

TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE

**VEDECKÉ PRÁCE LESNÍCKEJ FAKULTY
TECHNICKEJ UNIVERZITY VO ZVOLENE**

**SCIENTIFIC WORKS OF THE FACULTY
OF FORESTRY OF THE TECHNICAL UNIVERSITY IN ZVOLEN**

**TRAVAUX SCIENTIFIQUES DE LA FACULTÉ
DES FORÊTS DE L'UNIVERSITÉ TECHNIQUE DE ZVOLEN**

**WISSENSCHAFTLICHE ARBEITEN DER FORSTLICHEN
FAKULTÄT DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT IN ZVOLEN**

**ACTA
FACULTATIS
FORESTALIS
ZVOLEN
Slovakia**

**LI, Suppl. 1 – 2009
č. 1**

2009

VYDALA TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE

Editori:

Ing. Martin Lieskovský, PhD.
Prof. Ing. Rudolf Kropil, CSc.
Doc. Dr. Ing. Jaroslav Šálka
Doc. Ing. Dušan Gömöry, CSc.

Redakčná rada:

Prof. Ing. Rudolf Kropil, CSc. – predseda
Doc. Ing. Pavel Dvorščák, PhD.
Prof. Ing. Peter Garaj, CSc.
Doc. Ing. Juraj Gregor, CSc.
Prof. Ing. Iveta Hajdúchová, PhD.
Prof. Ing. Valéria Messingerová, CSc.
Prof. Ing. Ladislav Paule, PhD.
Prof. Ing. Milan Saniga, DrSc.
Doc. Dr. Ing. Jaroslav Šálka
Prof. Ing. Anton Žihlavník, CSc.
Prof. Ing. Štefan Žihlavník, CSc.

Vedecký redaktor:

Doc. Ing. Dušan Gömöry, CSc.

Posudzovatelia:

Ing. Milan Barna, PhD.
Ing. Michal Bugala, PhD.
Doc. Ing. Dušan Gömöry, CSc.
Doc. Ing. František Chudý, CSc.
Ing. Peter Jaloviar, PhD.
Mgr. Milan Koreň, PhD.
Ing. Stanislav Kucbel, PhD.
Ing. Diana Krajmerová, PhD.
Doc. Ing. Ivan Lukáčik, CSc.
Ing. Roman Longauer, CSc.
Doc. Dr. Ing. Jaroslav Šálka
Ing. Jozef Tajboš, CSc.
Ing. Marek Trenčiansky, PhD.
Ing. Vladimír Vician, PhD.

OBSAH – CONTENTS – INHALT

Jana Bakan: Štúdium genetickej diverzity diviaka lesného (<i>Sus scrofa</i>) v strednej a juhovýchodnej Európe	7
Martin Straka, Slavomír Find'o, Jozef Štofík, Ladislav Paule: Využitie vzoriek trusu a srsti pri štúdiu populácií medveďa hnedého	19
Veronika Kučerová: Genetická diferenciácia populácií jarabiny brekyňovej (<i>Sorbus torminalis</i> (L.) Crantz) v strednej a juhovýchodnej Európe	31
Tibor Jurga, Ivan Repáč: Účinky dezinfekcie a mykorizácie substrátu na vývin semenáčikov smreka obyčajného (<i>picea abies</i> [L.] karst.) effects of disinfection and mycorrhization of substrate on development of norway spruce (<i>picea abies</i> [L.] karst.) seedlings	41
Jozef Zrak, Peter Jaloviari: Svetelné pomery v bukovom prírodnom lese NPR Badín	55
Peter Glončák: Vplyv svetelných podmienok na variabilitu a diverzitu prízemnej vegetácie prírodných horských smrečín	69
Miroslav Balanda: Zhodnotenie produkčných pomerov prírodného zmiešaného lesa v NPR Hrončecký Grúň	85
Lenka Bakošová: Charakteristika metodického postupu pri hodnotení štruktúry, textúry, regeneračných procesov a zmien objemu mŕtveho dreva v NPR Rožok	95
Jozef Špišák, Martin Lieskovský: Zhodnotenie potenciálu a možností zakladania plantáží rýchlorastúcich drevín	105
Jozef Šadibol, Florián Becze: Posúdenie presnosti aerotriangulácie na základe známych údajov externej orientácie	115
Marek Faško, Andrej Trajtel: Presnosť GPS (GNSS) merania v reálnom čase v podmienkach lesného prostredia	127
Marián Bugoš, Miroslav Stanovský: Časová analýza operácii pri sústreďovaní dreva horským procesorom KONRAD MOUNTY 4000 pri odkrývaní Pustého hradu	137
Kristína Brezovská, Ján Holécy: Ocenenie rekreačnej funkcie lesov Vysokých Tatier metódou cestovných nákladov	151

ŠTÚDIUM GENETICKEJ DIVERZITY DIVIAKA LESNÉHO (*SUS SCROFA*) V STREDNEJ A JUHOVÝCHODNEJ EURÓPE

Jana B a k a n

Bakan, J.: Štúdium genetickej diverzity diviaka lesného (*Sus scrofa*) v strednej a juhovýchodnej Európe. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, LI, 2009, Suppl. 1, s. 7–18.

Diviak lesný (*Sus scrofa*) obýva obrovský areál, v ktorom sa vyskytuje viacero poddruhov. Na území Európy sú to tieto: *Sus scrofa scrofa*, *S. scrofa attila*, *S. scrofa meridionalis*, *S. scrofa algira* a *S. scrofa lybicus*. Cieľom práce je výskum genetickej diverzity a diferenciacie populácií diviaka lesného v Európe. Na tento účel bolo zozbieraných 217 vzoriek biologického materiálu. DNA bola izolovaná metódou podľa Sambrooka (SAMBROOK *et al.* 1989). Na genetickú analýzu bolo vybraných 14 mikrosatelitných markérov. Tieto markéry boli optimalizované pre amplifikáciu DNA, analyzované na genetickom analyzátore ABI 3130, a vyhodnotené pomocou softvéru GeneMapper. Populačno genetická analýza bola vypočítaná pomocou programového balíka POPGENE (YEH *et al.* 1997).

Všetky sledované lokusy sú polymorfne, skutočný počet alel na lokus (n_a) sa pohyboval od 4 po 20 a efektívny počet alel (n_e) sa nachádzal v intervale 1,986–8,226. Ďalšie charakteristiky genetickej diverzity ako pozorovaná (H_o) a očakávaná (H_e) heterozygotnosť sa pohybovali v intervale H_o od 0,496 po 0,878, H_e od 0,393 po 0,855.

Kľúčové slová: *Sus scrofa*, mikrosatelity, genetická diverzita, fragmentačná analýza

ÚVOD A PROBLEMATIKA

Rozšírenie a poddruhy diviaka lesného v Európe

Areál diviaka lesného (*Sus scrofa*) je rozsiahly, dokonca má oveľa väčší areál než majú všetci ostatní zástupcovia čeľade *Suidae* (diviakotvaré, sviňotvaré). Diviak sa vyskytuje v stepiach a tiež v palearktickej oblasti, od západnej Európy po Východnú Sibir. Jeho areál sa tiahne smerom na juh až po severnú Afriku, Stredozemné more a Stredný Východ cez Indiu, Indočínu, Japonsko (vrátane Rjúkjú), Taiwan až po juhovýchodnú Áziu. Populácie východne od Bali sú pravdepodobne introdukované. Od 17. storočia je na Britských ostrovoch vyhynutý, aj keď sa ho neskôr pokúsili introdukovať (HARTING, 1880). V južnej Škandinávii je taktiež vyhynutý, ako aj v rozľahlej časti jeho nedávneho výskytu v stredozápadnej a východnej časti bývalého Sovietskeho zväzu (HEPTNER *et al.* 1961) a v severnom Japonsku (CHIBA, 1964, 1972).

V posledných 15 až 20 rokoch sa diviacia zver na Slovensku značne rozmnožila a prenikla aj do malých lesíkov, remízok a zárastov trsti uprostred intenzívne kultivovanej poľnohospodárskej krajiny, odkiaľ ju v minulosti vytlačili. Preto podstatne vzrástol jej význam v poľovnom hospodárstve ako objektu športového lovu, ale aj ako škodlivého činiteľa v rastlinnej výrobe. Diviacia zver je u nás momentálne rozšírená na celom území,

okrem vysokohorských oblastí nad hranicou lesa, ako aj úplne bezlesných poľnohospodárskych oblastí, pravda, v rozličnej populačnej hustote (HELL, 1986).



Obr. 1 Rozšírenie diviaka lesného v Európe (Encyklopédia poľovníctva, str. 321)

Fig.1 Distribution of wild boar in Europe (Hunting Management Encyclopedia, p.321)

Diviaka lesného *Sus scrofa* (LINNÉ, 1785) zaraďujeme medzi cicavce (*Mammalia*), rad párnokopytníky (*Artiodactyla*), podrad neprežúvavce (*Nonruminantia*), čeľaď diviakotvaré (*Suidae*). Čeľaď diviakotvaré sa delí na 7 rodov (*Pekari*, *Babyrussa*, *Potamochoerus*, *Phacochoerus*, *Porcula*, *Hylochoerus* a *Sus*). Náš slovenský diviak lesný patrí do rodu *Sus*, druhovým menom *Sus scrofa* (diviak lesný). Tento druh má v Európe 6 poddruhov: *Sus scrofa scrofa* (centrálna a západná Európa), *S. scrofa attila* (Európa, Maďarsko, Rumunsko, Balkán, Malá Ázia), *S. scrofa meridionalis* (Sardínia a Korzika), *S. scrofa algeria* (Tunisko, Alžírsko, Maroko), *S. scrofa lybicus* (Turecko, Izrael, Palestína, Sýria, Jordánsko, Libanon), *S. scrofa nigripes* (Sredná Ázia, Kazachstan, západné Mongolsko) (COLIN *et. all.* 1993).

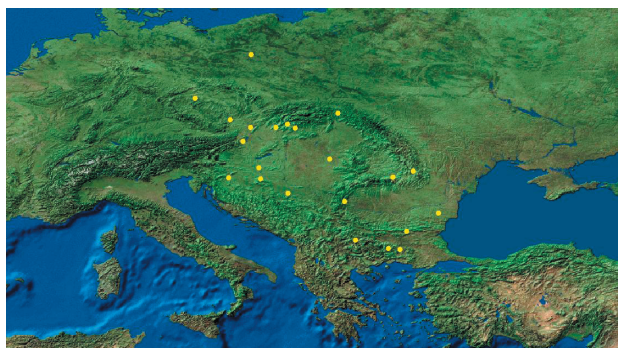
O genetickej premenlivosti diviačej zveri bolo doposiaľ publikovaných množstvo prác. Genetickú premenlivosť autori skúmali pomocou rôznych genetických markérov, ako napríklad krvné skupiny a proteíny, alebo izoenzýmy. V poslednej dobe sa robia genetické analýzy pomocou molekulárnych markérov a to najmä mikrosatelitných úsekov DNA. Tieto práce vznikli v zahraničí, resp. v západnej Európe. Na našom území nebola doposiaľ publikovaná žiadna štúdia o genetickej variabilite diviakov.

Odbornej verejnosti je známy predpoklad, že na Slovensku sa stretávajú dva poddruhy diviaka lesného *Sus scrofa scrofa* a *S. scrofa attila*. Predpokladá sa, že *S. scrofa attila* sa vyskytuje na východnom Slovensku, čo však donedávna nebolo vedecky dokázané. Najnovšie taxonomické výskumy však ukazujú, že diviačia zver Západných Karpát svojimi telesnými a lebkovými mierami zodpovedá rase *attila*, resp. presahuje hornú hranicu rozpätia nominátnej rasy *scrofa* (HELL, 1986). Náš výskum pre porovnanie genetickej diverzity oboch poddruhov zahŕňa strednú a juhovýchodnú Európu.

MATERIÁL A METODIKA

Zber materiálu

Vzorky diviakov boli zozbierané počas poľovníckych sezón 2007/2008 a 2008/2009. Spolu bolo zozbieraných 217 vzoriek tkanív (svalstvo, pečeň, srdce, krv a koža) z krajín strednej a juhovýchodnej Európy (Česká republika, Poľsko, Slovensko, Maďarsko, Chorvátsko, Srbsko, Rumunsko a Bulharsko). Vzorky sa po odobraní uskladnili v 96% etanole.



Obr. 2 Miesta odberu vzoriek
Fig. 2 Sample location

Tab. 1 Prehľad analyzovaných európskych populácií
Tab. 1 List of analyzed European populations

Populácia	Kraj	Zem. dĺžka	Zem. šírka	Počet
Podiji	Czech Republik	48,86	15,85	20
Poznan	Poland	52,52	17,04	20
Sopron	Hungaria	47,68	16,58	15
Kupa, Pokupski Bazen	Croatia	45,63	15,78	16
Plavna	Serbia	44,30	22,27	22
Arad	Romania	46,67	21,43	10
Sibiu		45,68	24,97	10
Foscani		46,00	26,13	10
Osogovo	Bulgaria	42,15	22,88	10
Ludogorie		43,68	27,52	11
Malacky	Slovakia	48,43	17,00	18
ŠLP		48,64	19,04	33
Medzilaborce		49,25	21,90	15
Beňatina		48,82	22,33	7

Tab. 2 Prehľad analyzovaných slovenských populácií
Tab.2 List of analyzed Slovak populations

Populácia	Kraj	Zem. dĺžka	Zem. šírka	Počet
Malacky	Slovakia	48,43	17,00	18
Trenčín	Slovakia	48,88	18,50	17
Klátová nová Ves	Slovakia	48,58	18,37	22
ŠLP	Slovakia	48,64	19,04	33
Divín+Tuhár	Slovakia	48,45	19,53	10
RS+RA	Slovakia	48,40	20,05	25
Medzilaborce	Slovakia	49,25	21,90	15
Beňatina	Slovakia	48,82	22,33	7

Izolácia DNA, amplifikácia a určovanie genotypov

Na izoláciu DNA z tkanív bola použitá modifikovaná metóda fenol-chloroformovej deprotenizácie a etanolovej precipitácie podľa Sambrooka (SAMBROOK *et al.* 1989). Koncentrácia DNA bola zmeraná na spektrometri Nanodrop a následne boli vzorky DNA zriedené na približne rovnakú koncentráciu. Zvyšné vzorky tkanív boli uskladnené v 96% etanole v laboratóriu.

Na amplifikáciu DNA bolo vybraných 14 mikrosatelitných markérov, ktoré boli publikované Vernesim a Ferreïrom (VERNESI *et al.* 2003, FERREIRA *et al.* 2006). Mikrosatelitné markéry nukleárnej DNA SW461, SW841, SW1465, SW1492, SW2021, SW2496, SW2532, SW008, SW1701, SW828, SW1129, SW1517 (tab. 1) boli kombinované v polymerázovej reťazovej reakcii (PCR) použitím fluorescenčne značených primerov. Vybrané markéry boli rozdelené do nasledujúcich setov resp. panelov: (1) SW008, SW986, SW1129 (2) SW1701, SW828, SW1517 (3) SW1465, SW1492, SW1514, SW2532 (4)

SW461, SW841, SW2021, SW2496. PCR zmesi boli pripravené v objeme 10 µl, pričom koncentrácia všetkých primerov bola 0,200 µM až na primer SW986 (set 1), ktorý mal koncentraciu 0,150 µM. Do zmesi bol použitý QIAGEN Multiplex PCR Kit® (SOUTO *et al.* 2004) v objeme 5 µl a Q-solution v objeme 1 µl. Ďalej bolo pridané 0,2 µl z každého primeru (značený s fluorescenčnými farbičkami VIC, PET, NED a 6-FAM) a 0,4 µl vzorky DNA (50 ng·µl⁻¹). Amplifikácia DNA v polymerázovej reťazovej reakcii prebehla v troch po sebe opakujúcich sa krokoch. Pre panely (1) a (2): denaturácia prebieha 15 min pri 95°C (aktivácia polymerázy), druhý krok prebieha v 30-tich cykloch: denaturácia prebieha 30 sec pri 94°C, hybridizácia prebieha 3 min pri 58°C a extenzia prebieha 60 sec pri 72°C. Na koniec, v treťom kroku prebieha finálna extenzia pri 60°C po 30 min. Termocyklický režim pre panely (3) a (4) prebieha nasledovne: v prvom kroku denaturácia 95°C 15 min, v druhom kroku nasleduje 33 cyklov: denaturácia pri 94 °C po 30 sec, hybridizácia pri 52°C 30 sec a extenzia pri 72°C 30 sec. Konečná extenzia v treťom kroku prebieha pri 60° C 30 min. Väčšie množstvo DNA (1,6 µl) a viac cyklov PCR (38) je potrebných pri vzorkách z krvi a z kostí.

Tab. 3 Charakteristika použitých mikrosatelitných primerov

Tab. 3 Characteristics of used microsatellite primers

Systém		Sekvence primerov 5'-3'	Annealing v °C	Ref.
SW008	F	GAGGCAGTGTGTCTATTCA	58	1
	R	GCCATGTCTAAAGTGTGCT		
SW986	F	AGGAAGCAAAATCTTAAGAGGC	58	1
	R	GGTGAGCCAGGAACAAGTATG		
SW1129 ²	F	GATCATATGAGGAAAAGAATGTGT	58	1
	R	CACAGGGGGAACACCTTAAT		
SW1701 ¹	F	AGGTAAGTCAGGTGTCAGATAGC	58	1
	R	TCTACTTTAAAAAGCCTGAATGC		
SW828 ²	F	AGAATACAGCACACTGCCTGG	58	1
	R	ATATCCCAGTGTGTGCCAGC		
SW1517 ³	F	CAAATGATTTTATCCATCCTTGC	58	1
	R	TCTTAGTGATGCATTCTTAAGCTG		
SW1465 ⁴	F	CTGCTTCTGGCAATAATGAAC	52	2
	R	TGTGTCGTAGCTGCTGTTC		
SW1492 ²	F	CAGACAATGCAAAAGCTTTCC	52	2
	R	TAACCAGGATTTTCAAGTGGATTC		
SW1514	F	AGAAGAGGTGATTGCTTTTGC	52	2
	R	TCACAAAAGAACCCTCACCC		
SW2532	F	TTCGACACACAGTTTTAGGG	52	2
	R	GTGGAGGCTTCTGAAATGTACC		
SW461	F	GTCCAGGGCAGTCTTGACAG	52	2
	R	GTCTCTCTCCCTCTCCTCCC		

Tab. 3 Pokračovanie
Tab. 3 Continued

Systém		Sekvence primerov 5'-3'	Annealing v °C	Ref.
SW841	F	AAGGAGAGGGACAAGGGC	52	2
	R	GCAAGTGGTTAAGGAATGTGC		
SW2021	F	GCGACACATGAGATAAACTGC	52	2
	R	AATCCACATGCTTACTCAGATG		
SW2496	F	TATAGCATTGGATGTTCCACG	52	2
	R	GCCCAAATAAAGTGGTCTATGC		

¹VIC, ²PET, ³NED, ⁴6-FAM

1: (FERREIRA *et al.* 2006), 2: (VERNESI *et al.* 2003)

Genotypy sa zisťovali pomocou automatického kapilárneho genetického analyzátoru ABI 3130, ktorý pri fragmentačnej analýze využíva fluorescenčne značené priemry. Zmes pre ABI 3130 bola vytvorená z 9,1 µl formamidu (denaturačné činidlo), 0,2 µl GS-500LIZ (dĺžkový štandard) a 0,7 µl PCR produktu. Táto zmes sa vkladá do prístroja v 96 vzorkových platničkách. Vyhodnotením zaznamenaných dát sa generuje hrubý záznam v podobe grafu. Získané výsledky sa vyhodnocovali pomocou GeneMapper, softvérového programu, ktorý je súčasťou genetického analyzátoru. Výstupom sú genotypy jednotlivých vzoriek v grafickom prevedení (obr. 3). Z GeneMapper bola exportovaná genotypová tabuľka, ktorá bola upravená pomocou programu CONVET (GLAUBITZ, 2004) do tvaru, ktorý akceptujú ostatné programy.

Populačno-genetické analýzy (pozorovaná a očakávaná heterozygotnosť, percento polymorfných lokusov a genetické vzdialenosti) sme vypočítali pomocou programového balíka POPGEN (YEH *et al.* 1997). Genetický polymorfizmus sme hodnotili pomocou počtu alel na lokus (n_a), pozorovanej heterozyotnosti (H_o) a očakávanej heterozygotnosti (H_e), genetickú diferenciáciu pomocou Nei-ových genetických vzdialeností (1972). Genetická diferenciácia bola hodnotená na základe modelového prístupu procedúrou STRUCTURE 2.2 (PRITCHARD *et al.* 2003).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Cieľom práce bol výskum genetickej diverzity populácií diviaka lesného v strednej a juhovýchodnej Európe. V práci je analyzovaných 217 vzoriek tkanív diviaka lesného zo Slovenska (73), Česka (20), Poľska (20), Maďarska (15), Chorvátska (16), Srbska (22), Rumunska (30) a Bulharska (21). Výsledky zo Slovenskej populácie sú uvedené v tab. 2. Použitím programového balíka POPGEN (YEH *et al.* 1997) boli vypočítané alelické frekvencie, pozorovaný a očakávaný počet alel a heterozygotnosť. Z uvedených výsledkov vidieť, že skutočný počet alel na lokus (n_a) sa pohyboval od 4 po 20 a efektívny počet alel (n_e) sa nachádzal v intervale 1,986–8,226. Najmenšia premenlivosť bola zistená pri lokuse SW1492. Ďalšie charakteristiky genetickej diverzity ako pozorovaná (H_o) a očakávaná (H_e) heterozygotnosť na skúmaných lokusoch sa pohybovali v intervale H_o od 0,496 SW1492 do 0,878 SW1517. Interval v H_e sa pohybuje medzi 0,393 SW986 po 0,855 v SW2496.

Tab. 4 Charakteristiky genetickej štruktúry slovenských populácií diviaka lesného
Tab. 4 Characteristics of genetic structure of Slovak wild boar populations

Lokus	N	n_a	n_e	H_o	H_e
SW008	288	10	6,053	0,834	0,792
SW461	290	11	7,297	0,863	0,821
SW828	282	8	4,055	0,753	0,667
SW841	290	8	5,293	0,811	0,800
SW986	290	4	2,008	0,502	0,393
SW1129	282	10	6,302	0,841	0,794
SW1465	290	4	2,993	0,666	0,552
SW1492	292	5	1,986	0,496	0,445
SW1514	294	10	4,900	0,796	0,734
SW1517	286	20	8,226	0,878	0,797
SW1701	282	15	5,049	0,802	0,780
SW2021	286	13	4,475	0,776	0,734
SW2496	290	15	7,286	0,862	0,855
SW2532	290	9	5,085	0,803	0,779
Priemer	288	10,143	5,072	0,763	0,710
		$\pm 4,521$	$\pm 1,901$	$\pm 0,124$	$\pm 0,144$

kde: N – počet jedincov, n_a – počet pozorovaných alel, n_e – efektívny počet alel.

H_o – pozorovaná heterozygotnosť, H_e – očakávaná heterozygotnosť,

Zhodnotenie genetickej diverzity v rámci európskych populácií bolo uskutočnené porovnaním pozorovanej (H_o) a očakávanej (H_e) heterozygotnosti.

Priemerná pozorovaná heterozygotnosť v celom skúmanom súbore a cez všetky lokusy dosahovala hodnoty od $0,68 \pm 0,16$ (Maďarsko) do $0,77 \pm 0,09$ (Rumunsko). Zistené hodnoty sú uvedené v tab. 3.

Priemerná očakávaná heterozygotnosť v celom súbore a cez všetky lokusy dosahovala hodnoty od $0,63 \pm 0,30$ (Maďarsko) po $0,77 \pm 0,13$ (Česká republika). Zistené hodnoty sú uvedené v tab. 3.

Tab. 5 Porovnanie genetickej štruktúry európskych populácií diviaka lesného
Tab. 5 Comparison of genetic structure of European wild boar populations

Locus	SVK		CZ		PL		HU		HR		RO		BS		BG	
	Ho	He	Ho	He	Ho	He	Ho	He	Ho	He	Ho	He	Ho	He	Ho	He
SW008	0,85	0,86	0,84	0,84	0,75	0,67	0,83	0,93	0,79	0,80	0,83	0,93	0,83	0,71	0,77	0,70
SW461	0,87	0,82	0,83	0,94	0,75	0,90	0,80	1,00	0,82	0,69	0,86	0,83	0,82	0,73	0,78	0,81
SW828	0,73	0,75	0,75	0,79	0,57	0,55	0,62	0,67	0,60	0,65	0,71	0,60	0,75	0,86	0,76	0,81
SW841	0,79	0,82	0,58	0,56	0,58	0,37	0,60	0,17	0,58	0,14	0,80	0,70	0,71	0,64	0,78	0,81
SW986	0,46	0,34	0,50	0,55	0,39	0,30	0,25	0,14	0,55	0,44	0,55	0,32	0,51	0,25	0,65	0,55
SW1129	0,82	0,81	0,71	0,89	0,71	0,74	0,74	1,00	0,80	0,93	0,81	0,86	0,82	0,67	0,78	0,80
SW1465	0,63	0,55	0,66	0,65	0,63	0,50	0,62	0,47	0,62	0,56	0,63	0,63	0,50	0,36	0,36	0,38
SW1492	0,45	0,44	0,68	0,65	0,43	0,45	0,46	0,20	0,56	0,56	0,70	0,70	0,61	0,50	0,64	0,76
SW1514	0,80	0,79	0,83	0,85	0,79	0,85	0,76	0,67	0,68	0,56	0,78	0,72	0,82	0,96	0,73	0,67
SW1517	0,85	0,78	0,77	0,75	0,82	0,90	0,70	0,53	0,78	0,75	0,82	0,83	0,85	0,86	0,79	0,91
SW1701	0,77	0,65	0,87	0,85	0,84	0,80	0,81	0,60	0,84	0,88	0,77	0,80	0,81	0,77	0,80	0,86
SW2021	0,76	0,73	0,81	0,78	0,81	0,75	0,82	0,87	0,82	1,00	0,83	0,90	0,84	0,68	0,59	0,57
SW2496	0,86	0,86	0,86	0,89	0,84	0,85	0,73	0,80	0,85	0,73	0,86	0,80	0,83	0,70	0,75	0,65
SW2532	0,81	0,74	0,86	0,85	0,75	0,70	0,73	0,80	0,74	0,69	0,84	0,73	0,81	0,68	0,74	0,67
Priemer	0,75	0,71	0,75	0,77	0,69	0,67	0,68	0,63	0,72	0,67	0,77	0,74	0,75	0,67	0,71	0,71

Tab. 6 Genetické vzdialenosti v slovenských populáciách podľa NEI-a (1972)
Tab. 6 Genetic distances of Slovak populations according NEI (1972)

	Malacky	Trenčín	Klátová Nová Ves	VŠLP	Divín a Tuhár	RS + RA	Medzilaborce	Beňatina
Malacky	***							
Trenčín	0,405	***						
Klátová Nová Ves	0,281	0,165	***					
VŠLP	0,254	0,122	0,148	***				
Divín a Tuhár	0,459	0,197	0,281	0,272	***			
RS + RA	0,382	0,084	0,186	0,161	0,178	***		
Medzilaborce	0,267	0,185	0,212	0,168	0,357	0,192	***	
Beňatina	0,383	0,233	0,239	0,229	0,420	0,254	0,199	***

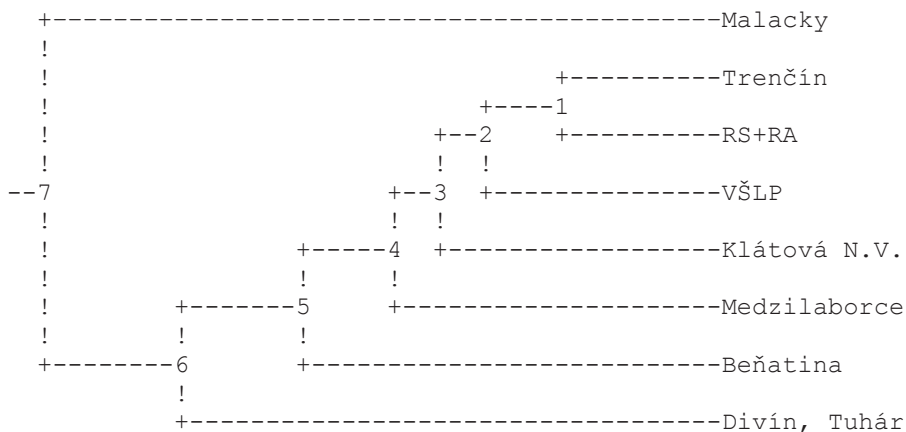
Z alelických frekvencií použitých 14 lokusov boli vypočítané genetické vzdialenosti podľa NEI-a (1972). Vytvorená matica genetických vzdialeností (tab. 4) poukazuje na rozdiely medzi slovenskými populáciami. Najmenšia genetická vzdialenosť 0,122 je medzi populáciami z Trenčína a zo VŠLP, čo je relatívna vzdialenosť 12,2 % všetkých génov. Najväčšia vzdialenosť 0,459 je medzi populáciami z Divína a Tuhára a populáciami z Malaciek a relatívna vzdialenosť medzi týmito populáciami je 45,9 %.

Tab. 7 Genetické vzdialenosti v európskych populáciách podľa NEI-a (1972)
Tab. 7 Genetic distances of European populations according NEI (1972)

	BG	CZ	PL	HU	HR	RO	BS	SVK
BG	***							
CZ	0,413	***						
PL	0,526	0,473	***					
HU	0,480	0,555	0,472	***				
HR	0,438	0,513	0,360	0,125	***			
RO	0,233	0,232	0,483	0,363	0,311	***		
BS	0,335	0,281	0,524	0,391	0,365	0,155	***	
SVK	0,296	0,327	0,513	0,273	0,259	0,119	0,169	***

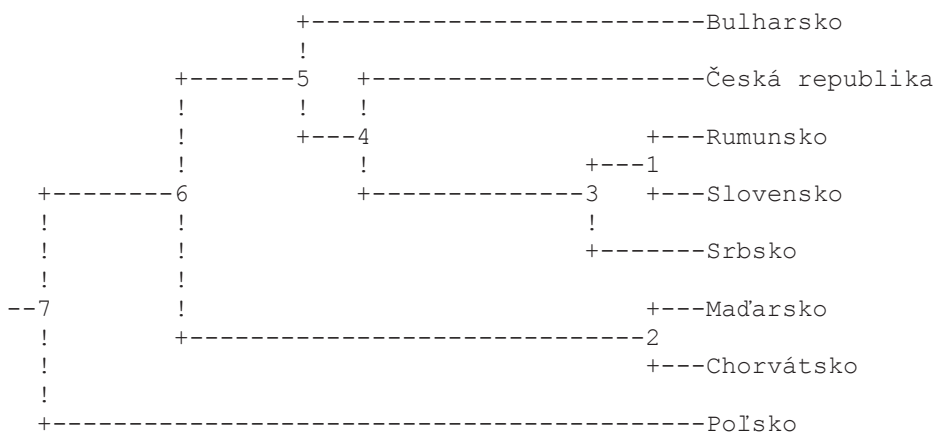
Vytvorená matica genetických vzdialeností (tab.5) poukazuje na rozdiely medzi európskymi populáciami. Najmenšia genetická vzdialenosť 0,119 je medzi populáciami z Rumunska a Slovenska, čo dokazuje relatívnu vzdialenosť 11,9 % všetkých génov. Najväčšia vzdialenosť 0,555 je medzi populáciami z Českej republiky a z Maďarska. Relatívna rozdielnosť je 55,5 % všetkých génov.

Z matice genetických vzdialeností bol metódou Average-Linkage (UPGMA) vytvorený dendrogram, významnosť vetiev bola testovaná bootstrapping-algoritmom s 1000 iteráciami (obr. 6 a 7).



Obr. 4 Dendrogram slovenských populácií

Fig. 4 Dendrogram of Slovak populations



Obr. 5 Dendrogram európskych populácií

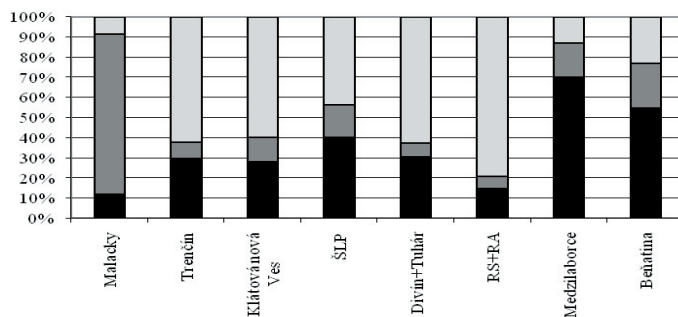
Fig. 5 Dendrogram of European populations

Na dendrograme európskych populácií vidieť, že sa vyštíepili dve vetvy:

- prvá s populáciami z Rumunska, Srbska a zo Slovenska
- druhú tvoria Maďarsko a Chorvátsko.

K nim sa pridávajú ešte populácie z Bulharska, Českej republiky a z Poľska, ktoré majú odlišnú genetickú štruktúru.

Genetickú diferenciáciu slovenských populácií sme hodnotili na základe modelového prístupu procedúr STRUCTURE verzia 2.2 (PRITCHARD *et al.* 2003). Vývoj logaritmu sumárnej pravdepodobnosti (*log likelihood*) a parametra ΔK (EVANNO *et al.* 2005) ukázal počet skupín zhľadu 3 pre slovenské aj európske populácie.



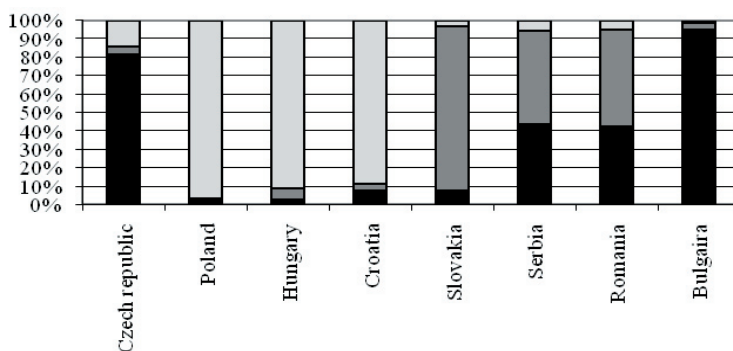
Obr. 6 Zastúpenie zhlukov identifikovaných procedúrou STRUCTURE v slovenských populáciách diviaka lesného
Fig. 6 Proportion of clusters identified by STRUCTURE procedure in Slovak wild boar populations

V slovenských populáciách sa ako optimálny ukazuje počet skupín resp. zhlukov 3. Obr. 8 znázorňuje diferenciáciu slovenských populácií farebným odlíšením jednotlivých zhlukov. Podiel zhlukov v populácii je vyjadrený numericky v tab. 5.

Tab. 8 Percentuálne zastúpenie jednotlivých zhlukov v slovenských populáciách
Tab. 8 Percentage of individual clusters in Slovak population

Malacky	0,119	0,796	0,085	18
Trenčín	0,298	0,079	0,624	17
Klátová nová Ves	0,283	0,120	0,598	22
ŠLP	0,404	0,162	0,434	33
Divín+Tuhár	0,305	0,068	0,627	10
RS+RA	0,148	0,063	0,789	25
Medzilaborce	0,702	0,168	0,129	15
Beňatina	0,550	0,222	0,229	7

Malacky majú najvyšší podiel zeleného zhluku (79%). Ďalej smerom na východ sa zmenšilo zastúpenie zeleného zhluku a začali prevládať gény modrého zhluku a to v Trenčíne, Klátovej Novej Vsi, VŠLP, Divíne s Tuhárom, Rimavskej Sobote a v Revúcej. Modrý zhluk je tu zastúpený od 43 % po 78 %. Medzilaborce a Beňatina majú najvýraznejšie zastúpený červený zhluk s 55–70% zastúpením.



Obr. 7 Zastúpenie zhlukov identifikovaných procedúrou STRUCTURE v európskych populáciách diviaka lesného
Fig. 7 Proportion of clusters identified by STRUCTURE procedure in Slovak wild boar populations

V európskych populáciách sa ako optimálny ukazuje počet skupín resp. zhlukov 3, rovnako ako pre slovenské populácie. Obr. 9 znázorňuje diferenciaciu populácií strednej a juhovýchodnej Európy s farebným odlíšením jednotlivých zhlukov. Podiel zhlukov v populácii je vyjadrený numericky v tab. 6.

Tab. 7 Percentuálne zastúpenie jednotlivých zhlukov v európskych populáciách

Tab. 7 Percentage of individual clusters in Slovak populations

Česká Republika	0,814	0,046	0,14	20
Poľsko	0,021	0,01	0,969	20
Maďarsko	0,025	0,061	0,914	15
Chorvátsko	0,078	0,035	0,886	16
Slovensko	0,076	0,894	0,03	73
Srbsko	0,434	0,511	0,055	22
Rumunsko	0,427	0,524	0,049	30
Bulharsko	0,95	0,035	0,015	21

V slovenských populáciách je najvýraznejšie zastúpený zelený zhluk s percentuálnym zastúpením 89 %. Podobné sú populácie zo Srbska a Rumunska s 51–52% zastúpením zeleného zhliku. Poľské, maďarské a chorvátske populácie majú najvýraznejšie zastúpený tmavomodrý zhluk a to až s 88–96% zastúpením. Česká republika s Bulharskom majú najvyššie zastúpený červený zhluk s 81–95% zastúpením.

ZÁVER

Po získaní genotypov z 217 vzoriek diviaka lesného, boli pomocou programového balíka POPGEN vypočítané alelické frekvencie, pozorovaný a očakávaný počet alel a heterozygótnosť. Z uvedených výsledkov vidieť, že skutočný počet alel na lokus (n_a) sa pohyboval od 4 po 20 a efektívny počet alel (n_e) sa nachádzal v intervale 1,986–8,226. Najmenšia premenlivosť bola zistená pri lokuse SW1492. Ďalšie charakteristiky genetickej diverzity ako pozorovaná (H_o) a očakávaná (H_e) heterozygótnosť na skúmaných lokusoch sa pohybovali v intervale H_o od 0,496 SW1492 do 0,878 lokus SW1517. Interval v H_e sa pohybuje medzi 0,393 SW986 po 0,855 v SW2496. Zhodnotenie genetickej diverzity v rámci európskych populácií bolo porovnaním pozorovanej (H_o) a očakávanej (H_e) heterozygótnosti. Priemerná pozorovaná heterozygótnosť v celom skúmanom súbore a cez všetky lokusy dosahovala hodnoty od $0,68 \pm 0,16$ (Maďarsko) do $0,77 \pm 0,09$ (Rumunsko). Priemerná očakávaná heterozygótnosť celom súbore a cez všetky lokusy dosahovala hodnoty od $0,63 \pm 0,30$ (Maďarsko) po $0,77 \pm 0,13$ (Česká republika). Z alelických frekvencií použitých 14 lokusov boli vypočítané genetické vzdialenosti podľa Nei-a (1972). Najmenšia genetická vzdialenosť 0,122 je medzi populáciami z Trenčína a zo VŠLP, čo je relatívna vzdialenosť 12,2% všetkých génov. Najväčšia vzdialenosť 0,459 je medzi populáciami z Divína, Tuhára a populáciami z Malaciek, relatívna vzdialenosť medzi týmito populáciami je 45,9 %. Z európskych populácií je najmenšia genetická vzdialenosť 0,119 je medzi populáciami z Rumunska a Slovenska, čo predstavuje relatívnu vzdialenosť 11,9% všetkých génov. Najväčšia vzdialenosť 0,555 je medzi populáciami z Českej republiky a z Maďarska. Relatívna rozdielnosť je 55,5% všetkých génov. Na základe modelového prístupu procedúr STRUCTURE sa ako optimálny ukazuje počet skupín resp.

zhlukov 3 a to ako u slovenských tak aj v európskych populáciách. V slovenských populáciách sú Malacky zastúpené zeleným zhlukom, ktorý má percentuálne zastúpenie 79%. Ďalej smerom na východ sa zmenilo zastúpenie zeleného zhluku na modré a to v Trenčíne, Klátovej Novej Vsi, VŠLP, Divíne s Tuhárom, Rimavskej Sobote a v Revúcej. Modrý zhluk je tu zastúpený od 43 % po 78 %. Medzilaborce a Beňatina majú najvýraznejšie zastúpený červený zhluk s 55–70% zastúpením.

Pri porovnaní európskych populácií bolo zistené, že slovenské populácie majú najvýraznejšie zastúpený zelený zhluk s percentuálnym zastúpením 89 %. Podobné sú populácie zo Srbska a Rumunska s 51–52% zastúpením zeleného zhluku. Poľské, maďarské a chorvátske populácie majú najvýraznejšie zastúpený tmavomodrý zhluk a to až s 88–96% zastúpením. Česká republika s Bulharskom majú najvyššie zastúpený červený zhluk s 81–95% zastúpením.

Táto práca poskytuje obraz o genetickej štruktúre diviačej zveri v strednej a juho-východnej Európe v porovnaní so slovenskými populáciami. V pokračovaní sa môžeme dopracovať k výsledkom, ktoré majú uplatnenie pri ochranárskej genetike, ekologickej a evolučnej genetike, štúdiu histórie populácií a ich efektívnu veľkosť, taktiež pri tvorbe genetických máp alebo pri systematike. V budúcnosti by bolo potrebné uskutočniť analýzu pomocou mitochondriálnej DNA pre potvrdenie alebo vyvrátenie hypotézy príbuznosti poddruhov v Európe.

PodĎakovanie

Táto práca vznikla v rámci riešenia výskumného projektu APVV-18-032105 „Genetická diverzita a diferenciácia populácií vybraných druhov poľovnej a chránenej zveri“.

LITERATÚRA

- CHIBA, T. 1964. Geographical distribution of wild boars and deer in the Japanese Islands and their area and quantitative fluctuations (in Japanese). *Geographical Rev.* 37 (11): 575–592.
- CHIBA, T. 1975. Distributions of large wild mammals and their changes in the eastern foot of Mt. Zao, Miyagi Prefecture, northern Honshu (in Japanese). *Annals. Tohoku Geog. Assoc. (Tohoku Chiri)*, 27 (2): 74–81.
- COLIN P. GROVES AND PETER GRUBB. Pigs, Peccaries and Hippos Status Survey and *Action Plan (1993)* www.era.lib.ed.ac.uk/bitstream/1842/1028/1/Chapter+5.1.pdf
- EVANNO, G., REGNAUT, S. and GOUDET J., 2005. Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. *Molecular Ecology* 14, 2611–2620
- FERREIRA, E., SOUTO, L., SOARES, A.M.V.M., FONSECA, C., 2006. Genetic structure of the wild boar (*Sus Scrofa* L.) population in Portugal. *Wildl. Biol. Pract.*, June 2006, 2(1): 17–25
- GLAUBITZ, J.C. 2004. CONVERT: A user-friendly to reformat diploid genotypic data for common used population genetic software packages. *Molecular Ecology Notes* 4: 309–310.
- HARTING, J. E. 1880. *British Animals, Extinct within Historic Times*. Trübner & Co., London: pp. 77–114.
- HELL, P., 1986: Diviacia zver. *Príroda*, st. 419
- HEPTNER, V. G., NASIMOVICH, A. A. and BANNIKOV, A. G. 1961. *Artiodactyla and Perissodactyla*. Vol. 1, 1147 pp., in: V. G. HEPTNER and N. P. NAUMOV (eds.): *Mammals of the Soviet Union*, Vysshaya Shkola Publishers, Moscow (English translation, 1988, Smithsonian Institution Libraries and The National Science Foundation, Washington D. C.).
- NEI, M., 1972. Genetic distance between populations. *Am Nat* 1972. Vol. 106, pp. 283 – 292.
- PRITCHARD JK, WEN W. 2003. Documentation for STRUCTURE software: Version 2. Available from <http://pritch.bsd.uchicago.edu>
- SAMBROOK, J., FRITSCH, E. & MANIATIS, T., 1989: *Molecular Cloning*. Cold Spring Harbor Laboratory Press, USA.
- SOUTO, L., FERREIRA, E. & FONSECA, C. 2004. Microsatellite analysis of wild boar populations in Portugal by multiplex PCR. *QIAGEN News* 3: 63–64.

- VERNESI, C., CRESTANELLO, B., PECCHIOLI, E., TARTARI, D., CARAMELLI, D., HAUFFE, H. & BERTORELLE, G. 2003. The genetic impact of demographic decline and reintroduction in the wild boar (*Sus scrofa*): a microsatellite analysis. *Mol. Ecol.* 12: 585–595.
- YEH, F. C., YANG, R. C., BOYLE, T. B J., YE, Z. H. & MAO, J. X., 1997: POPGENE – the user friendly shareware for population genetic analysis. Molecular Biology and Biotechnology Center, University of Alberta, Edmonton, Canada

Adresa autora:

Ing. Jana Bakan, Katedra fytoľógie,
Lesnícka fakulta,
Technická univerzita vo Zvolene,
T.G. Masatyka 24, 960 53 Zvolen.
bakan@vsld.tuzvo.sk

Study of genetic diversity of wild boar (*Sus scrofa*) populations in Central and south-eastern Europe

Summary

Wild boar (*Sus scrofa*) occupies a large area with numerous subspecies. Following subspecies are distributed in Europe: *S. scrofa scrofa*, *S. scrofa attila*, *S. scrofa meridionalis*, *S. scrofa algira* a *S. scrofa lybicus*. The main target of this study is description of genetic diversity and differentiation of wild boar populations in Europe. 217 tissue and blood samples were collected for this purpose. DNA was extracted by method according to SAMBROOK *et al.* (1989). We employed 14 microsatellites markers for genetic analysis. These markers were optimized for DNA amplification, run on ABI 3130 genetic analyzer and evaluated using GeneMapper software. Population genetics analysis was calculated using POPGENE (YEH *et al.* 1997).

All analyzed loci were polymorphic. Total number of alleles per locus (n_a) ranged from 4 to 20 and effective number of alleles (n_e) ranged from 1.986 to 8,226. Observed (H_o) and expected (H_e) heterozygosity ranged from H_o 0.496 to 0.878, H_e 0.393 to 0.855.

VYUŽITIE VZORIEK TRUSU A SRSTI PRI ŠTÚDIU POPULÁCIÍ MEDVEĎA HNEDÉHO

Martin STRAKA – Slavomír FINDŮ – Jozef ŠTOFÍK – Ladislav PAULE

Straka M., FindŮ S., Štofík J., Paule L.: Využitie vzoriek trusu a srsti pri štúdiu populácií medveďa hnedého, Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, LI, 2009, Suppl. 1, s. 19–29.

Vzorky trusu a srsti predstavujú vhodný materiál pre štúdie zamerané na identifikáciu jedincov, analýzu príbuzenstva, odhad početnosti ako i pohlavnú a genetickú štruktúru populácie. Bez potreby odchyty či pozorovania je takto možné získať informácie o chránených a ťažko pozorovateľných druhoch. Otázky ochrany prírody a zájmov človeka sa v prípade medveďa hnedého (*Ursus arctos*) v súčasnosti dostávajú do konfliktu. Pritom poznanie početnosti, pohlavnej štruktúry populácie v kombinácii s poznatkami o veľkosti domovských okrskov je základom pre správny manažment tohto chráneného živočícha. Táto štúdia predkladá výsledky výskumu v dvoch modelových územiach – v pohorí Poľany a Veporských vrchov a v oblasti Polonín. V prvej študovanej oblasti prebiehal zber vzoriek na jar roku 2008 s cieľom odhadu početnosti populácie a jej pohlavnej štruktúry. Celkovo bolo zozbieraných 102 vzoriek, z ktorých u 49 bol úspešne získaný genotyp jedinca. V oblasti Polonín prebiehal zber trusu v mesiacoch október 2008 – január 2009 s cieľom prispenia k poznatkom o veľkosti domovských okrskov, genetickej variabilite populácie ako aj identifikácie jedincov. Identifikovaných tu bolo 12 rôznych jedincov z celkovo 39 vzoriek trusu a srsti. Predkladané výsledky potvrdujú vhodnosť neinvazívnych vzoriek pri štúdiu populácií voľne žijúcich živočíchov.

Kľúčové slová: *Ursus arctos*, neinvazívne vzorky, mikrosatelity, Karpaty

ÚVOD

Medveď hnedý má holarktické rozšírenie, siahajúce od Španielska cez kontinentálnu Európu a Áziu až do Severnej Ameriky. Vďaka úbytku habitatov a nadmernému lovu sa však od polovice 18. storočia areál výskytu neustále zmenšoval (SERVHEEN 1990). V Západnej Európe sa dnes vyskytuje v posledných ohrozených izolovaných populáciách bez možnosti opätovného rozšírenia (SØRENSEN 1990). Populácia na území Slovenska bola pôvodne súčasťou väčšej populácie zahrňujúcej pohoria západných a východných Karpát. S postupom ľudských aktivít a odlesňovania sa začiatkom 20. storočia najprv medveď vytratil z územia západného Slovenska, avšak populácie západných a východných karpát boli naďalej prepojené, o čom svedčia úlovky medveďov z územia Šariša a Zemplína z obdobia pred prvou svetovou vojnou (HELL & SLAMEČKA 1999). Systematické prenasledovanie malo však za následok rozdelenie oboch subpopulácií a dramatické znižovanie stavov medveďov, pričom v medzivojnovom období sa predpokladá, že na našom území prežívalo niekoľko desiatok jedincov. Od roku 1932 vstúpil do platnosti zákon na celoročnú ochranu medveďa hnedého, vďaka čomu začala početnosť a rozšírenie medveďa na-

rastať (SABADOŠ & ŠIMIÁK 1981). Od šesťdesiatych rokov bola populácia medveďa regulovaná každoročným odstrelom. Napriek tomu došlo k nárastu početnosti na odhadovaných 600–800 jedincov. Medveď dnes osídľuje väčšinu vhodných lesných habitatov, otázne je však prepojenie populácií západných a východných Karpát.

Rozvoj poznatkov o genetickej štruktúre populácii voľne žijúcich živočíchov priniesol objav polymerázovej reťazovej reakcie (MULLIS *et al.* 1986). Na analýzy DNA je pri tom možné použiť rôzne zdroje biologického materiálu, od kože cez orgány až po srst', trus a perie. Genetické metódy možno úspešne využiť aj pri štúdiách zameraných na početnosť, sexuálnu štruktúru populácií ako aj etológiu druhu. V súčasnosti je trendom využitie neinvazívnych vzoriek (srst', trus). Na základe rozdielov v molekule DNA je možné určiť genotyp jedinca bez potreby odchyty, rušenia či dokonca pozorovania živočícha (TABERLET & LUIKART 1999). Genotyp jedinca je určený na základe analýzy viacerých lokusov z čoho možno určiť počet jedincov v súbore vzoriek (minimálna veľkosť populácie) a následne použitím štatistických modelov odhadnúť celkovú veľkosť populácie (BELLEMAIN *et al.* 2005).

Poznanie početnosti populácie je základnou podmienkou pre účinnú ochranu a manažment ohrozených druhov. Odhad početnosti je však pomerne náročnou úlohou a to najmä v prípade druhov so skrytým spôsobom života a veľkým teritórium, medzi ktoré patrí aj medveď hnedý. V praxi sa používajú rôzne prístupy pre štatistický výpočet veľkosti populácie. Jednou z nich je metóda „rarefaction“, ktorej podstatou je vyjadrenie počtu jedinečných genotypov ako funkcie počtu odobraných vzoriek. Na základe asymptoty krivky funkcie možno odhadnúť veľkosť populácie (KOHN *et al.* 1999, EGGERT *et al.* 2003).

Ako sa neskôr ukázalo, metodika neinvazívneho zberu vzoriek má svoje nevýhody, vďaka ktorým môže byť výsledný odhad nespoľahlivý. Dôležitou podmienkou pri analýze vzoriek musí byť schopnosť jednotlivé vzorky od seba spoľahlivo odlíšiť. Existuje totiž pravdepodobnosť, že dve individua v populácii majú zhodný genotyp. Táto pravdepodobnosť sa nazýva pravdepodobnosť identity – PI (PAETKAU & STROBECK 1994, WAITS *et al.* 2001). Táto pravdepodobnosť je tým menšia, čím je väčšia variabilita v populácii a čím viac je sledovaných lokusov. Pre spoľahlivé odlíšenie jedincov je potrebné, aby bola PI dostatočne nízka, ináč dochádza k tzv. „efektu tieňa“. V tomto prípade môže byť nová vzorka (capture) identifikovaná ako opätovne zaznamenaná (recapture) čo má za následok zníženie počtu nových genotypov a zvýšenie pravdepodobnosti opätovného odchyty. Výsledkom je podhodnotenie početnosti populácie (MILLS *et al.* 2000). Riešením tohto problému je v použití dostatočného množstva polymorfných markérov tak, aby bola PI dostatočne nízka.

Najväčším problémom pri práci s neinvazívnymi vzorkami sú však chyby pri genotypovaní, keďže DNA z týchto vzoriek je často nízkej kvality a kvantita. Stanovenie miery genotypových chýb by malo byť súčasťou každej štúdie s použitím neinvazívnych vzoriek. Najčastejším problémom býva detekcia iba jednej alely u heterozygota (allelic dropout) alebo naopak vznik nesprávnej alely na základe nízkej kvality amplifikovanej DNA pri PCR reakcii – „false allele“ (TABERLET *et al.* 1996). Takýto chybný genotyp zvyšuje počet nanovo označených jedincov a znižuje pravdepodobnosť odchyty už označeného jedinca v druhom odchyte, pričom obe skutočnosti vedú k nadhodnoteniu odhadu početnosti populácie. Tento problém môže byť riešený viacerými prístupmi. Jedným z nich je použitie analýzy jednej vzorky vo viacerých skúmavkách – „multiple tubes approach“ (NAVIDI *et al.* 1992, TABERLET *et al.* 1996). Každá vzorka je analyzovaná v ôsmich skú-

mavkách, pričom jedinec sa považuje za homozygota v danom lokuse, ak vo všetkých ôsmich skúmvkách vznikne homozygotný genotyp. Naopak jedinec je považovaný za heterozygota, ak je daná alela pozorovaná minimálne dvakrát. Táto metodika predpokladá rovnomerné rozdelenie chýb pri genotypovaní medzi vzorkami a zvyšuje finančné náklady laboratórnych analýz. Ďalším možným prístupom je vylúčenie vzoriek s nízkym obsahom DNA na základe kvantitatívnej PCR (MORIN *et al.* 2001). So zvyšujúcim sa počtom štúdií s využitím neinvazívnych vzoriek pribudlo aj viacero počítačových programov, ktoré sú schopné genotypové chyby odhaliť a navrhnúť postup na ich odstránenie. Týmto spôsobom identifikujú problematické vzorky, vďaka čomu nie je potrebné viackrát analyzovať všetky vzorky a tým dochádza k finančnej úspore laboratórnych analýz. Jedným z týchto programov je aj program RELIOTYPE (MILLER *et al.* 2002). Program využíva alelické frekvencie známe z predchádzajúcich štúdií, v našom prípade sme použili údaje z analýz vzoriek tkanív, ktoré sú zaťažené genotypovými chybami v zanedbateľnej miere. Uvedené techniky boli využité pri štúdiu populácií medveďa hnedého v dvoch modelových územiach: 1) v pohorí Poľany a Veporských vrchov a 2) na území Národného parku Poloniny. Cieľom práce bolo určiť počet jedincov vo vzorke z daného územia stanovením jedinečných genotypov a aplikáciou štatistických metód stanoviť odhad početnosti populácií medveďa hnedého.

MATERIÁL A METÓDY

Vzorky

Pre genetické analýzy boli použité neinvazívne vzorky trusu a srsti. V oblasti Poľany a Veporských vrchov prebiehal systematický zber vzoriek v mesiacoch apríl a máj 2008. Distribuovaných bolo približne 500 kusov skúmaviek, pričom sa podarilo vyzbierať celkovo 102 kusov vzoriek trusu. Druhú sledovanú oblasť predstavovalo územie NP Poloniny, kde bolo celkovo v mesiacoch október 2008 – január 2009 vyzbieraných 35 vzoriek trusu a 4 vzorky srsti. Všetky vzorky trusu boli uchovávané v 50 ml skúmvkách s 96 % etanolom. Vzorky srsti boli skladované v skúmvkách pri izbovej teplote. Tieto vzorky boli pôvodne zberané za účelom zisťovania genetickej štruktúry a diferenciácie tejto populácie, získané poznatky boli však v tejto práci využité za účelom odhadu početnosti.

Izolácia DNA

Vzorky trusu a srsti boli izolované v miestnosti určenej na prácu s neinvazívnymi vzorkami. DNA bola extrahovaná pomocou Qiagen Stool Mini Kit (Qiagen) podľa manuálu výrobcu. Vzorky srsti boli izolované pomocou metódy Chelex (WALSH *et al.* 1991). Pri každej sade izolácie boli použité aj skúmvky bez vzorky na detekciu kontaminácie.

PCR amplifikácia

V tejto štúdii bolo k dispozícii 13 mikrosatelitných markerov. Pohlavie jedinca bolo určené na základe lokusu SRY špecifického pre samčie pohlavie. Koncentrácie primerov sú uvedené v tabuľke 1. Primery boli fluorescenčne značené. Jednotlivé markery boli kombinované do 3 multiplexových zmesí (Mu10 + Mu23 + Mu50 + Mu51 + Mu59 + G10L + SRY, G10B + G10C + G10P + G10X + G10D, G10J + G10M). Produkty boli amplifikované pomocou Qiagen Multiplex Mix (Qiagen), zmes pre PCR reakciu predstavovala celkový objem 20 µl, DNA tvorila objem 3 µl.

Pre odhad početnosti na území Poľany a Veporských vrchov bolo spomedzi 13 mikrosatelitných markerov vybraných 6 s najmenšou pravdepodobnosťou identity za pomoci programu GIMLET (VALIÈRE 2002) spolu s pohlavne špecifickým markerom SRY. Bolo tak učinené s cieľom obmedziť výskyt genotypových chýb, ktorých výskyt sa u vzoriek s nízkou kvalitou DNA môže zvyšovať so zvyšujúcim sa počtom použitých markerov (PAETKAU 2004, WAITS & LEBERG 2000). Šesť z nich bolo amplifikovaných v jednom multiplexe (Mu10 + Mu23 + Mu51 + Mu59 + SRY + G10B), marker G10J bol amplifikovaný samostatne.

U vzoriek zozieraných z územia Polonín bolo použitých všetkých 13 mikrosatelitných markerov. Bolo tak učinené na základe skúseností s analýzou vzoriek z prvej sledovanej oblasti, kde bolo zistené, že u vhodných vzoriek amplifikujú všetky sledované markery pomerne úspešne a na výskyt genotypových chýb má vplyv skôr kvalita a čerstvosť vzorky ako počet použitých markerov.

Fragmentačná analýza

PCR produkty boli analyzované pomocou automatického sekvenátoru ABI 3130 (Applied Biosystems). Výsledná zmes obsahovala 9,1 µl formamidu; 0,2 µl veľkostného štandardu a 0,7 µl PCR produktu. Genotypy boli určené pomocou programu GeneMapper 4.0.

Tabuľka 1. Použité mikrosatelitné markery pre medveďa hnedého (*Ursus arctos*).
Table 1. Microsatellite markers for brown bear (*Ursus arctos*) used in this study (Fluorescence, Concentration, Range, Reference).

	Fluorescencia	Konc. (µl)	Rozsah (bp)	Referencia
Mu10	FAM	0,50	108→132	Bellemain <i>et al.</i> 2004
Mu23	NED	0,60	136→156	Bellemain <i>et al.</i> 2004
Mu50	FAM	0,40	76→102	Bellemain <i>et al.</i> 2004
Mu51	HEX	0,60	105→129	Bellemain <i>et al.</i> 2004
Mu59	NED	0,50	90→122	Bellemain <i>et al.</i> 2004
G10L	HEX	0,50	141→161	Bellemain <i>et al.</i> 2004
SRY	HEX	0,50	75	Taberlet <i>et al.</i> 1997
G10B	FAM	0,22	130→152	Paetkau <i>et al.</i> 1995
G10C	FAM	0,13	87→109	Paetkau <i>et al.</i> 1995
G10D	FAM	0,25	167→181	Paetkau <i>et al.</i> 1995
G10J	HEX	0,18	73→103	Paetkau & Strobeck 1994
G10M	FAM	0,35	202→218	Paetkau <i>et al.</i> 1995
G10P	HEX	0,15	141→173	Paetkau <i>et al.</i> 1995
G10X	NED	0,12	132→156	Paetkau <i>et al.</i> 1995

Hodnovernosť a efektívnosť DNA analýz

Pravdepodobnosť identity bola vypočítaná pomocou programu GIMLET (VALIÈRE 2002). Spoločnosť získaných genotypov bola overovaná pomocou programu RELIOTYPE (MILLER *et al.* 2002). Program využíva poznatky o alelických frekvenciách charakteristických pre danú populáciu a na základe nich odhaduje pravdepodobnosť výskytu skúmaného genotypu vzorky. V prípade prvej sledovanej oblasti boli použité alelické frekvencie získané z analýz tkanív medveďov ulovených na území Západných Karpát. Keďže alelické frekvencie z druhej sledovanej oblasti (Poloniny) neboli známe, pre overovanie

genotypov vzoriek bol použitý súbor vzoriek z oblasti Západných a rumunských Karpát, keďže možno predpokladať, že populácia vyskytujúca sa v oblasti Polonín bude vykazovať alelické frekvencie intermediárne medzi oboma uvedenými populáciami.

Efektivita analýz bola vyjadrená ako závislosť úspešnosti získania genotypu od čerstvosti vzorky. Táto závislosť bola zisťovaná pomocou logistickej regresie.

Odhad početnosti populácie

Minimálna početnosť populácie bola stanovená ako počet jedinečných genotypov vyskytujúcich sa na sledovanom území. Pre celkový odhad početnosti bola použitá metóda krivky „rarefaction“. Táto metóda vyjadruje odhad početnosti ako asymptotu funkcie medzi narastajúcim počtom jedinečných genotypov a počtom vzoriek. Existuje viacero spôsobov, ako popísať danú závislosť. Prvým z nich bola použitá v práci KOHN *et al.* 1999 a má tvar:

$$y = \frac{ax}{(b+x)}, \quad (1)$$

kde a je asymptota (samotný odhad početnosti), x je počet nazbieraných vzoriek, y je počet jedinečných genotypov a b je miera poklesu hodnoty spádu. V tejto práci ju budeme nazývať metóda podľa Kohna.

