. (ed.): Atlas SSR (mapová časť)*. Bratislava: Slovenská kartografia, 1986. p. 88.
- PEÑUELAS, J. 2007. Migration, invasion and decline: changes in recruitment and forest structure in a warming-linked shift of European beech forest in Catalonia (NE Spain). In *Ecography*. 2007, vol. 30, no. 6, p. 829–837.
- ŠMELKO, Š. 2007. *Dendrometria*. Zvolen: Vydavateľstvo TU vo Zvolene, 2007. 400 pp. ISBN 978-80-228-1828-5.
- ZELENÁ SPRÁVA 2015: Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike za rok 2014. [online]. Bratislava: Ministerstvo pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR. [cit. 2016-04-04]. Dostupné na internete: <http://www.mpsr.sk/index.php?navID=123&id=9795>.
- <https://www.geoportal.sk/sk/kataster-nehnutelnosti/na-stiahnutie/>

---

*Adresa autora:*

Ing. Vlastimil Murgas  
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

### **Growth response of European beech (*Fagus sylvatica* L.) to recent climate change in the Poľana growth area**

#### **Summary**

This paper presents an analysis of radial increment response of European beech (*Fagus sylvatica* L.) to recent climate change according to forest vegetation zones (FVZ). The objective was to prepare conceptual designs for forest management and silviculture. The research was conducted in 2012–2013 along an altitudinal gradient in the Poľana growth area. Forest stands were selected from the 2<sup>nd</sup> till the 7<sup>th</sup> FVZ in order to cover the ecological amplitude of selected tree species. Empirical material consisted of 110 increment cores taken from beech trees. The real and model radial increments of beech were compared in two time periods, i.e. reference period 1961–1990 and comparative period 1991–2012. Model radial increments were obtained by simulation of actual stands in tree growth simulator Sibyla, assuming unchanged climatic conditions. Quantification of dynamics and changes in growth of beech was done by subtracting mean model and real the increments during the period 1991–2012 per FVZ. The results show a slight growth deterioration of beech at lower altitudes and without significant changes in its growth optimum. By contrast, favorable conditions for beech growth are at higher altitudes.

**Key words:** beech, growth, increment, Sibyla, forest vegetation zone



## SYNTÉZA PROGRAMOVÝCH RIEŠENÍ NA PODPORU ROZHODOVANIA PRI HOSPODÁRSKO-ÚPRAVNÍCKOM PLÁNOVANÍ

Jozef VÝBOŠŤOK, Ján MERGANIČ, Ján BAHÝĽ

Výbošťok, J., Merganič, J., Bahýľ, J.: Syntéza programových riešení na podporu rozhodovania pri hospodársko-úpravníckom plánovaní. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, 58/1 2016, 173 – 185.

Forestry is very complex because of various social, ecological and economic aspects. Forests do not produce only wood, but they also provide a wide range of other products and services. This complexity is transferred to the process of objectivisation of forest management planning. Decision support systems (DSS) are modern tools that are used for these purposes. In the present work, we analyzed 69 DSS described in literature sources that are characterized by different levels of complexity. The analysis was based on six features that were combined in a simple decision graph, which can be used for the selection of an existing DSS that is suitable for solving a specific optimization problem. As a result of analysis of particular DSS, there is the practical possibility of applying some decision support systems just after the additional adaptation of their growth model according to the regional conditions of Slovakia. The conclusion of this paper is a recommendation and stimulation for a design of complex decision support system, which would consist of the existing growth simulator Sibyla, specially designed for growing conditions in Slovakia, and the optimization subsystem VisAn. The designed structure of DSS would provide an effective choice of optimal forest management according to the objectives and the empirical experience of the decision maker.

**Kľúčové slová:** DSS, zhluková analýza, lesníctvo, hospodárska úprava lesa

### 1 ÚVOD

Predmetom lesníckeho plánovania bola v minulosti najmä ťažbová úprava lesa. Počas vývoja hospodárskej úpravy lesov vznikalo viacero jej spôsobov riešenia, ktoré vychádzali z rôznych predpokladov a rôznych úpravníckych prvkov (ŽÍHLAVNÍK 2013). Zisťovanie ťažbových možností a riešenie ťažbovej regulácie bolo spočiatku založené na ploche a veku, neskôr sa zavádzajú ďalšie veličiny, ktorými je zásoba a prírastok. Na základe týchto veličín sa vykonávala ťažbová úprava od sústav lánových, cez sústavy staťové, až po sústavy vekových tried (HARTIG 1804; COTTA 1820; JUDEICH 1871).

V súčasnosti je hospodárska úprava lesov (HÚL) na Slovensku základným lesným manažmentom, ktorý navrhuje opatrenia a programy pre dosiahnutie funkčne integrovaného lesného hospodárstva. Hlavnou úlohou HÚL je plánovanie hospodárskych opatrení na určité obdobie v jednotkách priestorového rozdelenia lesa, vytyčovanie cieľov hospodárenia, sledovanie vplyvu stanovených úloh na plnenie všetkých funkcií lesa a zabez-

