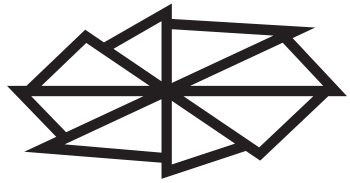


TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE

**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

L – 2008
č. 1

2008
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 Žíhlavník, CSc.
Prof. Ing. Štefan Žíhlavník, CSc.

Vedecký redaktor:
Doc. Ing. Dušan Gömöry, CSc.

Posudzovatelia:
Doc. Ing. Marek Fabrika, PhD.
Ing. Jozef Tajboš, CSc.
Prof. Ing. Valéria Messingerová, CSc.
Doc. Ing. Pavel Hell, CSc.
Doc. Ing. Katarína Střelcová, PhD.
Ing. Ingrid Čaňová, PhD.
Prof. Ing. Ladislav Tužinský, CSc.
Ing. Miroslav Kardoš, PhD.
Ing. Martin Lieskovský, PhD.
Mgr. Milan Koreň, PhD.
Doc. Ing. Karol Gubka, CSc.
Ing. Štefan Pavlík, PhD.
Doc. Ing. František Chudý, CSc.
Ing. Jaroslav Vencúrik , PhD.

© Technická univerzita vo Zvolene
ISSN 0231-5785

OBSAH – CONTENTS – INHALT

Tullová, M.: Genetická premenlivosť populácií jeleňa lesného (*Cervus elaphus*, L.) na Slovensku a v Európe 7
Genetic variability of populations of red deer (*Cervus elaphus* L.) in Slovakia end Europe 7

Lešová, A., Lešo, P., Kropil, R.: Príspevok k ekológii dvoch modelových druhov drobných zemných cicavcov v podmienkach jedľovo-bukového lesa 19
Contribution to the ecology of two model micromammal species in fir-beech forest....19

Kurjak, D., Ditmarová, Ľ., Kmeť, J.: Citlivosť reakcie biomarkérov stresu zo sucha u smreka obyčaného 33
Sensitivity of drought stress biomarkers tested on norway spruce 33

Hríbik, M.: Dynamika časovej a priestorovej distribúcie zásob vody v snehovej pokrývke v malom horskom povodí Hučavy– BR Poľana, alebo: Prečo sa jarné povodne BR – Poľana vyhýbajú 47
Dynamics of snow cover water supply temporal and spatial distribution in small mountain watershed of Hucava Biosphere reserve Polana, or Why spring floods in BR Polana not exist? 47

Capuliak, J., Homolák, M.: Vplyv denzity bukového porastu na infiltráciu vody do pôdy....61
Infiltration and water movement under beech forest stand with different density....61

Pittner, J.: Stav nekromasy a prirodzená obnova drevín smrekového prírodného lesa v doline Nefcerka 71
Nekromassestruktur und Verjungung von Holzarten des Fichtennaturwaldes im Tal Nefcerka 71

Balanda, M.: Charakteristika metodického postupu pri hodnotení štruktúry, textúry, diverzity a regeneračných procesov prírodného lesa v NPR Hrončecký Grúň 85
The characteristics of metodics for evaluation of structure, texture, diversity and regeneration processes in NNR Hrončecký Grúň 85

Schneider, M.: Analýza koncepcie prírastkového hospodárstva dubových a bukových porastov s využitím rastového simulátora SIBYLA 97
Analysis of increment management conception of hardwood oak and beech forest stands with the use of growth simulator SIBYLA 97

Becze, F., Šadibol, J.: Využitie materiálov digitálneho snímkovania na určovanie plošných obsahov 115
Die Auswertung der Materialien digitales Aufnahme an die Bestimmung der Flächenausmässe 115

Smreček, R., Becze, F.: Airborne AISA – hyperspektrálne záznamy a ich využitie v lesníctve 125
Airborne AISA – hyperspectral images and their application in forestry 125

Meluš, J., Faško, M.: Družicová geodézia (GNSS) a služba SKPOS v lesníckom mapovaní 137
Satellite Geodesy (GNSS) and the SKPOS Service in Forestry Survey 137

Ilčík, Š.: Princíp rekuperačných lanových zariadení 151
Principle of recuperative forest cableways 151

Bugoš, M., Stanovský, M.,Lieskovský, M.: Časová analýza operácii pri sústreďovaní dreva horským procesorom Konrad Mounty 4000 163
Time analysis of the operations during yearding by mountainy procesor Konrad Mounty 4000 163

Holp, J.: Využitie lanoviek v úmyselných a náhodných ťažbách – Horský procesor Mounty 4000 175
The Use of the Forest Cableways in Salvage and Planned Cuts. Mountain processor Mounty 4000 175

ACTA FACULTATIS FORESTALIS XLX
ZVOLEN – SLOVAKIA 2008

GENETICKÁ PREMENLIVOSŤ POPULÁCIÍ JELEŇA LESNÉHO (*CERVUS ELAPHUS,* L.) NA SLOVENSKU A V EURÓPE

Margaréta T u l l o v á

Tullová, M.: Genetická premenlivosť populácií jeleňa lesného (*Cervus elaphus***,** L.) na Slovensku a v Európe. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, **XLX**, 2008, č. 1, s. 7–18.

Cieľom práce je výskum genetickej diverzity a diferenciácie populácií jeleňa lesného zo Slovenska a vybraných krajín Európy. Na analýzy bolo použitých 515 vzoriek rôzneho biologického materiálu (srdce, pečeň, sval). DNA bola izolovaná metódou podľa Sambrooka (Sambrook *et al*. 1989). Kvalita DNA bola zisťovaná na 0,8 %-om agarózovom géle a koncentrácia zmeraná spektrofotometri Nanodrop. Na amplifikáciu DNA sme vybrali 16 primérov, ktoré boli publikované Kühnom (Kühn et al,2003).Populačno-genetické analýzy sme vypočítali pomocou programového balíka POPGENE (Yeh *et al.* 1997).

Všetky všetky sledované lokusy sú polymorfné, skutočný počet alel na lokus (n_a) varíroval od 6 po 16 a efektívny počet alel(n_e) sa nachádzal v intervale 1,665–7,780. Najmenšia premenlivosť bola zistená pri lokuse IOBT918. Ďalšie charakteristiky genetickej diverzity ako pozorovaná (H_o) a očakávaná (H_e) heterozygotnosť na skúmaných lokusoch sa pohybovali v intervale H_o od 0,147 do 0,829, H_e sa pohybujú medzi 0,154 a 0,874. Pri porovnaní slovenských populácií zisťujeme vysoký stupeň premenlivosti, čo môže byť spôsobené častými reintrodukciami v histórii, i tým , že sledované územie predstavuje kontaktnú zónu viacerých poddruhov. Analýzy európskych populácií poukazujú trend bližšej príbuznosti populácií v rámci Karpatského oblúka oproti populáciám na západ od neho.

Key words: *Cervus elaphus*, microsatelites, genetic diversity, genetic differentiation

ÚVOD A PROBLEMATIKA

Jeleň sa vyskytuje nerovnomerne v celej Európe (*Cervus elaphus*) okrem jej najsevernejších častí, severnej Afrike, v Ázii, severnej Amerike (*Cervus canadensis*), ktoré sú týchto oblastiach pôvodné (obr. 1). Bol však introdukovaný aj do latinskej Ameriky, Austrálie a na Nový Zéland.

Oblasť výskytu jelenej zveri v Európe sa začína v Belgicku, pokračuje severozápadom Francúzka, Luxemburskom a zaberá veľkú časť Nemecka. Odtiaľ prechádza do alpskej časti Švajčiarska a Talianska. Ďalej zaberá celé Rakúsko do Slovinských Álp. Na nemeckú oblasť nadväzuje v Česku Šumava a Krušné hory, potom pokračuje na sever do sliezskej

oblasti Poľska. Toto je približne územie výskytu západoeurópskeho poddruhu jelenej zveri.

V severnom Poľsku pokračuje výskyt jelenej zveri Pomorím a Mazúrskou plošinou do Litvy, Lotyšska a Estónska. Tieto jelene majú svojrázny lopatovitý tvar parožia takzvaného mazúrskeho typu. Jelenia oblasť juhovýchodného Poľska nadväzuje Beskydami na slovenské pohoria a Karpaty. Tu sa začína pôvodná oblasť karpatského jeleňa. I keď pôvodné populácie boli značne zdecimované a ovplyvnené introdukovanými druhmi, vidno zreteľný vplyv karpatského typu. Menej narušené karpatské populácie žijú na východnom Slovensku a ich výskyt pokračuje v lesnatej časti ukrajinských Karpát do transylvánskych hôr v Rumunsku. Na karpatskú oblasť na juhu nadväzuje pásmo nížinných jeleňov. Mimo lužných oblastí žijú v Maďarsku jelene najmä v pohorí Vértes, Mátra, v Zemplínskej oblasti a na území medzi Blatenským jazerom a Drávou. Menšie množstvo jelenej zveri žije aj v Bulharsku, v pohorí Balkán a Rodopy (Nečas, 1959).V súčasnosti je celý areál výskytu značne rozdrobený a niektorým populáciám hrozí genetická izolácia.

Obr. 1: Rozšírenie jeleňa lesného v Európe podľa Gilla
Fig. 1: Distribution of red deer in Europe after Gill

Jeleň lesný (*Cervus elaphus*) ako najrozšírenejší zástupca rodu *Cervus* a jeho príbuzný jeleň wapiti (*Cervus canadensis*) bol v posledných rokoch dosť často stredobodom genetických štúdií.

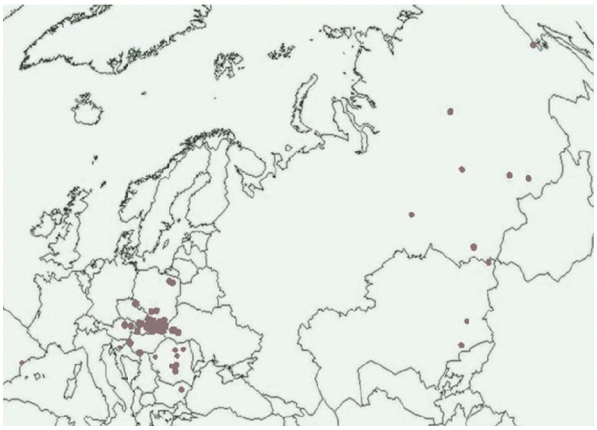
O genetickej premenlivosti populácií jelenej zveri existuje množstvo prác, ktorých autori ju skúmali pomocou rôznych genetických markérov, či už to boli krvné skupiny a proteíny, alebo izoenzýmy. V súčasnosti vystupujú do popredia molekulárne markéry a to najmä mikrosatelity jadrovej DNA alebo mitochondriálna DNA.

Väčšina prác skúmajúca genetickú variabilitu populácií jeleňa bola uskutočnená v Amerike a Nemecku a venovala sa domácim poddruhom jeleňa. Na našom území ešte nebola uskutočnená rozsiahla štúdia, boli poskytnuté iba vzorky pre práce Hartl *el al*. (1993), Hartl *et al*. (1995).

Predpokladá sa, že na Slovensku sa stretávajú dva poddruhy jeleňa lesného, *Cervus elaphus hippelaphus* a *Cervus elaphus montanus*. Existencia týchto poddruhov nebola dosiaľ dokázaná mokelulárnymi markérmi. Výskumu populácií jelenej zveri v Karpatoch sa venovali len Feulner *et al.* (2004), ktorý sústredili pozornosť na jeleňa lesného karpatského len na území Srbska a Rumunska. Náš výskum zahŕňa celú oblasť Karpatského oblúka, ale i územia mimo Karpát, pre porovnanie diverzity a diferenciácie oboch poddruhov v spomínaných oblastiach.

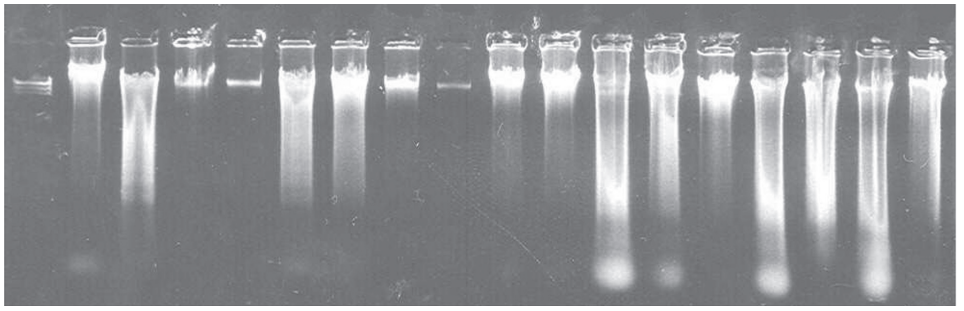
MATERIÁL A METODIKA

Na analýzy bola použitá DNA z tkanivových vzoriek získaných invazívnymi i neinvazívnymi metódami z územia Slovenska, Česka, Poľska, Maďarska, Rakúska, Rumunska, Bulharska, Slovinska, Ukrajiny, Ruska, Kazachstanu a Španielska. Celkovo bolo zozbieraných 789 vzoriek zo srdca, pečene, svaloviny, parohov ulovených jeleňov ako aj z ušníc a zhodov živých jeleňov (obr. 2). Vzorky sa po odobratí uskladňovali v 96 % etanole, okrem vzoriek z parohov. Prášok, ktorý dostaneme po navŕtaní parohu skladujeme v papierových vreckách alebo skúmavkách na suchom mieste.



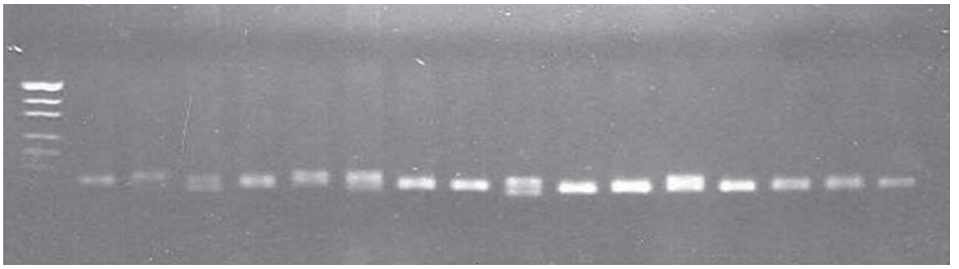
Obr. 2: Miesta odberu vzoriek
Fig. 2: Sample localities

Na izoláciu celkovej DNA z tkanív sa použila modifikovaná metóda fenol-chloroformovej deproteinizácie a etanolovej precipitácie podľa Sambrooka (Sambrook *et al*. 1989). Na izoláciu vzoriek z parožia bol použitá izolačná sada NucleoSpin Tissue Kit (Machery Nagel). Kvalita DNA bola zisťovaná na 0,8 %-om agarózovom géli. Na spektrofotometri Nanodrop bola zmeraná koncentrácia DNA a následne boli vzorky DNA zriedené na približne rovnakú koncentráciu.



Obr. 3: Test DNA
Fig. 3: Test DNA

Na amplifikáciu DNA sme vybrali 18 primérov, ktoré navrhli viacerí autori (tab. 1) a boli publikované Kühnom (Kühn, 2003). V gradientovom PCR cykléri bola optimalizovaná annealingová teplota a koncentrácie komponentov PCR pre jednotlivé priméry. Zmesi boli pripravené v objeme 12,5 µl, pričom koncentrácia komponentov bola 0,2–0,6 pmol.µl^{-1} forward-priméru; 0,2–0,6 pmol.µl^{-1} revers-priméru, 1×PCR pufru, 0,2 mM dNTPs, 3,0 mM $MgCl_2$, 0,04 U.µl^{-1} *Taq* polymerázy a 50 µg.µl^{-1} DNA. Použili sme metódu touchdown PCR, kde sa cyklus začínal predhrievaním na 95 ºC 3 min., denaturáciou pri 94 ºC 45 sekúnd, hybridizáciou 45 sekúnd pri teplote o 3 ºC vyššou ako annealingová teplota a postupným znižovaním o 0,5 ºC počas 6 cyklov sa dostala k požadovanej annealingovej teplote s rozsahom od 50 ºC do 60 ºC podľa použitého priméru, elongácia trvala 45 sekúnd pri 72 ºC. Cyklus sa s požadovanou teplotou opakoval 27-krát, končil sa 3 minútovou extenziou pri teplote 72 ºC a následným ochladením na 10 °C. Pri otimalizácii anealingovej teploty boli PCR produkty elektroforeticky separované na 2 % agarózovom géle s prídavkom etídiumbromidu (0,5 µg.µl^{-1}) a následne vizualizované pod UV svetlom, čím sa zistila optimálna teplota, pri ktorej dochádza k amplifikácii DNA pre jednotlivé priméry v polymerázovej reťazovej reakcii.



Obr. 4: Vizualizované PCR produkty
Fig. 4: PCR products on agarose gel

Genotypy sa zisťovali pomocou automatického kapilárneho genetického analyzátora ABI 3130, ktorý pri fragmentačnej analýze využíva fluorescenčne značené priméry, pričom jednou z fluorescenčných značiek je značený interný dĺžkový štandard, v našom prípade GS-500 ROX. Forward priméry sú značené troma fluorescenčnými značkami, ako je to uvedené v tab. 1. Zmes pre ABI 3130 bola vytvorená z 8,75µl formamidu (denaturačné činidlo), 0,25µl GS-500 ROX (dĺžkový štandard) a 1µl PCR produktu.

Populačno-genetické analýzy (pozorovaná a očakávaná heterozygotnosť, percento polymorfných lokusov, index fixácie a genetické vzdialenosti) sme vypočítali pomocou programového balíka POPGENE (Yeh *et al.* 1997). Genetický polymorfizmus sme hodnotili pomocou počtu alel na lokus (n_a), pozorovanej heterozygotnosti (H_o) a očakávanej heteozygotnosti (H_e), genetickú diferenciáciu pomocou Nei-ových genetických vzdialeností (Nei,1972 *in* Yeh *et al.* 1997).

Tab. 1 Charakteristika použitých mikrosatelitných primérov
Tab. 1 Characteristic of used mictosatellites primers

Systém		Sekvencie primérov 5´-3´	Annealing v °C	Ref.
IOBT965[1]	F	GGGGTTGTGGGTAAGCGGAGTT	57	8
	R	GATCTAGCGCCAGACAGACGTGTCAT		
CSSM16[1]	F	AGAGCCACTTGTTACACCCCAAAG	55	3
	R	GATGCAGTCTCCACTTGATTCAAA		
MM12[2]	F	CAAGACAGGTGTTTCAATCT	54	9
	R	ATCGACTCTGGGGATGATGT		
Haut14[3]	F	CCAGGGAAGATGAAGTGACC	53	5
	R	TGACCTTCACTCATGTTATTAA		
Cer14[3]	F	TCTCTTGCGTCTCCTGCATTGAC	54	2
	R	AATGGCACCCACTCCAGTATTCTTC		

Tab. 1 Pokračovanie
Tab. 1 Continued

Systém		Sekvencie primérov 5´-3´	Annealing v °C	Ref.
INRA35[3]	F	TTGTGCTTTATGACACTATCCG	56	11
	R	ATCCTTTGAAGCCTCCACATTC		
CSPS115[3]	F	AAAGTGACACAACAGCTTCTCCAG	56	3
	R	AACGAGTGTCCTAGTTTGGCTGTG		
CSSM22[1]	F	TCTCTCTAATGGAGTTGGTTTTTG	56	3
	R	ATATCCCACTGAGGATAAGAATTC		
ETH225[1]	F	ACATGACAGCCAGCTGCTACT	55	4
	R	GATCACCTTGCCACTATTTCCT		
ETH3[1]	F	GAACCTGCCTCTCCTGCATTGG	60	4
	R	ACTCTGCCTGTGGCCAAGTAGG		
CSSM19[2]	F	TTGTCAGCAACTTCTTGTATCTTT	55	3
	R	TGTTTTAAGCCACCCAATTATTTG		
BM1818[3]	F	AGTGCTTTCAAGGTCCATGC	57	1
	R	AGCTGGGAATATAACCAAAGG		
IOBT9183	F	ACTTATGAAAAATTACTGAGAGCG	57	8
	R	TTACTACTCCTGTCGCCTCTGA		
CSSM142	F	AAATGACCTCTCAATGGAAGCTTG	53	3
	R	GAATTCTGGCACTTAATAGGATTCA		
Haut243	F	CTCTCTGCCTTTGTCCCTGT	50	6
	R	AATACACTTTAGGAGAAAAATA		
ILSTS0061	F	TGTCTGTATTTCTGCTGTGG	53	7
	R	ACACGGAAGCGATCTAAACG		

[1]6-Fam, [2]Hex, [3]Ned: fluorescenčné označenie primérov
1: Bishop *et al*. (1994), 2: Dewoody *et al*. (1995), 3: Moore *et al*. (1992), 4: Steffen *et al*. (1993), 5: Thieven *et al*. (1995), 6: Harzilus (1998), 7:Brezinsky *et al*. (1993), 8: Anastassiadis *et al*. (1996), 9: Mommens *et al*. (1994), 10: Grosse *et al.* (1995), 11: Vaiman *et al.* (1994) in Kühn (1998)

VÝSLEDKY A DISKUSIA

V prezentovanej práci sú predložené výsledky analýzy 515 vzoriek tkanív jeleňa lesného zo Slovenska (309) Česka (30), Poľska (84), Maďarska (53), Rakúska (13), Rumunska (14), a Španielska (12). Štatistickým vyhodnotením bol zistené alelické frekvencie, pozorovaný a efektívny počet alel a heterozygotnosť. Výsledky zo slovenskej populácie sú uvedené v tab. 2. Z uvedených výsledkov je vidieť, že všetky sledované lokusy sú polymorfné, skutočný počet alel na lokus (n_a) varíroval od 6 po 16 a efektívny počet alel(n_e) sa nachádzal v intervale 1,181–7,780. Najmenšia premenlivosť bola zistená

pri lokuse CSSM14. Ďalšie charakteristiky genetickej diverzity ako pozorovaná (H_o) a očakávaná (H_e) heterozygotnosť na skúmaných lokusoch sa pohybovali v intervale H_o od 0,147 lokus CSSM14 do 0,829 lokus ILSTS006, H_e sa pohybujú medzi 0,154 (CSSM14) a 0,874 (ILSTS006).

Tab. 2 Charakteristiky genetickej štruktúry slovenských populácií jeleňa lesného
Tab. 2 Characteristics of genetic structure of Slovak red deer population

Lokus	N	na	ne	Ho	He	P
IOBT965	436	13	3,738	0,642	0,734	0,018
CSSM14	458	7	3,735	0,699	0,734	0,002
MM12	456	8	2,727	0,601	0,635	
Haut14	66	7	4,197	0,727	0,773	
Cer14	194	9	6,049	0,701	0,839	0,001
CSSM22	384	7	2,209	0,531	0,549	0,001
ETH225	282	15	6,368	0,702	0,549	
ETH3	346	9	2,631	0,26	0,622	
CSSM19	386	16	4,107	0,477	0,758	
CRSM60	408	13	6,373	0,784	0,845	
CSPS115	232	9	3,341	0,578	0,704	
ILSTS006	304	13	7,78	0,829	0,874	
CSSM14	408	7	1,181	0,147	0,154	
Haut124	494	7	2,576	0,534	0,613	0,02
IOBT918	404	6	1,665	0,396	0,4	0
BM1818	346	9	4,311	0,543	0,77	
Priemer	350	9,875	3,937	0,573	0,678	
		±3,500	±1,871	±0,185	±0,188	

kde: n – počet jedincov, n_a – počet pozorovaných alel, n_e – efektívny počet alel, H_o – pozorovaná heterozygotnosť, H_e – očakávaná heterozygotnosť, P– pravdepodobnosť s akou sa lokus odlišuje od Hardy-Weinbergovej rovnováhy, uvedené sú štatisticky významné pravdepodobnosti.

Pre zhodnotenie genetickej diverzity v rámci európskych populácií sme porovnávali pozorované(H_o) a očakávané (H_e) heterozygotnosti (tab. 3). Poľskú populáciu sme rozdelili na južnú, ktorá kopíruje slovenskú hranicu a severnú, kde by sa mal vyskytovať iný poddruh jeleňa.