Druhá rovnica bola publikovaná v práci EGGERT *et al.* 2003. Je vyjadrená ako:

$$y = a(1 - e^{-bx}). \quad (2)$$

V tejto práci ju budeme nazývať metóda podľa Eggerta. D. Chessel (in VALIÈRE 2003) navrhol ďalšiu rovnicu pre odhad početnosti v tvare:

$$y = a - a\left(1 - \left(\frac{1}{a}\right)^x\right). \quad (3)$$

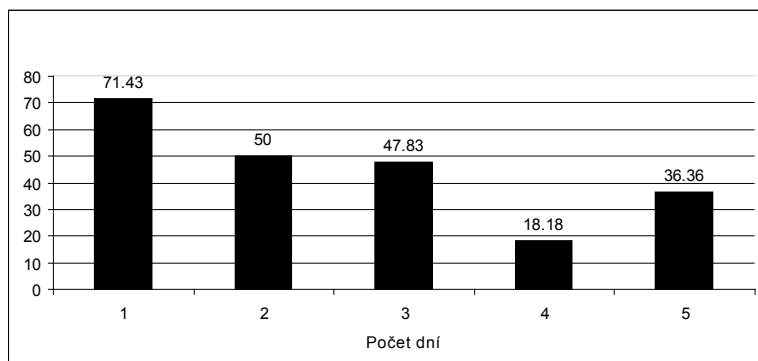
V tejto práci ju budeme nazývať metóda podľa Chessela. Pre jednotlivé výpočty pre odhad početnosti bol využitý program GIMLET (VALIÈRE 2002). Výsledky boli graficky znázornené pomocou programu R (verzia 1.7.1; dostupná na <http://www.r-project.org>). Poradie, v akom sú vzorky analyzované môže mať vplyv na odhad početnosti (KOHN *et al.* 1999), preto bolo pre odhad použitá priemerná hodnota z 1000 iterácií.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Oblasť Poľany a Veporských vrchov

V sledovanej oblasti sa v priebehu mesiacov apríl a máj 2008 podarilo vyzbierať celkovo 102 kusov vzoriek trusu. Identifikovať vzorku, teda získať genotyp jedinca sa podarilo u 49 vzoriek, čo predstavuje úspešnosť 48 %. Zbierané boli vzorky maximálne 5 dní staré (subjektívny odhad zberača). Závislosť úspešnosti získania genotypu vzorky od jej čerstvosti bola skúmaná u 94 vzoriek, u ktorých bola k dispozícii informácia o čerstvosti. Preukázaný bol pokles úspešnosti získania genotypu so znižujúcou sa čerstvosťou vzorky (obr. 1) a zistená závislosť bola štatisticky významná ($p = 0,0123$). Napriek subjektívnosti hodnotenia zberačov ohľadom čerstvosti vzoriek sa preukázalo, že tento odhad odráža pri-

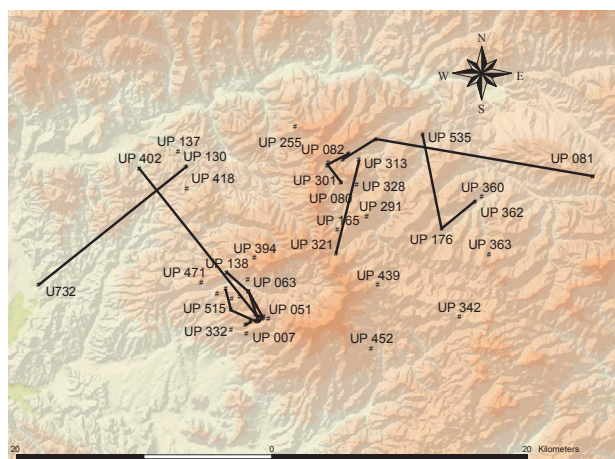
bližnú čerstvosť vzoriek, ak hypoteticky predpokladáme, že so znižujúcou sa čerstvosťou klesá kvalita DNA obsiahnutá v truse.



Obr. 1 Závislosť úspešnosti získania genotypu od čerstvosti vzorky.

Fig. 1 Relationship between genotyping success (%) and sample freshness (days).

Spomedzi 49 pozitívne identifikovaných vzoriek bolo získaných 32 jedinečných genotypov, čo predstavuje minimálnu početnosť populácie, teda v sledovanom období sa na území Poľany a Veporských vrchov vyskytovalo minimálne 32 rôznych medveďov (obr. 2). Niektoré jedince boli teda zachytené viackrát. Zistený pomer pohlaví bol približne 1:1.



Obr. 2 Identifikované vzorky trusu na území Poľany a Veporských vrchov. Línie spájajú vzorky trusu pochádzajúce od toho istého jedinca. Označenie bodu predstavuje označenie vzoriek.

Fig. 2 Faecal samples identified in the area of Poľana and Vepor Mountains. Lines are connecting samples from the same individual. Sample labels are given above the location points.

Odhad početnosti bol získaný pomocou programu GIMLET a následne graficky zobrazený v programe R. Na obr. 3 sú zobrazené hodnoty získané tromi rôznymi rovnicami pre „rarefaction“ krivku. Z hodnôt je zrejmé, že jednotlivé hodnoty sa od seba výrazne odlišujú. Odhad početnosti podľa Kohna vykazuje ďaleko najvyššie hodnoty početnosti (156), avšak s najvyššou smerodajnou odchýlkou (550,6). Možno predpokladať, že uvedený odhad je vysoko nadhodnotený. Odhad metódou podľa Chessela predstavoval 36 jedincov s nízkou smerodajnou odchýlkou (5,96). Tento odhad sa však javí ako podhodnotený,

keďže minimálna početnosť predstavuje 32 jedincov a vzhľadom na intenzitu zberu a mieru opakovaných odchytoch možno predpokladať, že počet jedincov, ktorí neboli zachytení vo vzorke, je vyšší ako 4. Možno tak usudzovať aj na základe doplnkových údajov, keďže v sledovanej oblasti po skončení obdobia zberu vzoriek boli ulovené 3 ďalšie medvede a 1 medveď bol imobilizovaný, pričom tieto jedince neboli zachytené vo vzorkách trusu. Najlepším odhadom sa javí odhad vypočítaný metódou podľa Eggerta ktorý dosiahol 63 jedincov, smerodajná odchýlka je však veľmi vysoká (89,5). Podľa práce VALIÈRE (2003) má na odhad početnosti zásadný vplyv heterogénnosť v pravdepodobnosti odchyty medzi jednotlivými vzorkami. Táto situácia nastala aj v nami sledovanom prípade, keďže 16 vzoriek bolo zachytených len raz, 2 vzorky dvakrát, 1 vzorka trikrát a jedna päťkrát. Simulácie týmto autorom naznačujú, že v tomto prípade metóda podľa Kohna nadhodnocuje veľkosť populácie, kým metóda podľa Chessela ju naopak podhodnocuje. V práci EGGERT *et al.* (2003) autori simulovali rôzne veľkosti súboru vzoriek pre rôzne veľké populácie za účelom porovnania efektivity metód podľa Kohna a Eggerta. Simulácie preukázali, že metóda podľa Kohna nadhodnocuje početnosť populácie dokonca aj v prípade, keď počet vzoriek je viac ako trojnásobný oproti reálnej početnosti populácie. Smerodajná odchýlka dosahuje pomerne vysoké hodnoty. Naopak metóda podľa Eggerta vychádzala zo simulácie úspešnejšie, avšak pomer vzoriek oproti reálnej početnosti dosahoval vždy aspoň 1,6 násobok. Z uvedenej štúdie vyplýva, že pre relevantný odhad početnosti je potrebné nazbierať aspoň 1,5–2 násobok počtu vzoriek oproti odhadovanej početnosti populácie, čo sa v nami predkladanej štúdii nepodarilo.

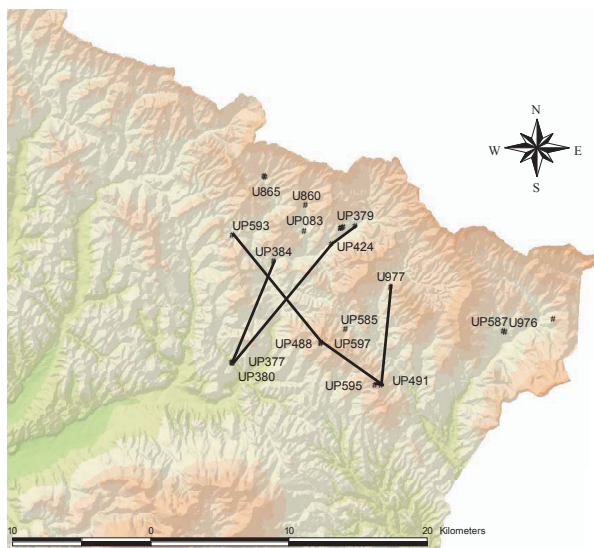


Obr. 3 Odhady početnosti metódami podľa Kohna, Eggerta a Chessela v oblasti Poľany a Veporských vrchov. Minim označuje minimálnu početnosť populácie zistenú z analyzovaných dát.

Fig. 3 Population size estimates for Poľana and Vepor Mounts. obtained by methods of Kohn, Eggert and Chessel. Minim means minimum population estimate obtained from analysed data.

Oblasť Polonín

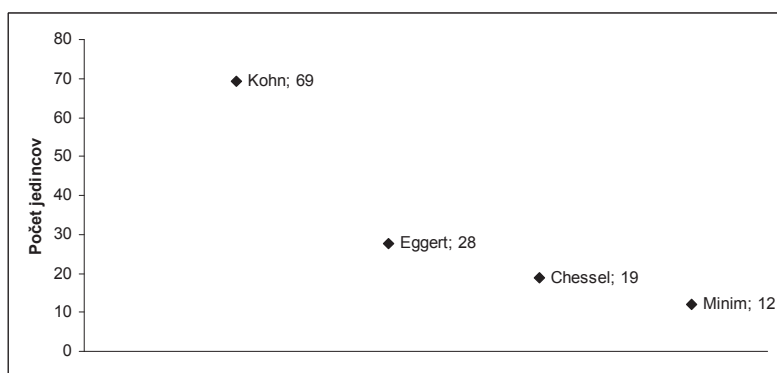
V oblasti Polonín bolo vyzbieraných celkovo 35 vzoriek trusu a 4 vzorky srsti. Vzorky trusu boli zbierané v blízkosti krmovísk, prípadne po stopovaní na snehu. Vzorky srsti boli získané z „medvedích“ stromov slúžiacich vo vnútroduhovej komunikácii. Celkovo sa podarilo identifikovať 23 vzoriek trusu (úspešnosť 65,7%) a dve vzorky srsti (úspešnosť 50%). Lokalizácia pozitívne identifikovaných vzoriek je zobrazená na obr. 4. Z uvedených 25 vzoriek bolo 12 genotypov jedinečných, teda v sledovanom období bolo na tomto území minimálne 12 rozličných medveďov, z čoho bolo 7 samcov a 5 samíc.



Obr. 4 Identifikované vzorky trusu a srsti na území Polonín. Línie spájajú vzorky pochádzajúce od toho istého jedinca. Označenie bodu predstavuje označenie vzoriek.

Fig. 4 Faecal and hair samples identified in the area of Poloniny. Lines are connecting samples from the same individual. Sample labels are given above the location points.

Odhad početnosti bol zisťovaný tými istými metódami ako v prvej sledovanej oblasti. Na obr. 5 sú zobrazené zistené výsledky. Opäť najvyšší odhad bol zistený metódou podľa Kohna, ktorý predstavoval 69 jedincov. Smerodajná odchýlka však dosiahla hodnoty 304,6. Svedčí to o tom, že túto metódu nie je vhodné na získané dáta aplikovať. Metódou podľa Eggerta bol odhadnutá početnosť populácie na 28 jedincov ($SD = 41,7$) a metódou podľa Chessela 19 jedincov ($SD = 3,57$). Tieto odhady sú pre danú populáciu reálnejšie. Smerodajná odchýlka zistená metódou podľa Eggerta je však opäť veľmi vysoká. Najpresnejší sa javí odhad početnosti na základe metódy Chessela. Ako však už bolo spomenuté, pri heterogenosti v pravdepodobnosti odchyty táto metóda podhodnocuje reálnu početnosť (VALIÈRE 2003).



Obr. 5 Odhady početnosti metódami podľa Kohn, Eggert a Chessel v oblasti Polonín. Minim označuje minimálnu početnosť populácie zistenú z analyzovaných dát.

Fig. 5 Population size estimates for area of Poloniny obtained by methods of Kohn, Eggert and Chessel. Minim means minimum population estimate obtained from analysed data.

ZÁVER

Predkladaná práca sumarizuje výsledky získané analýzou neinvazívnych vzoriek trusu a srsti. Práca bola vykonaná za účelom optimalizácie metód slúžiacich pri analýze neinvazívnych vzoriek s následnou aplikáciou pre odhad početnosti populácie, stanovenie pohlavnej štruktúry populácie ako aj získania poznatkov o genetickej variabilite populácií. Úspešne bol vyriešený problém optimalizácie analýz neinvazívnych vzoriek. Vzorky tohto druhu predstavujú istú výzvu z hľadiska nízkej kvality a kvantity DNA v nich obsiahnutej. Z tohto dôvodu existuje riziko krížovej kontaminácie neinvazívnych vzoriek medzi sebou, či produktami vzoriek s vysokou kvalitou DNA. Dodržaním laboratórnych postupov a systematickou kontrolou pomocou negatívnych kontrol sa kontaminácii vzoriek podarilo vyhnúť. Ďalšiu výzvu predstavuje výskyt genotypových chýb. S pomocou programu RELIOTYPE a opakovaných analýz sa ich výskyt podarilo redukovať na zanedbateľnú mieru. Prvotným predpokladom pre odhad početnosti populácie je však dôkladný zber vzoriek zo sledovaného územia. Na margo tejto skutočnosti je nutné podotknúť, že zber vzoriek nebol rovnomerný z celého sledovaného územia, čo narušuje jednu z podmienok použitia modelu pre odhad početnosti, ktorá hovorí o rovnakej pravdepodobnosti odchyty (zberu) vzorky. Pre relevantný odhad početnosti je taktiež potrebné, aby bolo vyzbieraných 2–3-násobne väčší počet vzoriek než ako je predpokladaná početnosť populácie (SOLBERG *et al.* 2006). Zabezpečí sa tak vyšší podiel vzoriek s opätovným odchytom, ktoré sú pre samotný odhad najpodstatnejšie.

Z dôvodu nižšieho počtu vzoriek a nižšej miery opätovných odchytov tak odhady početnosti získané rôznymi metódami uvedenými v tejto práci nadobúdajú skôr informatívny charakter. Najhodnotnejšími sú teda poznatky o minimálnej početnosti populácii na sledovaných územiach, pomere pohlaví, migrácii jedincov ale najmä samotná optimalizácia procesov laboratórneho spracovania vzoriek trusu a srsti. Tieto fakty vedú k prísľubu k využitiu týchto metód do budúcnosti, pričom najväčšou výzvou pre odhad početnosti populácii voľne žijúcich živočíchov predstavuje dobre prepracovaný systém zberu vzoriek.

PodĎakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja prostredníctvom finančnej podpory č. APVV-18-032105. Autori ďakujú zamestnancom Lesy SR š.p., ŠOP SR, NLC Zvolen, Technickej univerzity vo Zvolene a dobrovoľníkom za dodané vzorky. Autori ďalej ďakujú Dušanovi Gömörymu za pomoc pri štatistickom vyhodnocovaní, poďakovanie patrí aj Gabriele Baloghovej a Diane Krajmerovej za pomoc pri laboratórnych prácach a spracovaní výsledkov.

Literatúra

- BELLEMAIN E., SWENSON J.E., TALLMON D., BRUNBERG S., TABERLET P. 2005: Estimating population size of elusive animals with DNA from hunter-collected faeces: four methods for brown bears. *Conservation Biology* **19**: 150–161.
- BELLEMAIN E., TABERLET P. 2004: Improved noninvasive genotyping method: application to brown bear (*Ursus arctos*) faeces. *Molecular Ecology Notes* **4**: 519–522.
- EGGERT L.S., EGGERT J.A., WOODRUFF D.S. 2003: Estimating population size for elusive animals: the forest elephants in Kakum National Park, Ghana. *Molecular Ecology* **12**: 1389–1402.

- HELL P., SLAMEČKA J. 1999: Medveď v slovenských Karpatoch a vo svete. Bratislava: PaRPRESS.
- KOHN M.H., YORK E.C., KAMRADT D.A., HAUGHT G., SAUVAJOT R.M., WAYNE R.K. 1999: Estimating population size by genotyping faeces. *Proceedings of the Royal Society of London* **266**: 657–663.
- MILLER C.R., JOYCE P., WAITS L.P. 2002: Assessing allelic dropout and genotype reliability using maximum likelihood. *Genetics* **160**: 357–366.
- MILLS L.S., CITTA J.J., LAIR K., SCHWARTZ M., TALLMON D. 2000: Estimating animal abundance using noninvasive DNA sampling: promise and pitfalls. *Ecological Applications* **10**: 283–294.
- MORIN P.A., CHAMBERS K.E., BOESCH C., VIGILANT L. 2001: Quantitative polymerase chain reaction analysis of DNA from noninvasive samples for accurate microsatellite genotyping of wild chimpanzees (*Pan troglodytes verus*). *Molecular Ecology* **10**: 1835–1844.
- MULLIS K., FALOONA F., SCHARF S., SAIKI R., HORN G., ERLICH H. 1986: Specific enzymatic amplification of DNA *in vitro*: the polymerase chain reaction. *Cold Spring Harbor Symposium in Quantitative Biology* **51**: 263–73.
- NAVIDI W., ARNHEIM M., WATERMAN M.S. 1992: A multiple-tubes approach for accurate genotyping of very small DNA samples by using PCR: statistical considerations. *The American Journal of Human Genetics* **50**: 347–359.
- PAETKAU D. 2004: The optimal number of markers in genetic capture-mark-recapture studies. *Journal of Wildlife Management* **68** (3): 449–452.
- PAETKAU D., CALVERT W., STIRLING I., STROBECK C. 1995: Microsatellite analysis of population structure in Canadian polar bears. *Molecular Ecology* **4**: 347–354.
- PAETKAU D., STROBECK C. 1994: Microsatellite analysis of genetic variation in black bear populations. *Molecular Ecology* **3**: 489–495.
- SABADOŠ K., ŠIMIAK M. 1981: Rozšírenie a poľovné obhospodarovanie medveďa hnedého (*Ursus arctos* L.) na Slovensku. *Folia venatoria* **10–11**: 15–34.
- SERVHEEN C. 1990: The status and conservation of the bears of the world. *Eighth International Conference on Bear Research and Management Monograph Series No. 2*.
- SOLBERG K.H., BELLEMAIN E., DRAGESET O.M., TABERLET P., SWENSON J.E. 2006: An evaluation of field and non-invasive genetic methods to estimate brown bear (*Ursus arctos*) population size. *Biological Conservation* **128**: 158–168.
- SØRENSEN O.J. 1990: The brown bear in Europe in the mid 1980's. *Aquilo Ser. Zool.* **27**: 3–16.
- TABERLET P., CAMARRA J.J., GRIFFIN S., UHRÈS E., HANOTTE O., WAITS L.P., DUBOIS-PAGANON C., BURKE T., BOUVET J. 1997: Noninvasive genetic tracking of the endangered Pyrenean brown bear population. *Molecular Ecology* **6** (9): 869–76.
- TABERLET P., GRIFFIN S., GOOSENS B., QUESTIAU S., MANCEAU V., ESCARAVAGE N., WAITS L.P., BOUVET J. 1996: Reliable genotyping of samples with very low DNA quantities using PCR. *Nucleic Acids Research* **24** (16): 3189–3194.
- TABERLET P., LUIKART G. 1999: Non-invasive genetic sampling and individual identification. *Biological Journal of the Linnean Society* **68**: 41–55.
- VALIÈRE N. 2002: GIMLET: a computer program for analyzing genetic individual identification data. *Molecular Ecology Notes* **2**: 377–379.
- VALIÈRE N. 2003: GIMLET 1.3.2 Guide. Distribuované autorom.
- WAITS J.L., LEBER G.P.L. 2000: Biases associated with population estimation using molecular tagging. *Animal Conservation* **3**: 191–199.
- WAITS L.P., LUIKART G., TABERLET P. 2001: Estimating the probability of identity among genotypes in natural populations: cautions and guidelines. — *Molecular Ecology* **10**: 249–256.
- WALSH S.P., METZGER D. A., HIGUCHI R. 1991: Chelex 100 as a medium for simple extraction of DNA for PCR-based typing from forensic material. *Biotechniques* **10** (4): 506–513.

Adresy autorov:

Martin Straka¹, Ladislav Paule¹, Slavomír Findo², Jozef Štofik³

¹Lesnícka fakulta TU vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen

straka@vsld.tuzvo.sk, paule@vsld.tuzvo.sk

²Národné lesnícke centrum, T. G. Masaryka 22, 960 92 Zvolen, findo@nlcsk.org

³Správa NP Poloniny, Ul. Mieru 193, 067 61 Stakčín, jozef.stofik@sopsr.sk

The use of fecal and hair samples in study of brown bear populations.

Summary

This paper presents preliminary results of study of brown bear (*Ursus arctos*) populations in Western Carpathians using fecal and hair samples. Noninvasive samples are suitable for individual identification, sex determination, and study of migration as well as estimate of population size without need to catch and even disturb the animal. We used 13 nuclear microsatellite markers and sex specific marker for identification of brown bear individuals in two different regions of Slovakia: 1) Poľana and Veporské vrchy Mountains and 2) National Park Poloniny. Genotyping errors were detected and eliminated by software RELIOTYPE. We used different approaches to calculate the population size estimate. In first study area we identified 32 different individuals. Population size estimate calculated by 3 different approaches were: 156 (Kohn method), 63 (Eggert method), 36 (Chessel method). In second study area we identified 12 different bears and population size estimates were: 69 (Kohn method), 28 (Eggert method), 19 (Chessel method). Method by Eggert seems to give the best estimates for both areas, however, with very high standard deviation. We stress the importance of more precise sampling to get more relevant data for population size estimate. In conclusion, we highlight the use of noninvasive samples in study of endangered, elusive and protected species.

GENETICKÁ DIFERENCIÁCIA POPULÁCIÍ JARABINY BREKYŇOVEJ (*SORBUS TORMINALIS* (L.) CRANTZ) V STREDNEJ A JUHOVÝCHODNEJ EURÓPE

Veronika K U Č E R O V Á

KUČEROVÁ, V.: Genetická diferenciácia populácií jarabiny brekyňovej (*Sorbus torminalis*) v strednej a juhovýchodnej Európe. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, LI, 2009, Suppl. 1, s. 31–40

Cieľom práce je zistenie štruktúry genetickej premenlivosti jarabiny brekyňovej (*S. torminalis*) vo východnej časti jej rozšírenia. Vzorky biologického materiálu boli zozbierané zo 14 populácií v strednej a juhovýchodnej Európe a na genetickú analýzu bolo použitých 7 mikrosatelitných lokusov jadrovej DNA. *S. torminalis* je drevinou vyskytujúcou sa v málo početných populáciách, navzájom izolovaných slabým tokom génov, čo má za následok vysokú diferenciáciu medzi populáciami. Toto potvrdzujú aj výsledky našej štúdie ($F_{ST} = 0,228$). Medzi skúmanými populáciami bola zistená významná izolácia vzdialenosťou a tiež genetická podobnosť geograficky blízkych populácií.

Na základe zastúpenia génov v jednotlivých populáciách sme pozorovali trendy genetickej premenlivosti napr. pozdĺž karpatského oblúka. Zaujímavosťou je populácia na Muránskej planine, ktorá sa svojím genetickým zložením výrazne odlišuje od slovenských populácií, preddepodobne v dôsledku silného narušenia jej genetickej štruktúry a diverzity v priebehu evolúcie (efekt zakladateľa, zahrdlenie).

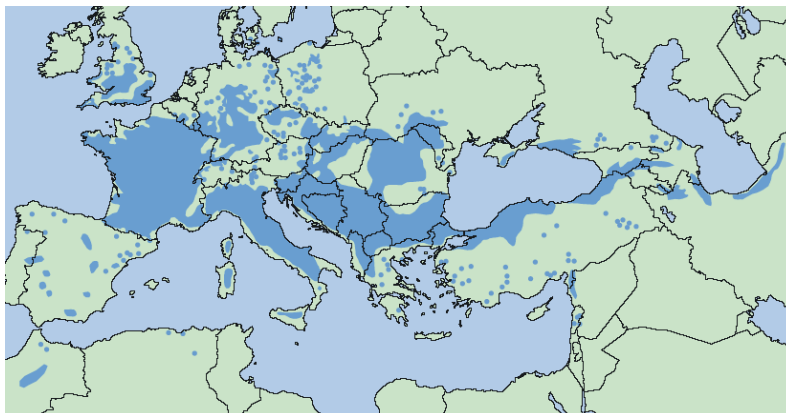
Kľúčové slová: *Sorbus torminalis*, mikrosatelity, genetická diferenciácia, genetická premenlivosť

1. ÚVOD A PROBLEMATIKA

Jarabina brekyňová (brekyňa), *Sorbus torminalis* (L.) Crantz (Rosaceae), je lesnou drevinou nižších polôh vyskytujúca sa na rozľahlom areáli od východnej časti Veľkej Británie po severný Irán a od južného Švédska po severnú Afriku (obr. 1). Hoci areál výskytu je veľký, hustota populácií je nízka, 0,1–30 jedincov/ha (DEMESURE-MUSCH & ODDOU-MURATIO, 2004).

Keďže jarabina brekyňová je druh náročný na svetlo, často je vytláčaná v lesných porastoch klimaxovými druhmi ako sú buk a dub. Vďaka efektívnemu rozširovaniu semien vtákmi a drobnými cicavcami, a tiež vegetatívne rozmnožovaniu pomocou koreňových výmladkov ľahko kolonizuje vhodné stanovištia, ako sú osvetlené miesta v poraste po odumretí alebo vyťažení starších stromov, lesy s nízkym zakmenením a rúbaniská, a tým zostáva prítomná v porastoch.

Drevo jarabiny brekyňovej patrí medzi najviac cenené v Európe (DEMESURE-MUSCH & ODDOU-MURATORIO, 2004) a tak aj napriek pomerne riedkemu výskytu ju nemožno považovať za ekonomicky nevýznamnú.



Obr. 1 Mapa rozšírenia *S. torminalis* (DEMASURE-MUSCH & ODDOU-MURATORIO, 2004)

Fig. 1 Distribution of *S. torminalis* (DEMASURE-MUSCH & ODDOU-MURATORIO, 2004)

Jarabina brekyňová je diploid ($2n = 34$), vyššia ploidita nebola zaznamenaná. Ľahko vytvára allopolyploidné a homoploidné hybridy so *S. aria* (NELSON-JONES *et al.* 2002). Tieto hybridy sú reprodukčne izolované od *S. torminalis*, vďaka čomu nenastáva introgresia a následná kontaminácia genofondu tohto druhu.

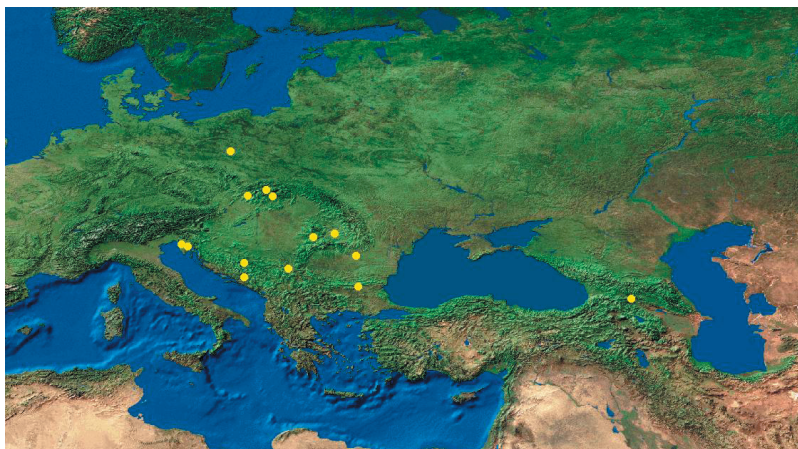
Viacere štúdie na zistenie genetickej diverzity a diferenciácie *S. torminalis* na lokálnej alebo regionálnej úrovni (BEDNORZ *et al.* 2006, BELLETTI *et al.* 2008, DEMASURE *et al.* 2000, RASMUSSEN & KOLLMANN, 2008) boli urobené použitím rozličných génových markérov (izoenzymy, RAPD, mikrosatelity). Doteraz nebola zaznamenaná štúdia, ktorá by skúmala genetickú štruktúru jarabiny brekyňovej v širšom rámci jej geografického rozšírenia.

Genetickú štruktúru populácií jarabiny brekyňovej výrazne ovplyvňuje časté vymieranie a kolonizácia nových miest. Nové populácie sú zakladané z malého počtu jedincov, preto v novej populácii pretrvávajú len gény zakladateľov a časť genetickej diverzity sa vymretím stráca. *S. torminalis* je citlivá na ľudskú činnosť, hlavne na fragmentáciu areálu a znižovanie počtu populácií v dôsledku využívania pôdy v nižších polohách prevažne na poľnohospodárske účely. Tieto postupy majú nepriaznivé dôsledky na jej genetickú diverzitu (HOEBEE *et al.* 2007).

Z vyššie uvedeného vyplýva, že je dôležitá ochrana genofondu ako *in situ* tak aj *ex situ*. V niekoľkých európskych krajinách už boli založené semenné sady, ktoré na jednej strane prispievajú k zachovaniu cenného genofondu. Na druhej strane však hrozí, že tieto semenné sady budú použité ako jediný zdroj genetického materiálu pri zalesňovaní, čo spôsobí zníženie genetickej diverzity založených populácií. Informácie o geografickej štruktúre genetickej premenlivosti sú nevyhnutné pri návrhu konzervačných stratégií na národnej i medzinárodnej úrovni. Cieľom tejto práce je popísať geografickú štruktúru genetickej premenlivosti *S. torminalis* vo východnej časti jej areálu, t.j. na Slovensku, v Poľsku, Maďarsku, juhovýchodnej Európe a v oblasti Kaukazu, použitím mikrosatelitných markérov.

2. MATERIÁL A METODIKA

Pre účely tejto práce boli zozbierané vzorky listov zo 14 populácií *S. torminalis* v strednej a juhovýchodnej Európe a v Gruzínsku (obr. 2, tab. 1). Počet vzoriek sa pohyboval od 9 do 41 dospelých stromov na populáciu, v závislosti od veľkosti populácie. Populácie z juhovýchodného Bulharska boli reprezentované veľmi malými vzorkami (2-3 kusy), preto boli zlúčené do jednej populácie a ďalej sme s nimi pracovali ako s jednou populáciou.



Obr. 2 Mapa odberu vzoriek
Fig. 2 Sampled localities

Tab. 1 Prehľad analyzovaných populácií

Tab. 1 List of analyzed populations

Názov populácie	Krajina	Zem. dĺžka	Zem. šírka	Počet vzoriek
Kakanj-1	Bosna a Hercegovina	18°06'E	43°11'N	30
Kakanj-2	Bosna a Hercegovina	18°05'E	44°10'N	31
spojená populácia	Bulharsko	26°23'E	42°40'N	9
Dulovo	Bulharsko	27°09'E	43°49'N	41
Učka	Chorvátsko	14°12'E	45°19'N	9
Tbilisi	Gruzínsko	44°47'E	41°43'N	10
Piaski pri Poznani	Poľsko	17°09'E	51°49'N	24
Bejan	Rumunsko	22°51'E	45°57'N	16
Medias	Rumunsko	24°21'E	46°10'N	20
Bountin	Rumunsko	25°47'E	44°39'N	16
Kšinná	Slovensko	18°21'E	48°49'N	9
Babky	Slovensko	19°38'E	49°11'N	41
Muránska planina	Slovensko	20°03'E	48°45'N	10
Koštabona	Slovensko	13°45'E	45°29'N	17

Vzorky sme odoberali zo stromov vzdialených od seba minimálne 20m aby sme sa vyhli zberu vzoriek z toho istého klonu. Listy boli hneď po zbere vysušené v silikagéli. Pre extrakciu DNA bola použitá metóda CTAB podľa DOYLE & DOYLE (1987).

Pre genetické analýzy bolo vybraných sedem mikrosatelitných lokusov (MSS1, MSS5, MSS6, MS6g, MSS9, MSS13, MSS16) podľa ODDOU-MURATORIO *et al.* (2001). Primery boli multiplexované do dvoch skupín, skupina A obsahovala primery MSS6, MS6g, MSS9, MSS13, MSS16 a skupina B primery MSS1, MSS5. Všetky PCR reakcie (polymeraze chain reaction) prebiehali v MJ Reasearch PTC 200 alebo Perkin Elmer GeneAmp 9700 termocykléri v 10 µl zmesiach. PCR Master mix obsahoval približne 25ng DNA, 5 µl Qiagen Multiplex PCR Kit a v multiplexe A primery v nasledujúcich množstvách: 0,20 µl MSS6; 0,10 µl MS6g; 0,15 µl MSS9; 0,40 µl MSS13; 0,15 µl MSS16; v multiplexe B primery v nasledujúcich množstvách: 0,10 µl MSS1; 0,15 µl MSS5. Prehľadný rozpis použitých markérov a multiplexov je uvedený v tab. 2.

Pre amplifikáciu vybraných mikrosatelitných úsekov DNA sme použili schému touch-down PCR (tab. 2), ktorá sa začínala počiatočnou denaturáciou 15 min na 95°C. Nasledovalo 35 cyklov s nasledovnou štruktúrou: 30s denaturácia pri 94°C, 90s annealingový krok (podrobnosti viď nižšie) a 1 min elongácia pri 72°C. Annealingová teplota v prvom cykle bola 59°C v multiplexe A (62°C v multiplexe B), počas 10 cyklov sa postupne v každom cykle znižovala o 0,5°C (0,3°C v prípade multiplexu B) a zvyšných 24 cyklov bola 54°C (59°C v multiplexe B). Záverečná elongácia po 35 cykloch trvala 30 min pri teplote 60°C. Amplifikované produkty boli separované na ABI 3100 DNA sekvenátore a genotypy boli určené pomocou softvéru GeneMapper v. 3.7. Príklad určeného genotypu je na obr. 3.

Tab. 2 Prehľad PCR reakcií pre jednotlivé multiplexy

Tab. 2 Overview of PCR reactions for each multiplex

Multiplex A		Multiplex B		Schéma PCR pre multiplex A (B)	
marker	použitá množstvo	marker	použitá množstvo	úvodná denaturácia	95°C 15min
MSS1	0.10 µl	MSS6	0.20 µl	35 cyklov	
MSS2	0.15 µl	MS6g	0.01 µl		denaturácia 94°C 30s
		MSS9	0.15 µl		annealing 59°C (62°C) 90s
		MSS13	0.40 µl		10x - 0,5°C (-0,3°C)
		MSS16	0.15 µl		25x 54°C (59°C) 90s
				elongácia	72°C 1min.
				záverečná elongácia	60°C 30 min.



Obr. 3 Grafický výstup fragmentačnej analýzy v programe GeneMapper

Fig. 3 Graphic output of fragment analysis in program GeneMapper

Na zistenie genetickej diferenciácie sme použili niekoľko prístupov. Najprv sme vypočítali koeficient diferenciácie medzi populáciami F_{ST} (WEIR & COCKERHAM 1984) použitím programu GENEPOP v. 3.3 (RAYMOND & ROUSSET, 1995). Zostrojili sme dendrogram na základe metódy najbližšieho suseda (UPGMA – Unweighted Pair Group Method with Arithmetic mean) využitím programu PHYLIP v. 3.61 (FELSENSTEIN, 2004). Vzťah medzi F_{ST} a geografickými vzdialenosťami sme otestovali použitím jednoduchého Mantelovho testu, štatistická významnosť bola odvodená zo 100 000 náhodných permutácií. Výpočet sme uskutočnili pomocou programu *zt* (BONNET and VAN DE PEER, Ghent University, Belgium). Otestovali sme aj možnú izoláciu vzdialenosťou podľa ROUSSETA (1997). Ako sa odporúča pre dvojrozmerný prípad, spočítali sme regresiu odhadu $F_{ST}/(1 - F_{ST})$ oproti logaritmu vzdialenosti pomocou programu GENEPOP v. 3.1b (RAYMOND & ROUSSET 1995).

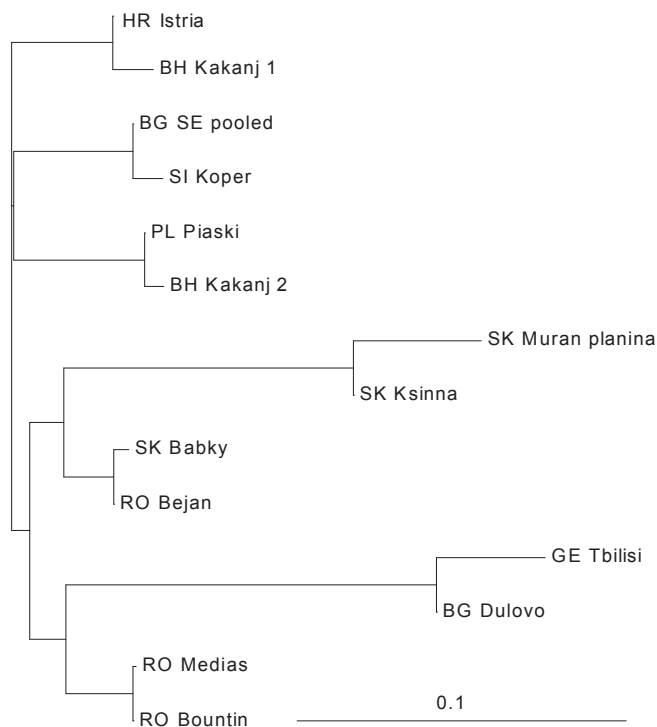
Ďalej sme použili procedúru STRUCTURE (PRITCHARD *et al.* 2000), ktorá určí počet skupín geneticky príbuzných jedincov v rámci skúmaného súboru a konkrétnych jedincov zaradí na základe genotypu do zistených skupín. Keďže predpokladáme tok génov medzi populáciami, použili sme model pripúšťajúci prímеси v populáciách. Tento model umožní zistiť podiel každej skupiny na genóme konkrétneho jedinca. Podiely jednotlivých skupín na genóme jedincov sme potom v rámci každej populácie spriemerovali.

3. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Celková diferenciácia bola pomerne vysoká ($F_{ST} = 0,228$), čo sa aj predpokladá u druhov s izolovaným výskytom v rámci areálu rozšírenia. Táto hodnota je podobná ako zistili iní autori v štúdiách založených na izoenýmoch v Poľsku, Francúzsku a Dánsku

(BEDNORZ *et al.* 2006, DEMESURE *et al.* 2000, RASMUSSEN & KOLLMANN, 2008). Naša hodnota je vyššia, pravdepodobne v dôsledku toho, že sme analyzovali vzorky z rozsiahlejšieho územia (juhovýchodná Európa a čiastočne stredná Európa). Na druhej strane BELLETTI *et al.* (2008) pozoroval ešte vyššiu úroveň diferenciácie medzi populáciami v Taliansku použitím markerov RAPD.

Dendrogram (obr. 4) neodhalil jasnú geografickú štruktúru genetickej premenlivosti, hoci je možné vidieť isté náznaky geografického zoskupenia populácií. Slovenské populácie spolu s Rumunskou populáciou Bejan tvoria jednu vetvu, druhá je zložená z populácií z juhovýchodného Balkánu (Rumunsko a Bulharsko) a zahŕňa aj gruzínsku populáciu. Tretia vetva pozostáva z populácií západného Balkánu (Slovinsko, Chorvátsko, Bosna) tiež obsahuje spojenú bulharskú populáciu a populáciu z Poľska. Aj napriek nejasnej geografickej štruktúre, diferenciácia významne koreluje so vzdialenosťou (Mantelov test: $r = 0,757$, $P = 0,015$), čo je zrejme dôsledok vysoko významnej izolácie vzdialenosťou, keďže Roussetov model mal regresiu $F_{ST}(1 - F_{ST}) = -0.1071 + 0.0195 \ln d$, čo je vysoko významné ($P > 0.9999$).



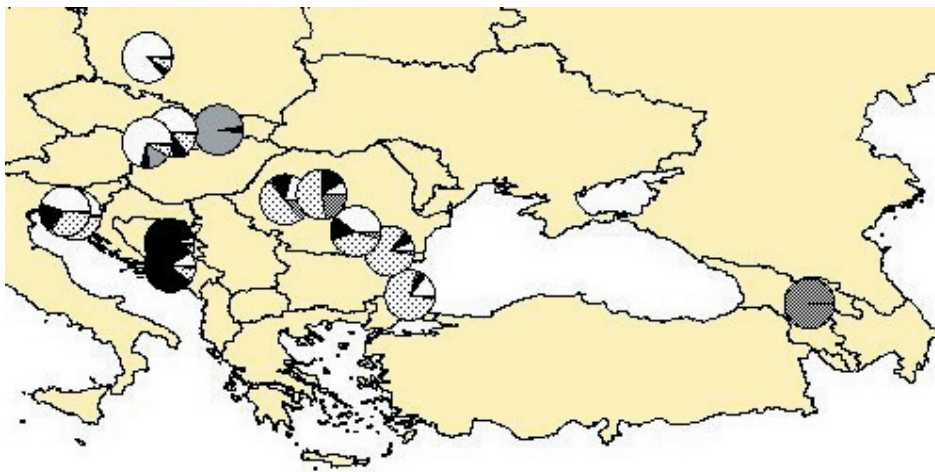
Obr. 4 Dendrogram založený na hodnotách F_{ST} medzi populáciami *S. torminalis*

Fig. 4 Nearest-neighbour tree based on pairwise F_{ST} among the investigated *S. torminalis* populations

Lepší pohľad na geografickú štruktúru poskytla procedúra STRUCTURE aj keď táto neberie do úvahy geografickú pozíciu jednotlivých stromov. Ako najpravdepodobnejší počet stanovila päť skupín geneticky príbuzných jedincov. Rozloženie genofondov týchto piatich skupín naznačuje zreteľnú geografickú štruktúru (obr. 5). Gény prvej skupiny sú

vysoko zastúpené v populáciách strednej Európy (Poľsko, Slovensko) a ich zastúpenie postupne klesá smerom na Balkán. Druhá skupina génov prevláda v bosnianských populáciách a pozvoľna sa stráca ako smerom na sever tak aj smerom na východ. Tretia skupina dominuje v populáciách juhovýchodného Balkánu (Bulharsko) a jej podiel sa znižuje pozdĺž karpatského oblúka. Ako sme očakávali, gruzínska populácia sa výrazne odlišuje od európskych populácií a obsahuje takmer výlučne gény zo štvrtej skupiny. Čo je však udivujúce, populácia na Muránskej planine sa odlišuje od slovenských aj poľských populácií a tvorí samostatnú skupinu.

Pre rastlinné druhy so životným cyklom podobným ako *S. torminalis* je úroveň genetickej diferenciácie podľa HAMRICKA *et al.* (1992) vo všeobecnosti mierna (v priemere $F_{ST} \approx 0,1$ a $0,05$ pre cudzopelivé druhy opelované hmyzom, ktorých semená rozširujú zvieratá, čo je omnoho nižšia hodnota než sme pozorovali my). *S. torminalis* sa vyskytuje zväčša v malých roztrúsených populáciách s nízkym tokom génov medzi populáciami (BEDNORZ *et al.* 2006). Opakované fluktuácie vo veľkosti populácií spôsobujú efekt zahrdlenia s následným genetickým driftom, čo má za následok stratu genetickej diverzity a zvýšenie diferenciácie medzi populáciami. Vysoká miera diferenciácie medzi populáciami môže byť vysvetlená aj efektom zakladateľa.



Obr. 5 Analýza štruktúry populácií *S. torminalis*: Podiel jednotlivých genofondov určených procedúrou STRUCTURE v každej populácii. Legenda: biele kruhy – gény 1. skupiny (slovensko-poľská); čierne kruhy – gény 2. skupiny (bosnianska); bodkované kruhy – gény 3. skupiny (bulharská); tmavosivý kruh – gény 4. skupiny (Gruzínsko); svetlosivý kruh – gény 5. skupiny (Muránska planina)

Fig. 5 Model-based analysis of population structure in *S. torminalis*: Proportions of individual gene pools identified by STRUCTURE in each population. Legend: white circles – genes of 1st group (Slovak-Polish), black circles – genes of 2nd group (Bosnia); spotted circles – genes of 3rd group (Bulgarian); light grey circles – genes of 4th group (Georgia); dark grey circles – genes of 5th group (Muránska planina)

Populácie jarabiny brekyňovej sú charakterizované ako metapopulácie, ktoré podliehajú častému vymieraniu a následnej rekolonizácii (DEMESURE *et al.* 2000, ODDOU-MURATORIO *et al.* 2001, ANGELONE *et al.* 2007). V týchto prípadoch sa ukazuje počet jedincov zakladajúcich novú populáciu ako rozhodujúci faktor, ktorý ovplyvňuje genetickú diferenciáciu medzi mladými populáciami (WADE & MCCAULEY 1988). Efekt zakladateľa zrejme

zohral významnú rolu v evolúcii slovenskej populácie Muránska planina a je pravdepodobnou príčinou jej výraznej odlišnosti, čo sa týka zastúpenia génov, od zvyšku populácií v slovensko-poľskej skupine.

Takéto lokálne odchýlky od všeobecnej štruktúry môžu teoreticky nastať aj v dôsledku mimodruhovej hybridizácie a introgresie, ktorá je v čeľadi Rosaceae bežná. *S. torminalis* vytvára hybridy so *S. aria* označované ako skupina *S. latifolia*. Tieto hybridy sú zväčša diploidné, schopné pohlavne sa rozmnožovať a spätne krížiť s rodičovskými taxónmi (AAS *et al.* 1994, NELSON-JONES *et al.* 2002). Hybridizácia je však prevažne jednosmerná, (*S. aria* je otcovským druhom), preto sú hybridy morfológicky odlišiteľné a spätné krížence pripomínajú skôr *S. aria*. Introgresia je preto veľmi nepravdepodobnou príčinou výskytu populácií nezapadajúcich do všeobecnej geografickej štruktúry.

Geografická štruktúra genetickej premenlivosti *S. torminalis* odvodená z procedúry STRUCTURE môže vyplývať z rozšírenia druhov po poslednom zaľadnení. Nie sú však k dispozícii žiadne fylogeografické štúdie zahŕňajúce celý areál rozšírenia a rozsah našich dát je pre účel potvrdenia tejto hypotézy nepostačujúci.

4. ZÁVER

Pre štúdium genetickej premenlivosti jarabiny brekyňovej, *S. torminalis* L. (Crantz), sme použili 283 vzoriek listov zo štrnástich populácií v strednej a juhovýchodnej Európe. Na genetické analýzy sme vybrali 7 mikrosatelitných lokusov jadrovej DNA. Na základe výsledkov možno konštatovať pomerne vysokú úroveň genetickej premenlivosti medzi skúmanými populáciami. Táto je spôsobená, jednak spôsobom rozširovania *S. torminalis* (vymieranie a následná kolonizácia vhodných stanovišť), jednak veľkými vzdialenosťami medzi skúmanými populáciami, keďže geografický záber našej štúdie je od strednej Európy po Gruzínsko.

Analýzy geografického rozloženia genetickej premenlivosti poukazujú na väčšiu genetickú podobnosť geograficky blízkych populácií (napr. populácie pozdĺž karpatského oblúka, slovensko-poľské populácie) ako populácií od seba vzdialenejších. Výnimku tvorí populácia na Muránskej planine, ktorá sa výrazne odlišovala od slovensko-poľskej skupiny. V tejto populácii nastalo pravdepodobne silné zahrdlenie alebo táto oblasť bola kolonizovaná nízkym počtom jedincov. V oboch prípadoch je dôsledkom zvýšenie genetickej diferenciácie od ostatných populácií.

Pre presnejšie určenie trendu genetickej premenlivosti *S. torminalis* v strednej a juhovýchodnej Európe a v Ázijskej časti jej rozšírenia plánujeme doplniť vzorky z niektorých ďalších krajín (Srbsko, Macedónsko, Turecko) aby sme mohli urobiť komplexnú štúdiu.

Výsledky našej práce je možné využiť pri plánovaní opatrení na zachovanie genofondu *S. torminalis*. Keďže napr. slovenské populácie sú značne rôznorodé, v prípade zakladania génových základní *S. torminalis* by bolo vhodné zohľadniť túto skutočnosť a navrhnúť génové základne tak, aby sa zachovala genetická diverzita v čo najširšom rozsahu.

Pod'akovanie

Za poskytnutie vzoriek ďakujem Petrovi Zhelevovi, Daliborovi Ballianovi, Robertovi Brusovi, Davorinovi Kajbovi, Maji Achalkatsi a Malgorzate Sulkowskej.

Táto práca vznikla v rámci riešenia výskumného projektu VEGA č. 1/3262/06.

5. POUŽITÁ LITEREATÚRA

- AAS G., MAIER J., BALTISBERGER M., METZGER S. 1994. Morphology, isozyme variation, cytology, and reproduction of hybrids between *Sorbus aria* (L.) Crantz and *S. torminalis* (L.) Crantz. *Botanica Helvetica* 104: 195-214.
- ANGELONE S., HILFIKER K., HOLDEREGGER R., BERGAMINI A., HOEBEE S.E. 2007. Regional population dynamics define the local genetic structure in *Sorbus torminalis*. *Molecular Ecology* 16: 1291-1301.
- BEDNORZ L., MYCZKO L., KOSINSKI P. 2006. Genetic variability and structure of the wild service tree (*Sorbus torminalis* (L.) crantz) in Poland. *Silvae Genetica* 55: 197-202.
- BELLETTI P., MONTELEONE I., FERRAZZINI D. 2008. A population genetic study in a scattered forest species, wild service tree [*Sorbus torminalis* (L.) Crantz], using RAPD markers. *Eur J Forest Res* 127: 103-114.
- DEMESURE B., LE GUERROUE B., LUCCHI G., PRAT D., PETIT R.J. 2000. Genetic variability of a scattered temperate forest tree: *Sorbus torminalis* L-(Crantz). *Annals of Forest Science* 57: 63-71.
- DEMESURE-MUSCH B. & ODDOU-MURATORIO S. 2004. EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for wild service tree (*Sorbus torminalis*). International Plant Genetic Resources Institute. Rome, Italy. 6 pages.
- DOYLE J.J. & DOYLE J.L. 1987. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochem. Bull.* 19: 11-15.
- FELSENSTEIN J. 2004. PHYLIP (Phylogeny Inference Package) version 3.6. Department of Genome Sciences, University of Washington, Seattle.
- HAMRICK J.L., GODT M.J.W., SHERMAN-BROYLES S.L. 1992. Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species. *New Forests* 6: 95-124.
- HOEBEE S.E., ARNOLD U., DUGGELIN C., GUGERLI F., BRODBECK S., ROTACH P., HOLDEREGGER R. 2007. Mating patterns and contemporary gene flow by pollen in a large continuous and a small isolated population of the scattered forest tree *Sorbus torminalis*. *Heredity* 99: 47-55.
- NELESON-JONES E.B., BRIGGS D., SMITH A.G. 2002. The origin of intermediate species of the Genus *Sorbus*. *Theor. Appl. Genet.* 105: 953-963.
- ODDOU-MURATORIO S., ALIGON C., DECOOCQ S., PLOMION C., LAMANT T., DEMESURE B. 2001. Microsatellite primers for *Sorbus torminalis* and related species. *Mol Ecol Notes* 1: 297-299.
- PRITCHARD J. K., STEPHENS M., DONNELLY P. 2000. Inference of population structure from multilocus genotype data. *Genetics* 155: 945-959.
- RASMUSSEN K. K. & KOLLMANN J. 2008. Low genetic diversity in small peripheral populations of a rare European tree (*Sorbus torminalis*) dominated by clonal reproduction. *Conserv Genet* 9:1533-1539.
- RAYMOND M. & ROUSSET F. 1995. GENEPOP (Version 1.2): population genetics software for exact tests and ecumenicism. *Journal of Heredity* 86: 248-249.
- ROUSSET F. 1997. Genetic differentiation and estimation of gene flow from F-statistics under isolation by distance. *Genetics* 145: 1219-1228.
- WADE M.J. & MCCAULEY D.E. 1998. Extinction and recolonization: their effects on the genetic differentiation of local populations. *Evolution* 42:995-1005.
- WEIR B.S., COCKERHAM C.C. 1984. Estimating F-statistics for the analysis of population structure. *Evolution* 38: 1358-1370.

Adresa autora:

Ing. Veronika Kučerová
Katedra fytológie
Lesnícka fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
Masarykova 24
960 53 Zvolen
Slovenská republika
e-mail: vkucerova@vsld.tuzvo.sk

Genetic differentiation of the wild service tree (*Sorbus torminalis* (L.) Crantz) in Central and South-eastern Europe

Summary

The objective of this study is describing genetic variation patterns of *S. torminalis* in the eastern part of the species' distribution range. Fourteen *S. torminalis* populations in central and south-east Europe were sampled and 7 microsatellite loci of nuclear DNA were used for genetic analysis. *S. torminalis* is a forest tree occurring in populations with low densities, isolated by poor gene flow between populations, what increases genetic differentiation between populations. Our study confirms this information as $F_{ST} = 0,228$. Significant isolation by distance was identified, as well as genetic similarity of geographically proximate populations.

Based on fractions of genepools in each population, we observed some trends in genetic variation, for example along the Carpathian arc. What is interesting, population of Muránska planina was found outstanding (as regards gene pools) among Slovak populations. This is caused probably by strong disruption of genetic structure and diversity in evolution of this population (founder effect, bottleneck).

ÚČINKY DEZINFEKČIE A MYKORIZÁCIE SUBSTRÁTU NA VÝVIN SEMENÁČIKOV SMREKA OBYČAJNÉHO (*PICEA ABIES* [L.] KARST.)

EFFECTS OF DISINFECTION AND MYCORRHIZATION OF SUBSTRATE ON DEVELOPMENT OF NORWAY SPRUCE (*PICEA ABIES* [L.] KARST.) SEEDLINGS

Tibor J U R G A – Ivan R E P Á Č

Jurga T., Repáč I.: Účinky dezinfekcie a mykORIZÁCIE substrátu na vývin semenáčikov smreka obyčajného (*Picea abies* [L.] Karst.). Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, LI, 2009, Suppl. 1, s. 41–53.

Cieľom práce bolo posúdenie vplyvu umelej inokulácie substrátu ektomykoriznými hubami čirovka zelenohnedastá (*Tricholoma sejunctum* [Sowerby] Quél.) a sliziak mazľavý (*Gomphidius glutinosus* [Schaeff.] Fr.) a dezinfekcie substrátu na rast a rozsah ektomykoriznej symbiózy jednoročných voľnokorenných semenáčikov smreka obyčajného pestovaných pod polyetylénovým krytom.

Huby boli aplikované formou granulového vegetatívneho (mycéliového) inokula, substrát bol dezinfikovaný Basamidom. Celý pokus bol usporiadaný ako dvojfaktorový (substrát a huba) v úplných znáhodnených blokoch. Dva varianty rastového substrátu (dezinfikovaný a nedezinfikovaný) a štyri varianty jeho inokulácie (2 huby, granule neobsahujúce hubu a substrát bez granúl – kontrola) tvorili 8 kombinácií sledovaných faktorov, ktoré boli v trojnásobnom opakovaní (blokoch) náhodne rozmiestnené v PEK. Výsev sa vykonával naraz s inokuláciou do nádob naplnených substrátom. Po prvom vegetačnom období bolo zistené prežívanie, základné rastové charakteristiky a tvorba ektomykoriz semenáčikov. Biometrické charakteristiky a rozsah ektomykoriz boli analyzované dvojfaktorovou analýzou variancie.

Sledované faktory nemali výrazný účinok na prežívanie semenáčikov. Inokulácia obidvoma hubami mala mierny stimulačný účinok na vývin nadzemnej časti semenáčikov; významný rozdiel bol zistený len pre výšku stonky medzi semenáčikmi inokulovanými čirovkou a neinokulovanými. Dezinfekcia substrátu nemala významný vplyv na rast semenáčikov. Aj keď boli zistené určité rozdiely medzi variantmi u niektorých morfológických typov ektomykoriz, ani inokulácia ani dezinfekcia nemala vplyv na celkový rozsah ektomykoriz. Na tvorbe ektomykoriz sa za spolupôsobenia aplikovaných húb rozhodujúcou mierou podieľali miestne prirodzené sa vyskytujúce symbiotické huby.

Kľúčové slová: *Picea abies*, ektomykorizna symbióza, inokulácia, dezinfekcia substrátu, voľnokorenné semenáčky

1. ÚVOD

Napriek vzrastajúcej tendencii uplatňovania prírode blízkych zásad pestovania lesa (SANIGA 2004) má umelá obnova stále výrazný podiel na plnení zalesňovacích povinností. Na zabezpečenie vysokého podielu umelej obnovy je potrebné vypestovať dostatočné množstvo kvalitného sadbového materiálu požadovaného drevinového zloženia. Vy-

pestované sadenice sa budú musieť vyznačovať určitými kvalitatívnymi charakteristikami, ktorými sa dokážu presadiť v podmienkach neustále zhoršujúceho sa prírodného prostredia. Jednou z významných charakteristík kvalitného sadbového materiálu je prítomný symbiotický vzťah koreňov s ektomykoríznymi (EKM) hubami. Mykorízna symbióza je nezapustiteľným atribútom fyziologicky vyspelého sadbového materiálu, schopného odolávať rozmanitým stresovým faktorom prostredia výsadbových plôch (RICHTER – BRUHN 1989, CASTELLANO 1996). Takýto sadbový materiál má mnoho predností (napr. korene majú lepšiu schopnosť prijímať z pôdy minerálne živiny a vodu, sú odolnejšie voči mrazu, patogénom, toxínom, produkcia rastových regulátorov). Vysoké hnojivé dávky, nadmerná aplikácia pesticídov, umelé substráty a prostredie polyetylénových krytov pôsobia nepriaznivo na vývoj ektomykoríz (REPÁČ 1996a). V niektorých prípadoch jedinou možnosťou podnietenia vývinu mykoríznej symbiózy je zámerná infekcia (inokulácia) sadbového materiálu hubovým inokulom vytipovanej mykoríznej huby (KROPP – LANGLOIS 1990).

Smrek obyčajný (*Picea abies* [L.] Karst.) patrí na Slovensku k najrozšírenejším a hospodársky najdôležitejším lesným drevinám. Patrí do skupiny mezohydrofytov, je veľmi náročný na pôdnu a vzdušnú vlhkosť, taktiež má vysoké nároky na dobré prevzdušnenie pôdy a na vyšší obsah kyslíka v pôde. Na obsah živín v pôde je smrek stredne náročný, zvýšené nároky má na fosfor a horčík. Odporúča sa vysádzať 2–5 ročný sadbový materiál. Zalesňovanie extrémnejších plôch sadbovým materiálom vypestovaným klasickými technológiami v lesnej škôlke je často doprevádzané stratami. Po vytipovaní vhodného hubového symbionta, adaptovaného na podmienky výsadbovej plochy, by umelá mykorízacia v lesných škôlkach mohla zvýšiť ujmavosť, odolnosť a odrastanie kultúr tejto dreviny.

Cieľom práce je posúdiť vplyv 2 druhov EKM húb aplikovaných formou granulového inokula a dezinfekcie substrátu na tvorbu ektomykoríz a rast voľnokorenných semenáčikov smreka obyčajného pestovaných pod polyetylénovým krytom. Aplikované boli huby čirovka zelenohnedastá (*Tricholoma sejunctum* [Sowerby] Quéł.) a sliziak mazľavý (*Gomphidius glutinosus* [Schaeff.] Fr.). Na semenáčikoch sme hodnotili základné biometrické znaky a jednotlivé rozlíšené morfortypy ektomykoríz.

2. MATERIÁL A METODIKA

2.1 Základná charakteristika a usporiadanie pokusu

Pokus bol založený v polyetylénovom kryte v Arboréte Borová hora Technickej univerzity vo Zvolene ako dvojfaktorový (účinky aplikovaná ektomykorízna huba a dezinfekcia substrátu). Úrovnami jedného faktora boli aplikácia dvoch húb formou granulového inokula, aplikácia „čistých“ granúl bez huby a neinokulovaný substrát (kontrola), úrovnami druhého faktora dezinfikovaný a nedezinfikovaný substrát, spolu 8 kombinácií sledovaných účinkov. Každá kombinácia bola založená v troch opakovaniach, so znáhodneným rozmiestnením v troch úplných blokoch. Rastový substrát bol tzv. lesnícky substrát BORA BOBROV. Obsahuje vrchoviskovú rašelinu, agroperlit, vermikulit, zeolit, bentonit, zeolitický vápenec a NPK (14%, 16%, 18%). Substrát bol dezinfikovaný Basamidom granulát (200g.m⁻³, 5 dní vyvíjanie, prekyprenie, 16 dní vetranie). Pripraveným dezinfikovaným a nedezinfikovaným substrátom sa naplnili nádoby s rozmermi 15 × 46 × 12 cm (0,07 m²), spolu 8 (kombinácie) × 3 (bloky) = 24 nádob.

2.2 Použité huby, inokulácia, výsev, pestovanie semenáčikov

Huby boli aplikované formou granulového vegetatívneho (mycéliového) inokula, ktoré bolo pripravené podľa KROPÁČKA – CUDLÍNA (1989). Použité EKM huby a charakteristika čistých kultúr je v tab. 1. Čisté hubové kultúry boli získané izoláciou z pletív plodníc a udržiavané na Katedre pestovania lesa Technickej univerzity vo Zvolene. Podrobný postup izolácie, kultivácie a udržiavania hubového mycélia opisuje REPÁČ (2000).

Tab. 1 Charakteristika čistých kultúr ektomycorizných húb použitých pri inokulácii voľnokorenných semenáčikov smreka obyčajného

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

Huba ¹⁾	Sliziak mazľavý (<i>Gomphidius glutinosus</i> [Schaeff.] Fr.)	Čírovka zelenohnedastá (<i>Tricholoma sejunctum</i> [Sowerby] Quél.)
Označenie izolátu ²⁾	TUZ500	TUZ182
Miesto zberu plodníc ³⁾	Kováčová, 400 m.n.m.	Sielnica, 380 m.n.m.
Rok izolácie ⁴⁾	2006	1995
Médium ⁵⁾	BAF	BAF
Najbližšia drevina ⁶⁾	<i>Picea abies</i>	<i>Quercus</i> sp.

¹⁾ Fungus, ²⁾ Isolate designation, ³⁾ Place of sporocarp collection, ⁴⁾ Date, ⁵⁾ Medium, ⁶⁾ Nearest tree species

Granule boli aplikované rovnomerne vo vrstve asi 3 cm pod povrch substrátu, ktorý bol zmierne zhutnený a na povrch bolo vysiate semeno smreka obyčajného. Vysiate semenno bolo zasypané 0,5 – 1,0 cm vrstvou rastového substrátu. Aplikácia vegetatívneho inokula a výsev semien bol vykonaný 20. 4. 2007. Semeno (evidenčný kód 01564PU – 042) pochádzalo z uznaného porastu kat. B, západoslovenská semenárska oblasť, výšková zóna 601–800 m, zber v r. 1999. Pred výsevom bolo semeno premyté v tečúcej vode, sterilizované namáčaním 15 min. v 30 % H₂O₂, premyté niekoľkokrát destilovanou vodou a potom pretrepané s Dithane M – 45 (1,5 % hmotnosti). Výsevová dávka bola stanovená 24 g.m⁻² na základe kvalitatívnych charakteristík osiva pre 700 ks semenáčikov na m². Nádoby boli umiestnené v polyetylénovom kryte na perforovanú fóliu a drevené podložky kvôli zamedzeniu rastu buriny a prevlhčenia substrátu. Nádoby boli zakryté netkanou textíliou. Textília bola odstránená po vzídení semenáčikov. Po celú dobu pestovania bola semenáčikom venovaná rovnaká starostlivosť, ktorá spočívala hlavne v ručnom pletí a pravidelnom zavlažovaní (automatická závlaha). Semenáčiky boli ošetrované preventívnymi postrekmi proti hubovým ochoreniam a prihnojované. Zoznam použitých prípravkov je v tab. 2.