pečenie poslania lesného hospodárstva (ŽÍHLAVNÍK 2013). Hlavným výsledkom HÚL sú programy starostlivosti o les. Podľa zákona NR SR č.326/2005 Z. z. v znení neskorších predpisov v §40 ods. 1, možno program starostlivosti o les charakterizovať ako nástroj vlastníka, správcu a obhospodarovateľa lesa pre trvalo udržateľné obhospodarovanie lesa. Pri tvorbe programu starostlivosti o les dochádza k vysokému stupňu subjektivismu (MARUŠÁK et al. 2014). Použitím schematických a všeobecných postupov, ktoré boli koncipované pre väčšie súbory porastov v rámci rubnej doby, nemusí často dôjsť k optimálnemu spôsobu obhospodarovania konkrétneho porastu v dnes už značne zmenených vlastníkych pomeroch. V súčasnosti je okrem produkčnej funkcie lesa potrebné prihliadať aj na iné funkcie lesa, ako je ekologická a sociálna funkcia (REYNOLDS et al. 2008). Racionálne riešenie problémov zosúladenia jednotlivých funkcií musí byť vykonané počítačom, pretože ľudský mozog nie je schopný riešiť tak komplikované problémy. Práve preto sa ako vhodné javí využitie systémov na podporu rozhodovania (MARUŠÁK et al. 2014). V súčasnosti je vyvinutých minimálne 100 počítačových systémov na podporu rozhodovania (DSS) s rôznymi úrovňami prepracovanosti, ktoré sú využívané v mnohých krajinách (BORGES et al. 2014). Existuje niekoľko dôvodov, prečo sú tieto systémy v lesníctve tak populárne. Najdôležitejším dôvodom je skutočnosť, že lesné hospodárstvo je veľmi zložitá z dôvodu viacerých sociálnych, ekologických a ekonomických aspektov, pretože lesy produkujú nielen drevo, ale aj širokú škálu ďalších produktov a služieb. Lesné hospodárstvo je stále zložitejšie a to hlavne z dôvodu zvýšenia povedomia ľudí o potrebe trvalej udržateľnosti (HAHN, KNOKE 2010). S týmto faktom súvisí aj to, že potreba využívania pokročilejších systémov na podporu rozhodovania sa bude zvyšovať. Pojem udržateľnosť bol pôvodne viazaný len na produkciu dreva. Avšak po roku 1960 sa zvýšená pozornosť venovala multifunkčnému využívaniu lesov (BORGES et al. 2014). Nemôže byť pochýb o tom, že obhospodarovatelia lesov sa budú stále viac spoliehať na DSS za účelom vyváženía rôznorodých nárokov, ktoré sú v súčasnosti kladené na lesné ekosystémy.

V kontexte počítačovej vedy je DSS často definovaný ako softvérový systém založený na modely, ktorý obsahuje štyri komponenty (BURSTEIN, HOLSAPPLE 2008):

- I) jazykový systém, ktorý umožňuje používateľom komunikovať a používať DSS,
- II) prezentačný systém pre zobrazenie výstupov,
- III) poznávací systém pre ukladanie informácii o vstupe,
- IV) systém spracovania problémov.

Cieľom predkladaného príspevku je na báze rešeršných informácií vykonať analýzu vybraných dostupných systémov na podporu rozhodovania a posúdiť možnosti využitia existujúcich systémov DSS na Slovensku. Ďalším cieľom práce je navrhnúť odporúčanie a stimulovať k vytvoreniu komplexného systému DSS na Slovensku.

## 2 DÁTA A METODIKA

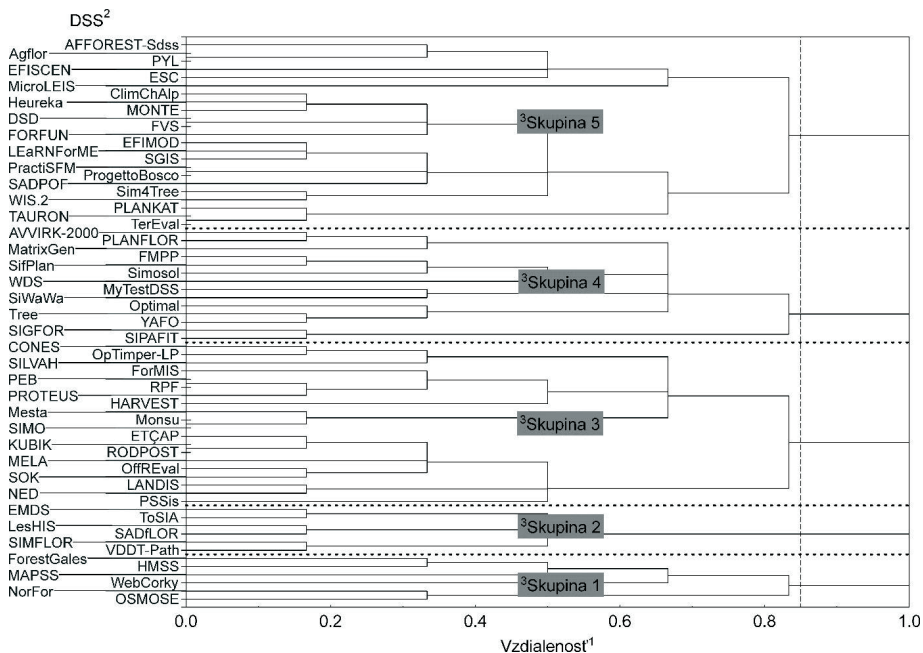
Dáta pre analýzu sme získali z rešerše literatúry a ďalších informačných zdrojov. Predmetom syntézy je 69 systémov na podporu rozhodovania, na ktorých sme hod-