Tab. 3 Porovnanie genetickej štruktúry európskych populácií jeleňa lesného
Tab. 3 Comparison of genetic structure of European red deer population

	Slovensko		Poľsko juh		Poľsko sever		Česko		Rakúsko		Maďarsko		Rumunsko		Španielsko	
Lokus	H_o	H_e	H_o	H_e	H_o	H_e	H_o	H_e	H_o	H_e	H_o	H_e	H_o	H_e	H_o	H_e
IOBT965	0,64	0,73	0,63	0,75	0,68	0,65	0,71	0,67	0,25	0,82	0,74	0,69	0,40	0,55	0,67	0,75
CSSM16	0,70	0,73	0,84	0,75	0,77	0,78	0,50	0,53	0,75	0,82	0,54	0,71	0,64	0,72	0,50	0,69
MM12	0,61	0,63	0,67	0,69	0,65	0,48	0,50	0,50	0,50	0,68	0,67	0,68	0,55	0,57	0,58	0,66
Haut14	0,73	0,77	0,75	0,89	0,00	0,00	0,67	0,80	0,00	0,00	0,70	0,85	0,71	0,63	1,00	0,79
Cer14	0,68	0,84	0,54	0,75	0,56	0,82	0,25	0,46	1,00	1,00	0,40	0,73	0,00	0,62	0,00	0,00
CSSM22	0,53	0,55	0,39	0,53	0,37	0,38	0,06	0,06	0,50	0,57	0,42	0,38	0,30	0,54	0,67	0,54
ETH225	0,70	0,85	0,78	0,84	0,90	0,87	0,81	0,81	1,00	0,87	0,69	0,75	0,40	0,80	0,67	0,79
ETH3	0,25	0,61	0,22	0,25	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,06	0,18	0,33	0,10	0,10
CSSM19	0,47	0,76	0,80	0,84	0,73	0,84	0,63	0,83	0,67	0,80	0,53	0,81	0,50	0,74	0,50	0,91
CSRM60	0,77	0,85	0,77	0,83	0,58	0,69	0,14	0,85	0,73	0,88	0,79	0,78	0,90	0,85	0,60	0,72
CSPS115	0,58	0,70	0,69	0,76	0,79	0,73	0,60	0,79	0,63	0,82	0,44	0,49	1,00	0,75	0,57	0,63
ILSTS06	0,84	0,88	0,82	0,88	0,56	0,78	1,00	0,92	0,86	0,87	0,64	0,80	0,71	0,89	0,00	0,00
CSSM14	0,15	0,16	0,19	0,18	0,05	0,05	0,27	0,26	0,08	0,08	0,20	0,22	0,25	0,23	0,00	0,00
Haut24	0,55	0,61	0,51	0,63	0,45	0,43	0,50	0,55	0,62	0,67	0,44	0,67	0,63	0,78	0,46	0,62
IOBT918	0,39	0,39	0,26	0,42	0,00	0,00	0,27	0,24	0,39	0,32	0,37	0,31	0,24	0,27	0,00	0,00
BM1818	0,54	0,77	0,37	0,58	0,67	0,76	0,92	0,83	0,71	0,77	0,68	0,73	0,69	0,73	0,78	0,77
Priemer	0,57	0,68	0,58	0,66	0,53	0,56	0,49	0,57	0,62	0,71	0,52	0,60	0,51	0,63	0,51	0,57
	±0,19	±0,19	±0,23	±0,22	±0,27	±0,30	±0,30	±0,30	±0,26	±0,24	±0,20	±0,24	±0,27	±0,20	±0,29	±0,30

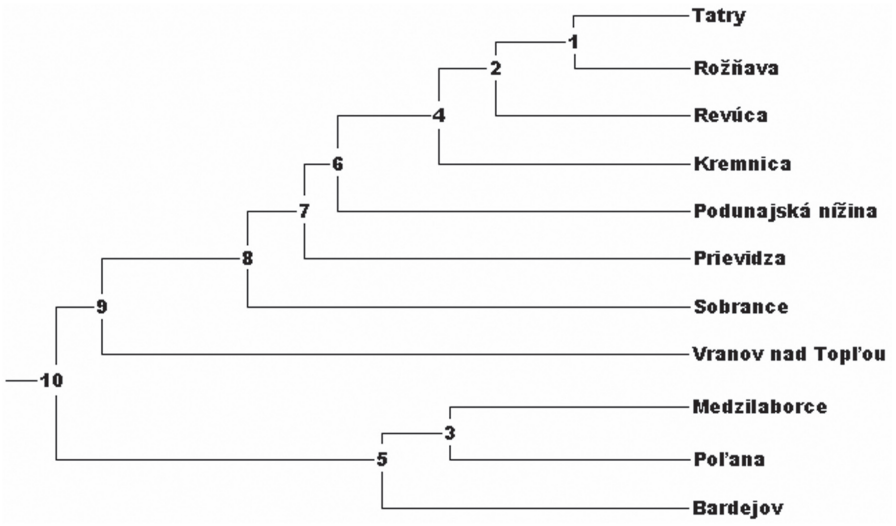
Tab. 4 Genetické vzdialenosti v slovenských populáciách podľa Nei-a (1972)
Tab. 4 Genetic distances of Slovak populations according Nei (1972)

	Tatry	Medzilaborce	Poľana	Bardejov	Vranou n. Topľou	Sobrance	Revúca	Rožňava	Kremnica	Podunajská nížina	Prievidza
Tatry	***										
Medzilaborce	0,297	***									
Poľana	0,156	0,152	***								
Bardejov	0,329	0,201	0,18	***							
Vranov n. Topľou	0,32	0,356	0,325	0,504	***						
Sobrance	0,213	0,336	0,269	0,424	0,428	***					
Revúca	0,106	0,407	0,255	0,444	0,353	0,27	***				
Rožňava	0,777	0,408	0,261	0,466	0,334	0,234	0,146	***			
Kremnica	0,144	0,445	0,267	0,452	0,331	0,322	0,193	0,14	***		
Podunajská nížina	0,207	0,539	0,356	0,6	0,375	0,299	0,259	0,165	0,239	***	
Prievidza	0,191	0,489	0,389	0,603	0,406	0,31	0,277	0,198	0,232	0,300	***

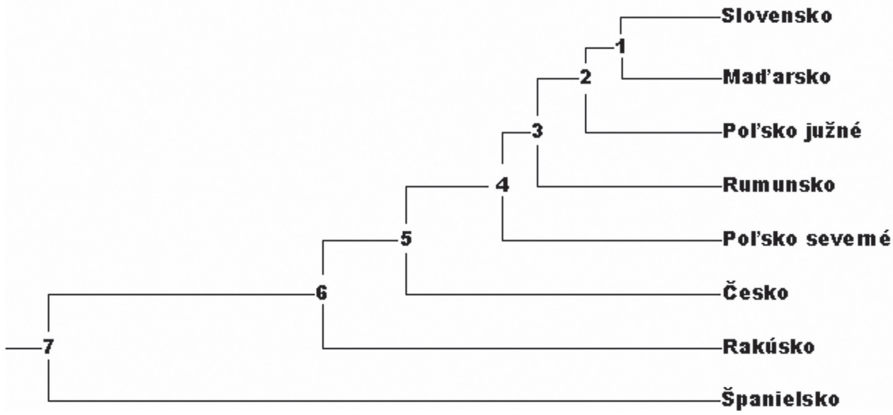
Tab. 5 Genetické vzdialenosti v európskych populáciách podľa Nei-a (1972)
Tab. 5 Genetic distances of European populations according Nei (1972)

	Slovensko	Poľsko juh	Poľsko sever	Česko	Rakúsko	Maďarsko	Rumunsko	Španielsko
Slovensko	***							
Poľsko juh	0,091	***						
Poľsko sever	0,145	0,158	***					
Česko	0,207	0,243	0,233	***				
Rakúsko	0,183	0,247	0,253	0,439	***			
Maďarsko	0,087	0,131	0,139	0,237	0,261	***		
Rumunsko	0,119	0,134	0,198	0,198	0,324	0,184	***	
Španielsko	0,418	0,434	0,429	0,427	0,699	0,367	0,505	***

Genetická diferenciácia populácií jeleňa lesného na vybraných vzorkách zo Slovenska poukázala na značné rozdiely v populáciách. Na základe genetických vzdialenosti boli stredospojnou metódou UPGMA (unweighted pair-group method using arithmetic averages) vytvorené dendrogramy.



Obr. 4: Dendrogram slovenských populácií
Fig. 4: Dendrogram of Slovak populations



Obr. 5: Dendrogram európskych populácií
Fig. 5: Dendrogram of European populations

Štúdie, napr. Hartl *et al.* (1993) a Hartl *et al.* (1995), sa zameriavali na výskum v juhovýchodnej a strednej Európe a im boli poskytnuté aj vzorky zo Slovenska. V prvej štúdii skúmali izoenzýmovú diverzitu troch druhov párnokopytníkov (*Cervus elaphus, Capreolus capreolus, Sus scrofa*). Na základe genetických vzdialeností a výskytu zriedkavých alel autori prišli k záveru, že bulharská populácia jeleňov sa odlišuje od stredoeurópskeho poddruhu *Cervus elaphus hippelaphus* a predstavuje samostatný poddruh. V roku 1995 použili metódu štiepenia DNA so 16 reštrikčnými enzýmami a vzorkami z jeleních populácií z celkovo 15 oblastí západnej, strednej a juhovýchodnej Európy, boli poskytnuté aj vzorky zo slovenských populácií. Bolo dokázaných 9 haplotypov a ich rozdelenie bolo väčšinou zhodné z geografickou distribúciou. Autori zlúčili populácie do severozápadnej, východnej a juhovýchodnej línie. Sú si však vedomí toho, že zisťovanie genetických vzdialeností pomocou jedného typu markérov môže viesť k chybám v interpretácii. Feulner *et al.* (2004) zatiaľ ako jediní skúmali cielene iba poddruh *Cervus elaphus montanus* pomocou 9 mikrosatelitných lokusov a mtDNA. U 120 individuí z 10 oblastí Srbska, rumunskej nížiny a rumunských Karpát našli v mtDNA 36 variabilných miest a detekoval 14 haplotypov, 4 zo 6 mitochondriálnych haplotypov sa vyskytovali výlučne iba v Karpatoch. Mikrosatelitné lokusy boli všetky polymorfné so 16 až 37 alelami. Fylogenetické stromy preukazujú, že karpatské populácie jeleňa sa spájajú do jedného zväzku, ale nebola štatisticky potvrdená korelácia medzi genetickou a geografickou vzdialenosťou.

Porovnanie našich výsledkov s výsledkami uvedených autorov nie je možné pre rozdielnosť použitých markérov. Čiastočne možno výsledky porovnať s prácami Kühna (Kühn, 1998, Kühn *et al*., 2003), keďže sme skúmali vzorky z odlišných území. Hodnoty

očakávaných a pozorovaných heterozygotností v populáciách jelenej zveri Bavorska sa približujú našim hodnotám.

ZÁVER

Štúdiu o genetickej premenlivosti populácií jeleňa lesného (*Cervus elaphus* L.) sme uskutočnili pomocou nukleárnej DNA na 515 vzorkách tkaniva jedincov. Pre amplifikáciu nukleárnych mikrosatelitov sme použili 18 primérov. Boli preukázané veľké rozdiely v genetickej štruktúre slovenských populácií jeleňa lesného. Možnou príčinou vysokej premenlivosti sú časté introdukcie a reintrodukcie v histórii, alebo pravdepodobnosť, že sledované územie predstavuje kontaktnú zónu dvoch poddruhov. Slovenské populácie sa na dendrograme rozdelili do dvoch samostatných vetiev, jedna predstavuje populácie z Medzilaboriec, Bardejova, Poľany a druhá ostatné slovenské populácie. Možno podľa toho predpokladať prenikanie „karpatského poddruhu" jeleňa lesného zo severovýchodu a potom aj minulé zazverovanie Poľany z východoslovenských populácií. Analýzy európskych populácií poukazujú trend bližšej príbuznosti populácií v rámci Karpatského oblúka oproti populáciám na západ od neho.

Je však potrebné zanalyzovať zvyšné vzorky a osekvenovať mitochondriálnu DNA pre porovnanie diverzity populácií jeleňa lesného pozdĺž Karpatského oblúka a prilahlých oblastí s cieľom vylíšenia areálu *Cervus elaphus montanus* a na štúdium výskytu prímesí a pozostatkov minulej hybridizácie jeleňa lesného s nepôvodnými, introdukovanými druhmi (poddruhmi) jeleňov.

Poďakovanie

Za poskytnutie vzoriek ďakujem poľovníckym združeniam a zamestnancom štátneho podniku Lesy SR.

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja prostredníctvom finančnej podpory č. APVV-18-032105.

Literatúra

Feulner, P. G. D., Bielfeld, W., Zachos, F. E., Bradvarovic, J., Eckert, I. & Hartl, G. B., 2004: Mitochondial DNA and microsatellite analyses of the genetic status of the presumed subspecies *Cervus elaphus montanus* (Carpatian red deer). *Heredity* 93: 299–306.

Hartl, G. B., Markov, G., Rubin, A.; Finďo, S., Lang, G. & Willing, R., 1993: Allozyme diversity within and among populations of three ungulate species (*Cervus elaphus, Capreolus capreolus, Sus scrofa*) of Southeastern and Central Europe. *Zeitschrift für Säugetierkunde* 58: 352–361.

Hartl, G. B., Nadlinger, K., Apollonio, M., Markov, G., Finďo, S., Klein, F., Lang, G. & Markowski, J., 1995: Extensive mitochondrial DNA differentiation among European red deer (*Cervus elaphus*) populations: implications for conservation and management. *Zeitschrift für Säugetierkunde* 60: 41–52.

Kuehn, R., Schroeder, W., Pirchner, F. & Rottmann, O., 2003: Genetic diversity, gene flow and drift in Bavarian red deer populations (Cervus elaphus). Conservation Genetics 4: 157–166.

Kuhn, R., Anastassiadis, C. & Pirchner, F., 1996: Transfer of bovine microsatellites to the cervine (Cervus *elaphus*)**.** *Animal Genetics* 27: 199–202.
Kühn, R., Schröder, W., Pirchner, F. & Rottman, O., 2003: Genetic diversity, gene flow and drift in Bavarian red deer population. *Conservation Genetics* 4: 157–166.
Nečas, J., 1959: Jelenia zver. Slovenské vydavateľstvo pôdohospodárskej literatúry Bratislava: 271 pp.
Sambrook, J., Fritsch, E. & Maniatis, T., 1989: Molecular Cloning. Cold Spring Habor Laboratory Press, USA.
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 Centre, University of Alberta, Edmonton, Canada.

Adresa autora:
Ing. Margaréta Tullová
Katedra fytológie
Lesnícka fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen

Genetic variability of populations of red deer (*Cervus elaphus L.*) in Slovakia end Europe

Summary

The study of genetic diversity and genetic differentiation of red deer populations (*Cervus elaphus* L.) was carried out using nuclear DNA microsatellites of 515 individuals. DNA was extracted from various type of biological material (heart, liver, muscle, ear, antlers). The quality of DNA was tested on NanoDrop Spectrophotometer.

For amplification of nuclear microsatellites the sixteen primers published by Kühn *et al.* (2003) for Bavarian red deer populations were used.

All studied loci were polymorphic. Mean value of average number of observed alleles (n_a) in sixteen loci was 9.875 ± 3.500 and average effective number of alleles (n_e) was 3.937 ± 1.871. Mean value of observed heterozygosity (H_o) was 0.573 ± 0.185 and expected heterozygosity (H_e) 0.687 ± 0.188.

Key words: *Cervus elaphus*, microsatelites, genetic diversity, genetic differentiation

ACTA FACULTATIS FORESTALIS XLX
ZVOLEN – SLOVAKIA 2008

PRÍSPEVOK K EKOLÓGII DVOCH MODELOVÝCH DRUHOV DROBNÝCH ZEMNÝCH CICAVCOV V PODMIENKACH JEDĽOVO-BUKOVÉHO LESA

Andrea L E Š O V Á – Peter L E Š O – Rudolf K R O P I L

Lešová, A., Lešo, P., Kropil, R.: Príspevok k ekológii dvoch modelových druhov drobných zemných cicavcov v podmienkach jedľovo-bukového lesa. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, **XLX,** 2008, č. 1, s. 19–32.

Práca prináša predbežné výsledky analýzy vplyvu mikrohabitatových charakteristík na distribúciu dvoch druhov mikromamálií v podmienkach jedľovo-bukového lesa. Výskum sa uskutočňuje na dvoch paralelných výskumných plochách reprezentujúcich hospodársky a prírodný les (NPR Mláčik), každá s výmerou 0,81 ha. Bola použitá metóda CMR („capture – marking – release“) s použitým jednej živolovnej pasce typu Chmela na každom odchytovom bode. Ako modelové druhy boli využité *Apodemus flavicollis* a *Clethrionomys glareolus*. Pre analýzu preferencií mikrohabitatov v okolí každého odchytového bodu bolo realizované kvantifikovanie 11 mikrohabitatových premenných, ktoré sa považovali za potencionálne dôležité z hľadiska výberu prostredia dvoma vybranými druhmi drobných zemných cicavcov. V prírodnom lese na distribúciu oboch druhov na mikrohabitatovej úrovni najviac vplýval parameter hustoty stromov, čo nepriamo súviselo aj s pokryvnosťou vegetácie. U druhu *Clethrionomys glareolus* sa významne prejavil aj samostatne vplyv pokryvnosti podrastu. V hospodárskom lese bol pre oba druhy najdôležitejší parameter hustoty vegetačného krytu.

Kľúčové slová: drobné zemné cicavce, jedľovo-bukové lesy, preferencia mikrohabitatu *Apodemus flavicollis*, *Clethrionomys glareolus*

1. ÚVOD

V súčasnosti sú takmer všetky ekosystémy atakované buď priamo alebo nepriamo ľudskou činnosťou, tieto zmeny vnášané pôsobením človeka narúšajú stabilitu ekosystémov a preto je potrebné poznať zákony distribúcie organizmov podmienenej zložitými ekologickými väzbami medzi organizmami a organizmami a prostredím. Predpokladom správneho hospodárenia a funkčného využívania lesov je poznanie jednotlivých zložiek i celých systémov tejto prirodzenej formácie. Poznávanie je tým spoľahlivejšie a úplnejšie, čím menej je pôvodný prirodzený stav lesa antropogénne narušený. Zásahmi v rámci lesníckych opatrení sa ovplyvňuje celý mechanizmus ekologických väzieb, menia sa habitatové parametre lesných ekosystémov, dochádza ku kvantitatívnym a kvalitatívnym

zmenám v synúziách mikromamálií. Drobné zemné cicavce sú ovplyvňované zmenami habitatu na lokálnej úrovni viac ako mnohé iné druhy živočíchov a vďaka schopnosti okamžitej reakcie na zmeny habitatu môžu slúžiť ako indikátory udržateľnosti lesného manažmentu (Lautenschlager *et al*. 1997; Carey & Harrington 2001; Pearce & Venier 2005).

Mikrohabitatová štruktúra je jedným z najdôležitejších faktorov ovplyvňujúcich distribúciu a denzitu drobných zemných cicavcov (Insectivora, Rodentia) na lokálnej úrovni (Churchfield *et al*. 1997, Bowman *et al*. 2001, Miklós & Žiak 2002, Kaminski *et al*. 2007). Schoener (1974) bol prvý, ktorý použil termín mikrohabitat v súvislosti s ekológiou drobných zemných cicavcov. Morris (1987) definuje makrohabitat ako priestor, v ktorom jedinci vykonávajú všetky biologické funkcie a mikrohabitat ako priestor pozostávajúci z environmentálnych faktorov, ktoré ovplyvňujú individuálne správanie. Alder (1989) definuje mikrohabitat ako priestor charakterizovaný rôznymi faktormi, ktorých hodnoty sa menia v rámci domovského okrsku jedinca. Za dva najvýznamnejšie komponenty štruktúry lesných habitatov z hľadiska distribúcie mikromamálií sa všeobecne považujú vegetácia podrastu a „mŕtve drevo" (Carey & Johnson 1995, Miklós & Žiak 2002, Manning & Edge 2004).

V podmienkach jedľovo-bukových lesov Slovenska sa problematike preferencií mikrohabitatov drobnými zemnými cicavcami zatiaľ nik nevenoval. Práca má prispieť k doplneniu poznatkov o ekológii vybraných druhov drobných zemných cicavcov v podmienkach hospodárskeho a prírodného bukovo-jedľového lesa a nadviazať tak na známe výsledky získané z iných typov biotopov. Cieľom príspevku bolo zistiť, ktoré vlastnosti prostredia na mikrohabitatovej úrovni majú význam pri výbere a využívaní stanovišťa vybranými terestrickými cicavcami. Ako modelové druhy boli použité bežné lesné druhy *Apodemus flavicollis* (ďalej AF) a *Clethrionomys glareolus* (ďalej CG).

2. MATERIÁL A METODIKA

2.1 Charakteristika výskumných plôch

Výskumné plochy ležia v Kremnických vrchoch na území lesného hospodárskeho celku (LHC) VŠLP TU vo Zvolene. Predmetné územie patrí do mierne chladnej oblasti C1, do chladného horského klimageografického typu. Vegetačné obdobie tu trvá 120–140 dní, snehová pokrývka 140–150 dní, priemerná ročná teplota sa pohybuje v hraniciach 5,0–5,5 °C, ročné úhrny vertikálnych zrážok presahujú 1000 mm (Škvarenina *et al*. 2006). Materskou horninou sú treťohorné andezitové pyroklastické aglomerátové tufy, pôdny typ je kambizem andozemná (Šály *et al*. 1991).

Výskumná plocha č. 1 predstavuje prírodný les v NPR Mláčik. Nachádza sa v poraste č. 733A v nadmorskej výške 840 m, exponovaná na východ so sklonom 10 %. Z fytocenologického hľadiska dominuje (100 %) lesný typ 5304 (nitrofilná papradinová

jedľová bučina nst). Priemerný vek porastu je 150 rokov a je tvorený jedľou (*Abies alba* – 40 %), smrekom (*Picea abies* – 30 %), jaseňom štíhlym (*Fraxinus excelsior* – 20 %), bukom (*Fagus sylvatica* – 5 %) a javorom horským (*Acer pseudoplatanus* – 5 %). Zakmenenie dosahuje 0,6. Celková hektárová zásoba predstavuje 445 m^3/ha.

Výskumná plocha č. 2 predstavuje hospodársky les v štádiu obnovy. Je východne exponovaná nachádzajúca sa v poraste č. 732 v nadmorskej výške 850–860 m, so sklonom 30 %. Z fytocenologického hľadiska prevláda (80 %) lesný typ 5304 (nitrofilná papradinová jedľová bučina nst). Zastúpený (20 %) je aj lesný typ 5401 (bažanková bukovájavorina nst). Na prevažnej časti (2/3) výskumnej plochy je porast vo veku 110 rokov, tvorený bukom (*Fagus sylvatica* – 36 %), jedľou (*Abies alba* – 34 %), jaseňom štíhlym (*Fraxinus excelsior* – 20 %), javorom horským (*Acer pseudoplatanus* – 8 %) a brestom horským (*Ulmus montana* – 2 %). Zakmenenie dosahuje 0,9. Celková hektárová zásoba predstavuje 561 m^3/ha. Tretina plochy leží v novozaloženom lesnom poraste vo veku 5–6 rokov (celý obnovný prvok má rozlohu 40 × 200 m), tvorenom najmä bukom (*Fagus sylvatica* – 30 %), jaseňom štíhlym (*Fraxinus excelsior* – 25 %), jedľou (*Abies alba* – 10 %), javorom horským (*Acer pseudoplatanus* – 10 %). Mladý porast dosahoval v r. 2007 výšku 1–2 m, charakteristická bola hustá bylinná a krovitá vegetácia s dominanciou *Rubus* sp.

2.2 Metodika odchytu drobných zemných cicavcov na kvadrátových plochách

Výskumné plochy pozostávajú zo siete 100 odchytových bodov, ktoré sú usporiadané v systéme 10 radov × 10 stĺpcov, pričom rozostupy medzi odchytovými bodmi sú v oboch kolmých vzdialenostiach 10 m. Celková odchytová plocha tak bez okrajového pásu predstavuje 0,81 ha (Pelikán 1975). Na každom odchytovom bode je umiestnená jedna drevená živolovná pasca typu Chmela a to tak, že leží maximálne 1 m od fixačného kolíka. Ako návnada sa používa suché granulované krmivo pre mačky. Pasce boli kontrolované dvakrát z deň – ráno po svitaní a pred zotmením. Počas vegetačnej sezóny sa uskutočnili štyri odchytové série rovnomerne rozložené od apríla do októbra, každá pozostávala z troch po sebe idúcich odchytových dní. Odchytené jedince sa po vybratí z pasce druhovo determinovali, zvážili, určlo sa pohlavie, skontroloval sa stav označenia, v prípade potreby sa označili a na mieste odchytu sa okamžite vypustili.

2.3 Analýza mikrohabitatových preferencií vybraných druhov drobných zemných cicavcov

Podkladom k analýze mikrohabitatových preferencií je získanie údajov o mikrohabitatovej charakteristike okolia odchytových bodov a frekvencii odchytu na

každom odchytovom bode. Kvantifikovali sa všetky parametre, ktoré môžu mať vplyv na výber stanovišťa určitým druhom drobných zemných cicavcov. Na kruhovej plôške s polomerom 5 m okolo každého odchytového bodu bolo v júni 2007 uskutočnené meranie 11 mikrohabitatových premenných, ktoré sa považovali za potenciálne dôležité z hľadiska výberu prostredia dvoma vybranými druhmi mikromamálií.

Zisťovali sa nasledovné parametre: vzdialenosť od najbližšieho stromu, hrúbka najbližšieho stromu, počet všetkých stromov, vzdialenosť k najbližšiemu ležiacemu mŕtvemu drevu, objem mŕtveho ležiaceho dreva, vzdialenosť k najbližšiemu pňu, vzdialenosť k najbližšiemu koreňovému koláču pokryvnosť vrstvy bylín (v %), pokryvnosť podrastu (v %), pokryvnosť raždia (v %), vzdialenosť od kopy raždia (len na ploche č. 2).

Na redukovanie počtu premenných bola použitá faktorová analýza. Základná matica pozostávala z 10–11 premenných a z nameraných hodnôt pri 100 opakovaniach (počet odchytových bodov). Na extrakciu faktorov bola zvolená metóda hlavných komponentov (PCA). Akceptované boli faktory, ktorých vlastné čísla boli > 1,0. Vplyv vybraných faktorov na frekvenciu výskytu dvoch druhov drobných zemných cicavcov bol ďalej analyzovaný regresnou a korelačnou analýzou, pričom ako vstupné údaje bola použitá matica faktorových skóre 4 vybraných faktorov (nezávislé premenné) a hodnoty frekvencií odchytu oboch druhov na všetkých odchytových bodoch (závislé premenné). Všetky štatistické analýzy boli robené v prostredí štatistického programu STATISTICA 7 (StatSoft 2005).

3. VÝSLEDKY

Faktorová analýza

Na základe hodnôt vlastných čísel boli vybraté pre obe plochy 4 faktory, ktoré spolu vysvetľovali 64,4 % celkového rozptylu na ploche č. 1 (tab. 1) a 71,9 % celkového rozptylu na ploche č. 2 (tab. 3). Na lepšiu koreláciu vybraných faktorov s pôvodnými premennými bola zvolená jednoduchá varimaxová rotácia faktorov. Za významnú koreláciu s vybranými faktormi bola považovaná hodnota faktorových záťaží aspoň 0,7.

Na základe uvedeného kritéria na ploche č. 1 prvý faktor významne koreloval (tab. 2) s premennými „vzdialenosť od najbližšieho stromu“, a „počet stromov“. Druhý faktor významne koreloval iba s premennou „vzdialenosť pňa“. Tretí faktor významne koreloval iba s premennou „pokryvnosť raždia“. Štvrtý faktor koreloval iba s premennou „pokryvnosť podrastu“. Jednotlivé faktory je preto možné pre plochu č. 1 interpretovať ako:

– faktor 1 – hustota stromov,
– faktor 2 – vzdialenosť pňa,
– faktor 3 – pokryvnosť raždia,
– faktor 4 – pokryvnosť podrastu.

Tab. 1 Vlastné čísla rotovanej korelačnej matice a percento vysvetleného rozptylu (plocha 1)
Table 1 Eigenvalues of corelation matrix after rotation and rates of explained variance (the plot 1)

	vl. číslo[1]	% celk. rozptylu[2]	kumulativ. vl. č.[3]	kumulativ. %[4]
Faktor 1	2,712237	27,12237	2,712237	27,12237
Faktor 2	1,675281	16,75281	4,387518	43,87518
Faktor 3	1,032163	10,32163	5,419681	54,19681
Faktor 4	1,023010	10,23010	6,442692	**64,42692**

[1]eigenvalue, [2]rates of total variance, [3]cumulative eigenvalue, [4]rates of cumulative total variance

Tab. 2 Faktorové záťaže sledovaných premenných na ploche č. 1 k štyrom vybraným faktorom pomocou metódy PCA
Table 2 Matrix of factor loadings of four selected factors extracted by PCA; the plot 1

Premenné	Faktor 1[1]	Faktor 2[2]	Faktor 3[3]	Faktor 4[4]
vzdialenosť stromu[5]	**0,853434**	–0,002418	0,086004	–0,095435
hrúbka stromu[6]	0,313620	0,226326	0,179950	0,603673
vzdialenosť mŕtveho dreva[7]	–0,157922	0,564891	0,484870	–0,021794
objem mŕtveho dreva[8]	–0,082685	–0,393076	–0,558581	0,197027
vzdialenosť pňa[9]	0,111957	**0,844861**	0,010790	0,042305
vzdialenosť koreňového koláča[10]	0,171628	0,672029	0,031336	–0,026613
byliny[11]	0,566272	0,181498	0,420256	0,305363
podrast[12]	0,005208	–0,069035	–0,067159	**0,879363**
raždie[13]	–0,062832	0,027323	**–0,876512**	–0,018392
počet stromov[14]	**–0,763435**	–0,151208	0,097129	–0,232741
vzdialenosť kopy raždia[15]	1,807945	1,751570	1,546822	1,336355
Výkl.roz[16]	0,180794	0,175157	0,154682	0,133635
Prp.celk[17]	0,853434	–0,002418	0,086004	–0,095435

[1-4]factors 1-4, [5]tree distance, [6]breast-height diameter of tree, [7]distance of woody debris, [8]woody debris volume, [9]stump distance, [10]root plate distance, [11]herbal coverage, [12]undergrowth coverage, [13]brushwood coverage, [14]number of trees, [15]heap of brushwood distance, [16]explained variance, [17]total proportion of variance

Na ploche č. 2 prvý faktor významne koreloval (tab. 4) s premennými „vzdialenosť od najbližšieho stromu“, „pokryvnosť bylín“, „pokryvnosť podrastu“, „počet stromov“. Druhý faktor významne koreloval s premennými „pokryvnosť raždia“ a „vzdialenosť kopy raždia“. Tretí faktor významne koreloval s premennými „vzdialenosť mŕtveho dreva“ a „vzdialenosť pňa“. Štvrtý faktor koreloval iba s premennou „vzdialenosť koreňového koláča“. Jednotlivé faktory je preto možné interpretovať ako:

– faktor 1 – hustota vegetačného krytu,
– faktor 2 – raždie,

– faktor 3 – vzdialenosť mŕtveho dreva a pňov,
– faktor 4 – vzdialenosť koreňového koláča.

Tab. 3 Vlastné čísla rotovanej korelačnej matice a percento vysvetleného rozptylu (plocha 2)
Table 3 Eigenvalues of corelation matrix after rotation and rates of explained variance (the plot 2)

	vl. číslo[1]	% celk. rozptylu[2]	kumulativ. vl. č.[3]	kumulativ. %[4]
Faktor 1	3,952345	35,93041	3,952345	35,93041
Faktor 2	1,720597	15,64179	5,672943	51,57221
Faktor 3	1,218033	11,07303	6,890976	62,64523
Faktor 4	1,015421	9,23110	7,906397	**71,87633**

Captions the same as in the Tab. 1.