Tab. 2 Zoznam použitých chemických prípravkov, dátum aplikácie, množstvo aplikovaného prípravku
Tab. 2 List of the use chemical agents, application date and dose

Dátum aplikácie ¹⁾	Použitý prípravok ²⁾	Aplikované množstvo ³⁾
4. 5. 2007	fungicíd Ridomil gold hnojivo NP – vit	25 g / 10 l H ₂ O 30 ml / 10 l H ₂ O
16. 5. 2007	NP – vit	30 ml / 10 l H ₂ O
25. 5. 2007	fungicíd Karben flo	6 ml / 10 l H ₂ O
5. 6. 2007	fungicíd Karben flo	6 ml / 10 l H ₂ O
22. 6. 2007	fungicíd Ridomil gold NP – vit	25 g / 10 l H ₂ O 30 ml / 10 l H ₂ O
27. 6. 2007	insekticíd Vaztak	50 ml / 10 l H ₂ O
18. 7. 2007	fungicíd Karben flo	6 ml / 10 l H ₂ O

¹⁾ Date of application, ²⁾ Agent used, ³⁾ Dose

2.3 Odber vzoriek semenáčikov, zisťovanie ich parametrov a spracovanie údajov

Odber vzoriek sa vykonal po skončení vegetačného obdobia (v novembri). Z každej nádoby sa náhodne odobralo 15 semenáčikov tak, aby nedošlo k poškodeniu koreňovej sústavy. Celkovo sa vyzdvihlo $15 \times 8 \times 3 = 360$ semenáčikov. Ostatné semenáčky boli ponechané v nádobách a zazimované pilinami. Vyzdvihnuté semenáčky boli očistené od hrubých nečistôt, vložené do mikroténových sáčkov, koreňové sústavy mierne zvlhčené a uskladnené do hodnotenia v chladničke. Pred vyhodnocovaním sa koreňky vyzdvihnutých semenáčikov dôkladne očistili od častí substrátu pod tečúcou vodou. Rozsah EKM sme hodnotili vizuálne pomocou binokulárnej lupy pri 10 – 25 násobnom zväčšení. Na celej koreňovej sústave sme odhadli percentuálny podiel jednotlivých morfortypov ektomykoríz rozlíšených podľa makroskopických znakov z celkového počtu krátkych koreňov s presnosťou na 5 % (pri nepatrnom alebo takmer výlučnom zastúpení niektorého morfortypu sme sa pokúsili o odhad s presnosťou 1 %). Rozlíšili sme 5 EKM morfortypov:

Svetlohnedé ektomykorízy – svetlé, belavé mykorízy, mierne kyjačkovito zhrubnuté vo vrcholovej časti.

Hnedé ektomykorízy – na konci do belava, inak typického hnedého sfarbenia, mierne zhrubnuté po celej dĺžke, akoby nalakované, veľmi lesklé.

Hrdzavé ektomykorízy – s výrazným hrdzavým odtieňom najmä vo vrcholovej časti, zhrubnuté najviac v strednej časti.

Šedé ektomykorízy – najviac zhrubnuté mykorízy šedobelavej farby, kratšie.

Ektomykorízy s mycéliom – mykorízy s bielymi vatovitými útvarmi.

Všeobecným znakom všetkých ektomykoríz bolo že boli kratšie ako nemykorízne koreňky, tiež boli viac alebo menej zhrubnuté, pri niektorých morfortypov (najmä šedých) až veľmi výrazne. Boli bez koreňových vláskov. Pri niektorých ektomykorízach bolo pozorované extramatrikálne mycélium rôzneho charakteru, väčšinou bol povrch ektomykoríz (hubového plášťa) celkom hladký, často lesklý. Výskyt jednoznačne nemykoríznych

korienkov (tenké, svetlé až čiastočne priehľadné, s koreňovými vláskami) bol sporadický. Ak sme korienky neboli schopní podľa makroskopických znakov jednoznačne identifikovať či sú mykorízne alebo nemykorízne, nezaradili sme ich do žiadneho EKM morfológie. Takými boli napr. dlhšie tmavohnedé až hnedočierne korienky, tenké alebo len veľmi mierne zhrubnuté, niekedy mierne článkované (striedanie zúžených a rozšírených úsekov korienka), alebo výraznejšie článkované korienky, s výrazným zaškrtením v spodnej časti, rôzneho odtieňa hnedej, častejšie tmavohnedej farby. Z biometrických charakteristík sme zisťovali výšku stonky, hrúbku v koreňovom krčku, hmotnosť koreňovej sústavy a nadzemnej časti a pomer týchto dvoch hmotností. Hmotnosti biomasy boli zisťované po sušení 48 hod pri teplote 80 °C v sušiarňi.

Biometrické charakteristiky a rozsah ektomykoríz boli analyzované dvojfaktorovou analýzou variancie s rovnakým počtom pozorovaní v každom variante (kombinácii faktorov). Touto metódou sa zisťoval vplyv sledovaných faktorov (substrátu a huby) na tvorbu ektomykoríz a rast semenáčikov. Pre posúdenie významnosti rozdielov priemerných hodnôt sledovaných znakov medzi jednotlivými variantmi sa použil Tukeyov test ($\alpha < 0,05$). Analýza bola urobená na PC v štatistickom programe SAS.

3.VÝSLEDKY

3.1 Prežívanie semenáčikov smreka obyčajného

Počty semenáčikov (% z kontrolných variantov) zistené po prvom vegetačnom období v jednotlivých variantoch sú v tab. 3. Dezinfekcia substrátu sa rutinne používa pre zamedzenie rastu buriny a potlačenie patogénnych húb, ktoré môžu byť v počiatočných štádiách vývinu semenáčikov príčinou padania semenáčikov. Dezinfekcia substrátu v našom pokuse výrazne potlačila rast buriny, ale aj napriek tomu sme vyšší počet prežitých semenáčikov zistili v nedezinfikovanom substráte. Patogénne mikroorganizmy pravdepodobne aj vďaka preventívnym fungicídnym postrekom nemali vhodné podmienky pre pôsobenie ani v nedezinfikovanom substráte. Nižší počet semenáčikov v dezinfikovanom substráte (84,7% z počtu v nedezinfikovanom) mohli čiastočne zapríčiniť aj nepriaznivé účinky dezinfekčného prostriedku na vzchádzajúce semenáčky. Inokulácia nemala vplyv na prežívanie semenáčikov, rozdiely medzi testovanými variantmi sú relatívne malé (tab. 3.). Medzi kombináciami sledovaných faktorov bol dosiahnutý najlepší výsledok v nedezinfikovanom substráte inokulovanom sliziakom, naopak najmenší počet semenáčikov bol zaznamenaný vo variante granule v dezinfikovanom substráte, kde prežilo len 76,3% semenáčikov v porovnaní s kontrolným variantom (nedezinfikovaný neinokulovaný substrát) (tab. 3).

Tab. 3 Počet jednoročných semenáčikov a percento z počtu kontrolných semenáčikov smreka obyčajného pestovaných pod polyetylénovým krytom v dezinfikovanom a nedeinfikovanom substráte inokulovanom v čase výsevu ektomykoriznými hubami

Tab. 3 Number of one-year-old seedlings and percent of number of control Norway spruce seedlings cultivated under greenhouse in disinfected and nondisinfected substrate inoculated at sowing time by ectomycorrhizal fungi

Premenná ¹⁾	Substrát ³⁾	Huba ⁷⁾				Priemer ⁶⁾
		Čírovka ⁸⁾	Sliziak ⁹⁾	Granule ¹⁰⁾	Kontrola ¹¹⁾	
Počet ²⁾	Dezinfikovaný ⁴⁾	288	296	248	298	283
	Nedeinfik. ⁵⁾	307	361	341	325	334
	Priemer ⁶⁾	298	329	295	312	-
%	Dezinfikovaný ⁴⁾	88,6	91,1	76,3	91,7	84,7
	Nedeinfik. ⁵⁾	94,5	111,1	104,9	100	100
	Priemer ⁶⁾	95,5	105,4	94,6	100	-

¹⁾ Variable, ²⁾ Number, ³⁾ Substrate, ⁴⁾ Disinfected, ⁵⁾ Nondisinfected, ⁶⁾ Mean, ⁷⁾ Fungus, ⁸⁾ *Tricholoma sejunctum*, ⁹⁾ *Gomphidius glutinosus*, ¹⁰⁾ Beads without fungi, ¹¹⁾ Control

3.2 Rast semenáčikov

Výsledky analýzy variancie ukázali významný vplyv hubovej inokulácie na výšku stonky semenáčikov, jej vplyv na ostatné biometrické znaky, vplyv dezinfekcie substrátu ani interakcie dezinfekcie a inokulácie neboli významné (tab. 4).

Tab. 4 Analýza variancie (F a α hodnoty) účinku dezinfekcie substrátu a hubového inokula na rastové ukazovatele jednoročných voľnokorenných semenáčikov smreka obyčajného

Tab. 4 Analysis of variance (F- and P-values) of the effects of growth substrate and fungal inoculation on growth parameters of one-year-old bareroot *Picea abies* seedlings

Rastová charakteristika ¹⁾	Substrát ⁸⁾		Huba ⁹⁾		Substrát $\times$ Huba ¹⁰⁾	
	F	α (P)	F	α (P)	F	α (P)
Výška stonky ²⁾	0,04	0,864	5,06	0,044	0,36	0,782
Hrúbka koreň. krčka ³⁾	0,23	0,680	1,97	0,220	0,11	0,952
Hmotn. nadz. časti v sušine ⁴⁾	0,02	0,890	1,43	0,323	0,20	0,890
Hmotn. koreň. súst. v sušine ⁵⁾	0,68	0,498	0,62	0,630	0,87	0,506
Celková hmotnosť v sušine ⁶⁾	0,10	0,785	1,01	0,452	0,49	0,704
Pomer hmotností ⁷⁾	0,01	0,976	2,25	0,183	0,10	0,954

Stupne voľnosti: Substrát – 3, Huba – 3, Blok – 2, Substrát $\times$ Huba – 9, Chyba pre substrát a hubu – 6, Chyba pre substrát $\times$ huba – 18, Reziduál – 672, Celkom – 719, Degrees of freedom: Substrate – 3, Fungus – 3, Block – 2, Substrate $\times$ Fungus – 9, Error for Substrate and Fungus – 6, Error for Substrate $\times$ Fungus – 18, Residual – 672, Total – 719.

¹⁾ Variable, ²⁾ Stem height, ³⁾ Root collar diameter, ⁴⁾ Top dry weight, ⁵⁾ Root dry weight, ⁶⁾ Total dry weight, ⁷⁾ Root: top ratio,

⁸⁾ Substrate, ⁹⁾ Fungus, ¹⁰⁾ Substrate $\times$ Fungus

Semenáčky pestované v substráte inokulovanom granulovým inokulom čírovky zelenohnedastej dosiahli významne ($\alpha < 0,05$) vyššiu výšku stonky než semenáčky v substráte s aplikáciou čistých granúl – nosiča mycélia (tab. 5). U semenáčikov inokulovaných sliziakom mazľavým bol zistený len o málo menší výškový rast, ani jedna huba však významne nestimulovala rast oproti kontrolným neinokulovaným semenáčikom. Podobná

tendencia, hoci nie s významnými rozdielmi sa prejavila u hmotnosti nadzemnej časti v sušine, a keďže hodnoty hmotností koreňovej sústavy u inokulačných variantov boli vyrovnané, semenáčky inokulované čírovkou i sliziakom dosiahli o niečo vyššiu celkovú hmotnosť v porovnaní s kontrolou (tab. 5).

Tab. 5 Priemerné hodnoty biometrických znakov jednoročných voľnokorenných semenáčikov smreka obyčajného pestovaných pod PEK v dezinfikovanom a nedezinfikovanom substráte inokulovanom granulovým inokulom ektomykoríznych húb.

Tab. 5 Mean values of growth characteristics of one-year-old barerrot Norway spruce seedlings cultivated under greenhouse in disinfected and nondisinfected substrates inoculated with bead-vegetative inoculum of ectomycorrhizal fungi

Variant ¹⁾	Výška stonky ¹⁰⁾ (cm)	Hrúbka koreňového krčka ¹¹⁾ (mm)	Hmotnosť nadzemnej časti v sušine ¹²⁾ (mg)	Hmotnosť koreňovej sústavy v sušine ¹³⁾ (mg)	Hmotnosť spolu ¹⁴⁾ (mg)	Pomer hmotností ¹⁵⁾
Substrát ²⁾						
Dezinfikovaný ³⁾	4,94±1,43	0,89±0,17	71±31	47±19	118±45	0,70±0,28
Nedezinfikovaný ⁴⁾	4,81±1,44	0,85±0,30	69±44	43±21	112±61	0,70±0,30
Huba ⁵⁾						
Čírovka ⁶⁾	5,28±1,49a ¹⁶⁾	0,88±0,19	75±39	45±18	120±53	0,67±0,28
Sliziak ⁷⁾	5,23±1,70ab	0,91±0,35	78±51	47±24	125±72	0,66±0,22
Granule ⁸⁾	4,38±1,15b	0,90±0,16	61±27	46±19	107±37	0,80±0,33
Kontrola ⁹⁾	4,63±1,17ab	0,78±0,20	65±29	41±18	106±42	0,68±0,29

¹⁾ Treatment, ²⁾ Substrate, ³⁾ Disinfected, ⁴⁾ Nondisinfected, ⁵⁾ Fungus, ⁶⁾ *Tricholoma sejunctum*, ⁷⁾ *Gomphidius glutinosus*, ⁸⁾ Beads without fungi, ⁹⁾ Control, ¹⁰⁾ Stem height, ¹¹⁾ Root collar diameter, ¹²⁾ Top dry weight, ¹³⁾ Root dry weight, ¹⁴⁾ Total dry weight, ¹⁵⁾ Ratio of root and top dry weights, ¹⁶⁾ Medzi priemernými hodnotami označenými rôznymi písmenami je významný rozdiel ($\alpha < 0,05$) podľa Tukeya. Means signed with different letter are significantly different ($p < 0,05$) by Tukey.

3.3 Rozsah ektomykoríz

Pri hodnotení výskytu makromorfologických typov ektomykoríz bol zistený významný vplyv substrátu a inokulácie na percentický podiel hnedých ektomykoríz a významný vplyv interakcie substrátu a inokulácie na rozsah šedých ektomykoríz (tab. 6). Vplyv sledovaných účinkov nebol významný na celkový rozsah ektomykoríz (percento ektomykoríz z počtu všetkých krátkych korienkov – súčet % podielov EKM morfortypov).

Tab. 6 Analýza variancie (F a α hodnoty) účinku dezinfekcie substrátu a hubového inokula na percento ektomycorizných morfolotypov a celkový rozsah ektomycoriz jednoročných voľnokorenných semenáčikov smreka obyčajného

Tab. 6 Analysis of variance (F- and P-values) of the effects of growth substrate and fungal inoculation on percent of ectomycorrhizal morphotypes and percent of total mycorrhization of one-year-old bareroot *Picea abies* seedlings

Ektomycorizy ¹⁾	Substrát ⁸⁾		Huba ⁹⁾		Substrát × Huba ¹⁰⁾	
	F	α (P)	F	α (P)	F	α (P)
Svetlohnedé ektomycorizy ²⁾	3,35	0,208	0,31	0,816	0,47	0,712
Hnedé ektomycorizy ³⁾	20,24	0,046	5,62	0,035	0,75	0,559
Hrdzavé ektomycorizy ⁴⁾	3,11	0,219	1,01	0,452	0,12	0,942
Šedé ektomycorizy ⁵⁾	0,06	0,822	0,91	0,488	5,96	0,031
Ektomycorizy s mycéliom ⁶⁾	0,05	0,841	0,62	0,628	0,84	0,521
Celkový rozsah ektomycoriz ⁷⁾	0,72	0,485	0,31	0,817	2,86	0,126

Stupne voľnosti: Substrát – 3, Huba – 3, Blok – 2, Substrát × Huba – 9, Chyba pre substrát a hubu – 6, Chyba pre substrát × huba – 18, Reziduál – 672, Celkom – 719, Degrees of freedom: Substrate – 3, Fungus – 3, Block – 2, Substrate × Fungus – 9, Error for Substrate and Fungus – 6, Error for Substrate × Fungus – 18, Residual – 672, Total – 719.

¹⁾ Ectomycorrhizas, ²⁾ Light brown ectomycorrhizas, ³⁾ Brown ectomycorrhizas, ⁴⁾ Rusty ectomycorrhizas, ⁵⁾ Grey ectomycorrhizas, ⁶⁾ Ectomycorrhizas with mycelium, ⁷⁾ Total ectomycorrhizal colonization, ⁸⁾ Substrate, ⁹⁾ Fungus,

¹⁰⁾ Substrate × Fungus

Na koreňoch semenáčikov pestovaných v dezinfikovanom substráte bolo zaznamenané vyššie zastúpenie hnedých ektomycoriz než v nedezinfikovanom substráte (tab. 7). Vyššie percento z počtu krátkych koreňov tvoril tento EKM typ tiež na semenáčikoch pestovaných v substráte inokulovanom sliziakom v porovnaní so semenáčikmi inokulovanými čirovkou. Naopak vyššie zastúpenie, hoci nie významné, šedých ektomycoriz bolo pozorované na semenáčikoch inokulovaných čirovkou. Zvlášť veľký rozdiel výskytu tohto typu ektomycoriz medzi hubami bol zistený na dezinfikovanom substráte, keď na semenáčikoch inokulovaných čirovkou bol odhadnutý podiel 54 % a inokulovaných sliziakom 7 %. Tieto výsledky poukazujú na čiastočný vplyv aplikovaných húb na morfológiu ektomycoriz. Pre rozsah žiadneho z hodnotených EKM typov ani pre celkový rozsah ektomycoriz nebol zaznamenaný významný rozdiel medzi inokulovanými a neinokulovanými semenáčikmi (tab. 7).

Tab. 7 Priemerné hodnoty zastúpenia ektomykoríznych typov a celkový rozsah ektomykoríz (%) jednoročných voľnokorenných semenáčikov smreka obyčajného pestovaných pod PEK v dezinfikovanom a nedezinfikovanom substráte inokulovanom granulovým vegetatívnym inokulom ektomykoríznych húb

Tab. 7 Mean values of occurrence of ectomycorrhizal morphotypes and total ectomycorrhizal colonization (%) of one-year-old barerrot Norway spruce seedlings cultivated under greenhouse in disinfected and nondisinfected substrates inoculated with bead-vegetative inoculum of ectomycorrhizal fungi

Variant ¹⁾	Svetlohnedé ektomykorízy ¹⁰⁾	Hnedé ektomykorízy ¹¹⁾	Hrdzavé ektomykorízy ¹²⁾	Šedé ektomykorízy ¹³⁾	Ektomykorízy s mycéliom ¹⁴⁾	Celkový rozsah ektomykoríz ¹⁵⁾
Substrát ²⁾						
Dezinfikovaný ³⁾	2,6	42,3a ¹⁶⁾	18,1	22,5	0,5	86,0
Nedezinfikovaný ⁴⁾	9,2	35,7b	5,8	26,2	0,6	77,4
Huba ⁵⁾						
Čirovka ⁶⁾	6,6	29,9a	11,4	35,2	0,9	84,0
Sliziak ⁷⁾	3,6	49,4b	11,6	20,4	0,2	85,2
Granule ⁸⁾	6,3	40,2ab	7,7	21,8	0,7	76,7
Kontrola ⁹⁾	7,1	36,4ab	17,0	20,0	0,4	80,8

¹⁾Treatment, ²⁾Substrate, ³⁾Disinfected, ⁴⁾Nondisinfected, ⁵⁾Fungus, ⁶⁾*Tricholoma sejunctum*, ⁷⁾*Gomphidius glutinosus*, ⁸⁾Beads without fungi, ⁹⁾Control, ^{10)–14)}Ectomycorrhizal types, ¹⁰⁾Light brown ectomycorrhizas, ¹¹⁾Brown ectomycorrhizas, ¹²⁾Rusty ectomycorrhizas, ¹³⁾Grey ectomycorrhizas, ¹⁴⁾Ectomycorrhizas with mycelium, ¹⁵⁾Total ectomycorrhizal colonization, ¹⁶⁾Medzi priemernými hodnotami označenými rôznymi písmenami je významný rozdiel ($\alpha < 0,05$) podľa Tukeya. Means signed with different letter are significantly different ($p < 0,05$) by Tukey.

4. DISKUSIA

Niekoľko autorov uvádza stimuláciu vzhádzania, tvorby ektomykoríz alebo rastu semenáčikov lesných drevín inokulovaných granulovým vegetatívnym hubovým inokulom (MORTIER A KOL. 1988, INGLEBY A KOL. 1994, PARLADÉ A KOL. 1999). V ďalších prácach s týmto typom inokula nebola pozorovaná významná stimulácia vývinu ektomykoríz alebo rastu semenáčikov (KROPÁČEK A KOL. 1989, GAGNON A KOL. 1991, PARLADÉ A KOL. 1999, REPÁČ 2007). Vzhľadom na to, že v našom pokuse aplikácia čirovky zelenohnedastej významne podporila len výškový rast semenáčikov a obidve aplikované huby podporili (nie významne) tvorbu biomasy nadzemnej časti a celkovej biomasy oproti neinokulovaným semenáčikom, môžeme hovoriť o miernom stimulačnom účinku inokulácie na rast semenáčikov. V niektorých prípadoch inokulácia inými typmi inokula rôznymi druhmi EKM húb dokonca redukovala rast semenáčikov (GAGNON A KOL. 1991, PARLADÉ A KOL. 1999). Stimulácia rastu v lesnej škôlke je síce vítaným prínosom mykorizácie, ale jej zámerom je hlavne vypestovanie mykorízneho sadbového materiálu, schopného odolávať nepriaznivým podmienkam výsadbových plôch. Pre účely umelej mykorizácie semenáčikov smreka obyčajného bolo v prevádzkových podmienkach testovaných len niekoľko druhov EKM húb (KROPÁČEK A KOL. 1989, LEHTO 1994, VODNIK – GOGALA 1994, REPÁČ 1996a, REPÁČ 2007), pričom huby použité v tejto práci neboli pred tým testované.

Na základe výskytu ektomykoríz u neinokulovaných semenáčikov a ďalších výsledkov hodnotenia ektomykoríz sme dospeli k záveru, že na ich tvorbe sa vo všetkých kombináciách sledovaných faktorov, teda i u umelo mykorizovaných semenáčikov, rozhodujúcou mierou podieľali prirodzene sa vyskytujúce EKM huby. Toto zistenie je v zho-

de s výsledkami iných prác (INGLEBY A KOL. 1994, MARX 1991, HÖNIG A KOL. 2000) a je jedným z hlavných dôvodov absencie alebo len čiastočného uplatnenia aplikovaných húb pri tvorbe ektomykoríz semenáčikov. Na korienkoch inokulovaných semenáčikov sme nenašli špecifické morfologické EKM typy, ktoré by napovedali o výraznom dominantnom pôsobení aplikovanej huby na morfológiu ektomykoríz. Vzťahy drevín a aplikovaných symbiotických húb (kompatibilitu) môžu ovplyvňovať mnohé okolnosti, akými sú medzidruhová a vnútrodruhová variabilita, kvalita hubového mycélia, metódy prípravy a aplikácie hubového inokula a ďalšie. Tvorba ektomykoríz nezávisí len od prítomnosti a kvality hubového inokula, ale aj od technologických postupov pestovania semenáčikov a teda podmienok prostredia. Medzi hlavné faktory ovplyvňujúce kolonizáciu korienkov EKM hubami patria fyzikálne, biologické a chemické vlastnosti rastových substrátov (MARX 1991, JOHNSON A KOL. 1997). Substrát nepochybne ovplyvňuje aj rast semenáčikov lesných drevín. Medzi najvýznamnejšie okolnosti pôsobiace na rast semenáčikov patria vlastné zloženie (materiál) substrátov, obsah živín, obsah organického materiálu vrátane užitočných mikroorganizmov a pH (HEISKANEN 1993, LEHTO 1994, TAMMI A KOL. 2001, REPÁČ 1996b, REPÁČ 2007). V tejto práci sme porovnávali len dezinfikovaný a nedezinfikovaný substrát toho istého zloženia so zistením, že dezinfekcia nemala vplyv na rast semenáčikov. Práce hodnotiace účinky dezinfekcie substrátu na rast semenáčikov nám nie sú známe.

Napriek tomu že medzi inokulovanými a neinokulovanými semenáčikmi nebol rozdiel v celkovom rozsahu ektomykoríz, inokulované mali lepšie vyvinutú nadzemnú časť než neinokulované. To poukazuje na skutočnosť, že iné účinky húb nezávislé od tvorby ektomykoríz boli dôležité pre rast semenáčikov. Stimulačné účinky inokulácie na rastové procesy môžu byť zabezpečené produkciou rastových hormónov, enzýmov a vitamínov (BRUNNER – SCHEIDEGGER 1995, ROLDAN A KOL. 1996). Hoci sme v našom pokuse zistili prevahu niektorých z rozlíšených morfologických typov ektomykoríz u semenáčikov inokulovaných čirovkou a slizniakom, tieto morfotypy sa vyskytovali aj u neinokulovaných semenáčikov a môžeme len predpokladať, že testované huby mohli podporiť príslušné makromorfologické prejavy ektomykoríz. V drvivej väčšine prípadov sú ektomykorízy formované viacerými EKM hubami (MARX 1991, ERLAND 1995), ktoré sa podieľajú na morfologickom prejave. Makroskopické znaky ektomykoríz, zvlášť ich priestorové usporiadanie (rozkonárovanie) a farba sú veľmi premenlivé a ovplyvnené vekom a podmienkami prostredia, napr. vlastnosťami substrátov. Hoci v tejto práci podobne ako inokulácia ani dezinfekcia substrátu nemala významný vplyv na celkový rozsah ektomykoríz, medzi dezinfikovaným a nedezinfikovaným substrátom boli pozorované rozdiely v zastúpení niektorých EKM morfotypov.

Vzhľadom na spomínané okolnosti nie je podľa základných makroskopických charakteristík možné identifikovať ani rody húb tvoriacich ektomykorízy a tak určité hodnotenie tvorby ektomykoríz je možné subjektívnym rozlíšením a kvantifikáciou morfologických typov. Všeobecne sa s postupným vývinom ektomykoríz mení ich farba od svetlo hnedej do tmavších odtieňov hnedej (DURALL A KOL. 1994). Proces starnutia sa pravdepodobne líši medzi rôznymi hubami a rôznymi podmienkami prostredia. Rôzne morfotypy ektomykoríz v našom pokuse boli buď tvorené rôznymi hubami (kombinácie miestnych a aplikovaných húb) alebo boli rôznymi vývinovými štádiami identických mykoríz, formovaných prevažne miestnymi prirodzene sa vyskytujúcimi hubami. Spoločlivá identifikácia a kvantifikácia húb tvoriacich ektomykorízy je možná len molekulárnymi a bioche-

mickými metódami (ERLAND 1995, HÖNIG A KOL. 2000, IWANSKI A KOL 2006), ich použitie pre praktické a prevádzkové účely je však problematické.

5. ZÁVER

Inokulácia substrátu symbiotickými hubami čírovka zelenohnedastá a sliziak mazľavý a predvýsevová dezinfekcia substrátu prípravkom Basamid granulát nespôsobila výrazné rozdiely v prežívaní jednoročných voľnokorenných semenáčikov smreka obyčajného pestovaných pod PEK. Dezinfekcia jednoznačne potlačila počiatočný rast buriny, nebola však nevyhnutná na potlačenie patogénnych mikroorganizmov, ktoré sa podieľajú na padaní semenáčikov a môžu spôsobiť značné straty na semenáčikoch. Výsledky naznačujú vplyv kombinácie sledovaných faktorov na prežívanie semenáčikov a keďže väčšie straty boli zaznamenané v dezinfikovanom substráte, poukazujú na možné negatívne pôsobenie aplikovaného chemického prípravku.

Dezinfekcia substrátu nemala významný účinok na rast semenáčikov, mala však vplyv na vývin ektomykoríznej symbiôzy, hlavne morfológiu ektomykoríz. Potvrdili sa poznatky o významnom vplyve podmienok prostredia, hlavne vlastností substrátu na formovanie mykoríznej symbiôzy semenáčikov v lesných škôlkach. Semenáčiky inokulované čírovkou dosiahli významne vyššiu výšku stonky než neinokulované, u ostatných rastových charakteristik neboli zistené významné rozdiely. Z výsledkov je možné usúdiť, že aplikácia testovaných húb mierne stimulovala rast nadzemnej časti semenáčikov. Hodnotenie ektomykoríz, zvlášť zastúpenie morfológických typov v jednotlivých variantoch ukazuje, že na tvorbe ektomykoríz sa podieľali v prvom rade prirodzene sa vyskytujúce, ale aj aplikované symbiotické huby.

Výsledky inokulačných pokusov s aplikáciou symbiotických húb sú veľmi variabilné v závislosti od použitých symbiotických partnerov a podmienok prostredia. Z výsledkov tejto práce nie je možné vysloviť všeobecne platné závery a odporúčania a má charakter príspevku do testovania rôznych druhov, genotypov a spôsobov aplikácie ektomykoríznych húb pri pestovaní semenáčikov smreka obyčajného, s cieľom vytipovať účinné huby a postupy prispievajúce k zlepšeniu kvality sadbového materiálu. Doterajšie poznatky jednoznačne nabádajú k ďalším experimentom zaoberajúcim sa mykorizáciou sadbového materiálu lesných drevín za účelom praktického využitia potenciálu ektomykoríznej symbiôzy v zakladaní lesa.

Táto práca bola vypracovaná v rámci projektu VEGA 1/0516/09

Literatúra

- BRUNNER, I., SCHEIDEGGER, C.: Effects of high nitrogen concentrations on ectomycorrhizal structure and growth of seedlings of *Picea abies* (L.) Karst. New Phytol., 129, 1995, s. 83–95.
- CASTELLANO, M.A.: Outplanting performance of mycorrhizal inoculated seedlings. In: K.G. Mukerji (ed.): Concepts in Mycorrhizal Research, 1996, s. 223–301.
- DURALL, D.M., MARSHALL, J.D., JONES, M.D., CRAWFORD, R., TRAPPE, J. M.: Morphological changes and photosynthate allocation in ageing *Hebeloma crustuliniforme* (Bull.) Quel. and *Laccaria bicolor* (Maire) Orton mycorrhizas of *Pinus ponderosa* Dougl. ex. Laws. New Phytol., 127, 1994, s. 719–724.

- ERLAND, S.: Abundance of *Tylospora fibrillosa* ectomycorrhizas in a South Swedish spruce forest measured by RFLP analysis of the PCR-amplified rDNA ITS region. *Mycol. Res.*, 99, 1995, s. 1425–1428.
- GAGNON, J., LANGLOIS, C.G., GARBAYE, J.: Growth and ectomycorrhiza formation of container-grown red oak seedlings as a function of nitrogen fertilization and inoculum type of *Laccaria bicolor*. *Can. J. For. Res.*, 21, 1991, s. 966–973.
- HEISKANEN, J.: Favourable water and aeration conditions for growth media used in containerized tree seedling production: a review. *Scand. J. For. Res.*, 8, 1993, s. 337–358.
- HÖNIG, K., RIEFLER, M., KOTTKE, I.: Survey of *Paxillus involutus* (Batsch) Fr. inoculum and fruitbodies in a nursery by IGS-RFLPs and IGS sequences. *Mycorrhiza*, 9, 2000, s. 315–322.
- INGLEBY, K., WILSON, J., MASON, P.A., MUNRO, R.C.: Effects of mycorrhizal inoculation and fertilizer regime on emergence of Sitka spruce seedlings in bare-root nursery seedbeds. *Can. J. For. Res.*, 24, 1994, s. 618–623.
- IWANSKI, M., RUDAWSKA, M., LESKI, T.: Mycorrhizal associations of nursery grown Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings in Poland. *Ann. For. Sci.*, 63, 2006, s. 715–723.
- JOHNSON, N.C., GRAHAM, J.H., SMITH, F. A.: Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism-parasitism continuum. *New Phytol.*, 135, 1997, s. 575–585.
- KROPÁČEK, K., CUDLÍN, P.: Preparation of granulated mycorrhizal inoculum and its use in forest nurseries. In: V. Vančura, F. Kunc (eds.): Interrelationships between microorganisms and plants in soil, Academia Praha, 1989, s. 177–181.
- KROPÁČEK, K., CUDLÍN, P., MEJSTŘÍK, V.: The use of granulated ectomycorrhizal inoculum for reforestation of deteriorated regions. *Agric., Ecosyst. Environ.*, 28, 1989, s. 263–269.
- KROPP, B.R., LANGLOIS, C.G.: Ectomycorrhizae in reforestation. *Can. J. For. Res.*, 20, 1990, s. 438–451.
- LEHTO, T.: Effects of soil pH and calcium on mycorrhizas of *Picea abies*. *Plant Soil*, 163, 1994, s. 69–75.
- MARX, D.H.: The practical significance of ectomycorrhizae in forest establishment. In: *Ecophysiology of ectomycorrhizae of forest trees. The Marcus Wallenberg foundation symposia proceedings*: 7, Stockholm, Sweden, 1991, s. 54–90.
- MORTIER, F., LE TACON, F., GARBAYE, J.: Effects of inoculum type and inoculation dose on ectomycorrhizal development, root necrosis and growth of Douglas fir seedlings inoculated with *Laccaria laccata* in a nursery. *Ann. Sci. For.*, 45, 1988, s. 301–310.
- PARLADÉ, J., ALVAREZ, I.F., PERA, J.: Coinoculation of containerized Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) and maritime pine (*Pinus pinaster*) seedlings with the ectomycorrhizal fungi *Laccaria bicolor* and *Rhizopogon* spp. *Mycorrhiza*, 8, 1999, s. 189–195.
- REPÁČ, I.: 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, 1996a, s. 41–54.
- REPÁČ, I.: Effects of forest litter on mycorrhiza formation and growth of container-grown Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) seedlings. *Lesnictví*, 42, 1996b, s. 317–324.
- REPÁČ, I.: Získavanie a kultivácia mycélia ektomykorizných húb. In: M. Saniga, P. Jaloviar (eds.): *Pestovanie lesa v zmenených ekologických podmienkach*. KPL TU Zvolen, 2000, s. 116–120.
- REPÁČ, I.: Ectomycorrhiza formation and growth of *Picea abies* seedlings inoculated with alginate-bead fungal inoculum in peat and bark compost substrates. *Forestry*, 80, 2007, s. 518–530.
- RICHTER, D.L., BRUHN, J.N.: Field survival of containerized Red and Jack pine seedlings inoculated with mycelial slurries of ectomycorrhizal fungi. *New Forest*, 3, 1989, s. 247–258.
- ROLDAN, A., QUEREJETA, I., ALBALADEJO, J., CASTILLO, V.: Growth response of *Pinus halepensis* to inoculation with *Pisolithus arhizus* in a terraced rangeland amended with urban refuse. *Plant Soil*, 179, 1996, s. 35–43.
- SANIGA, M.: Príroda blízke pestovanie lesa – základná koncepcia obhospodarovania lesov Slovenska. Hlavní úkoly pěstování lesů na počátku 21. století. *Sborník z 5. česko – slovenského vědeckého symposia pedagogických a vědeckovýzkumných pracovišť oboru Pěstování lesa*, Brno, 2004, s. 371–376.
- TAMMI, H., TIMONEN, S., SEN, R.: Spatiotemporal colonization of Scots pine roots by introduced and indigenous ectomycorrhizal fungi in forest humus and nursery *Sphagnum* peat microcosms. *Can. J. For. Res.*, 31, 2001, s. 746–756.

VODNIK, D., GOGALA, N.: Seasonal fluctuations of photosynthesis and its pigments in 1-year mycorrhized spruce seedlings. *Mycorrhiza*, 4, 1994, s. 277–281.

Adresa autorov:

Bc. Tibor Jurga

Doc. Ing. Ivan Repáč, PhD.

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24

960 53 Zvolen

Effects of disinfection and mycorrhization of substrate on development of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) seedlings

Summary

In nature, roots of forest trees live in symbiosis with ectomycorrhizal (ECM) fungi that provide any advantages to trees (increased uptake of nutrients and water, production of growth hormones, protection against diseases and pathogens). Mycorrhizal symbiosis is also one of the important attributes of physiologically well developed planting stock, being enabled to withstand variable stress factors of planting sites. Root systems of seedlings grown in small nurseries placed in or near forests are naturally colonized by propagules of symbiotic fungi from surrounding. Cultural practices of the growing of planting stock (greenhouse, artificial substrates, frequent application of fertilizers and pesticides) and disturbed mycorrhizal status of planting sites restrict natural mycorrhizal development. In any cases, only possible opportunity to induce development of mycorrhizal symbiosis is artificial mycorrhization of roots with inoculum of selected mycorrhizal fungi.

Growth substrate (peat amended with perlite, vermiculite, zeolit and NPK) was disinfected with Basamide and inoculated at sowing with vegetative alginate-bead inoculum of ectomycorrhizal fungi *Tricholoma sejunctum* and *Gomphidius glutinosus*. Experimental design was a two-way classification (substrate and fungus) arranged in a randomized complete block design. The experimental unit was the 0.07 m² plot (vessel). Two substrate treatments (disinfected and no disinfected) and four inoculation treatments (2 fungi, beads without fungus, pure substrate) set up 8 combinations of main effects. Seedlings of Norway spruce were growing in greenhouse in operational conditions. After the first growing season (in november) survival of seedlings was estimated and 15 seedlings from each treatment and block were randomly selected and evaluated for ectomycorrhizal formation (% of number of individual ECM morphological types and % of all ectomycorrhizas from number of all short roots), stem height, root collar diameter, root dry weight, shoots dry weight, total dry weight, ratio of root and shoot dry weights. Data were analyzed by two-way analysis of variance followed by a Tukey's test ($p = 0.05$) to determine treatment differences.

Inoculation of substrate with vegetative-bead inoculum of ECM fungi *Tricholoma sejunctum* and *Gomphidius glutinosus* and presowing disinfection of substrate with Basamid did not perform marked differences in survival of one-year-old bareroot Norway spruce seedlings growing under greenhouse. The disinfection unequivocally suppressed a weed growth but there was no necessary to suppress pathogenic microorganisms. Disinfection of substrate had no significant effect on seedling growth, however effect on ECM development, mainly ECM morphology was detected. Knowledge regarding to influence of environmental conditions, especially of substrate properties on development of ECM symbiosis of seedlings in forest nurseries were confirmed. Seedlings inoculated with *Tricholoma* achieved significantly better stem growth than those uninoculated. There were not found significant differences between the other growth characteristics. The results indicate that application of the test fungi moderately stimulated growth of above ground part of seedlings. Estimation of ectomycorrhizas, especially abundance of ECM morphological types in various treatments show, that indigenous symbiotic fungi were mainly responsible for ECM development, but the most probably artificially introduced fungi were also participated in ECM performance. Because the development of ectomycorrhizas depends on relationship among the fungi, their hosts, and environmental conditions, these results with the test isolates in given conditions do not guarantee that these fungi in different conditions will give equal results.

SVETELNÉ POMERY V BUKOVOM PRÍRODNOM LESE NPR BADÍN

Jozef Z R A K, Peter J A L O V I A R

Zrak, J., Jaloviar P.: Svetelné pomery v bukovom prírodnom lese NPR Badín. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, LI, 2009, Suppl. 1, s. 55–67.

Práca sa zaoberá analýzou svetelných pomerov v bukovom prírodnom lese a využitím hemisférických snímok v NPR Badínsky prales. Dostatočný príkon žiarenia pod porastovú úroveň je základným predpokladom pre prirodzenú obnovu porastov. Vzhľadom na svoju komplikovanosť je charakteristika svetelných pomerov v lesných porastoch zložitý metodický problém. Popri priamych metodikách používaných pre charakteristiku svetelných pomerov je v súčasnosti používaná metóda hemisférických snímok, často tiež označovaných ako fish-eye snímky.

Merania boli vykonané na ploche o výmere 5 ha rozdelenej na čiastkové plochy o výmere 25x25 m. Na rohoch plôch sa nasníмали hemisférické snímky vo výške 1 m nad terénom. Získané snímky boli vyhodnotené programom WinScanopy. Zistili sa pomerne nízke hodnoty relatívneho žiarenia a jeho difúznej a priamej zložky, ktoré predstavuje priemerne len 5% žiarenia voľnej plochy (1,15–12,93%). Vzťah intenzity priameho ale aj celkového žiarenia a podielu otvorov v korunovej klenbe sa nepotvrdil. Existuje však pomerne tesný exponenciálny vzťah medzi intenzitou difúzneho žiarenia a podielom porastových medzier ($r^2 = 0,796$)

Kľúčové slová: svetlo, hemisférická snímka, buk

1 ÚVOD

Slnko je zdroj nenahraditeľnej energie nevyhnutnej pre život na Zemi. Zabezpečuje cirkuláciu vzduchu, vody a ovplyvňuje najvrchnejšie časti zemskej kôry. Takmer všetka energia, ktorá sa nachádza na Zemi je viac alebo menej pretransformovaná energia zo Slnka prijatá vo forme slnečného žiarenia. Slnečné žiarenie dopadá na planétu vo forme svetelnej a tepelnej energie. Na svetle a teple sú priamo alebo nepriamo závislé takmer všetky formy života na zemi. Slnečná energia je zabudovaná do rastlín v procese fotosyntézy. Fotosyntéza je biochemický proces fixácie oxidu uhličitého za súčasného zachytávania slnečného žiarenia. Bez dostatočného množstva slnečného žiarenia nie je fotosyntéza možná, a teda nie je možný ani rast stromov a ani existencia lesa.

Lesy majú pre človeka obrovský význam ako najdôležitejší producent kyslíka a taktiež ďalších významných funkcií. Všetky procesy prebiehajú v lesoch v priamej alebo nepriamej spojitosti so svetlom. Úpravou svetelných pomerov v lese pomocou pestovných zásahov ovplyvňujeme priebeh rastových a regeneračných procesov. Avšak svetelné pomery v hospodárskych lesoch sú v porovnaní s prírodnými lesmi dosť odlišné. Poznanie a kvantifikácia svetelných pomerov v prírodných lesoch nám môže napomôcť pri určení správnej sily a intenzity zásahu, čo má značný význam najmä z hľadiska optimalizácie pestovných zásahov. Kvantifikácia svetelných pomerov v poraste je náročná a technicky

dost' ťažko zvládnuteľná úloha. Bolo vyvinutých niekoľko skupín metód na určenie, resp. odhad svetelných pomerov v poraste. Modernou a pomerne spoľahlivou metódou je metóda hemisférických snímok, takzvaná fish-eye metóda.

2 PROBLEMATIKA

2.1 Význam slnečného žiarenia

Slnečné žiarenie je jediným primárnym zdrojom energie, ktorú lesný ekosystém dokáže využiť. Globálne žiarenie (žiarenie, ktoré sa dostáva do zemskej atmosféry) predstavuje žiarenie s vlnovými dĺžkami od 280 nm do 1400 nm t.j. ultrafialové až infračervené žiarenie. Žiarenie v spomenutom spektre je primárne modifikované pri prechode atmosférou tak, že je odfiltrovaná – absorbovaná časť z uvedeného spektra. Tým dochádza k zmene kvality a zároveň aj k zmene intenzity žiarenia. Ďalšia modifikácia spektrálneho zloženia, t.j. kvality žiarenia, ale aj intenzity, t.j. kvantity žiarenia nastáva po jeho dopade na absorbujúci povrch živej alebo neživej povahy

Les, ako jeden z najkomplikovanejších ekosystémov podstatne vplýva na zmenu pomerov v príkone energie zo žiarenia, a to jednak zmenou spektra žiarenia, a rovnako závažnou mierou aj modifikáciou intenzity žiarenia v priestore a čase.

Dostatočný príkon žiarenia pod porastovou úrovňou je základným predpokladom pre prirodzenú obnovu porastov (VENCURIK, SKLENÁR 2006, SANIGA, VENCURIK 2008). Absorpčná schopnosť asimilačných orgánov je veľmi vysoká. WAGNER *et al.* (2004) uvádzajú, že bukové listy sú schopné absorbovať cca. 90% fotosynteticky aktívneho žiarenia a približne 30% infračerveného žiarenia zo spektra blízkeho viditeľnému svetlu. Tým, že časť žiarenia je odrazená z povrchu asimilačných orgánov, vetiev, kmeňov a pôdneho povrchu, je priame žiarenie redukované a podstatne sa zvyšuje podiel difúznej zložky žiarenia (svetla) v poraste v porovnaní s voľnou plochou.

Každá snaha o navodenie vhodných podmienok pre prirodzenú obnovu porastu je zameraná práve na zmenu svetelných pomerov v poraste. V podmienkach prírodných lesov, ktoré sa považujú za modelový príklad pre výskum rastových a regeneračných procesov prebieha prirodzená obnova spontánne, bez úmyselných zásahov človeka. Bez prirodzenej obnovy nie je ekosystém prírodného lesa schopný trvale fungovať. Prítom sú poznatky o svetelnej klíme listnatých a zmiešaných prírodných lesov strednej Európy len zriedkavé. V podmienkach vysokohorských smrečín Slovenska sa kvantifikáciou priameho slnečného žiarenia a analýzou jeho vplyvu na nástup prirodzenej obnovy zaoberal KUCBEL (2004a, b, 2006a, b)

2.2 Možnosti odhadu žiarenia pomocou hemisférických snímok

Vzhľadom na svoju komplikovanosť je exaktná charakteristika svetelných pomerov v lesných porastoch v prvom rade zložitý metodický problém. WAGNER (1994) uvádza prehľad príčin mimoriadne vysokej variability svetelných pomerov v listnatých lesoch mierneho pásma. Z hľadiska samotného zdroja svetla, resp. žiarenia je to rozdielne postavenie slnka počas dňa a roka. Zmena postavenia sa premietá do rozdielnych uhlov, pod ktorými dopadá slnečné žiarenie na ožarovaný povrch. Tým sa podstatne mení intenzita žiarenia na jednotku plochy. Medzi významné abiotické vplyvy patrí počasie a reliéf terénu. Priebeh počasia, najmä vývoj oblačnosti v podstatnej miere znižuje intenzitu priameho

žiarenia, mierne zvyšuje intenzitu difúzneho žiarenia a tým významne mení pomer týchto dvoch zložiek. Reliéf terénu vplýva na intenzitu žiarenia predovšetkým výskytom rôznych sklonov ožarovaných povrchov.

Samotný lesný ekosystém ovplyvňuje tok svetla predovšetkým svojou priestorovou výstavbou, druhovým zložením a množstvom asimilačných orgánov, ktoré svetlo zachytávajú. V absolútnej väčšine porastov nie je možné určiť tzv. reprezentatívne podmienky, ktoré by umožnili na základe nízkeho počtu meraní osvetlenia spoľahlivo charakterizovať svetelné podmienky – svetelnú klímu porastu. Preto je pre zaručenie objektívnosti merania potrebné splniť nasledujúce dve podmienky:

1. spolu s meraním svetla v poraste treba vykonať porovnávacie – referenčné merania na voľnej ploche neovplyvnenej porastom a to podľa možnosti súčasne, prípadne s najmenším možným časovým posunom
2. dostatočne vysoký počet bodov merania, aby sa podchytila priestorová variabilita svetla v poraste.

Pre voľbu vhodnej metódy je v prvom rade potrebné vedieť, akú základnú otázku má stanovenie svetla zodpovedať. Môže to byť jednak otázka vplyvu porastu na kvalitu a kvantitu osvetlenia, alebo naopak odozva porastových charakteristík na zmeny svetelných pomerov.

DOHRENBUSCH (1994) uvádza, že spomínané dve základné požiadavky spĺňa metodika dlhodobých integrovaných meraní senzorami v poraste a na voľnej ploche. Voľba správneho senzora je viac-menej technickou záležitosťou.

Popri priamych metodikách používaných pre charakteristiku svetelných pomerov je v súčasnosti používaná metóda hemisférických snímok, často tiež označovaných ako fish-eye snímky. Je to metóda, pomocou ktorej je možné odhadnúť tzv. relatívne osvetlenie, t.j. podiel žiarenia a jeho zložiek v určitom bode v poraste zo žiarenia na voľnej ploche. Metodika integruje splnenie oboch podmienok merania svetla v lesnom poraste. Tým že do vyhodnotenia svetelných pomerov sú zahrnuté meteorologické modely pre danú oblasť a je zohľadnená zemepisná poloha nie je potrebné vykonávať referenčné merania na voľnej ploche. Zároveň je zhotovovanie snímok pri zodpovedajúcom vybavení (samonivelácia prístroja a automatické určenie a označenia severu) rýchle, čím je možné obsiahnuť vysoký počet meracích bodov.

Pravdepodobne prvý odhad relatívneho osvetlenia, resp. popis svetelnej klímy v lesnom ekosystéme prezentovali EVANS, COOMBE (1959). Cieľom využitia hemisférických snímok korún bolo vyhnúť sa nepresnostiam, ktoré pri priamych meraniach pochádzajú z praktickej nemožnosti stanovenia a dodržania reprezentatívnych podmienok.

Ďalší vývoj tejto metodiky smeroval k jej spresneniu a bol zrýchlený najmä postupným využívaním počítačov na spracovanie obrazového materiálu. Pred zavedením a technickým zdokonalením digitálnej fotografie používali napr. BECKET *et. al* (1989), WAGNER (1994) a ďalší autori snímkovni na čiernobiely film a následnú digitalizáciu snímok. V súčasnosti sa používaním digitálnych snímok odstránil problém štandardizácie fotografického materiálu a následného spracovania. Kardinálnym problémom metodík stanovenia relatívneho osvetlenia pomocou hemisférických fotografií zostáva určenie prahu („threshold“) medzi zaelonou plochou a pozadím, t.j. oblohou. JONCKHEERE *et al.* (2005) uvádzajú, že stanovenie optimálnej hodnoty prahu je výzvou, ktorej riešenie trvá desiatky rokov. Automatické nastavenie prahu, ktoré by bolo nezávislé na subjektivite užívateľa dlhodobo zaujíma všetkých, ktorí používajú hemisférické fotografie na meranie svetla.

Samotná hemisférická fotografia – akokoľvek technicky dokonale vyhotovená a následne bezchybne vyhodnotená predstavuje len fragmentárnu informáciu. Jej použitie pre odhad relatívneho osvetlenia v konkrétnom bode merania je možné až po jej kombinácii s modelom slnečných dráh a približným meteorologickým modelom.

Výsledkom spomenutej kombinácie sú relatívne hodnoty osvetlenia označované ako tzv. site factors. *Direct site factor (DSF)* a *indirect site factor (ISF)* – alebo tiež diffuse site factor (DIFFSF) sú definované ako podiel priameho resp. difúzneho (nepriameho) žiarenia zachyteného pod zaclonenou plochou a nad zaclonenou plochou (na voľnej ploche) (GÓMEZ *et al.* 2004). *TSF* predstavuje podľa WAGNERA (1994) sumu podielov *DSF* a *ISF* v závislosti od modelov počasia na celkovom žiarení. Takto vypočítané hodnoty relatívneho osvetlenia poskytujú cennú informáciu o svetelných pomeroch v danom poraste (KEELING, PHILLIPS 2007).

Vzhľadom na komplikovanosť riešenia problému bolo vytvorených niekoľko softwarových produktov na hodnotenie hemisférických fotografií. Prehľad viacerých programov podáva JARČUŠKA (2008), pričom uvádza, že jedným z najpodstatnejších rozdielov je spôsob stanovenia resp. korekcie thresholdu – prahovej hodnoty, ktorá určuje, či bude daný bod alebo čiastková plocha na hemisférickej fotografii klasifikovaná ako pozadie (obloha – sky) alebo ako zaclonená plocha (canopy cover).

2.1 Vývojové procesy v bukových prírodných lesoch

Striedanie vývojových fáz bukových pralesov je viazané na pomerne malé plochy, čoho výsledkom je maloplošná textúra. Prírodné lesy buka na dobrých a rovnako a aj na horších stanovištiach majú charakter výrazne rôznovekých porastov. Výstavba týchto porastov je výrazne 2 až 3 vrstvomá, pričom, typická jednovrstvomá výstavba sa tu nachádza len na malých plochách a je časovo obmedzená. Vývojový cyklus bukového pralesa trvá asi 230–250 rokov, a už na relatívne malých plochách (20–30ha) sa dosahuje vývojová a produkčná samostatnosť (KORPEL 1989).

V rovnorodých prírodných bukových lesoch je kolísanie počtu stromov, zásoby, ako aj zmeny výškovej a hrúbkovej štruktúry v porovnaní s pralesmi iných drevín pomerne malé. Počty stromov hrubiny varujú zhruba v intervale 350 až 550 ks na 1 hektár. Toto varírovanie neprevyšuje 50%. Drewná zásoba kolíše v rámci vývojového cyklu maximálne o 30% a vyrovnaná je na plochách väčších ako cca 20 ha. Zásoba bukových pralesov sa pohybuje v rozmedzí 550–800 m³.ha⁻¹ na dobrých a 400–600 m³.ha⁻¹ na priemerných bonitách. Na chudobných stanovištiach je časové rozrôznenie zásoby ešte menšie a to cca 25% (KORPEL 1989).

Pre bukové prírodné lesy je charakteristické krátke štádium optima (40 rokov). Toto štádium je štrukturálne málo odlišné od pokročilej fázy dorastania. Odlišuje sa len menšou hrúbkovou diferenciáciou a zníženým počtom stromov strednej vrstvy. Štádium optima bukových pralesov si zachováva v porovnaní s ihličnatými a zmiešanými pralesmi vysoký stupeň stability. Aj v dobre zapojených častiach pralesa (pokročilé štádium optima, počiatková fáza štádia rozpadu) sa nachádza určitý počet jedincov buka z prirodzenej obnovy. Tento úplne postačuje na plynulú výmenu generácií aj v prípade, že sa štádium rozpadu časovo nekryje s výskytom bohatej semennej úrody. Tieto jedince využívajú svoj vekový náskok a po zlepšení rastových podmienok hneď vytvárajú rozrastlíky. S týchto jedincov

neskôr vznikajú košaté buky aj na stanovištiach s dobrým ekotypom buka. Potvrďuje to poznatok, že kvalitu kmeňa pri buku ovplyvňuje pravidelná a bohatá úroda semena, ktorá má vplyv na následnú hustotu porastu. Spontánna bohatá obnova sa objavuje pravidelne po 100 až 120 rokoch, kedy sa opakuje štádium rozpadu v na seba nadväzujúcich cykloch (KORPEL 1989).

3 CIEĽ PRÁCE

Cieľom predloženej práce je zhodnotenie svetelných pomerov v NPR Badínsky prales s využitím metódy hemisférických snímok. Čiastkové ciele sú:

- vyhodnotenie základných ukazovateľov intenzity žiarenia – priemerné hodnoty a rozdelenie plochy podľa intenzity žiarenia
- vyhodnotenie vzájomných vzťahov jednotlivých zložiek žiarenia a podielu otvorov v korunovej klenbe

4 METODIKA

4.1 Miesto výskumu

NPR Badínsky prales sa nachádza v juhovýchodnej časti Kremnických vrchov (48°41'N, 19°03'E), Slovenská republika. Topograficky zaberá územie severného až severovýchodného svahu doliny Badínskeho potoka, v nadmorskej výške 700-850 m. n. m.

Lesné spoločenstvo je tvorené prevažne bukom (*Fagus sylvatica*) a jedľou (*Abies alba*). Smrek (*Picea abies*) v prirodzenom drevinovom zložení chýba. Z ostatných listnáčov sa vyskytujú javor (*Acer pseudoplatanus*), brest (*Ulmus glabra*), jaseň (*Fraxinus excelsior*) a pomiestne (kalamitná plocha) aj rakyta (*Salix caprea*), osika (*Populus tremula*) a jarabina (*Sorbus aucuparia*). Zastúpenie jedle v posledných desaťročiach výrazne klesá. Podľa údajov KORPELA (1995) bolo zastúpenie drevín v celom pralese (s výnimkou kalamitnej plochy) v roku 1957 nasledovné: buk 53%, jedľa 46% a ostatné listnáče 1%. Pri inventarizácii v roku 1987 sa zistil podiel buka na úrovni 74%, jedle 18%, a ostatných listnáčov 8%.

V roku 2007 bola katedrou pestovania lesa LF TU vo Zvolene v centrálnej časti NPR Badínsky prales založená výskumná plocha s rozmermi 250 × 200 m (5 ha). Na celej ploche sa vykonala inventarizácia živých stromov ($d_{1,3} > 8$ cm) a nekromasy (stojaca a ležiaca nekromasa).

Pre získanie podrobnejších informácií o biometrických znakoch (dimenziách) živých stromov bol v rámci 5 ha výskumnej plochy vytýčený 1 ha tranzekt, na ktorom boli zamerané pozície všetkých živých stromov ($d_{1,3} > 8$ cm). Pri každom živom strome sa evidoval druh dreviny, $d_{1,3}$, výška, výška nasadenia koruny a korunová projekcia.

Tranzekt bol pre potrebu ďalších podrobných meraní rozdelený rastrom na plôšky s výmerou 12,5 × 12,5 m. Po ich zlúčení vznikol raster so stranou štvorca 25 m. Rovnaký raster bol stabilizovaný po celej výskumnej ploche a nadväzoval na rastrovú sieť tranzektu. Body rastra z celej výskumnej plochy, ktorých bolo spolu 99 boli východiskom pre všetky analýzy svetelných pomerov pomocou hemisférických fotografií, ktoré sú uvedené v tejto práci.

4.2 Zhotovenie hemisférických snímok

Metodika merania relatívneho osvetlenia pomocou hemisférických snímok pozostáva zo samotného snímkovania korunovej vrstvy porastu a zo softvérového vyhodnotenia snímok. Na snímkovanie sa použil systém Mid-OMount 10MP firmy Régent Instruments Inc. Jedná sa o systém zložený z digitálneho fotoaparátu s rozlíšením 10 MP a nástavca na objektív, ktorý má ohniskovou vzdialenosťou 8 mm. Pri tejto ohniskovej vzdialenosti je dosiahnutý širokohlý záber snímku s uhlom nad 180° – tzv. snímok rybieho oka (fish-eye).

Pri samotnom snímkovaní korunovej vrstvy porastu je mimoriadne dôležité dodržanie niekoľkých všeobecne platných podmienok.

- horizontálna poloha roviny objektívu. Pri horizontálnej polohe objektívu je zaručené podchytenie všetkého priameho a difúzneho žiarenia dopadajúceho na daný bod merania z priestoru nad objektívom.
- fixácia geografickej orientácie snímky. Jedná sa predovšetkým o trvalé nasnímanie polohy severu na hemisférickú snímku. Orientácia snímku, resp. určenie polohy severu je spolu so zemepisnou polohou snímky (určenou geografickými súradnicami) kľúčovým predpokladom pre priradenie modelu slnečných dráh k snímke a teda základnou podmienkou pre použitie snímky pre stanovenie osvetlenia.
- dodržanie štandardných podmienok počasia počas zhotovovania snímok. Ideálnym počasím pre zhotovovanie snímok je rovnomerne a úplne zamračená obloha (tzv. standard overcast conditions). Takýto stav počasia bez zrážok nie je typický pre podmienky strednej Európy vo vegetačnom období, preto je možnosť snímkovania z časového hľadiska dosť limitovaná. Riešením je zhotovovanie snímok pred východom a po západe Slnka. V prípade merania na svahoch so severnou expozíciou sa využiteľný čas predlžuje do doby, kým nie je časť oblohy prežiarená priamym žiarením Slnka resp. slnečnej koróny.

Prvé dve podmienky sú splnené pri použití systému Mid-OMount 10MP. Systém je vybavený samoniveláčnym systémom uchytenia na štandardný fotostativ a zariadením na automatické vyhľadanie a fixáciu pozície severu na snímku (north finder). Zabezpečenie „standard overcast“ podmienok je problematické pri akomkoľvek prístrojovom vybavení. Vzhľadom na jednoduchú obsluhu systému, možnosť rýchleho presunu medzi meracími bodmi a najmä veľmi rýchle uvedenie prístroja do režimu snímkovania bola využitá možnosť zhotoviť snímky až na takmer 100 bodoch počas jedného dňa. Všetky snímky boli zhotovené 18. júla 2008 od 7:30 do 13:00 hod. pri rovnomerne zamračenej oblohe.

Na každom bode merania boli zhotovené tri snímky s rôznymi parametrami nastavenia fotoaparátu (clona a expozícia) pričom clona na prvom snímku bola nastavená v automatickom režime (auto-bracketing), druhý snímok mal clonu o hodnotu 0,7 nižšiu a tretí o 0,7 vyššiu ako prvý. Takto bolo získaných 297 hemisférických fotografií, ktoré boli potom ďalej spracované pomocou programu WinScanopy 2006 (Régent Instruments Inc.). Na analýzu bola vybratá tá fotografia, pri ktorej bolo dosiahnuté najostrejšia viditeľná hranica medzi korunami a pozadím (oblohou).

Softwarový balík WinScanopy 2006 predstavuje kompletne programové vybavenie pre pixelovú klasifikáciu hemisférických snímok, pre ich úpravu a hodnotenie v kombinácii s modelmi zdanlivého pohybu Slnka.

Z hľadiska pixelovej klasifikácie je dôležité správne nastavenie prahovej hodnoty, aby mohol byť každý bod na snímke jednoznačne priradený buď do kategórie „obloha“,

alebo do kategórie „clonená plocha“. Význam správneho nastavenia prahovej hodnoty (threshold), resp. farebných tried zodpovedajúcich farbám začlonenej plochy a pozadia je pre vyhodnotenie snímky zásadný. Pritom správne nastavenie tejto hodnoty nie je jednoduché, keďže ide o farebnú snímku s veľkým množstvom plynulých prechodov medzi farbami oblohy, listov, kmeňov a vetiev prípadne na svahoch aj pôdnej pokrývky. Oprava tejto hodnoty je vo väčšine prípadov nevyhnutná, pretože plocha onačená ako obloha viditeľne zahŕňa aj také časti, ktoré sú bezpochyby prekryté listami. Chyba nastavenia prahovej hodnoty je spravidla tým väčšia, čím väčšia je odchýlka od optimálneho typu počasia (standard overcast sky). Na druhej strane nepredstavuje korekcia prahu a následná nová analýza vďaka premyslenému spôsobu obsluhy software výraznú časovú stratu.

Kombináciou pixelovej klasifikácie a modelov pohybu Slnka je výstup programu s veľkým počtom ukazovateľov osvetlenia. V práci sú hodnotené hodnoty priameho žiarenia (direct site factor – DSF), nepriameho žiarenia (indirect site factor – ISF), celkové žiarenia (total site factor – TSF) a podiel otvorov v korunovej klenbe (openess). Všetky hodnoty týchto veličín sú vypočítané ako relatívne veličiny v pomere k osvetleniu voľnej plochy, resp. osvetleniu nad korunami stromov. Ich hodnoty sa teda pohybujú teoreticky v intervale $<0;1>$. V praxi sú v plne olistených alebo ihličnatých porastoch bežné hodnoty v intervale $<0-0,50>$, naopak hodnoty blízke 1,0 sú veľkou zriedkavosťou.

Na štatistické spracovanie údajov sa použili metódy odhadu nelineárnej závislosti a lineárnej korelácie v programe Statistica 6.0. Exaktne získané údaje o parametroch osvetlenia, ktoré zahŕňajú meranie na 99 bodoch predstavujú dátový súbor s dostatočným rozsahom pre použitie metódy odhadu nelineárnej korelácie. Výsledkom odhadu sú parametre exponenciálnej rovnice, ktorej tvar je logicky aj počtársky najvhodnejší pre opis skúmanej závislosti relatívneho osvetlenia a podielu medzier v korunovej klenbe. Spolu s parametrami je vypočítaný aj korelačný koeficient r ako aj ďalšie parametre bližšie charakterizujúce danú závislosť.