notili 6 znakov: časové merítko, aspekty priestorovosti, priestorové merítko, dimenziu rozhodovania, dimenziu cieľov a dimenziu produktov. Pri časovom merítku rozhodovania sme rozlišovali 6 úrovní: systémy krátkodobé (K), strednodobé (S), dlhodobé (D) a tri prechodné formy, t.j. systémy krátkodobé až strednodobé (S/K), strednodobé až dlhodobé (S/D) a systémy, ktorými je možné rozhodovať na všetkých troch úrovniach (K/S/D). Aspekty priestorovosti rozhodovania boli posudzované na piatich úrovniach, t.j. systémy priestorové s uvažovaním susednosti (PS), systémy bez uvažovania susednosti (PN) a systémy nepriestorové (N). Rozlišovali sa aj dva prechodné typy a to systémy s možnosťou uvažovania alebo bez uvažovania susednosti (PS/PN) ako aj systémy použiteľné na všetkých troch úrovniach (PS/PN/N). Tretím znakom bolo priestorové merítko so šiestimi úrovňami hodnotenia a to systémy porastovej úrovne (P), systémy uceleného celku (C) a systémy regionálnej až národnej úrovne (R-N). Taktiež sa rozlišovali tri prechodné formy, t.j. systémy porastovej úrovne až celku (P/C), systémy celku až regionálno-národnej úrovne (C/R-N) a systémy, ktoré je možné využiť na všetkých úrovniach (P/C/R-N). Štvrtým znakom bola dimenzia rozhodovania, t.j. či je systém založený na báze jedného rozhodovateľa (J) alebo viacerých rozhodovateľov (V). Prechodnou formou sú systémy, kde môže vstupovať jeden alebo viacero rozhodovateľov (J/V). Piatym znakom bolo posudzovanie dimenzie cieľov, pri ktorom sme rozlišovali systémy zamerané na jeden cieľ (S) alebo viac cieľov (M). Prechodnou formou boli systémy, ktoré umožňujú pri rozhodovaní stanoviť jeden alebo viac cieľov (S/M). Posledným znakom bola dimenzia produktov, pri ktorom sme rozlišovali systémy zamerané na tržné (T) a netržné (N) produkty. Aj tu bola vylíšená jedna prechodná forma systémov použiteľných bez ohľadu na formu produktov (T/N) (obr. 2).

Pre analýzu podobnosti systémov sme použili zhukovú analýzu, pričom vytváranie skupín prebiehalo metódou hierarchického zhukovania. Za pravidlo zhukovania bola použitá metóda úplného spojenia a za mieru vzdialenosti sa použilo pravidlo percentuálnej nezhody, ktoré sa odporúča, ak sú dáta kategorickej povahy (StatSoft, Inc. 2011).

## **2.1 KLASTROVÁ ANALÝZA HODNOTENÝCH DSS**

Výsledkom klastrovej analýzy je zatriedenie systémov na podporu rozhodovania do 5 kategórií podobnosti na základe 6 posudzovaných znakov (obr. 1).



Obr. 1 Diagram hierarchického zhlukovania analyzovaných DSS.

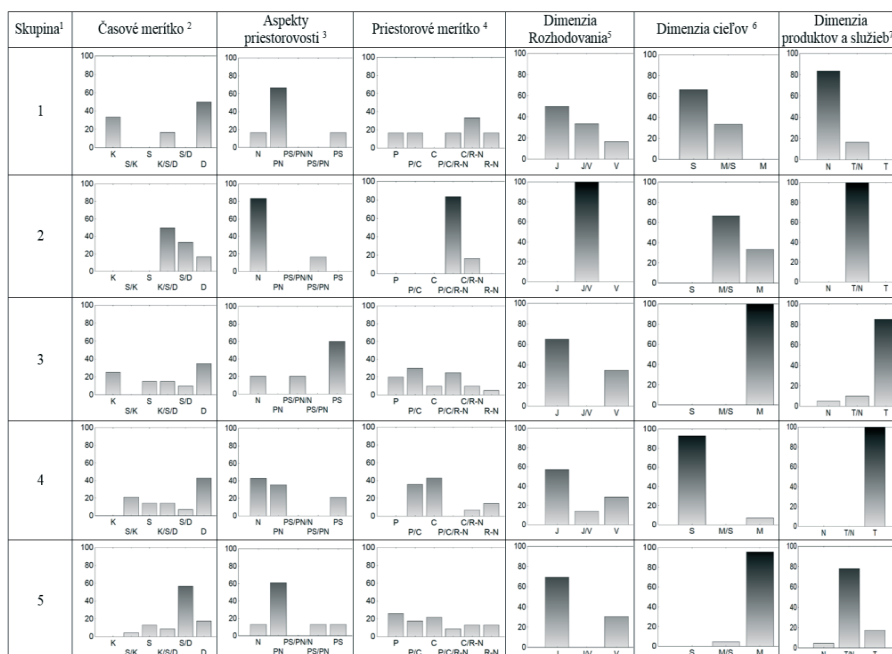
Fig. 1 Diagram of hierarchical clustering of analysed DSS.