Tab. 4 Faktorové záťaže sledovaných premenných na ploche č. 2 k štyrom vybraným faktorom pomocou metódy PCA
Table 4 Matrix of factor loadings of four selected factors extracted by PCA; the plot 2

Premenné	Faktor 1[1]	Faktor 2[2]	Faktor 3[3]	Faktor 4[4]
vzdialenosť stromu[5]	**–0,779712**	–0,013265	0,360270	0,209629
hrúbka stromu[6]	0,524903	0,118099	–0,313280	–0,312416
vzdialenosť mŕtveho dreva[7]	–0,155216	0,189188	**0,888007**	–0,043953
objem mŕtveho dreva[8]	0,037589	–0,046066	–0,387483	–0,184434
vzdialenosť pňa[9]	–0,214332	0,078195	**0,882982**	–0,017980
vzdialenosť koreňového koláča[10]	–0,042085	–0,001328	–0,049246	**0,947381**
byliny[11]	**–0,854264**	0,167394	0,169297	0,045605
podrast[12]	**–0,722854**	0,045957	0,220252	0,086413
raždie[13]	0,218712	**–0,882088**	–0,103243	–0,042088
počet stromov[14]	0,892394	–0,049882	–0,009220	0,113136
vzdialenosť kopy raždia[15]	0,068020	**0,908249**	0,128508	–0,046944
Výkl.roz[16]	3,057804	1,693770	2,053150	1,101673
Prp.celk[17]	0,277982	0,153979	0,186650	0,100152

Captions the same as in the Tab. 2.

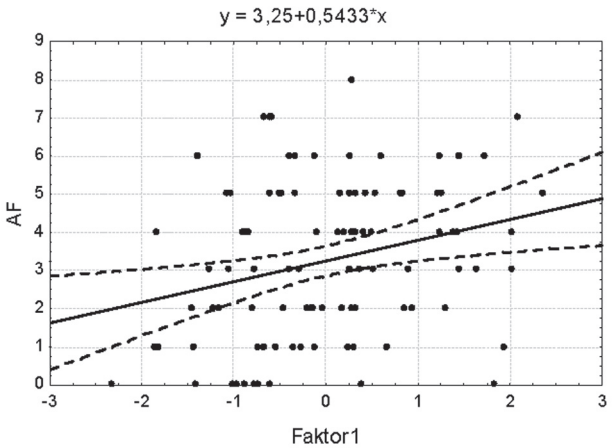
Regresná a korelačná analýza

Na základe hodnoty korelačného koeficienta r = 0,31 (tab. 5) možno konštatovať, že celková závislosť medzi vybranými 4 faktormi a frekvenciou odchytu AF je na ploche č. 1 pomerne slabá. Najväčší a zároveň signifikantný vplyv sa prejavil len u faktora 1. Jeho pôsobenie na frekvenciu odchytu AF je znázornené na obr. 1. So stúpajúcou hodnotou tohto faktora (vyjadrujúceho denzitu stromov, nepriamo hustotu vegetácie) sa zvyšuje

frekvencia odchytu AF. T.j. rastúci vegetačný kryt pozitívne pôsobí na výskyt AF. Faktory 2–4 neovplyvňovali frekvenciu odchytov AF signifikantne.

Tab. 5 Koeficienty regresného modelu (plocha č.1) pre AF
Table 5 Indexes of regression model for AF (plot 1)

	R = 0,30686109 R^2 = 0,09416373 Upravené R^2 = 0,05602325 F(4,95) = 2,4689 p<0,04990 Stred. chyba odhadu: 1,9597					
n = 100	β	Stred. chyba β	^β	Stred. chyba ^**β**	t(95)	Úroveň p
Abs. člen			3,250000	0,195966	16,58451	0,000000
Faktor 1	0,269386	0,097648	0,543343	0,196953	2,75874	**0,006961**
Faktor 2	–0,111814	0,097648	–0,225526	0,196953	–1,14507	0,255055
Faktor 3	0,024393	0,097648	0,049200	0,196953	0,24981	0,803277
Faktor 4	0,092183	0,097648	0,185931	0,196953	0,94404	0,347545



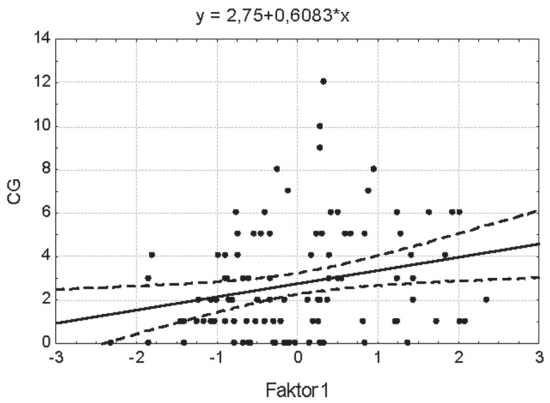
Obr. 1: Závislosť frekvencie odchytu AF od hodnôt faktora 1 na ploche č. 1
Fig. 1: Dependence of AF capture frequency on values of the factor 1 in the plot 1

Podobne ako pri predchádzajúcom druhu, aj pre CG sa na ploche č. 1 závislosť medzi vybranými 4 faktormi a frekvenciou odchytu prejavila ako pomerne slabá (r = 0,36; tab. 6). Signifikantný vplyv sa prejavil u faktorov 1 a 4, pričom vplyv faktora 1 bol mierne silnejší. Ich pôsobenie je znázornené na obr. 2. Pôsobenie faktora 1 je podobné ako pri AF, zvyšujúca sa pokryvnosť vegetačného krytu spôsobuje zvýšený výskyt CG. Podobne sa u CG prejavil aj vplyv faktora 4 vyjadrujúceho pokryvnosť podrastu.

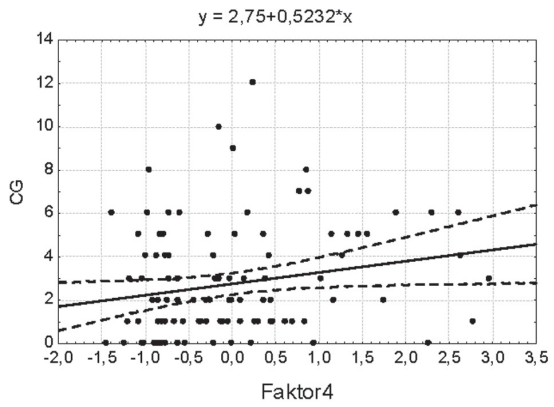
Tab. 6 Koeficienty regresného modelu pre CG (plocha č. 1)
Table 6 Indexes of regression model for CG (plot 1)

	R = 0,35637618 R^2 = 0,12700398 Upravené R^2 = 0,09024625 F(4,95) = 3,4552 p<0,01110 Stred. chyba odhadu: 2,4228					
n = 100	β	Stred. chyba β	^β	Stred. chyba **^β**	t(95)	Úroveň p
Abs. člen			2,750000	0,242276	11,35071	0,000000
Faktor 1	0,239466	0,095862	0,608264	0,243496	2,49804	**0,014207**
Faktor 2	–0,136809	0,095862	–0,347506	0,243496	–1,42715	0,156815
Faktor 3	–0,092307	0,095862	–0,234467	0,243496	–0,96292	0,338032
Faktor 4	0,205968	0,095862	0,523175	0,243496	2,14860	**0,034209**

a)



b)



Obr. 2: Závislosť frekvencie odchytu CG od hodnôt faktora 1 (a) a faktora 4 (b) na ploche č. 1
Fig. 2: Dependence of CG capture frequency on values of the factors 1 (a) and 4 (b) in the plot 1

Na ploche č. 2 celková závislosť medzi vybranými 4 faktormi a frekvenciou odchytu AF bola pomerne slabá (r = 0,31; tab. 7). Najväčší a zároveň signifikantný vplyv sa prejavil len u faktora 1. Jeho pôsobenie na frekvenciu odchytu AF je znázornené na obr. 3a. So stúpajúcou hodnotou tohto faktora (hustota vegetácie) sa zvyšuje frekvencia odchytu AF. Faktory 2–4 neovplyvňovali frekvenciu odchytov AF signifikantne.

Tab. 7 Koeficienty regresného modelu pre AF (plocha č. 2)
Table 7 Indexes of regression model for AF (plot 2)

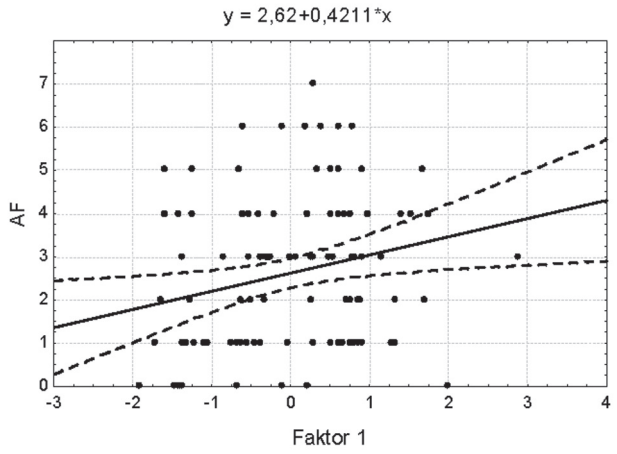
	R = 0,30663839 R^2 = 0,09402710 Upravené R^2 = 0,05588087 F(4,95) = 2,4649 p<0,05020 Stred. chyba odhadu: 1,7182					
n = 100	β	Stred. chyba β	^β	Stred. chyba **^β**	t(95)	Úroveň p
Abs. člen			2,620000	0,171818	15,24871	0,000000
Faktor 1	0,238131	0,097655	0,421086	0,172683	2,43849	**0,016607**
Faktor 2	–0,150376	0,097655	–0,265909	0,172683	–1,53986	0,126918
Faktor 3	–0,070760	0,097655	–0,125124	0,172683	–0,72459	0,470485
Faktor 4	–0,098493	0,097655	–0,174165	0,172683	–1,00858	0,315738

U CG sa na ploche č. 2 prejavila stredne silná závislosť medzi vybranými 4 faktormi a frekvenciou odchytu (r = 0,56; tab. 8). Najvýraznejšie a zároveň signifikantne frekvenciu odchytu ovplyvnil faktor 1. Ostatné faktory nevplývali signifikantne. Pôsobenie faktora 1 je znázornené na obr. 3b. Aj keď pôsobenie tohto faktora sa javí opačné ako na ploche 1, je to tým, že výskyt CG závisí najmä od pokryvnosti podrastu. Na ploche č.1 bol podrast samostatným faktorom a na ploche č.2 bol zahrnutý do faktora 1 spoločne s vegetáciou. Na základe obr. 3b môžme usudzovať, že CG sa vyskytoval najmä na časti plochy s dobre vyvinutým podrastom (obnovovaná časť porastu).

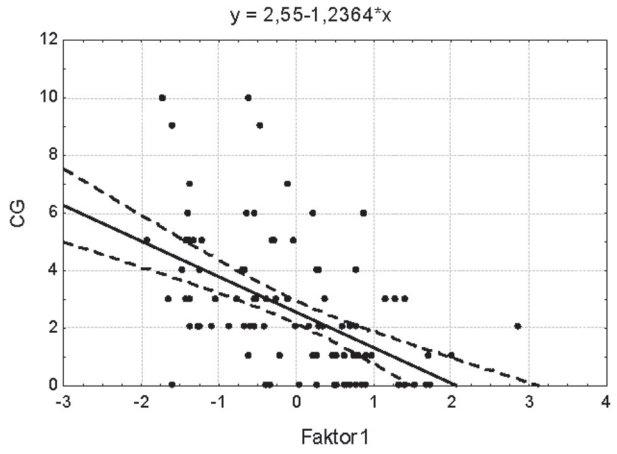
Tab. 8 Koeficienty regresného modelu pre CG (plocha č. 2)
Table 8 Indexes of regression model for CG (plot 2)

	R = 0,56212013 R^2 = 0,31597904 Upravené R^2 = 0,28717816 F(4,95) = 10,971 p<0,00000 Stred. chyba odhadu: 1,9914					
n = 100	β	Stred. chyba β	^β	Stred. chyba **^β**	t(95)	Úroveň p
Abs.člen			2,55000	0,199136	12,80531	0,000000
Faktor 1	–0,524213	0,084854	–1,23642	0,200139	–6,17782	**0,000000**
Faktor 2	–0,089826	0,084854	–0,21187	0,200139	–1,05859	0,292471
Faktor 3	0,115570	0,084854	0,27259	0,200139	1,36198	0,176424
Faktor 4	0,140551	0,084854	0,33151	0,200139	1,65638	0,100944

a)



b)



Obr. 3: Závislosť frekvencie odchytu AF (a) a CG (b) od hodnôt faktora 1
Fig. 3: Dependence of AF (a) and CG (b) capture frequencies on values of the factor 1

Na základe uvedených výstupov je možné zhrnúť výsledky nasledovne: V prírodnom lese na distribúciu oboch druhov na mikrohabitatovej úrovni najviac vplýval parameter hustoty stromov, čo nepriamo súviselo aj s pokryvnosťou vegetácie. U druhu *Clethrionomys glareolus* sa významne prejavil aj samostatne vplyv pokryvnosti podrastu. V hospodárskom lese bol pre oba druhy najdôležitejší parameter hustoty vegetačného krytu, vrátane podrastu.

4. DISKUSIA

Preferencia habitatu sa aj u rovnakých druhov môže líšiť v závislosti od charakteru prostredia. Hrdziak lesný *Clethrionomys glareolus* prakticky obýva všetky typy lesa (Feriancová-Masárová & Hanák 1965; Pucek 1983). Ekologicky je viazaný na vlhké lesné biotopy s bohatou vegetačnou pokrývkou a veľkým množstvom ležiaceho mŕtveho dreva (Pucek 1983; Mazurkiewicz & Rajska – Jurgiel 1987; Šmaha 1996; Sládek & Kropil 2001). Podľa Miklós & Žiak (2002) preferuje staršie lesné porasty s pňami. V mozaikovitom lesnom prostredí uprednostňuje miesta v spodnej etáži s hustou vegetačnou pokrývkou alebo vysoké rastliny ako sú paprade alebo ostrice (Mazurkiewicz 1994). V prirodzených bučinách je početný hlavne v presvetlených miestach s hojným podrastom a ležiacim drevom (Pucek 1983; Mazurkiewicz & Rajska – Jurgiel 1987; Šmaha 1996). V montánnom pásme v rámci bukovo-smrekového lesa nie je úzko viazaný na určitý typ mikrohabitatu, ale preferuje skôr stanovištia s prevahou listnatých stromov, bohatšou bylinnou etážou a s väčším množstvom odumretého drevného materiálu (Miklós & Žiak 2003). Na základe našich výsledkov sa potvrdil vplyv významnosti vegetácie na preferenciu mikrohabitatov. Naopak, významný parameter prostredia – mŕtve drevo sa neprejavil signifikantne aj keď, viacero štúdií zaznamenáva pozitívny vzájomný vzťah medzi početnosťou drobných zemných cicavcov a prítomnosťou, množstvom, štruktúrou mŕtveho dreva v mikrohabitatovej škále (Carey & Johnson 1995). Drevná hmota v pokročilom štádiu rozkladu vytvára vhodné mikroprostredie pre drobné zemné cicavce, ktoré ju nepriamo využívajú ako potravu (napr. vývinové štádiá hmyzu, huby), poskytuje im úkryty a chodby (Mazurkiewicz & Rajska – Jurgiel 1987).

Zistenie, že výskyt ryšavky lesnej (*Apodemus flavicollis*) je podmienený do značnej miery hustotou porastu a kvantitou vegetačného krytu, korešponduje s výsledkami iných autorov. Druh preferuje najmä listnaté lesy so zastúpením drevín produkujúcich veľké semená (Aulak 1970). Je všeobecne považovaný za druh dospelých lesov, ale dôležitá je pre neho prítomnosť krovitej a bylinnej etáže (Niethammer 1978; Májsky 1985; Marsh & Harris 2000). Najhojnejší je v oblasti dubín a bučín. Je typickým lesným druhom, obľubuje zatienené chladnejšie biotopy (Sládek & Kropil 2001). Aktivita a populačná hustota je vysoká na lokalitách s bohatšou vegetáciou podrastu (M'Closkey & Lajoie 1975; Jensen & Honess 1995; Miklós & Žiak 2002).

Vplyv faktorov prostredia sa neprejavuje izolovane. Okrem určitých preferencií environmentálnych premenných sa pri obsadzovaní konkrétneho prostredia uplatňujú aj medzidruhové vzťahy. V prípade dvoch modelových druhov sa za významný faktor považuje medzidruhová kompetícia. Vplyv vegetácie je možné spájať nepriamo aj s predáciou. Drobné zemné cicavce preferujú habitaty s veľkým množstvom rastlinnej pokrývky (Kotler & Brown 1988) pred habitatmi s riedkym vegetačným krytom, pretože hustý porast im slúži ako útočisko pred predátormi (Thompson 1982, Chetnicki & Mazurkiewicz 1994).

Výsledky zachytávajú vegetačnú sezónu 2007. V tomto roku kulminovala populačná hustota oboch druhov na sledovanom území. V čase gradácie sa vnútrodruhové aj medzidruhové vzťahy uplatňujú na inej úrovni ako v inom období populačného cyklu. Tieto vzťahy sú veľmi zložité a nie sú dostatočne známe. V ďalšom priebehu výskumu bude snahou prispieť aj k tejto problematike.

5. ZÁVER

Cieľom príspevku bolo zistiť, ktoré vlastnosti prostredia na mikrohabitatovej úrovni majú význam pri výbere a využívaní stanovišťa vybranými terestrickými cicavcami. Vo vegetačnom období 2007 (apríl – október) boli získavané podklady na analýzu mikrohabitatových preferencií dvoch modelových druhov drobných zemných cicavcov – ryšavka lesná (*Apodemus flavicollis*) a hrdziak lesný (*Clethrionomys glareolus*). Výskum sa uskutočňuje v podmienkach jedľovo-bukového lesa na dvoch paralelných výskumných plochách reprezentujúcich hospodársky a prírodný les (NPR Mláčik), každá s výmerou 0,81 ha. Na každej ploche je vyznačená sieť odchytových bodov 10x10 s rozostupom 10 m. Na získanie kvantitatívnych údajov o drobných zemných cicavcoch bola použitá metóda CMR („capture – marking – release“) s použitým živolovnej pasce typu Chmela na každom odchytovom bode. Pre analýzu preferencií mikrohabitatov v okolí každého odchytového bodu bolo realizované kvantifikovanie 11 mikrohabitatových premenných, ktoré sa považovali za potencionálne dôležité z hľadiska výberu prostredia dvoma vybranými druhmi drobných zemných cicavcov. Zisťovali sa nasledovné parametre: vzdialenosť od najbližšieho stromu, hrúbka najbližšieho stromu, počet všetkých stromov, vzdialenosť k najbližšiemu ležiacemu mŕtvemu drevu, objem mŕtveho ležiaceho dreva, vzdialenosť k najbližšiemu pňu, vzdialenosť k najbližšiemu koreňovému koláču pokryvnosť vrstvy bylín (v %), pokryvnosť podrastu (v %), pokryvnosť raždia (v %), vzdialenosť od kopy raždia (len na ploche č. 2). Na redukovanie počtu premenných bola použitá faktorová analýza. Vplyv vybraných faktorov na frekvenciu výskytu dvoch druhov drobných zemných cicavcov bol ďalej analyzovaný regresnou a korelačnou analýzou, pričom ako vstupné údaje bola použitá matica faktorových skóre 4 vybraných faktorov.

V prírodnom lese na distribúciu oboch druhov na mikrohabitatovej úrovni najviac vplýval parameter hustoty stromov, čo nepriamo súviselo aj s pokryvnosťou vegetácie. S klesajúcim počtom stromov v okolí odchytových bodov (t.j. nepriamo so vzrastajúcim vegetačným krytom) stúpala frekvencia odchytu oboch druhov. U druhu *Clethrionomys glareolus* sa významne prejavil aj samostatne vplyv pokryvnosti podrastu, s narastajúcou pokryvnosťou podrastu stúpala frekvencia odchytu tohto druhu. V hospodárskom lese bol pre oba druhy najdôležitejší parameter hustoty vegetačného krytu. S narastaním pokryvnosti vegetácie sa zvyšovala aj frekvencia odchytu oboch druhov. Vplyv mŕtveho dreva, považovaného za jeden z najdôležitejších environmentálnych faktorov pre mikromamálie na mikrohabitatovej úrovni, sa u dvoch modelových druhov nepotvrdil.

Poďakovanie

Príspevok bol spracovaný v rámci projektu VEGA 1/4383/07. Autori ďakujú Vysokoškolskému lesníckemu podniku Technickej univerzity vo Zvolene za poskytnutie terénnej stanice. Za pomoc v teréne poďakovanie patrí Pavlovi Gibasovi, Lucii Nedelovej, Jurajovi Jakubčekovi, Martinovi Vorobeľovi a Jurajovi Kondrlovi.

Literatúra

Alder, G. H., 1989: Habitat selection and species interaction: an experimental analysis with small mammal populations. Oikos 45: 380−390.

Aulak, W., 1970: Small mammal communities of Balowieza National Park. Acta Theriologica 15: 465−515.

Bowman, J., Forbes, G. & Dilworth, T., 2001: The spatial scale component of variation in small-mammal abundance measured at three scales. Can. J. Zool. 79: 137−144.

Carey, A. B. & Harrington, C. A., 2001: Small mammals in young forests: implications for management for sustainability. For. Ecol. Manage. 154: 289–309.

Carey, A. B. & Johnson, M. L., 1995: Small mammals in managed, naturally young, and old-growth forests. Ecol. Appl. 5: 336−352.

Feriancová-Masárová Z. & Hanák H., 1965: Stavovce Slovenska IV. Cicavce. SAV Bratislava, 336 pp.

Chetnicki, W. & Mazurkiewicz, M., 1994: Dispersion of the bank vole in fine and coarse-grained mosaics of deciduous and mixed coniferous forests. Acta Theriologica 39: 127–142.

Churchfield, S., Hollier, J. & Brown, V. K., 1997: Community structure and habitat use of small mammals in grasslands of different successional age. J. Zool. Lond. 242: 519−530.

Jensen, S. P. & Honess, P., 1995: The in fluence of moonlight on vegetation height preference and trappability of small mammals. Mammalia 59: 35–42.

Kaminski, J. A., Davis, M. L., Kelly, M. & Keyser, P. D., 2007: Disturbance effects on small mammal species in a managed Appalachian forest. The American Minland Naturalist 157(2): 385−397.

Kotler, B. P. & Brown, J. S., 1988: Environmental heterogeneity and the coexistence of desert rodents. Ann. Rev. Ecol. Syst. **19**: 281–307.

Lautenschlager, R. A., Bell, F. W. & Wagner, R. G., 1997: Alternative conifer release treatments affect small mammals in north-western Onatario. For. Chron. 73: 99–106.

M'Closkey R. T. & Lajoie, D. T., 1975: Determinants of local distribution and abundance in white-footed mice. Ecology 56: 467–472.

Májský, J., 1985: Drobné zemné cicavce lužných lesov a vetrolamov hornej časti Žitného ostrova. Biologické práce 31(2): 1−116.

Manning, J. A. & Edge, W. D., 2004: Small mammals survival and downed wood at multiple scales in managed forests. J. Mammal. 85: 87−96.

Marsh, A. C. W. & Harris, S., 2000: Partitioning of wood – landhabitat resources by two sympatric species of Apodemus: lessons for the conservation of the yellownecked mouse (A. flavicollis) in Britain. Biological Conservation 92: 275–283.

Mazurkiewicz, M., 1994: Factors influencing the distribution of the bank vole in forest habitats. Acta Theriologica 39: 113-126.

Mazurkiewicz, M. & Rajska – Jurgiel, E., 1987: Numbers, species composition and residency of rodent community in forest and fiels-forest ecotones. Acta Theriologica 32(25): 413−432.

Miklós, P. & Žiak, D., 2002: Microhabitat selection by three small mammal species in oak-elm forest. Folia Zool. 51: 275–288.

Miklós, P. & Žiak, D., 2003: Clethrionomys glareolus v dvoch biotopoch Západných Tatier: 201–202. In: Bryja, J. & Zukal, J. (eds), Zoologické dny Brno 2003. Sborník abstraktů z konferencie 13.–14. února 2003.

Morris, D.W., 1987: Ecological scale and habitat use. Ecology 68: 362–369.

Niethammer, J., 1978: Apodemus flavicolis (Melchior, 1834) – Gelbhalsmaus. In: Niethammer, J. & Krapp, F. (eds), Handbuch der Säugetiere Europas. Akademische Velagsgesellschaft Wiesbaden: 325−336.

Pearce, J. & Venier L., 2005: Small mammals as bioindicators of sustainable boreal forest management. For. Ecol. Manage. 208: 153–175.
Pelikán, J., 1975: K ujednocení odchytového kvadrátu a línie pro zjišťování populační hustoty drobných savců v lesích. Lynx n. s. 17: 58−71.
Pucek, M., 1983: Habitat preference. In: Petrusewicz, K. (eds), Ecology of bank vole. Acta Theriologica 28 (1): 31−40.
Schoener, T. W., 1974: Resource partitioning in ecological communities. Science 185: 27−39.
Sládek, J. & Kropil, R., 2001: Lesnícka zoológia. TU Zvolen, 156 pp.
StatSoft, Inc., 2005: STATISTICA 7.1, Tulsa, Oklahoma.
Šály, R., Križová, E., Petrík, M. & Mihálik, A., 1991: Ecosystem study of the fir-beech stand in the Mláčik state nature reserve. Vedecké a pedagogické aktuality, TU Zvolen, 162 pp.
Škvarenina, J., Škvareninová, J., Snopková, Z., Kováčik, M. & Střelcová, K., 2006: Fenologické prejavy listnatých lesných drevín v horskom pralesovom ekosystéme jedľobučiny v Kremnických vrchoch. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. & Vyskot, I. (eds), Fenologická odezva proměnlivosti podnebí, Brno 22. 3. 2006.
Šmaha, J., 1996: Soupis poznámek o theriofauně biosférické rezervace Křivoklátsko (Notes on mammal fauna of the Krivoklatsko Biosfere Reserve. Lynx 27: 37−56.
Thompson, S. D., 1982: Structure and species composition of desert heteromyid rodent species assemblages: effects of a simple habitat manipulation. Ecology 63: 1313–1321.

Adresa autorov:
Ing. Andrea Lešová
Ing. Peter Lešo, PhD.
prof. Ing. Rudolf Kropil, CSc.
Katedra ochrany lesa a poľovníctva
Lesnícka fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 20
960 53 Zvolen

e-mail: lesova@vsld.tuzvo.sk
e-mail: leso@vsld.tuzvo.sk
e-mail: kropil@vsld.tuzvo.sk

Contribution to the ecology of two model micromammal species in fir-beech forest

Summary

The paper presents preliminary results of microhabitat preferences of two micromammal species in fir-beech forest. The research was carried out on two parallel study plots (each 0.81 ha, 10 ×10 trapping points) representing commercial and natural forests (NNR Mláčik). The CMR method („capture – marking – release“) with Chmela-type livetraps was used to collect data. Two common forest species *Apodemus flavicollis* and *Clethrionomys glareolus* were used as model animals. For the purpose of microhabitat preference analysis, 11 environmental variables potentially important for site selection by species were measured at each trapping point. In natural forest, the tree density corresponding also with vegetation coverage influenced both model species significantly at the microhabitat scale. Undergrowth coverage was the second significant factor affecting only *Clethrionomys glareolus.* In commercial forest, the vegetation coverage was the most important factor in microhabitat selection of both model species.

ACTA FACULTATIS FORESTALIS XLX
ZVOLEN – SLOVAKIA 2008

CITLIVOSŤ REAKCIE BIOMARKÉROV STRESU ZO SUCHA U SMREKA OBYČANÉHO

Daniel K U R J A K – Ľubica D I T M A R O V Á – Jaroslav K M E Ť

Kurjak, D., Ditmarová, Ľ., Kmeť, J.: Citlivosť reakcie biomarkérov stresu zo sucha u smreka obyčaného. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, **XLX**, 2008, č. 1, s. 33–45.