5 VÝSLEDKY A DISKUSIA

5.1 Základná charakteristika svetelných pomerov

Základné ukazovatele relatívneho osvetlenia v poraste, ako aj základná charakteristika štruktúry korunovej klenby (tab.1) ukazujú pomerne nízku variabilitu jednotlivých zložiek relatívneho osvetlenia. Aj keď berieme do úvahy, že sa jedná o viacvrstvový porast s rôzne hustou vrstvou prirodzenej obnovy po celej ploche, sú maximálne zistené hodnoty relatívneho osvetlenia prekvapivo nízke. Bukový prírodný les je typický svojou maloplošnou textúrou, t.j. striedaním jednotlivých vývojových štádií na pomerne malej porastovej ploche. KORPEL (1989) uvádza, že priemerná výmera jednotlivých štádií je okolo 0,10 ha a kolísanie zásoby v bukovom prírodnom lese v rámci vývojového cyklu predstavuje maximálne 30%. To znamená, že na tej istej ploche porastu je rozdiel medzi maximálnou zásobou naakumulovanou na konci štádia optima a minimálnou zásobou na začiatku štádia dorastania – po ukončení fázy dozrievania najviac 30%. Príčinou takéhoto nízkeho kolísania zásoby je súčasná existencia dvoch generácií pralesa na rovnakej ploche. Z porovnania svetelných pomerov a poznatkov o zásobe vyplýva, že redukcia osvetlenia je podstatne vyššia ako redukcia zásoby a nezodpovedá cyklickému vývoju stromovej zložky pralesa, ale je modifikovaná ďalším faktorom.

Príčinou nízkeho relatívneho osvetlenia je totiž existencia prirodzenej obnovy po celej ploche porastu, vrátane jeho kompaktné zapojených častí. Vrstva rôzne hustej a vyspelej prirodzenej obnovy je tým faktorom, ktorý znižuje veľkosti rozdielov relatívneho osvetlenia spôsobených porastovou úrovňou – hornou vrstvou prírodného lesa. Tvorbou medzier v hornej vrstve porastu sa vytvárajú vhodné ekologické podmienky pre vznik prirodzenej obnovy (potenciálnej následnej generácie porastu) nielen priamo v medzerách, ale aj v častiach porastu, ktoré k medzerám priliehajú. Keďže sme snímky zhotovovali vo výške 1 m nad povrchom pôdy, bola na všetkých z nich zachytená aj vrstva prirodzenej obnovy. Predpokladáme, že práve v tých častiach prírodného lesa, kde je prerušený zápoj hornej vrstvy porastu dochádza k rýchlemu odrastaniu ďalšej generácie jedincov prírodného lesa. Teda aj svetlo, ktoré prenikne korunovou klenbou materskej generácie je efektívne zachytené listami následnej generácie. Najvyššie hodnoty relatívneho osvetlenia sa paradoxne vyskytujú buď tam, kde zápoj hornej vrstvy nie je prerušený, alebo v tých miestach kde je vrstva prirodzenej obnovy mladá a nedosahuje výšky nad 1 meter.

Tab. 1: Hodnoty relatívneho osvetlenia a podielu medzier v % v korunovej klenbe v NPR Badínsky prales

Tab. 1: Die relative Beleuchtung und der Anteil der Bestandeslücken in der Naturreservat Badínsky prales

	podiel medzier	priame žiarenie	nepriame žiarenie	globálne žiarenie
max.	7,06	14,17	15,30	12,93
min.	2	0,45	3,68	1,15
var. rozptätie	5,06	13,72	11,62	11,78
priemer	4,11	4,82	6,39	5,02
sm. odch.	1,07	2,55	1,90	2,27

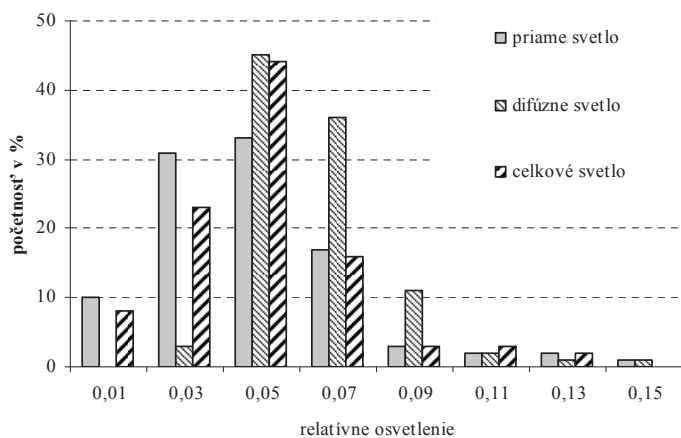
Ako vidno z tabuľky 1, väčšie rozdiely medzi priamym a nepriamym osvetlením sú z hľadiska minimálnych zistených hodnôt. Kým maximálne zistené hodnoty sa odlišujú len o 1,13 %, v minimách je rozdiel 3,23 %. Priame osvetlenie je v oveľa väčšej miere ovplyvňované polohou medzier v korunovej klenbe vzhľadom k bodu merania (snímkovania) ako difúzne svetlo. Preto pri úplne rovnakom rozsahu medzier na dvoch rozdielnych bodoch merania, ale pri rozdielnom rozmiestnení týchto medzier je pravdepodobný veľký rozdiel zistených hodnôt DSF, kým rozdiel ISF bude podstatne menší.

Najnižšiu variabilitu spomedzi analyzovaných charakteristík majú hodnoty podielu otvorov v korunovej klenbe (openess). Maximálna hodnota predstavuje 7,06%, t.j. na danej ploche je k určitému bodu v každom prípade viac ako 90% plochy zakrytých asimilačným aparátom stromov. V porovnaní s charakteristikami relatívneho osvetlenia je však rozdelenie podielu medzier v korunovej klenbe symetrickejšie (obr. 2).

Okrem priemerných hodnôt osvetlenia je dôležitým ukazovateľom svetelných pomerov tiež rozdelenie intenzity osvetlenia po ploche porastu. Keďže sa snímky zhotovovali v systematickom rozstupe 25 m, môžeme podiel jednotlivých hodnôt zistených v konkrétnych bodoch považovať za plošný podiel. Z obrázku 1 vyplýva, že podiely plochy sú podľa intenzity osvetlenia rozdelené ľavostranne asymetricky. Platí to rovnako pre priame, difúzne ako aj celkové relatívne osvetlenie.

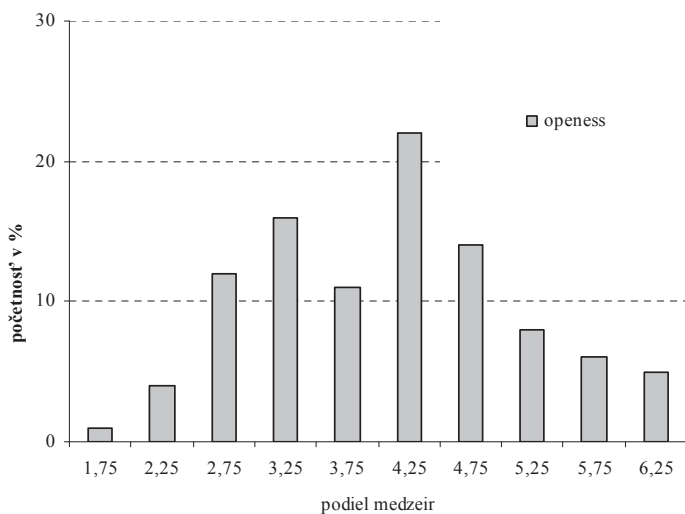
Viac ako 40% plochy prírodného lesa má všetky charakteristiky relatívneho osvetlenia na úrovni 0,05–0,07. Viac ako 90% celej plochy prírodného lesa má všetky ukazo-

vatele relatívneho osvetlenia nižšie ako 0,10, t.j. miesta s vyššou intenzitou relatívneho osvetlenia nad 0,10 sú výnimkou. Evidentné je rozdielne rozdelenie početností podľa hodnoty ISF a DSF, aj keď najčastejšie pozorovanou intenzitou je v oboch prípadoch hodnota 0,05.



Obr. 1 Rozdelenie početností meracích bodov podľa intenzity DSF, ISF a TSF

Abb. 1: Die Verteilung der Meßpunkte nach der Intensität der direkten, indirekten und globalen Strahlung



Obr. 2 Rozdelenie početností meracích bodov podľa podielu medzier

Abb. 2: Die Verteilung der Meßpunkte nach dem Anteil der Bestandeslücken

5.2 VZÁJOMNÉ VZŤAHY PARAMETROV OSVETLENIA

Vzťah štruktúry korunovej klenby resp. porastových medzier a hodnôt relatívneho osvetlenia sa analyzoval metódou odhadu nelineárnej korelácie. Pre odvodenie závislosti relatívneho osvetlenia resp. jeho zložiek od podielu medzier v korunovej klenbe nad bodom merania sa použila exponenciálna funkcia v tvare $y = a + e^{(b+cx)}$.

Tvar rozdelenia početností podielu medzier (obr. 2) je bližší rozdeleniu ISF (nepriame svetlo) ako DSF (priame svetlo), z čoho vyplývajú aj rozdiely vo vzťahov týchto komponentov relatívneho osvetlenia a podielu medzier. Kým v prípade ISF sme zistili tesnú pozitívnu koreláciu s hodnotou $r^2 = 0,795$ ($r = 0,892$) medzi podielom medzier a ISF v danom meracom bode, v prípade DSF neexistuje relevantný vzťah medzi podielom medzier a DSF ($r = 0,250$). V prípade DSF podstatnú úlohu zohráva poloha medzery a jej veľkosť v korunovej vrstve vzhľadom na bod merania (snímkovania), resp. prekrytie existujúcej medzery a slnečných dráh. Vzťah podielu otvorov v porastovej klenbe nemá špecifický tvar a závislosť môže byť rovnako dobre odhadnutá pomocou lineárnej korelácie.

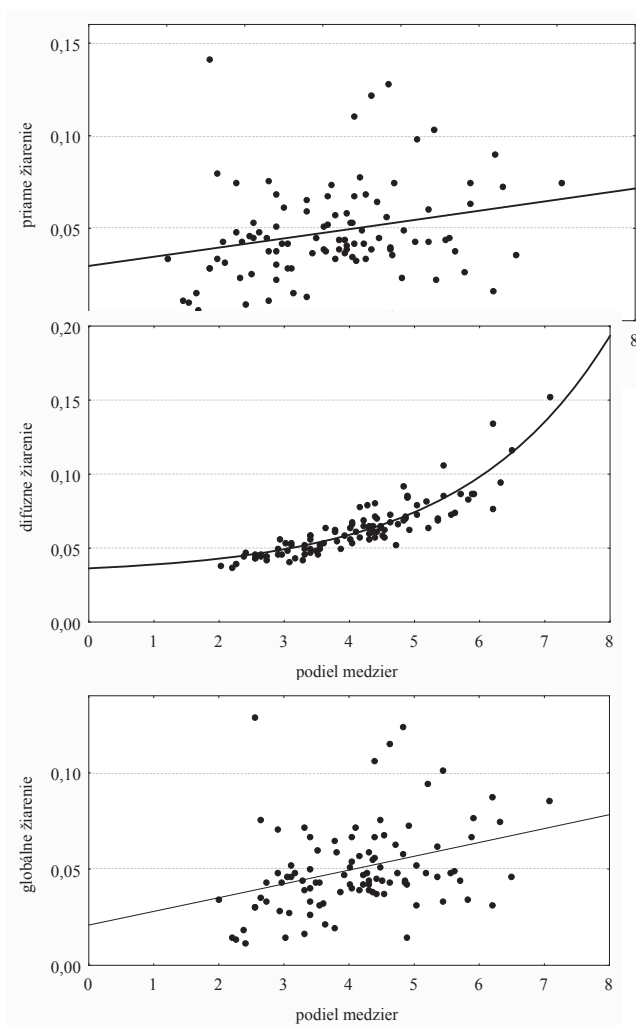
V oboch prípadoch ide o pozitívnu koreláciu oboch zložiek relatívneho osvetlenia. Prírastok podielu medzier však spôsobuje významný exponenciálny nárast ISF. Treba ale pripomenúť, že zistený exponenciálny vzťah sa týka len zisteného rozsahu hodnôt ISF a podielu medzier. Predpokladá sa, že s nárastom podielu otvorov nad určitú hranicu bude rásť difúzne osvetlenie pomalšie. Tiež sa dá predpokladať, že so zvyšovaním podielu medzier, t.j. s rastúcou plochou porastových medzier rastie aj pravdepodobnosť ich prekryvu s dráhou slnka a tým dôjde aj k nárastu hodnôt priameho osvetlenia.

Vzťah celkového relatívneho osvetlenia (TSF) a podielu medzier v porastovej klenbe je z hľadiska tvaru a tesnosti podobný vzťahu priameho osvetlenia a medzier. Závislosť TSF od podielu medzier je slabá, $r^2 = 0,114$ ($r = 0,338$). Napriek tomu, že všetky koeficienty exponenciálnej závislosti sú významne odlišné od nuly (tab. 2), je možné aj v tomto prípade, vzhľadom na tvar závislosti nahradiť exponenciálnu závislosť lineárnou.

Tab. 2: Parametre exponenciálnych závislostí relatívneho osvetlenia od podielu medzier v korunovej klenbe porastu

Tab. 2: Die Parameter der Exponentialkorrelation zwischen der relativen Beleuchtung und dem Anteil der Bestandeslücken

druh žiarenia	a	b	c	r	r ²
priame žiarenie	-2,65**	0,984**	0,0022**	0,250	0,060
difúzne žiarenie	0,031**	-5,379**	0,444**	0,892	0,796
globálne žiarenie	-2,61**	0,969**	0,003**	0,338	0,115



Obr. 3: Závislosti relatívneho osvetlenia od podielu medzier v korunovej klenbe porastu

Abb. 3: Die Korrelation zwischen der relativen Beleuchtungsstärke und dem Anteil der Bestandeslücken

6 ZÁVER

Na rozdiel od doteraz používaných spôsobov hodnotenia svetelných pomerov tj. okulárny odhad zápoja, kde dochádza k značným nepresnostiam pri stanovení podielu medzier v korunovej klenbe (subjektívny názor, skúsenosti merača...), je metóda hemisférických snímok objektívna a presná. Porovnanie s inými metódami schválne neuvádzame, nakoľko ich použitie je náročné vzhľadom na potrebu kontrolných meraní na voľnej ploche. Veľkou výhodou tejto metódy je časová nenáročnosť, ale najmä zohľadňovanie meteorologických modelov danej oblasti. Pri použití tejto metódy na určenie hodnôt osvetlenia sa zistilo, že tieto sú na skúmanej 5 ha ploche až prekvapivo nízke (max – 15,3 %).

Zaujímavé by mohlo byť porovnanie hodnôt osvetlenia s inými prírodnými lesmi, najmä tvorenými prevažne svetlomilnými drevinami, alebo s lesmi ihličnatými. Rovnako aj porovnanie svetelných pomerov medzi jednotlivými vývojovými štádiami prírodných lesov. Takéto údaje by sa mohli uplatniť pri vytváraní nových koncepcií pestovania lesov s prevažujúcou funkciou environmentálnou a ochrannou.

Pri použití fish-eye metódy sa vyvrátila domnienka, že medzi hodnotami priameho osvetlenia a medzerami v korunovej klenbe existuje relevantný vzťah. Významná závislosť sa dokázala len medzi difúznym osvetlením a podielom medzier. Toto vysvetľujú vyššie spomínané dôvody, ako vzťah umiestnenia medzery vzhľadom na slnečnú dráhu a veľkosť medzery. Priame osvetlenie bude zrejme závislé viac od polohy a veľkosti medzier ako od ich podielu na korunovej klenbe.

Použitá literatúra

1. BECKET, P., ERHART, D.W., SMITH, A.P., 1989: Analysis of forest light environments, part 1. computerized estimation of solar radiation from hemispherical canopy photographs. *Agricultural and forest meteorology* 44:217–232
2. DOHRENBUSCH, A., 1994: Überlegungen zur Optimierung der Strahlungsmessungen im Wald. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 166:109–114
3. EVANS, G.C., COOMBE, D.E: Hemispherical and Woodland Canopy Photography and the Light Climate. *The Journal of Ecology*, 47(1):103–113
4. GÓMEZ, J.M., VALLADARES, F., PUERTA-PINERO, C., 2004: Differences between structural and functional environmental heterogeneity caused by seed dispersal. *Functional Ecology* 18:787–792
5. JARČUŠKA, B., 2008: Methodological overview to hemispherical photography, demonstrated on an example of the software GLA. *Folia oecologica* 35(1):66–69
6. JONCKHEERE, I., NACKAERTS, K., MUYS, B., COPPIN, P., 2005: Assessment of automatic gap fraction estimation of forests from digital hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology* 132: 96–114
7. KEELING, H.C., PHILLIPS, O.L., 2007: A calibration method for the crown illumination index for assessing forest light environments. *Forest Ecology and Management* 242:431–437
8. KORPEL, Š., 1989: Pralesy Slovenska. Veda, Bratislava, 329 s.
9. KORPEL, Š., 1995: Sekundárna sukcesia v prírodnom lese na príklade NPR Badinský prales. In: Seminar „Sekundárna sukcesia“, Zvolen, s. 23–32.
10. KUCBEL, S., 2004: Analýza prirodzenej obnovy vo vysokohorskom poraste s dôrazom na význam priameho slnečného žiarenia pre jej rast, *Acta facultatis forestalis Zvolen* 46:157–167
11. KUCBEL, S., 2006: Štruktúra porastov a optimalizácia pestovných opatrení vo vysokohorských lesoch v oblasti Nízkyh Tatier. Dizertačná práca, TU Zvolen, 124 p.
12. KUCBEL, S., 2006: Vplyv priameho slnečného žiarenia na výškový rast jedincov prirodzenej obnovy smreka vo vysokohorskom lese, In: Jurásek, A., Novák, J., Slodičák, M., (eds): *Stabilizace funkcí lesa v biotopu narušených antropogenní činností*, VÚLHM VS Opočno, p.377–385
13. KUCBEL, S., 2004: Vplyv expozície a svetelných pomerov na proces nástupu prirodzenej obnovy smreka vo vysokohorských porastoch, In: Peňáz, J., Martinek, J. (ed.): *Hlavní úkoly pěstování lesů na počátku 21. století*. Sborník z konference, Křtiny 14.–16. 9. 2004, ÚZPL LDF MZLU v Brně, p.279–286
14. SANIGA, M., VENCURIK, J., 2008: Dynamika zmeny štruktúry a regeneračných procesov bukového výberkového lesa, *Acta facultatis forestalis Zvolen* 50 (2): 45–55
15. VENCURIK, J., SKLENÁR, P., 2006: Štruktúra prirodzenej obnovy pri rôznej úrovni stupňa clonenia vo výberkovom lese Oravských Beskyd, Beskydy (19): 131–136
16. WAGNER, S., 1994: Strahlenschätzung in Wäldern durch hemisphärische Fotos, Methode und Anwendung. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades, Göttingen, 166 s.
17. WAGNER, S., KÜSSNER, R., AMMER, Ch., DOHRENBUSCH, A., 2004: Hinweise zur Erfassung von Strahlung und Kronenraumstruktur in Waldbeständen im Rahmen waldbaulicher Untersuchungen, *Forstarchiv* 75: 110–121

Adresa autorov:

Ing. Jozef Zrak

Ing. Peter Jaloviar, PhD.

Katedra pestovania lesa

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masatyka 24

960 53 Zvolen.

Die Lichtverhältnisse in dem Buchennaturwald im Nationalreservat Badinsky prales

Die Arbeit analysiert die Lichtverhältnisse in einem Buchennaturwald. Angesichts ihrer Komplexität, wird die Beschreibung der Lichtverhältnisse speziell in den Laubwäldern zum komplizierten methodischen Problem. Neben den direkten Methoden wird heutzutage auch die indirekte Methode der hemisphärischen Aufnahmen oft angewandt.

Die Lichtmessungen wurden auf einer Fläche von 5 ha durchgeführt, die mit einem Raster von Quadratflächen mit der Seite von 25 m versehen wurde. Diese Rasterpunkte wurden als Meßpunkte benutzt, die Aufnahmen wurden 1 Meter über dem Boden gemacht und mit dem WinScanopy (Regent Instruments®) ausgewertet. Die relative beiden Komponente der Beleuchtung – die direkte und die indirekte Strahlung ist gering und stellt im Durchschnitt nur 5% (1,15 % – 12,93 %) der freien Fläche dar. Es wurde kein Zusammenhang zwischen der Intensität der direkten und der globalen Strahlung und dem Anteil der Bestandeslücken gefunden. Es besteht jedoch ein enger exponentieller Zusammenhang zwischen der Intensität der diffusen Strahlung und dem Anteil der Bestandeslücken ($r^2=0,796$).

VPLYV SVETELNÝCH PODMIENOK NA VARIABILITU A DIVERZITU PRÍZEMNEJ VEGETÁCIE PRÍRODNÝCH HORSKÝCH SMREČÍN

Peter G L O N Ć Á K

Glončák, P.: Vplyv svetelných podmienok na variabilitu a diverzitu prízemnej vegetácie prírodných horských smrečín. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, LI, 2009, Suppl. 1, s. 69–83.

Na piatich modelových lokalitách v prírodných horských smrekových lesoch Nízkyh Tatier sme skúmali vplyv dostupného svetla pod zápojom dospelých stromov na jednotlivé taxóny i celkovú variabilitu a diverzitu prízemnej vegetácie. Údaje o vegetácii, dostupnosti svetla (metóda hemisférických fotografií) a iných vybraných faktoroch prostredia sme získali na 302 plochách o veľkosti 1 m², umiestnených v pravidelnej sieti na tranzektoch v rámci jednotlivých lokalít. Chronosekvenčný dizajn mikrostanošných plôch nám umožnil sledovať variabilitu vegetácie na úrovni maloplošnej dynamiky lesnej vegetácie (tzv. dynamiky porastových medzier).

Bol dokázaný signifikantný vplyv difúzneho svetla na celkovú gradáciu a druhovú diverzitu bylinnej vrstvy vegetácie. Najtesnejší pozitívny vzťah bol nájdený medzi difúznym svetlom a dominanciou druhov *Athyrium distentifolium* a *Calamagrostis villosa*, avšak niektoré druhy tesnejšie korelujú s priamou slnečnou radiáciou (*Rubus idaeus*, *Calamagrostis arundinacea*). Mierne negatívny až indiferentný vzťah machorastov a niektorých bylín k priamej slnečnej radiácii možno pripísať ich výskytu pod tieňom vo viacvrstvovej prízemnej vegetácii. Negatívny vzťah medzi ukazovateľmi svetla a pokryvnosťou zmladenia jarabiny a semenáčikov smreka. vysvetľujeme konkurenčným účinkom bylín, ktoré v presvetlených častiach porastu graduujú. Signifikantný vplyv svetla na variabilitu vegetácie bol potvrdený aj viacrozmernými ordinačnými metódami DCA a CCA, pričom boli okrem svetla zohľadnené aj iné dôležité faktory prostredia. Súčasťou práce sú aj modelové krivky odozvy vybraných druhov prízemnej vegetácie na gradient svetla, platné pre podmienky horských smrekových lesov 7. vegetačného stupňa.

Kľúčové slová: dostupnosť svetla, smrekové lesy, Nízke Tatry, mikrostanoštie, prízemná vegetácia, prírodné lesy

1. ÚVOD

Lesnícky ekologický výskum na Slovensku bol v minulosti zameraný prevažne na stromovú zložku ekosystému s dôrazom na rast, štruktúru, produkciu a regeneračné procesy lesných porastov. V posledných desaťročiach sa dostávajú do čoraz väčšej pozornosti ďalšie dôležité zložky ekosystému, ako je biomasa odumretých drevín, ale aj prízemná vegetácia (synúzia podrastu – bylín, machov a lišajníkov, vrátane zmladenia drevín). V súčasnosti existujú desiatky štúdií zameraných na ekologický význam prízemnej vegetácie. Prízemná vegetácia napríklad výrazne vplyva na ujímanie a rast semenáčikov drevín a tým aj dynamiku celého porastu (GEORGE & BAZZAZ 1999; FREHNER 2002; NILSSON & WARDLE 2005 ex SVOBODA *et al.* 2006; HOLEKSA *et al.* 2008; BAČE *et al.* 2009).

Prirodzené horské smrekové lesy sa vyznačujú typickou mozaikovitosťou porastových medzier a s tým súvisiacou variabilitou prízemnej vegetácie (KIRCHNER *et al.* 2009).

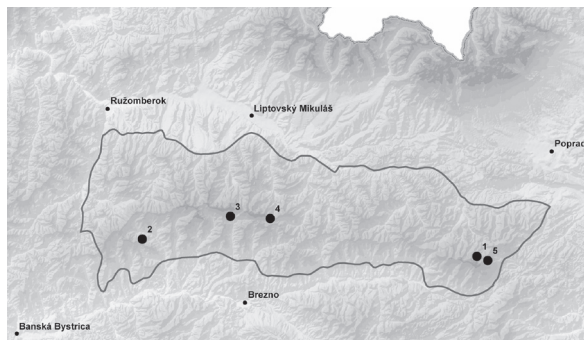
Mnohí autori preto prispôsobili tomuto faktu metodické prístupy a vo veľkej miere sa modifikovali doterajšie prístupy smerom k výskumu na úrovni tzv. mikrostanošíšť (cf. KUULUVAINEN & KALMARI 2003). Je zrejmé, že na variabilitu prízemnej vegetácie na úrovni mikrostanošíšť v podmienkach horských smrečín vplýva viacero faktorov. Za najkomplexnejší z nich môžeme považovať samotný vplyv dospelých smrekov, ktoré vo svojom okolí výrazne ovplyvňujú dostupnosť vody a živín, s tým súvisiacu biologickú aktivitu pôdy, zasypávajú vegetáciu svojim opadom a obmedzujú množstvo disponibilného svetla (JANIŠOVÁ *et al.* 2007).

Vplyvom disponibilného svetla na prízemnú vegetáciu v podmienkach bukovo-jedľových lesov v Chorvátsku sa zaoberal JELASKA *et al.* (2006). Použil pri tom metódu hemisférických fotografií. Väčšina prác dotýkajúcich sa problematiky disponibilného svetla dopadajúceho na prízemnú vegetáciu pod zápojom drevín, je však zameraných na vzťah veľkosti porastových medzier k určitým typom vegetácie, ktorá sa v týchto medzerách nachádza (COLLINS & PICKETT 1987; GÁLHIDY *et al.* 2006; NAAF & WULF 2007; KIRCHNER *et al.* 2009). Z toho iba niekoľko prác je aplikovateľných pre podmienky horských smrekových lesov (HOLEKSA 2003).

Cieľom tejto práce je kvantifikovať vplyv jednotlivých ukazovateľov dostupnosti svetla, meraných metódou hemisférických fotografií, na variabilitu a diverzitu prízemnej vegetácie horských smrekových lesov, na troch úrovniach: 1) prízemnej vegetácie ako celku; 2) na úrovni tzv. „typov mikroocenóz“; 3) na úrovni vybraných najvýznamnejších taxónov prízemnej vegetácie.

2. MATERIÁL A METÓDY

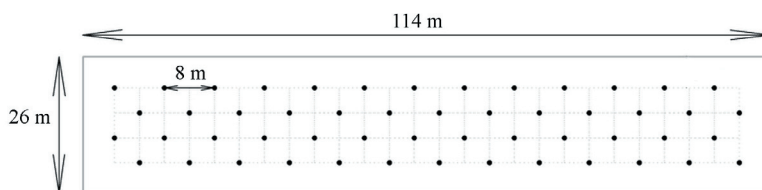
Výskum prebiehal na piatich lokalitách (obr. 1) v prirodzených horských smrekových porastoch Nízkych Tatier, patriacich do sít *Sorbetum-Piceetum*, na geologickom podloží hornín kryštalinika v nadmorských výškach 1300–1500 m. Jednotlivé lokality (1 – Pramene Čierneho Váhu; 2 – Lopusné v Jasenianskej doline; 3 – Kosodrevina; 4 – NPR Ďumbier; 5 – PR Martalúžka) sa líšia expozíciou, inak sú si stanovištne podobné, s malými rozdielmi vo floristickom zložení fytocenózy vyplývajúcimi najmä z rozdielnej geografickej polohy. Transektby boli založené po vrstevnici tak, aby pri dodržaní stanovištnej jednotnosti prechádzali cez rôzne štruktúry smrekového lesa – od zapojeného lesa, cez porastové medzery rôznych veľkostí, až po les v štádiu rozpadu. Dĺžka transektov sa pohybuje od 114 do 218 m.



Obr. 1 Lokalizácia transektov v geomorfologickom celku Nízke Tatry

Fig. 1 Location of transects in the Nízke Tatry Mts.

Na tranzektoch sme vytýčili a stabilizovali pravidelnú sieť bodov so šachovnicovým rozostupom 8 m v pozdĺžnom smere a 5,7 m po uhlopriečke (obr. 2). Výnimkou je plocha na lokalite 1 – Pramene Čierneho Váhu (obr. 1), kde sme tvar a dĺžku transektu prispôbili topografickým podmienkam danej lokality (podrobnosti sú uvedené v práci GLONČÁK 2007). V tejto sieti sme umiestnili mikrostanovištné štvorcové plochy 1×1 m. Na týchto plochách sme zaznamenávali pokryvnosť jednotlivých druhov bylín, machorastov, lišajníkov a zmladenia drevín odhadnutú v %, ich frekvenciu (0–4) na štyroch frekvenčných štvorcoch (0,25 m²). Okrem toho sme na každej ploche odhadovali pokryvnosť smrekového opadu, povrchového skeletu, mŕtveho dreva a živej drevnej hmoty (kmeň stromu, korene a koreňové nábehy). Na každej ploche sme tiež pomocou zápichov oceľovej tyče merali relatívnu „hĺbku pôdy“. Za „hĺbku pôdy“ bol považovaný aritmetický priemer z desiatich meraní na jednej ploche.



Obr. 2 Schéma umiestnenia mikrostanovištných plôch na tranzekte

Fig. 2 Sampling design of microsite plots distribution within transect

Pre hodnotenie svetelných pomerov sme v strede každej štvorcovej plôšky vyhotovili hemisférické fotografie digitálnym fotoaparátom Nikon Coolpix 5400 so širokouhlým objektívom FC-E9 (tzv. „rybie oko“). Z fotografií bola vyhodnotená otvorenosť zápoja (*CnpOpen*, t.j. percentuálny podiel oblohy presvitajúcej cez zápoj na ploche snímky), index listovej plochy (*LAI*, cf. KEELING & PHILLIPS 2007) a množstvo prechádzajúcej priamej (*R_Dir*), difúznej (*R_Dif*) radiácie, a ich suma (*R_Tot*). Na hodnotenie bol použitý program Gap Light Analyser 2.0 (FRAZER *et al.* 1999). Vo výpočte svetelných pomerov boli okrem masky terénu zohľadnené základné stanovištné pomery (geografická poloha, nadmorská výška, sklon, expozícia, dĺžka vegetačnej doby) a prednastavené modelové parametre slnečnej radiácie. Metodickými podrobnosťami ohľadom techniky optimálneho získavania a spracovania hemisférických fotografií sa zaoberá JARČUŠKA (2008).

Za prízemnú vegetáciu sme považovali druhy bylín, tráv, neepifitických machorastov a lišajníkov a druhy drevín do výšky 1,3 m (zmladenie). Dáta o prízemnej vegetácii zaznamenané na 302 mikrostanovištných plochách (1m²), sme klasifikovali podľa floristickej podobnosti na tzv. „typy mikrocenózy“. Použili sme pritom program JUICE 7.0 (TICHÝ 2002) a modifikovaný algoritmus TWINSpan (HILL 1978, TICHÝ *et al.* 2007). Fidelitu jednotlivých druhov k typom mikrocenózy sme vypočítali podľa Phi koeficientu (CHYTRÝ *et al.* 2002) s použitím F-testu štatistickej významnosti verných druhov ($p \leq 0,01$), ktorý je zahrnutý v programe JUICE. Nomenklatúra druhov prízemnej vegetácie je zjednotená podľa práce MARHOLD & HINDÁK (1998). Druhy *Soldanella hungarica* a *Soldanella carpatica* uvádzame pod spoločným názvom *Soldanella* sp., prevažoval však druh *S. hungarica*. Problematicky determinovateľné taxóny rodu *Dryopteris* (*D. carthusiana*, *D. dilatata*, *D. expansa*) uvádzame vo forme agregátu *Dryopteris carthusiana* agg. (prevažoval však druh *D. dilatata*). Druhy machorastov boli determinované mikroskopicky (determinovala Mgr. Anna Petrášová).

Signifikantnosť rozdielov medzi priemernými hodnotami faktorov svetla v jednotlivých typoch mikrocenózy sme otestovali použitím jednofaktorovej analýzy variancie (ANOVA) a Duncanovho testu v programe STATISTICA 7 (StatSoft®).

Na priamu a nepriamu gradientovú analýzu sme použili program CANOCO (TER BRAAK & ŠMILAUER 2002). Údaje o pokryvnosti druhových dát boli logaritmované. Na determináciu hlavných osí variability druhových dát sme použili nepriamu unimodálnu ordinačnú metódu DCA. Do analýzy vstupovali aj binárne kódované označenia lokalít ako kovariáty, kvôli oddeleniu vplyvu rozdielností medzi jednotlivými lokalitami na variabilitu v rámci transektov. Vplyv jednotlivých faktorov dostupnosti svetla na celkovú variabilitu prízemnej vegetácie sme kvantifikovali a testovali pomocou priamej unimodálnej ordinačnej metódy CCA. Do analýzy vstupovali okrem druhových dát a faktorov svetla aj údaje o povrchovej kamenitosti, pokryvnosti mŕtvej a živej dendromasy a relatívnej „hlĺbke pôdy“, ktoré sme použili ako kovariáty. Pokryvnosť smrekového opadu (*litter*) bola použitá ako pasívna premenná. Faktory boli vyberané metódou postupnej selekcie. Na testovanie významnosti jednotlivých faktorov sme použili Monte Carlo permutačný test bez obmedzenia, ale aj s obmedzením pre dizajn s plochami v pravidelných sieťach, kvôli zohľadneniu priestorovej autokorelácie.

Vzťah medzi jednotlivými druhmi prízemnej vegetácie a faktormi svetla, ako aj hladina významnosti tohto vzťahu boli analyzované pomocou Spearmanovej korelácie v programe STATISTICA 7 (StatSoft®). Ukazovatele druhej diverzity boli vypočítané na báze Shannon-Weaverovho indexu (H' ; SHANNON & WEAVER 1963).

Modelové krivky odozvy vybraných druhov prízemnej vegetácie na gradient svetla boli vytvorené s použitím programu JUICE 7.0 (ZELENÝ & TICHÝ 2009) v súčinnosti s programom R-project 2.8 (R DEVELOPMENT CORE TEAM 2005). Použili sme model GAUSS.

3. VÝSLEDKY

3.1 Klasifikácia prízemnej vegetácie podľa typov mikrocenózy

Celkovo sme pomocou zápisov o veľkosti plochy 1×1 m zaznamenali 80 druhov prízemnej vegetácie. Z toho 40 druhov cievnatých rastlín (z toho 5 druhov zmladenia stromov) a 40 druhov machorastov (z toho 4 rastúce na skalách, kt. sme z analýz vynechali). Na základe numerickej analýzy a syntézy súboru 302 zápisov, sme rozlíšili 8 „typov mikrocenóz“. Komplexná fytocenologická a synoptická tabuľka, ako aj podrobná fotodokumentácia je uvedená v práci GLONČÁK (2009).

Nasleduje prehľad diagnostickej druhej kombinácie jednotlivých typov mikrocenózy. Ako diagnostické druhy uvádzame taxóny s hodnotou „vernosti“ Φ nad 30 (druhy s Φ nad 50 sú vyznačené tučne). Za konštantné druhy sú považované taxóny s hodnotou stálosti nad 80 % (druhy so stálosťou nad 99 % sú vyznačené tučne). Za dominantné druhy sú považované taxóny s pokryvnosťou nad 25 % (druhy s dominantným výskytom vo viac ako 50 % zápisoch sú vyznačené tučne). Za každým druhom uvádzame jeho hodnotu fidelity (pri diagnostických druhoch), resp. percento stálosti (pri konštantných a dominantných druhoch) v danom type mikrocenózy.

Typ AD1 (16 zápisov – 5,3 %):

- Diagnostické druhy: *Calamagrostis arundinacea* 69,9; *Acetosa arifolia* 53,6; *Gen-*

tiana asclepiadea 42,2; *Racomitrium sudeticum* 39,4; *Rubus idaeus* 37,8; *Athyrium distentifolium* 37,5; *Luzula luzuloides* 37,3; *Chamerion angustifolium* 31,4

- Konštantné druhy: ***Vaccinium myrtillus* 100**; *Calamagrostis arundinacea* 94; *Athyrium distentifolium* 94
- Dominantné druhy: ***Athyrium distentifolium* 50**; ***Vaccinium myrtillus* 56**; *Rubus idaeus* 19; *Calamagrostis arundinacea* 12.

Typ AD2 (21 zápisov – 7%):

- Diagnostické druhy: ***Rubus idaeus* 56,4**; *Athyrium distentifolium* 38,6
- Konštantné druhy: *Vaccinium myrtillus* 95; *Dryopteris carthusiana* agg. 95; *Athyrium distentifolium* 95; *Rubus idaeus* 90; *Plagiothecium curvifolium* 90; *Oxalis acetosella* 86
- Dominantné druhy: *Athyrium distentifolium* 48; *Vaccinium myrtillus* 29; *Dryopteris carthusiana* agg. 29; *Rubus idaeus* 24; *Oxalis acetosella* 10; *Calamagrostis villosa* 10; *Polytrichum formosum* 5; *Pleurozium schreberi* 5; *Luzula sylvatica* 5; *Athyrium filix-femina* 5; *Adenostyles alliariae* 5.

Typ AD3 (35 zápisov – 11,6%):

- Diagnostické druhy: ***Adenostyles alliariae* 58,6**; *Stellaria nemorum* 45,5; *Athyrium distentifolium* 42,1; *Cephalozia bicuspidata* 40,1; *Luzula sylvatica* 37,4; *Calypogeia suecica* 30,7
- Konštantné druhy: ***Oxalis acetosella* 100**; ***Athyrium distentifolium* 100**; *Plagiothecium curvifolium* 97; *Luzula sylvatica* 94; *Dryopteris carthusiana* agg. 94
- Dominantné druhy: *Athyrium distentifolium* 49; ***Luzula sylvatica* 54**; *Vaccinium myrtillus* 43; *Dryopteris carthusiana* agg. 23; *Polytrichum formosum* 3; *Plagiomnium affine* 3; *Oxalis acetosella* 3; *Brachythecium starkei* 3.

Typ VM1 (70 zápisov – 23,2%):

- Diagnostické taxóny: ***Hylocomium umbratum* 52,5**; *Soldanella* sp. 44,8; *Rhytidiadelphus squarrosus* 40,4; *Avenella flexuosa* 40,3; *Homogyne alpina* 38,4
- Konštantné taxóny: *Dryopteris carthusiana* agg. 99; *Vaccinium myrtillus* 97; *Oxalis acetosella* 94; *Soldanella* sp. 91; *Polytrichum formosum* 86
- Dominantné taxóny: ***Vaccinium myrtillus* 63**; *Polytrichum formosum* 41; *Dryopteris carthusiana* agg. 24; *Athyrium distentifolium* 17; *Rhytidiadelphus squarrosus* 11; *Oxalis acetosella* 11; *Luzula sylvatica* 6; *Hylocomium umbratum* 4; *Homogyne alpina* 3; *Soldanella* sp. 1; *Rubus idaeus* 1; *Plagiomnium affine* 1; *Calamagrostis villosa* 1.

Typ VM2 (79 zápisov – 26,2%):

- Konštantné druhy: *Vaccinium myrtillus* 99; *Plagiothecium curvifolium* 90; *Oxalis acetosella* 90; *Dryopteris carthusiana* agg. 81
- Dominantné druhy: ***Vaccinium myrtillus* 77**; *Dryopteris carthusiana* agg. 25; *Oxalis acetosella* 18; *Polytrichum formosum* 8; *Calamagrostis villosa* 6; *Rubus idaeus* 1; *Rhytidiadelphus squarrosus* 1; *Pleurozium schreberi* 1; *Hylocomium umbratum* 1; *Dicranum scoparium* 1.

Typ VM3 (8 zápisov – 2,6%):

- Diagnostické druhy: *Luzula sylvatica* 41,7; *Plagiothecium undulatum* 36,9
- Konštantné druhy: ***Vaccinium myrtillus* 100**; ***Oxalis acetosella* 100**; ***Luzula sylvatica* 100**
- Dominantné druhy: *Luzula sylvatica* 38; *Vaccinium myrtillus* 25.

Typ VM4 (23 zápisov – 7,6%):

- Konštantné druhy: ***Vaccinium myrtillus* 100**; *Plagiothecium curvifolium* 83

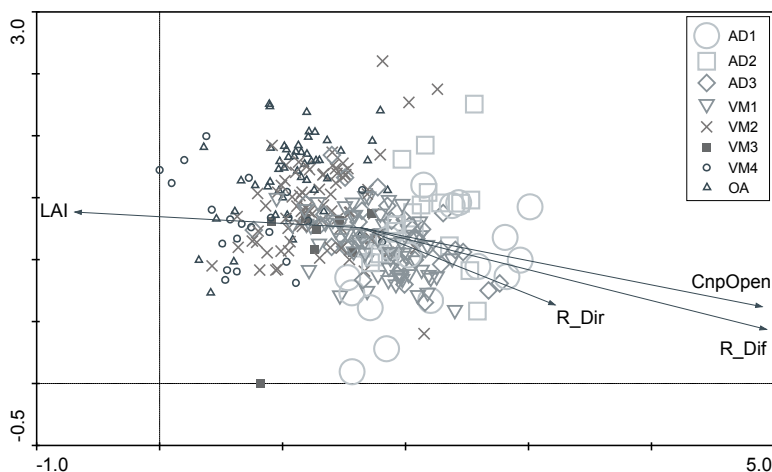
- Dominantné druhy: *Vaccinium myrtillus* 57; *Plagiothecium curvifolium* 4.

Typ OA (50 zápisov – 16,6 %):

- Konštantné druhy: *Plagiothecium curvifolium* 100; *Oxalis acetosella* 98; *Vaccinium myrtillus* 88.
- Dominantné druhy: *Oxalis acetosella* 44; *Vaccinium myrtillus* 16; *Dryopteris carthusiana* agg. 12; *Polytrichum formosum* 2.

3.2 Vplyv dostupného svetla na celkovú variabilitu a diverzitu prízemnej vegetácie

Z DCA nepriamej analýzy (obr. 3) môžeme interpretovať usporiadanie „mikrozápisov“ podľa gradientu svetla pozdĺž prvej ordinačnej osi (zľava doprava). Prvé dve ordinačné osi spolu vysvetľujú 9,8 % variability. Zápisy sú od seba pomerne nevýrazne separované (*eigenvalue* na prvej osi je 0,254), ide skôr o kontinuálny prechod od spoločenstiev pod plným zápojom drevín (typ OA, VM4) cez fytocenózy v porastových dierach (VM1, VM2) až po fytocenózy v rozpadových štádiách lesa (AD1 až AD3). Pripomíname, že variabilita spôsobená rozdielnosťami medzi jednotlivými lokalitami bola v analýze oddelená použitím kovariát (viď metodika).



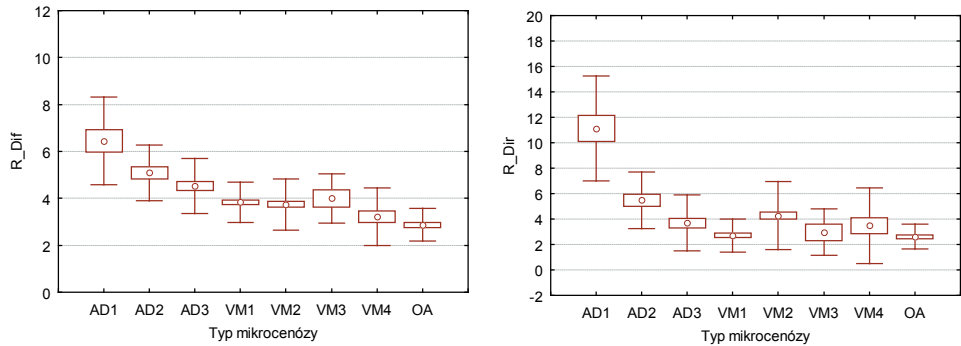
Obr. 3 Graf DCA analýzy zobrazuje pozície zápisov zatriedených do typov mikrocoenózy (kapitola 3.1) a faktory svetla ako pasívne premenné; Druhové dáta boli logaritmované

Fig. 3 DCA analysis with score of samples classified into „microcoenosis types“ (see chapter 3.1). Factors of light were used as supplementary variables; Species data were log-transformed; Binary codes of each localities were used as covariables

Podobné súvislosti ako nám naznačila DCA analýza, môžeme podrobnejšie pozorovať z krabicových grafov (obr. 4), znázorňujúcich rozpätia hodnôt svetla v jednotlivých typoch mikrocoenózy. Je zjavné, že spoločenstvo s *Athyrium distentifolium*, *Calamagrostis arundinacea* a *Acetosa arifolia* (typ AD1) najvýraznejšie inklinuje k zvýšenému svetelnému pôžitku, pričom v porovnaní s ostatnými typmi výraznejšie preferuje priame slnečné žiarenie. Ďalšie dva typy s dominanciou *Athyrium distentifolium* (typ AD2, AD3), charakteristické pre štádiá rozpadu prírodných smrekových lesov, možno taktiež považovať za

náročné na dostupnosť svetla (najmä difúzneho). Na opačnom konci gradientu sú druho-vo chudobnejšie spoločenstvá s *Oxalis acetosella*, *Vaccinium myrtillus* a *Plagiothecium curvifolium* (typ VM4, OA). Tieto sa v najsilnejšom zatienení vyznačujú často krát aj nudálnym vzhľadom. Uprostred gradientu svetla sa nachádzajú spoločenstvá s relatívne pestrým druhovým zložením, tvoriace typickú mozaiku podmienenú porastovými medze-rami rôznej veľkosti, charakteristickú pre prirodzené vysokohorské smrekové lesy s uvoľ-neným zápojom (typ VM1, VM2, VM3).

Analýza variance pre všetky premenné svetla preukázala signifikantnosť rozdielov medzi priemernými hodnotami. Duncanov test (tab. 1) ukazuje, nakoľko sú rozdiely me-dzi priemernými hodnotami slnečného žiarenia (difúzneho a priameho) v jednotlivých ty-poch mikroocenóz štatisticky významné. Napríklad typ AD1 sa v oboch hodnotách svetla štatisticky veľmi významne odlišuje od všetkých ostatných typov mikroocenóz. Typ AD2 sa signifikantne odlišuje od ostatných typov mikroocenózy s výnimkou typu AD3 (v hod-notách difúzneho svetla) a typu VM2 (v hodnotách priameho svetla), a pod.



Obr. 4 Variabilita hodnôt difúzneho a priameho svetla vo vzťahu k typom mikroocenóz; Krabicový graf zobrazuje aritmetický priemer, smerodajnú chybu a smerodajnú odchýlku; Množstvo slnečnej radiácie je vyjadrené v moloch.m⁻².deň⁻¹

Fig. 4 Variability of the diffuse and direct light in relation to the „microcoenosis types“; Boxplots represents mean, standard error, standard deviation; Amount of solar radiation is expressed in mols.m⁻².day⁻¹

Tab. 1 Duncanov test signifikantnosti rozdielov medzi priemernými hodnotami svetla (difúzneho a priameho) v jednotlivých typoch mikroocenózy. Počet hviezdičiek predstavuje hladinu významnosti: ns – nie je signifikantný ($p \geq 0,05$); * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$

Table 1 Duncan's test showing the significance of differences between each „microcoenosis types“ due to solar radiation (R_Dif – diffuse; R_Dir – direct). Asterisks represent statistical significance: ns – not significant ($p \geq 0,05$); * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$

		AD1	AD2	AD3	VM1	VM2	VM3	VM4		AD1	AD2	AD3	VM1	VM2	VM3	VM4
R_Dif	AD2	***							R_Dir	***						
	AD3	***	ns							***	**					
	VM1	***	**	ns						***	***	ns				
	VM2	***	***	ns	ns					***	ns	ns	*			
	VM3	***	**	ns	ns	ns				***	***	ns	ns	*		
	VM4	***	***	***	*	ns	*			***	***	ns	ns	ns	ns	
	OA	***	***	***	***	**	***	ns		***	***	ns	ns	**	ns	ns

Vplyv svetelných podmienok na prízemnú vegetáciu ako celok, na jej pokryvnosť a diverzitu, môžeme interpretovať aj na základe korelačných vzťahov (tab. 2). Najvý-

raznejší je vzťah difúzneho svetla a celkovej pokryvnosti prízemnej vegetácie, tvorenej najmä jej bylinnou vrstvou. Množstvo difúzneho žiarenia dopadajúceho na prízemnú vegetáciu spolu s percentuálnou hodnotou otvorenosti zápoja majú pozitívny dopad aj na počet druhov, druhovú diverzitu vyjadrenú Shannonovým indexom a celkovú variáciu na zápisoch. Vplyv svetla na pokryvnosť machorastov nie je natoľko výrazný, machorasty dokonca vykázali negatívny vzťah k priamemu slnečnému žiareniu. Množstvo priamej slnečnej radiácie taktiež nemá príliš pozitívny vplyv na druhovú diverzitu, čo môžeme vysvetliť aj tým, že v najväčších porastových medzerách výrazne dominujú vysoké papradiny (najmä *Athyrium distentifolium*), ktoré na úrovni mikrostanovišťa potláčajú ostatné druhy vegetácie. Suma frekvencií druhov bylín (*F_herb*) je ukazovateľ druhovej bohatosti čiastočne zohľadňujúci aj mieru ich účasti v mikrocenózach.

Tab. 2 Hodnoty Spearmanových korelačných koeficientov medzi ukazovateľmi dominancie (*Cov* – pokryvnosť: celková, bylinnej vrstvy, machorastov), druhovej diverzity (*F_herb* – suma frekvencií druhov bylinnej vrstvy; *N_herb* – počet druhov bylinnej vrstvy; *N_moss* – počet druhov machorastov; *evennes* – druhová vyrovnanosť; *Shannon H'* – Shannonov index; *variance* – variácia v zápisoch) prízemnej vegetácie a ukazovateľmi dostupnosti svetla; Počet hviezdíčiek predstavuje hladinu významnosti testu korelačného vzťahu: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$

Table 2 Spearman correlation coefficients between indices of ground vegetation vigorousness (*Cov* – dominancy), diversity (*F* – frequency of species; *N* – number of species) and factors of light availability; Asterisks represent statistical significance of correlation: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$

	<i>CnpOpen</i>	<i>R_Dif</i>	<i>R_Dir</i>	<i>R_Tot</i>	<i>LAI</i>
<i>Cov_tot</i>	0,60***	0,65***	0,24***	0,45***	-0,43***
<i>Cov_herb</i>	0,62***	0,65***	0,37***	0,54***	-0,51***
<i>Cov_moss</i>	0,11	0,15**	-0,19***	-0,05	0,01
<i>F_herb</i>	0,44***	0,46***	0,09	0,27***	-0,25***
<i>N_herb</i>	0,47***	0,49***	0,14*	0,31***	-0,29***
<i>N_moss</i>	0,10	0,12*	-0,10	-0,01	-0,01
<i>evennes</i>	-0,18**	-0,17**	-0,05	-0,11	0,16**
<i>Shannon H'</i>	0,21***	0,21***	-0,07	0,05	-0,06
<i>variance</i>	0,50***	0,54***	0,25***	0,41***	-0,38***

3.3 VZŤAH JEDNOTLIVÝCH DRUHOV K FAKTOROM DOSTUPNOSTI SVETLA

Zreteľnejšiu interpretáciu vplyvu faktorov dostupného svetla na prízemnú vegetáciu nám umožňuje priama gradientová analýza CCA (obr. 5). Metódou postupného výberu faktorov sme vyselekovali 3 premenné, priamo vstupujúce do analýzy: difúzne svetlo (*R_Dif*), priama slnečná radiácia (*R_Dir*) a index plochy olistenia (*LAI*). Tieto tri faktory spolu vysvetľujú 17,6 % variability druhových dát. Z toho 59,2 % vystihuje prvá kanonická os ordinácie, s ktorou výrazne koreluje faktor difúzneho svetla. Premenná otvorenosť zápoja (*CnpOpen*) tesne koreluje s difúznym svetlom a vysvetľuje o čosi menej variability, preto sme ho do analýzy nevybrali. Vybrané faktory boli pri plnom datasete testované randomizačným testom (9999 permutácií bez obmedzenia) a vykázali signifikantný (nenáhodný) vplyv (tab. 3) Pri parciálnom testovaní s obmedzením pre plochy v pravidelnej sieti bodov v rámci jednotlivých lokalít, však faktor *LAI* nevykázal signifikantný vplyv pre lokality 1, 2 a 3 (obr. 1). Pozície druhov v ordinačnom grafe predstavujú ich optimá vo vzťahu k zvoleným faktorom.

Druhy *Calamagrostis arundinacea* a *Rubus idaeus* majú teda najbližší vzťah k priamemu slnečnému žiareniu. Sú to druhy vyskytujúce sa v najväčších porastových medze-

rách v štádiách rozpadu prírodných smrečín s najbujnejšou prízemnou vegetáciou a sú doprevádzané aj niektorými druhmi považovanými za nelesné (napr. *Chamerion angustifolium*, *Senecio hercynicus* – viď typ AD1). Druh *Rubus idaeus* sa však natoľko nešpecializuje iba na priame slnečné žiarenie, ale výrazne koreluje aj s difúznym svetlom (tab. 3). Vo vzťahu k difúznemu svetlu má svoje najvýraznejšie optimum druh *Athyrium distentifolium*, ktorý sprevádza porastové medzery stredných až veľkých rozmerov.

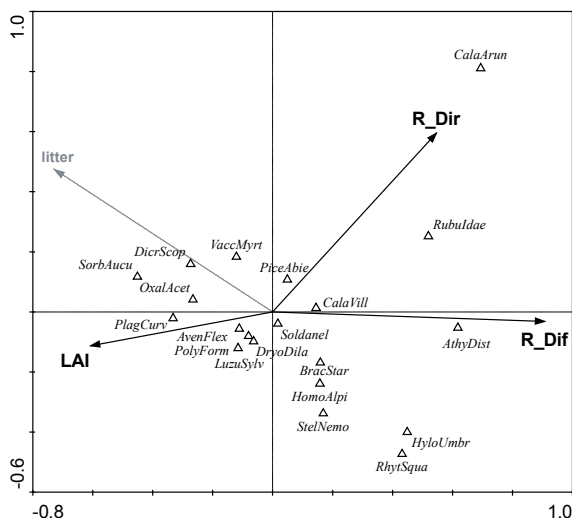
Tab. 3 Výsledky postupnej selekcie faktorov pri CCA analýze; Marginálny vplyv – percento variability vysvetlenej jednotlivými faktormi samostatne; Kondicionálny vplyv – percento variability vysvetlenej faktorom pri postupnej selekcii; Čistý vplyv – percento variability vysvetlenej samostatným faktorom v prípade že všetky ostatné signifikantné premenné boli použité ako kovariáty; Hladina významnosti: ns – nie je signifikantný; * $p \leq 0,05$; *** $p \leq 0,001$

Table 3 CCA analysis – results of forward selection. Marginal effect – percentage variance explained by an individual variable while used as the only constraining variable; Conditional effect – additional variance explained by the variable at the time it was included in the stepwise selection; Pure effect – percentage variance explained by the variable after all variables that are significant when alone were used as covariables; ns – not significant; * $p \leq 0,05$; *** $p \leq 0,001$

vplyv / effect	marginálny	kondicionálny	čistý
<i>R_Dif</i>	10,0***	10,0 (1)***	3,0***
<i>SiteOpen</i>	9,5***		1,4 ^{ns}
<i>CnpOpen</i>	9,5***		1,4 ^{ns}
<i>R_Dir</i>	7,7***	5,3 (2)***	5,2***
<i>LAI4</i>	5,7***	2,3 (3)*	1,6 ^{ns}
<i>LAI5</i>	4,9***		2,1*

variabilita vysvetlená všetkými premennými 22,1 %

variabilita vysvetlená signif. premennými 17,4 %



Obr. 5 Ordinačný diagram priamej gradientovej analýzy CCA. Zobrazené sú iba druhy s váhou v analýze nad 4 %. Druhové dáta boli logaritmované; Faktor „opad smreka“ (*litter*) je zobrazený v grafe ako pasívna premenná

Fig. 5 Direct analysis CCA. Only species above 4% weight in analysis are displayed. Species data were log-transformed; Factor *litter* (spruce needles) is displayed as supplementary

Podľa vzťahu k difúznemu svetlu môžeme ďalej druhy zoradiť v nasledovnom poradí: *Hylocomium umbratum*, *Rhytidiadelphus squarrosus*, *Stellaria nemorum*, *Homogyne alpina*, *Brachythecium starkei*, *Calamagrostis villosa*. Uvedené druhy však vykazujú indiferentný vzťah k priamej slnečnej radiácii (s výnimkou *Calamagrostis villosa*), z čoho možno usúdiť, že ich optimum je v menších porastových medzerách a v presvetlených častiach smrekového porastu. Pri machorastoch je však potrebné mať na zreteli, že sa nachádzajú vo väčšine prípadov pod tieňom bylín, a preto pri interpretácii ich priameho vzťahu ku svetlu musíme byť opatrní. Druhy *Vaccinium myrtillus*, *Dryopteris carthusiana* agg., *Luzula sylvatica*, *Polytrichum formosum*, *Avenella flexuosa* vykazujú indiferentný vzťah ku svetlu (obr. 5), čo vysvetľujeme ich širokou ekologickou amplitúdou k faktorom svetla (obr. 6). Sú to druhy považované za typických sprievodcov smrekového lesa vo všetkých jeho vývojových štádiách. Ich pokryvnosť samozrejme narastá s dostupným svetlom (tab. 4), avšak vyskytujú sa mozaikovite aj v plne zapojených častiach smrekových porastov. Navyše druh *Vaccinium myrtillus*, spolu s druhmi *Plagiothecium curvifolium*, *Oxalis acetosella* a *Dicranum scoparium* dobre znáša negatívny vplyv opadu smreka (obr. 5; litter). Tieto druhy sa vyskytujú aj na najzatienennejších mikrostanovištiach.

Bol nájdený negatívny vzťah zmladenia jarabiny do výšky 1,3 m (*Sorbus aucuparia*) a semenáčikov smreka (*Picea abies*) k faktorom svetla (tab. 4), avšak zmladenie smreka vykazuje v gradientovej analýze viac menej indiferentný vzťah ku svetlu (obr. 5). Treba mať na zreteli, že do analýzy vstupovali hodnoty pokryvnosti daných druhov drevín.

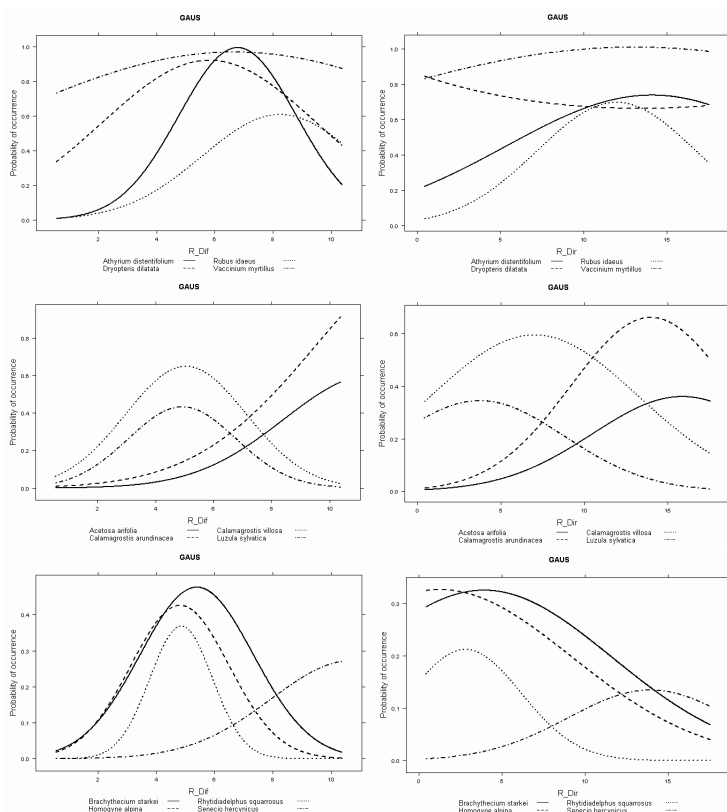
Tab. 4 Hodnoty Spearmanových korelačných koeficientov medzi pokryvnosťou vybraných taxónov prízemnej vegetácie a ukazovateľmi dostupnosti svetla zaznamenaných v pravidelnej sieti mikrostanovištných plôch; Počet hviezdičiek predstavuje hladinu významnosti testu korelačného vzťahu: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$

Table 4 Spearman correlation coefficients between dominance of selected ground vegetation species and factors of light availability, observed on the microsites plots within rectangular grid; Asterisks represent statistical significance of correlation: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$

	<i>CnpOpen</i>	<i>R_Dif</i>	<i>R_Dir</i>	<i>R_Tot</i>	<i>LAI</i>
<i>Acetosa arifolia</i>	0,23***				
<i>Athyrium distentifolium</i>	0,54***	0,23***	0,20***	0,21***	-0,23***
<i>Brachythecium starkei</i>	0,14*	0,54***	0,23***	0,39***	-0,35***
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	0,23***	0,17**	-0,04	0,06	-0,06
<i>Calamagrostis villosa</i>	0,23***	0,21***	0,30***	0,28***	-0,25***
<i>Dryopteris carthusiana</i> agg.	0,22***	0,27***	0,15*	0,22***	-0,13*
<i>Gymnocarpium dryopteris</i>	0,19**	0,24***	-0,10	0,04	-0,10
<i>Homogyne alpina</i>	0,19**	0,19**	0,06	0,14*	-0,14*
<i>Hylocomium umbratum</i>	0,14*	0,18**	-0,04	0,06	0,01
<i>Luzula sylvatica</i>	0,05	0,10	-0,18**	-0,08	0,07
<i>Picea abies</i> (seedlings)	0,21***	0,15**	-0,04	0,05	-0,15**
<i>Plagiomnium affine</i>	-0,18**	-0,16**	-0,08	-0,11*	0,21***
<i>Polytrichum formosum</i>	0,17**	0,19***	-0,04	0,07	-0,12*
<i>Racomitrium sudeticum</i>	-0,01	0,00	-0,26***	-0,19**	0,12*
<i>Rhytidiadelphus squarrosus</i>	0,18**	0,18**	0,18**	0,18**	-0,18**
<i>Rubus idaeus</i>	0,21***	0,21***	-0,10	0,03	-0,02
<i>Senecio hercynicus</i>	0,14*	0,29***	0,36***	0,36***	-0,29***
<i>Soldanella</i> sp.	0,30***	0,15*	0,21***	0,21***	-0,14*
<i>Sorbus aucuparia</i> (0–130 cm)	0,16**	0,05	-0,28***	-0,16**	0,07
<i>Vaccinium myrtillus</i>	0,04	-0,21***	-0,12	-0,17**	0,16**
	-0,18**	0,18**	0,20***	0,23***	-0,17**
	0,15*				

Zo súboru dát z 302 mikrostanovištných plôch sme vypočítali krivky odozvy vybraných druhov prízemnej vegetácie na difúzne (*R_Dif*) a priamu (*R_Dir*) slnečnú radiáciu

(obr. 6). Tieto krivky môžeme považovať aj za ekologické amplitúdy druhov na krátkom gradiente v podmienkach horského smrekového lesa. Modelové hodnoty ekologického optima, minima a maxima na gradiente otvorenosti zápoja (*CnpOpen*) pre vybrané druhy bylinnej synúzie uvádzame v tab. 5. Minimálny podiel z pravdepodobnosti výskytu daného druhu v optime, z ktorého sa uvažovala šírka ekologickej amplitúdy bol nastavený na 20 % (ZELENÝ & TICHÝ 2009). Faktor otvorenosti zápoja sme vybrali pre jeho dobrú porovnateľnosť (jednotky sú v percentách) a interpretovateľnosť. Napríklad pri otvorenosti zápoja 13,6% sa začína vyskytovať druh *Athyrium distentifolium* (ekologické minimum) a pravdepodobnosť jeho výskytu pri tejto hodnote je približne 20 %. Jeho ekologické optimum sa nachádza pri otvorenosti zápoja približne 20 % a pravdepodobnosť jeho výskytu v okolí tejto hodnoty je takmer 100 %. Z tab. 5 môžeme ďalej interpretovať šírku ekologickej amplitúdy (interval). Na základe intervalu môžeme vylíšiť druhy z úzkou ekologickou amplitúdou v daných podmienkach k danému faktoru (*Acetosa arifolia*, *Rhytidadelphus squarrosus*, *Calamagrostis arundinacea*, *Senecio hercynicus*). Tieto druhy sú zároveň dobrými indikátormi, pretože sa úzko špecializujú na dané (merateľné) hodnoty zápoja. Naopak medzi druhy s veľmi širokými nárokmi k otvorenosti zápoja patria *Vaccinium myrtillus* a *Dryopteris carthusiana* agg.