Legend: 1 – Distance, 2 – Name of decision support system, 3 – group

Short name of DSS: AFFOREST-Sdss (Gilliams et al. 2004), Agflor (Borges et al. 2010), AV-VIRK-2000 (Eid, Hobbelstad 2000), ClimChAlp (Vacik et al. 2010), CONES (Vacik et al. 2004), DSD (Lexer et al. 2005), EFIMOD (Komarov et al. 2003), EFISCEN (Schelhaas et al. 2007), EMDS (Emds 2015), ESC (Pyatt et al. 2001), ETCAP (Başkent et al. 2008), FMPP (Jonsson et al. 1993), ForestGales (Gardiner et al. 2006), FORFUN (Portoghese et al. 2013), ForMIS (ForestDSS 2015), FVS (Gary 2002), HARVEST (Nrs 2015), Heureka (Lâmas 2010), HMSS (Forestry 2015), KUBIK (ForestDSS 2015), LANDIS (Scheller et al. 2007), LEaRNForME (Andrenelli et al. 2007), LesHIS (Fabrika 1998), MAPSS (Bachelet et al. 1998), MatrixGen (ForestDSS 2015), MELA (Redsven et al. 2007), Mesta (Hiltunen et al. 2009), MicroLEIS (De la Rosa et al. 2004), Monsu (Pukkala 2004), MONTE (Palahi et al. 2004), MyTestDSS (ForestDSS 2015), NED (Twery et al. 2011), NorFor (Sjolie et al. 2011), OffREval (Eichrodt, Heinimann 2001), Optimal (Marušák et al. 2015), OpTimper-LP (Optimber 2015), OSMOSE (Meyer et al. 2011), PEB (ForestDSS 2015), PLANFLOR (Unisoma 2015), PLANKAT (ForestDSS 2015), PractiSFM (ForestDSS 2015), ProgettoBosco (Ferretti et al. 2011), PROTEUS (ForestDSS 2015), PSSis (Marques et al. 2010), PYL (Fürst et al. 2013), RODPOST (ForestDSS 2015), RPF (Neuroforest 2015), SADfLOR (Barreiro et al. 2013), SADPOF (Marques et al. 2011), SGIS (Naesset 1997), SifPlan (Taube, n. 1989), SIGFOR (ForestDSS 2015), SILVAH (Brose et al. 2008), Sim4Tree (Dalemans et al. 2015), SIMFLOR (Faías et al. 2012), SIMO (Simo 2015), Simosol (Vastaranta 2011), SIPAFIT (Bernetti 2009), SiWaWa (Schütz, Zingg, 2007), SOK (ForestDSS 2015), TAURON (ForestDSS 2015), TerEval (ForestDSS 2015), ToSIA (Tuomasjukka et al. 2013), Tree (Gobakken et al. 2008), VDDT-Path (Shlisky 2011), WDS (ForestDSS 2015), WebCorky (Almeida et al. 2010), WIS.2 (ForestDSS 2015), YAFO (Härtl et al. 2013)

Do prvej skupiny bolo zaradených 6 DSS: ForestGales, HMSS, MAPSS, NorFor, OSMOSE a WebCorky. Podľa obr. 2 a 3 ide o systémy, ktoré sa vyznačujú využitím v prípadoch, keď sú cieľom optimalizácie prevažne netržené produkty a služby s jedným cieľom

a ide o objekty bez priestorovej susednosti. Druhá skupinu tvorí tiež 6 DSS, t.j. EMDS, LesHIS, SADFLOR, SIMFLOR, ToSIA a VDDT-Path. Z pohľadu dimenzie produktov a služieb a dimenzie rozhodovania sú tieto systémy univerzálne použiteľné prevažne v prípadoch, keď objekty nevykazujú priestorové súvzťažnosti, a ide skôr o systémy pre dlhodobé prognózy. Tretiu skupinu tvorí 20 systémov: CONES, ETÇAP, ForMIS, HARVEST, KUBIK, LANDIS, MELA, Mesta, Monsu, NED, OffREval, OpTimper-LP, PEB, PROTEUS, PSSis, RODPOST, RPF, SILVAH, SIMO a SOK. Ide o systémy, ktoré sa prevažne využívajú pri multicieľovom rozhodovaní najmä o tržných produktoch a službách v rámci objektov, pri ktorých sú priestorové súvzťažnosti známe alebo sa vyžaduje ich zohľadnenie. Štvrtú skupinu tvorí 14 systémov: AVVIRK-2000, FMPP, MatrixGen, MyTestDSS, Optimal, PLANFLOR, SifPlan, SIGFOR, Simosol, SIPAFIT, SiWaWa, Tree, WDS a YAFO. Tieto systémy sa využívajú najmä v rozhodovacích procesoch orientovaných na tržné produkty a služby pri optimalizácii jedného cieľa. Piatu najrozsiahljšiu skupinu tvorí 23 systémov: AFFOREST-Sdss, Agflor, ClimChAlp, DSD, EFIMOD, EFISCEN, ESC, FORFUN, FVS, Heureka, LEaRNForME, MicroLEIS, MONTE, PLAN-KAT, PractiSFM, ProgettoBosco, PYL, SADPOF, SGIS, Sim4Tree, TAURON, TerEval a WIS.2. Ide o skupinu systémov využiteľných pri multicieľovom rozhodovaní prevažne v dlhodobom horizonte a oproti skupine 3 v situáciách, kedy nie sú informácie o priestorovej súvzťažnosti objektov.



Obr. 2 Frekvencia úrovni hodnotených znakov v jednotlivých skupinách.

Fig. 2 The frequency level of evaluated characteristics in individual groups.



Legenda: 1 – Aspekt priestorovosti (N – systémy nepriestorové, PS – systémy priestorové s uvažovaním susednosti), 2 – Dimenzia produktov (T – tržné, N – netržné), 3 – Dimenzia rozhodovania (J – jeden rozhodovateľ, V – viacerých rozhodovateľov), 4 – Priestorové merítko (P – porastová úroveň, R–N – národná úroveň), 5 – Časové merítko (K – krátkodobé, D–dlhodobé), 6 – Dimenzia cieľov (S – jeden cieľ, M – viac cieľov)

Legend: 1 – Spatial context (N – non-spatial systems, PS – spatial systems considering neighbourhood), 2 – Goods and services dimension (T – market, N – non-market), 3 – Decision making dimension (J – one decision maker, V – more decision makers), 4 – Spatial scale (P – stand scale, R–N – national scale), 5 – Temporal scale (K – short-term, D – long-term), 6 – Objectives dimension (S – one objective, M – more objectives)