V súčasnosti sa z dôvodu predpokladaných zmien klímy a zrážkových pomerov čoraz nástojčivejšie vynára otázka reakcie smrekových porastov na znížené množstvo disponibilnej vody. Evidujeme narastajúce škody spôsobované suchom u smrekových porastov, ktoré sú relatívne náročné na dostatočnú zásobu vody. Problém je o to pálčivejší, že nepôvodné smrekové monokultúry zaberajú významnú výmeru našich lesov a citlivo reagujú na viaceré pôsobiace faktory, ktorých synergické pôsobenie je príčinou odumierania smrekových porastov. Bližšie poznanie úlohy jednotlivých faktorov môže prispieť k pochopeniu mechanizmu rozpadu porastov a k zlepšeniu momentálnej situácie.

Predkladaná práca sumarizuje výsledky meraní na mladých jedincoch smreka, ktoré rástli v semikontrolovaných podmienkach. Štvorročné sadenice smreka boli zalievané v troch režimoch tak, aby kontrolné jedince neboli negatívne ovplyvnené deficitom vody, u ďalších jedincov bol simulovaný mierny a silný stres zo sucha. V týchto podmienkach boli až po odumretie silno stresovaných jedincov pozorované nasledujúce parametre: vodný potenciál, fluorescencia chlorofylu *a*, čistá fotosyntéza, prieduchová vodivosť, koncentrácia pigmentov v asimilačných orgánoch a obsah aminokyseliny prolín. Uvedené parametre sú vo všeobecnosti považované za markéry stresu, aj keď reakcie rastliny na istý stresor sú skôr nešpecifické. Hodnotíme dynamiku reakcie uvedených parametrov a ich vhodnosť pre včasnú diagnostikáciu pôsobenia sucha.

Kľúčové slová: *Picea abies*, sucho, odumieranie lesov, fotosyntéza, pigmenty, fluorescencia chlorofylu *a*, prolín, vodný potenciál

ÚVOD A PROBLEMATIKA

V súčasnosti mnoho odborníkov venuje pozornosť stresovej fyziológii, mechanizmom pôsobenia stresorov na vznik funkčných porúch a adaptačným mechanizmom rastlín. Táto téma sa stáva mimoriadne dôležitou aj v súvislosti s prognózovanými dopadmi klimatických zmien na ekosystémy.

Synergické pôsobenie extrémnych klimatických výkyvov, dlhodobej acidifikácie pôdy a antropogénnych vplyvov, predovšetkým imisnej záťaže, má za následok postupné chradnutie lesných porastov na takmer celom území strednej Európy (Cudlín, Tříska 1997). Chradnutie smrečín je vážnym problémom aj na Slovensku, keďže nepôvodné

smrekové monokultúry zaberajú významnú výmeru našich lesov a sú vo všeobecnosti považované za málo stabilné.

Z prác autorov, ktorí uvádzajú ekologické nároky smreka (napr. Mráček, Pařez 1986, Schmidt-Vogt 1987, Pagan, Randuška 1987, Kulla 2002) vyplýva, že smrek je drevinou náročnou na vodu a aj na našom území spôsobuje v posledných rokoch sucho významné poškodenie. Voda, na rozdiel napr. od minerálnych živín, má veľmi rýchly kolobeh v ekosystémoch a jej zásoba v pôde stačí iba na pomerne krátku dobu. Navyše dopĺňanie zásob vody zrážkami býva obvykle nepravidelné, náhodné a nie sú teda vylúčené ani dlhšie periódy sucha (Procházka 1998). Nedostatok zrážok a extrémne teploty sa prejavujú najmä vo zvýšených stratách na výsadbách, kultúrach, ale aj v dospelých porastoch, kde sa sucho okrem odumretia drevín prejavuje tiež predčasným žltnutím asimilačných orgánov (Konôpka *et al*. 2002). Deficit vody objavujúci sa v poslednom období na väčšej časti Slovenska môže mať negatívny vplyv na vlahové zabezpečenie, zdravotný stav a produkciu aj v spoločenstvách vyšších vegetačných stupňov s prevahou smreka (6., 7., 8. lesného vegetačného stupňa). Vodný režim pôd v horskom pásme, špeciálne ich nízka vodná kapacita sa považuje za veľmi dôležitý faktor v čase klimatických extrémov (Priwitzer *et al*. 2003).

V európskych podmienkach je pre smrek všeobecne akceptovaný kumulatívny zrážkový limit 300 mm za obdobie máj až august (Hanisch, Kilz 1990). Podľa Škvareninu *et al*. (1995) bol v priebehu rokov 1984−1993 v horských polohách Slovenska tento limit dosiahnutý, výnimkou bolo niekoľko lokalít počas extrémne suchého roku 1992. Oproti mesačným normálom však dochádzalo k značným odchýlkam a predovšetkým mesiac júl bol po celé sledované obdobie výrazne podnormálny. Výsledky Tužinského (1999) ukázali, že v zrážkovo podnormálnych obdobiach sa vyskytuje pokles vlhkosti pôdy pod bod zníženej dostupnosti vody aj v smrekových lesných porastoch v oblasti montánneho stupňa na severe Slovenska (Orava, Kysuce).

Minďáš *et al*. (2000) analyzovali možné dopady prognózovaných klimatických zmien na súčasný a budúci výskyt smreka v oblasti Západných Karpát. Predpokladajú do budúcnosti výrazný pokles potenciálu pre výskyt smreka obyčajného a jeho bezpečné pestovanie na území Slovenska a to najmä v nižších a stredných polohách.

Mäkinen (2001) pozoroval, že nízke zrážky môžu mať súvis s poškodzovaním a odumieraním smreka na stanovištiach v južnom Fínsku, ktoré sú pre sucho náchylné. Často tiež dochádza k poškodeniu najmä stálezelených rastlín suchom aj napriek veľkej zásobe vody v pôde a to z dôvodu jej fyziologickej nedostupnosti.

Navyše, v súčasnosti sú hospodársky závažnými aj sekundárne škodlivé činitele v dôsledku toho, že pôsobia na fyziologicky oslabené stromy (Ditmarová *et al*. 2005). Napr. Holuša, Liška (2002) predpokladajú, že hlavným predispozičným faktorom v Sliezsku je napadnutie podpňovkou a spúšťacím aj mortalitným faktorom je vodný deficit. Ako uvádza Příhoda (1959), zhubné pôsobenie kombinácie podpňovky a sucha je známe

zo starších smrečín, napr. z východného Slovenska po roku 1947. Podobný prípad je zaznamenaný tiež z roku 1911 vo Vestfálsku. Ďalším aspektom pôsobenia sucha je, že výrazne ovplyvňuje predispozíciu smreka na nálet podkôrneho hmyzu. Esch, Mengel (1998 a, b) predpokladajú, že kyslé hmly degradujú epikutikulárne vosky ihlíc a môžu zvyšovať transpiračné straty stromov napriek tomu, že prieduchy sú zatvorené. Taktiež môže byť negatívne ovplyvnená mykorízna symbióza a je zvýšené riziko vzniku požiarov.

Ako uvádzajú Brestič, Olšovská (2001), predpokladá sa, že počas sucha sa stupeň dehydratácie stáva jediným limitujúcim faktorom. Zmeny priemerných zrážok a teplôt spôsobené predpokladanými klimatickými zmenami však nemusia byť v budúcnosti faktormi s rozhodujúcim vplyvom na rast a zdravotný stav drevín. Vplyv pravdepodobných zmien amplitúd a frekvencií opakovania sa extrémnych vplyvov môže byť výrazne väčší (Mäkinen *et al.* 2001).

Zachovanie kritického vodného potenciálu v liste sa javí ako najdôležitejší znak adaptácie a rezistencie voči suchu (Lütge, Scarano 2003). Sucho môže vplývať na rast mnohými spôsobmi a to buď priamo cez pokles vodného potenciálu v bunkách kambia s následným zamedzením rastu buniek (Dreyer 1997), alebo bežnejšie, rastliny redukujú svoju metabolickú aktivitu a stomatálnu vodivosť. To spôsobuje pokles fotosyntézy a znížená fixácia uhlíka môže viesť k zmenšeniu rýchlosti rastu (Escós 2000).

Ako uvádzajú Procházka *et al*. (1998), z fyziologického hľadiska sú vo všeobecnosti najcitlivejšie na pokles vodného potenciálu rast a pochody tvorby bunkovej steny a tiež syntéza proteínov. Pri výraznejšom poklese dostupnej vody dochádza u mnohých druhov k zvýšenej tvorbe aminokyseliny prolín. Vo všeobecnosti citlivo (od určitej prahovej hodnoty) reagujú prieduchy (čím je limitovaný príjem CO_2), menej citlivo napr. fotochemické procesy fotosyntézy. Fotosyntetické pigmenty majú taktiež veľký význam pre fotosyntézu a ich koncentrácia v asimilačných orgánoch sa často využíva ako markér stresu. Ako uvádzajú Brestič, Olšovská (2001), je dôležité venovať pozornosť zákonitostiam vzniku a vývinu tých stresových reakcií, ktoré dominujú v prvých fázach ich pôsobenia.

Dynamiku uvedených parametrov sme pozorovali na mladých sadeniciach smreka s cieľom odsledovať priebeh a citlivosť jednotlivých reakcií na simulované sucho a tiež posúdiť ich vhodnosť pri včasnej a spoľahlivej identifikácii pôsobenia vodného stresu.

MATERIÁL A METÓDY

Rastlinný materiál a simulácia sucha

Všetky analýzy boli realizované na mladých jedincoch smreka, ktoré boli zalievané v troch režimoch za účelom dosiahnutia optimálnych vlhkostných podmienok, mierneho stresu a silného stresu zo sucha. Tridsať sadeníc (desať pre každý variant) bolo

využitých na nedeštruktívne merania a 15 jedincov (5 × 3) na odbery nevyhnutné pre niektoré analýzy. Merania aj odbery boli uskutočnené na letorastoch 4-ročných jedincov počas 48 dní pokusu.

Ako základ pre kvantifikáciu zálievky nám poslúžilo stanovenie maximálnej kapilárnej kapacity (MCC), ktorá bola stanovená podľa Kliku *et al.* (1954). Optimálne množstvo vody v pôde pre smrek sa pohybuje medzi 60–80 % MCC (Tužinský 2002, Kutílek 1994).

Kapilárne nasýtená zemina sa zváži a vysuší sa v sušičke na konštantnú hmotnosť. Jednoduchým rozdielom hmotnosti pôdy pred a po vysušení zistíme hmotnosť vody obsiahnutej v plne nasýtenej pôde na objem valčeka. Prepočtom na objem pôdy obsiahnutej v črepníkoch sme stanovili hmotnosť črepníka pre rôzne hladiny kapilárneho nasýtenia (tab. 1). Táto hmotnosť bola v priebehu celého pokusu pravidelne sledovaná a udržiavaná tak, že po priblížení sa spodnej hranici bola doliata voda až k hmotnostnému maximu daného intervalu. V prípade silno stresovaných jedincov nebola spodná hranica dosiahnutá pred ukončením pokusu a tieto neboli po celú dobu pokusu zaliate.

Tab. 1 Intervaly maximálnej kapilárnej kapacity (MCC) a hmotnosti črepníka pre dosiahnutie rôznych úrovní stresu zo sucha: kontrola (c), mierny stres (ms) a silný stres (ss)
Tab. 1 Ratio of maximum capilar capacity (MCC) and pot weight maintained during treatment for three variants: control (c), mild drought stress (ms), severe stress (ss)

Variant	MCC	hmotnosť črepníka[1] (g)
kontrolné sadenice (c)	60 %–80 %	5845–6500
vystavené miernemu stresu (ms)	40 %–59 %	5189–5844
silno stresované jedince (ss)	20 %–39 %	4533–5188

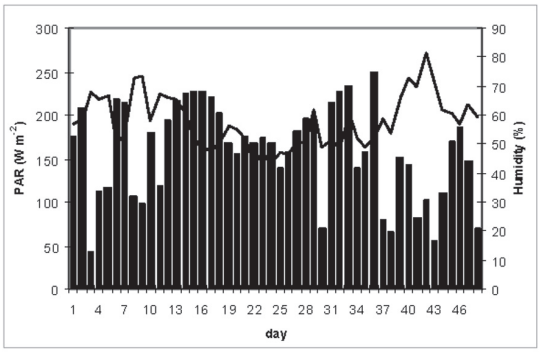
Sledovanie podmienok prostredia

Pozorované jedince boli pred začiatkom pokusu prihnojené. Rástli v semikontrolovaných podmienkach pri difúznom svetle, čím sa zamedzilo fotoinhibícii a čiastočne prehrievaniu asimilačného aparátu. Počas pokusu boli kontinuálne (v 10-minútových intervaloch) zaznamenávané nasledujúce meteorologické parametre (obr. 1): teplota vzduchu [°C], relatívna vlhkosť vzduchu [%] a globálna radiácia [W m^{-2}]. Získané údaje boli spracovávané pomocou softvéru Mini32 (EMS Brno).

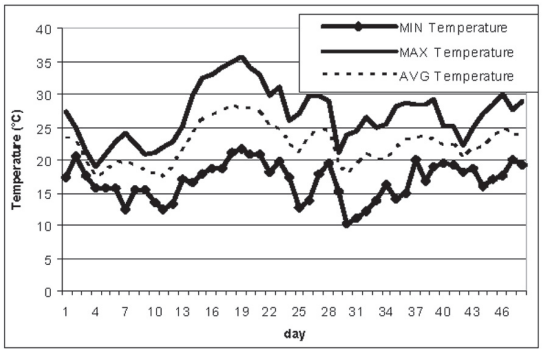
Sledovanie fluorescencie chlorofylu *a*

Na meranie fluorescencie chlorofylu *a* bol použitý fluorimeter PEA (*Plant Efficience Analyser*, Hansatech Ltd., Kings Lynn, UK). Vzorka bola ožiarená saturačným

impulzom po polhodinovej adaptácii na tmu. Táto doba postačuje na zastavenie transportu elektrónov v tylakoidných membránach, transtylakoidný pH-gradient je po adaptácii na tmu minimálny (ROHÁČEK, BARTÁK 1999). Meranie bolo realizované vždy v dvoch opakovaniach pre každého jedinca, pričom boli stanovené parametre: F_0 (počiatočná fluorescencia, všetky reakčné centrá sú otvorené), F_m (maximálna fluorescencia, všetky reakčné centrá sú zatvorené), $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$, maximálny kvantový výťažok fotochemických reakcií (KRAUSE, WEIS 1991).



a



b

Obr. 1 (a, b): Denná suma fotosynteticky aktívneho žiarenia a priemerná vlhkosť vzduchu počas dňa (a); minimálna, maximálna a priemerná denná teplota (b)
Fig. 1 (a, b): Daily sum of phototosynthetic active radiation and air humidity during the days (a), minimum, average and maximum daily temperature (b)

Meranie výmeny plynov (P_N) a stomatálnej konduktancie (g_s)

Efektivita výmeny plynov u mladých jedincov smreka bola meraná pomocou otvoreného gazometrického systému CIRAS 1 (PPSystem VB). Koncentrácia CO_2 bola počas merania udržiavaná na hladine 250 ppm, intenzita fotosynteticky aktívneho žiarenia bola 250 μmol m^{-2} s^{-1}, teplota 20 °C. Prístrojom bola taktiež zaznamenávaná stomatálna konduktancia. Meraný bol vždy jeden tohoročný výhon a to medzi 7 až 11 hodinou.

Koncentrácia asimilačných pigmentov

Pre stanovenie koncentrácie asimilačných pigmentov bol používaný 80 %-ný vodný roztok acetónu po degradácii vzoriek ihličia homogenizáciou pri 35 000 n/min. Tento bol spracovaný na spektrofotometri Cintra 6.5, GBS, Austrália. Pri vyhodnotení sme použili matematické vzťahy podľa LICHTENTHALERA (1987).

Vodný potenciál

Na meranie vodného potenciálu (Ψ_w) sa používa psychrometrická metóda. Pri tejto metóde sa zatvorí asimilačný orgán do psychrometrickej komory. Voda sa zo vzorky vyparuje, až kým nedosiahne tlak pár v komore vodný potenciál rovný vodnému potenciálu pletiva. Vodný potenciál sa určí zmeraním tlaku vodných pár a následným odčítaním z kalibračnej krivky. Na meranie bol použitý prístroj PSY – PRO, WESCOR.

Stanovenie koncentrácie prolínu

Obsah voľného prolínu bol stanovovaný spektrofotometricky ninhidrínovou metódou: Kyslý ninhidrín sa pripravuje zahrievaním 4,25 g ninhidrínu v 30 ml ľadovej kyseliny octovej a 20 ml 6M kyseliny fosforečnej za stáleho miešania až do rozpustenia. Približne 0,5 g rastlinného materiálu sa homogenizuje v 10 ml 3 %-nej vodnej kyseliny sulfosalicylovej a homogenát sa filtruje cez filtračný papier. 2 ml filtrátu reaguje s 2 ml ľadovej kyseliny octovej v skúmavke počas 1 hodiny pri 100 °C vo vodnom kúpeli. Reakcia sa zastavuje ľadovým kúpeľom. Reakčná zmes sa extrahuje 4 ml toluénu, silne sa premiešava po dobu 15–20 minút na trepačke. Z vodnej fázy sa odsáva chromofór, zahrieva sa na izbovú teplotu a meria sa absorbancia pri vlnovej dĺžke 520 nm s použitím toluénu ako refrakčnej vzorky. Koncentrácia prolínu sa určuje z kalibračnej krivky a vypočíta sa na základe čerstvej hmotnosti (Bates *et al*. 1973).

Výsledky a diskusia

Reťazec elektrónového transportu a súvisiacich procesov je relatívne odolný voči dehydratácii. Pri našom pokuse boli hodnoty parametra F_v/F_m stabilné až po 27. deň, potom nastal skokový zlom. Štatisticky významne nižšie hodnoty sme u silne stresovaných jedincov namerali počas 37. dňa pokusu, 48. deň bol pokles hodnôt silno stresovaných jedincov oproti začiatku pokusu 36% (Tab. 2). Slabo stresované jedince znížením maximálnej efektivity PS2 nereagovali. Priemerná hodnota F_v/F_m nameraná počas 42. dňa na variante ss (silný stres) bola <0,72 a 48. deň <0,6. Tieto kritické hodnoty považujú Bolhar-Nordenkampf a Götzl (1992) za dôkaz silných, resp. ireverzibilných fyziologických porúch.

Niektorí autori uvádzajú zistenie štatisticky nevýznamných rozdielov v reakcii parametra F_v/F_m na sucho (napr. Lu, Zhang 1998, Subrahmanyan *et al*. 2006). Uvedený parameter sledovali na smreku obyčajnom aj Pukacki, Kaminska-Rozek (2005). Preukazné zmeny pozorovali už 18. deň pokusu a na 42. deň bol pokles hodnôt až 44%. Bigras (2005) sledoval u smreka počiatočný pokles F_v/F_m pri hodnotách vodného potenciálu medzi –1 až –2 MPa. Fluorescencia chlorofylu *a* sa ukazuje ako relatívne spoľahlivý ukazovateľ stresu

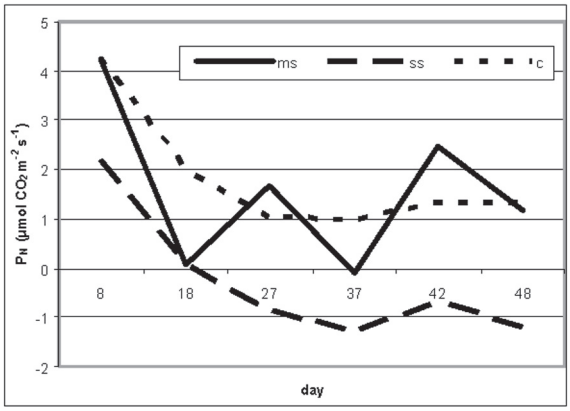
zo sucha pre smrek obyčajný, výhodou je aj rýchle a bezproblémové meranie. Nevýhodou je však relatívne neskorá reakcia parametra F_v/F_m. Parameter F_v/F_m vykazuje zmeny až v čase, keď je silno obmedzený príjem CO_2 listami (Cornic 1996).

Prakticky po celú dobu merania boli hodnoty P_N aj g_s najnižšie u jedincov silno stresovaných suchom (obr. 2). Zaujímavý je tiež relatívne prudký pokles fotosyntetickej aktivity (resp. zvýšenie fotorespirácie) kontrolných jedincov v porovnaní s hodnotami nameranými na počiatku pokusu. Tieto sadenice síce mali dostatok vlahy, fotosyntéza však zrejme bola inhibovaná dlhotrvajúcimi extrémnymi teplotami. Počas 16. až 30. dňa dosahovala maximálna denná teplota v priemere 31,5 °C v tieni (s maximom takmer 36 °C). Mierne stresované jedince dosahujú po zaliatí dokonca vyššie hodnoty P_N v porovnaní s kontrolnými jedincami (27. a 42. deň).

Tab. 2 Priemerné hodnoty parametra F_v/F_m (n = 20) a podobnosť variánt c (kontrola), ms (mierny stres) a ss (silný stres) počas 48 dní trvajúceho pokusu. Odlišné písmená označujú významnosť rozdielov, ANOVA, Duncanove párové testy, P < 0,05

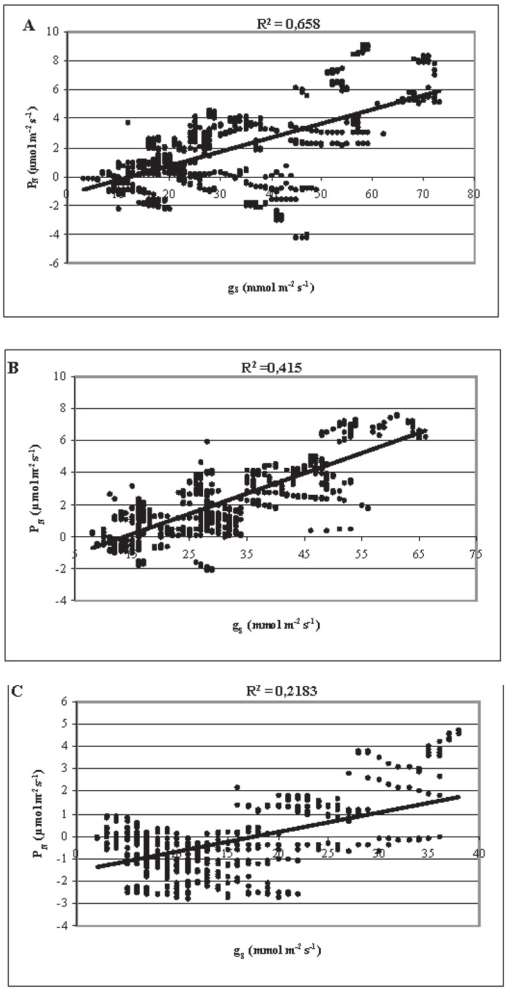
Tab. 2 Average value of F_v/F_m parameter (n = 20) and similarity among variants c (control), ms (mild drought stress) and ss (severe stress) during 48 days long treatment. Different letter denote significant difference tested by ANOVA, Duncan's test, P < 0,05

Day treatment	8	18	27	37	42	48
C	0,833 a	0,817 a	0,817 a	0,827 b	0,823 b	0,795 b
Ms	0,841 b	0,826 b	0,816 a	0,832 b	0,827 b	0,809 b
Ss	0,842 b	0,824 a,b	0,818 a	0,793 a	0,712 a	0,538 a
R^2 [%]	14,8	9,7	0,3	30,2	50,1	63,1
P	0,0103	0,0538	0,9129	0,0000	0,0000	0,0000
F	4,9605	3,0778	0,0912	12,3412	28,6462	48,6416



Obr. 2: Hodnoty čistej fotosyntézy pre varianty: kontrola (c), mierny stres (ms), silný stres (ss)

Fig. 2: Net photosynthesis PN for control individuals (c), seedlings growing in mild and in severe drought condition



Obr. 3: Závislosť medzi prieduchovou vodivosťou (gS) a čistou fotosyntézou (P_N) pre rôzne hladiny stresu zo sucha: a – control, b – ms, c – ss

Fig. 3: Relationships between stomatal conductance and net photosynthesis for variants: c (control), ms (mild drought stress) and ss (severe stress)

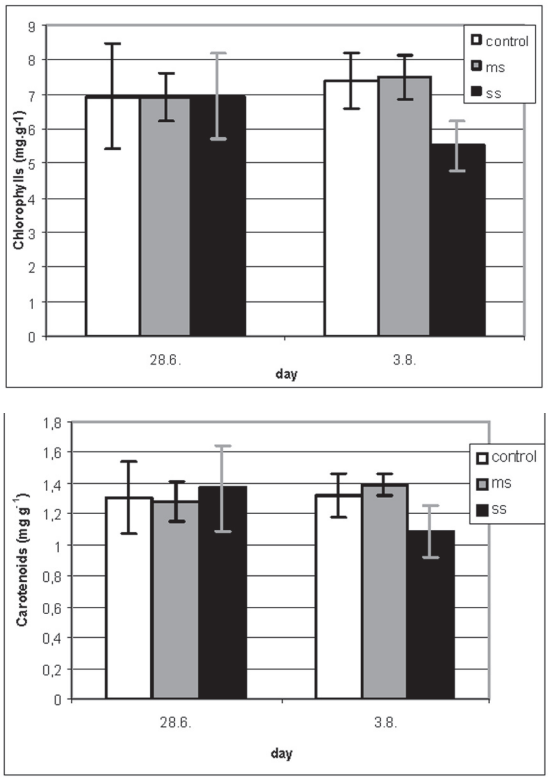
Pri hodnotení závislosti medzi P_N a g_s (obr. 3a, b, c) sme pozorovali najtesnejšiu lineárnu koreláciu u kontrolného variantu (R = 0,81), slabšiu u variantu ms (R = 0,64) a najnižšiu (R = 0,47) u silno stresovaných sadeníc. U silno stresovaných jedincov bola teda závislosť P_N a g_s slabšia oproti zvyšným dvom variantom. To poukazuje na fakt, že pri variante ms, ale najmä pri variante ss je rýchlosť asimilácie limitovaná aj nestomaticky. Ako uvádzajú TIAN, LEI (2006), stres zo sucha vedie k peroxidácii lipidov v dôsledku akumulácie peroxidu vodíka. Pri miernom strese zo sucha zaznamenali reakciu rastliny v smere zvýšenia odolnosti voči oxidatívnemu poškodeniu. Pri silnom strese aktivita antioxidatívnych enzýmov výrazne klesla, čím sa tiež znížila obranyschopnosť organizmu. Pokles P_N tiež tesne koreluje s redukciou RuBPC aktivity, pozorovanou pri vodnom deficite (BERTAMINI *et al.* 2006). Fakt, že ms jedince dosahovali po zaliatí vyššie hodnoty P_N v porovnaní s kontrolnými jedincami (27. a 37. deň) môže súvisieť so zvýšenou odolnosťou suchom stresovaných jedincov voči tepelnému stresu, kedy sa zvyšuje odolnosť kyslík vyvíjajúceho komplexu a reakčných centier (LU, ZHANG 1999).

Ako uvádzajú FLEXAS *et al*. (2001), g_s nie je kontrolovaná len dostupnosťou vody v pôde a často reaguje na sucho ešte pred zaznamenaním zmien relatívneho obsahu vody a vodného potenciálu listov. Považujú preto stomatálnu vodivosť za parameter vhodne a komplexne odrážajúci vodný stres rastlín. Druhy s vysokou g_s v optimálnych podmienkach vykazujú vyššiu citlivosť tohto parametra voči zmenám prostredia (EWERS

et al. 2001). Autori porovnávajú hodnoty g_s pre dreviny *Picea abies* a *Pinus tadea*, keď namerali približne polovičné hodnoty pre smrek a teda aj nižšiu citivosť reakcie prieduchov.

Parametre P_N a g_s naozaj reagovali relatívne výrazne na stres zo sucha. Spoľahlivú identifikáciu vodného deficitu v poľných podmienkach však čiastočne komplikuje výrazné kolísanie v dôsledku pôsobenia ďalších faktorov, ako aj prirodzená denná dynamika. Trend priebehu parametrov P_N a g_s pre rôzne varianty nie je tak jednoznačne ovplyvnený výlučne režimom zavlažovania ako u ostatných sledovaných markérov stresu.