Obr. 6 Modelové krivky odozvy vybraných druhov prízemnej vegetácie na faktory svetla; vľavo – odozva na difúzne svetlo; vpravo – odozva na priamu slnečnú radiáciu.

Fig. 6 Species response curves of selected ground vegetation species to the gradient of diffuse (R_Dif) and direct (R_Dir) solar radiation.

Tab. 5 Modelové hodnoty otvorenosti zápoja v % pri ekologickom optime, minime a maxime vybraných druhov prízemnej vegetácie; *opt_prb* – pravdepodobnosť výskytu pri optime; Bol použitý Gaussov model

Table 5 Values of canopy openness (%) in ecological optimum, minimum and maximum of selected ground vegetation species; *opt_prb* – probability of occurrence in optimum; Gauss model, 0.2 ratio from maximum and 80% area under curve were used

	<i>optimum</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>interval</i>	<i>opt_prb</i>
<i>Athyrium distentifolium</i>	20,6	13,6	27,6	14,0	0,997
<i>Vaccinium myrtillus</i>	19,5	1,6	31,4	29,7	0,962
<i>Dryopteris carthusiana</i> agg.	17,8	4,6	31,1	26,4	0,916
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	31,4	22,5	31,4	8,9	0,853
<i>Rubus idaeus</i>	24,9	15,7	31,4	15,7	0,614
<i>Calamagrostis villosa</i>	15,4	7,4	23,6	16,2	0,612
<i>Acetosa arifolia</i>	31,4	23,4	31,4	8,0	0,586
<i>Luzula sylvatica</i>	15,4	9,8	21,0	11,2	0,486
<i>Brachythecium starkei</i>	16,4	9,2	23,6	14,4	0,451
<i>Homogyne alpina</i>	14,2	8,2	20,2	12,0	0,400
<i>Rhytidiadelphus squarrosus</i>	14,3	10,4	18,3	7,9	0,316
<i>Senecio hercynicus</i>	30,8	21,9	31,4	9,5	0,277

4. DISKUSIA A ZÁVER

Bol dokázaný signifikantný vplyv difúzneho svetla na celkovú gradáciu a druhovú diverzitu bylinnej vrstvy vegetácie. Najtesnejší pozitívny vzťah bol nájdený medzi difúznym svetlom a dominanciou druhov *Athyrium distentifolium* a *Calamagrostis villosa*, avšak niektoré druhy tesnejšie korelujú s priamou slnečnou radiáciou (*Rubus idaeus*, *Calamagrostis arundinacea*). Uvedené druhy sprevádzajú porastové medzery a ich gradáciu možno považovať za indikáciu štádia rozpadu v zmysle konceptu malého vývojového cyklu lesa. Podobne HOLEKSA (2003) uvádza signifikantný výskyt synúzií s *Athyrium distentifolium*, *Calamagrostis villosa* a *Rubus idaeus* v porastových medzerách. Pričom uvádza nárast pozorovaní synúzie s *Athyrium distentifolium* s narastaním veľkosti porastovej medzery (podľa kategórií od 50 m² až po viac ako 400 m²). Podľa uvedeného autora synúzia s *Calamagrostis villosa* vykazuje signifikantný výskyt iba v porastových medzerách v kategórii 50–100 m². HOLEKSA (2003) ďalej uvádza signifikantnú tendenciu výskytu synúzií s *Vaccinium myrtillus*, *Dryopteris dilatata* a *Polytrichum formosum* mimo porastových dier, pod zápojom drevín. Uvedené druhy sa však nachádzajú aj v porastových medzerách, kde ich pokryvnosť narastá iba veľmi mierne. Z našich výsledkov môžeme doplniť, že tieto druhy sú charakteristické svojou širokou ekologickou amplitúdou k faktoru svetla.

Mierne negatívny až indiferentný vzťah machorastov a niektorých bylín k priamej slnečnej radiácii možno pripísať ich výskytu pod tieňom vo viacvrstvovej prízemnej vegetácii. Množstvo priamej slnečnej radiácie nevykázalo preukazný vplyv na druhovú diverzitu, čo môžeme vysvetliť aj tým, že v najväčších porastových medzerách výrazne dominujú vysoké papradiny (najmä *Athyrium distentifolium*), ktoré na úrovni mikrostanovišťa potláčajú ostatné druhy vegetácie.

Negatívny vzťah medzi ukazovateľmi svetla a pokryvnosťou zmladenia jarabiny a semenáčikov smreka, vysvetľujeme konkurenčným účinkom bylín, ktoré v presvetlených častiach porastu gradujú. To súvisí s mnohými autormi opísaným významom mŕtve-

ho dreva ako optimálneho mikrohabitatu pre regeneráciu smreka v horských podmienkach (napr. JONÁŠOVÁ & PRACH 2004; VORČÁK *et al.* 2006; HOLEKSA *et al.* 2008; BAČE *et al.* 2009). ZIELONKA & PIATEK (2004) uvádzajú, že kompetičný tlak bylín na zmladenie smreka je na mŕtvom dreve nižší. V tejto práci sme sa však nezameriavali na regeneračné procesy. Na zhodnotenie vzťahu zmladenia smreka, popřípade jarabiny s prízemnou vegetáciou by bolo vhodné použiť ich početnosť. Potrebne by bolo vziať v úvahu okrem svetla aj iné faktory (napr. mŕtve drevo), ako aj samotný vplyv bylín ako faktor prostredia (GLONČÁK 2009).

Vybrané faktory svetla spolu vysvetľovali 17,6 % variability druhových dát. Zvyšok variability je zapríčinený inými faktormi, z ktorých iba niektoré je možné zaznamenať. Zdá sa, že komplexný vplyv dospelých smrekov, zahŕňajúci zatienenie, potláčanie opadom, odčerpávanie vody a živín v ich okolí, má väčšiu váhu vo vzťahu k prízemnej vegetácii ako samotné ukazovatele svetla (JANIŠOVÁ *et al.* 2007, GLONČÁK 2007).

PodĎakovanie

Práca vznikla s finančnou podporou grantu agentúry VEGA č. 1/0831/09. Moja veľká vďaka patrí K. Ujházy a E. Križovej za ich odborné rady a usmernenia, inšpiráciu a vytvorenie podmienok pre vedeckú prácu. Ďakujem A. Petrášovej za výraznú pomoc pri determinácii druhov machorastov.

Literatúra

- BAČE, R., JANDA, P. & SVOBODA, M. 2009: Vliv mikrostanoviště a horního stromového patra na stav přirozené obnovy v horském smrkovém lese na Trojmezí. *Silva Gabreta* **15** (1): 67–84.
- COLLINS, B.S. & PICKETT, S.T.A. 1987: Influence of canopy opening on the environment and herb layer in a northern hardwoods forest. *Vegetatio* **70**: 3–10.
- FRAZER, G. W., CANHAM, C. D. & LERTZMAN, K. P. 1999: Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation.
- FREHNER, M. 2002: Examinations of the influence of microsites and the success of planting techniques with spruce at subalpine levels. *J. for. suisse* Suppl. no. **92**, p. 19.
- GÁLHIDY, L., MIHÓK, B., HAGYÓ, A., RAJKAI, K. & STANDOVÁR, T. 2006: Effects of gap size and associated changes in light and soil moisture on the understorey vegetation of a Hungarian beech forest. *Plant Ecology* **183**: 133–145.
- GEORGE, L.O. & BAZZAZ, F.A. 1999: The fern understory as an ecological filter: emergence and establishment of canopy-tree seedlings. *Ecology* **80**: 833–845.
- GLONČÁK, P. 2007: Príspevok k metódam hodnotenia dynamiky vegetácie na príklade horských smrečín Nízkyh Tatier. In: E. Križová, K. Ujházy (eds.): Dynamika, stabilita a diverzita lesných ekosystémov. TU vo Zvolene, Zvolen., p. 15–23.
- GLONČÁK, P. 2009: Dynamika vegetácie prírodných horských smrečín. – Dizertačná práca [depon in katedra fytoľógie, Technická univerzita vo Zvolene], 93 pp + prílohy + DVD.
- HILL, M.O. 1979: Twinspan. A Fortran program for arranging multivariate data in an ordered two-waytable by classification of the individuals and attributes. Cornell University, Ithaca, 52 pp.
- HOLEKSA, J. 2003: Relationship between field-layer vegetation and canopy openings in a Carpathian subalpine spruce forest. *Plant Ecology* **168**: 57–67.
- HOLEKSA, J., ŻYWIEC, M., PARUSEL, J., SZEWCZYK, J. & ZIELONKA, T. 2008: Subalpine spruce forests in the Babia Góra National park, Poland. In: Saniga M. *et al.* (eds.): Structure, production, coarse woody debris and regeneration processes of Norway spruce natural forest in National Nature Reserves Babia hora and Pilsko, Technická Univerzita, Zvolen, p. 49–96.
- CHYTRÝ, M., TICHÝ, L., HOLT, J. & BOTTA-DUKÁT, Z. 2002: Determination of diagnostic species with statistical fidelity measures. *Journal of Vegetation Science* **13**: 79–90.

- JANIŠOVÁ, M., HRIVNÁK, R., GÖMÖRY, D., UJHÁZY, K., VALACHOVIČ, M., GÖMÖRYOVÁ, E., HEGEDŮŠOVÁ, K. & ŠKODOVÁ, I. 2007: Changes in understorey vegetation after Norway spruce colonization of an abandoned grassland. *Ann. Bot. Fennici* **44**: 256–266.
- JARČUŠKA, B. 2008: Methodical overview to hemispherical photography, demonstrated on an example of the software GLA. *Folia oecol.* **35**: 66–69.
- JELASKA, S. D., ANTONIĆ, O., BOŽIĆ, M., KRIŽAN, J. & KUŠANA, V. 2006: Responses of forest herbs to available understory light measured with hemispherical photographs in silver fir-beech forest in Croatia. *Ecological modelling* **194**: 209–218.
- JONÁŠOVÁ, M. & PRACH, K. 2004: Central European mountain spruce forests regeneration of tree species after a bark beetle outbreak. *Ecological Engineering* **23**: 15–27.
- KEELING, H. C. & PHILLIPS, O. L. 2007: A calibration method for the crown illumination index for assessing forest light environments. *Forest Ecology and Management* **242**: 431–437.
- KIRCHNER, K., KAMMERMEIER S. & BRUELHEIDE H. 2009: The response of the pseudoannual species *Trientalis europaea* L. to forest gap dynamics in a near-natural spruce forest. *Forest Ecology and Management* **257**: 1070–1077.
- KUULUVAINEN, T. & KALMARI, R. 2003: Regeneration microsites of *Picea abies* seedlings in a windthrow area of a boreal old-growth forest in southern Finland. *Ann. Bot. Fennici* **40**: 401–413.
- MARHOLD, K. & HINDÁK, F. (eds.), 1998: Zoznam nižších a vyšších rastlín Slovenska. Veda, Bratislava, 687 pp.
- NAAF, T. & WULF, M. 2007: Effects of gap size, light and herbivory on the herb layer vegetation in European beech forest gaps. *Forest Ecology and Management* **244**: 141–149.
- NILSSON, M.C. & WARDLE, D.A. 2005: Understory vegetation as a forest ecosystem driver: evidence from the northern Swedish boreal forest. *Front. Ecol. Environ* **8**: 421–428.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM 2005: R – A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>.
- SHANNON, C. E. & WEAVER, W. 1963: The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana.
- SVOBODA M., MATĚJKA K. & KOPÁČEK J. 2006: Biomass and element pools of understory vegetation in the catchments of Čertovo Lake and Plešné Lake in the Bohemian Forest. *Biologia Bratislava* **61**(20): 509–521.
- TER BRAAK, C.J.F. & ŠMILAUER, P. 2002: CANOCO Reference manual and CanoDraw for Windows User's guide. Sftw. for Canonical Community Ordination (version 4.5). Microcomputer Power, Ithaca, New York.
- TICHÝ, L. 2002: JUICE, software for vegetation classification. *Journal of Vegetation Science* **13**: 451–453.
- TICHÝ, L., ROLEČEK, J., ZELENÝ, D. & CHYTRÝ, M. 2007: New stopping rules for TWINSpan. 16th EVS workshop, Rome, poster presentation. <http://www.sci.muni.cz/botany/juice/twin07.pdf>.
- VORČÁK, J., MERGANIČ, J. & SANIGA, M. 2006: Structural diversity change and regeneration processes of the Norway spruce natural forest in Babia hora NNR in relation to altitude. *Journal of Forest Science* **52**(9): 399–409.
- ZELENÝ, D. & TICHÝ, L. 2009: Species response curves in JUICE. Institute of Botany and Zoology, Masaryk University Brno. <http://sci.muni.cz/botany/zeleny/hof.php>.
- ZIELONKA, T. & PIATEK, G. 2004: The herb and dwarf shrubs colonization of decaying logs in subalpine forest in the Polish Tatra Mountains. *Plant Ecology* **172**: 63–72.

Adresa autora:

Ing. Peter Glončák
Katedra fytológie
Lesnícka fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolene-mail: gloncak@vsld.tuzvo.sk

Influence of light conditions on variability and diversity of field-layer vegetation in the mountain spruce natural forests

Summary

At five localities of the mountain Norway spruce natural forests in the Nizke Tatry Mts. (Western Carpathians), we studied the effect of light under the forest canopy on the variability and diversity of ground vegetation. Data on vegetation, the availability of light (hemispherical photographs) and other selected environmental factors we obtained for the 302 plots on the size of 1m², located in the rectangular grids within individual localities. Chronosequence sampling design of microsite plots allows to study the variability of vegetation on the level of small-scale forest dynamics (gap dynamics).

Significant influence of diffuse light on the overall understorey vegetation gradation and herb layer species diversity was found. Strongest positive correlation was found between the diffuse light and the dominance of *Athyrium distentifolium* and *Calamagrostis villosa*, but some species more closely correlated with direct solar radiation (*Rubus idaeus*, *Calamagrostis arundinacea*). Those species follow canopy gaps and their gradation can be considered as an indication of the decay stage (in terms of the developmental stages of the virgin-forest life-cycle). Slightly negative or indifferent relationship of moss layer and some herbs to the direct solar radiation can be attributed to their occurrence under the shading of high understory vegetation. This effect cannot be recorded by method of hemispheric photographs. Negative relationship between the variables of light availability and tree regeneration (*Picea abies*) can be explained by the competitive effects of vigorous vegetation, which culminates within larger canopy gaps. This is confirmed by many authors describing the importance of dead wood as an optimal microhabitat for regeneration of trees in the mountain forest conditions. Significant influence of light on the variability of vegetation was also confirmed by direct ordination method CCA, with respect to other important environmental factors. The results of “microcoenosis types” were statistically tested using one-way analysis of variance and Duncan’s multiple range test. The species response curves of selected ground vegetation species to the gradient of light (the ecological amplitudes in the short gradient), applicable for the subalpine spruce forests, is also part of this paper.

ZHODNOTENIE PRODUKČNÝCH POMEROV PRÍRODNÉHO ZMIEŠANÉHO LESA V NPR HRONČECKÝ GRÚŇ

Miroslav BALANDA

Balanda, M., 2009: Zhodnotenie produkčných pomerov prírodného zmiešaného lesa v NPR Hrončecký Grúň. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, LI, 2009, Suppl. 1, s. 85–93.

Cieľom predloženej práce je posúdiť produkčné pomery prírodného lesa v NPR Hrončecký Grúň. Na území pralesa sa nachádza šesť skupín lesných typov: *Fageto – Abietum*, *Fagetum pauper*, *Abieto – Fagetum*, *Abieto – Fagetum acerosum*, *Fageto – Aceretum* a *Fraxinetum – Aceretum*. Na ploche pralesa bola založená trvalá výskumná plocha o rozmeroch 100 x 500 m (5 ha). Táto práca predkladá čiastkové výsledky získané meraním transektu 50 x 200 m (1 ha) v mesiacoch máj až október 2008. Priemerná zistená početnosť živých stromov bola 322 ks.ha⁻¹, značne vysoká je zásoba živých stromov 948,02 m³.ha⁻¹ a objem nekromasy 325 m³.ha⁻¹. Podiel nekromasy z objemu živých stromov predstavuje 0,34. Vysoké hodnoty porastovej zásoby a objemu nekromasy, spolu so značne vysokými maximálnymi dendrometrickými charakteristikami (max. výška jaseň – 51,0 m, smrek max. $d_{1,3}$ 118,1 cm, max. výška 50,5 m) poukazujú na veľmi vysoký produkčný potenciál stanovišťa.

Kľúčové slová: produkčné pomery, nekromasa, dendrometrické charakteristiky.

ÚVOD A PROBLEMATIKA

JENÍK (1979) a ZLATNÍK (1970) uvádzajú, že prírodné spoločenstvo ako systém živých organizmov na najvyššej úrovni v hierarchii otvorených systémov výrazne prejavuje tendenciu k dynamickej rovnováhe, homeostáze. Drevnaté a nedrevnaté rastliny, ktoré ako výsledok fylogenezického vývoja v poľadových dobách predstavujú optimálny (klimaxový) stanovištný variant, zohrávajú v tomto systéme funkciu primárnych producentov, ktoré následne v súčinnosti s heterotrofnými organizmami zabezpečujú rovnováhu v toku látok a energie v lese ako otvorenom systéme. Tento tok sa samozrejme skladá z viacerých parciálnych tokov, ktoré sa v nenarušenom prírodnom lese skladajú z neustále sa opakujúcich procesov vytvárania a degradácie – tzv. cykloch. Tieto cykly vytvárajú z lesného ekosystému dynamický systém. Štúdium dynamiky prírodných lesov je základnou podmienkou pre vytváranie koncepcií prírode blízkeho obhospodarovania lesov (KORPEL, SANIGA 1995), keďže v tomto pestovnom prístupe je hlavným cieľom v čo najvyššej možnej miere prispôsobiť štruktúru obhospodarovaného lesa štruktúre a dynamike prírodného lesného ekosystému (EMBORG, ET AL. 2000).

Jeden z najvýznamnejších základných kameňov výskumu časopriestorovej dynamiky ekosystému položila Wattova syntéza „*Pattern and process in the plant community*“ (Štruktúra a procesy rastlinného spoločenstva) (Watt 1947 ex. GRATZER ET AL. 2004). WATT (1947) charakterizuje rastlinné spoločenstvo ako mozaiku plôch rozličných vývojových fáz, s časovo usporiadaným poradím fáz daného miesta.

Ako už bolo spomenuté, dynamika lesného ekosystému je vo všeobecnosti idealizovaná ako striedanie gradujúcich a degradujúcich štádií. Toto striedanie je zabezpečené tromi, do určitej miery navzáznymi procesmi (PALUCH 2007). Za tieto procesy môžeme považovať rast stromov, vedúci k akumulácii objemu biomasy, ich následné odumieranie, chápané ako postupný úbytok živej biomasy v lesnom ekosystéme a v konečnom dôsledku regeneračné procesy, ktoré zabezpečujú prepojenie predošlých dvoch systémov, vlastné striedanie následných generácií prírodného lesa. Táto práca je bližšie zameraná na evaluáciu produkčných pomerov (živá hmota, ako i nekromasa) v ekosystéme.

Prírodné lesy 5. a 6. lesného vegetačného stupňa

Tieto prírodné lesy vynikajú zložitou štruktúrou prameniacou z rozličných životností a ekologických nárokov porastotvorných drevín. Porasty tohto typu prírodného lesa sú v podmienkach Slovenska najčastejšie tvorené porastovou zmesou buk - jedľa – smrek. Častá je i prímes cenných listnáčov. Špecifické drevinové zloženie zmiešaných lesov 5. a 6. lvs je odrazom značne diferencovaných stanovištných podmienok. Porastové zmiešanie slnných, rýchlejšie rastúcich drevín s drevinami tiennymi, je jednak značne produktívnejšie ako porasty jednej dreviny (SMITH ET AL. 1997 ex. HOLEKSA ET AL. 2009), ako aj výrazne odolnejšie voči pôsobeniu škodlivých činiteľov.

Pestrosť drevinového zloženia má výrazný vplyv na mechanizmus striedania generácií v rámci vývojového cyklu pralesa. Rôzna životnosť jednotlivých drevín má za následok nesynchronne striedanie ich generácií. Smrek a jedľa reprezentujú v tomto prípade dreviny s najvyššou dĺžkou života (350 - 400 rokov), preto vo všeobecnosti dĺžku trvania vývojového cyklu určuje jedľa, ako drevina s najdlhšou životnosťou. V prípade vysokého podielu buka na kruhovej základni, resp. porastovej zásoby môže tento na seba prevziať úlohu nositeľa štruktúry prírodného lesa. Keďže životnosť buka je 200 - 250 rokov, generácia jedle z predošlého vývojového cyklu vypadáva až v štádiu optima aktuálnej generácie buka, čo spôsobuje typický nárast objemu nekromasy v štádiu optima (SANIGA A SCHÜTZ 2002).

Výskum viacerých autorov potvrdzuje vysoký produkčný potenciál takýchto porastových zmesí. Zmiešané prírodné lesy tvorené kombináciou drevín buk – jedľa – cenné listnáče dosahujú v podmienkach Strednej a Južnej Európy produkciu, ktorá často presahuje hodnotu $1000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (napr. KORPEL 1995; SANIGA 1999 a,b, 2004; TURCU A STETCA 2006). Objem nekromasy varíruje podľa rôznych autorov od 20 do $350 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (SANIGA A SCHÜTZ 2001 a, b; 2002, JAWORSKI ET AL. 2002, FIRM ET AL. 2008).

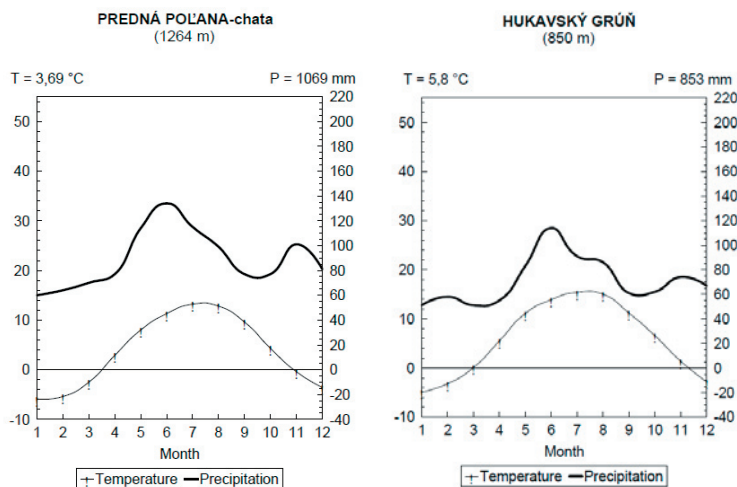
Charakteristika skúmaného objektu a použitá metodika

Národná prírodná rezervácia Hrončeký Grúň sa nachádza v katastrálnom území obce Hronec, lesná správa Sihla, OLZ Čierny Balog. Územie bolo vyhlásené podľa vyhlášky SNR č. 1/1955 Zb. o štátnej ochrane prírody dňa 21.8.1964 za chránené územie – národnú prírodnú rezerváciu (NPR). Vlastné jadro rezervácie má výmeru 55,20 ha, a spolu s nárazníkovou zónou – ochranným pásmom 167,10 ha.

Orograficky patrí územie NPR do pohoria Poľana, z hľadiska ochrany prírody do Biosférickej rezervácie CHKO Poľana. Územie patrí do povodia rieky Hron, zemepisné súradnice záujmového územia $48^\circ 43' \text{ N}$ a $19^\circ 35' \text{ E}$. NPR Hrončeký Grúň sa nachádza v nadmorskej výške od 730 do 1050 m n. m., expozícia J – JV.

Porasty NPR sa vyznačujú veľkou pestrosťou drevinového zloženia a vysokou schopnosťou kvantitatívnej i kvalitatívnej produkcie. Rezervácia je dôležitá i z hľadiska

zachovania genofondu, nakoľko sa tu udržujú pôvodné genotypy viacerých listnatých i ihličnatých drevín. Rezervácia predstavuje z hľadiska druhového zloženia vrchol zastúpenia drevín, nakoľko je tu prítomných päť druhov listnatých drevín (*Fagus sylvatica* L.; *Fraxinus excelsior* L.; *Acer pseudoplatanus* L.; *Acer platanoides* L.; *Ulmus glabra* Mill.) a dva druhy ihličnatých drevín (*Picea abies* (L.) Karst.; *Abies alba* Mill.). Inventarizačný výskum potvrdil na ploche rezervácie šesť skupín lesných typov: *Fageto – Abietum*, *Fagetum pauper*, *Abieto – Fagetum*, *Abieto – Fagetum acerosum*, *Fageto – Aceretum* a *Fraxinetum – Aceretum* (PIŠÚT, ONDREJOVÁ 1992).



Obr. 1: Klimadiagramy dvoch najbližších výskumných meteorologických staníc nachádzajúcich sa v pohorí Poľana (zdroj: ŠKVARENINA ET AL. 2002; SŘELCOVÁ ET AL. 2006).

Fig.1: Climatediagrams of two nearest meteorological stations in Polana Mts. (source: ŠKVARENINA ET AL. 2002; SŘELCOVÁ ET AL. 2006).

Pre potreby výskumu štrukturálnych charakteristík a dynamiky prírodného lesa bola na ploche pralesa založená jedna trvalá výskumná plocha (ďalej TVP). Umiestneniu TVP predchádzala dôsledná rekognoskácia terénu. Jej umiestnenie je účelové, s cieľom zachytiť výrazne odlišné drevinové zloženie a štrukturálne charakteristiky v rámci celej plochy NPR. Založená TVP je o rozmeroch 100 x 500 m, rozloha 5 ha. Kvôli lepšej orientácii a prehľadnosti bola celá plocha (TVP) rozdelená na jednotlivé časti o rozmere 25x 25 metrov (ďalej ČP).

Na tranzekte 50 x 200 m boli merané nasledovné veličiny:

- hrúbka stromov s $d_{1,3}$ väčšou ako 2,0 cm s presnosťou na 1 mm,
- výška stromov s presnosťou na 0,5 m,
- výška nasadenia ich korún s presnosťou na 0,5 m,
- zaradenie stromov do vrstiev,
- situácia stojacich stromov v súradnicovom systéme x,y ($d_{1,3} \geq 2,0$ cm) a projekcie korún živých stromov ($x_1 - x_n$),
- situácia padnutých stromov a ich objem, klasifikácia stupňa dekompozície podľa ALBRECHTA (1990).

Meranie hrúbky stromov $d_{1,3}$ bolo vykonávané podľa všeobecne platných pravidiel priemerkovania (ŠMELKO 2000). V rámci tranzektu boli hrúbkovo zaznamenané jedince

s minimálnym priemerom $d_{1,3}$ 2 cm. U jedincov s $d_{1,3}$ 2 až 7,9 cm sa hrúbka zisťovala meraním dendrometrickou priemerkou s milimetrovým delením, s presnosťou na 1 mm. Na ostatnej ploche TVP bola hrúbka jedincov meraná dendrometrickou priemerkou vo dvoch na seba kolmých smeroch. Jednotlivé jedince boli zaznamenávané, pokiaľ hrúbka $d_{1,3}$ meraná v dvoch smeroch dosiahla hodnotu 8 cm.

Výška jedincov tranzecktu bola meraná laserovým výškomerom VERTEX III s presnosťou na 0,5 m. Podobne bola meraná i výška nasadenia koruny u stromov nachádzajúcich sa na tranzeckte. Pre ostatnú plochu sa výšky prevzali z výškových grafikonov pre jednotlivé dreviny, ktoré boli zostavené na základe výšok nameraných na tranzeckte a vyrovnané krivkou podľa Korfovej funkcie (KORF 1939).

Jednotlivé stromy boli zatriedené do stromových vrstiev. Hraničné hodnoty výšky stromu pre jednotlivé stromové vrstvy boli získané pomocou hornej výšky (h_0), ktorá reprezentuje priemernú výšku 10 % najhrubších živých stromov tranzecktu. Stromy boli do jednotlivých vrstiev zatriedované nasledovne:

Horná vrstva	–	výška stromu $> 2/3 h_0$,
Stredná vrstva	–	$1/3 h_0 < \text{výška stromu} \leq 2/3 h_0$,
Spodná vrstva	–	výška stromu $\leq 1/3 h_0$.

Pozičné zameranie živých stromov a plošné projekcie koruny:

Na tranzeckte boli pozične zamerané všetky jedince s minimálnym priemerom $d_{1,3}$ 2 cm. Na zameranie bola použitá technológia Field-MAP.

Plošná projekcia koruny živého stromu bola zameraná prístrojom Field-MAP pomocou podľa potreby minimálne štyroch hraničných bodov, pričom ich počet závisel na pravidelnosti tvaru koruny. Výstupom je mapa plošných projekcií korún stromov tranzecktu s ich pozičným ukotvením.

Pozičná evidencia nekromasy:

Plošná distribúcia nekromasy bola zaznamenávaná na tranzeckte pomocou prístroja Field-MAP. Pozične zamerané boli ležiace kmene, ktoré dosahujú dĺžku minimálne 2 m a priemer na tenšom konci minimálne 20 cm a stojace sucháre s výškou minimálne 2 m a priemerom $d_{1,3}$ min. 8 cm. Po pozičnom zachytení je potrebné zmerať priemer na hrubšom (d_0) a tenšom konci (d_n) ležiaceho kmeňa, pri stojacej nekromase priemer $d_{1,3}$. Pozičná situácia nekromasy je vyhodnocovaná pre celú TVP, objem nekromasy je určovaný v rámci každej ČP.

Nekromasa bola klasifikovaná do v nasledovných štyroch stupňov rozkladu podľa ALBRECHTA (1990):

- 1) čerstvo odumreté stromy,
- 2) začínajúci rozklad: uvoľnená kôra, po použití sekery drevo ešte pevné, hniloba jadra do 1/3 priemeru,
- 3) pokračujúci rozklad: bel' mäkká, jadro ešte miestami pevné pre sekeru, hniloba jadra je väčšia ako 1/3 priemeru,
- 4) silná hniloba: drevo po celej hrúbke mäkké, hlavné znaky nie sú viditeľné.

VÝSLEDKY

Predmetom vyhodnotenia sú vybrané dendrometrické údaje získané z transektu 50 x 200 m umiestneného na TVP1. Vyhodnotením zhromaždeného empirického materiálu boli odvodené základné porastové veličiny pre každú ČP jednotlivo. Súhrnné údaje pre všetky ČP sú uvedené v tabuľke 1.

Ako je z tabuľky zrejmé najvyšší podiel na počte jedincov s hrúbkou nad 7 cm má buk, a to až 49,38 %. Jaseň je na ploche druhou najpočetnejšou drevinou s percentuálnym podielom 25,47 %. Smrek a jedľa tvoria z celkového počtu jedincov 12,42 %. Celkové zastúpenie bresta horského, javora horského a jaseňa štíhleho, až 38 % poukazuje na výnimočne vhodné stanovištné podmienky (hlavne pôdne) pre výskyt tzv. cenných listnáčov.

Tab. 1: Základné porastové charakteristiky, NPR Hrončecký Grúň, 2008.

Table 1: Selected basic stand features, NNR Hrončecký Grúň, 2008.

<i>Drevina</i>	N (ks.ha ⁻¹)	%	V (m ³ .ha ⁻¹)	%	G (m ² .ha ⁻¹)	%
<i>Fagus sylv.</i>	159	49,38	273,62	28,86	14,122	28,89
<i>Ulmus scab.</i>	1	0,31	0,01	0,00	0,005	0,01
<i>Abies alb.</i>	25	7,76	85,16	8,98	4,798	9,82
<i>Fraxinus exc.</i>	82	25,47	419,12	44,21	20,564	42,06
<i>Acer pseud.</i>	40	12,42	70,16	7,40	4,080	8,35
<i>Picea ab.</i>	15	4,66	99,94	10,54	5,319	10,88
spolu	322	100	948,02	100	48,888	100

Legenda: N – počet stromov, V – objem živých stromov, G – kruhová základňa.

Explanatory notes: N – number of individuals, V – stand volume, G – basal area.

Tab. 2: Maximálne hodnoty vybraných dendrometrických znakov jednotlivých drevín, NPR Hrončecký Grúň, 2008.

Table 2: Maximal measured values of selected dendrometrical characteristics according to tree species, NNR Hrončecký Grúň, 2008.

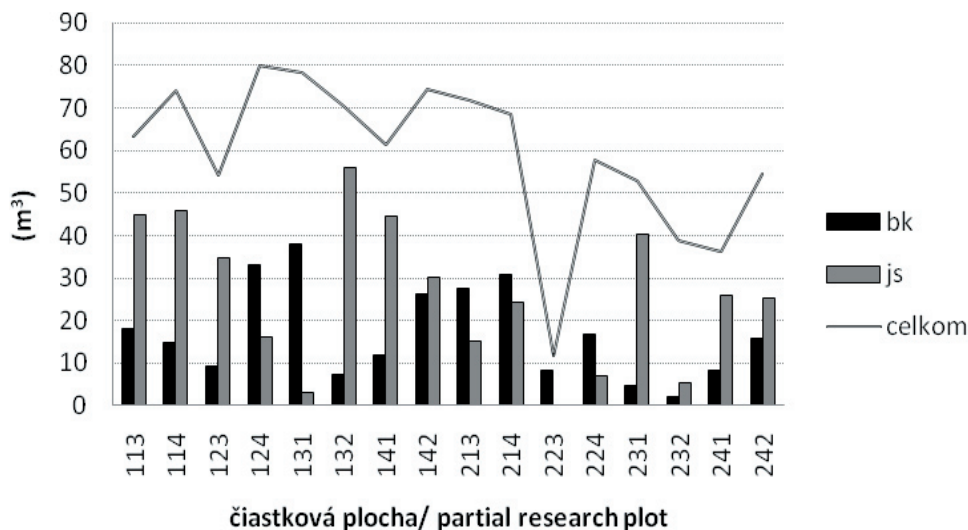
<i>Drevina</i>	V (m ³ .ha ⁻¹)	<i>d</i> _{1,3} (cm)	H (m)
<i>Fagus sylv.</i>	19,46	102,5	46,0
<i>Abies alb.</i>	13,45	93,2	47,0
<i>Fraxinus exc.</i>	13,50	89,9	51,0
<i>Acer pseud.</i>	4,18	51,0	44,5
<i>Picea ab.</i>	20,59	118,1	50,5

Explanatory notes: V – volume of individual, *d*_{1,3} – diameter in breast height, H – height of individual

Odlišná situácia je pri hodnotení objemu hrubiny. Celkový zaznamenaný objem stojacej živej hmoty 948,02 m³.ha⁻¹, je až z 44,21% tvorený jaseňom, buk tvorí 28,86% celkového objemu. Podiel týchto dvoch drevín spolu tvorí z celkového objemu 73,07% (obr. 6-1). Prihliadajúc na túto skutočnosť môžeme tieto dve dreviny považovať za nositeľky objemu a tým i štruktúry tohto prírodného lesa. Toto konštatovanie potvrdzuje i fakt, že z celkovej kruhovej základne, 48,888 m².ha⁻¹, tvorí buk 28,89% a jaseň 42,06%.

O vynikajúcich produkčných podmienkach prostredia vypovedajú okrem už spomínanej vysokej porastovej zásoby i maximálne zaznamenané dendrometrické charakteristi-

ky jednotlivých stromov. Najhrubšou drevinou s najvyšším objemom je smrek s rozmermi $d_{1,3}$ 118,1 cm a objemom 20,59 m³, zatiaľ čo najvyšším jedincom bol jaseň s výškou 51 metrov (tab. 2).



Obr. 2: Podiel buka a jaseňa na celkovom objeme živých stromov v závislosti od konkrétnej čiastkovej plochy, NPR Hrončeský Grúň, 2008.

Fig. 2: The share of beech and ash in total volume of living trees according to partial research plot, NNR Hrončeský Grúň, 2008.

Celkový zaznamenaný objem mŕtveho dreva (ležaniny i stojacich suchárov) bol 325 m³.ha⁻¹. Zaujímavý je podiel jaseňa na celkovom množstve nekromasy, 42,71 % (138,83 m³.ha⁻¹). Objem stojacej nekromasy z toho tvorí 19,97 % (64,90 m³.ha⁻¹). Z objemu stojacej nekromasy tvorí smrek v prvom stupni rozkladu až 52,31 %, čo zrejme súvisí s rozsiahlou podkôrníkovou kalamitou na celom území Slovenska. Po smreku bol zaznamenaný druhý najvyšší podiel na stojacej nekromase opäť pri drevine jaseň, a to 16,02 %. Štruktúru ležiacej nekromasy zobrazuje tabuľka 3. Celkový objem ležiaceho mŕtveho dreva bol zistený 260,10 m³.ha⁻¹, pričom je 49,38 % tvorených jaseňom, zastúpenie buka a jedle na ležiacej nekromase je zhruba vyrovnané, podľa poradia 13,29 % a 14,02 %. Čo sa týka štruktúry ležiacej nekromasy v závislosti od stupňa rozkladu, prevláda zastúpenie druhého a tretieho stupňa, podľa poradia 39,38 % a 31,76 %.

Podiel celkového objemu nekromasy na objeme živých stromov je 0,343. Diferenciáciu tejto charakteristiky v závislosti od druhu dreveny a kategórie nekromasy (stojaca, ležiaca) zobrazuje obrázok 3.

DISKUSIA A ZÁVER

Výskumom produkčných charakteristík prírodného zmiešaného lesa HPR Hrončeský Grúň sa v minulosti zaoberali viacerí autori (KORPEL 1995, SANIGA 2004, SANIGA A BALANDA 2008, HOLEKSA ET AL., 2009).

Počet stromov na hektár uvádza KORPEL (1989) v závislosti od vývojového štádia od 312 do 782 ks.ha⁻¹. Nami zistená priemerná početnosť 322 ks.ha⁻¹ korešponduje s týmito zisteniami. Značne vysoká je zásoba živých stromov 948,02 m³.ha⁻¹ a objem nekromasy 325 m³.ha⁻¹. Taktiež SANIGA (2004) uvádza hodnotu priemernej zásoby 897,02 m³.ha⁻¹. Autor zistil priemerný objem stojacich suchárov 81,48 m³.ha⁻¹ a objem ležiacej nekromasy v závislosti od vývojového štádia od 106,76 do 338,20 m³.ha⁻¹. Podrobným výskumom nekromasy v prírodných zmiešaných lesoch Slovenska sa zaoberali SANIGA A SCHÜTZ (2001a,b, 2002). Autori v prírodných lesoch NPR Badínsky prales a NPR Dobročský prales v štádiu rozpadu uvádzajú hodnoty nekromasy, 455,36 m³.ha⁻¹ v Badíne a 439,16 m³.ha⁻¹ v Dobroči. Nami zistený podiel nekromasy z objemu živých stromov 0,34 je vyšší ako autormi zistený v týchto dvoch pralesoch. Autori uvádzajú typický nárast objemu nekromasy v štádiu optima, kedy podiel objemu mŕtveho dreva z objemu živých stromov dosiahol maxima, 1:5 až 1:6, pričom v štádiu rozpadu bol tento pomer značne nižší, 1:2 až 1:2,5. Za pozorované obdobie bolo autormi zaznamenané kolísanie objemu nekromasy z objemu živých stromov na úrovni 21,41 – 29,24 %. Obdobné vysoké kolísanie objemu uvádzajú i na príklade zmiešaného pralesa Badín, 27,02 až 37,38 %.

Vysoké hodnoty porastovej zásoby a objemu nekromasy, spolu so značne vysokými maximálnymi dendrometrickými charakteristikami (napr. max. výška jaseň – 51,0 m, smrek max. $d_{1,3}$ 118,1 cm, max. výška 50,1 m) poukazujú na veľmi vysoký produkčný potenciál stanovišťa. Toto tvrdenie potvrdzuje i výskum HOLEKSU ET AL. (2009), ktorí v pralese namerali hneď niekoľko rekordných hodnôt, hlavne výšok (napr. jaseň 49,0 m, javor horský – 45,0). Autor taktiež uvádza, že desať najvyšších doteraz zdokumentovaných jaseňov štíhlych a javorov horských pochádza práve z národných prírodných rezervácií Hrončecký Grúň a Dobroč. Autorom zaznamenaná zásoba živých stromov porastu je v porovnaní s našimi zisteniami nižšia.

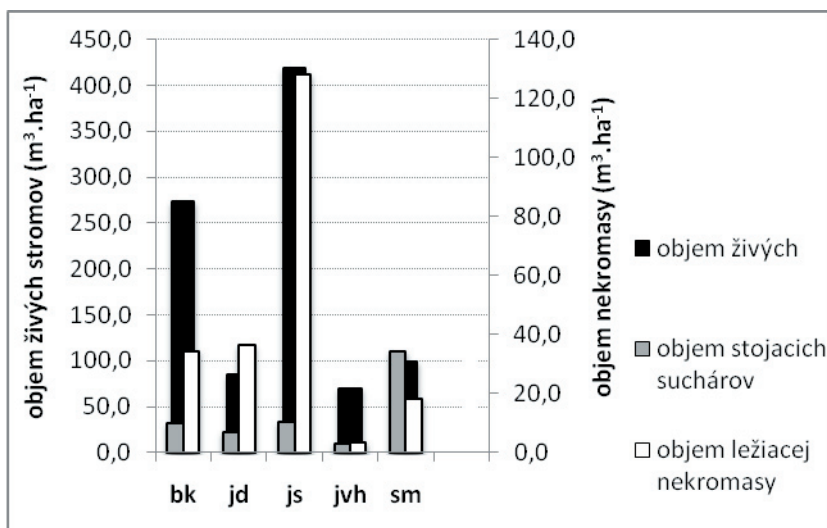
Tab. 3: Štruktúra ležiaceho mŕtveho dreva v závislosti od stupňa dekompozície a dreviny, NPR Hrončecký Grúň, 2008.

Table 3: Structure of lying necromass according to degree of decomposition and tree species, NNR Hrončecký Grúň, 2008.

drevina/ species	stupeň rozkladu / degree of decomposition								spolu	
	1		2		3		4			
	m³.ha⁻¹	%	m³.ha⁻¹	%	m³.ha⁻¹	%	m³.ha⁻¹	%	m³.ha⁻¹	%
<i>Fagus sylv.</i>	0,91	4,50	17,01	16,60	16,66	20,16	0,00	0,00	34,58	13,29
<i>Abies alb.</i>	0,00	0,00	2,21	2,16	22,98	27,81	11,28	20,58	36,47	14,02
<i>Fraxinus exc.</i>	14,83	73,27	73,67	71,92	35,07	42,45	4,87	8,89	128,43	49,38
<i>Acer pseud.</i>	0,00	0,00	2,97	2,90	0,57	0,69	0,00	0,00	3,54	1,36
<i>Picea ab.</i>	4,50	22,23	6,58	6,42	7,36	8,91	0,00	0,00	18,44	7,09
neurc.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38,65	70,53	38,65	14,86
spolu/total	20,24	7,79	102,44	39,38	82,62	31,76	54,80	21,07	260,10	100,00

Vo všeobecnosti je možné vysloviť poznatok, že zmiešaný prírodný les v NPR Hrončecký Grúň vyniká v Stredoeurópskych podmienkach čo do produkčných schopností.

V porovnaní so zmiešanými porastmi Južnej Európy sa javí z hľadiska produkčného na rovnakej úrovni. Treba si však uvedomiť že ročné úhrny zrážok v oblasti Juhoeurópskych bukových pralesov značne prevyšujú celkové úhrny v našich podmienkach a taktiež je potrebné brať do úvahy, že buk a jedľa, ako dreviny miernej oceánskej klímy, majú optimálne rastové podmienky v oblasti J Európy. Tento handicap je však do značnej miery kompenzovaný obzvlášť vhodnými pôdnymi pomermi vo vulkanickom masíve Poľany, čo sa odzrkadľuje i na rekordných zaznamenaných hodnotách výšok cenných listnáčov (*Fraxinus excelsior* L., *Acer pseudoplatanus* L.) (HOLEKSA ET AL. 2009).



Obr. 3: Štruktúra objemu stojacich suchárov a ležiacej nekromasy vo vzťahu k celkovému objemu živých stromov v závislosti od druhu dreviny, NPR Hrončecký Grúň, 2008.

Fig. 3: The volume structure of standing dead wood and lying necromass in relation to total volume of living trees, NNR Hrončecký Grúň, 2008, (bk – beech, jd – fir, js – ash, jvh – maple, sm – spruce, axis x_1 – volume of living trees, axis x_2 – volume of necromass, black columns – volume of living trees, gray columns – volume of standing dead trees, white columns – volume of lying necromass).

Použitá literatúra

- ALBRECHT, L., 1990: Grundlagen, Ziele und Methodik der waldökologischen Forschung in Naturwaldreservaten. Naturwaldreservate in Bayern. Schriftenreihe des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Landschaftstechnik, Band 1, München, 221 s. und Anhang.
- EMBORG, J., CHRISTENSEN, M., HEILMANN-CLAUSEN, J., 2000: The structural dynamics of Suserup Skov, a near-natural temperate deciduous forest in Denmark. *Forest Ecology and Management* 126 173-189
- FIRM, D., Nagel, T. A., DIACI, J., 2008: Disturbance history and dynamics of an old-growth mixed species mountain forest in the Slovenian Alps. *Forest Ecol. Manage.* in press
- GRATZER, G., CANHAM, C., DIECKMANN, U., FISCHER, A., IWASA, Y., LAW, R., LEXER, M. J., SANDMANN, H., SPIES, T. A., SPLECHTNA, B. E., SZWAGRZYK, J. 2004: Spatio-temporal development of forests -/ current trends in field methods and models. / *Oikos* 107: 3 -/15.
- HOLEKSA, J., SANIGA, M., SZWAGRZYK J., CZERNIAK M., STASZYŃSKA K., KAPUSTA P., 2009: A giant tree stand in the Western Carpathians – An exception or a relic formerly widespread mountain European forests?. *Forest Ecol. Manage.*, in press

- JAWORSKI, A., KOŁODZIEJ, ZB., PORADA, K., 2002: Structure and dynamics of stands of primeval character in selected areas of the Bieszczady National Park. *Journal of forest science*, 48, (5): 185–201
- JENÍK, J., 1979: Ecological meaning of stability. In: *Stability of spruce forest ecosystems*. Symposium MAB, Brno, 7-15
- KORF, V. 1939: Příspěvek k matematické definici vzrůstového zákona hmot lesních porostů. *Lesnická práce*, 18, s. 339-379.
- KORPEL, Š., 1989: *Pralesy Slovenska*. Bratislava: Veda, SAV. 332s.
- KORPEL, Š., 1995: *Die Urwälder der Westenkarpaten*. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart
- KORPEL, Š., SANIGA, M., 1995: *Príroda blízke pestovanie lesa*. ÚVVV LVM SR Zvolen, 158 p.
- PALUCH, J. G., 2007: The spatial pattern of a natural European beech (*Fagus sylvatica* L.) – silver fir (*Abies Alba* Mill.) forest: A patch – mosaic perspective. *Forest Ecol. Manage* 253: 161 – 171
- PIŠŤ, I., ONDREJOVÁ, I., 1992: Botanický inventarizačný výskum. In: *Inventarizačný výskum ŠPR Hrončokový Grúň*. Správa CHKO Poľana, Zvolen 1990 – 1992, 5s.
- SANIGA, M., 1999a: Structure, production conditions and regenerative processes i the Badin virgin forest. *Journal of Forest Science* 45, 121 – 130
- SANIGA, M., 1999b: Štruktúra, produkčné a regeneračné procesy Dobročského pralesa. *Vedecké štúdie* 1999/A, 64 s.
- SANIGA, M., 2004: Štruktúra, rastové a regeneračné procesy prírodného lesa v NPR Hrončecký Grúň. *Ochrana prírody, Banská Bystrica*, 23: 112 - 124
- SANIGA, M., BALANDA, M., 2008: Dynamics of tree species composition and characteristics of available space utilization in the natural forest of the National Nature Reserve Hrončokovský Grúň. *Journal of Forest Science*, 54, 2008 (11): 497–508
- SANIGA, M., SCHÜTZ, J. P., 2001a: Dynamik des Totholzes in zwei gemischten Urwäldern der Westkarpaten im pflanzengeographischen Bereich der Tannen – Buchen - und der Buchenwälder in verschiedenen Entwicklungsstadien. *Schweiz. Z. Forstwes.* 152, 10: 407 – 416.
- SANIGA, M., SCHÜTZ, J. P., 2001b: Dynamics of changes in dead wood share in selected beech virgin forests in Slovakia within their development cycle: *Journal of Forest Science*, 47, (12): 557 - 565
- SANIGA, M., SCHÜTZ, J. P., 2002: Relation of dead wood course within the development cycle of selected virgin forests in Slovakia. *Journal of Forest Science*, 48 (12): 513–528
- STŘELCOVÁ K., PRIWITZER T., MINĐÁŠ J., 2006: Fenologické fázy a transpirácia Buka lesného v horskom zmiešanom lese. In: Rožnovský, J., Litschmann, T., Vyskot, I. (ed.): „Fenologická odezva proměnlivosti podnebí“, Brno 22.3.2006
- ŠKVARENINA J., STŘELCOVÁ K., MINĐÁŠ J., 2002: Bioklimatologický a ekofyziologický výskum v biosférickej rezervácii Poľana. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (ed.): XIV. Česko-slovenská bioklimatologická konference, Lednice na Moravě 2.-4. září 2002
- ŠMELKO, Š. 2000: *Dendrometria*, Vysokoškolská učebnica, TU Zvolen, 399 s.
- TURCU, D., O., STETCA, J., A., 2006: The structure and dynamics of virgin beech forest ecosystems from „Izvoarele Nerei“ reserve – initial results. In: *Beech silviculture in Europe's Largest Beech Country*. Proceedings of IUFRO Conference, Poliana Brasov, Romania, 4-8 september 2006, pp. 18-20.
- WATT, A.S., 1947: Pattern and process in the plant community. *J. Ecol.* 35: 1-22
- ZLATNÍK, A., 1970: Ekologicko – synekologický, cenologický a fytografický výskum na trvalých výskumných plochách. *Zborník prác o TANAPe*, (4): 47-59

Adresa autora:

Ing. Miroslav Balanda,
Katedra pestovania lesa,
Technická univerzita vo Zvolene,
T. G. Masaryka 24,
960 53 Zvolen, Slovenská Republika.
e-mail: balanda@vsld.tuzvo.sk

The evaluation of production patterns of natural mixed forest in NNR Hrončecký Grůň

Summary

The aim of this paper is to evaluate production patterns of natural mixed forest in NNR Hrončecký Grůň. The six groups of forest types are presented on area of NNR: *Fageto – Abietum*, *Fagetum pauper*, *Abieto – Fagetum*, *Abieto – Fagetum acerosum*, *Fageto – Aceretum* a *Fraxineto – Aceretum*. Permanent research plot (100 x 500m) was established in 2008. This paper presents the partial results that were obtained by analyse of data collected on transect plot 50 x 200 m. The average number of individual per hectare was 322pcs.ha⁻¹. The average volume of living individuals and the total volume of necromass were significantly high, 948.02m³.ha⁻¹ and 325m³.ha⁻¹, respectively. The share of necromass volume from volume of living trees was 0.34. The considerably high values of these characteristics together with the maximal measured dendrometrical features (max. measured height of European Ash – 51.0m, Spruce – max. diameter ($d_{l,3}$) 118,1cm and max. height 50,5m) are pointing out to great production potential of this site.

CHARAKTERISTIKA METODICKÉHO POSTUPU PRI HODNOTENÍ ŠTRUKTÚRY, TEXTÚRY, REGENERAČNÝCH PROCESOV A ZMIEN OBJEMU MŔTVEHO DREVA V NPR ROŽOK

Lenka B A K O Š O V Á

Bakošová, L.: Charakteristika metodického postupu pri hodnotení štruktúry, textúry, regeneračných procesov a zmien objemu mŕtveho dreva v NPR Rožok. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, LI, 2009, Suppl. 1, s. 95–103.

Práca poskytuje rámcový rozbor problematiky prírodných bukových lesov v stredoeurópskych podmienkach a súčasne charakterizuje základný rozbor metodického postupu, ktorý bude použitý pri zbere, evidencii a vyhodnocovaní dát na jednotlivých výskumných plochách potrebných na analýzu štruktúry, textúry, produkcie a regeneračných procesov v NPR Rožok. Nosnou časťou práce je kapitola „Rozbor metodického postupu“, ktorá definuje spôsob založenia a členenia trvalých výskumných plôch a ich fixovania v teréne. V nasledujúcej časti sú špecifikované jednotlivé porastové charakteristiky, ktoré budú predmetom merania na jednotlivých TVP a spôsob ich evidencie.

Kľúčové slová: prales, buk, mŕtve drevo, medzera

ÚVOD

Pralesy predstavujú v stredoeurópskych podmienkach nenahraditeľné objekty základného a aplikovaného výskumu a sú modelom pre štúdium zákonitostí vývoja, stability, produkcie a ďalších vlastností lesných ekosystémov (KORPEL 1989). Ich vysoká hodnota spočíva v skutočnosti, že štúdium dynamiky prírodných lesov je predispozíciou pre vytváranie koncepcii prírode blízkeho obhospodarovania lesov (KORPEL, SANIGA 1995), ktoré spĺňa podmienky pre trvalodržateľné obhospodarovanie prírodných zdrojov.

Z hľadiska zachovania biologickej rozmanitosti je Slovensko na poprednom mieste v Európe. Na Slovensku sa zachovalo viac ako 70 fragmentov prírodných lesov a pralesov, ktorých celková plocha dosahuje takmer 20 tisíc ha (Kolektív 2002).

Bezpochybne k najcennejším územiám aj zo svetového pohľadu patrí NPR Rožok, ktorá bola spolu s NPR Stužica, Havešová a Kyjov na 31. zasadnutí Výboru svetového dedičstva 28. júna 2007 v Christchurche na Novom Zélande zapísaná do zoznamu svetového prírodného dedičstva UNESCO.

1 ROZBOR PROBLEMATIKY

Bukové pralesy predstavujú jeden z najdôležitejších lesných spoločenstiev v Európe (PETERKEN 1996), pričom reprezentujú najvyšší stupeň prirodzenosti. Pralesovité zvyšky

o výmere niekoľkých hektárov až po niekoľko sto hektárov sa nachádzajú najmä v juho-východnej Európe (LEIBUNGUT 1993, KORPEE 1995, TABAKU 1999). Pralesy výnimočných výmer nad 1000 ha môžeme nájsť len v Albánsku, Rumunsku a Ukrajine (TABAKU 1999). Karpatské bukové pralesy na východnom Slovensku patria k najzachovalejším pralesovitým objektom nielen na Slovensku, ale aj v rámci Európy. Nachádzajú sa na ťažko prístupných lokalitách obklopené rozsiahlymi rovnorodými bukovými lesmi s málo narušeným ekotypom v širšom okolí.

Bukový prales v 4. vegetačnom stupni na produkčne slabších, ako aj na produkčne dobrých stanovištiach vytvára výrazne rôznoveké porasty s 2–3 vrstvou výstavbou. Rovnovekosť na väčšej ploche pralesa je výnimkou podmienenou katastrofou. Za 230–250 rokov trvajúci vývojový cyklus sa už na menších rozlohách (20–30 ha) dosahuje vývojová samostatnosť a produkčná vyrovnanosť. Významným ukazovateľom dynamiky a stálosti lesného ekosystému je plošné rozmiestnenie vývojových štádií pralesa na jeho ploche, čiže textúra pralesa (KORPEE 1989, 1991).

Jedným z primárnych mechanizmov zabezpečujúcich striedanie vývojových štádií pralesa je autoregenerácia, ktorá je v úzkom spojení so vznikom porastových medzier. V bukovo-jedľových porastoch južnej a strednej Európy sú to porastové medzery malej a strednej výmery, ktoré sú dominantným procesom dynamiky porastu (DIACI ET AL., 2003; ZEIBIG ET AL. 2003; NAGEL AND DIACI 2006; NAGEL ET AL. 2006 *in* ROZENBERGAR ET AL., 2007). Výskumom porastových medzier v prírodných bukových lesoch v Európe sa zaoberali napr. TABAKU (1999) v troch Albánskych porastoch, ZEIBIG ET AL. (2005) v Slovinsku a DRÖSSLER (2006), DRÖSSLER A VON LÜPKE, (2005) na Slovensku. Avšak v súčasnosti chýbajú informácie o vplyve priameho a difúzneho svetla na dynamiku prirodzenej obnovy v bukových porastoch Slovenska. Problematika vplyvu heterogenity svetelného žiarenia v rámci porastovej medzery na prirodzenú obnovu v bukovo-jedľovom pralesi v Slovinsku a Chorvátsku je predmetom práce ROZENBERGAR ET AL. (2007).

Dôležitou súčasťou prírodných lesov je nekromasa, pričom jej prítomnosť je jedným zo základných znakov prírodného lesa (KORPEE 1989; SANIGA, SCHÜTZ 2002) a zároveň je jedným z deviatich pan – Európskych indikátorov trvalo udržateľného obhospodarovania lesov (MCPFE, 2003). Podľa SANIGU, SCHÜTZA (2002), sú z pohľadu priebehu nekromasy jej hodnoty v rámci vývojového cyklu bukových pralesov významne rôznorodé a jej vysoké hodnoty v štádiu optima súvisia s krátkou dobou tohoto štádia a dlhým procesom dekompozície buka.

2 CHARAKTERISTIKA VÝSKUMNÉHO OBJEKTU NPR ROŽOK

NPR Rožok o výmere 67,13 ha bola vyhlásená rozhodnutím Komisie SNR pre školstvo a kultúru z 28. 6. 1965 úpravou č. 7282/1965-osv. 10 (KLINDA 2007). 28. júna 2007 bola jednou z lokalít zaradených do zoznamu svetového prírodného dedičstva UNESCO pod názvom Karpatské bukové pralesy. NPR tvoria dielce č. 86, 87, 90, 91, 92, 95 a 96. Orograficky patrí územie NPR do pohoria Bukovské vrchy, pod správu LZ Ulič a nachádza sa v nadmorskej výške 500–790 m n.m., na prevažne severne, čiastočne západne a severozápadne exponovanom svahu so sklonom 40–50%. Priemerná ročná teplota je 7°C, priemerný úhrn ročných zrážok 780 mm.

Geologické podložie na prevažnej časti tvorí pieskovec, na menšej časti územia sú to ilovité bridlice. Dominantným pôdnym typom je mezotrofná hnedá lesná pôda. Asi na 85% výmery NPR prevažuje slt *Fagetum paupe* v najvyššej časti NPR patrí do slt *Fagetum typicum*.

Hlavnou porastotvornou drevinou je buk lesný (*Fagus sylvatica* L.), pričom v slt *Fagetum typicum* k nemu pristupuje prímes javora horského (*Acer pseudoplatanus* L.) a čerešne vtácej (*Cerasus avium* (L.) Moench.) (TERRAY 1971).

3 ROZBOR METODICKÉHO POSTUPU

3.1 Terénne práce

3.1.1 Založenie trvalých výskumných plôch a ich fixácia v teréne

Pre potreby výskumu bude v 4. bukovom lvs založých päť trvalých výskumných plôch. TVP 1 bude mať rozmery 200 x 250m s výmerou 5ha a bude slúžiť na výskum štruktúry, textúry a dynamiky prírodného lesa. Kvôli lepšej orientácii bude TVP zahustená sieťou 20 rastrových plôch (RP) s rozmermi 50 x 50 m o výmere 0,25 ha. RP budú ďalej zahustené sieťou čiastkových plôšok (ČP) s rozmermi 25 x 25 m. Takýmto spôsobom vznikne 80 ČP, v rámci ktorých bude vykonávaná väčšina meraní.

Hranice TVP1, RP a ČP budú v teréne zameriavané prístrojom Field–Map a sústavou výtyčiek a následne budú trvalo stabilizované drevenými kolíkmi a dočasne červenými farebnými páskami. V rámci TVP1 bude dočasne modrou farebnou páskou vyznačená hranica transektu 200 x 50 m o výmere 1 ha, ktorý bude tvorený z šesťnástich čiastkových plôch.

Každý RP bude pridelené identifikačné číslo, ktoré bude tvoriť jedno veľké písmeno latinskej abecedy podľa polohy RP (poradie stĺpca smerom po vrstevnici) a arabská číslica (poradie riadku smerom po spádnici). Každý ČP číslo bude pridelená arabská číslica podľa poradia. Označovanie bude prebiehať od ľavého horného rohu.

Pre potreby posúdenia prirodzenej obnovy v závislosti od svetelných pomerov na ploche porastovej medzery a okolo nej budú v poraste založené štyri TVP. TVP2–TVP4 budú umiestnené na plochách troch porastových medzier, ktoré budú zmapované a následne bude na ploche a okolo porastovej medzery založená sieť 5 x 5 m orientovaná v smere S–J. Na priesečníkoch línií bude na plochách 1,5 x 1,5 m evidovaná prirodzená obnova a svetelné pomery. TVP5 bude slúžiť ako kontrolná plocha, bude založená na ploche zapojeného porastu, preto bude založená na stanovišti s rovnakým sklonom, expozíciou a pôdnym typom. TVP 2–5 budú v teréne zameriavané prístrojom Field–Map a sústavou výtyčiek.

Pre založenie plôch TVP2–TVP4 budú vhodné porastové medzery spĺňajúce kritériá (ROZENBERGAR ET AL., 2007):

- na ploche medzery musí byť prítomná vrstva prirodzenej obnovy, pričom na jednotlivých TVP bude približne rovnakého veku (približne 10 rokov),
- existujúce prirodzené zmladenie by vo všeobecnosti nemalo presahovať výšku 2m,
- porast v okolí celého obvodu porastovej medzery musí byť zapojený v záujme zabránenia vplyvu bočného svetelného žiarenia zo susednej porastovej medzery,

- porastové medzery sa budú nachádzať na stanovištiach s rovnakým sklonom, expozíciou, pôdnym typom.

Všetky TVP budú založené v sít *Fagetum paupe* na základe dôkladnej rekognoskácie terénu predstavovať homogénnu plochu s typickým pralesovitým charakterom, bez viditeľného antropogénneho vplyvu.