Short name of DSS – as in Figure 1

### 3 ZÁVER

Na Slovensku v súčasnosti neexistuje komplexný systém na podporu rozhodovania, ktorý sa v zmysle teórie skladá zo 4 základných komponentov: z ucelenej databázy informácií o obhospodarovaní lesa, z rastového simulátora umožňujúceho simulovať rôzne spôsoby obhospodarovania lesa a zhodnotiť ich vplyv na rast lesa, z optimalizačného subsystému, ktorý slúži na identifikáciu optimálnych spôsobov obhospodarovania a napokon zo systému vizualizácie výsledkov optimalizácie. Namiesto komplexného systému na podporu rozhodovania existuje rad čiastkových DSS nástrojov potenciálne využiteľných ako moduly kompletného DSS (TUČEK et al. 2015). V predkladanej práci na báze syntézy literárnych zdrojov analyzujeme 69 DSS systémov, ktoré sa vyznačovali rôznym stupňom komplexnosti. Analýza na báze šiestich znakov vyústila do jednoduchého rozhodovacieho diagramu, ktorý môže byť využitý v procese výberu vhodného existujúceho DSS pri riešení určitého optimalizačného problému. Z analyzovaných DSS sa ako vhodné pre využitie na Slovensku javia systémy: Mela, EMDS, SadFlor, Optimal a Heureka. Z aspektu projekcie skóre analyzovaných DSS sa systémy Mela, EMDS a SadFlor nachádzajú v strede súradnicovej sústavy, to znamená, že sú univerzálnejšie aplikovateľné v rozhodovacom procese. Systémy Optimal a Heureka sa v rámci projekcie skóre nachádzajú v hornej polovici grafu, a teda sú orientované na jeden cieľ jedného rozhodovateľa a plánovanie na úrovni porastu. Avšak využitie uvedených systémov je možné len po ich parametrizácii, predovšetkým ich rastového modelu pre podmienky Slovenska.

Návrh tvorby nového komplexného systému DSS by mal pozostávať s využitia existujúceho rastového simulátora Sibyla, ktorý bol vytvorený pre rastové podmienky Slovenska. Rastový simulátor Sibyla dokáže predpovedať vývoj lesných porastov pri širokej palete variantných spôsobov obhospodarovania lesa (FABRIKA 2005). Alternatívne výsledky z rastového simulátora budú tvoriť základné vstupné údaje do optimalizačného programu napr. VisAn, ktorý na základe výstupných údajov zo simulácii, pri použití rôznych variantov obhospodarovania vytvorí interaktívnu rozhodovaciu mapu (IDM), ktorou aproximujeme množinu Pareto optimálnych riešení. Pod pojmom interaktívna rozhodovacia mapa rozumieme sériu dvojrozmerných grafov, ktoré zobrazujú vektory hodnôt indikátorov plnenia jednotlivých cieľov pri rôznych typoch obhospodarovania. Na základe grafu môže rozhodovateľ prehodnotiť dostupné optimálne riešenia, môže bilancovať výhody a nevýhody cieľov a posúdiť veľkosť vzájomných interakcií hodnôt indikátorov v rámci mno-



žiny optimálnych riešení. Množina optimálnych riešení poskytuje kombinácie cieľových hodnôt, ktorá rozhodovateľovi najviac vyhovuje, zhodnotí jednotlivé simulácie obhospodarovania a vyberie tú, ktorá sa nachádza najbližšie k stanovenému cieľovému vektoru, takto navrhnutý komplexný systém pre podporu rozhodovania by mohol významne zlepšiť proces plánovania a rozvoja lesného hospodárstva na Slovensku (SEDMÁK et al. 2013).

#### 4 Literatúra

- ALMEIDA A.M., TOMÉ J., TOMÉ M. 2010. Development of a system to predict the evolution of individual tree mature cork caliber over time. *Forest Ecology and Management*, 260 (8): 1303–1314.
- ANDRENELLI M.C., COLLE G., GALVAGNI D., GIANNETTI F., GREGORI E., SCRINZI G., ZORN G. Assessing the protective role of the forest cover against hydrogeological disturbances: a GIS-based tool for forest planning - IUFRO International Conference: „NATURAL HAZARDS AND NATURAL DISTURBANCES IN MOUNTAIN FORESTS“ - Trento, ITALY (September 18th-21th, 2007)
- BACHELET D., BRUGNACH M., NEILSON R. 1998. Sensitivity of a biogeography model to soil properties. *Ecological Modelling*. Volume 109, Issue 1, 1 June 1998, 77-98 p.
- BARREIRO S., GARCIA-GONZALO J., BORGES J., TOMÉ M., MARQUES S. 2013. SADfLOR Tutorial A Web-based Forest and Natural Resources Decision Support System. Work-in-progress. [PDF Document], FORCHANGE, ISA, Lisbon, Portugal, 39 p.
- BAŞKENT E. Z., BAŞKAYA Ş., TERZIOĞLU S. 2008. Developing and implementing participatory and ecosystem based multiple use forest management planning approach (ETÇAP): Yalnızçam case study. *Forest Ecology and Management*, 2008, 256.4: 798-807.
- BERNETTI I. 2009. L'impiego dei modelli multicriteriali geografici nella pianificazione territoriale. *Aestimum*, 2009, 41 p.
- BORGES P. J., FRAGOSO R., GARCIA-GONZALO J., BORGES G., MARQUES S., LUCAS M. 2010. Assessing impacts of Common Agricultural Policy changes on regional land use patterns with a decision support system: An application in Southern Portugal, *Forest policy and economics*, 12 (2): 111–120, DOI: 10.1016/j.forpol.2009.09.002
- BORGES J. G., NORDSTRÖM E. M., GARCIA-GONZALO J., HUJALA T., TRASOBARES A. 2014. Computer-based tools for supporting forest management. The experience and the expertise world-wide. Report of Cost Action FP 0804 Forest Management Decision Support Systems (FORSYS), ISBN 978-91-576-9236-8
- BROSE P. H., GOTTSCHALK K. W., HORSLEY S. B., KNOPP P. D., KOCHENDERFER J. N., MCGUINNESS B. J., STOUT S. L. 2008. Prescribing regeneration treatments for mixed-oak forests in the Mid-Atlantic region. *Gen. Tech. Rep. NRS-33*. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 100 p.
- BURSTEIN F., HOLSAPPLE C. W. 2008. *Handbook on decision support systems 1*. Berlin; London, Springer
- COTTA H. 1820. *Anweisung zur Forst-Einrichtung und Abschätzung*. Dresden: Arnold.
- DALEMANS F., JACXSENS P., ORSHOVEN J., KINT V., MOONEN P., MUYS B. 2015. Assisting Sustainable Forest Management and Forest Policy Planning with the Sim4Tree Decision Support System. *Forests* 2015, 6, 859-878 p.; DOI: 10.3390/f6040859
- DE LA ROSA D., MAYOL F., DIAZ-PEREIRA E., FERNANDEZ M. 2004. A land evaluation decision support system (MicroLEIS DSS) for agricultural soil protection: With special reference to the Mediterranean region. *Environmental Modelling & Software*, 19(10), 929-942.
- GARY E. D. 2002. *Essential FVS: A user's guide to the Forest Vegetation Simulator*. Internal Rep. Fort Collins, CO: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Management Service Center. 226 p. (Revised: February 25, 2015)
- EID T., HOBBELSTAD K. 2000. AVVIRK-2000 – A Large-scale Forestry Scenario Model for Long-term Investment, Income and Harvest Analyses. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15:472–482.
- EICHRODT A., HEINIMANN H. 2001. Mobility of Timber Harvesting Vehicles. In *Proceedings, The 24th Annual Meeting, The Council On Forest Engineering*