Koncentrácia pigmentov v asimilačných orgánoch bola zisťovaná len dvakrát. Dôvodom bola relatívne vysoká náročnosť týchto analýz na odber materiálu. Na základe meraní možno konštatovať pomerne výrazný pokles chlorofylov (a + b) aj karotenoidov (xantofylov a karoténov) u silno stresovaných jedincov (obr. 4). Pomer chlorofylov ku karotenoidom, ako aj pomer chlorofylu *a* ku chlorofylu *b* výrazné rozdiely nepreukázal. Kronfuss *et al.* (1998) zaznamenali počas 38 dní obmedzeného zalievania smreka obyčajného významný pokles obsahu α- aj β-karoténu, nezmenili sa však koncentrácie chlorofylov. Beck *et al.* (1942) uvádza, že iba extrémne sucho výrazne ovplyvňuje produkciu pigmentov a významnejšími faktormi ovplyvňujúcimi ich obsah v asimilačných orgánoch sú extrémne vysoké teploty a nadmerné žiarenie.

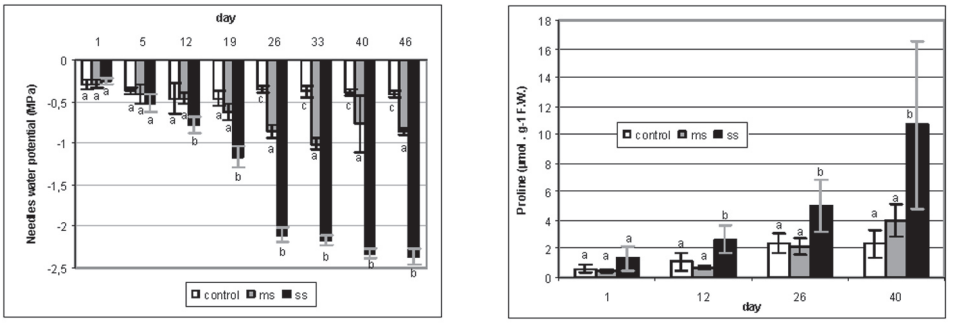


Obr. 4: Koncentrácia chlorofylov a karotenoidov na začiatku meraní a 36. deň pokusu pre kontrolné jedince (c), sadenice rastúce v podmienkach mierneho (ms) a silného stresu (ss)

Fig. 4: Chlorophylls and carotenoids concentration on begginig of treatment and during 36-th day for control (c), mild stress (ms) and severe stress (ss)

Namerané hodnoty vodného potenciálu (obr. 5) veľmi skoro a výrazne vyjadrujú rozdiely rôznej miery vodného deficitu. Už 12 deň bez závlahy sme pozorovali štatisticky významné rozdiely u variantu ss, 26. deň sme namerali signifikantné rozdiely medzi všetkými skupinami.

Taktiež pri pozorovaní koncentrácie aminokyseliny prolínu (obr 5.) pozorujeme štatisticky signifikantný nárast jeho koncentrácie u variantu ss už po 12. dňoch vystavenia suchu. Štatistický rozdiel medzi variantom ms a variantom c sa po dobu pokusu nepotvrdil. Stúpanie koncentrácie prolínu aj u kontrolného variantu poukazuje na nešpecifickosť tejto reakcie, keď rastliny reagujú zvyšovaním koncentrácie prolínu na viaceré stresujúce faktory (v tomto prípade s najväčšou pravdepodobnosťou na vysokú teplotu). V bioenergetike rastlín môže prolín podporiť syntézu ATP, kde je donorom vodíkov pre respiračné reťazce (Staszková, Táborský 2006). Je tiež schopný eliminovať reaktívne formy $O_2^{\cdot}$ (Saradhi *et al*. 1995). Aminokyselina prolín však plní najmä významnú osmoprotekčnú funkciu (Yang *et al.* 2007). Tesche (1980) uvádza, že smrek reaguje jeho zvýšenou tvorbou i na podnety ako zvýšená koncentrácia CO_2 a mráz.



Obr. 5: Vodný potenciál a koncentrácia prolínu pre kontrolu (c), mierne (ms) a silno stresované (ss) jedince; FW – čerstvá hmotnosť

Fig. 5: Water potential and proline concentration for control individuals (c), seedlings growing in mild and severe drought condition (ms, ss); FW – fresh weight

Zaznamenal zhruba trojnásobné koncentrácie pri komplexnom pôsobení škodlivých faktorov oproti pôsobeniu jednotlivému. Zvýšenú tvorbu prolínu indukovanú pôsobením výfukových plynov sledovali u smreka Viskari *et al*. (2000), pôsobenie UV-B žiarenia pozorovali Ren *et al.* (2007).

ZÁVER

Môžeme konštatovať, že využitie jediného stresového markéra pre identifikáciu väčšiny stresorov (vrátane sucha) nie je z dôvodu prevažnej nešpecifickosti ich reakcie vhodným prístupom. S ohľadom na včasnú reakciu, nižšiu variabilitu hodnôt v priebehu dňa, ako aj relatívne bezproblémové stanovenie sa z použitých markérov ako účelné javia pozorovania vodného potenciálu a koncentrácie prolínu v asimilačných orgánoch. Ďalšie markéry však taktiež v značnej miere dopĺňajú informáciu o celkovom fyziologickom stave rastliny.

Poďakovanie

Výskum prebieha za finančnej projektov APVV-022-07, VEGA 2/0032/08, a VEGA 1/3524/06.

Literatúra

Bates, L. S., Waldren R. P., Teare, I. D. 1973: Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil* **39**: 205–207.

Beck, W., A. 1942: Efect of drought on the production of plant pigments. Plant Physiolgy **17**(3): 487–491.

Bertamini, M., Zulini, L., Mutchuchelian, CH., Nedunchezhian, N. 2006: Effect of water deficit on photosynthetic and other physiological responses in grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Riesling) plants. Photosynthetica, **44**(1): 151–154.

Bigras, F. J. 2005: Photosynthetic response of white spruce families to drought stress. New Forest **29**:135–148.

Bolhar-Nordenkampf, H. R., Götzl, M. 1992: Chlorophyllfluoreszenz als Indikator der mit der Seehöhe zunehmenden Stressbelastung von Fichtennadlen. *FBVA-Berichte* **67**: 119–131.

Brestič, M., Olšovská, K. 2001: Vodný stres rastlín: príčiny, dôsledky, perspektívy. VES SPU Nitra. 149 pp.

Cornic, G., Massaci, A. 1996: Leaf Photosysthesis Under Drought Stress. *In*: Photosynthesis and the Environment. Barker, R. (*ed*.). Kluwer Academic Publishers, Netherlands. pp. 347–366.

Cudlín, P., Tříska, J. 1997: Hodnocení ekologických rizik v lesních ekosystémech. *In*: Hodnocení rizik pro životní prostředí: „Od molekulární a buněčné úrovně po ekosystém", Brno. 108–116.

Ditmarová, Ľ., Kmeť, J., Střelcová, K. 2005: Analýza možných vplyvov prostredia na sadenice smreka (*Picea abies* L. Karst) v podmienkach nádobového pokusu. *In*: Bioklimatologie současnosti a budoucnosti. Rožnovský, J., Litschmann, T. (*eds*.). CD-ROM, Brno – Křtiny. 6 pp.

Dreyer, E., 1997. Photosynthesis and drought in forest trees. In: Trees – Contributions to Modern Tree Physiology, Rennenberg, H., Eeschrich, W., Ziegler, H. (*eds*.). Backhuys, Leiden, pp. 215–238.

Escós, J., Alados, C. L., Pugnaire, F. I., Puigdefábregas, J., Elmen, J. 2000: Stress resistance strategy in an arid land shrub: interaction between developmental instability and fractal dimension. Journal of *Arid Environments* **45**: 325–336.

Esch, A., Mengel, K. 1998: Combined effects of acid mist and frost drought on the water status of young spruce trees (*Picea abies*). *Environmental and Experimental Botany* **39**: 57–65.

Esch, A., Mengel, K. 1998: Combined effects of acid mist and frost drought on the water status of young spruce trees (*Picea abies*). *Chemosphere* **36**(4–5): 645–650.

Ewers, B. E., Oren, R., Philips, N., Strömgren, M., Linder, S. 2001: Mean canopy stomatal conductance responses to water and nutriet availabilities in *Picea abies* and *Pinus taeda*. *Tree Physiology* **21**:841–850.

Hanisch, B., Kilz, E, 1990: Waldschäden erkennen. Fichte und Kiefer. Eugen Ulmer a Co., Stuttgart. 334 pp.

Holuša, J., Liška, J. 2002: Hypotéza chřadnutí a odumírání smrkových porostů ve Slezsku (Česká republika). *Zprávy lesnického výskumu* **47**(1): 9–15.

Klika, J., Novák, V., Gregor, A. 1954: Praktikum fytocenologie, ekologie, klimatologie a půdoznalectví. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha.

Konôpka, J., *et al*. 2002: Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike 2002 (Zelená správa). MP SR, Bratislava. 126 pp.

Krause, G. H., Weis, E. 1991: Chlorofyll fluorescence and and photosynthesis: the basics. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Bilology* **42**: 313–349.

Kronfuss G., Polle A., Tausz M., Havranek W.M., Wieser G. 1998: Effects of ozone and mild drought stress on gas exchange, antioxidants and chloroplast pigments in current-year needles of young Norway spruce [Picea abies (L.) Karst.]. Trees, **12**: 482–489.

Kulla, L. 2002: Stresové pôsobenie vybraných meteorologických a ekofyziologických faktorov na smrek obyčajný (*Picea abies* [L.] Karst.) v horských polohách. *Lesnícky časopis – Forestry Journal*, **48**(1): 71–80.

Kutílek, V., Nielsen, D. R. 1994: Soil Hydrology. Catena Verlag, Crenlingen-Destedt, 370 s.

Lichtenthaler, H. K. 1987: Chlorophylls and carotenoids: Pigments of Photosyntetic Biomembranes. *Methods in enzymology* **148**: 350–382.
Lu, C., Zhang, J. 1998: Effect of water stress on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and photoinhibition i nwheat plants. Aust. *J. Plant Physiology* **25**: 883–892.
Lu, C., Zhang, J. 1999: Effect of water stress on photosystem II photochemistry and its thermostability in wheat plants. *Journal of Experimental Botany* **50**(336): 1199–1206.
Lütge, U., Scarano, R. 2004: Ekophysiology. *Revista Brasileira de Botanica* **27**(1): 1–10.
Mäkinen, H, Nöjd, P., Kahle, H. P., Neumann, U., Tveite, B, Nielikäinen, K, Röhle, H., Spiecker, H. 2001: Radial growth variation of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) across latitudinal and altitudinal gradients in central and northern Europe. *Forest Ecology and Management* **171**: 243–259.
Minďáš, J., Škvarenina, J., Střelcová, K., Priwitzer, T. 2000: Influence of climatic changes on Norway spruce occurrence in the West Carpathians. *Journal of forest science* **46**(6): 249–259.
Mráček, Z., Pařez J. 1986: Pěstovámí smrku. Státní zemědelské nakladatelství, Praha. 202 pp.
Pagan, J, Randuška, D. 1987: Atlas drevín 1 (Pôvodné dreviny). Obzor, Bratislava. 360 pp.
Priwitzer, T., Střelcová, K., Kmeť, J. 2003: Ekofyziologické procesy lesných drevín. *In*: Lesy Slovenska a globálne klimatické zmeny. Minďáš, J., Škvarenina, J. (*eds*.). TU vo Zvolene. pp. 44–49.
Procházka, S., Macáčková, I., Krekule, J., Šebánek, J., *et al*. 1998: Fyziologie rostlin. Academia, Praha. 484 pp.
Příhoda, A. 1959: Lesnická fytopatologie. Státní zemědelské nakladatelství, Praha. 347 pp.
Pukacki, P. M., Kamińska-Rozek, E. 2005: Effect of drought stress on chlorophyll a fluorescence and electrical admittance of shoots in Norway spruce seedlings. *Trees* **19**: 539–544.
Ren, J., Dai, W., Xuan, Z., Yao, Y., Korpelainen, H., Li, CH. 2007: The effect of drought and enhanced UV-B radiation on the growth and physiological traits of two contrasting poplar species. *Forest Ecology and Management* **239**: 112–119.
Roháček, K., Barták, M. 1999: Technique of the modulated chlorophyll fluorescence: basic concepts, useful parameters, and some applications. *Photosynthetica* **37**: 339–363.
Saradhi, P., Alia, P., Arora, S., Prasad, K. 1995: Proline accumulates in plants exposed to UV-rediation and protects them against UV-induced peroxidation. *Biochemical and Biophysical Research Communication* **209**(1): 1–5.
Schmidt-Vogt, H. 1987: Die Fichte I. Taxonomie, Verdbreitung, Morphologie, Ökologie, Waldgesellschafen. Paul Parey, Hamburg und Berlin. 647 pp.
Škvarenina, J., Střelcová, K., Kamenský, L. 1995: Zrážková zabezpečenosť smreka obyčajného na vybraných lokalitách Stredného Slovenska. *In*: Lesné ekosystémy a globálne klimatické zmeny. Škvarenina, J., Minďáš, J., Čaboun, V. (*eds*.). LVÚ Zvolen. pp. 89–96.
Staszková, L.,Táborský, J. 2006: Změny v metabolismu rostlin při stresu kadmiem. *In*: Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2006 (Sborník příspěvků). Hnilička, F. (*ed*.). ČZU, Praha. pp. 180–183.
Subrahmanyam, D., Subash, N., Haris, A., Sikka, A. K. 2006: Influence of water stress on leaf photosynthetic characteristicsin wheat cultivars differing in their susceptibility to drought. *Photosynthetica* **44**(1): 125–129.
Tesche, M. 1980: Prolin – ein unspezifischer Stressindikator bei Gehöelzen. *Wissenschaftliche Beiträge* **9**: 58–66.
Tian, X., Lei, Y. 2006: Nitric oxide treatment alleviates drought stress in wheat seedlings. *Biologia Plantarum* **50**:775–778.
Tužinský, L. 1999: Periódy sucha v lesných pôdach pod lesnými ekosystémami s rozdielnym drevinovým zložením. *In*: Atmosféra 21. storočia, organizmy a ekosystémy, zborník referátov z medzinárodnej vedeckej konferencie Bioklimatologické pracovné dni 1999. Tužinský, L., Škvarenina, J., Minďáš, J. (*eds*.). TU vo Zvolene. pp. 23–27.
Tužinský, L. 2002: Soil moisture in mountain spruce stand. Journal of Forest Science, **48**(1): 27–37.
Viscary, E. L., Kössi, S., Holopainen, J. K. 2000: Norway spruce and spruce shoot aphid as indicators of traffic pollution. *Environmental Pollution* **107**: 305–314.
Yang, Y., Liu, Q., Han, C., Qiao, Y. Z., Yao, X. Q., Yin, H. J. 2007: Influence of water stress and low irradiance on morphological and physiological characteristics of *Picea asperata* seedlings. Photosynthetica, **45**(4): 613–619.

Adresa autorov:
Ing. Daniel Kurjak
Doc. Ing. Jaroslav Kmeť, PhD.
Katedra fytológie
Lesnícka fakulta
TU vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen, SR

e-mail: kurjak@vsld.tuzvo.sk

RNDr. Ľubica Ditmarová, PhD.
Ústav ekológie lesa SAV
Štúrova 2
960 53 Zvolen
Slovenská republika

Sensitivity of drought stress biomarkers tested on norway spruce

Summary

Spruce forests are in danger by drought on the present. It is caused by changes in climate and water distribution during the year and relative high requirement of spruce to soil moisture.

This paper presents results from measurements set of parameters on 4-year-old Norway spruce seedlings growing in semicontrolled condition. The moisture content of the soil for severe water stress (ss) was limited to 20%–39% of the maximum capilar capacity (MCC), mild stress (ms) to 40%–59% MCC and control individuals (c) were well watered (60%–80% MCC).

Durin 48-days long treatment were measured this parameters: chlorophyll *a* fluorescence (F_v/F_mparameter), net photosynthesis (P_N), stomatal conductivity (g_s), pigments content, concentration of free proline and water potential.

We observed drought stress iduced changes in chlorophyll *a* fluorescence only for severe stressed (ss) seedling during 37-th day of treatment. It confirms assumption that proceses of primary photosynthesis are relatively low sensitive towards drought stress. Response of P_N and g_s was markedly effected by high temperature not only water defficit. Variant ms achieved even higher values of P_N after watering in compare with c variant. Relationships between stomatal conductance and net photosynthesis was relatively tight for c variant (R=0,81), correlation coefficient for ss individuals was ony 0,47. Is suggests that P_N for ms but especially for ss variant was not reduced only by stomata activity. Long term water deficit decreased chlorophylls (chl *a*+chl *b*) and carotenoids (xantophylls and carotens) content for ss seedlings. There was no marked changes in chl/car and chl *a*/chl *b* ratios neither between variant ms and c. Significant difference in amino acid proline was determined during 12-th day for ss individuals, but changes between ms and s were not finded during treatment. Water potential values describe very shortly differences between various volume in water deficit.

ACTA FACULTATIS FORESTALIS XLX
ZVOLEN – SLOVAKIA 2008

DYNAMIKA ČASOVEJ A PRIESTOROVEJ DISTRIBÚCIE ZÁSOB VODY V SNEHOVEJ POKRÝVKE V MALOM HORSKOM POVODÍ HUČAVY – BR POĽANA, ALEBO: PREČO SA JARNÉ POVODNE BR – POĽANA VYHÝBAJÚ

Matúš H R Í B I K

Hríbik, M.: Dynamika časovej a priestorovej distribúcie zásob vody v snehovej pokrývke v malom horskom povodí Hučavy – BR Poľana, alebo: Prečo sa jarné povodne BR – Poľana vyhýbajú. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, **XLX**, 2008, č. 1, s. 47–60.

Na základe štvorročných expedičných meraní vodnej hodnoty snehu na výškovom profile horského masívu Poľana sme vypracovali analýzu priestorovej distribúcie zásoby vody v snehovej pokrývke v malom horskom povodí Hučavy (39, 1 km^2) s využitím nástrojov GIS, obzvlášť nástrojov geoštatistiky (lineárna regresia) a mapovej algebry. Najvyššie zásoby vody v snehovej pokrývke sme namerali na prelome februára a marca roku 2006, kedy predstavovali 9,65 mil. m^3, čo priemerne predstavuje až 246 mm vodného stĺpca. Zatiaľ čo v rovnakom období roku 2004 bola celková zásoba vody v snehovej pokrývke 3,5 mil. m^3 (vodný stĺpec 89 mm) a v roku 2007 zásoba tvorila 3,78 mil. m^3 (vodný stĺpec 96 mm), čo sú v podstate len tretinové hodnoty roku 2006. Celkovo najnižšie hodnoty sme zistili v apríli roku 2007, kedy celková zásoba vody v snehovej pokrývke bola len 1,06 mil. m^3 (hodnota vodného stĺpca 27 mm). Podľa zistených údajov je možné konštatovať, že vplyv lesa na zadržiavanie snehových zásob rastie po kulminácii a začiatku topenia snehovej pokrývky, kedy porast pôsobí ako clona a zabraňuje topeniu. Potvrdil sa tak vplyv lesa na pravidelnejšie rozloženie snehových zrážok a následné spomalené uvoľňovanie do povrchových i podpovrchových vôd, čo má značný vplyv z hľadiska znižovania potenciálneho rizika vzniku povodní.

Kľúčové slová: Vodná hodnota snehu, riziko povodní, vodná zásoba, Biosférická rezervácia CHKO Poľana, GIS, lesné porasty

1. ÚVOD A CIEĽ

Základnou črtou, spoločnou pre všetky toky Slovenska je prevaha prietokov v jarnom období, nízke prietoky v letných a zimných mesiacoch s miernym zvýšením v neskorších jesenných mesiacoch. Pričom prevaha prietokov v jarnom období nie je dôsledok prevahy zrážok v tomto období. Priebeh zrážok je skôr opačný a blíži sa v jarnom období k svojim minimálnym hodnotám. Pozorujeme teda protichodný režim mesačných zrážok a prietokov v dlhodobom priemere.

Zvýšené jarné prietoky zapríčiňuje topenie v zimnom období nazhromaždeného snehu, pričom sú ešte pomerne malé straty spôsobené výparom – evapotranspiráciou (Pražak *et al.* 2004, 2006, Střelcová a Minďáš 2000, Tesař *et al*. 2006) a redukované na infiltráciu (Buchtele *et al*. 2006).

Povodne predstavujú dramatický prejav prírodného rizika. Ich význam spočíva hlavne v ďalekosiahlych dôsledkoch pre človeka a okolitú prírodu. Šimo (1972) uvádza nasledovné príčiny povodní na Slovensku:

- intenzívne lejaky (ale aj dlhotrvajúce krajinské dažde),
- intenzívny odmäk snehových zásob (hlavne kombinovaný s dažďami),
- ľadové zápchy,
- náhle uvoľnenie akumulovanej vody v nádrži a pod.

Predkladaný článok si kladie za cieľ posúdenie potenciálu pre povodňové riziko práve pri pôsobení druhej z vyššie uvedených príčin povodní a to náhly odmäk s následným topením snehových vodných zásob v podmienkach malého horského povodia. Vo všeobecnosti nastáva v jarnom období topenie snehovej pokrývky postupne, s oneskorovaním sa smerom do vyšších polôh. Nebezpečná situácia vzniká zvyčajne pri nadštandardne teplej advekcii západnej resp. juhozápadnej trajektórie, spojenej s teplým, výdatným dažďom, najmä ak podklad ešte nie je rozmrznutý.

Pobědinskij a Krečmer (1984) na základe analýzy hydrologických režimov v temperátnej euroázijskej oblasti konštatujú, že na miestach kde je pôda pokrytá lesom spravidla neexistuje povrchový odtok. Podobné výsledky v podmienkach hlavných lesných celkov Slovenska uvádza aj Midriak (1992), ktorý pre neporušený povrch lesných pôd uvádza povrchový odtok nižší ako 1 % z ročného úhrnu zrážok.

Pri jarnom topení sa snehu, resp. aj pri lejakoch je odtoková výška i koeficient na bezlesných miestach 2–4-krát väčší ako v lesoch (Pobědinskij a Krečmer 1984). Spomaľovanie topenia snehu, zníženie povrchového odtoku a jeho transformácia na odtok podpovrchový a infiltrácia do spodných vrstiev, do značnej miery tlmia riziko povodní a znižuje riziko vzniku škodlivých eróznych procesov v lesných oblastiach. Lesné pôdy na rozdiel od poľnohospodársky obrábaných pôd nie sú holé. Ich povrch je pokrytý vrstvou pokrývkového humusu a opadu odumretých rastlinných organických častí (tzv. opad). Ďalšiu mikroklimatickú izolačnú vrstvu predstavuje samotný lesný porast, v prírodných lesoch nezriedka doplnený aj podrastom bylín a drevín.

V spojitosti so vznikom jarných „odmäkových“ povodní je potrebné spomenúť fakt, že lesné pôdy horských polôh premŕzajú len málo, resp. vôbec, a to v prípade ak sa dostatočne vysoká a súvisle trvajúca snehová pokrývka vytvorí ešte pred príchodom zimných mrazov (Petrík *et al.* 1986). Tento poznatok má predovšetkým hydrologický význam, nakoľko pri postupnom topení môže topiaca sa zásoba snehovej vody vsiaknuť do pôdy. Nebezpečný stav nastáva ak je neskoré jesenné obdobie spojené s nástupom holomrazov. Následná snehová pokrývka izoluje zamrznutú pôdu. Takéto pôdy zvyšujú na jar povrchový odtok z roztopeného snehu a zvyšujú riziko záplav.

Ak klimatické zmeny budú viesť k zmenám snehovej pokrývky, bude to znamenať zmeny v premŕzaní pôd (Šály 1996). Pôdy nižšie položených lesov budú premŕzať hlbšie ako doteraz. Pri absencii dostatočnej zásoby snehu budeme preto v budúcnosti pravdepodobne aj u horských pôd svedkami ich premŕzania a z hydrologického hľadiska bude dochádzať k obmedzovaniu ich priepustnosti a vsakovania.

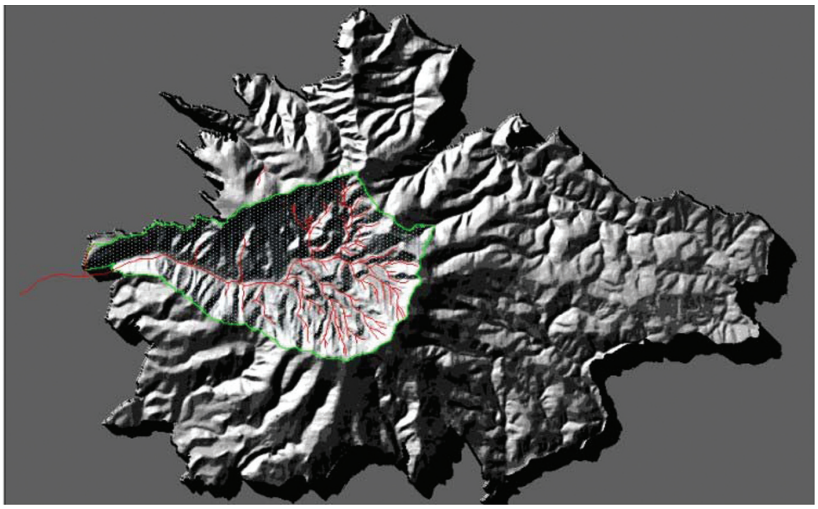
Lesy síce nemôžu celkom zabrániť povodňovým vlnám, môžu však výrazným spôsobom zmierniť ich priebeh (Minďáš – Škvarenina – Střelcová 2001).

Cieľom predloženej štúdie je prezentovať:

- časové a priestorové rozloženie vodnej hodnoty snehovej pokrývky v povodí,
- časovú a priestorovú dynamiku rozloženia vodných zásob viazaných v snehovej pokrývke malého horského povodia Hučavy,
- vplyv lesných a nelesných plôch na zásoby vody v snehu v horskom povodí.

2. CHARAKTERISTIKA PRÍRODNÝCH PODMIENOK SLEDOVANÉHO ÚZEMIA

Predmetom nášho záujmu bolo malé horské povodie toku Hučavy v pohorí Poľana. Jeho situovanie podáva obrázok 1. Sledované územie sa rozkladá od hrebeňovej časti Poľany po limnigrafickú stanicu pri Hrochotskom mlyne. Základné parametre a charakteristiky povodia podáva tabuľka 1.



Obrázok 1: Lokalizácia sledovaného povodia Hučavy v rámci Biosférickej rezervácie – CHKO Poľana na digitálnom modeli reliéfu terénu.

Figure 1: Hucava mountain watershed localization within Biosphere Reserve Polana – hillshade of the digital relief model

2.1 Charakteristika geologických a pôdnych pomerov

Poľana je najvyšším slovenským sopečným pohorím, dosahuje maximálnu výšku 1457,8 m n. m. Ako uvádzajú Ciesarik *et al.* (1977) v pohorí rozlišujeme dve časti s rozličnou nadmorskou výškou a tvárnosťou. Je to vlastná erozívna kaldera Poľany s výbežkom Ľubietovského Vepora a Detvianske pohorie. Práve vlastná kaldera (kotlovitá priehlbina veľkých rozmerov ktorá vznikla, výbuchom, resp. prepadnutím vrcholu sopečného kužeľa), obrázok 1, predstavuje svojou kompaktnosťou a uzavretosťou unikátny hydrologický objekt odvodňovaný jediným tokom – riečkou Hučava.

Vlastnú Poľanu reprezentuje do oblúka stočený mohutný chrbát otvorený k západu úzkou Hrochoťskou dolinou. Uprostred oblúka sa dolina kotlinovite rozširuje (až na 6 km). Chrbát až na jednu výnimku, klesá pod 1000 m n. m.; na vonkajšiu stranu vybiehajú z neho centrifugálne usporiadané dlhé rázsochy oddelené hlbokými údolnými zárezmi, na vnútornú stranu spadajú strmo kratšie rázsochy k Hrochoťskej doline. Morfologická tvárnosť i stratovulkanická periklinálna stavba poukazujú, že Poľana predstavuje kalderu.