3.1.2 Zber údajov na jednotlivých TVP

Zber údajov na transekte TVP1

Na transekte budú merané nasledovné veličiny:

- hrúbky stromov s $d_{1,3}$ väčšou ako 2,0 cm s presnosťou na 1 mm,
- výšky stromov s presnosťou na 0,5 m,
- výšky nasadenia korún živých stromov s presnosťou na 0,5 m,
- zaradenie stromov do vrstiev,
- situácia stojacich stromov v súradnicovom systéme x, y ($d_{1,3} \geq 2,0$ cm) a projekcie korún živých stromov (x_1-x_n),
- situácia padnutých stromov a ich objem,
- situácia otvorených a rozšírených medzier, ich výmeru a počet vypadnutých stromov,
- situácia prirodzenej obnovy v plošnej forme podľa prevládajúcej vývojovej kategórie,
- určenie vývojových štádií – zatriedenie jednotlivých ČP do jedného z troch vývojových štádií prírodného lesa podľa KORPELA (1989),
- evidencia jedincov prirodzenej obnovy.

Zber údajov na ostatnej ploche TVP1

Meranie na ostatnej ploche bude zahŕňať:

- hrúbku stromov s $d_{1,3}$ väčšou ako 8,0 cm s presnosťou na 1 mm,
- výšku vybraných stromov s presnosťou na 0,5 m pre zostavenie výškového grafikonu,
- zaradenie stromov do vrstiev,
- situáciu padnutých stromov a ich objem,
- situáciu otvorených a rozšírených medzier, ich výmeru a počet vypadnutých stromov,
- situáciu prirodzenej obnovy v plošnej forme podľa prevládajúcej vývojovej kategórie,
- určenie vývojových štádií – zatriedenie jednotlivých ČP do jedného z troch vývojových štádií prírodného lesa podľa KORPELA (1989).

3.1.3 Zásady merania jednotlivých veličín

Meranie hrúbky a výšky stromov

Na ostatnej ploche TVP1 budú evidované hrúbky všetkých živých stromov v dvoch na seba kolmých smeroch, ak obidve odmerané hrúbky dosiahnu hodnotu minimálne 8,0 cm v $d_{1,3}$. V rámci transektu budú zaznamenávané jedince, ktorých hrúbka $d_{1,3}$ dosiahla

hodnotu minimálne 2,0 cm. Hrúbka jedincov na ostatnej ploche ako aj hrúbka jedincov na transekte bude zisťovaná dendrometrickou priemerkou s milimetrovým delením podľa všeobecne platných dendrometrických zásad priemerkovania (ŠMELKO 2000).

Na transekte budú merané pomocou laserového výškomeru Vertexu III s presnosťou na 0,5 m výšky jedincov a výšky nasadenia korún živých stromov, ktoré budú podliehať evidenčným kritériám (priemer oboch evidenčných hrúbok v $d_{1,3}$ je minimálne 2,0 cm) pre analýzu hrúbkovej a objemovej štruktúry.

Porast sa na základe hornej výšky rozdelí do troch stromových vrstiev. Horná výška porastu (h_0) sa určí podľa ŠMELKA (2000) ako jednoduchý aritmetický priemer výšok 10 % najhrubších živých stromov transektu.

Na základe hornej výšky sa určia hraničné hodnoty výšok, podľa ktorých budú jedince zatriedované do jednotlivých vrstiev podľa IUFRO klasifikácie (LEIBUNGUT, 1956):

horná vrstva – výška stromu je väčšia ako 2/3 hornej výšky porastu,

stredná vrstva – výška stromu sa pohybuje od 1/3 do 2/3 hornej výšky porastu,

spodná vrstva – výška stromu je menšia ako 1/3 hornej výšky porastu.

Pozičné zameranie živých stromov a plošné projekcie koruny

Situácia stojacich stromov na transekte s minimálnou hrúbkou $d_{1,3}$ 2,0 cm bude pozične zameraná v karteziánskej pravouhlej súradnicovej sústave x,y pomocou laserového ďiaľkomera IMPULSE 200, digitálneho kompasu MapStar II, a terénneho počítača Hammerhead RT800, ktoré sú súčasťou prístroja Field-Map.

Rovnako detailné plošné projekcie korún živých stromov na transekte budú zamerané prístrojom Field-Map pomocou minimálne štyroch hraničných bodov koruny. Využitím údajov o výške stromov a výšky nasadenia korún bude výstupom mapa vertikálnych a horizontálnych projekcií korún stromov transektu s ich pozičným ukotvením (IFER 2009).

Plošná evidencia nekromasy a jej objem

Na evidenciu plošnej distribúcie nekromasy na celej ploche TVP1 bude použitý prístroj Field Map. Pozične zameraná bude ležiaca nekromasa s dĺžkou väčšou ako 2,0 m a priemerom na hrubšom konci minimálne 20,0 cm a stojaca nekromasa s výškou minimálne 2,0 m a s hrúbkou $d_{1,3}$ aspoň 8,0 cm. Následne bude potrebné zmerať hrúbku v $d_{1,3}$ v prípade stojacej nekromasy a priemer na hrubšom konci (d_0) a tenšom konci (d_n) v prípade ležiaceho kmeňa. Ležiaca nekromasa bude evidovaná celým svojim objemom v ČP, z ktorej vypadla. Plošná situácia nekromasy bude zisťovaná na celej TVP1 a vyhodnocovaná na jednotlivých ČP, pričom bude jedným z dôležitých kritérií pri vylišovaní vývojového štádia pralesa.

Stupeň rozkladu odumretých stojacich a ležiacich kmeňov bude kvantifikovaný podľa metodiky ALBRECHTA (1990):

- 1) čerstvo odumreté stromy,
- 2) začínajúci rozklad: uvoľnená kôra, po použití sekery drevo ešte pevné, hniloba jadra do 1/3 priemeru,
- 3) pokračujúci rozklad: bel' mäkká, jadro ešte miestami pevné pre sekeru, hniloba jadra je väčšia ako 1/3 priemeru,
- 4) silná hniloba: drevo po celej hrúbke mäkké, hlavné znaky nie sú viditeľné

Evidencia porastových medzier

Plošná distribúcia porastových medzier a ich výmera bude zachytávaná pomocou prístroja Field Map na celej ploche TVP1. Počet odumretých stromov, ktoré vytvorili medzeru bude zisťovaný priamo v teréne a zadávaný k popisu jednotlivých medzier spolu so stupňom ich rozkladu. Evidencia porastových medzier bude vychádzať z metodiky RUNKLA (1992), ktorá diferencuje medzeru otvorenú a rozšírenú.

Otvorená medzera je definovaná ako vertikálny priemet otvoru v porastovom zápoji prenesený na pôdny povrch, ktorý vznikol odumretím jedinca, alebo jedincov z hornej vrstvy porastu. Za jedinca z hornej vrstvy porastu bude považovaný taký jedinec, ktorého hrúbka bude väčšia ako hraničná hrúbka stromu zodpovedajúca 2/3 hornej výšky porastu. Hraničnú hrúbku stromu odvodíme pomocou výškových kriviek získaných výškovým zmeraním a spriemerovaním jedincov transektu (RUNKLE 1992, DRÖSSLER 2006).

Rozšírená medzera bude definovaná ako priestor medzi bázami kmeňov stromov ohraničujúcich otvorenú medzeru (RUNKLE 1982).

Otvorená a rozšírená medzera budú evidované iba vtedy, ak budú zvyšky odumretých jedincov, ktorých vypadnutím medzera vznikla ešte identifikovateľné na ploche medzery. Medzera bude považovaná za uzavretú ak následná generácia dosiahla hrúbku $d_{1,3}$ 8 cm.

Evidencia prirodzeného zmladenia

Plošná evidencia prirodzenej obnovy bude vykonávaná prístrojom Field Map na celej TVP1 aj v rámci transektu a následne bude klasifikovaná na základe prevládajúcej výšky alebo hrúbky jedincov do nasledovných vývojových kategórií:

1. zapojená obnova do 50 cm výšky,
2. prevládajúce jedince od 50 cm do 1,0 m výšky,
3. prevládajúce jedince od 1,0 m výšky do 2,0 m výšky,
4. prevládajúce jedince od 2,0 m výšky do 2,0 cm hrúbky v $d_{1,3}$,
5. prevládajúce jedince od 2,1 cm do 4,0 cm hrúbky v $d_{1,3}$,
6. prevládajúce jedince od 4,1 cm do 6,0 cm hrúbky v $d_{1,3}$,
7. prevládajúce jedince od 6,1 cm do 8,0 cm hrúbky v $d_{1,3}$,
8. plocha pod ostatným porastom bez zapojeného zmladenia.

Na transekte budú jedince prirodzenej obnovy s hrúbkou kmeňa vo výške $d_{1,3}$ menšou ako 2,0 cm klasifikované podľa KORPELA (1989) do nasledovných výškových kategórií:

1. jedince do výšky 20 cm,
2. jedince s výškou 21 – 50 cm,
3. jedince s výškou 51 – 80 cm,
4. jedince s výškou 81 – 130 cm,
5. jedince s výškou 131 cm – jedince s hrúbkou $d_{1,3} < 2,0$ cm.

Jedince s hrúbkou $d_{1,3}$ 2–8 cm budú plošne zamerané pomocou prístroja Field-Map postupom uvedeným v časti „Pozičné zameranie živých stromov a plošné projekcie koryny“. Plošná distribúcia prirodzenej obnovy v rámci transektu ako aj celej TVP1 bude konfrontovaná s plošným rozmiestnením porastových medzier v hornej vrstve porastu a mapou plošného rozmiestnenia nekromasy.

3.1.4 Zber údajov na TVP2–5

Pomocou prístroja Field Map budú zamerané hranice otvorenej a rozšírenej mezdery ako aj plošné projekcie korún úrovňových stromov. Na plôškach 1,5 x 1,5m budú v kompletne zamračenom počasí vo výške 1,3m nad povrchom pôdy pomocou systému Mid-OMount 10MP firmy Régent Instruments Inc. (digitálnym fotoaparátom so široko-uhľým objektívom tzv. „fish-eye“) vyhotovené hemisférické fotografie za účelom analýzy množstva dopadajúceho priameho (FDIR), difúzneho (FDIF), celkového (FTOT) a fotosynteticky aktívneho žiarenia. Zároveň bude na uvedených plôškach vykonaná analýza prirodzeného zmladenia.

3.2 Kancelárske práce

Získané empirické údaje z TVP1 budú spracované použitím klasických štatisticko-matematických metód.

Pre TVP1 bude vypočítaná celková zásoba, počet stromov, celková kruhová základňa. Pre každého jedinca transektu sa pomocou priemernej hrúbky a jeho výšky vypočíta objem hrubiny s kôrou. Na ostatnej ploche sa pre jednotlivé hrúbkové stupne vypočíta objem hrubiny s kôrou pomocou výšok prevzatých z výškového grafikonu. Kruhové základne jedincov transektu budú počítané jednotlivo a v prípade ostatnej plochy pre jednotlivé hrúbkové stupne podľa skutočných početností v týchto stupňoch. Ich prepočtom bude zistená celková kruhová základňa na 1 ha.

Objem ležiaceho mŕtveho dreva vypočítava Field-Map automaticky podľa Smalianovho vzorca (ŠMELKO, 2000):

$$V = \pi / 4 \cdot (d_0^2 + d_n^2) / 2 \cdot L$$

kde:

V – objem ležiaceho kmeňa

d_0 – hrúbka na hrubšom konci

d_n – hrúbka na tenšom konci

L – dĺžka kmeňa

Objem celých stojacích mŕtvych stromov sa vypočíta rovnakým spôsobom ako objem stojacích živých stromov.

Produkčné využitie disponibilného priestoru a plošný zápoj budú vyhodnocované na transekte TVP1. Metodika ich výpočtu je podrobne opísaná v práci SANIGA, BALANDA (2008).

Dáta získané pomocou hemisférických fotografií na TVP2–TVP5 budú analyzované pomocou softvéru WinScanopy. Binárna logistická regresia bude použitá na otestovanie závislosti medzi priamym a difúznym svetlom a výskytu jedincov buka na 1m², kedy výskyt buka bude predstavovať závislú veličinu.

Na otestovanie rozdielu hustoty prirodzeného zmladenia na jednotlivých plochách TVP2–TVP5 bude použitý neparametrický Mann–Whitney U test.

4. ZÁVER

Údaje získané výskumom štruktúry, textúry, produkcie a regeneračných procesov v NPR Rožok ako aj analýzou porastových medzier a svetelných pomerov v rámci nich prispievajú k doterajším poznatkom o prirodzenej dynamike štruktúry, zákonitostiach vývoja a rastových procesov bukových prírodných lesných ekosystémov. Pochopenie komplikovaných vzťahov v prírodnom lese umožňuje vypracovať také pestovné metódy, ktoré bez väčšieho rizika, pri vysokom stupni istoty umožnia cieľavedome formovať takú porastovú štruktúru a udržiavať autoregulačné a autoregeneračné procesy v takých medziach, ktoré umožňujú dosahovať vysokú produkciu a žiaduce funkčné účinky (KORPEL, SANIGA 1995).

Uvedený metodický postup, ktorý bude použitý pri zbere dát a analýze empirického materiálu z NPR Rožok bude v prípade potreby mierne modifikovaný po započatí samotných terénnych prác.

Literatúra

- ALBRECHT, L., 1990: Grundlagen, Ziele und Methodik der waldökologischen Forschung in Naturwaldreservaten. Naturwaldreservate in Bayern. Schriftenreihe des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Landschaftstechnik, Band 1, München, , 221s.
- DIACI, J., ROZENBERGAR, AND BONČINA, A., 2003: Interactions of light and regeneration in Slovenian Dinaric Alps: patterns in virgin and managed forests. *In* Natural Forests in the temperate Zone of Europe – Values and Utilisation. B. Commarmot (ed.) Swiss Federal Research Institute WSL, Birmensdorf, s. 154–160.
- DRÖSSLER, L., 2006: Struktur und Dynamik von zwei Buchenurwäldern in der Slowakei, Dissertation, Göttingen, 103s.
- DRÖSSLER, L., VON LÜPKE, B., 2005: Canopy gaps in two virgin beech forest reserves in Slovakia. *J. For.Sci.* 51, s. 446–457.
- IFER 2009: FieldMap – Tool designed for computer aided field data collection. IFER – Ústav pro výzkum lesních ekosystémů, s.r.o; [online], [citované 10.3.2009]. Dostupné na <<http://www.fieldmap.cz/index.php>>
- KLINDA, J., 2007: Poloniny a Vihorlat k svetovosti. *Enviromagazin* 5, s.10–12.
- KOLEKTÍV, 2002: Národná správa o trvalo udržateľnom rozvoji v Slovenskej republike, Ministerstvo životného prostredia SR Bratislava a Slovenská agentúra životného prostredia Banská Bystrica, 104 s.
- KOLEKTÍV, 2007: Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike 2007, Zelená správa. Ministerstvo pôdohospodárstva Slovenskej republiky Bratislava a Národné lesnícke centrum–Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 164 s.
- KOLEKTÍV, 2008: Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike 2008, Zelená správa. Ministerstvo pôdohospodárstva Slovenskej republiky Bratislava a Národné lesnícke centrum–Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 168 s.
- KORPEL, Š., 1989: Pralesy Slovenska. Veda, Bratislava, 329 s.
- KORPEL, Š. ET AL., 1991: Pestovanie lesa. Príroda, Bratislava, 465 s.
- KORPEL, Š., SANIGA, M., 1995: Prírode blízke pestovanie lesa. ÚVVP LVM SR Zvolen, 158 s.
- KORPEL, Š., 1995: Die Urwälder der Westkarpaten, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart – Jena – New York, , 310 s.
- LEIBUNGUT, H., 1956: Empfehlungen für die Baumklassenbildung und Methodik bei Versuchen über die Wirkung von Waldpflegemaßnahmen. IUFRO sektion 23, 10, Mitteilungen.
- LEIBUNGUT, H., 1993: Europäische Urwälder. Paul Haupt, Bern und Stuttgart, 260 s.
- MCPFE, 2003. Improved Pan-European Indicators for Sustainable Forest Management as adopted by the MCPFE Expert Level Meeting 7–8 October 2002. Vienna, Austria, 6 s.
- PARBEKOVÁ, Z., 2007: Štruktúra, textúra, produkcia a regeneračné procesy NPR Dobročský prales. Projekt dizertačnej práce, Zvolen, 52 s.

- PETERKEN, G., 1996: Natural Woodland. Cambridge university press, Cambridge, 87 s.
- ROZENBERGAR, D., MIKAC, S., ANIČ, I., DIACI, J.: Gap regeneration patterns in relationship to light heterogeneity in two old-growth beech-fir forest reserves in South East Europe. *Forestry*, Vol. 80, No.4, 2007, s. 431–443.
- RUNKLE, J., 1992: Guidelines and Sample Protocol for Sampling Forest Gaps, General Technical Report, , 31 s.
- RUNKLE, J., 1982: Patterns of disturbance in some old-growth mesic forests of Eastern North America. *Ecology* 63, , s. 1533–1546.
- SANIGA, M., BALANDA, M., 2008: Dynamics of tree species composition and characteristics of available space utilization in the natural forest of the National Nature Reserve Hrončokovský Grúň, J. For. Sci., 54, (11), s. 497–508.
- SANIGA, M., SCHÜTZ, J.P., 2001.: Dynamics of changes in dead wood share in selected beech virgin forests in Slovakia within their development cycle, *Journal of Forest Science* 47 (12), s. 557–565.
- SANIGA, M., SCHÜTZ, J.P., 2002: Relation of dead wood course within the development cycle of selected virgin forests in Slovakia. *Journal of Forest Science* 48 (12), s. 513–528.
- ŠÁLY, R., 1980: Výskum pôdneho prostredia vybraných štátnych prírodných rezervácií na Slovensku. Záverečná správa výskumnej úlohy č. VI-3-6/1a, VŠLD Zvolen, 118 s.
- ŠMELKO, Š., 2000: Dendrometria, Vysokoškolská učebnica, TU Zvolen, 399 s.
- TABAKU, V., 1999: Struktur von Buchen–Urwäldern in Albanien im Vergleich mit deutschen Buchen–Naturwaldreservaten und –Wirtschaftswäldern, Dissertation, Göttingen, 206 s.
- TERRAY, J., 1971: Komplexné vyhodnotenie rezervácie Rožok na LZ Ulič. Záverečná práca postgr. štúdia na LF VŠLD Zvolen, 53 s.

Adresa autora:

Ing. Lenka Bakošová
Katedra pestovania lesa
Lesnícka fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
T.G. Masaryka 20
960 53 Zvolen
email: bakosova@vsld.tuzvo.sk

Characteristics of the methodology of analysis the structure, texture, production, regeneration processes and volume of deadwood changeover in NNR Rožok.

Summary

The aim of this report is to provide an outline analysis of the beech natural forests within the European conditions as well as to describe the basic analysis of the methodology, that will be used during the collecting, recording and evaluating the data from the particular research plots necessary for analysis the structure, texture, production and regeneration processes in NNR Rožok. The cardinal part of this study is the chapter „Analysis of the methodology“, that defines the method of the permanent research plot establishment and section as well as their stabilization in the terrain. In following part are an individual stand characteristics, that will be an object of the measurement on the individual PRP and their way of evidence specified.

ZHODNOTENIE POTENCIÁLU A MOŽNOSTÍ ZAKLADANIA PLANTÁŽÍ RÝCHLORASTÚCICH DREVÍN

Jozef Š P I Š Á K, Martin L I E S K O V S K Ý

Špišák, J., Lieskovský M.: Zhodnotenie potenciálu a možností zakladania plantáží rýchlorastúcich drevín. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, LI, 2009, Suppl. 1, s. 105–114.

Práca sa venuje hodnoteniu podmienok pre zakladanie plantáží rýchlorastúcich drevín. Plantáže sú jednou z odpovedí na zvýšený záujem teplárenských spoločností o možnosť využívania biomasy pre produkciu tepla a elektrickej energie z obnovujúcich sa zdrojov. V súčasnosti je zakladanie a pestovanie rýchlorastúcich drevín podporované aj v rámci Programu rozvoja vidieka, pričom sa dôraz kladie na diverzifikáciu produkčných zdrojov v poľnohospodárstve a lesníctve. Cieľom práce je hodnotenie podmienok pre zakladanie plantáží rýchlorastúcich drevín, ako aj sledovanie rastu a produkcie biomasy na výskumnej ploche VŠLP. Pri získavaní údajov boli použité moderné mobilné prostriedky pre zber a spracovanie dát GOTIVE. Výsledky sú názorne spracované do tabuliek a grafov a budú slúžiť ako zdrojový materiál pre ďalšie analýzy.

Kľúčové slová: biomasa, rýchlorastúce dreviny, *Salix viminalis* L.

1 Úvod

Biomasa je definovaná ako substancia biologického pôvodu (pestovanie rastlín v pôde, alebo vo vode, chov živočíchov, produkcia organického pôvodu, organické odpady). Biomasu vhodnú pre výrobu energie môžeme rozdeliť do troch skupín:

- zostatková (reziduálna) biomasa pri výrobných procesoch
- recyklovaná biomasa z výrobkov po skončení ich životnosti
- zámerne pestovaná biomasa pre energetické využitie.

Práve zámerne pestovaná biomasa z plantáží rýchlorastúcich drevín či už na lesnom, alebo poľnohospodárskom pôdnom fonde môže byť významným zdrojom paliva v rámci regiónu. O tento potenciálny zdroj energie prejavujú záujem hlavne teplárenské spoločnosti, ktoré zhodnocujú biomasu na výrobu tepla resp. elektrickej energie. (LIESKOVSKÝ ET AL. 2009)

Ďalšou výhodou používania biomasy ako zdroja energie je ekonomický rozvoj vidieka tak v rozvojových ako aj v rozvinutých krajinách. Výsledkom prechodu na produkciu biopalív býva zvýšenie príjmov poľnohospodárov, diverzifikácia poľnohospodárskej produkcie, revitalizácia pôdy, znižovanie emisií z energetiky, znižovanie nadprodukcie potravín. Zvyšovanie príjmov vedie aj k ďalším - nepriamym výhodám - ako je napr. oživenie miestneho hospodárstva. Tvorba nových pracovných príležitostí pri využívaní biomasy (zber, spracovanie a využitie) a priemyselný rozvoj viažuci sa na vývoj technológií môže byť obrovský. (TRENČIANSKY ET. AL. 2007)

Slovensko patrí medzi najlesnatejšie krajiny s bohatou poľnohospodárskou tradíciou, a práve poľnohospodárstvo a lesné hospodárstvo sú najväčším potenciálnym zdrojom obnoviteľných surovín - biomasy.

2 METÓDY A MATERIÁL

V práci bola posúdená ujatosť vŕby košíkárskej (*Salix viminalis* L.) na ploche demonštračného objektu Budča. Meral sa výškový a hrúbkový prírastok jednotlivých klonov a na základe nameraných údajov bol vypočítaný objem dendromasy vŕby košíkárskej na spomínanej ploche. Okrem toho boli ešte vykonané určité opatrenie na uľahčenie ďalšej výskumnej činnosti v rámci tejto plochy.

2.1 Popis demonštračného objektu Budča

Základná charakteristika:

Dátum založenia: 4.5.2007 a 11.5.2007

Nadmorská výška: 312 m.n.m

Ročný úhrn zrážok: 757 mm

Priemerná ročná teplota vzduchu: 7,9 °C

Výmera: 0,21 ha

Expozícia: JZ

Drevina – *Salix viminalis* L. klony TORDIS, SWEN

LT: 3305, 3306, 3312

Demonštračný objekt Budča je lokalizovaná do klimatického okrsku A6: teplý, mierne vlhký s chladnou zimou (januárová teplota od -3°C do -5°C). Táto lokalita bola založená v treťom lesnom vegetačnom stupni medzi porastami s lesnými typmi 305 (ostřicovo-marinková živná dubová bučina), 306 (kysličková dubová bučina), 312 (ostřicová bučina). Plocha bola upravená celoplošne plytkou orbou (20–25 cm) a následne rotovátorom, čo zabezpečilo prevzdušnenie pôdy a rozrušenie koreňových systémov hlboko-koreniacich rastlín. Samotná pôda je tvorená naplaveninami blízkeho potoka, čo ju predurčuje ku kvalitnej úrodnosti a dostatočne vysokej hladine spodnej vody (kapilárna vzĺnavosť vody). Vzdialenosť medzi radmi bola 90 cm a medzi sadenicami v radoch 70 cm. Po 4 radoch bol vynechaný priestor so šírkou 2 m pre mechanizačný prostriedok. Pôda na tejto lokalite je hlboká a pred niekoľkými rokmi bola využívaná na poľnohospodárske účely. Pred orbou bola silne zaburinená s prevahou pýru plazivého *Elytrigia repens* L. Nedo-
statočná bola ochrana proti zvery, ktorá sa vykonala v neskorom termíne, čo spolu so situovaním plochy pri vysokom lese spôsobilo zvýšenie jej atraktivity pre odhryz prípadne vyrývanie vysadených odrezkov pri hľadaní potravy. Tento faktor mal podstatný vplyv na poškodenie respektíve na znížený počet jedincov v radoch. Pri zakladaní plôch sa použil rezkový materiál *Salix viminalis* L., ktorý bol dovezený v klimatizovaných boxoch tesne pred výsadbou. Rezky mali dĺžku 20 cm s dostatočným množstvom zdravých a životaschopných očiek. Vlastná výsadba bola vykonávaná ručne, pričom veľká väčšina rezkov bola do zeme zapichovaná na celú svoju dĺžku. Prvých deväť radov bolo vysadených klonom Tordis. Desiaty rad bol do polovice vysadený klonom Tordis a doplnený bol

klonom Swen. Celkovo bolo na ploche vysadených cca 3030 rezkov, z toho 1500 rezkov klonu Tordis a 1530 rezkov klonu Swen. V rámci ochrany bolo vykonané ručné vyžínanie v polovici júla. Koncom mesiaca november bola plocha oplotená z dôvodu silného ataku raticovou zverou.

Ujatosť na konci vegetačného obdobia bola cca 70 – 80 %. Klon TORDIS mal porovnaním s klonom SWEN o približne 7 % vyššiu ujatosť. Celková ujatosť na tejto ploche je 83,5 % (2007) Plochu možno hodnotiť ako dobre situovanú, správne založenú a doposiaľ i vhodným spôsobom obhospodarovánú. Jediným nedostatkom je neskoré oplotenie vzhľadom k hore uvedenému. (BOBÁK 2008)

2.2 Postup zisťovania údajov

Zisťovaniu údajov predchádzala identifikácia jednotlivých prútov a to z dôvodu ľahšieho spracovania údajov a manipulácie s nimi. Identifikácia sa robila pomocou čiarových kódov, na ktorých sa nachádzali číselné údaje ktoré identifikovali plochu, rad a konkrétnu vrbu.

Spomínané čiarové kódy sa vytvárali pomocou počítačového programu *Pythagoras Smart Bar* a následne sa laminovali kvôli dlhšej životnosti a lepšiemu odolávaniu poveternostným vplyvom.

Na odčítavanie čiarových kódov sa používal mobilný komunikátor Gotive SQ31. Prístroj pracuje s operačným systémom Windows CE 5.0 a po pripojení na osobný počítač je možné z neho získavať údaje zadané v teréne (SUCHOMEL, GEJDOŠ 2008). Pri získavaní údajov sa tento mobilný komunikátor používal okrem odčítavania čiarových kódov aj na zaznamenávanie základných dendrometrických veličín. Výhodou takého systému zaznamenávania údajov je hlavne to, že pri neskorších, opakovaných meraniach bude uľahčený prístup k predchádzajúcim hodnotám a bude jednoduchšie ich aktualizovať, prípadne ich medzi sebou porovnať. (SUCHOMEL, SLANČÍK 2007)

Údaje boli zisťované fyzickým spočítaním živých jedincov na danej ploche v konkrétnych radoch a následným zaznamenaním ich dendrometrických charakteristík. Z dendrometrických veličín sa merali výška jedinca, hrúbka vo výške 20 cm nad zemou a počet prútov ktoré vyrastajú zo zasadeného odrezku. Tieto merania sa robili kvôli získaniu prehľadu o výškovej diferenciácii prútov v jednotlivých radoch, namerané hrúbky tu majú len informatívny charakter. Spomínané merania sa robili na každom živom jedincovi a vo všetkých dvanástich radoch. Ďalej sa robili merania na skupine tridsiatichšiestich vybraných jedincov za účelom zistenia objemu zmeraných prútov, stanovenia priemerného objemu prútov a za účelom zistenia celkového objemu dendromasy na danej ploche. Merala sa hrúbka na prúte v dvadsať centimetrových odstupoch, s tým že prvá hrúbka sa odmerala vo výške 20 cm. Táto skupina tridsiatich šiestich jedincov bola vybraná tak, aby reprezentovala výškovú a hrúbkovú štruktúru jedincov na celej výskumnej ploche.

Na meranie dendrometrických veličín sa používali rôzne pomôcky, okrem spomínaného mobilného komunikátora Gotive SQ31, na zaznamenávanie údajov v teréne, sa na meranie výšok jedincov používala kovová výtyčka s delením po 20 cm a farebným odlíšením jednotlivých dielov. Na meranie hrúbok jednotlivých prútov sa používalo digitálne posuvné meradlo. Výšky boli merané s presnosťou na jeden centimeter a hrúbky s presnosťou na dve desatiny milimetra.

2.3 Postup výpočtu objemu

Z reprezentatívnej vzorky 36 náhodne vybraných jedincov sa stanovil objem jednotlivých sekcií stereometrickým spôsobom a ich sčítaním sa potom stanovil objem celých prútov. Objem jednotlivých sekcií na jednom prúde sa vypočítal trojakým spôsobom. Kvôli chýbajúcemu priemeru prúta tesne nad zemou, sa spodná sekcia o dĺžke 40 cm, so stredom vo výške 20 cm (prvé meranie), vypočítala Huberovou metódou. Táto metóda spočíva v tom, že z odmeraného priemeru, v polovici dĺžky sekcie, sa vypočíta plocha kruhovej základne, ktorá sa následne prenásobí dĺžkou sekcie. Tak získame objem sekcie ktorá predstavuje spodných 40 cm prúta.

$$g_{1/2} = \frac{\pi}{4} d_{1/2}^2, \quad (1)$$

$g_{1/2}$ – kruhová základňa v polovici dĺžky sekcie [m^2],

$d_{1/2}$ – priemer v polovici dĺžky sekcie [cm].

$$gv = g_{1/2} * L, \quad (2)$$

v – objem [m^3],

L – dĺžka sekcie [m].

Objemy ďalších sekcií, okrem poslednej sekcie, sa vypočítajú pomocou Smalianovej metódy a to tak, že sa berú do úvahy dve priemery a tým aj kruhové základne a to na spodnom a hornom konci sekcie.

$$v = \frac{g_o + g_n}{2} * L, \quad [\text{m}^3] \quad (3)$$

g_o – kruhová základňa na spodnom konci sekcie [m^2]

g_n – kruhová základňa na hornom konci sekcie [m^2]

$$v = \frac{1}{3} g_o * L,$$

Objem poslednej sekcie bolo potrebné stanoviť ako objem rotačného kužeľa, pričom priemer teda aj kruhová základňa sa meria na báze sekcie.

$$v = \frac{1}{3} g_o * L, \quad [\text{m}^3] \quad (4)$$

Takýmto spôsobom dostaneme objemy po jednotlivých sekciách. Keď objemy po jednotlivých sekciách zrátame dostaneme objem celého prúta. Spočítaním objemov prútov v reprezentatívnej vzorke dostaneme jej celkový objem na základe ktorého môžeme odvodiť objem stredného kmeňa. Vynásobením hodnoty objemu stredného kmeňa celkovým počtom jedincov na výskumnej ploche dostaneme celkový objem dendromasy na

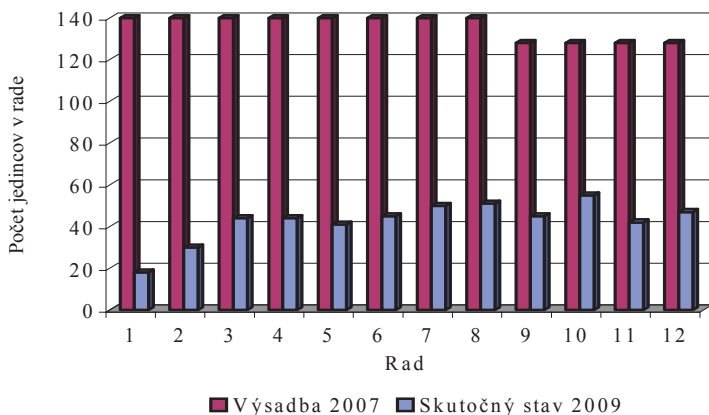
ploche. Takýto spôsob, rozdelenia kmeňa na menšie sekcie a určenia ich objemu, sa zvolil hlavne kvôli väčšej presnosti dosiahnutých výsledkov. (ŠMELKO 2007)

3 VÝSLEDKY A VYHODNOTENIE

Sledovaná výskumná plocha pri Budči je v súčasnosti tvorená dvanástimi radmi (z pôvodných 18). Kvôli nízkej ujatosti a veľkej mortalite a tiež kvôli lepšie zvládnuteľnému obhospodarovaniu a evidencii, sa východná časť plochy (6 radov) v roku 2008 zrušila a pripravila sa na opakovanú výsadbu. Z pôvodných 18 radov zostalo terajších 12, ktoré ešte bolo potrebné z južnej časti skrátiť, na súčasný počet 100 kusov prútov v každom rade kvôli horeuvedeným dôvodom. V marci 2009 sa spomínaných 12 radov dopĺňalo odrezkami ktoré boli odobraté z tejto plochy, no pre nedostatok sadbového materiálu je ešte potrebné ich doplniť. Pre ďalšie obhospodarovanie by bolo vhodné doplniť neujaté jedince, okrem spomínaného aj na ostatnej ploche (plnohodnotné využitie produkčnej plochy) a v južnej časti plochy odstrániť vysoké výby a jelše tak aby netienili jedincom na ploche. V záujme vytvorenia silných prútov následnej generácie by bolo vzhľadom na vytvorený koreňový systém, vhodné zrezať jednoročné výhonky na 3–5 očiek od zeme.

3.1 Ujatosť prútov na ploche

Ujatosť v existujúcich 12 radoch je 29,44% (obr. 1) v porovnaní s hodnotami na konci vegetačného obdobia v roku 2007 (po výsadbe), kedy ujatosť bola 83,5%, badať jej značné zníženie. Nízka ujatosť na tejto ploche sa dá prisúdiť hlavne silnému ataku buriň a neskorému oploteniu plochy. V prvých dvoch radoch bol hlavnou príčinou nízkych hodnôt ujatosti pohyb mechanizačných prostriedkov na kraji plochy, ako aj fakt že tieto rady sa nachádzajú v severnej časti plochy ktorá bezprostredne hraničí s lesným porastom, čiže jej vplyv, hlavne z hľadiska obmedzenia prístupu svetla na plochu je jasne badateľný. Celkovo najnižšia ujatosť je v prvom rade a to 12,9%. V ďalších radoch, ktoré priamo nehraničia s lesným porastom, vidieť vplyv lepších životných podmienok. Ujatosť v týchto radoch má síce kolísavý charakter, ale tento jav je možné pripísať individuálnym negatívnym vplyvom (nesúvisiacim s umiestnením radov alebo s činnosťou človeka v ich blízkosti). Najvyššiu ujatosť má desiaty rad a to 43%. Pri poslednom rade je síce ujatosť pomerne vysoká, čo spôsobuje fakt, že na začiatku radu je málo neujatých jedincov, ale na južnom konci v poslednej tretine radu chýbajú všetky jedince. Je to hlavne z dôvodu rušenia časti plochy (ako už bolo vyššie spomenuté) a s tým spojený pohyb mechanizačného prostriedku, ktorý poškodil a zničil jedince z konca radu.

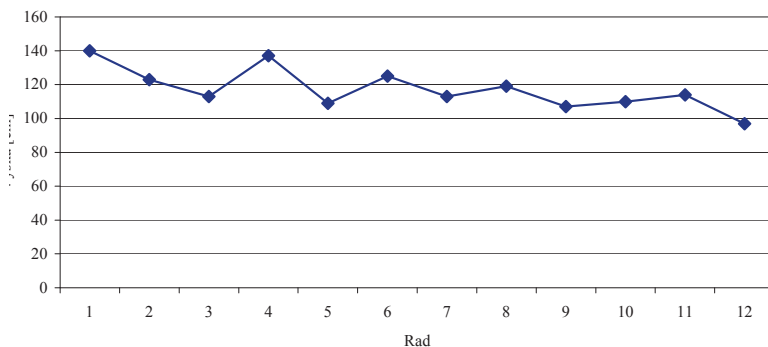


Ob. 1 Ujatosť v jednotlivých radoch

Abb. 1 Anwuchserfolg in die einzelne Reihe

3.2 VÝŠKOVÁ ŠTRUKTÚRA PORASTU

Okrem ujatosti sa veľká pozornosť venovala výškovej štruktúre jednotlivých radov, lebo výška najlepšie vystihuje rast jedinca (na našej ploche a pri týchto podmienkach). Na namerané hodnoty mali vplyv hlavne negatívne faktory ktoré pôsobili celoplošne. Na výškovú štruktúru nemal až taký veľký vplyv umiestnenie radu ako pri ujatosti, skôr mali vplyv na tieto hodnoty individuálne rušivé faktory (poškodenie zverou, konkurencia buriny v mladosti, atď.). Základné dendrometrické charakteristiky boli merané v každom rade, na každom jedincovi spôsobom a pomôckami opísanými v predchádzajúcej kapitole. Priemerné výšky prútov v jednotlivých radoch znázorňuje graf č.2. Tá skutočnosť že najväčšiu priemernú výšku (140 cm) má prvý rad sa dá pripísať tomu že v v tomto rade je najmenej jedincov a zhodou okolností je tam málo jedincov s malou výškou a naopak veľa jedincov s veľkou výškou. Na druhej strane najmenšiu priemernú výšku (97 cm) má dvanásty rad a to z toho dôvodu, že sa rušil porast na ploche od tohto radu ďalej (ako už bolo spomenuté). Priemerná výška ostatných radov bola ovplyvnená množstvom negatívnych aj pozitívnych faktorov. Nameraná priemerná výška na celej ploche bola 117cm.

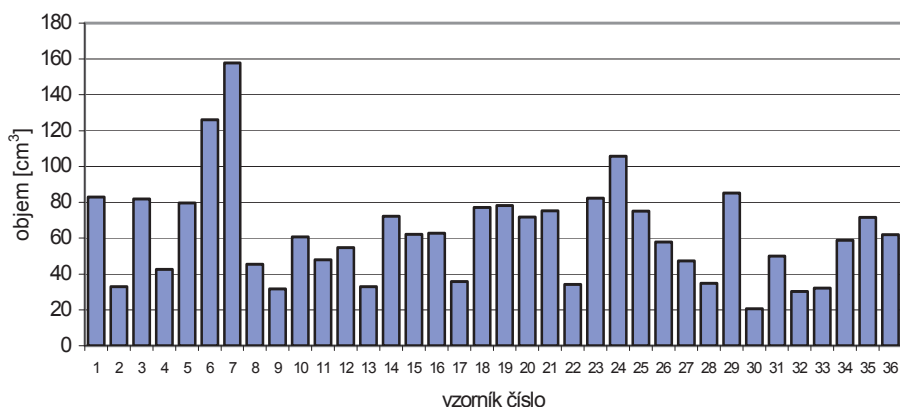


Ob. 2 Priemerné hodnoty výšok v jednotlivých radoch

Abb. 2 Durchschnittliche höhe in die einzelne Reihe

3.3 OBJEMOVÁ ŠTRUKTÚRA PORASTU

Podklady pre vymodelovanie objemovej štruktúry porastu sa získali spôsobom opísaným v predchádzajúcej kapitole na reprezentatívnej vzorke náhodne vybraných 36 jedincov. Kvôli čo najväčšej presnosti sa zvolil taký spôsob výpočtu, že najprv sa určil objem spodnej 40 cm dlhej sekcie pomocou Huberovej metódy. Potom sa vypočítali po jednom nasledujúce 20 cm sekcie pomocou Smalianovej metódy a na koniec sa stanovil objem poslednej sekcie pomocou určenia objemu rotačného kužeľa. Následne sa objemy jednotlivých sekcií zráтали a tak sme získali objem celého prúta. Týmto spôsobom sa vypočítal objem každého prúta. Z týchto objemov sa určil priemerný objem prúta ktorý je $62,77 \text{ cm}^3$. Vynásobením priemerného objemu celkovým počtom prútov získame objem dendromasy na ploche, čo v našom prípade, pri priemernej objemovosti prútov $62,77 \text{ cm}^3$ a celkovej početnosti prútov na ploche 512 kusov, činí 32138 cm^3 . Najväčší objem má prút číslo 7 ($157,87 \text{ cm}^3$) a naopak najnižší objem má prút číslo 30 ($20,55 \text{ cm}^3$).



Obr. 3 Objemy prútov v reprezentatívnej vzorke

Abb. 3 Stecklingsvolumen in der Repräsentativprobe

4. DISKUSIA

Výsledky vyplývajúce z tejto práce sú vhodným východiskom pre overovanie dostupných sortimentov výby (*Salix viminalis* L.) v podmienkach VŠLP TU Zvolen, pri pestovaní na poľnohospodárskej pôde. Dôraz sa kladie hlavne na opis plochy, agrotechnické postupy pri výsadbe, pestovaní, hnojení, zbere a overiť zdravotný stav odrôd. Výsledky tejto práce nám poskytujú informácie o ujatosti (29,44%), tieto hodnoty sú oproti hodnotám z roku 2007 (83,5%) výrazne nižšie. Nevýhodnocovala sa ujatosť pre jednotlivé klony (TORDIS, SVEN) a to z toho dôvodu, že skoro celá plocha vysadená klonom SVEN bola zrušená. Dôvody týchto nízkych hodnôt, a dôvody zrušenia časti plochy boli v predchádzajúcich kapitolách rozpísané. Ďalej boli vyhodnotené niektoré dendrometrické charakteristiky, jedná sa hlavne o výškovú štruktúru ktorá je vyhodnotená pre každý rad zvlášť. Priemerná výška prútov na ploche je 117 cm. Hrúbkovej štruktúre sa v tomto prípade

neprípísať veľkú dôležitosť, kvôli nízkym hodnotám nemá hrúbka veľkú výpovednú hodnotu o štruktúre porastu. Preto má hrúbka len informatívny charakter. Okrem toho sa zisťoval aj objem prútov. Na základe zisteného priemerného objemu (objemu stredného prúta) na ploche, čo je $62,77\text{cm}^3$ sa stanovil aj objem prútov na celej ploche $32\,138\text{cm}^3$. Tieto hodnoty budú pri ďalších meraniach a vyhodnoteniach na tejto ploche slúžiť ako východiskový stav a na základe nich bude možné vyhodnotiť rast a prírastky, či už výškové alebo objemové, na tejto ploche.

Problematickou pestovania rýchlorastúcich vrb sa zaoberali v podmienkach Slovenska aj OTEPKA, HABÁN 2005, ktorí hodnotili vhodnosť agrotechnických podmienok pre pestovanie rôznych odrôd vrby (*Salix viminalis* L.) Na základe ich údajov sa priemerné hodnoty výšky 5 ročnej vrby pohybovali v rozmedzí 1,6 – 2,24 m pričom objemová produkcia v piatom roku bola v prepočte na ha 3,02 – 13,10 ton sušiny. Tieto výsledky však zatiaľ pre krátkosť realizácie nášho projektu nemôžeme navzájom porovnať.

Je však potrebné podotknúť, že tieto výsledky boli získané za krátke časové obdobie (plocha bola založená v roku 2007) a z jednej plochy, kde zohráva dôležitú rolu veľa externých činiteľov (poloha, nadmorská výška, pôdna a klimatické faktory...). Z toho vyplýva že získané údaje nie je možné považovať za všeobecné, skôr majú mať informatívny charakter.

5. ZÁVER

Pestovanie porastov rýchlorastúcich drevín bude mať pre niektoré oblasti Slovenska nesporné svoj význam, hlavne pre nenáročnosť pestovania a kvôli tomu že na Slovensku je v súčasnosti viac ako 350 tisíc hektárov pôdy vhodnej na zakladanie porastov RRD. Z hľadiska zrážok a teplotných pomerov na tento účel sú vhodné najmä podhorské a horské oblasti Slovenska, plochy občas podmáčané, ďalej plochy zamorené či už exhalátmi, alebo výsypkami komunálnych a priemyselných odpadov. (DANIEL ET AL. 2002)

V budúcnosti požadované zastúpenie obnoviteľných zdrojov energie v energetike pridáva problematiku energetických plantáží rýchlorastúcich drevín (RRD) na dôležitosť. Hlavným dôvodom prečo ich zakladať je vysoká produkcia dendromasy až 10 ton sušiny z hektára ročne. Popri produkčnej funkcii majú plantáže i neodmysliteľné mimoprodukčné funkcie, ktoré zväčšujú ich význam v celospoločenskom meradle. Možno ich využiť ako vhodné prvky krajinyotvorby, protierózne porasty, biologické čističky odpadových vôd a pod.

Výsledky prezentované v tejto práci boli odvodené z meraní a pozorovaní porastu vrby košíkárskej (*Salix viminalis*) na výskumnej ploche pri Budči, za časové obdobie od roku 2007 (založenie plochy) po rok 2009 (dopĺňanie chýbajúcich jedincov). Sledovali sa hlavne základné dendrometrické charakteristiky, ako je výška prútov, hrúbka prútov a objem jednotlivých prútov ako aj celkový objem dendromasy. Ďalej sa vyhodnotila ujatnosť v jednotlivých radoch a tiež celkový stav plochy. Z tejto práce vyplývajú nasledovné závery:

- priemerná výška prútov na ploche je 117 cm
- objem priemerného prúta je $62,77\text{cm}^3$
- celkový objem dendromasy je $0,03214\text{m}^3$
- ujatosť na ploche je 29,44%

Výskum v tejto práci je zameraný na overovanie vhodnosti pestovania vŕby košíkárkej (*Salix viminalis* L.) na poľnohospodárskej pôde, v podmienkach Slovenska.

Príspevok bol spracovaný ako súčasť projektov IPA 460/2007 Energetické plantáže rýchlorastúcich drevín a IPA 460/2008 Energetické plantáže RRD – Feasibility study. Pomocou týchto projektov bolo možné založiť demonštračné objekty – plantáže rýchlorastúcich drevín pre zabezpečenie výskumu a výučby v podmienkach VŠLP TU Zvolen.

Aby boli energetické plantáže plne hodnotnými súčasťami našej budúcnosti, musia byť vykonané zmeny vo viacerých sektoroch národného hospodárstva. Zo strany štátu je potrebná podpora ekologického vedomia občanov a ekonomická podpora subjektov hospodáriacich na plochách využiteľných ako plantáže rýchlorastúcich drevín formou dotácií.

Použitá literatúra:

1. BOBÁK, J., 2008: Zakladanie plantáží rýchlorastúcich drevín pre energetické využitie. In.: Diplomová práca, TU Zvolen, 80s.
2. DANIEL, J. – HRABOVŠTIK, J. – TOMAŠKIN, J., 2002: Biotechnologické postupy pestovania introdukovanej severskej vŕby (*Salix viminalis* L.). In. Záverečná správa. Výskumný ústav trávnych porastov a horského poľnohospodárstva, Banská Bystrica, 24 pp.
3. Akčný plán využívania biomasy 2008 [online]. [cit.6.4.2009 / 20:08]. Dostupné na internete:<<http://www.rokovania.sk/Appl/material.nsf/0/ABAA362B31145E56C12573F0004913CA?OpenDocument>>.
4. LIESKOVSKÝ, M., SLANČÍK, M., SUCHOMEL, J., 2009: Zhodnotenie podmienok pre zakladanie plantáží rýchlorastúcich drevín na VŠLP TU vo Zvolene, In: Krajina, les a lesní hospodárstvi, ISBN 978-80-213-1894-6: 130-135
5. OTEPKA, P. – HABÁN, M., 2005: Pestovanie rýchlorastúcej vŕby košíkárskej (*Salix viminalis* L.) na energetické účely (Cultivation of fast growing basket willow (*Salix viminalis* L.) for energy purposes). In: Využití fytomasy pro energetické účely (Sborník vědeckých publikací z mezinárodního semináře „Nepotravinářské využití fytomasy“). České Budějovice: ZF JU a Praha: VÚZE, s. 33-38. ISBN 80-7040-833-2.
6. SUCHOMEL, J., GEJDOŠ, M., 2008: Analýza vývoja technických podmienok a cien sortimentov surového dreva, TU vo Zvolene, ISBN 978-80-228-1909-1: 131 pp.
7. SUCHOMEL, J., SLANČÍK, M., 2007: Propozycja projektu modernizacji prowadzenia ewidencji gospodarstwa lesnego, ewidencji zapasow i operatywnego kierowania odwozem i sprzedaza surowego drewna. In: Uzytkowanie maszyn rolniczych i lesnych, Krakow, ISSN 1733-5183: 167 – 176
8. ŠMELKO, Š., 2007: Dendrometria. TU Zvolen, 400s
9. TRENČIANSKY, M., LIESKOVSKÝ, M., ORAVEC, M., 2007: Energetické zhodnotenie biomasy, Národné lesnícke centrum, 145 pp

Adresa autorov:

Ing. Jozef Špišák, Katedra pestovania lesa

Ing. Martin Lieskovský, PhD. Katedra lesnej ťažby a mechanizácie

Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masatyka 24, 960 53 Zvolen.

xspisak@is.tuzvo.sk,

lieskov@vsld.tuzvo.sk

Auswertung des Potenciales und möglichkeiten für die Gründung von schnellwachsende baumarten Plantagen.

Zusammenfassung

Die Arbeit beschäftigt sich mit der Bedingungsbewertung für die Plantagegründung der schnellwachsenden Baumarten. Es wird die Beschaffung von Angaben aus Demonstrationsobjekt Budca beschrieben. Demonstrationsobjekt war in dem 2007 Jahr gegründet als Plantage der schnellwachsenden bäumen. Hauptteil der Arbeit ist Untersuchung von Annahme, Höhe- und Volumenzuwachs der Weide (*salix viminalis*) auf der Forschungsfläche von dem Universität Forstbetrieb. Bei der Gewinnung von Angaben waren mobile Mittel für Sammlung und Verarbeitung von Dateien GOTIVE benutzt. Die Ergebnisse wie durchschnittliche Höhe von Strauchholz, Annahme, durchschnittlichen und gesamten Volumen der Biomasse sind anschaulich verarbeitet in der Form von Graphen. Die Ergebnisse werden als Quellenmaterial für die weiteren Analysen dienen.

POSÚDENIE PRESNOSTI AEROTRIANGULÁCIE NA ZÁKLADE ZNÁMYCH ÚDAJOV EXTERNEJ ORIENTÁCIE

Jozef ŠADIBOL – Florián BECZE

ŠADIBOL, J. – BECZE, F.: Posúdenie presnosti aerotriangulácie na základe známych údajov externej orientácie. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, LI, 2009, Suppl. 1, s. 115–125.

V súčasnej dobe sú v digitálnych leteckých kamerách integrované aj prijímače GPS/IMU, ktoré poskytujú informácie o polohe a vychýlení kamery. Systém GPS/IMU zaznamenáva informácie o externej orientácii. Prvky externej orientácie udávajú polohu fotogrametrických zväzkov lúčov v priestore. Využitie týchto informácií v procese tvorby ortofotosnímky by mohlo zvýšiť efektivitu spracovania z časových aspektov. Aj napriek dostupnosti údajov z jednotky GPS/IMU vličovacie body stále majú svoje opodstatnenie pri kontrole a overovaní kvality aerotriangulácie. Predložená práca sa zaoberá posúdením presnosti aerotriangulácie vytvorenej na základe známych údajov externej orientácie a rôzneho počtu vličovacích bodov.

Kľúčové slová: aerotriangulácia, vonkajšia orientácia, inerciálna meračská jednotka (IMU)

1. ÚVOD A CIEĽ

V súčasnej dobe zaznamenávame výrazný vývoj fotogrametrického spracovania priestorových objektov na zemskom povrchu. Vidíme neustály pokrok informačných technológií, ktoré sa prejavujú vo všetkých oblastiach vedy a techniky. Tento rozvoj technológií sa výrazne prejavil v oblasti digitálnej fotogrametrie. Dnes sa na trhu stretávame s pomerne početným výberom digitálnych kamier (UltraCam, DMC, ADS 40). S využitím technológie GNSS a inerciálnych meračských jednotiek (IMU) pri určení okamžitej polohy kamery zrýchľujú a spresňujú fotogrametrický proces spracovania digitálnych snímok. Jednotky GPS/INS sa stali čoraz viac využívané. Údaje z GPS/INS určujú polohu fotogrametrickej kamery v čase expozície počas letu. Parametre externej orientácie získané z jednotiek GPS/INS s dostatočnou presnosťou sú opodstatnené aj z ekonomického hľadiska, nakoľko využitím údajov z týchto meračských jednotiek je možné znížiť počet vličovacích bodov.

V súčasnej etape vývoja digitálnej fotogrametrie síce nie je potrebné mať také veľké množstvo vličovacích bodov ako v etape analógovej fotogrametrie, ale stále je potrebný ich určitý, hoci minimálny počet najmä pre úspešné riešenie digitálnej automatickej aerotriangulácie (KLUSON, ET AL. 2004).

Predložená práca sa zaoberá posúdením presnosti aerotriangulácie vytvorenej na základe známych údajov externej orientácie a zároveň vplyvom vličovacích bodov na presnosť aerotriangulácie.

2 EXPERIMENTÁLNY MATERIÁL

2.1 Snímkový materiál

Predstavuje panchromatické a multispektrálne snímky z digitálnej kamery Ultra-CamD od firmy Vexcel zachytávajúce územie Vysokoškolského lesníckeho podniku vo Zvolene. Dané územie je nasnímané v 10 radoch po 63 snímkach s 85 % pozdĺžnym a 35 % priečnym prekrytom. Digitálne snímky sú v úrovni spracovania 2 (Level 2 – označenie výrobcu) po odstránení geometrických a rádiometrických nepresností. Bežne výrobcu produkuje na trhu snímky Level 3, čiže po panchromatickom zaostrení a po obrazovom vylepšení s 8 bitovou farebnou hĺbkou jednotlivých kanálov.

Parametre panchromatickej snímky

Rozmer snímky : 7500*11500 pixelov (67,5*103,5 mm)

Veľkosť pixla : 9.000 μm * 9.000 μm

Konštanta fotokomory ck : 101,4 mm

Parametre multispektrálnej snímky

Rozmer snímky : 2400*3680 pixelov (67,5*103,5 mm)

Veľkosť pixla : 28.125 μm * 28.125 μm

Konštanta fotokomory ck : 101,4 mm

Rádiometrické rozlíšenie snímok, čiže farebná hĺbka pixla je 12 bitov v dynamickom rozsahu. Obrazový element (pixel) môže nadobudnúť hodnoty optickej hustoty v rozsahu 0-4096.

Tab. 1 Spektrálna rozlišovacia schopnosť snímok

Tab. 1 Spectral resolution image

Digitálna snímka	Spektrálne kanály	vlnová dĺžka v nm
panchromatická	panchromatický	390 – 690
multispektrálna	modrý	390 – 470
	zelený	420 – 580
	červený	620 – 690
	blízko infračervený	690 – 900

2.2 Vlíčovacie a kontrolné body

Vlíčovacie a kontrolné body boli zamerané pomocou merania GNSS statickou metódou, alebo to boli body štátnej priestorovej siete ŠPS. Na zameranie vĺčovacích bodov sa používa dvojfrekvenčný GNSS prijímač Topcon Hiper GGD. Ďalšie spracovanie meraných dát sa vykonáva v softvéri Topcon Tools 7.2. Súradnice bodov sú určené v súradnicovom systéme WGS84. Vlíčovacie body sa v teréne signalizovali krížmi bielej farby s ramenami dlhými 1m a širokými 30 cm. Dodatočne domerané vĺčovacie body boli dobre identifikovateľné objekty, zväčša sa jednalo o kanalizačné poklapy.

2.3 Technické a programové vybavenie

Pri spracovaní jednotlivých projektov sme používali vybavenie Laboratória GIS a DPZ TU vo Zvolene. Z hardvérových prostriedkov išlo o dve pracovné stanice :

Pracovná stanica č. 1:

- 2 procesory Pentium® III 2.66 GHz
- operačná pamäť - 3072 MB RAM
- systémový disk 750 GB, 2*750 GB SATA RAID
- grafický akcelerátor 3D Wildcat 7110, 256 MB
- monitor 24" SONY TRINITRON - panchromatický
- stereo okuliare s infračerveným ovládačom
- 10 tlačítkový 2 ručný kurzor

Pracovná stanica č. 2 :

- procesor Intel Core 2 6600, 2.4 GHz
- operačná pamäť – 2048 MB RAM
- systémový disk 320 GB SATA, 500GB SATA
- grafický adaptér ATI Radeon X1950 Pro
- monitor 24" HP LCD

Na spracovanie danej problematiky sme využili integrovaný digitálny fotogrametrický systém ImageStation SSK (Stereo Softcopy Kit) firmy Intergraph, ktorý je rozdelený do špecializovaných čiastkových modulov:

- tvorba stereomodelu prostredníctvom softvérových modulov ImageStation Photogrammetric Manager (ISPM), ImageStation Model Setup (ISMS), ImageStation Automatic Triangulation (ISAT), ImageStation Stereo Display (ISSD),
- zber priestorových údajov pomocou modulov ImageStation Feature Collection (ISFC), ImageStation DTM collection (ISDC), ImageStation Stereo Display (ISSD), ImageStation Automatic Elevations (ISAE), ImageStation Base Rectifire (ISBR)
- Microstation V8.1 – CAD prostredie pre niektoré moduly ImageStation (ISSD, ISDC, ISEE, ISFC),
- PCI Geomatica V10.1 softvér riešený modulárne na spracovanie leteckých a družicových snímok.
- Topcon Tools v.7.2 – softvér na spracovanie meraných dát z GNSS prijímačov
- Microsoft Office 2003

3 ROZBOR PROBLEMATIKY

3.1 Digitálna fotogrametria

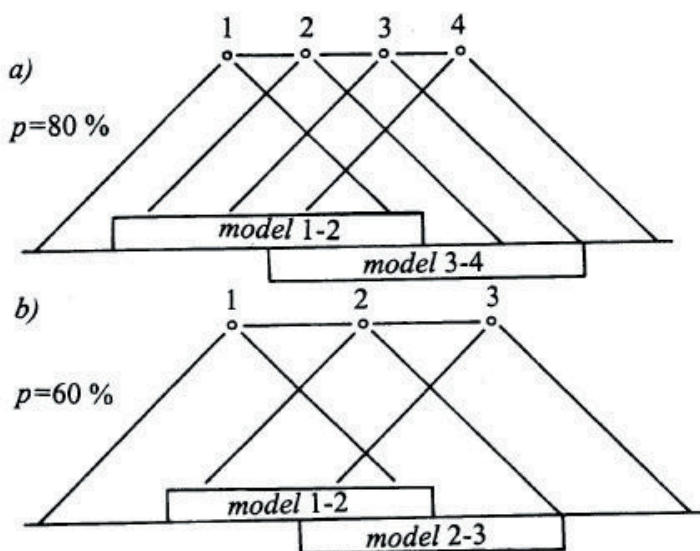
Fotogrametrické metódy zberu dát prešli za pomerne krátke časové obdobie prudkým vývojom od analógových, cez analytické, v súčasnej dobe k digitálnym fotogrametrickým metódam.

Podľa *TERMINOLOGICKÉHO SLOVNÍKA GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A KATASTRA (1998)* “digitálna fotogrametria je proces vyhodnotenia digitálneho obrazu v počítači bez ľudskej asistencie, digitálny obraz sa získa buď priamo digitálnou kamerou prípadne iným snímačom (primárna digitalizácia), alebo digitalizáciou snímky (sekundárna digitalizácia)“.

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

3.2 Aerotriangulácia

Pod pojmom aerotriangulácia rozumieme zhušťovanie bodového poľa s využitím leteckých fotogrametrických snímok. Aerotriangulácia (obr. 3.2) umožňuje určiť tri pravouhlé priestorové súradnice x , y , z . Ide o postupné pripájanie jednotlivých čiastkových modelov vzniknutých z dvoch susedných snímok do celkového modelu zobrazujúceho súvislý pás snímaného územia.



Obr. 3.2 Princíp aerotriangulácie
Fig. 3.2 Procedure aerotriangulation

Podľa druhu používaných vyhodnocovacích prístrojov sa aerotriangulácia delí na :

- a) *Analógovú*
- b) *Analytickú*
- c) *Digitálnu*

3.2.1 Analógová aerotriangulácia

Analógovú aerotrianguláciu využíva projekčné analógové priestorové vyhodnocovacie prístroje. Tieto umožňujú zmenu pozorovania ľavého a pravého projektora, teda priradovanie snímkového modelu. Princíp spočíva v tom, že k jednému absolútne orien-

tovanému priestorovému modelu priradíme ďalšiu snímku a ďalšie modely. V celkovom modeli, kde potrebujeme zhustiť bodové pole určíme potrebný počet nových vĺčovacích bodov buď registráciou odčítaných prístrojových súradníc, alebo ich vynesením na kresliacom stole (ŽÍHLAVNÍK 2004).

3.2.2 Analytická aerotriangulácia

Výpočtová technika podnietila rozvoj metód analytickej aerotriangulácie. Vstupné hodnoty analytickej aerotriangulácie sú snímkové súradnice. Merajú sa na precíznych monokomparátoroch alebo stereokomparátoroch s presnosťou ± 1 až 2 mm. Celá práca spočíva v meraní snímkových súradníc ako vstupných údajov. Ďalej nasleduje matematické riešenie priestorových vzťahov medzi susednými snímkami, výpočet priestorových súradníc a odstraňovanie chyby vyrovnaním. Skúsenosti z využitia analytickej aerotriangulácie potvrdzujú jej vysokú efektívnosť pri zhustovaní v jednotlivých pásoch, ale najmä v blokoch zložených z viacerých pásov, pričom stačí menší počet a všeobecnejšie rozloženie daných bodov ako pri prístrojovej aerotriangulácii.

Výsledky a skúsenosti potvrdzujú vyššiu efektívnosť a užitočnosť tejto metódy. Prejavuje sa to pri zhustovaní v jednotlivých pásoch, ale aj v blokoch zložených z viacerých pásov.