- EMDS 2015: Ecosystem management decision support, Accessed online 19.11.2015: <http://emds.mountain-viewgroup.com>
- FABRIKA M. 1998. Informačný systém užívateľa lesa ako nástroj optimálneho obhospodarovania lesov. In: Zborník z medzinárodnej vedeckej konferencie „Lesy a lesnícky výskum pre tretie tisícročie“, 11.-14.10.1998, s. 427-431
- FABRIKA M. 2005. Simulátor biodynamiky lesa SIBYLA, koncepcia, konštrukcia a programové riešenie. Habilitačná práca. Technická univerzita vo Zvolene, 238 s.
- FAIAS S. P., PALMA J. H. N., BARREIRO S. M., PAULO J. A., TOMÉ M. 2012. Resource communications. IMfLOR – platform for the Portuguese forest simulators. *Forest Systems* 21. 3. 2012 : 543 – 548
- FERRETTI F., DIBARI C., DE MEO I., CANTIANI P., BIANCHI M. 2011. ProgettoBosco, a Data-Driven Decision Support System for forest planning. *Mathematical and Computational Forestry & Natural-Resource Sciences (MCFNS)*, 3 (1), 27–35 p.
- FORESTDSS 2015: Forest Management Decision Support Systems, Accessed online 19.11.2015: [http://www.forestdss.org/wiki/index.php?title=Main\\_Page](http://www.forestdss.org/wiki/index.php?title=Main_Page)
- FORESTRY 2015: Hyllobius Management Support System, Accessed online 19.11.2015: <http://www.forestry.gov.uk/fr/INFD-6T6LP4>
- FÜRST C., FRANK S., WITT A., KOSCHKE L., MAKESCHIN F. 2013. Multi-criteria assessment of the effects of integrated land-use strategies on the provision of Ecosystem Services on regional scale, *Journal of Environmental Management*, Elsevier, SI RegioResources 2013
- GARDINER B., SUÁREZ J., ACHIM A., HALE S., NICOLL B. 2006. ForestGALES. A PC-based wind risk model for British Forests. User's Guide. Version 2.1. Forestry Commission
- GILLIAMS S., ORSHOVEN J., HANSEN K., SKOV-PETERSEN H., MUYS B. 2004. The AFFOREST-sDSS tutorial. K.U.Leuven, Laboratory for Forest, Nature and Landscape Research, Belgium and Forest & Landscape, Denmark
- GOBAKKEN T., LEXEROD N. L., EID T. 2008. A forest simulator for bioeconomic analyses based on models for individual trees. *Scandinavian Journal of Forest Research* 23 (3): 250-265.
- HAHN W. A., KNOKE T. 2010. Sustainable development and sustainable forestry: analogies, differences, and the role of flexibility. *European Journal of Forest Research* 129(5): 787-801.
- HARTIG G. 1804. Anweisung Zur Holzzucht Fuer Forster. Kessinger Publishing. 242 pg. ISBN-13: 978-1160790550
- HÄRTL F., HAHN A., KNOKE T. 2013. Risk-sensitive planning support for forest enterprises: The YAFO model. *Computers and Electronics in Agriculture*. 94: 58-70
- HILTUNEN V., KURTTILA M., LESKINEN P., PASANEN K., PYKÄLÄINEN J. 2009. Mesta: An internet-based decision-support application for participatory strategic-level natural resources planning. *Forest Policy and Economics* 11: 1-9
- JONSSON B., JACOBSSON J., KALLUR H. 1993. The Forest Management Planning Package. Theory and application. In *Studia Forestalia Suecica*. 189. 56 p.
- JUDEICH F. 1871. Die Forsteinrichtung. Facsimile Publisher (2015). 414 p.
- KOMAROV A., CHERTOV O., ZUDIN S., NADPOROZHSKAYA M., MIKHAILOV A., BYKHOVETS S., ZUDINA E., ZOUBKOVA. 2003. EFIMOD 2 - A model of growth and elements cycling in boreal forest ecosystems. *Ecological Modelling* 170 (2-3): 373-392
- LÄMÄS T. 2010. The Heureka Research Programme. Final Report for Phase 2, October 2005 – September 2009. [PDF Document] Print & Media, Umeå universitet 2007342. 2010. 122 p. <[http://mistra.org/download/18.28e913871380e4c8e6235f/1378682131627/Heureka\\_final\\_report.pdf](http://mistra.org/download/18.28e913871380e4c8e6235f/1378682131627/Heureka_final_report.pdf)>
- LEXER M., VÁCIK H., PALMETZHOFFER D., OITZINGER G. 2005. A decision support tool to improve forestry extension services for small private landowners in southern Austria. *Computers and Electronics in Agriculture* 49, 1: 81-102
- MARQUES A. F., BORGES J. G., SOUSA P., GONÇALVES L., DIAZ E., MOURA P., FERRINHO, M. 2011. Integrating harvest scheduling and timber assortment and assignment planning processes. An application to forest tactical planning by a pulpwood company in Portugal. *Forest Science*
- MARQUES A.F., BORGES J.G., SOUSA P., FONSECA M., GARCIA R., BATISTA G. 2010. Applying en-