Kaldera Poľany v dnešných rozmeroch je výsledkom predovšetkým subaerickej deštrukcie pôvodného krátera stratovulkanitu. Práve stratovulkanická stavba, striedanie andezitových pokryvov a prúdov a polôh pyroklastického, zväčša málo odolného a často plastického materiálu, uľahčili po vyzdvihnutí pôvodného vulkanického útvaru intenzívny priebeh erózie. Išlo tu jednak o rýchly odnos pyroklastík, jednak o zosúvanie obrovských nadložných krýh andezitových efuzív po plastických pyroklastikách, čo možno i dnes pozorovať v kaldere. K týmto procesom pristupovali najmä v chladných periglaciálnych obdobiach soliflukčné pohyby, skalné prúdy a pod. Svedčia o nich i skalné zruby, najmä v periglaciálnych premenených kotloch, miestami i na svahoch časté fosílne kamenné moria, prúdy a sutinové kužele. Kalderu Poľany možno považovať preto za typ eróznej kaldery.

Celý masív je takmer úplne zložený z produktov 2. andezitovej fázy. Jedine v strednej časti – v kaldere vystupuje niekoľko telies granatických ryolitov. Obvod masívu a teda spodok sopečného komplexu tvorí súvrstvie tufitov pyroxénického andezitu, ktoré má premenlivú mocnosť. V nadloží prechádza toto súvrstvie do tufov, ktoré smerom do vyšších polôh sú čisto suchozemské. Tufy sú rôzneho charakteru, jemnozrnné až po hrubozrnné, niekde až balvanovité. V tomto súvrství sa nachádzajú rôzne mocné prúdy pyroxénických andezitov. Hrebeňová časť Poľany je tvorená skoro výlučne pyroxénickými andezitami a prejavujú sa na povrchu ako stupňovité formy.

Z pôdnych predstaviteľov, ktoré sú rozšírené v oblasti Poľany, sú najviac zastúpené hnedé lesné pôdy nasýtené a nenasýtené. Nasýtené pôdy objavujú sa v nižších pásmach do výšky 700–800 m n. m. Ostrovovite nachodíme i hnedé pôdy andosolové a andosoly.

2.2 Charakteristika klimatických pomerov

Povodie Hučavy je oblasť klimaticky veľmi diferencovaná s rozpätím priemerných ročných teplôt 6,7–2,5 °C. Priemerné júlové teploty majú rozsah 16,5–11,5 °C, vegetačné obdobie (priemerná denná teplota nad 10 °C) v povodí Hučavy trvá od 65 do 155 dní. Priemerné ročné úhrny zrážok sú v intervale 720–1200 mm, a priemerné úhrny zrážok za vegetačné obdobie sú 475–630 mm. Snehová pokrývka v sledovanom povodí trvá v priemere od 135 do 190 dní. Povodie Hučavy spadá v zmysle Končekovej klasifikácie klímy do dvoch klimatických oblastí: mierne teplá oblasť (okrsok mierne teplý, veľmi vlhký, vrchovinový) a to v hrochotskej časti údolia a v južných svahoch časti Bukovina, a do chladnej oblasti, okrsok mierne chladný (údolná časť kaldery a severné svahy) a tiež do chladného horského okrsku (najvyššie hrebeňové partie Poľany). Klímageograficky sa začleňuje do studeného subtypu horskej klímy (severné a najvyššie časti pohoria) ako aj do mierne chladného subtypu horskej klímy (južná a údolná časť kaldery) (Škvarenina – Minďáš 2001).

2.3 Charakteristika hydrologických pomerov

Z hydrologického hľadiska predmetné územie spadá do povodia riečky Hučava, ktorá predstavuje pravostranný prítok Slatiny a celkove spadá do ľavostrannej časti povodia Hrona. Z hľadiska Dubovej klasifikácie rozdelenia odtokov spadá podstatná časť kaldery Poľany do oblasti stredohorskej (B_2), Šimo (1972). Ďalšie charakteristiky hydrologických pomerov podáva tabuľka 1.

Tabuľka 1 Základné charakteristiky povodia Hučavy (podľa vodohospodárskej mapy mierky 1 : 50 000)
Table 1 Basic characteristics of Hucava watershed

Stanica	Súradnice (limnigraf)	Tok	Plocha F	Lesnatosť	Dĺžka údolia L	H max.	H min.	Spád	Tvar povodia
			km^2	%	km	m	m	(%)	F/L^2
Hrochoť	N48°41' E19°23'	Hučava	41,45	80	14,6	1458	522,5	6,41	0,19 prechodný až vejárovitý

2.4 Charakteristika lesných spoločenstiev

Poľanou prechádza najjužnejší výbežok hlavnej klimatickej čiary Slovenska, čo sa prejavuje v rozšírení lesných spoločenstiev. Na juhu sú na najnižších svahoch spoločenstvá radené do skupiny lesných typov Buková dúbrava – *Fageto – Quercetum*, na ktoré nadväzuje Dubová bučina – *Querceto – Fagetum* a vyššie Bučina – *Fagetum*

pauper a Typická bučina – *Fagetum typicum*. Na hlavnom hrebeni prechádza cez úzke pásy spoločenstvami skupín lesných typov Jedľová bučina *Abieto – Fagetum* a Buková jedlina *Fageto – Abietum* do najjužnejšie u nás sa vyskytujúcej skupiny lesných typov Jarabinová smrečina – *Sorbeto – Piceetum*. Na severných svahoch sú to rozsiahle skupiny lesných typov Jedľová bučina – *Abieto – Fagetum* a Buková jedlina – *Fageto – Abietum*.

Kým na južných expozíciách dominujú bučiny, na severných prevažujú zmiešané lesy s bukom, jedľou a smrekom. Pôvodné drevinové zloženie je zachovalejšie vo vyšších polohách, kým nižšie sú značne pozmenené. Na juhu BR Poľana je znížený dub v prospech hraba a na severe je hlavne smrek na úkor buka a jedle.

3. METODIKA

3.1 Metodika terénneho monitoringu

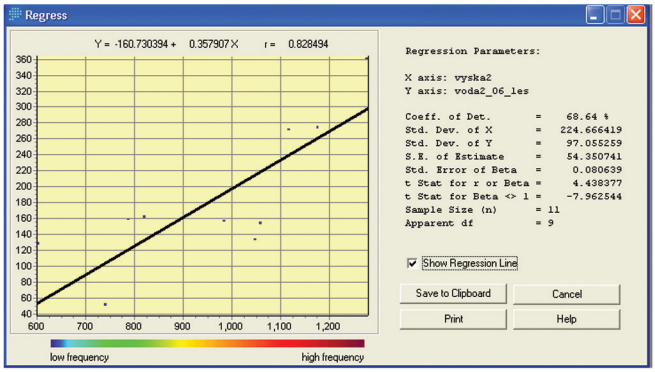
Merania charakteristík snehovej pokrývky sme vykonávali od zimnej sezóny 2003/04 v CHKO Poľana – v povodí Hučavy s rozlohou 41,45 km^2. Vodnú hodnotu snehovej pokrývky sme zisťovali hmotnostnou metódou pomocou váhového snehomeru VS-43. Výšku snehovej pokrývky sme merali prenosnými a stabilnými snehomernými latami.

Základné fyzikálne vlastnosti sme monitorovali v roku 2004 približne v dvojtýždňových intervaloch a v roku 2005 a 2006 a 2007 približne v trojtýždňových intervaloch v čase hlavného výskytu snehových zásob až do doby ich zániku v horských polohách. Monitoring sme robili na výškovom tranzekte masívu Poľany, kde naše výskumné plochy pozostávali z plochy bezlesia a paralelne aj zo zalesnenej plochy. Merali sme postupne od záveru potoka Hučavy v našom skúmanom území (525 m n. m.) po každých sto výškových metroch až po vrchol Poľany (1457,8 m n. m.) V porastoch sme vykonali 5 a na voľnej ploche 3 merania vodnej hodnoty snehu a hustoty a 20 výšok snehu za pomoci snehomerných lát. Vychádzali sme z metodiky merania štandardne používanej SHMÚ. Po predchádzajúcich skúsenostiach, viacej odberov bolo časovo neúnosných a štatisticky málo významných. Menej odberov sa však už prejavovalo na správnosti výsledkov.

3.2 Metodika spracovania výsledkov terénneho monitoringu v prostredí GIS

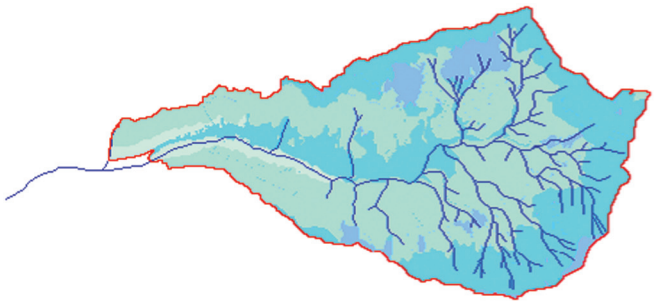
Analýza priestorového rozmiestnenia zásob vody v snehovej pokrývke na ploche malého horského povodia Hučavy, situovaného na území horského masívu Poľana, bola vykonaná s využitím nástrojov GIS v prostredí IDRISI 32. Z analytických nástrojov, ktoré toto prostredie ponúka sme využili nástroje geoštatistiky a mapovej algebry.

Z geoštatistických analýz boli vypočítané lineárne regresné závislosti (modul REGRESS, obr. 2) medzi nadmorskou výškou ako nezávisle premennou a vodnou hodnotou snehu (závisle premenná) zistenou pri expedičných meraniach v období rokov 2004–2007.



Obrázok 2: Regresná závislosť vypočítaná prostredníctvom modulu REGRESS v prostredí IDRISI 32
Figure 2: Regress relativity calculated by modul REGRESS in IDRISI 32 environment

Na základe vypočítaných regresných závislostí, najmä regresného a absolútneho koeficientu, sme použitím nástrojov mapovej algebry (modul IMAGE CALCULATOR, SCALAR) odvodili mapy rozloženia zásob vody v snehovej pokrývke v sledovanom povodí v závislosti od nadmorskej výšky (Obr. 3).



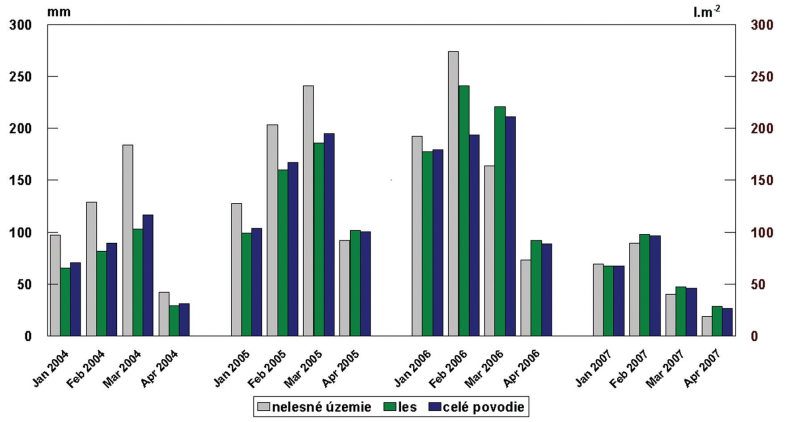
Obrázok 3: Mapa rozloženia zásob vody v snehovej pokrývke február 2004
Figure 3: The map of water supply distribution in snow cover – February 2004

Z takto získaných máp rozloženia vodnej zásoby [m^3] sme následne extrahovali (modul EXTRACT) hodnoty priemeru, minima, maxima a sumy zásob vody v snehovej pokrývke na území celého povodia, ako aj v jeho zalesnenej časti a na voľnej ploche.

4. VÝSLEDKY A DISKUSIA

4.1 Vodná hodnota snehu

Zimné zrážky viazané v snehovej pokrývke v povodí Hučavy tvoria 15 až 40 % ročného úhrnu zrážok v závislosti od charakteru zimy a nadmorskej výšky. Vodná hodnota predstavuje dôležitý hydrofyzikálny parameter, ktorý je definovaný ako výška vody v mm ($l.m^{-2}$), ktorá vznikne roztopením snehovej pokrývky na danom mieste a závisí od výšky snehu a jeho hustoty. Na obrázku 4 vidíme vážené priemery (váhou je plocha územia) vodnej hodnoty snehu pre voľne plochy, lesné plochy ako aj priemer pre celé povodie. Vyplýva z neho zaujímavý fakt, že do vrcholu zimy (mesiac február, resp. začiatok marca) sú najvyššie obsahy vody v snehu na voľnej ploche. Je to spôsobené hlavne absenciou intercepcie snehových zrážok na nelesnom území. Nástupom jarného obdobia sa situácia v zásobách vody v snehu mení a maximum vodnej hodnoty sa presúva pod koruny lesných porastov, predovšetkým v dôsledku spomaleného topenia snehu v podmienkach lesnej porastovej mikroklímy. V situáciách, keď padá mokrý a ťažký sneh sa tento nezachytáva v korunách, ale prepadáva do porastu, kde môže tvoriť kompaktnejšie snehové masy s väčšou hustotou. Tieto sú po následnom zamrznutí odolnejšie voči topeniu a zotrvávajú v porastoch aj po úplnom zániku snehu na voľných plochách.

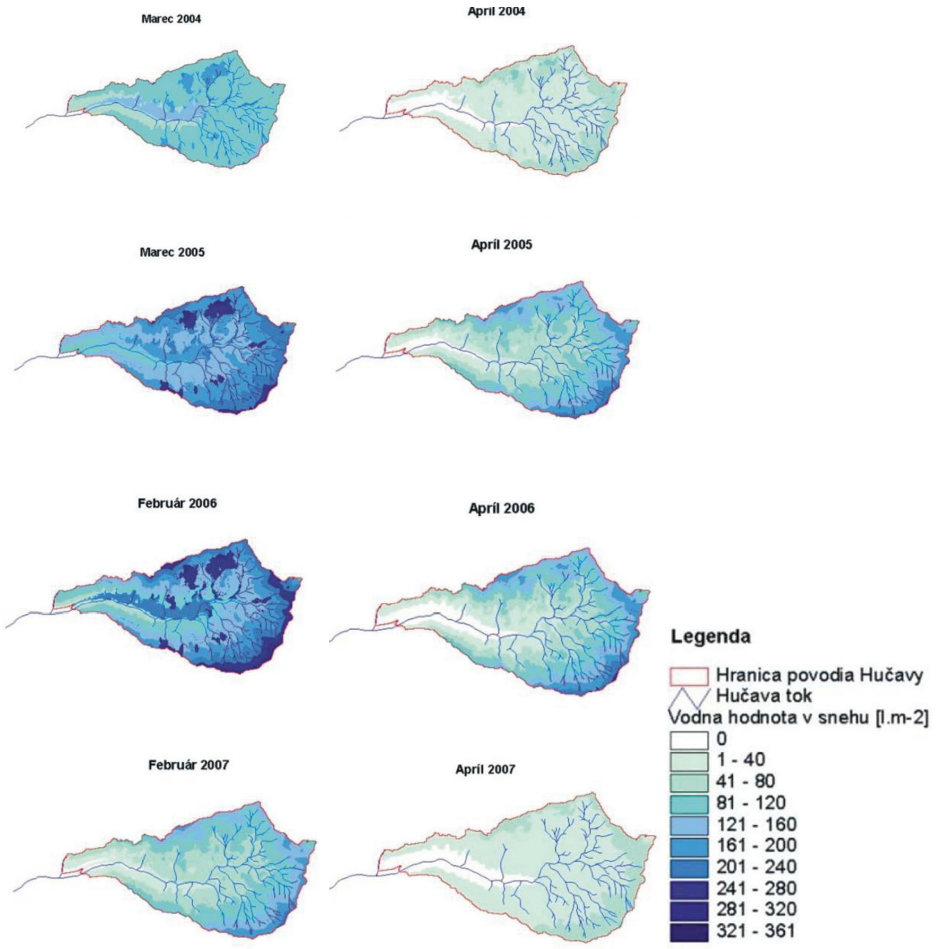


Obrázok 4: Vážené priemery vodnej hodnoty snehovej pokrývky (mm resp. $l.m^{-2}$) v povodí rieky Hučava v rokoch 2004–2007 pre nelesné plochy, lesné plochy a celé povodie

Figure 4: Weighted means of snow cover water equivalent (mm respective $l.m^{-2}$) in Hucava watershed in period 2004–2007 concerning open areas, forests areas and the total observed area

Obrázok 5 názorne prezentuje plošné rozloženie vodnej hodnoty snehu v mm ($l . m^{-2}$) v povodí Hučavy počas rokov 2004-2007. Vľavo je situácia v čase kulminácie zásoby

vody, vpravo je zobrazená situácia v mesiaci zániku snehovej pokrývky v danom roku. Táto hodnota názorne predstavuje výšku vrstvy vody (v mili-metroch), ktorá vznikne roztopením snehovej pokrývky na danom mieste. Z prezentovaného obrázka vidíme, že najväčšie zásoby boli v zime 2005/06. V zime roku 2004/05 boli zásoby nižšie, avšak rovnomernejšie rozložené na ploche povodia. V čase zániku snehovej pokrývky, v rokoch na sneh bohatých (2004/05 a 2005/06) môžeme sledovať relatívne vysoké vodné hodnoty snehu práve v zalesnených hrebeňových polohách povodia Hučavy.



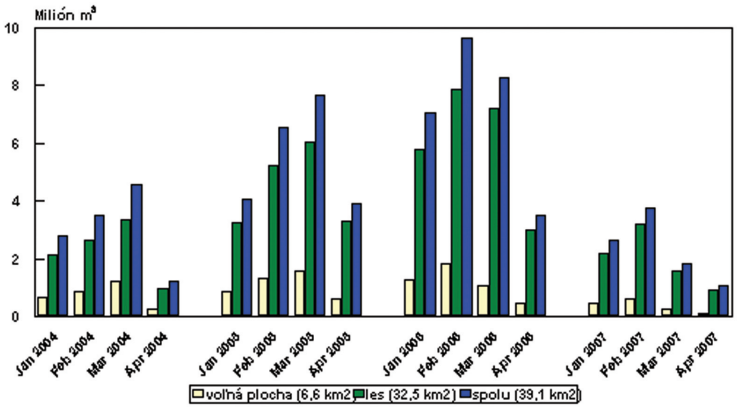
Obrázok 5: Rozloženie vodnej hodnoty snehu v mm (l.m^{-2}) v povodí Hučavy počas rokov 2004–2007. Vľavo je situácia v čase kulminácie zásoby vody, vpravo je zobrazená situácia v mesiaci zániku snehovej pokrývky v danom roku

Figure 5: Distribution of snow cover water equivalent in mm (l. m^{-2}) in Hucava watershed during the period of 2004–2007. On the left is depicted situation in time of a water supply culmination, on the right is depicted situation in month when snow cover ceased to exist in a relevant year

4.2 Zásoby vody v snehovej pokrývke v povodí Hučavy

Na základe spracovania štvorročných nameraných údajov o vodnej hodnote snehu sme pre plochu povodia prostriedkami geoštatistických metód vykalkulovali zásoby vody v snehovej pokrývke. Môžeme konštatovať nasledovné poznatky:

- Zimy 2004/2005 a 2005/2006 môžeme z hľadiska zásob vody charakterizovať ako nadpriemerné, hlavne obdobie roku 2006 sa vyznačovalo celkovými zásobami až 9,65 milióna m^3 vody viazanej v snehu.
- Zásobami najchudobnejšia bola zima 2006/2007, kedy zásoby vo vrchole zimy predstavovali len 3,77 mil. m^3 vody, a tvorili len jednu tretinu zásob zimy predchádzajúceho roka. Marcové zásoby boli dokonca len jednou štvrtinou v porovnaní s rovnakým obdobím roku 2006.



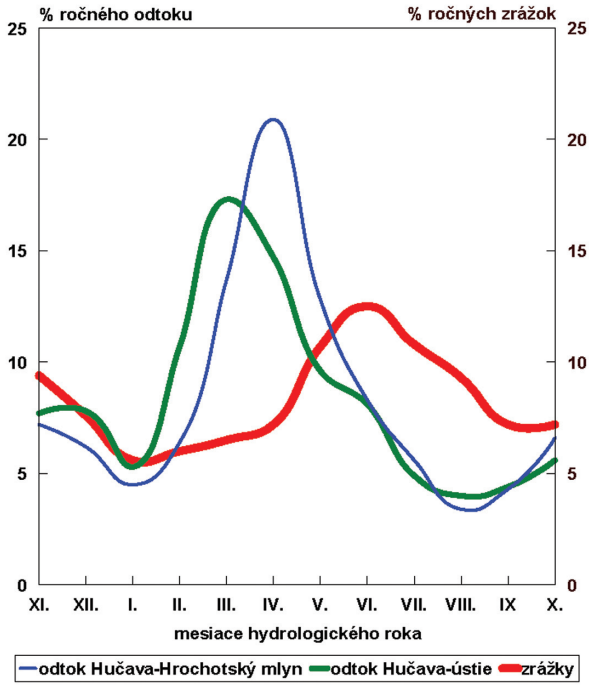
Obrázok 6: Zásoba vody v snehovej pokrývke (miliónoch m^3) v povodí rieky Hučava v rokoch 2004–2007
Figure 6: Water supply in snow cover (million m^3) in watershed of Hucava during period 2004–2007

4.3 Režim odtoku Hučavy vo vzťahu k snehovým zrážkam, riziká jarných povodní

Na obrázku 7, ako aj v tabuľke 2 vidíme, že povodie Hučavy sa vyznačuje dvoma režimami odtoku. Nami sledované časť povodia Hučava-Hrochotský mlyn má charakter rieky stredohorskej oblasti, zatiaľ čo ostatná časť, Hučava – ústie, má vrchovinový až nížinný charakter rieky, (odvodňuje hlavne Detvianske predhorie a časť Ponickej vrchoviny, teda pohoria s nižšími nadmorskými výškami).

Sledovaná časť rieky Hučava-Hrochotský mlyn má viaceré atribúty stredohorskej rieky snehovo-dažďového typu. Maximálny prietok nastupuje v apríli a súvisí s topením sa snehu v stredohorských partiách kaldery Poľany.

Profil Hučava – ústie má režim odtoku vrchovinnej rieky dažďovo-snehového typu. Podiel zásob vody akumulovanej v snehovej pokrývke je podstatne menší. Maximálny prietok nastupuje o mesiac skôr, t. j. v marci (resp. už na konci februára), následne po topení sa snehu na svahoch vrchovín.



Obrázok 7: Hydrogram relatívnych prietokov a zrážok v BR Poľana
Figure 7: The hydrograph of relative runoff and precipitation in the BR Polana

Časový vývoj snehovej pokrývky a odtok sú závislé na meteorologických parametroch zhodne ako aj my konštatujú viacerí autori napr: Balazs *et al.* (1974), Ernstberger a Sokollek (1984), Miller (1977).

Tabuľka 2 Priemerné mesačné a ročné prietoky Hučavy za obdobie rokov 1961–2000 (podľa SHMÚ Banská Bystrica)
Table 2 Average monthly and annual runoff of Hucava in period 1961–2000 (by SHMI Banska Bystrica)

Tok	Názov profilu	Plocha povodia [km^2]	Priemerné mesačné a ročné prietoky [m^3.s^{-1}]													
			XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	IV.–IX.	Q_a 1961–2000
Hučava	Hrochoť	41,450	0,502	0,434	0,311	0,450	0,959	1,458	0,893	0,584	0,395	0,241	0,304	0,458	0,643	0,582
Hučava	ústie	72,225	0,658	0,665	0,454	0,919	1,482	1,262	0,821	0,692	0,424	0,340	0,375	0,482	0,650	0,713

Stredohorské povodie Hučavy viazané na kalderu Poľany vykazuje len malú pravdepodobnosť vzniku jarných povodní. Zabraňuje tomu hlavne vysoká lesnatosť povodia spomaľujúca topenie sa snehu, ale aj skutočnosť, že značná časť zimných zásob v horských hrebeňových častiach masívu Poľany zaniká len postupne v závere apríla až začiatkom mája.

Časť povodia reprezentovaná profilom Hučava – ústie môže v prípade náhleho oteplenia, resp. nástupu výdatných dažďov v jarnom období relatívne rýchlo stratiť svoje zásoby vody v snehu a spôsobiť náhly vzrast vodných hladín a povodne.

5. ZÁVER

Snehová pokrývka predstavuje významný ekologický faktor predovšetkým v horských lesných ekosystémoch. Akumulácia snehu v lesných porastoch prispieva ku spomaľovaniu jarného odtoku a k tvorbe zásob vody v pramenných oblastiach. Táto práca prináša výsledky štvorročného monitoringu hydrofyzikálnych vlastností snehovej pokrývky na výškovom tranzekte v horskom povodí Hučavy v Biosférickej rezervácii CHKO Poľana. Pozorovania sa uskutočnili v čase kulminácie a topenia snehu v horských polohách od zimnej sezóny 2003/04 do zimy 2006/07 paralelne na voľných plochách a v lesných porastoch. Sledovali sme horské lesné ekosystémy vo výškovom intervale 525 m n. m. až 1457,8 m n. m.

Na základe expedičných meraní vodnej hodnoty snehu sme vypracovali analýzu priestorovej distribúcie zásoby vody v snehovej pokrývke s využitím nástrojov GIS, obzvlášť nástrojov geoštatistiky (lineárna regresia) a mapovej algebry. Závery by sme mohli predbežne zhrnúť do nasledovných zistení:

Zimy 2004/2005 a 2005/2006 môžeme z hľadiska zásob vody charakterizovať ako nadpriemerné. Najvyššie zásoby vody v snehovej pokrývke sme namerali na prelome februára a marca roku 2006, kedy predstavovali 9,65 mil. m^3, čo priemerne predstavuje až 246 mm vodného stĺpca. V zime roku 2004/05 boli zásoby nižšie (7.65 mil. m^3 a priemerný vodný stĺpec 195 mm), avšak rovnomernejšie rozložené na ploche povodia. V rovnakom období roku 2004 bola celková zásoba vody v snehovej pokrývke 3,5 mil. m^3 (vodný stĺpec 89 mm) a v roku 2007 zásoba tvorila 3,78 mil. m^3 (vodný stĺpec 96 mm), čo sú v podstate len tretinové hodnoty roku 2006. Marcové zásoby boli dokonca tvorili len štvrtinu v porovnaní s rovnakým obdobím roku 2006. Celkovo najnižšie hodnoty sme zistili v apríli roku 2007, kedy celková zásoba vody v snehovej pokrývke bola len 1,06 mil. m^3 (hodnota vodného stĺpca 27 mm). V čase zániku snehovej pokrývky, v rokoch na sneh bohatých (2004/05 a 2005/06) môžeme sledovať relatívne vysoké vodné hodnoty snehu práve v zalesnených hrebeňových polohách povodia Hučavy.

Podľa zistených údajov je možné konštatovať, že vplyv lesa na zadržiavanie snehových zásob rastie po kulminácii a začiatku topenia snehovej pokrývky, kedy porast pôsobí ako clona a zabraňuje topeniu. Potvrdil sa tak vplyv lesa na pravidelnejšie rozloženie

snehových zrážok a následné spomalené uvoľňovanie do povrchových i podpovrchových vôd, čo má značný vplyv z hľadiska znižovania potenciálneho rizika vzniku povodní.

Poďakovanie: Autor ďakuje za podporu projektom VEGA MŠ SR No., 1/3283/06, 1/4393/07, 1/0515/08 a EÚ z SOP ĽZ – kód projektu: 11230100453. Tiež ďakuje Ing. Andrei Mailingovej PhD. a Prof. Ing. Jaroslavovi Škvareninovi CSc.

Literatúra

Balazs, A., Liebscher, H. J., Wagenhoff, A., 1974: Forstlich-hydrologische Untersuchungen in bewaldeten Versuchsgebieten im Oberharz - Ergebnisse aus den Abflußjahren 1949-1965. Reihe: Aus dem Walde, Heft 22. Mitteilungen aus der Niedersächsische.