Bloková analytická aerotriangulácia slúži k zhusteniu bodového poľa vĺčovacích bodov, ktoré sa používajú pre podrobné vyhodnotenie. Použitie blokovej aerotriangulácie pri fotogrametrickom zhustovaní bodového poľa má priaznivý vplyv na homogénnosť výsledkov. Blok tvorí niekoľko snímkových pásov s príslušným priečnym prekrytom. Spôsoby riešenia z hľadiska vytvorenia bloku a jeho vyrovnania sa delia na etapové riešenie a na metódu zväzku lúčov (Schmidova metóda)

3.2.3 Digitálna aerotriangulácia

S rozvojom využitia digitálnych obrazov a nárastom výkonného počítačového hardvéru a softvéru sa stala vo fotogrametrii nevyhnutnou automatizáciou jej procesov. Preto digitálna fotogrametria a digitálne fotogrametrické systémy utvorili nové predpoklady pre využitie digitálnej aerotriangulácie tým, že manuálne spracovanie v analytickej fotogrametrii bolo nahradené automatizovanými postupmi, najmä aplikáciami digitálnej obrazovej korelácie a digitálneho obrazového priradovania – image matching. Digitálnou automatickou aerotrianguláciou generujeme blokovú konfiguráciu snímok, umožňuje automaticky vyhľadávať spojovacie body bloku s presnosťou pod úrovňou priestorového rozlíšenia obrazového prvku snímky, tzv. sub – pixelovú presnosť. Celý postup digitálnej automatickej aerotriangulácie predstavuje hlavne automatické riešenie vzájomnej orientácie v bloku snímok, pri ktorej sa automaticky vyberajú spojovacie body v pásmach dvojnásobného, trojnásobného a priečného prekrytu a navzájom sú priradované do susedných snímok. Výsledkom riešenia sú vytvorené stereodvojice, resp. blok snímok (KARDOŠ, CHUDÝ, 2007). V riešení sa zavádzajú opravy z refrakcie, distorzie objektívu a zakrivenia Zeme. Vstupné dáta pre digitálnu aerotrianguláciu sú digitálne snímky (naskenované analógové snímky alebo získane priamo z digitálnej kamery), súradnice vĺčovacích bodov a prvky vonkajšej orientácie snímky. Digitálna aerotriangulácia je riešená programovo a obsahuje tieto programové kroky:

- Automatickú vnútornú orientáciu snímok na základe odmeraných rámových značiek pri naskenovaní analógových snímok. Týmto spôsobom sa prevedie digitálna snímka do známeho súradnicového systému. Snímky získane priamo z digitálnej kamery sú už v známom súradnicovom systéme, takže nie je potrebné riešiť vnútornú orientáciu snímky.
- Automatický výber spojovacích bodov v bloku, ktoré sú vhodné na aerotrianguláciu. Výber bodov využíva digitálnu obrazovú koreláciu. Počet a kvalitu spojovacích bodov je možné ovplyvniť a závisí od druhu digitálnej snímky. Pri farebných snímkach je počet vyhládaných spojovacích bodov až 4 – násobne vyšší ako pri čiernobielych snímkach.
- Importovanie vličovacích bodov, pomocou ktorých sa stereomodel prevedie do geodetického súradnicového systému.
- Automatický prenos spojovacích bodov v rámci stereoskopického, trojnásobného pozdĺžneho prekrytu a priečného prekrytu snímok. Prenos je spojený s blokovým vyrovnaním spojovacích a vličovacích bodov. Zvýšenie spoľahlivosti blokového vyrovnania sa dá zaistiť zväčšením počtu spojovacích bodov,
- Zhustenie vličovacích bodov.
- Kontrola blokovej aerotriangulácie pomocou kontrolných bodov, ktoré sa nezaradujú do automatického výpočtu aerotriangulácie.

Image Station SSK počas výpočtu podáva správu o kvalite a stave výpočtu. Automaticky analyzuje priebeh aerotriangulácie a odhaľuje výskyt hrubých chýb. Cieľom blokovej aerotriangulácie je vytvoriť stereomodely snímok bez vertikálnych paraláx, prevedenie priestorového modelu do geodetického súradnicového systému a podklad pre tvorbu digitálnych modelov terénu a následne pre tvorbu ortofotosnímky.

3.3 Panchromatické zaostrovanie (PAN-SHARPENING) digitálnych snímok

Pan-sharpening (image fusion) je technika digitálneho spojenia obrazových dát, ktorá kombinuje panchromatické (čiernobiele) dáta s vyšším geometrickým rozlíšením a multispektrálne (farebné) dáta s geometrickým rozlíšením nižším. Výsledným produktom sú multispektrálne dáta s rozlíšením odpovedajúcim pôvodnému rozlíšeniu dát panchromatických (ŠADIBOL, BECZE, 2007).

4 METODIKA PRÁCE

Na spracovanie danej problematiky sme použili letecké meračské snímky získané z kamery UltraCamD. Snímky predstavovali časť územia Vysokoškolského lesníckeho podniku TU Zvolen. Jednalo sa panchromatické a multispektrálne snímky v úrovni spracovania 2 (po odstránení geometrických a radiometrických nepresností). Naším krokom bolo vykonanie panchromatického zaostrovania (pansharpeningu) a následne vytvorenie farebných syntéz, ktorých veľkosť obrazového prvku (pixla) sa rovná veľkosti panchromatickej snímky. Panchromatické zaostrovanie sme vykonali v softvéri prostredí Geomativa V 10, konkrétnejšie PCI Modeller, nástroj obsahujúci štandardné operácie ako dávkový import, export dát s využitím algoritmov (pansharp, scale) (BECZE, ŠADIBOL, 2007).

Dôležitou časťou prípravy fotogrametrického projektu je signalizácia vľicovacích a kontrolných bodov. Vľicovací bod je bod stanovenej presnosti vhodne umiestnený v teréne, v prípade potreby aj fotogrametricky signalizovateľný a na meračskej snímke identifikovateľný (ŽIHĽAVNÍK, Š. 2004).

Zriaďované vľicovacie body musia byť volené tak, aby ich poloha na snímke bola dobre identifikovateľná. Na ich signalizáciu sa využívajú biele križe s ramenami dlhými 1 m a širokými 0,30 m, v strede s čiernou fóliou o rozmere 15*15 cm, prípadne kruhového alebo štvorcového tvaru najčastejšie bielej alebo žltej farby. Často sa stretávame s dodatočným domeraním vľicovacích bodov po snímkovom lete, kde je vhodné voliť za vľicovacie body kruhové útvary, najčastejšie kanalizačné šachty, kruhové obruče, ktoré sú dobre identifikovateľné na snímke. Výhodne je využiť i existujúcu sieť bodov štátnej priestorovej siete (ŠPS), pri budovaní ktorej sa počítalo aj s využitím pre účely vľicovacích bodov – stabilizácia skružou a použitie signalizačnej fólie.

Vľicovacie a kontrolné body boli zamerané pomocou merania GNSS s využitím služby SKPOS, alebo to boli body štátnej priestorovej siete ŠPS. Na lokalitách kde nie je v dostatočnej kvalite zabezpečená dostupnosť signálu GPRS sa použilo fázové meranie statickou metódou. Na voľných priestranstvách s dobrou kvalitou signálu GPRS sa uskutočnilo merania v reálnom čase s príjmom korekcií s SKPOS. Na zameranie vľicovacích bodov sa používa dvojfrekvenčný GNSS prijímač Topcon Hiper GGD. Ďalšie spracovanie meraných dát sa vykonáva v softvéri Topcon Tools 7.2. Súradnice bodov sú určené v súradnicovom systéme WGS 84 UTM 34N.

Po uskutočnení panchromatického zaostrovania leteckých snímok sa vytvorili jednotlivé projekty v softvéri ImageStation SKK. V rámci vytvorenia projektu nadefinujeme typ vstupných a formát výstupných dát, súradnicový systém a merné jednotky, v našom prípade súradnicový systém WGS 84 UTM 34N, následne editujeme parametre kamery (odchýlka merania pri vyrovnaní triangulácie, veľkosť odchýlky je 1/4 až 1/2 veľkosti pixla snímky, polomer Zeme, nadmorská výška letu, priemerná nadmorská výška terénu, oprava z refrakcie, oprava zo zakrivenia Zeme, maximálny počet iterácií pri výpočte vyrovnania metódy najmenších štvorcov (MNŠ), maximálna dovolená hodnota korekcie x, y, z pri výpočte vyrovnania MNŠ, maximálna dovolená hodnota korekcie w, f, k pri výpočte vyrovnania MNŠ).

Editácia kamery: parametre kamery sa preberú z kalibračného listu, ktorý poskytne vyhotoviteľ digitálnych snímok.

Nadefinovanie parametrov náletového plánu projektu: číslo rady, čísla snímok, označenie modelov a priradenie rastrových súborov k číslam snímok sa uskutoční v položke Edit → Strip Wizard.

Po na editovaní kamery a nadefinovaní náletového plánu projektu nainportujeme do projektu prvky vonkajšej orientácie. V našom prípade sme nainportovali súradnice stredov snímok X, Y, Z v súradnicovom systéme WGS 84 a uhly pootočenia ω, ϕ, χ . Uhly pootočenia kamery ω, ϕ, χ pomáhajú pri automatickom vyhľadávaní spojovacích bodov, ktoré spolu so súradnicami stredov snímok zlepšujú výsledky automatického vyhľadávania spojovacích bodov a vyrovnania metódy najmenších štvorcov.

Ďalší krok pozostáva z vytvorenia jednotlivých blokov merania v položke ISAT → Block preparation. Každý blok sa skladá zo skupiny snímok. V našom prípade sme mali vytvorený jeden blok. Rozdelenie snímok projektu na viac častí do blokov a ich oddelené

spracovanie je opodstatnené skôr a hlavne pri projektoch s veľkým počtom snímok. Bloky snímok sa na záver spoja a spracujú v hlavnom projekte. Pri vytváraní blokov sa musia susediace bloky prekrývať v pozdĺžnom smere aspoň v jednej rade a v priečnom smere aspoň v dvoch snímkach. Keďže sme mali snímky, ktoré boli priamo získane z digitálnej kamery, tak vnútorná orientácia snímok bola už automaticky vyriešená pri snímkaní.

Po vytvorení blokov merania sme v položke ISAT → Control panel dali automaticky vyhľadať spojovacie body, pričom pri vyhľadávaní bodov sme zahrnuli aj uhly pootočenía kamery. V procese generovania spojovacích – väzbových bodov (*Pass / Tie Points*) program automaticky vyhľadá identické body na priečných prekrytoch snímok (*Pass Points*), pozdĺžnych prekrytoch snímok medzi radami (*Tie Points*), priečných a pozdĺžnych prekrytoch blokov.

Na počet vyhľadávania bodov vplýva veľa faktorov (*DOBIAS, 2004*):

- Spôsob vyhľadávania bodov. Program generuje spájacie body vo všetkých rastroch pyramídy overview. Začína od vrchu na rastri s najmenším rozlíšením. Postupne hľadá identické body v častiach prekrytov snímok v každej vrstve rastrovej pyramídy smerom nadol až po raster z najväčším rozlíšením. Poloha nájdených bodov sa postupne v každej úrovni smerom nadol spresňuje a tak isto smerom nadol pribúda počet nájdených bodov. Nakoniec sa body zamerajú a vyrovnajú. Najviac bodov s najväčšou presnosťou merania sa dá dosiahnuť pri nastavení Overview to Stop na 1:1 (posledná vrstva rastrovej pyramídy, raster s najväčším rozlíšením), čo bolo aj v našom prípade.
- Počet na koľkých farebných pásmach sa uskutoční vyhľadávanie bodov. V našom prípade vyhľadávanie bodov sa uskutočnilo na 3 farebných pásmach (R,G,B).
- Použitie údajov externej orientácie získaných pri snímkaní. Použili sa súradnice stredov snímok, uhly pootočenia
- Po vyhľadávaní spojovacích bodov po blokoch program automaticky vypočítal stredné chyby blokového vyrovnania meraní. Táto chyba by nemala byť väčšia ako 1/3 veľkosti pixla. Počas automatického vyhľadávania sa môže stať, že sa nepodarí správne vygenerovať spojovacie body. Program na základe toho vytvorí „slabé oblasti tzv. *weak areas*“, v ktorých sa body určia manuálne.

Ďalší krok pozostáva z vyriešenia absolútnej orientácie editáciou vlicovacích bodov. Vlicovacie body (Control point) spolu s kontrolnými (Check point) sme naimportovali cez Translators → Import → Control points. Pri editácii kontrolných bodov sme si mohli zvoliť, či daný bod môže byť polohový, výškový alebo oboje. Kontrolné body sa nezúčastňujú výpočtu aerotriangulácie, slúžia len na overenie presnosti vykonania automatickej blokovej aerotriangulácie. Nasledujúcim krokom je meranie vlicovacích a kontrolných bodov cez ponuku ISAT → Point Measurement alebo cez ponuku Orientations → Multiphoto Orientation. Najlepšie je v ponuke Available Project Photos vybrať všetky, ktoré sa prenesú do Selected Session photos a následne na to si z týchto je dobré si vybrať tie, na ktorých sa dané body nachádzajú a postupne ich na snímkach zameriavať. ISAT pri postavení sa na číslo bodu a zvolení si tlačítka „Go To“ sám zobrazí všetky snímky, na ktorých sa daný bod nachádza a pre každú snímku ukáže približný detail, kde by sa tento bod mal nachádzať. Po zmeraní každého bodu je potrebné uložiť daný bod cez tlačítko „Apply“. Po zmeraní 4 bodov sa automaticky prepočíta vonkajšia orientácia a strednú kvadratickú chybu merania na každom bode.

V ponuke *Orientations* □ *Photo Triangulation* □ *Triangulation* sa prepočíta absolútna orientácia po všetkých blokoch (bloky sa pridali do hlavného projektu). Po skončení výpočtu výsledky sa skontrolujú v záložke *Summary Stat.* Kontroluje sa hodnota *Sigma*, počet bodov s hrubou chybou – *Image Blundered* a počet nepoužitých snímok – *Photos Not Used*. Hodnota *Sigma* má byť menšia ako 1/3 veľkosti pixla digitálnej snímky. Hodnota *Sigma* predstavuje strednú chybu vyhľadávania spojovacích bodov. Body s hrubou chybou v položke *Status* vylúčime z výpočtu tlačítkom „*Withhold*“. Ak je hodnota *Sigma* väčšia ako 1/3 pixla je potrebné z výpočtu vylúčiť istý počet bodov s najväčšou odchýlkou $V(xy)$, pokiaľ hodnota *Sigma* neklesne pod 1/3 veľkosti pixla digitálnej snímky.

Ďalší krok pozostáva zo zhutnenia bodového poľa vĺicovacích bodov cez záložku *Orientations* → *Photo Triangulation* → *Densify*, ktorá prepíše spojovacie body *Tie/Pass* na vĺicovacie body. Z vyrovnaných snímkových súradníc zo súboru *Triang* sa vypočítajú vyrovnané absolútne súradnice a zapisujú sa do súboru *Control*. Tieto body následne slúžia pre výpočet relatívnej a absolútnej orientácie jednotlivých modelov (*Bulk Orientation*).

Po zhutnení bodového poľa môžeme vykonať hromadnú orientáciu (*Bulk Orientation*), kde sa znova hromadne prepočíta relatívna a absolútna orientácia. Po vykonaní hromadnej orientácie sú stereomodely pripravené na tvorbu digitálnych modelov a následne z nich na tvorbu ortofotosnímkov.

4 VÝSLEDKY

Spolu bolo vytvorených 5 projektov s rôznym počtom vĺicovacích bodoch, pričom v prvom projekte boli použité výlučne údaje z externej orientácie. Všetky projekty predstavovali rovnakú časť územia Vysokoškolského lesníckeho podniku vo Zvolene. Na posúdenie presnosti aerotriangulácie sme použili kontrolné body rovnakého počtu i rozmiestnenia. Presnosť aerotriangulácie sme charakterizovali pomocou strednej kvadratickej chyby M_{xy} (RMS) na kontrolných bodoch (check). Následne sme hodnoty strednej kvadratickej chyby porovnávali so STN 01 3410 Mapy veľkých mierok – základné a účelové mapy.

Tab. 2 Hodnoty strednej kvadratickej chyby aerotriangulácie [m]

Tab. 2 Values of the root mean square error (RMS) aerotriangulation [m]

Výsledky aerotriangulácie					
Projekt č.	Počet vĺicovacích bodov	X/Omega [m]	Y/Phi [m]	Z/Kappa [m]	XY [m]
1	0	0.878	0.381	0.505	0.677
2	1	0.243	0.459	0.154	0.367
3	2	0.065	0.050	0.178	0.058
4	4	0.052	0.054	0.086	0.053
5	10	0.017	0.047	0.121	0.035

Tab. 3 Triedy presnosti podľa STN 01 3410 Mapy veľkých mierok – základné a účelové mapy
Tab. 3 Accuracy classes by STN 01 3410 „Large scale maps“

Triedy presnosti	m_{xy} [m]
1. trieda	0.04
2. trieda	0.08
3. trieda	0.14
4. trieda	0.26
5. trieda	0.50

Ako vidíme z jednotlivých projektov hodnota strednej kvadratickej chyby aerotriangulácie m_{xy} je najväčšia bez použitia vĺčovacích bodov meraných GNSS technológiu, použité boli len stredy snímkových súradníc určených počas snímkového letu pomocou DGPS. Postupným pridávaním vĺčovacích bodov do projektu sa zvyšuje presnosť aerotriangulácie. Pre zber podrobných bodov na tvorbu lesníckej digitálnej mapy postačuje 4. trieda presnosti mapovania $m_{xy} = 0,26\text{ m}$, ako vidieť z výsledkov táto presnosť bola dosiahnutá.

Je dôležité spomenúť, že na výslednú presnosť aerotriangulácie má výrazný vplyv množstvo vygenerovaných spojovacích bodov v priečnych a pozdĺžnych prekrytoch snímkového bloku. Taktiež je potrebné pripomenúť, že aj kontrolné a vĺčovacie body majú tiež strednú polohovú chybu, ktorá v našich projektoch predstavovala 3 cm. V zalesnených územiach je množstvo automaticky vygenerovaných spojovacích bodov menší počet (v niektorých prípadoch žiadny), preto je potrebné tieto body zadávať manuálne na spoločných prekrytoch.

5 ZÁVER

Digitálnu blokovú aerotrianguláciu sme vykonali na jednom bloku katastrálneho územia Kováčová. Môžeme konštatovať, že využitie údajov externej orientácie získanej pomocou diferenciálneho GPS a inerciálnej meračskej jednotky (IMU) (súradnice x, y, z a uhly ω, φ, χ - rotácie osi záberu v priestore), má svoje opodstatnenie v procese aerotriangulácie. Využitím týchto údajov klesol potrebný počet vĺčovacích bodov na blok a zároveň sa zvýšila presnosť výslednej aerotriangulácie. Pri súčasnom stave fotogrametrických softvérových prostredí a využívaných algoritmov ešte stále nie je možné spoliehať sa výlučne na údaje externej orientácie, pretože akokoľvek presné sú údaje z inerciálnej meračskej jednotky, vĺčovacie body naďalej hrajú kľúčovú rolu pri digitálnej blokovej aerotriangulácii a procese tvorby výslednej ortofotosnímky. Parametre externej orientácie získané z jednotiek GPS/INS s dostatočnou presnosťou sú opodstatnené aj z ekonomického hľadiska nakoľko využitím údajov z týchto meračských jednotiek je možné znížiť počet vĺčovacích bodov a tým aj náklady na projekt. Lesnícke mapovanie predstavuje špecifickú oblasť mapovania. Bežným problémom je signalizácia a zameranie vĺčovacích bodov na lesných pozemkoch, na lokalitách kde hustota lesného porastu nedovoľuje umiestnenie potrebného počtu vĺčovacích bodov. Dosiahnuté výsledky nám potvrdili výhody a perspektívu využitia údajov z GPS/INS – IMU jednotiek s kombináciou menšieho počtu vĺčovacích bodov pre oblasť lesníckeho mapovania.

Digitálna aerotriangulácia je jedna z najdôležitejších úloh vo fotogrametrickom projekte, pretože presnosť danej aerotriangulácie výrazne vplyva na tvorbu digitálneho modelu povrchu a následne tvorbu ortofosnímkov ako i na zber podrobných bodov (vektoriácia) zo stereomodelov.

6 literatúra

- DOBIAS, J., 2004: Využitie blokovej aerotriangulácie v praxi, záverečná práca, internetový zdroj: <http://www.photogrammetry.szm.com/> [12.10. 2007]
- Kalibračný protokol ku kamere UltraCamD, Vexcel, 2006
- KARDOŠ, M. – CHUDÝ, F., 2007: Posúdenie presnosti automatickej blokovej aerotriangulácie pri použití materiálov digitálneho snímokovania. In Aktuálne problémy lesníckeho mapovania, zborník referátov, TU Zvolen, 19 - 29 s.
- KLUSOŇ, Z. – JANOŠ, M. – ĎURICA, M., 2004: Letecké meračské snímokovanie s využitím systému aerocontrol. In: Aktuálne problémy lesníckeho mapovania. TU Zvolen, s. 137-142
- KOŽUCH, M., 2003: Digitálne ortofotomapy – zdroj aktuálnych informácií o krajine, dizertačná práca, Prírodovedecká fakulta UK Bratislava
- STN 01 3410 Mapy veľkých mierok – základné a účelové mapy., SÚGK, 1990, 20 s.
- ŠADIBOL, J. – BECZE F., 2007: Panchromatické zaostrovanie (pan-sharpening) digitálnych snímok. In Aktuálne problémy lesníckeho mapovania, zborník referátov, TU Zvolen, 30 – 39 s.
- TERMINOLOGICKÝ SLOVNÍK GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A KATASTRA (1998): Úrad geodézie, kartografie a katastra SR, Český úrad zeměměřický a katastrální, 1. vydanie, Bratislava, 540 s.
- Žihlavník, Š., 2004: Geodézia, fotogrametria a mapovanie v lesníctve. Vysokoškolská učebnica, TU Zvolen, 388 s.

Príspevok vznikol v rámci riešenia vedeckého projektu VEGA MŠ SR a SAV č. 1/0560/09 s názvom „Racionalizácia lesníckeho mapovania“.

Adresa autora:

Ing. Bc. Jozef Šadibol

Ing. Florián Becze

Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

Masarykova 24

960 53 Zvolen

Slovenská republika

e-mail: bezce@vsl.d.tuzvo.sk,

e-mail: josa@atlas.sk

Accuracy determination of aerotriangulation on the basis of known exterior orientation parameters

Summary

Nowadays GPS/IMU receivers are implemented almost in every digital aerial camera, which serves up information about the position and deflection of camera. GPS/IMU systems are recording data about the exterior orientation. The exterior orientation describes the location and orientation of the bundle of rays in the object coordinate system. Exploitation of this information in the process of making orthophoto could increase effectivity of processing from time aspects. In spite of accurate exterior orientation parameters, ground control points have still their foundation in checking and adjusting the quality of aerotriangulation. The article deals with accuracy determination of aerotriangulation, created on the basis of known exterior orientation parameters and at the same time with influence of ground control points in the process of aerotriangulation.

PRESNOSŤ GPS (GNSS) MERANIA V REÁLNOH ČASE V PODMIENKACH LESNÉHO PROSTREDIA

Marek F A Š K O, Andrej T R A J T E L

Faško, M., Trajtel A.: Presnosť GPS (GNSS) merania v reálnom čase v podmienkach lesného prostredia. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, LI, 2009, Suppl. 1, s. 127–136.

Globálne Navigačné Satelitné Systémy (GNSS) predstavujú mimoriadne progresívnu technológiu a zároveň metódu získavania geopriestorových informácií. Používatelia z najrôznejších odvetví vybavení prijímacími aparátúrami tak majú k dispozícii nenáročnú a veľmi presnú meračskú technológiu. Presnosť je však podmienená technickou dokonalosťou prijímacej aparatúry a optimálnosťou tzv. observačných podmienok na mieste merania. V lesníckej verejnosti je v poslednej dobe často diskutovaná práve otázka dosiahnuteľnej presnosti, s ktorou možno pri meraní hraníc a geopriestorových fenoménov v lesnom prostredí počítať. Experimentálny materiál tejto práce a jeho vyhodnotenie sa zameriava na preverenie presnosti merania v reálnom čase, s použitím geodetického prijímača v podmienkach lesného prieseku. Priesek je tvorený približovacou cestou, ktorá sprístupňuje zmiešané lesné porasty v lokálne nečlenených terénnych pomeroch v období vegetačného kľudu.

Kľúčové slová: GNSS, lesnícka prax, meranie v reálnom čase.

1 ÚVOD

Meračské práce sa v lesnom hospodárstve, na plochách pod správou lesného hospodárstva a všeobecne v krajine dotvárannej lesom uplatňujú v určitej nevyhnutnej miere. Čo sa samotného lesného hospodárstva týka, najväčší význam zohrávajú v rámci mapovania lesných pozemkov, kde sa podieľajú na získavaní spoľahlivých geopriestorových informácií o polohe a rozlohe jednotlivých častí lesa. Ide pritom primárne o jednotky priestorovej úpravy lesa (JPRL), nevyhnutné k rozčleneniu lesných komplexov pre účely ich efektívneho komplexného obhospodarovania. Druhá, príbuzná skupina dôvodov prieniku meračských prác do oblasti lesníctva súvisí úzko s problematikou ochrany majetkového a pozemkového vlastníctva. Tretia skupina je podmienená potrebou budovania technických objektov a inžinierskych stavieb na lesných pozemkoch ako aj potrebou vykonávania rôzne zameraných prieskumov prírodného prostredia.

V rámci hospodárskej úpravy lesa zohrávajú významnú úlohu mapovacie práce pri vyhotovovaní LHP. Potrebné je tu získanie a sprostredkovanie informácií o polohe a rozlohe jednotlivých JPRL, čoho výstupom sú lesnícke mapy a plochová tabuľka. Požiadavky na kvalitu meračských prác sú pri získavaní geopriestorových dát pre potreby HÚL a všetkých ostatných oblastí činnosti na ploche lesných pozemkov rôzne, pričom možno vyčleniť dve hlavné skupiny. V prvej sú aktuálne požiadavky presnosti katastrálneho mapovania, ktoré sa dotýkajú merania a vytyčovania vlastníckych hraníc. Druhá skupina sa vzťahuje na meranie vnútorných nevlastníckych hraníc JPRL a geopriestorových fenoménov, kde postačujú rádoovo nižšie kritériá presnosti. Využitie progresívnej technológie GNSS pri meračských prácach u oboch skupín požiadaviek je v prostredí lesných komplexov aktuálne, ale do určitej miery obmedzené. Aj napriek teoretickým predpokladom a získavaným skúsenostiam je naďalej predmetom skúmania.

V uvedenom príspevku sú stručne zhrnuté použité metódy a výsledky testovania kinematickej RTK metódy merania GNSS v podmienkach lesného prieseku. Snahou bolo vyhodnotiť úspešnosť a dosiahnuteľnú presnosť meraní s ohľadom na dĺžku observácie a voľbu umiestnenia podrobného meraného bodu, pričom na podklade analýzy výsledkov v závere uvádzame odporúčania pre uplatnenie v lesníckej geodetickej praxi a geopriestorových aplikáciách.

2 MATERIÁL A METÓDY

Pre potreby získania a spracovania experimentálneho materiálu tejto práce boli použité geodetické prístroje a softvérové aplikácie, umožňujúce automatizáciu celého procesu spracovania jednotlivých meraní.

Geodetický GNSS prijímač TOPCON Hiper GGD je moderný dvojfrekvenčný geodetický prijímač, umožňujúci meranie využitím družíc satelitných systémov GPS a GLO-NASS. Riadenie činnosti prijímača zabezpečuje čip PARADIGM, umožňujúci štyridsiatimi nezávislými kanálmi sledovanie všetkých dostupných družicových signálov na frekvenciách L1 a L2. Anténa je mikroprúžkovej konštrukcie s inovačnými prvkami spracovania signálu a možnosťou redukcie príjmu jeho odrazených fragmentov (Multipath effect reduction). Pre prácu v reálnom čase a pri potrebe monitorovania niektorých dôležitých okolností merania sa funkcie prijímača ovládajú prostredníctvom mobilného kontrolera TOPCON FC 100 / FC 200. Toto mobilné zariadenie, spravované operačným systémom Windows CE umožňuje nastavenie príjmu korekčných dát v reálnom čase, aktualizáciu nastavenia vybraných parametrov merania, editáciu číslovania bodov, výšok antény a rôznych poznámok, ako aj okamžitú kontrolu kvality merania v jeho priebehu.

Elektronický tachymeter TOPCON GPT 3002 LN je kompaktný prístroj v prevedení totálnej stanice. Je preto vybavený interným pamäťovým zariadením a radom aplikácií pre geodetické výpočty. Disponuje možnosťou merania dĺžok pomocou odrazového hranola do vzdialenosti 3 km s presnosťou ± 3 mm a bezhranolového merania pulzným laserom do vzdialenosti 1200 m s presnosťou ± 5 mm. Presnosť merania uhlov je dvojsekundová.

Realizácia observácií sa vykonala prostredníctvom programového modulu TOPSurv, ktorým mobilný kontroler FC 100 / 200 po nastavení rádiového spojenia s referenčnou stanicou okamžite počíta súradnice meraných bodov. Prípravu terénnych prác, ich vykonanie a vyhodnotenie výsledkov umožnili programy CGS Kokeš, Geoplot, TranGPS a Microsoft Excel.

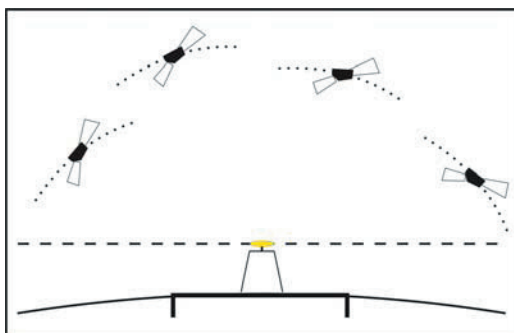
2.1 Výber lokality a metód merania

Pre potreby tejto práce bola v prvej etape prác v katastrálnom území obce Kováčová vyčlenená lokalita pre založenie výskumného objektu, pričom sa zohľadňovali najmä topologické pomery územia a vybrané porastové charakteristiky. Objekt tvorí sieť jedenástich bodov na lesnom prieseku, pričom poloha jednotlivých bodov je realizovaná geodetickými klincami v telese asfaltovej cesty, kovovými rúrkami a farebnými značkami. Dôvodom voľby prostredia lesného prieseku a skúmania výsledkov merania v týchto podmienkach je v lesníckej meračskej praxi častý prípad potreby pripojenia k existujúcemu bodovému poľu v husto a súvisle zalesnených, odľahlých lokalitách. Problematika

sa dotýka tak merania hraníc jednotiek priestorového rozdelenia lesa ako aj získavania podkladov pre najrôznejšie účely od stavebných prác na ploche lesných pozemkov až po realizáciu prieskumov prírodného prostredia. Predmetný lesný priesek je tvorený približovacou cestou kategórie L3 s nízkou intenzitou využívania, ktorá je situovaná ako cesta hrebeňová.

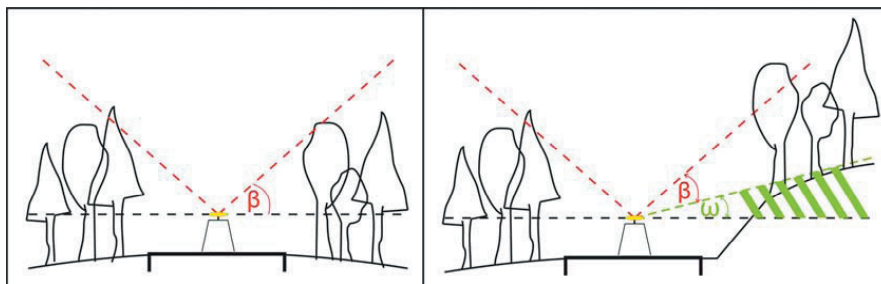
Vzhľadom na ciele, ktoré majú byť v tejto práci dosiahnuté, bolo pri lokalizácii výskumného objektu snahou do určitej miery optimalizovať podmienky, majúce zásadný súvis s vybranými, presnosť ovplyvňujúcimi faktormi. Neveľká odľahlosť záujmového územia od intravilánu blízkych obcí ako aj mesta Zvolen má význam z pohľadu vyhovujúcej kvality a hustoty existujúceho bodového poľa, ktoré sa využíva pre získanie referenčných súradníc. Podmienky lesného prieseku na ktoré je zamerané ťažisko experimentálneho materiálu sú z pohľadu lokálnych observačných podmienok limitované výrazným zmenšením uhla, pod ktorým sa k prijímaču môžu priamo šíriť družicové signály. Priaznivá geometrická konfigurácia družíc na ktoré sa vykonajú merania je pritom ovplyvnená dvoma spôsobmi. Jednak prítomnosť drevinovej zložky lesných porastov v blízkosti stanovišťa merania a na druhej strane lokálne reliéfne pomery spôsobujú vznik rozdielu medzi ideálne otvoreným a skutočným horizontom.

Podiel priechodnosti neskreslených družicových signálov korunovou a kmeňovou úrovňou lesného porastu nie je exaktne kvantifikovateľný. S ohľadom na čo najobjektívnejšie posúdenie tohto podielu pri vyhodnotení výsledkov bola lokalita merania koncipovaná v rovinate (sklonitosť do 25%), lokálne nečlenenom teréne. Eliminuje sa tým vplyv expozície a sklonu terénu, ako aj vplyv geomorfologických prekážok (Obr. 2.1, 2.2).



Obr. 2.1 Horizontálna rovina prijímača bez prítomnosti prekážok

Abb. 2.1 Die Horizontalebene des Empfängers mit Abwesenheit der Hindernisse



Obr. 2.2 Zmenšenie uhla príjmu neskreslených družicových signálov voči horizontálnej rovine prijímača

Abb. 2.2 Die Reduktion des Empfangswinkels der Satellitensignale

Na počet družíc využitelných pre meranie z teoretického hľadiska môže mať vplyv i orientácia pozdĺžnej osi prieseku, resp. uhol ktorý zvierá táto os s pomyselnou horizontálnou osou družicových dráh. Aby sa z výsledkov meraní eliminoval tento efekt, boli body na lesných priesekoch rozvrhnuté tak, aby bola orientácia osí jednotlivých úsekov premenlivá.

Keďže v budúcnosti plánujeme okrem iného preveriť tiež pôsobenie vegetačného obdobia na výsledky meraní, je nevyhnuté aby v príľahlých porastoch lesného prieseku v predmetných lokalitách boli zastúpené listnaté dreviny v určitom minimálnom podiele. Tento podiel v bezprostrednej lemovej časti porastu nie je menší ako 50%.

Pri voľbe metód merania GNSS sa zohľadňovali kritériá, ktoré majú spätné väzby na súčasnú geodetickú prax. Pri terénnych prácach sú pre zhusťovanie bodových polí a merania podrobných bodov spravidla využívané dve metódy. Je to kinematická metóda RTK a Statická metóda. Je známe že Statická metóda poskytuje najpresnejšie a najspoľahlivejšie výsledky. Meračská prax však vytvára na používanie tejto metódy značný tlak, zdôvodňovaný časovou náročnosťou a nutnosťou kancelárskeho spracovania. Možno pritom hovoriť o faktore efektivity a hospodárnosti, ktorý sa uplatňuje vo všetkých oblastiach ľudskej činnosti. V dôsledku toho je vo vzájomnom pomere využívania vyššie uvedených dvoch metód v absolútnej prevahe metóda RTK.

Uvedené vzťahy sa týkajú všeobecnej geodetickej praxe. Podmienky v ktorých sa vykonáva lesnícke mapovanie sa však vyznačujú mnohými osobitosťami, ktoré zásadne ovplyvňujú možnosti nasadenia metód merania v porovnaní so všeobecnou praxou. Spomenúť možno napríklad odľahlosť, veľkú sklonitosť, členitosť reliéfu, veľmi malú hustotu existujúceho bodového poľa (geodetických základov) a v neposlednom rade samotné lesné porasty. Nie je preto možné skúsenosti a trendy z meraní v intravilánoch plošne aplikovať do oblasti lesníckeho mapovania.

2.2 Terénne práce

V rámci terénnych meračských prác sme polohu bodov siete po stabilizácii merali polárnou metódou z vrcholov vyrovnaného polygónového ťahu (s krátkymi dĺžkami strán), ktorý je na koncoch súradnicovo pripojený na trigonometrické body 5914-23 Dibákovo a 5914-47 Trebuľa. Použitý bol pritom elektronický tachymeter TOPCON GPT 3002. Polygónový ťah svojimi geometrickými parametrami vyhovuje kritériám hlavných ťahov v zmysle platnej Inštrukcie na práce v polohových bodových poliach 984121 I/93 (1994). Vo všeobecnosti je takéto polygónové meranie považované za rádovo najpresnejšie, preto sme získané priestorové súradnice podrobných bodov uvažovali ako hodnoty správne.

Samotné experimentálne meranie geodetickým GNSS prijímačom TOPCON Hiper bolo vykonané v období vegetačného pokoja v marci roku 2009. Využila sa metóda relatívneho určovania polohy s vlastnou referenčnou stanicou, v prevedení RTK (Real Time Kinematic) s rôzne dlhými observáciami (5, 15, 30 a 60 epoch). Merania sa vykonali na všetky dostupné družice satelitných systémov GPS a GLONASS, pri nastavení výškového filtra observácie na 5°.

RTK sa vyznačuje plnohodnotnou využiteľnosťou iba kódového princípu určenia pseudovzdialeností na družice a obmedzenou možnosťou modelovania systematických efektov čím je limitovaná výsledná presnosť. Na druhej strane ide o metódu časovo najefektívnejšiu a najhospodárnejšiu poskytujúcu výsledok merania s oneskorením nanajvýš

niekoľko sekúnd, prečo je v geodetickej i všeobecnej meračskej praxi najpreferovanejšou metódou. Pre reálno-časovú transformáciu vypočítaných súradníc v referenčnom systéme WGS84 do záväzného súradnicového systému S-JTSK a Bpv bol použitý lokálny transformačný kľúč. Kľúč vznikol vyrovnaním siete siedmich trigonometrických bodov a jeho parametre charakterizuje stredná polohová chyba $m_{xy} = 0,042\text{m}$ a stredná výšková chyba $m_z = 0,027\text{m}$.

2.3 Metódy vyhodnotenia spracovaných dát

Získané hodnoty súradníc v jednotlivých smeroch osí referenčného systému S-JTSK a Bpv boli predmetom základnej matematicko-štatistickej analýzy. Porovnávali sa pritom so súradnicami identických bodov, získanými meraním elektronickým tachymetrom zo stanovísk vyrovnaného polygónového ťahu. Pre účely zhodnotenia výsledkov observácií boli tieto súradnice považované za správne a štatistické ukazovatele správnosti a presnosti merania boli počítané na podklade odchýlok nameraných hodnôt od hodnôt „správnych“. Použitý bol klasický postup v zmysle vyrovnávacieho počtu (BÖHM, 1990):

- výpočet súradnicových rozdielov (diferencií) d_x, d_y, d_z ;
- výpočet aritmetického priemeru diferencií (priemernej odchýlky súradníc) a smerodajných odchýlok diferencií súradníc $d_{\bar{x}}, d_{\bar{y}}, d_{\bar{z}}$ a sd_x, sd_y, sd_z ;
- výpočet stredných chýb určenia súradníc m_x, m_y, m_z ;
- stanovenie s testovanie nulovej hypotézy o výskyte systematickej chyby merania
 $H_0 : \delta_{\bar{x}}, \delta_{\bar{y}}, \delta_{\bar{z}} = 0$;
- výpočet strednej polohovej chyby m_{xy} .

3 VÝSLEDKY

Pri samotných experimentálnych meraniach boli získané priamo na mieste merania vypočítané súradnice podrobných bodov v súradnicovom systéme S-JTSK a Bpv, čo umožnil lokálny transformačný kľúč zahrnutý do výpočtu. Získané hodnoty súradníc boli porovnávané s hodnotami referenčnými, na podklade čoho sa stanovili jednotlivé odchýlky v smere osí Y, X a Z.

Posudzovaná bola jednak úspešnosť meraní (dosiahnutie fixného riešenia) a jednak jeho presnosť. Predmetom merania bola množina jedenástich bodov, pričom na deviatich z toho úspešne prebehlo meranie s fixným riešením u všetkých dĺžok observácií. U dvoch bodov sa výpočet polohy podarilo zrealizovať len s tzv. plávajúcim riešením, ktoré nieje zárukou získania spoľahlivých výsledkov, čo sa jednoznačne prejavilo aj v hodnotách odchýlok na predmetných bodoch (Tab. 3.1).

Tab. 3.1 Vyjadrenie priemerných odchýlok jednotlivých bodov bez ohľadu na dĺžku observácie
Tab. 3.1 Zusammenfassung der durchschnittlichen Differenzen der Punktenlage ohne Rücksicht auf die Observationsdauer

č.b.	Y	X	Z
1	-0,074	-0,002	0,262
2	-0,101	-0,008	0,200
3	-0,564	0,311	3,297
4	-0,345	-0,669	-1,037
5	-0,077	-0,014	0,231
6	-0,088	0,002	0,214
7	-0,090	0,011	0,223
8	-0,092	0,068	0,182
9	-0,129	0,025	0,319
10	-0,117	0,028	0,238
11	-0,134	0,043	0,227

V prvej fáze vyhodnotenia sme uvažovali všetky výsledky bez ohľadu na úspešnosť fixného riešenia a vo fáze druhej sme odchýlky neúspešných riešení do úvahy nevzali.

Ako z prehľadu tabuľky 3.1 vidieť, u všetkých meraných bodov s fixným riešením bola v polohovej zložke (Y,X) dosiahnutá presnosť lepšia ako 0,14m, čo plne vyhovuje kritériám 3. triedy presnosti mapovania pre mapy veľkých mierok. V smere výškovej osi bola dosiahnutá nižšia presnosť, pričom priemerné odchýlky spravidla neprekročili hodnotu 0,30m.

Ako pomôcka pre vyhodnotenie vplyvu dĺžky observácie na presnosť meraní poslúžila tabuľka 3.2, ktorá poskytuje prehľad o priemerných stredných súradnicových a stredných výškových chybách pri zohľadnení dĺžky observácie a úspešnosti merania. Pri uvažovaní všetkých výsledkov merania bez ohľadu na faktor úspešnosti sa prejavila tendencia zhoršenia presnosti polohovej zložky a naopak zlepšenia výškovej zložky. Hodnoty priemerných m_{xy} a m_z sú ale značne ovplyvnené veľkými odchýlkami u bodov s plávajúcim riešením výpočtu polohy. Vylúčením týchto extrémnych hodnôt sa dosiahne relatívne zvýšenie presnosti v rozmedzí 66 až 85% (Tab. 3.2). Možno pritom už hovoriť o rádo vo vyššej presnosti. Preukázalo sa, že pri observáciách s úspešným fixným riešením bola dosiahnutá presnosť nezávislá od dĺžky observácie. U polohovej zložky je kolísanie hodnôt odchýlok okolo ich priemeru menšie ako 1% a u výškovej zložky menej ako 3%. Stredná polohová chyba tak dosiahla hodnoty približne 0,075 cm a stredná výšková chyba približne 0,24 cm. V polohe sa teda splnili kritériá 2. triedy a vo výške kritériá 4. triedy presnosti mapovania pre mapy veľkých mierok.

Tab. 3.2 Vyjadrenie priemerných m_{xy} a m_z pri zohľadnení dĺžky observácie a úspešnosti merania
Tab. 3.2 Zusammenfassung der durchschnittlichen m_{xy} und m_z im Hinblick auf die Observationsdauer und die Messtrefferquote

N epoch	všetky riešenia		len fixné riešenia		relatívne zvýšenie presnosti	
	mxy	mz	mxy	mz	xy[%]	z[%]
5	0,203	1,390	0,069	0,207	66,0	85,1
15	0,217	1,257	0,068	0,213	68,5	83,1
30	0,220	0,983	0,069	0,216	68,6	78,0
60	0,453	0,642	0,068	0,221	85,0	65,6
všetky	0,292	1,106	0,076	0,237	74,0	78,6

V prípade ak súbor nameraných hodnôt fixných riešení v niektorej z osí vykazoval nadmerné vychýlenie od charakteristík normálneho rozdelenia, pristúpilo sa k identifikácii a eliminácii systematickej zložky odchýlok v smere danej osi. Uplatnil sa pritom T-Studentov test o prítomnosti systematickej chyby.

Tab. 3.3 Prehľad odchýlok u jednotlivých bodov s fixným riešením pred a po odstránení systematickej zložky

Tab. 3.3 Übersicht der Koordinatendifferenzen von einzelnen Punkten mit der Fix-Lösung

č. bodu	pred úpravou			po úprave		
	Y	X	Z	Y	X	Z
1a	-0,077	0,000	0,248	0,023	-0,017	0,015
2a	-0,108	-0,031	0,175	-0,008	-0,048	-0,058
5a	-0,058	-0,041	0,158	0,042	-0,058	-0,075
6a	-0,086	0,011	0,234	0,014	-0,006	0,001
7a	-0,091	0,007	0,227	0,009	-0,010	-0,006
8a	-0,091	0,075	0,206	0,009	0,058	-0,027
9a	-0,122	0,023	0,316	-0,022	0,006	0,083
10a	-0,120	0,030	0,244	-0,020	0,013	0,011
11a	-0,139	0,032	0,215	-0,039	0,015	-0,018
1b	-0,081	-0,001	0,233	0,019	-0,018	0,000
2b	-0,108	-0,022	0,167	-0,008	-0,039	-0,066
5b	-0,076	-0,019	0,248	0,024	-0,036	0,015
6b	-0,081	0,011	0,243	0,019	-0,006	0,010
7b	-0,076	0,008	0,232	0,024	-0,009	-0,001
8b	-0,094	0,071	0,180	0,006	0,054	-0,053
9b	-0,129	0,024	0,323	-0,029	0,007	0,090
10b	-0,118	0,019	0,223	-0,018	0,002	-0,010
11b	-0,135	0,046	0,235	-0,035	0,029	0,002
1c	-0,076	0,003	0,264	0,024	-0,014	0,031
2c	-0,091	0,009	0,251	0,009	-0,008	0,018
5c	-0,088	0,007	0,258	0,012	-0,010	0,025
6c	-0,094	-0,006	0,194	0,006	-0,023	-0,039
7c	-0,100	0,014	0,219	0,000	-0,003	-0,014
8c	-0,093	0,064	0,179	0,007	0,047	-0,054
9c	-0,134	0,024	0,314	-0,034	0,007	0,081
10c	-0,112	0,022	0,228	-0,012	0,005	-0,005
11c	-0,133	0,045	0,217	-0,033	0,028	-0,016
1d	-0,061	-0,010	0,303	0,039	-0,027	0,070
2d	-0,096	0,013	0,209	0,004	-0,004	-0,024
5d	-0,085	-0,002	0,260	0,015	-0,019	0,027
6d	-0,090	-0,006	0,184	0,010	-0,023	-0,049
7d	-0,094	0,015	0,216	0,006	-0,002	-0,017
8d	-0,091	0,063	0,163	0,009	0,046	-0,070
9d	-0,130	0,031	0,322	-0,030	0,014	0,089
10d	-0,119	0,039	0,256	-0,019	0,022	0,023
11d	-0,127	0,048	0,239	-0,027	0,031	0,006
MxMyMz	0,102	0,032	0,237	0,022	0,027	0,044
Myx	0,076			0,027		

Ak vychádzame z predpokladu, že referenčné súradnice sú absolútne správne (miera ich neistoty sa rovná nule) a rozsah výberového súboru odchýlok je dostatočne veľký, môžeme za smerodajné pokladať stredné polohové a výškové chyby po odstránení identifikovanej systematickej zložky jednotlivých odchýlok. Dosiahnutá presnosť určenia súradníc by v takom prípade odpovedala v polohovej zložke najvyššej 1. triede a vo výškovej zložke 2. triede presnosti mapovania ($m_{xy} = 0,04\text{m}$, $m_z = 0,07\text{m}$) (Tab. 3.3).

4 VYHODNOTENIE A ZÁVER

Experimentálne terénne merania boli situované do podmienok nevýrazného lesného prieseku, tvoreného približovacou lesnou cestou. Predmetom meraní tu bola sieť 11 podrobných bodov. V 82 % prípadov (36 zo 44 meraní) bolo dosiahnuté fixné riešenie vektorov čo možno považovať za pozitívny výsledok. Neúspešným, tzv. plávajúcim riešením sa preukázali observácie bodu č. 3 a 4. Pripísať to možno ich lokalizácii, nakoľko sa nachádzajú v mieste s najväčším zastúpením ihličnatých drevín vo fáze kmeňovín, pričom priesek je v týchto miestach široký len približne 3,5m. Hrubé kmene, predstavujúce najvýraznejšiu prekážku šíreniu družicových signálov sa teda nachádzajú príliš blízko stanovišťa merania. Aktuálne nepriaznivú geometrickú konfiguráciu družíc sme ako príčinu neúspechu fixného riešenia vylúčili, keďže predošlé i následné merania v krátkom časovom horizonte prebehli úspešne.

Celkovú dosiahnutú presnosť merania charakterizujú stredná polohová a stredná výšková chyba hodnotami $m_{xy} = 0,29\text{m}$ a $m_z = 1,11\text{m}$. Takáto presnosť plne vyhovuje pre účely merania nevlastníckych hraníc JPRL. Pri vylúčení výsledkov meraní s plávajúcim riešením sa hodnoty stredných chýb výrazne znížili, až na úroveň kritérií 2. triedy presnosti mapovania v polohe a 4. triedy presnosti vo výške. Ak uvážime možnosť reálnej eliminácie systematickej zložky odchýlok od správnych hodnôt, môžeme konštatovať že meranie splnilo najvyššie nároky presnosti hodnotami $m_{xy} = 0,027\text{m}$ a $m_z = 0,044\text{m}$. Testovanie prítomnosti systematickej chyby je ale v praxi ťažko realizovateľné, jednak kvôli nutnosti vykonávania matematicko-štatistickej analýzy a jednak kvôli neznalosti správnych, absolútne presných polôh meraných bodov.

Pri vyhodnotení faktora dĺžky observácie možno konštatovať nasledovné. Ak nie je zaručené fixné riešenie výpočtu, predĺženie observačnej doby môže znamenať zníženie presnosti polohovej zložky súradníc. Pri takomto meraní bez ohľadu na dĺžku observácie však s určitosťou nemožno zaručiť presnosť lepšiu ako 1m. Ak je ale meranie uskutočniteľné s fixným riešením vektora, pre spoľahlivé a presné určenie polohy plne postačuje krátka observácia s 5 epochami.

Analýza výsledkov teda preukázala, že metóda RTK je použiteľná aj pre náročné aplikácie s vysokými požiadavkami presnosti. Odporúčame ju však využívať len v oblastiach s lokálne nečleneným terénnym reliéfom a v odľahlejších lokalitách len s využitím vlastnej referenčnej stanice. Kvalitu merania do určitej miery možno optimalizovať plánovaním observácií v prostredí spracovateľských softvérov GNSS. Pomocou nich možno jednoducho získať predstavu o počte a rozmiestnení družíc nad horizontom v mieste plá-

novaného merania. Pozitívne je ak je pre meranie k dispozícii minimálne 7-8 družíc. Spoľahlivejšie výsledky možno dosiahnuť na stanoviskách bez súvislých prekážok s aspoň čiastočne otvoreným horizontom (lesné priesečky), ak sa v bezprostrednej blízkosti miesta merania nenachádzajú hrubé kmene. Využitie metódy RTK pre meranie a vytyčovanie vlastníckych hraníc možno odporučiť len po zvážení uvedených faktorov a dôslednej rekognoskácii lokality, kde sa majú meračské práce vykonať.

Resümee

Die Ausnutzung der GNSS Technologie in der forstlichen Kartierung ist aktuell. Die Lagebestimmung mittels GNSS scheint als die geeignetste Methode bei der Punktfeldverdichtung auf der freien Fläche, auf den Waldhauen und auf dem Rand des Waldes. Beim Messen der Detailpunkte dort, wo die geodätische Präzision erforderlich ist, wird die GNSS Messmethode mit den klassischen terrestrischen Messarbeiten mit Hilfe der elektronischen Tachymetern kombiniert. Die Messung und Absteckung der Detailpunkte (z.B. die Bruchpunkte der verschiedenen Grenzlinien) mittels GNSS wendet man unter den Bedingungen des Waldlandes meistens nur bei den Arbeiten mit den niedrigen Präzisionsanforderungen an. Akzeptable Ergebnisse werden in diesen Fällen in der Regel beim Einsatz der Statischen GNSS Messmethode erreicht. Dies bestätigen die Ergebnisse der Forschungsarbeiten, sowie die praktische Erfahrungen. Die Statische Methode nutzt man wegen der Zeitaufwendigkeit und Notwendigkeit der nachträglichen Auswertung vor allem für die Punktfeldverdichtung. Besonders effizient ist generell im Gegensatz zu dem die Methode RTK, dank der hohen Flexibilität und den sofortigen Ergebnissen. Die Eigenschaften der RTK Methode vorbestimmen sie insbesondere für die Messbedingungen den freien, offenen Flächen. Infolge der Eigenart des Waldumfeldes, das sich durch die Qualitätsenkung der äußeren Messbedingungen kennzeichnet, ist die Methode nicht buntbenutzbar für alle Zwecke. Die Ergebnisse manchen Forschungsarbeiten beweisen dass der Einsatz von RTK in den Waldkomplexen nicht immer erfolgreich ist. Bei der Planung sowie Durchführung der Messungen muss dies entsprechend berücksichtigt werden, und wenn es die Situation ermöglicht, sollen vorzugsweise sicherere Verfahren eingesetzt werden. Andererseits, die Resultate dieser Arbeit zeigen auf der Basis des Experimentalmateriales, dass die Anwendung des kinematischen Messens in der Echtzeit auch in den Wäldern (bei der Beherrschung und beim Einhalten der gewissen Bewandnisse) hochgenaue Ergebnisse bringen kann.

Literatúra

- 1.) Böhm, J. a kol., 1990: Teória chýb a vyrovnávací počet. GKP Praha, 416 s.,
- 2.) Hefty, J., Husár, L.: Družicová geodézia. Globálny polohový systém, STU Bratislava, 2003, 186 s.,
- 3.) Hricko, B. – Tunák, D. – Žihlavník, Š.: Globálny polohový systém v lesníckom mapovaní. In: Žihlavník, Š., Tunák, D. (ed): Zborník referátov sympózia: Aktuálne problémy lesníckeho mapovania, TU vo Zvolene, 2006, TU Zvolen, 2004, s. 41–50,
- 4.) Meluš, J.: Využitie GNSS pri lesníckom mapovaní, Dizertačná práca, TU vo Zvolene, 2008, 96 s.,
- 5.) Vitásková, J.: Využití metódy GPS v lesním hospodářství, Autoreferát dizertačnej práce, Modelová zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2002,
- 6.) Voženílek, V.– Sedlák, P. In: Geografický časopis, Mobilné geoinformačné technológie v geomorfologickom mapovaní, roč. 56, č. 1, Bratislava, 2004, s. 65–81,
- 7.) Žihlavník, Š.: Geodézia, fotogrametria a mapovanie v lesníctve, vysokoškolská učebnica, TU vo Zvolene, 2004, s. 182,
- 8.) Inštrukcia na tvorbu Základnej mapy SR veľkej mierky (984211 I/93). ÚGKK SR, Bratislava, 1993, 67 s.,
- 9.) Inštrukcia na práce v polohových bodových poliach 984121 I/93. ÚGKK SR, Bratislava, 1994, 110 s.,
- 10.) Firemné prospekty spoločnosti TOPCON,
<http://www.glonass-ianc.rsa.ru/>
http://www.geodis.sk/www/index_s.php

Adresa autorov:

Ing. Marek Faško

Ing. Andrej Trajtel

Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie

Lesnícka fakulta

Technická univerzita

T. G. Masaryka 24

960 53 Zvolen

e-mail: marekfasko@gmail.com

ČASOVÁ ANALÝZA OPERÁCII PRI SÚSTREĎOVANÍ DREVA HORSKÝM PROCESOROM KONRAD MOUNTY 4000 PRI ODKRÝVANÍ PUSTÉHO HRADU

Marián B U G O Š – Miroslav S T A N O V S K Ý

Bugoš, M., Stanovský, M.: Časová analýza operácií pri sústreďovaní dreva horským procesorom KONRAD MOUNTY 4000 pri odkrývaní Pustého hradu. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, **LI**, 2009, Suppl. 1, s. 137–149.

Cieľom tejto práce bolo analyzovať pracovné operácie horského procesora Konrad Mounty 4000 v extrémnych podmienkach listnatých lesov. Tento horský procesor vlastní a prevádzkuje firma KT Servis.

Analýzou som zistil, že vplyv na spotrebu času pracovných operácií mala najmä približovacia vzdialenosť a vzdialenosť jazdy vozíka do porastu. Závislosť spotreby času od objemu nákladu a počtu stromov pri operáciách zostavovanie nákladu a odopínanie nákladu sa nepotvrdila resp. je veľmi malá. Časové straty spôsoboval hlavne terén ktorý sťažoval ovládateľnosť a uprednostňovanie spracovávanie nákladu pred približovaním z dôvodu ohrozenia operátora a viazača v poraste v prípade zošmyknutia sa kmeňov z manipulačnej plošiny. Uvedený horský procesor je vhodný aj do listnatých porastov s extrémnymi sklonmi pretože použitím hydromanipulátora sa zamedzuje samovoľný pohyb kmeňov a hlavne sa zvyšuje bezpečnosť operátora v poraste pri približovaní na krátke vzdialenosti.

Kľúčové slová: horský procesor, pracovné operácie, časová analýza

ÚVOD

Na Slovensku sú veľmi zložité výrobné-technické podmienky charakterizujúce biologickú a technickú výrobu dreva. Z dôvodu hospodárenia prírode blízkym spôsobom je nutné zjemniť formy, metódy a postupy práce v náročných klimatických a terénnych podmienkach.

Sústreďovanie dreva lanovými systémami je jeden z moderných spôsobov dopravy stromov, kmeňov a výrezov.

Doterajšie skúsenosti s lanovými systémami v prevádzke potvrdili, že okrem bezstratovej dopravy dreva z odľahlých a ťažko prístupných lesných porastov, v ktorých sa pestovné a ťažbové zásahy nerobili, alebo robili len za cenu vysokých nákladov a strát na dreve, môžeme pri použití lanových systémov v týchto porastoch intenzívne hospodáriť.

Lanové systémy vhodne dopĺňujú vybudovanú cestnú sieť, ale používame ich i tam, kde je nedostatok lesnej dopravnej siete a kde je vybudovanie nákladné a často neuskutočniteľné. Súčasné konštrukčné riešenie lanových systémov umožňuje dopravovať drevo po svahu i proti svahu, na rovinatých terénoch s balvanitým, alebo málo úrodným povrchom. (MICHELÍK ET AL. 1992).

Na celom objeme sústreďovania dreva v štátnom sektore na Slovensku sa lanovky podieľajú 21,3 %. Čo je nárast oproti roku 2007 o 19 %. Celkový podiel na Slovensku je 3 %. Optimálny podiel sústreďovania dreva lanovkami na celom Slovensku by sa mal pohybovať na úrovni 15%.

Takéto technológie si vyžadujú väčšinou vyššiu intelektuálnu úroveň technicko-organizačných a pracovných znalostí. Nie každý pracovník je schopný, alebo ochotný sa s nimi stotožniť. Preto jednou zo základných podmienok intenzifikácie správneho použitia lesníckych lanoviek je vysoký stupeň profesionálnej prípravy na všetkých úrovniach riadenia výrobného procesu. (LUKÁČ, 2005)

1. PROBLEMATIKA

Viacoperačné stroje, ktorých činnosť je založená na mohutnom energetickom potenciáli prinášajú do lesa tie isté atribúty práce, ktoré boli typické v polovici minulého storočia, keď prevládala v lesoch animálna sila s nízkou energetickou kapacitou. V horách pri použití horských procesorov prevláda jednoznačne stromová metóda v rôznych technologických variáciách. Viacoperačné technológie dopĺňajú tiež klasické, už dnes používané lanovkové technológie s integráciou operácii do paralelných činností- významne urýchľujú prácu a zvyšujú výkonnosť.

Obnovné ťažby v horách vyžadujú často výnimočný energetický potenciál, ktorý vyplýva z veľkého objemu kmeňov (stromov), resp. významný je vplyv veľkého sklonu pri doprave, príp. je málo priestoru na skládkach a treba drevo ukladať vyššie a pod. Kombinácia lanovky a procesora spolu s motomanuálnou ťažbou poskytujú dostatočne jemné, ale zároveň vysokovýkonné technologické zázemie, aj keď prítomnosť podrastu sťažuje prácu a zhoršuje a zhoršuje ekonomické podmienky. Synergický efekt takýchto technológií je však ekonomický aj environmentálne výhodný (LUKÁČ, 2005).

Spojenie lanovky a procesora na spoločný podvozok predstavuje stroj novej generácie s vysoko produktívnou technológiou ťažby dreva v horách a to z piatich dôvodov:

- Pri približovaní celých stromov lanovkou je pohyb lanovkára na prudkých svahoch obmedzený na operáciu spiľovania a viazania nákladu, čím je podstatným spôsobom zvýšená bezpečnosť práce.
- Jediný operátor obsluhuje lanovku aj procesor a prevádza: odopínanie nákladov, spracovanie stromu procesorom na sortimenty, ukladanie a triedenie sortimentov do hromád. Akumulácia viacej pracovných činností je umožnená automatizovanou a programovateľnou jazdou vozíka po nosnom lane. Druhý pracovník pohybujúci sa v poraste vykonáva tiež integrovanú činnosť a to stínanie, zostavenie nákladu a pomocou rádiového riadenia ovláda aj lanovku.
- V krajinách EU sa stáva problémom udržanie vysoko kvalifikovaného personálu pri lanovkách, pretože vyšší podiel manuálnej práce a nižšie mzdy lanovkárov sú dôvody ich odchodu na atraktívnejšie pracovné miesta operátorov harvesterov a forwarderov. Je stále obrovský rozdiel sociálneho postavenia medzi operátorom harvesteru a lanovkárom. Viacúčelový stroj zahrňujúci kombináciu lanovky, hydromanipulátoru a procesorovej hlavice môže nepriaznivý trend odchodu kvalifikovaných lanovkárov radikálne zmeniť

- Odpadá potreba nasadenia traktora s navijákom pri odťahovaní a ukladaní lanovkou približeného dreva na odvoznom mieste.
- Súčasne so sústredovaním sa vykonáva aj hygiena porastu čo v konečnom dôsledku má ekologický ale aj ekonomický prínos pretože odpadá uhadzovanie haluziny, spaľovanie čoho následkom je jednoduchšia a rýchlejšia príprava plochy na zalesňovanie a spracovanie nehrúbia na energetické účely.

Výborné prednosti spojenia lanovky a procesora v jediný viacúčelový stroj sa prejaví v ihličnatých ťažbách, v oblastiach s hustou sieťou odvozných ciest, to je všade tam, kde línia jednotlivých trás ústi na odvoznú cestu a kde sa dajú hotové sortimenty dreva nakladať na odvozné súpravy priamo z hromád pri lanovke. (HOREK *ET AL.* 2003).

2. CIELE PRÁCE

Cieľom tejto práce bolo analyzovať pracovné operácie horského procesora KONRAD MOUNTY 4000, firmy KT Servis, ktorý pracoval pri odkrývaní Pustého hradu vo Zvolene kde bol nasadený v extrémnych podmienkach.

Časovými snímkami som zisťoval podiel jednotlivých operácií na sústredovaní a faktory, na ktorých sú závislé, respektíve ktoré vplývajú zanedbateľnou mierou.

Hodnotená je aj vhodnosť lanového zariadenia KONRAD MOUNTY 4000 v extrémnych podmienkach.

3. MATERIÁL A METODIKA

Potrebné údaje som nameral počas 77 cyklov sústredovania, na jednej trase lanovky, v jednom poraste pri antigravitačnom sústredovaní pomocou stopiek. Meral som spotrebu času pri operáciách jazda vozíka do porastu, chôdza s lanom, zostavovanie nákladu, vyťahovanie, približovanie a odopínanie nákladu. Merania boli realizované v Mestských lesoch Zvolen kde bolo vykonané sústredovanie dreva horským procesorom z dôvodu zviditeľnenia Pustého hradu. Procesor Mounty bol v prípade Pustého hradu vybraný z dôvodu zložitých výrobných podmienok a nutnosti použitia hydromanipulátora.

3.1 Charakteristika jednotlivých operácií

3.5.1 Jazda vozíka do porastu

Táto operácia začína štartom vozíka od veže lanovky až do chvíle kedy operátor v teréne zastaví vozík na požadovanom mieste. Vozík sa pri tejto operácii nepohybuje konštantnou rýchlosťou pretože to trasa lanovky nedovoľuje. V niektorých cykloch bola použitá automatika.