- terprise architecture to the design of the integrated forest products supply chain management system. In: Varajão, Cunha M. (Eds.) Proceedings of the CENTERIS2010 Conference, Part II, CCIS 110, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010, p. 32-40.
- MARQUES A.F., BORGES J.G., SOUSA P., PINHO A. 2010. An enterprise architecture approach to forest management support systems design. An application to pulpwood supply management in Portugal. *European Journal of Forest Research* 130 (6): 935-948
- MARUŠÁK R., SEDMÁK R., HLÁSNÝ T., ZAHRADNÍK D., SUROVÝ P., ŠÁLEK L., KAŠPAR J., VOPĚNKA P., URBÁNEK V. 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.
- MARUŠÁK R., KAŠPAR J., VOPĚNKA P. 2015. Decision Support Systems (DSS) Optimal—A Case Study from the Czech Republic. *Forests* 2015, 6, 163-182 p. ISSN 1999-4907
- MEYER A., JACXSENS P., VAN ROMPAEY A., DECKERS S., SALOMEZ J., VAN ORSHOVEN J. 2011. OSMOSE: A conceptual and software framework to put soil data at work in land use planning. Saving our soil information in the digital era, p. 13-14
- NÆSSET E. 1997. A spatial decision support system for long-term forest management planning by means of linear programming and a geographical information system. *Scandinavian journal of forest research*, 1997, 12.1: 77-88.
- NEUROFOREST 2015: RPF, Accessed online 19.11.2015: <http://neuroforest.ucoz.com/index/rpf/0-8>
- NRS 2015: HARVEST, Accessed online 19.11.2015: <http://www.nrs.fs.fed.us/tools/harvest/>
- OPTIMBER 2015: OpTimber, Accessed online 19.11.2015: <http://www.optimber.com.br/>
- PALAHÍ M., PUKKALA T., TRASOBARES A. 2004. Presentación del sistema de planificación forestal MONTE. *Revista Montes* 4º Trimestre 2004, Nº 78 (In Spanish)
- PORTOGHESI L. 2013. FORFUN: a computerized tool to create a ranking of relative importance for forest functions at stand scale.
- PUKKALA T. 2004. Dealing with Ecological Objectives in the Monsu Planning System. *Silva Lusitana*, nº especial: 1 - 15, 2004, EFN, Lisboa. Portugal
- PYATT G., RAY D., FLETCHER J. 2001. An Ecological Site Classification for Forestry in Great Britain, Forestry Commission Bulletin 124, 2001.
- REDSVEN V., HIRVELÄ H., HÄRKÖNEN K., SALMINEN O., SIITONEN M. 2007. „MELA2007 Reference Manual“. Metsäntutkimuslaitos - The Finnish Forest Research Institute. 642 p.
- REYNOLDS K. M., TWERY M., LEXER M. J., VACIK H., RAY D., SHAO G., BORGES J. G. 2008. Decision Support Systems in Forest Management. In: Frada Burstein and Clyde W. Holsapple (eds.): *Handbook on Decision Support Systems 2 - Variations International Handbooks Information System 2*, Berlin Heidelberg, Springer, p. 499–533
- SCHELHAAS M. J., EGGERS J., LINDNER M., NABUURS G. J., PÄIVINEN R., SCHUCK A., VERKERK P. J., WERF D. C. V. D., ZUDIN S. 2007. Model documentation for the European Forest Information Scenario model (EFISCEN 3.1.3). *Alterra report 1559 and EFI technical report 26*. In: *Alterra and European Forest Institute, Wageningen and Joensuu*, p. 118
- SEDMÁK R., FABRIKA M., BAHÝL J., PÖBIŠ I., TUČEK J. 2013. 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
- SHELLER R. M., DOMINGO J. B., STURTEVANT B. R., WILLIAMS J. S., RUDY A., GUSTAFSON E. J., MLADENOFF D. J. 2007. Design, development, and application of LANDIS-II, a spatial landscape simulation model with flexible temporal and spatial resolution. *Ecological Modelling*. 3-4. 201: 409-419 p.
- SCHÜTZ J. P., ZINGG A. 2007. Zuwachsprgnose nach der sozialen Hierarchie im Entwicklungs- und Wachstumsmodell SiWaWa. *Jahrestagung*, 2007, 180-187.
- SHLISKY A., VANDENDRIESCHE D. 2011. Use of state-and-transition simulation modeling in National Forest planning in the Pacific Northwest, USA. *Proceedings of the First Landscape State-and-Transition Simulation Modeling Conference*. 2011
- SIMO 2015: Adaptable SIMulation and Optimization, Accessed online 19.11.2015: <http://www.simo-project.org/>