Buchtele, J., Buchtelova, M., Tesar, M., 2006: Role of vegetation in the variability of water regimes in the Sumava Mts. Forest. Biologia, 19, s. 246–250.

Ciesarik, M., Mihálik, A., Šály, R., Tomlan, A., 1977: Exkurzný sprievodca. Sympózium Medzinárodnej pedologickej spoločnosti: „Pôda ako stanovištný činiteľ lesov mierneho a chladného pásma“ Zvolen 5. 09. 1977, ES VŠLD, 34 s.

ERNSTBERGER, H., SOKOLLEK, V., 1984: Einfluß unterschiedlicher Vegetationsbestände auf Schneedeckenentwicklung und Schneeschmelzabfluß in unteren Mittelgebirgslagen. In: DVWK Mitteilungen 7, s. 317–329.

Midriak, R., 1992: Výskum povrchového odtoku a eróznych pôdnych strát v lesných ekosystémoch. In: Ekologický a ekofyziologický výskum v lesných ekosystémoch. Zvolen, Poľana, 1992, s. 32–36.

Miller, D. H., 1977: Water at the surface of the Earth. International Geophysics Series. Vol. 21. Academic Press, New York, San Francisco, London.

Minďáš, J., Škvarenina, J., Střelcová, K., 2001: Význam lesa v hydrologickom režime krajiny. Životné prostredie 3/2001, s. 146–151.

Petrík, M., Havlíček, V., Uhrecký, I., 1986: Lesnícka bioklimatológia. Príroda, Bratislava, 352 s.

Pobedinskij, A. V., Krečmer, V.: Funkce lesu v ochrane vod a půdy. Státní zemědelské nakladatelství, Praha, 1984, 256 s.

Pražak, J., Šir, M., Tesař, M., 1996: Parameters determining plant transpiration under conditions of sufficient soil moisture, Journal of Hydrology 183, s. 425–431.

Střelcová, K., Minďáš, J., 2002: Beech transpiration in relation to changing environmental conditions. Technická univerzita vo Zvolene, Vedecké štúdie 11/2000/A, 82 s.

Šály, R., 1996: Vplyv globálnych klimatických zmien na lesné pôdy. In: MINĎÁŠ, J., LAPIN, M., Škvarenina, J. 1996: *Klimatické zmeny a lesy Slovenska*. In: *Národný klimatický program SR*, Bratislava: MŽP SR, Zväzok 5, s. 41–-45.

Šimo, E., 1972: Povrchové vody. In: Slovensko – Príroda. Bratislava, Obzor s. 283–341.

Škvarenina, J., Minďáš, J., 2001: Klíma. IN: Bublinec, E., Pichler, V. a kol. : Slovenské pralesy – diverzita a ochrana. ÚEL SAV Zvolen, 200 s.

Tesař, M, Šir, M., Lichner, L., ZelenkovA, E., 2006: Influence of vegetation cover on thermal regime of mountainous catchments. Biologie (Suppl 61)19, s. 246–250.

Adresa autora:
Ing. Matúš Hríbik
Fakulta ekológie a environmentalistiky
Katedra Environmentálneho Inžinierstva, Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
e-mail: vrchar@gmail.com

Dynamics of snow cover water supply temporal and spatial distribution in small mountain watershed of Hucava Biosphere reserve Polana, or Why spring floods in BR Polana not exist?

Summary

Based on four-year expeditionary measurements of snow cover water equivalent on elevation profile of Polana mountain massive we produced spatial distribution analysis of water supply in small mountain watershed of Hucava (39. 1 km^2) using GIS tools, mainly geostatistics (linear regression) and map algebra tools. We measured the highest snow cover water supply on turn of February and March, 2006, represented by 9.65 mil. m^3 of water that presents on average 246 mm of water pillar. Meanwhile, in the same period in 2004 the total water supply was 3.5 mil. m^3 (89 mm of the water pillar) and 3.78 mil. m^3 (96 mm of the water pillar) in 2007 what represents only one third of values from 2006. Totally lowest values we found out on April 2007, when the total water supply was only 1.06 mil. m^3 (27 mm of the water pillar). Based on acquired data, it is possible to note that the influence of forest on snow supply holding grows after culmination and in beginning of snow cover drowning, when the stand affects as screen and prevents from drown. By this way, there was confirmed the influence of forest on more regular distribution of snow precipitations and on next slow release to ground and underground waters, that has significant influence in view of potential flood formation hazard decreasing.

ACTA FACULTATIS FORESTALIS XLX
ZVOLEN – SLOVAKIA 2008

VPLYV DENZITY BUKOVÉHO PORASTU NA INFILTRÁCIU VODY DO PÔDY

Jozef C A P U L I A K – Marián H O M O L Á K

Capuliak, J., Homolák, M.: Vplyv denzity bukového porastu na infiltráciu vody do pôdy. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, **XLX**, 2008, č. 1, s. 61–70.

V predloženej práci sa zaoberáme vplyvom denzity bukového porastu na infiltráciu vody do pôdy. Infiltrácia ako prirodzený proces v kolobehu vody a v nej rozpustených látok v lesných ekosystémoch významne ovplyvňuje environmentálne funkcie pôdy, medzi ktoré platia napr. retenčná, filtračná, pufračná, transformačná, akumulačná a ďalšie. Experimentálne plochy boli vybrané na lokalite Homôlka v masíve Javoria a na lokalite Škurátka v pohorí Vtáčnik. Na tejto lokalite sme vyhľadali tri bukové porasty so zakmenením 0,9, 0,4 a 0,0. Rozdiely v denzite vznikli v dôsledku ťažbovo-obnovných postupov. V každom poraste sa založili 3 pokusné miesta s rozmerom 1 × 1 m. Na každej ploche bol odobratý aj pokrývkový humus o ploche 50 × 50 cm, ktorý prešiel v laboratóriu infiltračným pokusom. Na samotných plochách bol vykonaný indikátorový experiment, a to vo vegetačnom období roku 2006. Po dosiahnutí cca 100 mm podkorunových zrážok od doby aplikácie farbivového indikátora boli na každej ploche odkryté tri vertikálne pôdne profily. Tieto boli zachytené digitálnym fotoaparátom a z profilov sme odobrali vzorky na stanovenie kalibračnej čiary, ktorá mala umožniť celoplošné určenie koncentrácie indikátora z digitálnych snímok. S týmto cieľom boli získané snímky pôdnych profilov vyhodnotené v programe nami vytvorenom v prostredí jazyka R. Týmto postupom boli zistené plochy zafarbenia a koncentračné profily indikátora v jednotlivých pôdnych profiloch. Z nameraných výsledkov bola zistená silná korelácia R = 0,97 medzi veľkosťou zafarbených plôch pôdnych profilov a stupňom zakmenenia. Najrovnomernejšia infiltrácia vo vyšších pôdnych horizontoch sa vyskytla v poraste so zakmenením 0,0, čo sa dá vysvetliť absenciou pokrývkového humusu, ktorý tvorí prirodzenú bariéru rovnomernej infiltrácie v horných partiách pôdnych horizontov. Celkovo plocha pôdnych profilov zúčastňujúca sa na infitrácii v porastoch s vyšším zakmenením prevažuje nad plochou so zakmenením 0,0. Bolo to spôsobené odlišnou redistribúciou vody v hlbších horizontoch v dôsledku preferovaného prúdenia, desukcie koreňami stromov, ako aj intenzívnej evapotranspirácie rúbaňovej vegetácie a výparu z pôdneho povrchu.

Kľúčové slová: infiltrácia, denzita bukových porastov, farbivový indikátor

1. ÚVOD A PROBLEMATIKA

V dnešnej dobe, ktorá je charakterizovaná citeľnými klimatickými zmenami, sa čoraz viac dostávajú do popredia ekologické a environmentálne funkcie lesov. Lesníci a lesnícka prax na Slovensku zabezpečujú existenciu lesných ekosystémov, pričom existuje hlboký rozpor medzi širokým využívaním a nedostatočným finančným ohodnotením

regulačných funkcií lesných ekosystémov zo strany štátu a aj čoraz početnejších ekonomických subjektov, ktoré benefity týchto funkcií poskytujú za komerčných podmienok, pričom lesnícka činnosť je dlhodobo finančne podhodnotená (Pichler *et al.* 2006a). Zastúpenie buka (*Fagus sylvatica* L.) v lesoch Slovenska činí 31,2 % (Zelená správa 2007), čo znamená, že táto drevina je najzastúpenejšia v našich lesoch a hrá aj veľmi významnú rolu v ekonomike lesného hospodárstva. Lesopestovnými zásahmi v lesnom poraste, pri ktorých dochádza k redukcii zakmenenia, môže lesník významne napomôcť pri hospodárení s pôdnou vodou, pričom pri znížení denzity stromov sa znižuje transpirácia a ostávajúve podúrovňové stromy v poraste okamžite reagujú na uvoľnený priestor zvýšeným hrúbkovým prírastkom (Čermak *et al.* 1993, Pichler 2006, Pichler *et al.* 2006b).

Táto práca má za cieľ zhodnotiť vplyv zásahov v lesnom poraste na infiltráciu vody do pôdy a na výskyt preferovaných prúdení, ktoré významne ovplyvňujú environmentálne funkcie pôd. Environmentálne funkcie pôd, ako napr. filtračná, akumulačná a pufračná funkcia, majú vzťah k aktivitám človeka a v poslednom období naberajú na význame (Juráni 1996). Práve pri preferovanom prúdení infiltrujúca voda obchádza podstatnú časť pôdneho objemu a rýchlo klesá do vrstvy podzemnej vody, čo významne znižuje akumulačnú funkciu pôdy pri povodniach, alebo pufračnú funkciu pri neutralizovaní kyslých zrážok.

Z hľadiska transportu vody v pórovom prostredí, akým pôda nesporne je, predstavuje výskyt hrubých pórov v pôde významný faktor, ovplyvňujúci infiltráciu vody do pôdy. Luxmore (1981) rozdelil pôdne póry na mikropóry s priemerom menším ako 10 μm, mezopóry s priemerom 10–1000 μm a makropóry s priemerom väčším ako 1000 μm. A práve makropóry spôsobujú výskyt makropórového prúdenia, ktoré v našich pôdach predstavuje najrozšírenejšiu formu preferovaného prúdenia. Mnohé experimenty simulujúce zrážky na svahoch potvrdili vplyv makropórového prúdenia pri tvorbe odtoku (Weiler *et al.* 1998). Vznik makropórového prúdenia závisí od viacerých faktorov, ako počiatočná vlhkosť pôdy, intenzita zrážky, množstvo zrážky, hydraulická vodivosť pôdy a povrch, cez ktorý voda vstupuje do pôdy, ktorý sa v obhospodarovaných porastoch prejavuje aj zmenenou štruktúrou pokrývkového humusu.

Problematika preferovaného prúdenia silne ovplyvňuje aj hodnoty kritických záťaží ekosystému a tak k eutrofizácii povrchových vôd môže dôjsť aj hlboko pod vypočítanou kritickou záťažou. Pichler navrhol vylišovať tri typy kritickej záťaže lesných pôd (Pichler 2003):

- Interná kumulatívna kritická záťaž: predstavuje úroveň záťaže, kedy dochádza k narušeniu biogeochemických cyklov, narušeniu životných podmienok, k redukcii biomasy a biodiverzity pôdnej živeny a k prípadnému poškodeniu lesného porastu.
- Interná intenzitná kumulatívna záťaž: k negatívnym javom dochádza i pod prahom vyčerpania tlmivých vlastností a schopností pôdy v celom jej objeme v dôsledku krátkodobých chemických nerovnováh, pri ktorých môžu hodnoty ako pH dosiahnuť extrémne hodnoty, pretože imisie rozpustené v zrážkach sa dostanú do kontaktu s pôd-

nou biotou a koreňmi drevín skôr, ako dôjde k transformácii zrážkovej vody na pôdny roztok, t. j. k utlmeniu extrémnych hodnôt a ich kolísania vďaka kontaktu s výmennými systémami na celom povrchu pôdnej matrice.

- Externá intenzitná kritická záťaž: záťaž, pri ktorej dochádza k prechodu environmentálne škodlivých látok pôdou bez toho, aby boli sorbované, mineralizované, biologicky degradované, resp. inak zachytené pôdou napriek očakávaniu, že sa pôda utlmí ako účinný fyzikálno-chemicko-biologický reaktor. Príčinou prekročenia tohto typu kritickej záťaže je, podobne ako v predchádzajúcom prípade, preferované prúdenie, pri ktorom vnútorná infiltrácia t. j. infiltrácia z makropórov do pôdnej matrice, neprebieha dostatočne rýchlo na to, aby sa pôda v plnej miere uplatnila ako reaktor.

2. METODIKA

2.1. Charakteristika skúmaného územia

Jedna časť našich experimentov bola vykonaná v pohorí Vtáčnik na lokalite Škurátka (48º36' SZŠ, 18º39' VZD (WGS 84)**,** nachádzajúcej sa na juhovýchodne orientovanom svahu vrchu Vtáčnik (1346 m) v nadmorskej výške okolo 1000 m. Podložie je tvorené pyroxenickým andezitom, na ktorom sa vyvinuli kambizeme modálne až kambizeme andozemné. Forma pokrývkového humusu s hrúbkou do 8–9 cm je moder. Klimatogeograficky patrí do mierne chladného okrsku, chladnej klimatickej oblasti, s priemernou teplotou okolo 4,0 °C. Ročný úhrn zrážok predstavuje asi 800–900 mm. Prevládajúcim lesným typom je slt. *Fagetum typicum* (Zlatník 1959*),* pričom na skúmanej lokalite predstavujú porasty buka učebnicový príklad zdravej horskej bučiny.

Druhá časť našich experimentov sa uskutočnila v pohorí Javorie, v mieste pod kótou Homôlka (48º26' SZŠ, 19º16' VZD (WGS 84)), v nadmorskej výške okolo 900–960 m na severne exponovanom svahu. Klimatogeograficky patrí táto oblasť do mierne chladného okrsku chladnej klimatickej oblasti s priemernou teplotou okolo 3,0 °C a zrážkovým úhrnom 850 mm za rok. Pôdnym typom je kambizem andozemná s pôdnym profilom hlbokým cca 130 cm a obsahom skeletu 30 %. Pôda sa vyvinula z cca 3–5 m hlbokej andezitovej svahoviny. Plocha je pokrytá spoločenstvami slt. *Fagetum typicum,* pričom podľa LHP daného LUC bukový porast na našej lokalite bol 115 ročný so strednou výškou 32 m, strednou hrúbkou 47 cm a objemom stredného kmeňa 2,63 m^3.

2.2. Farbivový experiment

Na obidvoch plochách boli vybrané porasty so zakmenením 0,9, 0,4 a 0,0, ktoré predstavovali prirodzené zakmenenie, porast po clonnom rube a voľnú plochu po dorube. V každom poraste sa založili 3 meriská o výmere 1 × 1 meter a na ich povrch sme naniesli

práškovú formu potravinárskeho farbiva Brilliant blue v množstve 1 kg (obr. 1). Po spadnutí 100 mm zrážky, čo zodpovedalo 4 týždňom, boli na každom merisku vykopané 3–4 vertikálne pôdne profily. Tieto boli následne očistené a odfotografované digitálnym fotoaparátom.

Obr. 1: Brilliant blue na povrchu pokrývkového humusu
Fig. 1: Dye tracer on the surface of beech litter

Obr. 2: Vykopanie a čistenie pôdnych profilov
Fig. 2: Excavation and cleaning of soil profiles

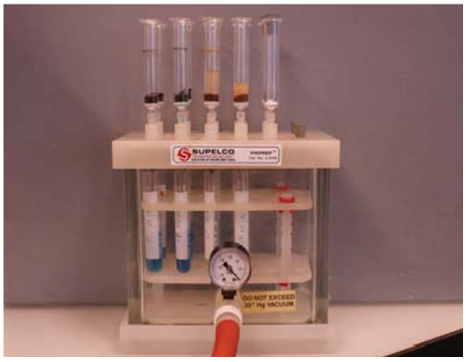
Následne boli z vybraných pôdnych profilov odobraté malé pôdne vzorky o hmotnosti 1–3 g, z ktorých sa v laboratóriu určila koncentrácia Brilliant Blue FCF. Miesta odberu boli označené a odtotografované (obr. 3). Piebežne počas celého experimentu boli merané vlhkosti pôdy v hĺbkach 5 až 50 cm v intervale každých 10 cm metódou TDR.

Obr. 3: Očistený pôdny profil
Fig. 3: Prepared soil profile for taking the picture

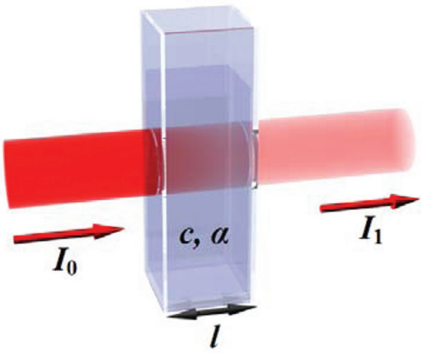
Obr. 4: Pôdny profil s označením miest odber pôdnych vzoriek
Fig. 4: Soil profile with white points, that mark the places from where the soil samples was taken out

2.3 Laboratórne merania

Odobraté pôdne vzorky boli sušené v sušiarni pri teplote 80 °C v priebehu 15 hodín. Z každej vysušenej vzorky bola navážená 0,5 g pôdy do špeciálnych extrakčných skúmaviek. Do každej skúmavky bol pridaný 10 ml roztok vody a acetónu v pomere 4 : 1, pričom acetón slúžil ako látka na lepšiu extrakciu farbiva Brilliant blue FCF z pôdnej vzorky. Následne boli skúmavky napojené na vákuovú pumpu a podtlakom o veľkosti 600 hPa bol pôdny roztok prefiltrovaný cez 0,45 μm filter (obr. 5). Prefiltrovaný roztok bol meraný spektrofotometricky pri vlnovej dĺžke 630 nm (obr. 6), čím sme získali koncentráciu Brilliant Blue. Tento pracovný postup bol v súlade s odporúčaniami (Forrer 1997), ktorá túto metódu určila ako najoptimálnejšiu na získanie pomerných koncentrácii indikátora Brilliant Blue.



Obr. 5: Vákuová pumpa slúžiaca na filtráciu
Fig. 5: Vacuum vessel provide the filtration



Obr. 6: Princíp merania spektrofotometra
Fig. 6: Measurement in spectrophotometer

2.4 Analýza obrázkov

Každá digitálna snímka pôdneho profilu prešla nasledujúcimi krokmi, aby sme určili priestorovú (plochovú) koncentráciu a plochu zafarbenia farbiva Brilliant blue:
1. geometrická korekcia, 2. korekcia osvetlenia, 3. kalibrácia, 4. vyčislenie koncentrácie farbiva. K tomuto účelu bol v programovacom jazyku R s pomocou Image Magick image balíka vytvorený software na úpravu a spracovanie našich obrázkov:

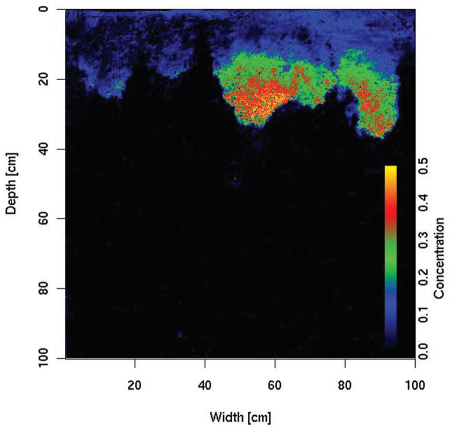
1. *Geometrická korekcia:* V tomto kroku sme upravili geometrické nerovnosti jednotlivých pôdnych profilov. Pôdny profil ohraničený sivým rámom bol zakreslený do pravouhlého obrazca o veľkosti 500 × 500 pixlov. V tomto kroku sme využili ImageMagick image balík programu R.

2. *Korekcia osvetlenia:* Použili sme okraje sivého rámu na zhomogenizovanie osvetlenia pôdneho profilu. Pre každý pixel obrázka sme interpolovali farbu reprezentujúcu neutrálnu sivú, získanú z 4 najbližších pixelov na hranách sivého rámu.

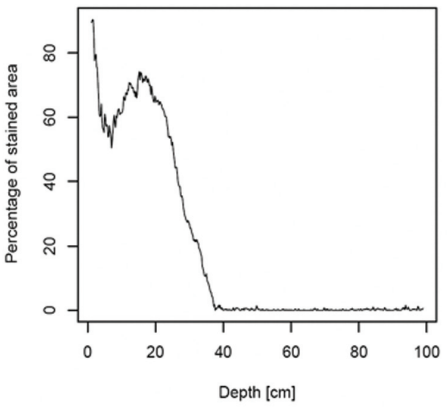
3.–4. *Kalibrácia a vyčislenie koncentrácie:* Kalibrácia bola založená na Kubelkovo-Munkovom algoritme (Durner 1991), používanom na analýzu farebných odtieňov pôdy. Na základe tejto teórie viditeľná farba objektu závisí na absorpčnom a rozptylovom optickom koeficiente (označených ako K a S). Vzťah medzi frakciami odrazeného svetla R danej vlnovej dĺžky a optickými koeficientami K, S pre rovnakú vlnovú dĺžku je:

$$\frac{K}{S} = \frac{1 - R^2}{2R}$$

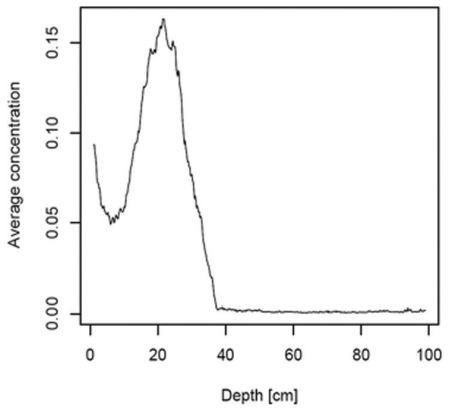
Obr. 7: Geometrická korekcia pôdneho profilu
Fig. 7: Image after geometric correction of profile number 5 in beech – fir stand



Obr. 8: Koncentrácie farbiva Brilliant blue po spracovaní v programe R
Fig. 8: Brilliant Blue concentration distribution after Image analysis



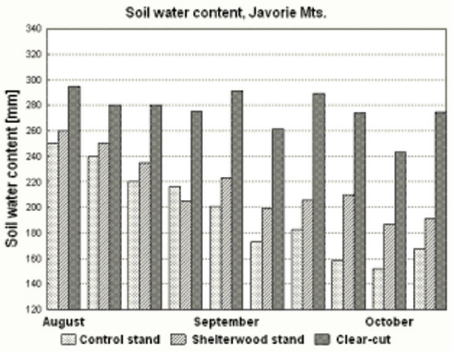
Obr. 9: Plocha profilu zafarbená indikátorom
Fig. 9: Percentage of stained area of soil profile by Brilliant Blue



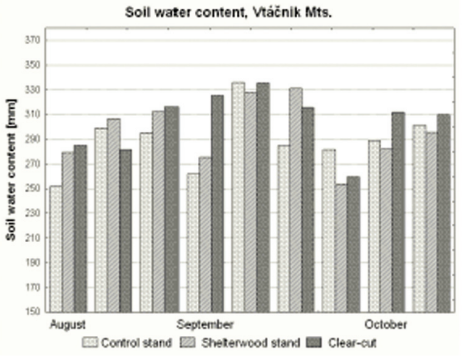
Obr. 10: Priebeh koncentrácia indikátora v hĺbke pôdy
Fig. 10: Vertical concetration distribution of Brilliant Blue

3. VÝSLEDKY

V mesiacoch august až október sme na vybraných lokalitách Homôlky a Vtáčnika vykonali merania pôdnej vlhkosti a indikátorový experiment, pomocou ktorého sme pozorovali ako voda infiltruje do pôdy.



Obr. 11: Priebeh vlhkosti pôdy na Javorí
Fig. 11: Dynamics of soil moisture in Javorie



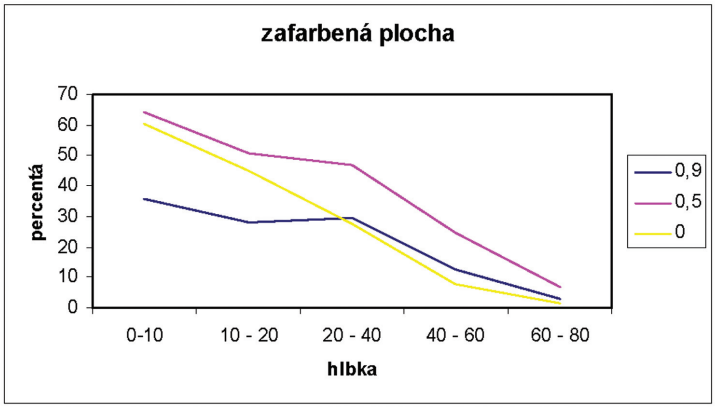
Obr. 12: Priebeh vlhkosti pôdy na Vtáčniku
Fig. 12: Dynamics of soil moisture in Vtáčnik

Ako ukazujú údaje na obr. 11 a obr. 12, závislosť medzi stupňom zakmenenia a zásobou vody v pôde bola najvýznamnejšia na lokalite Javorie, čo dokázali aj štatistické vyhodnotenia (tab. 1).

Tab. 1 Porovnanie vlhkosti pôdy a štatistickej významnosti pôdy na Javorí a Vtáčniku
Tab. 1 Comparison of soil moisture and soil statistical significance in Javorie and Vtáčnik mountain

plocha	zakmenenie	Priemerná vlhkosť(mm)	Hladina významnosti
Javorie	0,9	178,7	P< 0,002
	0,4	203	
	0,0	272,7	
Vtáčnik	0,9	288,92	P<0,260
	0,4	300,39	
	0,0	304,55	

Podobne sa ukázali rozdiely aj v kvalite infiltrácie a výskyte makropórového prúdenia na miestach s rôznym zakmenením. Ako najvyrovnanejšia sa ukázala infiltrácia na miestach, kde bol vykonaný clonný rub, ktorým sa znížilo zakmenenie porastu na 0,5. V porastoch s takýmto zakmenením sme zistili najrovnomernejšiu infiltráciu na oboch lokalitách. Ako významný sa ukázal vplyv pokrývkového humusu, ktorého hrúbka významne ovplyvnila kvalitu infiltrácie.



Obr. 1: Plocha zafarbenia pôdnych profilov
Fig. 1: Stained area in soil profiles

4. DISKUSIA A ZÁVER

Na lokalite Homôlka a Škurátka sme v priebehu mesiacov august až október sledovali vplyv denzity porastov na dynamiku vlhkosti pôdy a na kvalitu infiltrácie, ktorá bola dobre pozorovaná pomocou indikátorového farbiva Briliant Blue CFC. Výsledky,

ktoré sme získali v teréne a spracovali v laboratóriu, podobne ako aj výsledky získané analýzou obrazu, nám poskytli užitočné informácie o vplyve denzity porastu vyjadrenou zakmenením porastu na vlhkosť vody v pôde a na kvalitu infiltrácie vody do pôdy, ktorá významne vplýva na kvalitu environmentálnych funkcií lesných pôd. To podporuje aj výsledky výskumov vykonaných v bukových porastoch koncom 80-tych rokov (Gregor 1991). Z našich výsledkov vyplýva, že podrastový hospodársky spôsob pozitívne vplýva na rovnomernosť infiltrácie znižovaním preferovaných prúdení a tým významne napomáha zvyšovať environmentálne funkcie lesných pôd.

Okrem vplyvu porastu na infiltráciu sa potvrdila aj závisloť medzi hustotou porastu a zásobou vody v pôde, keď porast zabraňuje neproduktívnemu výparu a umožňuje využiť vodu na produktívnu transpiráciu a tvorbu biomasy.

Poďakovanie

Táto vedecká práca vznikla vďaka finančnej podpore z grantových projektov APVV 0468-06, VEGA 1/0703/08, VEGA 1/3548/06.

Literatúra

Čermak, J., R. Matysek & J. Kučera (1993). „Príčiny odumíraní vyspělých buků na těžkých půdach po náhlem proředení porostu.“ Lesníctvi – Forestry 39, 5: 175–183.