3.1.2 Chôdza s lanom

Operácia začína vo chvíli získania voľného konca ťažného lana následne viazač postupuje od nosného lana ku spílenému stromu určenému k vytiahnutiu z porastu.

3.1.3 Zostavovanie nákladu

Operácia začína vo chvíli, keď viazač začne upínať náklad do úväzku a pokračuje do chvíle kým sa viazač vzdiali do bezpečnej vzdialenosti.

3.1.4 Vyt'ahovanie z porastu

Táto operácia začína v momente keď operátor začne navíjať ťažné lano až do chvíle keď sa náklad dostane pod vozík kde je následne vyzdvihnutý pod nosné lano do prepravnej polohy.

3.1.5 Približovanie

Čas od odbrzdzenia vozíka v poraste až po zastavenie vozíka pri veži bázového stroja

3.1.6 Odopínanie nákladu

Začína spustením nákladu na manipulačnú plošinu, následným odopnutím nákladu a vyzdvihnutím voľného konca ťažného lana do prepravnej polohy.

3.2 Charakteristika porastu

Porast sa nachádza v dieľci č. 186 má vek 175 rokov, výmeru 49,34ha. Patrí do správy Mestských lesov Zvolen, medzi kategóriu lesov ochranných, tvaru lesa vysokého. Expozícia porastu je SZ, so sklonom 90% a priemernou zásobou 226 m³ na 1 ha. Celková zásoba dieľca predstavuje na celej poche 13938 m³. V tomto poraste bola vyt'ážená plocha 3 ha z ktorej bolo spracovaných 1130 m³ drevnej hmoty.

Tab. 1: Základné charakteristiky porastu v dieľci 186

Tab. 1: Basic stand characteristics in subcompartment 186

Drevina ¹	Zastúpenie ² (%)	Bonita ³	Stredný kmeň ⁴		
			Hrúbka d _{1,3} (cm) ⁵	Výška (m) ⁶	Objem (m ³) ⁷
DB	40	16	42	20	1,19
BK	20	14	44	21	1,52
HB	20	12	32	18	0,66
LP	10	16	29	22	0,66
JV	10	16	30	22	0,71

¹tree species, ²representation, ³site class, ⁴mean stem, ⁵dbh, ⁶height, ⁷volume

V tomto poraste bola vyt'ážená plocha 3 ha z ktorej bolo spracovaných 1130 m³ drevnej hmoty.

3.3 Popis technologického postupu práce horského procesora KONRAD MOUNTY 4000

Samotná lanovka je postavená na podvozku MAN /Öaf fe 33.410 na svojej plošine má vežu vysokú 13 metrov a rameno s procesorovou hlaviceou WOODY 60 s dosahom do

9 metrov. Hlavica dokáže manipulovať (odvetvovať, skracovať) s drevom o hrúbke od 8 do 60 cm. Dosah lanovky je 550m pri hrúbke lana 20mm.. Približovanie v poraste bolo antigravitačne, takže musel byť použitý lanovkový vozík LIFTLINER 3000 s nosnosťou 3000kg ktorý pracuje na princípe ťažného lana o priemere 12mm s dosahom 650m. Vozík lanovky je vybavený jednovalcovým motorom s výkonom 76kW a je diaľkovo ovládaný. Vytiahnutý a zdvihnutý náklad do polozávesu je automaticky istený. Výška istenia polohy nákladu je nezávislá od výšky vozíka nad terénom. Zaistenie a odistenie nákladu je možné na ľubovoľnom mieste trasy. Kolmá vzdialenosť pri tomto vozíku je 76m Pri gravitačnom približovaní sa používa vozík WOODLINER 3000 pri použití tohto vozíka sa jedná o nekonvenčnú lanovku V niektorých prípadoch je možné duálne sústreďovanie t.z. stromy sa približujú súčasne gravitačne aj antigravitačne.

Celá lanovka je poháňaná motorom z vozidla MAN. V dielci 186 v Mestských lesoch Zvolen bol procesor postavený na nádvorí Pustého Hradu na ceste vedúcej popri hradbách.

Vzhľadom k tomu, že sa spracovávala listnatá hmota bola činnosť procesorovej hlavice obmedzená na skracovanie a odvetvovanie len tenších konárov. Hrubšie konáre museli byť odrezané motorovou pilou. Odvoz sortimentov bol zabezpečený forwarderom kvôli obmedzenej prístupnosti pre odvozné súpravy. Pracovná čata bola zložená z operátora pri bázovom stroji, dvoch pilčíkov, jeden z nich bol súčasne aj operátor v poraste a operátora forwarderu.

3.4 Poškodenie pôdy a ostávajúceho porastu

Poškodenie pôdy som zisťoval okulárne a metrom. Pričom som zisťoval šírku a hĺbku ryhy po ťažbe a sústreďovaní dreva horským procesorom.

4. VÝSLEDKY A VYHODNOTENIE

4.1 Vyhodnotenie operácií procesora v extrémnych podmienkach

Na základe údajov nameraných počas 77 cyklov som zistil, že priemerná spotreba času na jeden cyklus je 8:46 minút. Priemerný výkon procesora firmy KT Servis sa pohybuje na úrovni 56,5 m³ pri priemernej objemovosti 0,94 m³

4.1.1 Jazda vozíka do porastu

Jazda vozíka do porastu na prázdno začína povelom operátora bázového stroja na mieste odopínania nákladu, následného prepnutia do režimu automatiky v ktorom vozík zastaví po dosiahnutí bodu prednastaveného operátorom v poraste. V tomto bode vozík zotrvá kým ho povelom neprivolá operátor v poraste. Vzdialenosť jazdy sa mení v závislosti od potreby približovania. Končí zastavením vozíka operátorom v poraste v mieste najvhodnejšom na vyťahovanie nákladu z porastu.

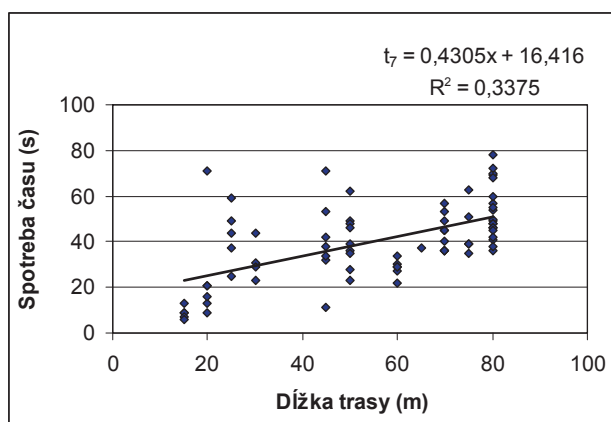
Priemerná spotreba času na jednu operáciu: 0:44 min
 Priemerná rýchlosť jazdy vozíka do porastu 1,25 m.s⁻¹
 Spotreba času tejto operácie na sústredenie 1 m³ 0:31 min
 (pri priemernom objeme nákladu 1,4 m³ a priemernej približovacej vzdialenosti 55m)

Úpravou regresnej rovnice spotreby času na jednu operáciu dostaneme spotrebu času tejto operácie na sústredenie 1 m³

$$t = (0,4305x + 16,416)/Q \text{ [min} \cdot \text{m}^3]$$

x... približovacia vzdialenosť [m]
 Q... priemerný objem nákladu [m³]

Operácia predstavuje 8,36% z celkovej spotreby času potrebnej jeden cyklus sústreďovania.



Obr. 1 Závislosť spotreby času jazdy vozíka na prázdno do porastu od dĺžky trasy v extrémnych podmienkach
Fig. 1 Relationship between the time usage of the empty wagon drive and hauling distance in extreme conditions

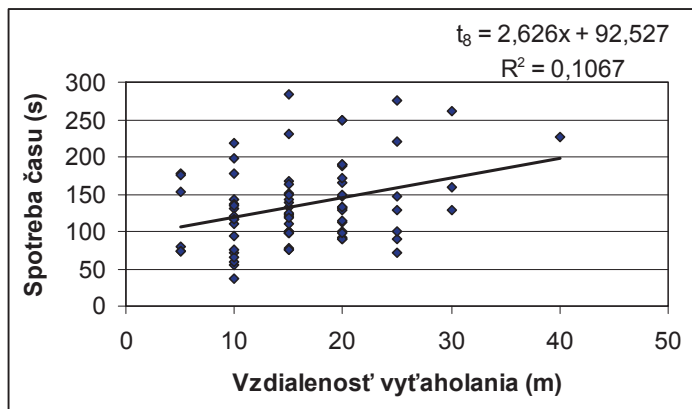
Analýzou obr. 1 som zistil, že medzi spotrebou času a približovacou vzdialenosťou v extrémnych podmienkach je závislosť voľná, 33% rozptylu hodnôt hľadaného znaku (spotreba času) sa dá vyjadriť v závislosti na znaku známom (vzdialenosť) na základe regresnej rovnice $t_7 = 0,4305x + 16,416$. Zvyšok spôsobujú neuvažované činitele ktoré pôsobia vo väčšej miere v extrémnych podmienkach. Nekonštantná rýchlosť vozíka, ktorá najviac ovplyvňovala túto operáciu z dôvodu krátkej trasy, kedy nemohla byť používaná automatika, spotreba času na odovzdanie ovládania medzi operátormi a pri dojazde ku nepriechoďnej podpere.

4.1.2 Chôdza s lanom

Zostavenie nákladu začína uvoľnením voľného konca ťažného lana zapínačovi a následnou chôdzou až do momentu kým viazač nepríde ku požadovanému stromu.

Priemerná spotreba času na chôdzu s lanom 2:25min
 Priemerná rýchlosť chôdze s lanom 0,11 m.s⁻¹

Spotreba času chôdze s lanom na sústredenie 1m³ 1:41min
 (pri priemernej vyťahovacej vzdialenosti 16,17m a priemernom objeme nákladu 1,4m³)
 Operácia predstavuje 27% z celkovej spotreby času potrebnej na jeden cyklus sústredovania.



Obr. 2 Závislosť spotreby času na chôdzi s lanom v závislosti od vzdialenosti vyťahovania v extrémnych podmienkach
Fig. 2 Relationship between the time usage during the walking with cable and hauling distance in extreme conditions

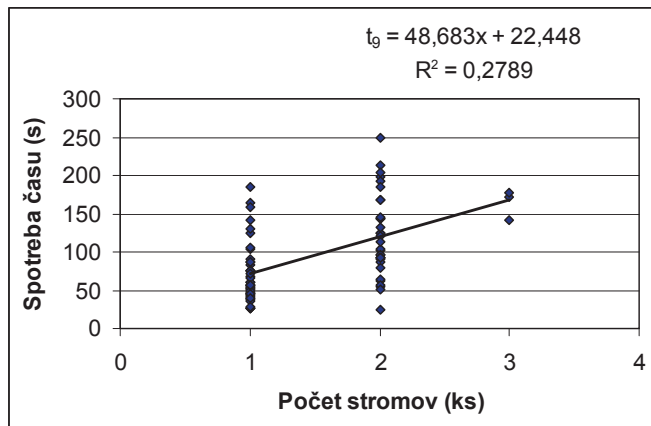
Na základe obr. 2 môžeme tvrdiť, že medzi spotrebou času potrebnou na chôdzi s lanom a vyťahovacou vzdialenosťou je voľná závislosť, 10% hľadaného znaku (spotreba času) sa dá vyjadriť v závislosti na znaku známom (vyťahovacia vzdialenosť) na základe regresnej rovnice $t_g = 2,6268x + 92,527$. Zvyšok spôsobujú neuvažované činitele medzi ktoré patria napríklad terénne podmienky, hlavne sklon a balvanitosť, ktoré ovplyvňujú čas potrebný na chôdzi s voľným koncom ťažného lana k stromu. Najväčšiu variabilitu spôsobovalo po uvoľnení voľného konca ťažného lana čakanie operátora v bezpečnej vzdialenosti od nosného lana, kým nebudú spracované stromy s predchádzajúceho cyklu z dôvodu malej vzdialenosti operátora v poraste od bazového stroja a možného rizika zošmyknutia sa stromov z manipulačnej plošiny.

4.1.3 Zostavenie nákladu

Operácia zostavenie nákladu začína keď viazač upína stromy do úväzkov a následne odstupuje do bezpečnej vzdialenosti.

Priemerná spotreba času na zostavenie nákladu 1:46min
 Priemerná rýchlosť zostavovania nákladu 0,84ks.min⁻¹
 Spotreba času na zostavenie nákladu 1m³ 1:16min
 (pri priemernom počte stromov v jednom náklade 1,49ks a priemernom objeme nákladu 1,4m³)

Operácia predstavuje 20% z celkovej spotreby času potrebnej na jeden cyklus sústredovania.



Obr. 3 Závislosť spotreby času na zostavenie nákladu v závislosti na počte stromov v náklade v extrémnych podmienkach

Fig. 3 Relationship between the time usage for composing the load and number of trees in the load in extreme conditions

Na základe obr. 3 môžeme tvrdiť, že medzi spotrebou času potrebnou na zostavenie nákladu a počtom stromov je voľná závislosť, 28% hľadaného znaku (spotreba času) sa dá vyjadriť v závislosti na znaku známom (počet stromov) na základe regresnej rovnice $t_g = 48,683x + 22,448$. Zvyšok spôsobujú neuvažované činitele medzi ktoré patria napríklad voľnosť konca stromu za ktorý bude upnutý do uväzku a viazačom subjektívne zvolená ústupová, bezpečnostná vzdialenosť.

4.1.4 Vytáhovanie z porastu

Operácia vytáhovanie z porastu pod nosné lano začína povelom operátora v poraste na navíjanie ťažného lana následným pritiahnutím nákladu ku vozíku a vyzdvihnutím nákladu pod nosné lano do prepravnej polohy.

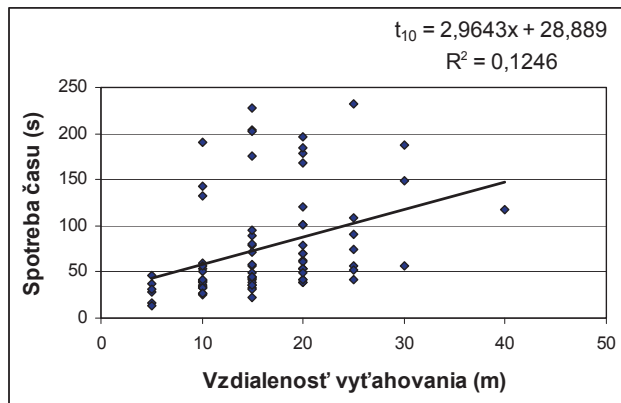
Priemerná spotreba času na vytáhovanie z porastu 1:25min

Priemerná rýchlosť vytávania 0,19m.s⁻¹

Spotreba času na vytáhovanie 1m³ 1:00min

(pri priemernej vytávacej vzdialenosti 16,17m a priemernom objeme nákladu 1,4m³)

Operácia predstavuje 16,2% z celkovej spotreby času potrebnej na jeden cyklus sústredovania.



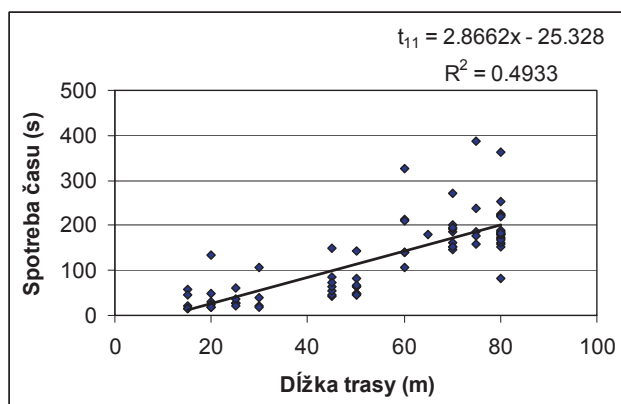
Obr. 4 Závislosť spotreby času na vyťahovanie nákladu z porastu v závislosti na vyťahovacej vzdialenosti v extrémnych podmienkach

Fig. 4 Relationship between the time usage for hauling the load from the stand and hauling distance in extreme conditions

Na základe obr. 4 môžeme tvrdiť, že medzi spotrebou času potrebnou na vytiahnutie nákladu pod nosné lano a vyťahovacou vzdialenosťou je voľná závislosť, 12% hľadaného znaku (spotreba času) sa dá vyjadriť v závislosti na znaku známom (vyťahovacia vzdialenosť) na základe regresnej rovnice $t_{10} = 2,9643x + 28,889$. Zvyšok spôsobujú neuvažované činitele medzi ktoré patria napríklad terénne podmienky ako sklon a balvanitosť ktoré ovplyvňujú smer vyťahovaných stromov. Tiež z toho dôvodu že sa sústreďovala listnatá hmota tak samotný strom kvôli konárom ovplyvňoval smer, čo spôsobovalo zabiehanie stromov pri vyťahovaní za pne a následne prepínanie nákladu.

4.1.5 Približovanie

Operácia približovanie začína odbrzdením vozíka s nákladom v polozávесе v poraste až po zastavenie nákladu pri veži lanovky respektíve na mieste určenom na odopínanie nákladu



Obr. 5 Závislosť spotreby času na približovanie nákladu v závislosti na dĺžke trasy v extrémnych podmienkach

Fig. 5 Relationship between the time usage for skidding the load and hauling distance in extreme conditions

Priemerná spotreba času na priblíženie nákladu	1:39min
Priemerná rýchlosť približovania	0,56m.s ⁻¹
Spotreba času približovania na sústredenie 1m ³	1:10 min
(pri priemernej približovacej vzdialenosti 55 m a priemernom objeme nákladu 1,4m ³)	

Operácia predstavuje 18,6% z celkovej spotreby času potrebnej na jeden cyklus sústredovania

Analýzou obr. 5 som zistil, že medzi spotrebou času na približovanie a dĺžkou trasy je závislosť voľná 49% hľadaného znaku (spotreba času) sa dá vyjadriť v závislosti na znaku známom (dĺžka trasy) na základe regresnej rovnice $t_{II} = 2,8662x - 25,328$.

Zvyšok spôsobujú neuvažované činitele. Nekonštantná rýchlosť vozíka z dôvodu nepoužívania automatiky. Pri odovzdávaní ovládania medzi operátormi vzniká časová strata pre zaneprázdnenosť operátora pri básovom stroji z dôvodu spracovávania nákladu z predchádzajúceho cyklu.

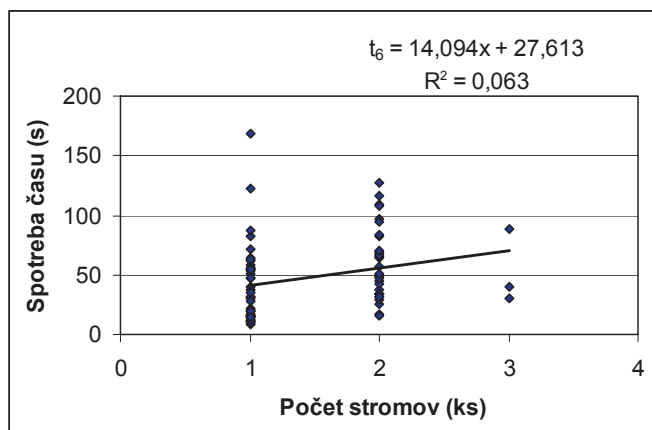
4.1.6 Odopínanie nákladu

Odopínanie nákladu je operácia od spustenia nákladu pri veži lanovky z prepravnej polohy na manipulačnú plošinu, následné odopnutie nákladu a spätné vytiahnutie voľného konca ťažného lana s úväzkami pod nosné lano. Touto operáciou končí jeden cyklus a nasleduje operácia jazdy vozíka do porastu ako začiatok nového cyklu.

Priemerná spotreba času na odopínanie nákladu	0:52min
Spotreba času odopínania nákladu na sústredenie 1m ³	0:37 min
Spotreba času na odopínanie nákladu na sústredenie jedného stromu	0:36 min
(pri priemernom objeme nákladu 1,4 m ³ a priemernom počte stromov v jednom náklade 1,46 ks)	

Operácia predstavuje podiel 9,8% z celkovej spotreby času potrebnej na jeden cyklus sústredovania.

Na základe Obr. 6 môžem tvrdiť, že medzi spotrebou času na odopínanie nákladu a počtom stromov v jednom náklade neexistuje závislosť t.z., že 6% rozptylu hodnôt znaku hľadaného (spotreba času na odopínanie nákladu) je závislá na znaku známom (počet stromov v jednom náklade). Na odopínanie nákladu pôsobia neuvažované činitele ako napríklad zaseknutie úväzku alebo zošmyknutie nákladu pod manipulačnú plošinu. Opa-
trnejšie spúšťanie na manipulačnú plošinu.



Obr. 6 Závislosť spotreby času na odopínanie nákladu v závislosti na počte stromov v náklade v extrémnych podmienkach

Fig. 6 Relationship between unfastening the load and number of trees in the load in extreme conditions

Použitie moderných úväzkov, ktoré skracovali čas na odopínanie kusov. V niektorých prípadoch musel byť použitý hydromanipulator pretože dochádzalo k šmýkaniu kmeňov z plošiny aj napriek niekoľkonásobnej úprave polohy. V prípade, že sa nepodarilo položiť náklad na plošinu bezpečne musel byť náklad spracovávaný postupne t.j. kým sa spracoval jeden kus z nákladu (odvetvenie hlavicou aj motorovou pilou a skrátenie) ostatné museli byť ešte upnuté v úväzkoch na ťažnom lane.

4.1.7 Poškodenie pôdy a ostávajúceho porastu

Na Pustom hrade sa vykonávala ťažba a sústredovanie na krátku vzdialenosť. Pri spíľovaní dochádzalo k olámaniu konárov pri dopade na zem a tie tvorili miestami súvislú vrstvu. Stromy sa pri sústredovaní kĺzali prevažne po balvanoch a konároch a priamy styk s pôdou bol len krátkodobý z toho dôvodu som nezaznamenal žiadne merateľne poškodenie pôdy. Vzhľadom k tomu že sa vytvorila súvislá plocha nedošlo k poškodeniu okolitého porastu.

5. DISKUSIA A ZÁVER

Po vyhodnotení všetkých závislostí na spotrebu času pri jednotlivých operáciách možno tvrdiť, že v procese sústredovania dreva horským procesorom KONRAD MONTY 4000 v extrémnych podmienka je najväčšia závislosť od dĺžky trasy pri operácii približovanie. V tejto operácii pôsobí najmenej neuvažovaných činiteľov a to v dôsledku krátkej trasy. Vozík sa pohybuje konštantnou rýchlosťou pretože na takejto krátkej trase nie je nutné meniť prevodový stupeň t.j. rýchlosť vozíka. A keďže sa sústreďuje antigravitačne nedochádza k neovládateľnému pohybu stromov.

Malú tesnosť znakov hľadaných na znakoch známych spôsobuje v tomto prípade veľké a niekedy až limitné hodnoty faktorov vplyvujúcich na sústredovanie (sklon, balvanitosť, fyzická kondícia píličov a viazačov, atď.).

Využitie horských procesorov v horských porastoch Slovenska má veľký význam. Nasadením horských procesorov sa zvýši bezpečnosť práce pretože odpadá odvetvovanie stromov priamo v poraste. Je veľkým prínosom pre ekonomiku pretože súčasne so sústreďovaním sa vykonáva hygiena porastu a následne sa nehrubie spracováva na energetické účely. Z tohto dôvodu odpadávajú náklady na uhadzovanie haluziny (popríklad spaľovanie haluziny). V súčasnej dobe na Slovensku pracuje jeden horský procesor tohto typu v rézii Lesov SR a jeden súkromný.

Pozitívny vplyv má horský procesor hlavne na poškodenie pôdy a okolitého porastu a to hlavne kvôli používanej stromovej technológii, ktorá je najšetrnejšia k pôde.

V budúcnosti sa bude lanovkové sústreďovanie uberať týmto smerom pretože manipulovaním sortimentov je vytvorené vhodné prostredie pre predaj dreva na odvoznom mieste, čo nám znižuje náklady na výrobu, dokonca ruší potrebu manipulačno-expedičných skladov pri spracovaní hmoty v oblastiach s vhodným drevinovým zložením ako aj s vhodnými terénnymi podmienkami a dostatočným sprístupnením lesnými cestami pre túto technológiu.

Pre mimoštatné a súkromne organizácie prináša vyššie zisky opäť z dôvodu odpaďujúcej manipulácie a z možnosti predávať kvalitnejšie a hodnotnejšie sortimenty nielen v súčasnosti ale hlavne v budúcnosti kvôli šetrnejšiemu prístupu oproti iným technológiám.

Dobré využitie vidím aj pri spracovaní listnatej hmoty pretože procesorová hlavica okrem výroby sortimentov dokáže odvetvovať tenšie konáre, ostatné konáre odstráni operátor pomocou motorovej pily. Aj keď je nutné opíľovanie operátorom výhodou je to že operátor stojí na rovnej plošine a hrubé konáre sú vo vzduchu a preto nedochádza k napruženiu ako v prípade že strom leží na zemi t.z. vyššia bezpečnosť práce.

Literatúra

- LUKÁČ, T. a kol.: Lanovky v lesníctve. Ústav pre výchovu a vzdelávanie pracovníkov LVH SR, Zvolen, 2001, 167 s.
LUKÁČ, T. a kol.: Ťažbovo-dopravné technológie v lesnom hospodárstve. Ústav pre výchovu a vzdelávanie pracovníkov LVH SR, Zvolen, 2003, 218 s.
LUKÁČ, T.: Viacoperačné stroje v lesnom hospodárstve. Technická univerzita vo Zvolene, 2005, 134s
HOREK, P a kol: Horský harvester, Lesnícka práce, 8/2006 (s 48- 49)
LUKÁČ, Tibor. Lesné lanovky- Cesta k ich rozvoju vedie cez vzdelanie. In *Zborník referátov z odborného seminára pri príležitosti životného jubilea Prof. Ing. Pavla Rošku, Drsc.* Zvolen: Katedra lesnej ťažby a mechanizácie, 1998, s. 75–82.
MICHELÍK, J.: Sústreďovanie dreva lanovými systémami. Ústav pre výchovu a vzdelávanie pracovníkov LVH SR, Zvolen, 1992, 106 s.
www.forsttechnik.at/gebirgsarvester-mounty4000-en.php

Adresa autorov:

Marián Bugoš

Ing. Miroslav Stanovský, CSc.

Katedra lesnej ťažby a mechanizácie

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 20

960 53 Zvolen

e-mail: marian.bugos@gmail.com

e-mail: stanov@vsld.tuzvo.sk

Time analysis of the operations during yarding by alpine processor Konrad Mounty 4000 during the exposing the locality Pusty hrad.

Summary:

This work is analyzing the working operations of the alpine harvester Konrad Mounty 4000 in extreme conditions of the broadleaved forests. This alpine harvester is owned and runned by KT Servis company.

Analysis showed, that chiefly skidding distance and the distance of the wagon drive into the stand had an impact on the time usage of the working operations. The dependence between the time usage and the load volume and the number of trees during the operations as the creating the load and unfasten the load was not confirmed, respectively was very weak. The time losses were mainly caused by the terrain, that made the controlling harder, and preferring processing the load before the skidding from the reason of endangering the operator and worker who are fastening the load in the stand in case of the slipping down the trunks from the manipulation platform. The mentioned alpine harvester is suitable also into the broad-leaved stands with the extreme inclinations because usage the hydromanipulator prevents the spontaneous movement of the trunks and mainly the safety of the operator in the stand during the skidding the load on the short distances increases.

OCENENIE REKREAČNEJ FUNKCIE LESOV VYSOKÝCH TATIER METÓDOU CESTOVNÝCH NÁKLADOV

Kristína BREZOVSKÁ – Ján HOLÉCY

Brezovská, K., Holécý J.: Ocenenie rekreačnej funkcie lesov Vysokých Tatier metódou cestovných nákladov. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, LI, 2009, Suppl. 1, s. 151–162.

Článok uvádza výsledky bodového a intervalového odhadu ekonomickej hodnoty rekreačnej funkcie lesného ekosystému Vysokých Tatier metódou cestovných nákladov. Základným vstupom pre použitú metódu boli údaje o návštevníkoch zo 7 geografických zón, ktoré sa získali zo vzorky (n) = 359 návštevníkov zo Slovenska i zahraničia prostredníctvom dotazníkov počas rekreačnej sezóny (júl a august) roku 2008. Intervalový odhad funkcie dopytu po rekreácii na danom území sa určil prostredníctvom štatistickej analýzy pravdepodobnosti návštevy rekreaťantov a nutných nákladov na ich dopravu a pobyt počas 1 dňa. Test zhody empirickej distribučnej funkcie frekvenčných pravdepodobností návštev z jednotlivých zón vo vzorke s distribučnou funkciou Weibullovhovho rozdelenia pravdepodobnosti $W(c; \gamma)$ poukázal na veľmi významnú zhodu oboch funkcií na hladine významnosti (α) = 0,05. Táto informácia sa využila pre intervalový odhad pravdepodobnosti a dopytu návštev z jednotlivých zón. Hodnota externality sa potom určila na základe odhadu renty spotrebiteľa a renty producenta pri uvažovaných podmienkach.

Kľúčové slová: rekreačná funkcia, metóda cestovných nákladov, hodnota externality, dopyt, Vysoké Tatry

1. ÚVOD

Možnosť rekreácie patrí k jednej zo základných potrieb obyvateľstva rozvinutých krajín. Rekreačné využívanie krajiny prispieva k napĺňaniu potrieb obyvateľstva a k udržiavaniu rovnováhy medzi prácou a oddychom. Je dôležitou zložkou posudzovania životnej úrovne obyvateľstva.

Doposiaľ existuje v slovenskej odbornej literatúre veľmi málo publikácií, ktoré by exaktným spôsobom merali hodnotu externej rekreačnej funkcie lesa. Táto práca je príspevkom k poznaniu jednej z metód, ktoré je možné pre tento účel použiť.

Cieľom práce je poukázať na možnosť úspešného použitia metódy cestovných nákladov (Travel Cost Method, TCM) pre odhad hodnoty pozitívnej rekreačnej externality na príklade lesov Vysokých Tatier.

2. PROBLEMATIKA MERANIA HODNOTY EXTERNALÍT

Hodnotenie externalít ktoré les produkuje, je založené na rešpektovaní individuálnych preferencií. Každý jednotlivec má možnosť zvoliť si to, čo pre neho predstavuje najvyššiu užitočnosť. Subjektívne chápaná užitočnosť predstavuje dôležitosť, váhu (význam), ktorú určitý človek prikladá práve nejakému statku alebo službe. Táto dôležitosť, resp. význam vyplýva z toho, že si jednotlivec uvedomuje nevyhnutnosť daného statku alebo služby pre uspokojovanie jeho potrieb [14].

Pojem ekonomická hodnota je jednoznačne odvodzovaný z preferencií jednotlivých ľudí. Ide o ochotu či preferenciu ľudí platiť za kvalitu nejakej časti životného prostredia alebo za odvrátenie škôd na tejto zložke životného prostredia [13].

Podľa ŠIŠÁKA [16] je oceňovanie externalít lesa dôležité hlavne z nasledujúcich dôvodov:

1. Vedomia dôležitosti lesov ako národného bohatstva.
2. Analýzy stavu lesov a ich vývoja ktorá zahŕňa:
 - vyjadrenie efektivity zamestnanosti v lesníctve a reprodukcie lesa,
 - rozhodovanie o alokácii príspevkov z verejných zdrojov pre lesníctvo,
 - ohodnotenie strát spôsobených poškodením alebo zničením lesov,
 - stimuláciu racionálneho využívania lesov a jeho funkcií a
 - zlepšenie procesu lesníckeho plánovania.

1.1 Opis metódy cestovných nákladov

Metóda cestovných nákladov (TCM) patrí podľa publikácie [15] medzi nepriame metódy hodnotenia externalít lesa. Vo všeobecnosti je vyvinutá pre odhad hodnôt produktov a služieb, ktoré sa nachádzajú mimo trhového mechanizmu. V prípade rekreačnej funkcie sú týmito netrhovými úžitkami rekreačné zdroje, ktoré si vyžadujú významné výdavky, aby si ich jednotlivec mohol užiť a mať z nich radosť [3].

TCM sa používa na ocenenie rekreačných lokalít (lesov, turistických a rybárskych miest, lezeckých trás, atď.). Návštevníci prichádzajú na určité miesto s tým, že musia na tento účel vynaložiť náklady na dopravu, ubytovanie, stravu a v prípade vstupného jeho sumu i náklady na čas, aby sa na toto miesto dostali, ako aj čas strávený na rekreáciu. Tieto ekonomické náklady v podstate vyjadrujú prejavenu preferenciu hodnoty statkov a služieb ktoré daná lokalita poskytuje a vyjadrujú nutné množstvo peňazí, ktoré sú návštevníci ochotní zaplatiť, aby mohli dané miesto využívať.

Pozorovaním charakteristík jednotlivcov, ktorí prichádzajú na konkrétnu lokalitu je možné odhadnúť funkciu dopytu po tejto lokalite. Z tejto krivky sa následne odhaduje renta spotrebiteľa. Zistiť hodnotu tejto renty je cieľom TCM. Identifikuje hodnotu lokality pre verejnosť počas pozorovaného obdobia. Renta spotrebiteľa predstavuje hodnotu rekreačnej služby, ktorú užívateľ prisudzuje danému miestu (úžitky pre návštevníka), ale ako uvádzajú GARROD a WILLIS [1], neodráža jeho environmentálnu alebo vnútornú hodnotu (intrinsic value). Predstavuje rozdiel medzi aktuálnou cenou daného statku alebo služby a cenou, ktorú je spotrebiteľ ochotný zaplatiť. Pokiaľ je aktuálna cena nižšia ako tá, ktorú pre neho predstavuje získanie daného statku alebo služby, ide o rentu spotrebiteľa. Podstatou metódy je teda analýza vzťahu medzi dopravnými nákladmi návštevníka a prejavom jeho preferencie lokalitu navštíviť.

Modely cestovných nákladov môžeme vo všeobecnosti rozdeliť do troch hlavných metodických prístupov [17]:

1. Zonálne cestovné náklady
2. Cestovné náklady jedného miesta (single site travel cost)
3. Cestovné náklady viacerých miest (multi-site travel cost)

Táto práca je zameraná na aplikáciu spomenutého zonálneho modelu metódy cestovných nákladov.

2 ÚDAJE O NÁVŠTEVNÍKOV VYSOKÝCH TATIER A ICH SPRACOVANIE

2.1 Dotazníky pre návštevníkov a ich vyhodnotenie

Údaje o návštevníkoch lokality sme získali prostredníctvom dotazníkov v ktorých boli jednoznačne a presne formulované otázky pre účely výskumu. Predmetom skúmania však neboli údaje o spoplatnení vstupu. Takýto postup by bol súčasťou metódy kontingenčného oceňovania, nie metódy cestovných nákladov.

Prieskum sa vykonával počas 4 dní na lokalite Veľká studená dolina v mesiacoch júl a august 2008. V tých istých dňoch sa vykonalo aj sčítavanie celkového počtu návštevníkov. Ich priemerný počet na lokalite v sezóne dosiahol 607 návštevníkov za 1 deň. Dotazníky vyplnilo 359 jednodňových návštevníkov. Každý respondent vyplňoval dotazník za prítomnosti spoluautorky, aby nedošlo k nesprávnemu pochopeniu otázky.

2.2 Rozdelenie návštevníkov do geografických zón

Návštevníci boli rozdelení do zón na základe údajov geografického informačného systému, pričom zóny sa vytvorili od východiskového miesta ktorým bol Starý Smokovec po vzdialenostiach 50 km. Vytýčených bolo sedem zón. V každej z nich bol zistený počet obyvateľov, ktorý je základnou vstupnou veličinou použitej metódy.

Tab. 1: Pozorovaný počet návštevníkov z jednotlivých geografických zón vo vzorke počas rekreačnej sezóny júl – august 2008

Tab. 1: The observed numbers of visitors coming from particular geographical zones in a sample during the recreational season July – August 2008

Zóna	Vzdialenosť	Počet obyvateľov	Počet návštevníkov	Relatívne početnosti
	(km)	(M)	(m)	(p)
1	0 – 50	460 190	109	0,000237
2	51 – 100	1 444 384	78	0,000054
3	101 – 150	1 294 532	78	0,000060
4	151 – 200	982 927	62	0,000063
5	201 – 250	846 306	16	0,000019
6	251 – 300	392 154	0	0,000000
7	> 300	3 433 333	16	0,000005
Spolu			359	0,000438

2.3 Štatistická analýza údajov o návštevách

Štatistická analýza údajov o návštevách zahŕňa testovanie nulovej hypotézy (H_0) o rozdelení relatívnych početností návštev zo zóny vo vzorke respondentov $f(t)$, pričom táto hypotéza predpokladá, že rozdiel medzi empirickou distribučnou funkciou $F_n(t)$ zostavenou z odhadnutých relatívnych početností a distribučnou funkciou $F(t)$ predpokladaného teoretického Weibulloвого rozdelenia pravdepodobnosti $W(c, \gamma)$ je rovný nule.

$$H_0: F_n(t) - F(t) = 0 \quad (1)$$

Testovacou veličinou bola najvyššia absolútna hodnota (D_{max}) rozdielu (1). Táto hodnota sa porovnala s kritickou hodnotou Kolmogorovho – Smirnovovho testu $D(n)_\alpha$ [8]. Odhad parametrov rozdelenia $W(c, \gamma)$ sme vykonali metódou kvartilov podľa publikácie [10]. Výsledky testu nulovej hypotézy (1) sú uvedené v Tabuľke 2.

Hypotézu (H_0) o zhode empirickej distribučnej funkcie (EDF) s teoretickou distribučnou funkciou (TDF) Weibulloвого rozdelenia $W(c, \gamma)$ nemožno zamietnuť na hladine významnosti ($\alpha = 0,05$). Preto rozdiely týchto funkcií možno považovať len za náhodné a obidve funkcie za veľmi významne zhodné.

Tab. 2: Výsledky testu dobrej zhody empirickej distribučnej funkcie relatívnych početností návštevníkov vo vzorke $F_n(t)$ s distribučnou funkciou $F(t)$ predpokladaného Weibulloвого rozdelenia $W(c, \gamma)$

Tab. 2: The results of testing the good fitness between the empirical distribution function of population proportions of visitors in a sample $F_n(t)$ and the distribution function of the assumed Weibull distribution $W(c, \gamma)$

	Vzdialenosť (km)	Relatívne početnosti	(EDF)	(TDF)	(D)
Zóna (km)	(t)	$f(t)$	$F_n(t)$	$F(t)$	$F_n(t) - F(t)$
0 – 50	50	0,5418	0,5418	0,4790	0,0628
51–100	100	0,1233	0,6651	0,7127	0,0476
101–150	150	0,1376	0,8027	0,8385	0,0358
151–200	200	0,1449	0,9476	0,9080	0,0396
201–250	250	0,0421	0,9897	0,9472	0,0425
251–300	300	0,0000	0,9897	0,9694	0,0203
300–700	350	0,0104	1,0000	0,9822	0,0178
		$n =$	359	$D_{max} =$	0,0628
		$\alpha =$	0,05	$D(n)_\alpha =$	0,0717
				$c =$	0,0167
				$\gamma =$	0,9360

Ďalej sme vykonali bodový aj intervalový odhad pravdepodobností návštev z jednotlivých zón $p(t)$. Pre bodové odhady $p(t)$ sme použili vzorec z publikácie [6] a pre ich výpočet sme použili nasledovné vstupné údaje:

$$p(t) = k \cdot \Delta F(t) \cdot p \quad (2)$$

kde:

$p(t)$ je pravdepodobnosť návštevy zo zóny,

k – počet uvažovaných zón vo vzorke,

$\Delta F(t)$ – rozdiel v hodnotách distribučnej funkcie rozdelenia $W(c, \gamma)$ medzi dvomi susednými zónami,

n – experimentálne pozorovaný počet návštevníkov,

N – počet obyvateľov vo všetkých zónach,

p – relatívna početnosť návštevníkov zaradených do vzorky v základnom súbore obyvateľstva (N).

Intervalový odhad pravdepodobnosti návštevy z jednotlivých zón podľa ich vzdialenosti od regiónu Vysokých Tatier je založený na intervalových odhadoch pre nasledovné 2 veličiny:

1. Na intervalovom odhade distribučnej funkcie identifikovaného Weibullovo rozdelenia $W(c, \gamma)$, keď

$$\Delta F(t)_{1-\alpha} = F(t)_{1-\alpha} - F(t-1) \quad (3)$$

2. Na intervalovom odhade relatívnej početnosti (p), kde

$$(p + s_n \cdot z_{1-\alpha}) = 1 - \alpha \quad (4)$$

keď (s_n) je stredná chyba relatívnej početnosti (p) a ($z_{1-\alpha}$) kritická hodnota normovaného normálneho rozdelenia $N(0; 1)$.

Pravostranný odhad pravdepodobnosti $p(t)$ bol s využitím publikácie [6] potom vypočítaný nasledovne:

$$p_n(t)_{1-\alpha} = k \cdot [\Delta F(t) + D(n)_\alpha] \cdot (p + s_n \cdot z_\alpha) \quad (5)$$

Tieto bodové aj intervalové odhady pravdepodobnosti však informujú len o očakávanom výskyte 359 návštevníkov na území Veľkej Studenej doliny. Priemerný denný počet návštevníkov Vysokých Tatier v rokoch 2007-2008 ale bol 3 656 osôb. Preto pravdepodobnosti návštevy pre model odhadu hodnoty rekreačnej funkcie lesa sme zovšeobecnilí podľa pravidla o konvolúcii pravdepodobnosti ich pre násobením zlomkom (3 656/359).

4 ODHAD HODNOTY REKREAČNEJ EXTERNALITY LESA

4.1 Kalkulácia nákladov pobytu návštevníkov

Pri aplikácii metódy cestovných nákladov sme uvažovali s nasledovnými kategóriami nákladov:

1. Cestovné náklady, ktorých základné zložky tvorili:
 - dopravné náklady a
 - ostatné náklady.
2. Náklady času.

Všetky náklady, ktoré boli respondentmi v dotazníkoch uvádzané v [SKK], boli prepočítané na [€] konverzným kurzom 1 € = 30,1260 SKK.

Kalkuláciu týchto kategórií nákladov pre účely odhadu hodnoty rekreačnej externality sme vykonali tak, ako je to uvedené v nasledovných kapitolách.

4.1.1 Cestovné náklady

Dopravné náklady

Podľa použitého dopravného prostriedku boli dopravné náklady kalkulované nasledujúcim spôsobom:

1. Osobný automobil – použili sa údaje zo stránky www.viamichelin.com, ktorá pri nákladoch na dopravu zohľadňuje všetky náklady spojené s konkrétnou cestou (cena pohonných hmôt, poplatok za použitie diaľnic, clo, mýto); uvedená suma bola predelená tromi, keďže sa ráta priemerne s tromi cestujúcimi v jednom aute.
2. Autobus – bol vypočítaný priemer cien na konkrétne kilometre podľa platných cenníkov Slovenskej autobusovej dopravy (SAD) v období vykonania dotazníkového prieskumu zo všetkých dostupných cenníkov SAD. Do úvahy sa zobrali všetky trasy, ktoré daná SAD vykonáva a zároveň boli dostupné príslušné cenníky, takže sú tu zahrnuté aj dopravné náklady na cestu do Českej republiky.
3. Vlak – bol vypočítaný priemer cien na konkrétne kilometre podľa platných cenníkov Slovakrail v období dotazníkového prieskumu, pričom bola zohľadňovaná suma celého lístku v 2. triede.

Ostatné náklady

Vyčíslenie ostatných nákladov bolo úlohou respondenta, pričom do tejto kategórie nákladov patrí parkovné (prepočítané na osobu) a náklady na stravu a občerstvenie počas daného dňa stráveného v konkrétnej oblasti.

4.1.2 Náklady času

Táto položka vyjadruje alternatívne náklady návštevníka podľa príjmu respondenta, ktorý uviedol v dotazníku. Pokiaľ išlo o študenta, väčšina uvádzala príspevok, ktorí dostávajú od rodičov a táto suma bola považovaná za príjem daného respondenta. Rozdelenie mesačného príjmu respondenta v dotazníku bolo nasledovné:

- A. < 10 000 SKK
- B. 10 000 SKK - 20 000 SKK
- C. 20 000 SKK - 30 000 SKK
- D. 30 000 SKK - 50 000 SKK
- E. >50 000 SKK

V každej skupine sme zobrali do úvahy priemernú hodnotu týchto príjmov a hodnotu 1 hodiny práce. V každej skupine sa hodnota práce odhadla nasledujúcim spôsobom. Dotazníkový prieskum sa konal v mesiacoch júl a august 2008, pričom v júli bolo 24 pracovných dní a v auguste 20, teda priemerne bolo v letnej sezóne 22 pracovných dní v mesiaci.

Každý deň sa uvažovalo 8 pracovných hodín, čo predstavuje 176 hodín v mesiaci ($8 \times 22 = 176$). Týmto počtom hodín sa predelila suma priemerného príjmu v každej skupine, čím sa odhadla hodnota 1 hodiny práce. Sumy boli zaokrúhľované na dve desatinné miesta. O výsledkoch určenia hodnoty práce týmto postupom informuje Tabuľka 3.

Tab. 3: Ocenenie práce na základe priemerného mesačného príjmu (€ . hod⁻¹)

Tab. 3: The valuation of labour based on the average monthly income (€ . hour⁻¹)

Skupina	Mesačný príjem [SKK . mes ⁻¹]	Hodnota práce [SKK . hod ⁻¹]	Hodnota práce [€ . hod ⁻¹]
A	5 000	2,84	0,09
B	15 000	85,23	2,83
C	25 000	142,00	4,71
D	40 000	227,27	7,54
E	60 000	340,90	11,32

Na zistenie hodnoty času (T), ktorý respondent musel obetovať na to, aby sa do danej lokality mohol dostať i aby v nej mohol stráviť určitý čas a sa z nej aj vrátiť, bol použitý nasledujúci vzorec:

$$T = [(2 \cdot V\check{c}) + \check{c}_l] \cdot (h_p/60) \quad (6)$$

kde:

$V\check{c}$ sú vyrovnané trvanie cesty z miesta bydliska do lokality [min]

$\check{c}_l$ je čas strávený v danej lokalite [min]

h_p – hodnota 1 hodiny práce [€ . hod⁻¹]

Pre odhad času stráveného na lokalite sme zobrali do úvahy aj čas potrebný na prekonanie trasy zo Starého Smokovca na začiatok trasy vo Veľkej studenej doline (60 minút) a priemerný čas strávený v tejto lokalite ktorý uviedli respondenti v dotazníku (480 min).

Na základe týchto kalkulácií boli pre účely odhadu hodnoty rekreačnej externality lesa vytvorené 3 skupiny nákladov:

1. Dopravné náklady (náklady na prepravu k lokalite a späť).
2. Celkové dopravné náklady (dopravné náklady zvýšené o ostatné náklady).
3. Cestovné náklady (celkové dopravné náklady zvýšené o náklady času).

4.2 Formulácia funkcie dopytu po externalite

Pre účely formulovania dopytu po rekreačnej externalite lesa sme zvolili postup ktorý pozostával z nasledovných 2 krokov:

1. Analýzy vzťahu medzi cestovnými nákladmi a pravdepodobnosťou návštev.
2. Formulácia zmeny očakávaného počtu návštevníkov v závislosti od meniacich sa cien denného vstupného na lokalitu.

Zníženie pravdepodobnosti návštevy pri vyšších cenách vstupného vždy znamená zníženie dopytu, t.j. očakávaného počtu návštevníkov.

Bodový aj intervalový odhad krivky dopytu sme vypočítali s použitím tabuľkového procesora EXCEL. Bodový odhad funkcie dopytu má nasledovný tvar:

$$y = -13,988 \ln(x) + 113,06 \quad (7)$$

Intervalový odhad funkcie dopytu predstavuje ten istý druh krivky ale s inými parametrami:

$$y = -20,000 \ln(x) + 224,15 \quad (8)$$

Bodový odhad krivky dopytu po rekreácii ktorý sme získali opísaným postupom je uvedený na Obrázku 1 a jeho intervalový odhad je uvedený na Obrázku 2. Hodnoty indexu determinácie sú v oboch prípadoch veľmi vysoké ($R^2 > 0,998$) a preto odhalenú závislosť medzi zmenou ceny vstupného a zmenou počtu návštevníkov možno považovať za veľmi významnú. Na Obrázku 3 je uvedené grafické porovnanie výsledkov oboch odhadov dopytu.

3.1 Odhad hodnoty rekreačnej externality lesa

Hodnota rekreačnej externality lesa na danej lokalite sa odhadla z funkcie dopytu podľa hodnoty odhadu uvažovanej renty spotrebiteľa. Z krátkodobého hľadiska je možné brať do úvahy aj rentu producenta pri takej cene vstupného poplatku, ktorý je pre producenta najvýhodnejší. Z dlhodobého hľadiska je rozhodujúca len renta spotrebiteľa. Renta spotrebiteľa sa určila ako plocha pod krivkou dopytu (y) nad najvýhodnejšou cenou vstupného poplatku, pri funkcii dopytu vo všeobecnom tvare:

$$y = a - b \cdot \ln(x) \quad (9)$$

kde (x) označuje uvažovaný počet návštevníkov, (a) najvyššiu prípustnú cenu vstupného a (b) elasticitu dopytu.

Na základe známej informácie o dopyte po návštevách (9) je možné hodnotu externého efektu odhadnúť prostredníctvom ukazovateľa renty spotrebiteľa (RS) pri uvažovanej cene poplatku za návštevu. Kapitálová hodnota tejto renty (E) je potom rovná sume:

$$E = \frac{RS}{p} \quad (10)$$

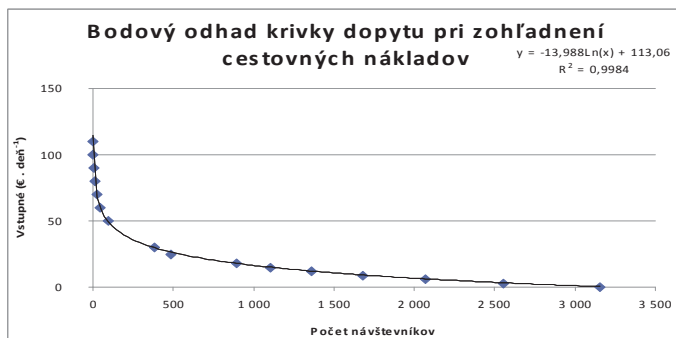
E je kapitálová hodnota rekreačnej externality lesov,

RS – ročná hodnota renty spotrebiteľa z dlhodobého hľadiska,

p – priemerná bezriziková výnosová miera vládnych dlhopisov za posledných 7 rokov ($p = 4,541\%$ p. a., zdroj: Národná banka Slovenska).

4 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Priebeh krivky dopytu jednodňových návštevníkov po pozitívnej rekreačnej externalite lesa bol vyjadrený pri zohľadnení cestovných nákladov tak pre jej bodový ako aj intervalový odhad. Bodový odhad (Obr. 1) informuje o skutočnosti, že pri nulovom vstupnom poplatku je možné očakávať 3 154 návštevníkov. Pri vstupnom poplatku 113 [€ . deň⁻¹], ktorý reprezentuje akékoľvek ďalšie náklady okrem cestovných nákladov spojené s jednodennou rekreáciou návštevníka, nepríde nikto.



Obr. 1: Bodový odhad krivky dopytu po jednodňových návštevách lesov Vysokých Tatier so zohľadnením cestovných nákladov

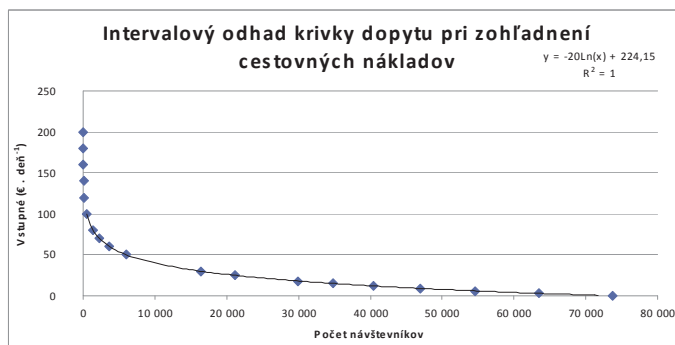
Fig. 1: The point estimate of a demand curve for one day lasting visits of the High Tatras forests with the travel costs taking in a regard

Renta spotrebiteľa predstavuje plochu pod krivkou dopytu, ktorá sa nachádza nad úrovňou vstupného poplatku najvýhodnejšieho pre producenta. V prípade bodového odhadu ide o vstupný poplatok vo výške 15 [€ . deň⁻¹]. Bodový odhad renty spotrebiteľa (RS) sme vypočítali nasledovným vzorcom:

$$RS = OP - PP = \int_0^{1104} [-13,988 * \ln(x) + 113,06] - 15 \cdot 1104 = 32058 - 16560 = 15498 \quad (11)$$

Suma 15 498 [€ . deň⁻¹] predstavuje hodnotu rekreačnej funkcie lesov Vysokých Tatier pre 1 104 jednodňových návštevníkov za 1 deň. Pretože lesy Vysokých Tatier budú zrejme poskytovať rekreačnú externalitu aj v budúcnosti, je možné ročnú hodnotu renty spotrebiteľa aj kapitalizovať podľa vzťahu (10).

Intervalový odhad dopytu (Obr. 2) pri zvolenej spoľahlivosti $(1-\alpha) = 0,95$ je určený hornou hranicou odhadu pravdepodobnosti návštevy $p(t)_{0,95}$ v základnom súbore.



Obr. 2: Intervalový odhad krivky dopytu po jednodňových návštevách lesov Vysokých Tatier so zohľadnením cestovných nákladov

Fig. 2: The interval estimate of a demand curve for one day lasting visits of the High Tatras forests with the travel costs taking in a regard

Informuje o skutočnosti, že pri nulovom vstupnom poplatku je možné očakávať 73 681 návštevníkov. Pri vstupnom poplatku 210 [€ . deň⁻¹], ktorý reprezentuje akékoľvek ďalšie náklady okrem cestovných nákladov spojené s jednodennou rekreáciou návštevníka, nepríde nikto.



Obr. 3: Porovnanie bodového a intervalového odhadu krivky dopytu po jednodňových návštevách lesov Vysokých Tatier so zohľadnením cestovných nákladov

Fig. 3: The comparison of both the point and interval estimates of a demand curve for one day lasting visits of the High Tatras forests with the travel costs taking in a regard

Renta spotrebiteľa v prípade jej intervalového odhadu ($RS_{0,95}$) bola počítaná nasledovným vzorcom:

$$RS_{0,95} = OP_{0,95} - PP_{0,95} = \int_0^{29957} [-20 \cdot \ln(x) + 224,1] - 18 \cdot 29957 = 597631 \quad (12)$$

Jej hodnota 597 631 [€ . deň⁻¹] predstavuje hornú hranicu pravostranného odhadu hodnoty rekreačnej funkcie lesov Vysokých Tatier pre 29 957 jednodňových návštevníkov za 1 deň. Renta producenta dosahuje 539 226 [€ . deň⁻¹]. Podobne ako pri bodovom odhade, možno rentu spotrebiteľa kapitalizovať s využitím rovnice (10) aj v prípade jej intervalového odhadu.

Uvedené výsledky informujú o odhadnutej hodnote rekreačnej funkcie lesov danej lokality pre jednodňových návštevníkov za obdobie 1 dňa.

Informácia o výsledkoch výpočtu bodového a intervalového odhadu hodnoty rekreačnej funkcie lesov použitou metódou za obdobie celej letnej sezóny (62 dní), ktorá sa každoročne periodicky opakuje, je prehľadne uvedená v Tabuľke 4.

Výsledky práce predstavujú prvé informácie o použití metódy cestovných nákladov pre odhad hodnoty rekreačnej externality lesov na území Slovenska. Poukazujú na reálnu možnosť použitia metódy cestovných nákladov na tomto území. Pre zvýšenie presnosti výsledkov by v budúcnosti bolo vhodné zvýšiť počet hodnotených respondentov ako aj vyhodnotiť časový rad výsledkov prieskumu počtu návštevníkov za dlhšie obdobie.

Tab. 4: Vstupné údaje a výsledky výpočtu bodového a 95 % intervalového odhadu hodnoty rekreačnej funkcie lesov Vysokých Tatier

Tab. 4: The input data and results of calculating the point and 95 % interval estimates concerning the value of recreational function of the High Tatras forests

ODHAD	Ochota zaplatiť (OP)	Povinnosť zaplatiť (PP)	Renta spotrebiteľa (RS)	Kapitálová hodnota (E)
	[€ . rok ⁻¹]	[€ . rok ⁻¹]	[€ . rok ⁻¹]	[€ . rok ⁻¹]
Bodový	1 987 596	1 026 720	960 876	21 160 009
Intervalový (1- α = 0,95)	70 485 134	33 432 012	37 053 122	815 968 333

Výsledky bodového aj intervalového odhadu hodnoty rekreačnej funkcie lesa na skúmanej lokalite získané použitou metódou je možné využiť ako podklady pre rozhodovanie v rámci lesníckej a hospodárskej politiky vlády pre podporu trvale udržateľného rozvoja a využívania lesných ekosystémov Vysokých Tatier v budúcnosti.

Pod'akovanie

Uvedená publikácia bola vytvorená realizáciou projektu „Centrum excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy“, na základe podpory Operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja. Autori ďakujú programu za podporu ich výskumu.

Zoznam použitej literatúry

- [1] GARROD, G. M., WILLIS, K. W., 1999: Economic Valuation of the Environment. Northampton, MA, Edward Elgar. 214 p.
- [2] GREGORY, G. R., 1987: Resource Economic for Foresters. New York, John Wiley and Sons.. 477 p.
- [3] HANLEY, N., SPLASH, C. L., 1995: Cost Benefit Analysis and the Environment. England, Edward Elgar Publishing.. 288 p.
- [4] HOLÉCY, J., 1995: Príspevok k problematike oceňovania lesov v trhovom hospodárstve. [Habilitačná práca]. Zvolen. 79 s. Technická univerzita vo Zvolene.
- [5] HOLÉCY, J., 1998: Využitie ekonomicko – matematických metód v oceňovaní lesov. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene. 57 s.
- [6] HOLECY, J., HANEWINKEL, M., 2006: A forest management risk insurance model and its application to coniferous stands in southwest Germany. Forest policy and Economics. 8, (2). pp. 161-174
- [7] KARASIN, L. The Travel Cost Method : Background, Summary, Explanation and Discussion. [online článok]. [cit 2009-04-02]. Dostupné na internete: <<http://www.ulb.ac.be/ceese/PAPERS/TCM/TCM.html>>.
- [8] LIKEŠ, J., LAGA, J., 1978: Základní statistické tabulky. Praha, SNTL – Nakladatelství technické literatury. 488 s.
- [9] MAYOR, K., SCOTT, S.: Comparing the Travel Cost Method and the Contingent Valuation Method – An Application of Convergent Validity Theory to the Recreational Value of Irish Forests. [online článok]. [cit 2009-04-02]. Dostupné na internete: <<http://www.esri.ie/UserFiles/publications/20070426114616/WP190.pdf>>.
- [10] PACÁKOVÁ, V., 2000: Aplikovaná poistná statistika. Bratislava, Elita Publishing Company. 248 s.
- [11] PEARCE, D., W., TURNER, R., K., 1990: Economics of Natural Resources and the Environment. Maryland, John Hopkins University Press. 378 p.

- [12] PRICE, C., 1989: The Theory and Application of Forest Economics. Oxford, Basil Blackwell Ltd. 402 p.
- [13] SEJÁK, J., PŮLKRAK, K., ŠIŠÁK, L., KOKOŠKA, J., SITENSKÝ, I., 1999: Oceňování pozemků a přírodních zdrojů. Praha, Grada. 256 s.
- [14] SMRTNÍK, J., 1993: Mikroekonómia. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene. 173 s.
- [15] ŠÁLKA, J., TRENCIANSKY, M., BAHULA, P., BALÁŽOVÁ, M., 2008: Ekonómia životného prostredia. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene. 163 s.
- [16] ŠIŠÁK, L., 1994: Structure of forest functions and aims of their valuations. In: Forest value. Jiloviště-Strnady, Forestry and Game Management Research Institute. pp. 183-186
- [17] THIENE, M., SIGNORELLO, G.: Good Practice Guidelines in Revealed Preference Methods. [online prezentácia]. [cit 2009-04-02]. Dostupné na internete: <<http://www.medforex.net/E45/4.LaPalma/RP.pdf>>.

Adresy autorov:

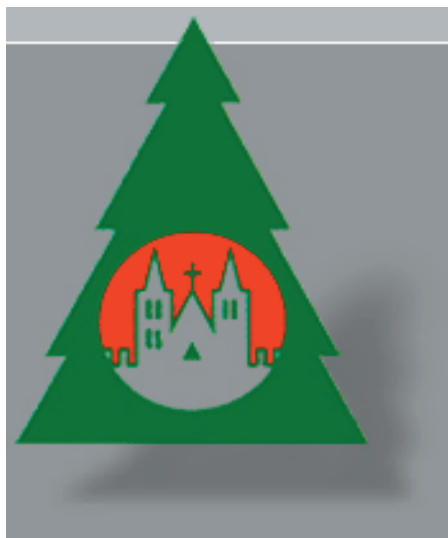
Ing. Kristína Brezovská
 Petzvalova 10
 949 11 Nitra
 Prof. Ing. Ján Holécý, CSc.
 Katedra ekonomiky a riadenia lesného hospodárstva
 Technická univerzita vo Zvolene
 T. G. Masaryka, 24
 960 53 Zvolen
 e-mail: kristina.brezovska@yahoo.com
 holecý@vsl.d.tuzvo.sk

Summary

The valuation of a recreational function provided by forests growing in the High Tatras by a travel costs method

The paper presents results of both the point and interval estimates of the external value of a recreation provided by the forests of the High Tatras by a travel costs method. As essential inputs for the applied method, the data about (n) = 359 visitors coming from 7 geographical zones from Slovakia and abroad, obtained during the recreational season 2008 were used. The interval estimate of a demand function for a recreation in this territory was determined by using the statistical analysis of likelihood concerning assumed visitors and costs necessary for their transport and a 1 day lasting stay. The statistical test between the empirical distribution function set up from the population proportions concerning visits from particular zones in a sample and the distribution function of the assumed Weibull probability distribution $W(c; \gamma)$ pointed out a very good fitness on the level of significance (α) = 0,05. This information was used for calculating the interval estimates of probabilities and the demand concerning visits from particular zones. Based on the estimate of both the consumer's and producer's surplus, the value of externality under assumed conditions has been determined.

PRO POPULO Poprad, s.r.o.



Naše podĎakovanie patrí taktieĎ vĎetĎkým sponzorom 49. roĎníka ŤVOĎ na LF

Lesy Slovenskej republiky, ť.p.
LKT Trstená s.r.o
KT Servis, s.r.o.
Lesnícke náradie GRUBE s.r.o.
Ministerstvo pôdohospodárstva SR
Vydavateľstvo Lesmedium, časopis Les&letokruhy
Národné lesnícke centrum
Ministerstvo ģivotného prostredia SR
Ťtátna ochrana prírody Slovenskej republiky
Slovenská agentúra ģivotného prostredia
Banskobystrický samosprávnny kraj
Mesto Zvolen
Uniagro s.r.o.

ACTA FACULTATIS FORESTALIS LI, Suppl. 1 – 2009

Prvé vydanie – Vydala Technická univerzita vo Zvolene v roku 2009 – Počet strán 164
Náklad 100 výtlačkov – Tlač a grafická úprava Vydavateľstvo TU vo Zvolene – Vydanie
publikácie schválené Edičnou radou TU vo Zvolene dňa 26. 1. 2009, číslo EP 137/2009
– Evidenčné číslo 3861/2009

ISSN 0231-5785