- SJØLIE H. K., LATTA G., GOBAKKEN T., SOLBERG B. 2011. NorFor - a forest sector model of Norway - Model overview and structure. INA fagrapport 18
- TAUBE N. 1989. Planflor: Sistema de Planejamento Florestal Otimizado. Campinas: SOMA Sistemas, Otimização e Matemática SA
- TUČEK J., SEDMÁK R., MAJLINGOVÁ A., SEDLIAK M., MARQUES S. 2015. Decision support systems in Slovak forestry planning: a review / Systémy na podporu rozhodovania v lesníckom plánovaní na Slovensku: prehľad Lesn. Cas. For. J., 61(2015) 19–30
- TUOMASJUKKA D., EDWARDS D., LINDNER M. 2013. A Concept for Testing Decision Support Tools in Participatory Processes Applied to the ToSIA Tool. Challenges 2013, 4 (1), p. 34-55
- TWERY M., KNOPP P., THOMASMA S., NUTE D. 2011. NED-2 User's Guide. Gen. Tech. Rep. NRS-85. Newtown Square, PA: U.S.Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 193 p.
- UNISOMA 2015: Casos em Celulose, Accessed online 19.11.2015: <http://www.unisoma.com.br/br/casos-celulose-3.php>
- VACIK H., LEXER M. J., PALMETZHOFFER D., STAMPFER K., LIMBECK-LILIENAU B. 2004. Application of the spatial decision support system CONES for the regeneration planning in mountain forests. Cable Yarding Suitable for Sustainable Forest Management, 23. sept. 2004, Idrija, Slovenia
- VACIK H., LEXER M. J., RAMMER W., SEIDL R., HOCHBICHLER E., STRAUSS M., SCHACHINGER C. 2010. ClimChAlp - a web-based decision support system to explore adaptation options for silviculture in secondary Norway spruce forests in Austria. In: Falcao, A., Rosset. C (Eds.), Proceedings of the Workshop on Decision Support Systems in Sustainable Forest Management. Lisbon, April 2010
- VASTARANTA M., HOLOPAINEN M., YU X., HYYPPÄ J., MÄKINEN A., RASINMÄKI J., HYYPPÄ H. 2011. Effects of individual tree detection error sources on forest management planning calculations. Remote Sensing, 3(8), 1614-1626
- ŽÍHLAVNÍK A. 2013. Hospodárska úprava lesov II. Technická univerzita vo Zvolene, 2013, 214 s. ISBN 978-80-228-2525-2
- Zákon NR SR o lesoch č. 326/2005 Z. z. v znení neskorších predpisov

---

## Pod'akovanie

Táto práca vznikla s podporou Agentúry na podporu výskumu a vývoja (grant APVV-15-0714, APVV-15-0265, APVV-0069-12, APVV-048-12), Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR (VEGA 1/0804/14) a programu Európskej únie pre podporu výskumu a inovácií Horizont 2020 (676754)

Adresa autorov:

Ing. Jozef Výboštok

doc. Ing. Ján Merganič, PhD.

Ing. Ján Bahýľ, PhD.

Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

Masarykova 24, 960 53 Zvolen,

e-mail:jozef.vybostok@tuzvo.sk

merganic@tuzvo.sk

jan.bahyl@tuzvo.sk

## Synthesis of software solutions for decision support in forest management planning

### Summary

At the present time, there is no comprehensive decision support system (DSS) in Slovakia, which consists of four basic components: a complex database of forest management information, the growth simulator reproducing the different methods of forest management and assessing their impact on forest growth, the opti-

mizing subsystem for identifying the optimal way of management, and finally visualization of the results of the optimization. The aim of this paper is the analysis of existing decision support systems on the basis of information retrieval and to make the evaluation and consideration of using particular DSS in Slovakia. The another goal is to provide a recommendation and stimulate the creation of a complex system of DSS in Slovakia. The data for the analysis was obtained from the literature search and other information sources. The object of the synthesis is 69 decision support systems on which we evaluated 6 basic features: temporal scale, spatial context, spatial scale, the dimension of decision making, the dimension of objectives and dimension of goods and services. To analyze the similarity of DSS we used cluster analysis and the formation of groups was carried out by the method of hierarchical clustering. For the amalgamation linkage rule, we used the complete linkage and distance measure was used by the rule of percent disagreement, which is recommended for analyzing the categorical data. The result of cluster analysis is the classification of DSS into 5 categories based on similarities of 6 assessed features. There are some analyzed DSS that seems to be suitable for use in Slovakia: Mela, EMDS, SadFlor, Optimal a Heureka. Decision support systems Mela, EMDS, and SadFlor are located in the center of the coordinate system in the 2D space projection score. It means that they are universally applicable in the decision-making process. DSS Optimal and Heureka are located in the upper half of the graph which means that they are focused on one goal of one decision maker at the level of the stand. However, the use of these systems is only possible after their parameterizations, particularly their growth model according to growing conditions in Slovakia. The design of formation of new complex DSS should consist of using the existing growth simulator Sibyla, which was created for growing conditions in Slovakia. Growth simulator Sibyla can predict the development of forest stands with a wide variety of different forest management methods. Alternatively, the results of the growth simulator will form the basis data inputs to the optimization program e.g. VisAn, whose outputs are two-dimensional graphs showing values of fulfilling the objectives of different types of forest management. This submitted design of complex DSS could significantly improve the process of planning and development of forestry in Slovakia.

SPONZORI 56. LESNÍCKEJ KONFERENCIE ŠVOČ



ZVÄZ SLOVENSKÝCH  
VEDECKOTECHNICKÝCH  
SPOLOČNOSTÍ