Durner, W. (1991). Vorhersage der hydraulischen Leitfähigkeit strukturierten Böden B. b. Berichte: 180.

Forrer, I. E. (1997). Solute transport in an unsaturated field soil: Visualization and Quantification of flow patterns use image analysis, ETH Zürich. Dissertation: 128.

Gregor, J. (1991). „Množstvo vody v pôde v podmienkach bukového ekosystému.“ Lesnícky časopis – Forestry journal 37, 3: 10.

Juráni, B. (1996). Environmentálna charakteristika vybraných pôd Slovenska. Bratislava, PriF Univerzity Komenského Habiltačná práca: 58.

Pichler, V. (2003). Ekologicko-produkčné a environmentálne aspekty vodného režimu pôdy po zmene denzity stromovej zložky bukového ekosystému. Faculty of Forestry. Zvolen, Technical University. docent: 142.

Pichler, V., J. Gregor, J. Bebej, M. Homolák & J. Capuliak (2006a). Strednodobá a dlhodobá prognóza vývoja pôdnej reakcie v lesných porastoch v okrajovej oblasti s alkalickou depozíciou v okolí Jelšavy. Záverečná správa, Technická univerzita vo Zvolene: 28.

Pichler, V., Gregor, J. Váľka, J. Capuliak & M. Homolák (2006b). „Forest stand (*Fagus sylvatica* L.) density reduction as a global climate change adaptive forestry tool.“ Lesnícky časopis – Forestry journal 52(1–2): 9.

Weiler, M., F. Naef & C. Leibundgut (1998). Study of runoff generation on hillslopes using tracer experiments and a physically-based numerical hillslope model, IAHS Publ.

Zlatník, A. (1959). Přehled slovenských lesů podle skupín lesných typů. Brno, VŠZ Brno.

Adresa autorov:
Ing. Jozef Capuliak
Ing. Marián Homolák
Katedra prírodného prostredia
Lesnícka fakulta TU vo Zvolen
T. G. Masaryka 245
960 53 Zvolen
Slovakia

e-mail: capuliak@vsld.tuzvo.sk

Infiltration and water movement under beech forest stand with different density

Summary

The aim of this work was to find out the influence of the different density of beech forest stand on infiltration process in forest soil, what has impact on environmental function of soils as e.g. filter, recycling chemical materials. The dye tracer Briliant Blue FCF was applied to visualise the water flow and to determine the quality and quantity of infiltration. The set of small research plots (1 × 1 m) was placed in 3 beech forest stands. The control stand featured with natural stocking 0.9, shelterwood stand had its density reduced to 0.4 and stand after clear-cut. The dye tracer was applied (1 kg per plot) on the top of soil. The natural precipitation was used as irrigation method. After 100 mm of precipitation, 5 to 7 vertical soil profiles were excavated and photographed. Using image analysis the pictures of the soil profile were processed in program R. Our work revealed differencies of water flow in soil under different density of beech forest. There were a big influencebetween density of beech stand and stained area in soil profiles. Correlation was 0.97. The most homogenous infiltration in upper soil layers occured in clear – cut area for lack of litter. There were in stands with higher density (0.4, 0.9) much bigger infiltration in deeper soil layers. We attribute this water movement to the preferentiel flow in upper layers and root water uptake of trees. This knowledge is relevant from the viewpoit of forest management aimed at the watermanagement and mitigation funktion.

ACTA FACULTATIS FORESTALIS XLX
ZVOLEN – SLOVAKIA 2008

STAV NEKROMASY A PRIRODZENÁ OBNOVA DREVÍN SMREKOVÉHO PRÍRODNÉHO LESA V DOLINE NEFCERKA

Ján P I T T N E R

Pittner, Ján: Stav nekromasy a prirodzená obnova drevín smrekového prírodného lesa v doline Nefcerka. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, **XLX**, 2008, č. 1, s. 71–84.

Cieľom práce je analyzovať súčasnú štruktúru nekromasy a jej potrebu pre prirodzenú obnovu smreka obyčajného (*Picea abies* L. Karst.) a jarabiny vtáčej (*Sorbus aucuparia* L.) v smrekovom prírodnom lese v doline Nefcerka. Meranie bolo uskutočnené na 27 kruhových pokusných plochách s výmerou 500 m^2, ktoré boli rozdelené do 3 výškových zón (do 1300, 1300–1400 a nad 1400 m. n. m.) a do 3 vývojových štádií pralesa (štádium dorastania, optima a rozpadu). Moderové drevo sme evidovali pomocou technológie FieldMap (dĺžka, hrúbka na obidvoch koncoch) a podľa Albrechta (1990) sme ho triedili na štyri stupne rozkladu. Regeneračné procesy sa hodnotili na každej pokusnej ploche na 10 kruhových pokusných plôškach o veľkosti 10 m^2 (100 m^2). Hodnotené jedince boli triedené podľa druhu dreviny, výškovej kategórie (do 20, 21–50, 51–80, 81–130 a nad 131 cm) a klíčneho lôžka, na ktorom rastú (pôda, kopčeky po vývratoch a odumreté drevo). Analýzou získaných výsledkov sme zistili, že prirodzená obnova smreka je vo väčšine viazaná na moderové drevo, čo nám potvrdila aj analýza variancie, ktorou sme zistili štatisticky významný rozdiel medzi početnosťou jedincou smreka na pôde a moderovom dreve ($p = 0,0001$). Pri jedincoch prirodzenej obnovy jarabiny sa podobná viazanosť nepotvrdila ($p = 0,81$). Celkovo môžeme povedať, že početnosť jedincov prirodzenej obnovy v doline Nefcerka je postačujúca pre kontinuálny vývoj tohto smrekového prírodného lesa.

Kľúčové slová: smrekový prírodný les, prirodzená obnova, nekromasa, moderové drevo

1. ÚVOD A PROBLEMATIKA

V priebehu 80-tych rokov sa na Slovensku začalo postupne prejavovať znižovanie vitality a na niektorých lokalitách dokonca veľkoplošný rozpad vysokohorských smrekových porastov. Pravdepodobne rozhodujúcimi činiteľmi, ktoré spustili proces intenzívnejšieho rozpadu boli pôsobenie imisného zaťaženia a extrémne klimatické situácie spôsobené globálnymi zmenami. Ako kľúčový problém bola identifikovaná nestabilná štruktúra vysokohorských porastov a stagnácia ich regeneračných procesov (Gubka 2004, Mráz 1998, Saniga 2002b, 2002c, Zalibera 2000). Stagnácia regeneračných procesov resp. prirodzene dlhotrvajúci proces obnovy je jedným zo špecifík vysokohorského lesa. V prípade

stabilnej, diferencovanej štruktúry a trvalého priebehu regeneračných procesov dochádza k plynulej výmene generácií. Ak ale dôjde v poraste s nestabilnou, homogénnou štruktúrou k intenzívnejšiemu odumieraniu materskej generácie, spravidla jej nezodpovedá náležitá dynamika prirodzenej obnovy a tým dochádza k reálnemu ohrozeniu trvalej prítomnosti lesného spoločenstva so všetkými negatívnymi dôsledkami (Kucbel 2006). Z doterajších výsledkov skúmania regeneračných procesov vyplýva, že obnova v smrekovom prírodnom lese je vo všetkých vývojových fázach, ale najmä v štádiu rozpadu, chudobnejšia a prebieha výrazne pomalšie ako v pralesoch nižších lesných vegetačných stupňov (Korpeľ 1989). Hillgarter (1971) zistil v rámci vývojového cyklu smrekového pralesa dĺžku trvania fázy obnovy v rozmedzí 50–150 rokov. Pokiaľ sa týka priebehu regeneračných procesov v jednotlivých štádiách vývojového cyklu prírodného lesa, obnova smreka počas celého štádia optima a pokročilejšej fázy štádia dorastania prakticky neprebieha. Početne a štruktúrou sa začínajú regeneračné procesy zlepšovať až v počiatočnej fáze štádia rozpadu. Štádium rozpadu je teda ten úsek životného cyklu pralesa, kedy dochádza k uplatňovaniu sa smreka v náletoch a nárastoch a jeho plynulému odrastaniu (Korpeľ 1989, Saniga 2002c). Nepriaznivým faktorom, ktorý výrazne negatívne ovplyvňuje nástup a vývoj prirodzeného zmladenia vo vysokohorských polohách, prípadne ho celkom znemožňuje je intenzívne sa šíriaca bylinná vegetácia. Dôkazom významného negatívneho vplyvu kompetičného tlaku vegetácie je aj skutočnosť, že častým spôsobom obnovy smreka vo vysokohorských polohách je obnova na rozkladajúcich sa kmeňoch a pňoch, na tzv. moderovom dreve (Korpeľ 1989, Leibundgut 1993, Ott *et al.* 1995, Holeksa 1998). Prítomnosť odumretých stromov najmä vo forme ležiacej nekromasy v rozličnom stupni rozkladu je typickým znakom európskych pralesov (Korpeľ 1989, Saniga-Schütz 2001, 2002, Saniga-Jaloviar 2002). Najmä v pralesoch mierneho pásma a v severských pralesoch so zastúpením ihličnatých drevín, ktoré majú pomerne dlhú dobu rozkladu dreva (viac ako 50 rokov), je množstvo, hrúbka stromov a pokročilosť rozkladu dobrým rozlišovacím znakom medzi primárnym a sekundárnym pralesom a určitým vodidlom pri určovaní vývojových štádií a fáz (Saniga 2002a). Moderové drevo má priaznivý vplyv na obnovu lesa a uchovanie stability a kontinuity lesného ekosystému. Z pohľadu kontinuity je jeho výrazný význam predovšetkým v extrémnych podmienkach, kde moderové drevo poskytuje priaznivé podmienky pre prirodzenú obnovu (Jankovský *et al*. 2006). Podľa viacerých autorov (Korpeľ 1989, Mayer & Ott 1991, Schmidt-Vogt 1991, Leibundgut 1993, Ott *et al.* 1997, Holeksa 1998) má moderové drevo podstatnú úlohu pri obnove smreka vo vysokohorských lesoch. Túto skutočnosť potvrdzuje aj pomerne častý výskyt starších stromov s tzv. barlovitými koreňmi, resp. sústredenie jedincov do úzkych pruhov. Cieľom práce je analyzovať štruktúru objemu nekromasy a jej potrebu pre prirodzenú obnovu smreka obyčajného (*Picea abies* Karst.) a jarabiny vtáčej (*Sorbus aucuparia* L.) v smrekovom prírodnom lese v doline Nefcerka.

2. MATERIÁL A METODIKA

Nefcerská dolina sa nachádza na 49°10' severnej šírky a 19°59' východnej dĺžky medzi masívom Kriváňa a hrebeňom Hrubô na juhozápadne exponovanom balvanitom svahu. Je súčasťou Kôprovej doliny, ktorá tvorí hranicu medzi Vysokými a Západnými Tatrami a v roku 1991 bola vyhlásená za národnú prírodnú rezerváciu s výmerou 3 220,92 ha. Geologický podklad tvorí žulová balvanitá sutina. Z pôdnych typov sú tu zastúpené: humózna kambizem v spodine oglejená a humusovo železitý podzol (Korpeľ 1989). Sú to pôdy vo vrchných horizontoch hlinité, v spodnejších horizontoch piesočnato-hlinité, silne štrkovité, dobre prevzdušnené a veľmi dobre prepúšťajú vodu. Sú kyslé až veľmi kyslé, s veľkými zásobami humusu a s nedostatkom ľahko prístupných živín (Pelíšek 1970). Priemerná ročná teplota sa pohybuje okolo 2–2,5 °C a priemerný ročný úhrn zrážok je 1200–1300 mm.

V doline Nefcerka bolo v 3 výškových zónach (do 1300, 1300–1400, nad 1400 m. n. m.) založených a stabilizovaných 27 kruhových pokusných plôch a to tak, aby sa v každej výškovej zóne nachádzalo 9 plôch po 3 v každom vývojovom štádiu prírodného lesa (štádium dorastania, optima a rozpadu). Každá pokusná plocha mala konštantnú výmeru 500 m^2 (r = 12,6 m). Moderové drevo sme evidovali na jednotlivých plochách pomocou technológie FieldMap. Na odumretých ležiacich jedincoch bol evidovaný: druh dreviny, hrúbka na obidvoch koncoch jedinca, dĺžka a stupeň rozkladu. Stupeň rozkladu sa kvantifikoval podľa metodiky, ktorú vypracoval Albrecht (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: beľ 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. Merané bolo ležiace mŕtve drevo s dĺžkou väčšou ako 2,0 m a priemerom na hrubšom konci väčším ako 20,0 cm a stojace mŕtve drevo s výškou väčšou ako 2,0 m a s hrúbkou $d_{1,3}$ väčšou ako 7,0 cm. Objem jednotlivých kmeňov bol vypočítaný podľa Smalianovho vzorca (Šmelko 2000).

Regeneračné procesy sa hodnotili na 10 kruhových pokusných plôškach o veľkosti 10 m^2 (spolu 100 m^2/TVP). Prvá sa nachádzala v strede pokusnej plochy a ostatné sa zakladali systematicky v pravidelnom odstupe okolo stredu pokusnej plochy. Na hodnotených jedincoch sa určoval druh dreviny, ich zatriedenie do výškovej kategórie (do 20, 21–50, 51–80, 81–130 a nad 131 cm) a ich zatriedenie podľa podkladu, na ktorom rastú (pôda, kopčeky po vývratoch a odumreté drevo). Pre posúdenie dynamiky regeneračných procesov vo vysokohorskom poraste sme sa pokúsili stanoviť minimálny potrebný počet jedincov prirodzenej obnovy. Pre jeho kalkuláciu sme aplikovali prístup založený na použití tzv. regeneračného indexu. Regeneračný index je súčinom počtu jedincov prirodzenej obnovy na 1 m^2 a ich priemernej výšky v metroch. Pre vysokohorské ihličnaté lesy sa obnova považuje za zabezpečenú, keď v rámci porastovej medzery hodnota regeneračného indexu

presahuje hodnotu 1,0 (Magini 1967 *in* Grassi *et al.* 2003). Pomocou regeneračného indexu bolo možné vypočítať minimálny počet jedincov obnovy osobitne pre každú výškovú kategóriu ako aj spolu za celý porast. Výsledky výpočtu sú uvedené v tabuľke 1, pričom modelová početnosť je hodnota dosiahnutá za predpokladu, že obnova zaberá ¼ plochy porastu (Kucbel 2006).

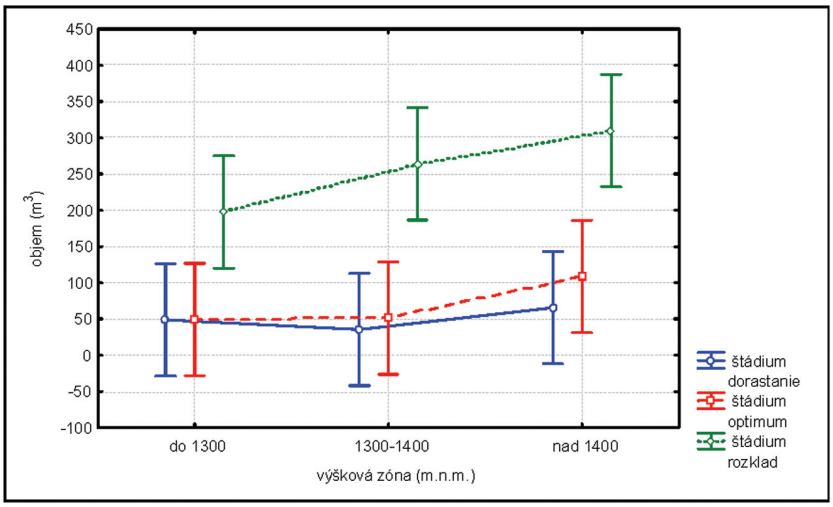
Tab. 1 Kvantifikácia minimálneho počtu jedincov prirodzenej obnovy (Kucbel 2006)
Tab. 1 Quantifizierung von Mindestanzahl der Naturverjungung (Kucbel 2006)

		výšková kategória obnovy (cm)[1)]					Spolu[2)]
		≤ 20	21–50	51–80	81–130	> 130	
priemerná výška[3)]	(m)	0,1	0,35	0,65	1,05	1,5	–
regeneračný index[4)]	–	1	1	1	1	1	–
početnosť na 1 m^2 [5)]	(ks/m^2)	10,00	2,86	1,54	0,95	0,67	–
modelový počet[6)]	(ks/ha)	5000	1429	769	476	333	8007
	(%)	62,4	17,8	9,6	5,9	4,2	100,0

[1)]Hoheskategorien der Verjungung, [2)]Insgesamt, [3)]Durchmesserhohe, [4)]Regenerationsindex, [5)]Häufigkeit auf 1m^2
[6)]Modelanzahl

3. VÝSLEDKY

3.1 Analýza štruktúry nekromasy



Obr. 1: Priemerné hodnoty objemu nekromasy v závislosti od výškovej zóny a vývojového štádia
Abb. 1: Durchschnittswerte von Volumen der Nekromasse in der Beziehung zu Hoheszone und Entwicklungsstadium

Informáciu o štruktúre a zásobe nekromasy podľa jednotlivých kategórií nám dáva tabuľka 2 a obrázok 1. Rozbor štruktúry poukazuje na nasledovné skutočnosti. Najväčší objem mŕtveho dreva sme zistili vo všetkých výškových zónach v štádiu rozpadu, čo je typický znak tohto vývojového štádia, v ktorom odumiera súbor stromov materskej generácie, čím uvoľňuje miesto na obnovu a rast následnej generácie. Zaujímavé je zistenie, že najvyššie hodnoty objemu nekromasy vo všetkých štádiách sme zistili v najvyššej výškovej zóne (nad 1400 m. n. m.), hoci v týchto nadmorských výškach sme zistili najnižšie zásoby materských porastov. Je to spôsobené tým, že porasty v týchto nadmorských výškach sú silno narušené pôsobením stresorov, čo spôsobuje nárast objemu odumretého dreva a tak isto to zapríčiňujú aj nepriaznivé ekologické podmienky, ktoré spomaľujú mikrobiálny rozklad dreva a tým vlastne spôsobujú jeho kumuláciu (úplný rozklad môže trvať až 150 rokov (Vacek 1982 in Svoboda 2005). Toto sa potvrdilo aj štatistickou analýzou, ktorou sme zistili že hodnoty objemu odumretého dreva v nadmorskej výške nad 1400 m.n.m. sú štatisticky významne odlišné od hodnôt v nižších výškových triedach ($p = 0{,}027$ a $p = 0{,}029$). Dvojfaktorovou analýzou variancie sme ďalej zistili, že na objem mŕtveho dreva štatisticky významne vplýva aj druh vývojového štádia. Hodnoty zistené v štádiu rozpadu sú štatisticky veľmi vysoko významne odlišné od hodnôt v štádiu dorastania ($p = 0{,}00015$) a v štádiu optima ($p = 0{,}00016$).

Tab. 2 Objem stojaceho a ležiaceho odumretého dreva (m^3) podľa vývojových štádií, výškových zón a stupňa rozkladu

Tab. 2 Volumen von stehender und liegender Nekromasse nach Entwicklungsstadien, Hoheszonen und Zerfallsgrad

štádium[1)]	drevina[2)]	odum. stojace stromy[3)]			odumreté ležiace stromy[4)]					spolu[6)]
		stupeň rozk.[5)]		spolu[6)]	stupeň rozkladu[5)]				spolu[6)]	
		1	2		1	2	3	4		m^3
do 1300 m. n. m.										
dorastanie[9)]	smrek[7)]	3,00	3,96	6,96	3,55	3,32	10,99	11,29	29,16	36,12
	jarabina[8)]		0,61	0,61	0,17		5,63	2,99	8,80	9,41
	spolu[6)]	3,00	4,57	7,57	3,72	3,32	16,63	14,29	37,96	45,53
optimum[10)]	smrek	10,13	5,85	15,97	1,77	10,29	8,94	11,17	32,16	48,14
	jarabina		0,43	0,43			0,44	0,18	0,62	1,05
	spolu	10,13	6,27	16,40	1,77	10,29	9,38	11,34	32,78	49,18
rozpad[11)]	smrek	25,22	66,16	91,38	56,23	29,38	5,47	14,33	105,41	196,79
	jarabina						0,62		0,62	0,62
	spolu	25,22	66,16	91,38	56,23	29,38	6,09	14,33	106,03	197,41
1300–1400 m. n. m.										
dorastanie	smrek	4,52	1,28	5,80	2,51	0,56	8,63	11,53	23,22	29,02
	jarabina	0,12	3,46	3,58	0,00	0,31	0,63	1,93	2,86	6,44
	spolu	4,64	4,74	9,38	2,51	0,87	9,25	13,46	26,09	35,47

Tab. 2 Pokračovanie
Tab. 2 Forsetzung

štádium[1)]	drevina[2)]	odum. stojace stromy[3)]			odumreté ležiace stromy[4)]					spolu[6)]
		stupeň rozk.[5)]		spolu[6)]	stupeň rozkladu[5)]				spolu[6)]	
		1	2		1	2	3	4		m³
1300–1400 m. n. m.										
optimum	smrek	9,13	5,74	14,87	9,88	2,96	4,60	11,42	28,86	43,73
	jarabina					0,19	5,96	1,25	7,40	7,40
	spolu	9,13	5,74	14,87	9,88	3,15	10,57	12,67	36,26	51,13
rozpad	smrek	116,87	21,71	138,58	61,89	18,84	5,38	24,98	111,08	249,66
	jarabina		0,13	0,13	7,12	7,02	0,05		14,19	14,32
	spolu	116,87	21,84	138,71	69,01	25,85	5,43	24,98	125,27	263,99
nad 1400 m. n. m.										
dorastanie	smrek		4,02	4,02	17,57	5,52	15,07	8,51	46,67	50,68
	jarabina		5,01	5,01		0,21	1,30	8,44	9,95	14,96
	spolu		9,03	9,03	17,57	5,73	16,36	16,95	56,61	65,64
optimum	smrek	6,29	14,39	20,68	7,67	49,33	8,56	20,01	85,57	106,24
	jarabina		0,49	0,49	0,38	0,55	1,11		2,03	2,52
	spolu	6,29	14,88	21,16	8,05	49,88	9,67	20,01	87,60	108,76
rozpad	smrek	86,48	11,61	98,09	60,39	90,68	27,41	32,39	210,88	308,97
	jarabina						0,65		0,65	0,65
	spolu	86,48	11,61	98,09	60,39	90,68	28,06	32,39	211,53	309,62

[1)]Stadium, [2)]Holzart, [3)]Stehende Nekromasse, [4)]Liegende Nekromasse, [5)]Zerfallsgrad, [6)]Insgesamt, [7)]Fichte, [8)]Vogelbeerbaum, [9)]Stadium des Heranwachsens, [10)]Optimstadium, [11)]Zerfallsstadium

Aj keď sme v štádiu optima vo všetkých výškových zónach zistili vyššie hodnoty ako v štádiu dorastania, tento poznatok sa nám nepotvrdil ako štatisticky významný. Môžeme preto povedať, že objem nekromasy v týchto štádiách je približne rovnaký a prípadné rozdiely sú teda spôsobené len náhodným kolísaním hodnôt. Ak porovnáme percentuálny podiel objemu odumretého dreva na celkovej zásobe porastu, zistíme, že najnižší podiel sa nachádza v štádiu optima (5,0–10,8 %). Je to spôsobené tým, že v tomto štádiu bola zistená najvyššia zásoba a do štádia dorastania, keďže smrekové drevo má relatívne dlhú dobu rozkladu (50 a viac rokov), prechádza ešte nerozložená nekromasa zo štádia rozpadu. Najvyšší podiel nekromasy na zásobe sme zistili v štádiu rozpadu (29,8–43 %). Celkovo môžeme povedať, že objem nekromasy, tak isto ako aj jej podiel na zásobe, stúpa spolu s nadmorskou výškou a že je postačujúci pre zabezpečenie kontinuálneho vývoja tohto smrekového prírodného lesa, pretože v štádiu rozpadu, v ktorom sú najlepšie podmienky na klíčenie a odrastanie jedincov, dosahuje viac ako 20 %, ktoré sú považované za minimálne množstvo nekromasy v smrekových horských lesoch (Jankovský *et al*. 2006).

3.2 Analýza regeneračných procesov

Tab. 3 Zastúpenie drevín podľa kategórií prirodzenej obnovy (ks/ha)
Tab. 3 Vertretung von Holzarten nach Kategorien der Naturverjungung (ks/ha)

		výšková kategória[1)]				spolu[2)]	
		do 20 cm		nad 20 cm			
		ks/ha	%	ks/ha	%	ks/ha	%
do 1300 m. n. m.							
dorastanie[5)]	smrek[3)]	4767	67,8	1566	61,0	6333	66,0
	jarabina[4)]	2267	32,2	1000	39,0	3267	34,0
	spolu[2)]	7034	100	2566	100	9600	100
optimum[6)]	smrek	5067	62,6	467	12,5	5534	46,8
	jarabina	3033	37,4	3266	87,5	6299	53,2
	spolu	8100	100	3733	100	11833	100
rozpad[7)]	smrek	9633	76,9	2367	23,5	12000	53,1
	jarabina	2900	23,1	7699	76,5	10599	46,9
	spolu	12533	100	10066	100	22599	100
1300–1400 m. n. m.							
dorastanie	smrek	5633	67,3	1166	48,6	6799	63,2
	jarabina	2733	32,7	1233	51,4	3966	36,8
	spolu	8366	100	2399	100	10765	100
optimum	smrek	12333	69,8	800	24,2	13133	62,6
	jarabina	5333	30,2	2500	75,8	7833	37,4
	spolu	17666	100	3300	100	20966	100
rozpad	smrek	17833	92,1	4234	36,0	22067	70,9
	jarabina	1533	7,9	7533	64,0	9066	29,1
	spolu	19366	100	11767	100	31133	100
nad 1400 m.n. m.							
dorastanie	smrek	167	11,4	868	15,3	1035	14,5
	jarabina	1300	88,6	4800	84,7	6100	85,5
	spolu	1467	100	5668	100	7135	100
optimum	smrek	8034	57,1	533	10,5	8567	44,8
	jarabina	6033	42,9	4533	89,5	10566	55,2
	spolu	14067	100	5066	100	19133	100
rozpad	smrek	6133	57,1	1266	7,8	7399	27,4
	jarabina	4600	42,9	14967	92,2	19567	72,6
	spolu	10733	100	16233	100	26966	100

[1)]Hoheskategorie, [2)]Insgesamt, [3)]Fichte, [4)]Vogelbeerbaum, [5)]Stadium des Heranwachsens, [6)]Optimstadium, [7)]Zerfallsstadium

V prirodzenej obnove sa na všetkých skúmaných plochách vyskytujú dve dreviny – smrek obyčajný a jarabina vtáčia. Na niektorých plochách sme zistili aj prítomnosť borovice limby a v najvyššej výškovej zóne aj brezy previsnutej. Kvôli ich malému počtu ich ale v tejto práci nebudeme komentovať. Analýza prirodzenej obnovy podľa drevín, výškových kategórií a nadmorskej výšky je uvedená v tabuľke 3. Rozbor získaných výsledkov poukazuje na nasledovné skutočnosti. Pri hodnotení celkového počtu jedincov obnovy v prvej výškovej zóne vo väzbe na vývojové štádium, môžeme povedať, že počet jedincov smreka a jarabiny je približne rovnaký, výnimkou je iba štádium dorastania, v ktorom prevládajú jedince smreka (66 %). Je to spôsobené hlavne vysokou početnosťou smreka v kategórii so 20 cm, ktorá tvorí až 75 % z celkovej početnosti jedincov smreka. Podobné je to aj v druhej výškovej zóne, v ktorej prevažujú jedince smreka v každom vývojovom štádiu (62,6–70,9 %), a v kategórii do 20 cm sa nachádza až 80,8–90,3 % všetkých jedincov smreka. V najvyššej výškovej zóne výrazne prevládajú jedince jarabiny, výnimkou je iba štádium optima, kde má jarabina iba miernu prevahu (55,2 %). Výrazná prevaha jarabiny v tejto výškovej zóne je spôsobená tým, že jarabina ako pionierska drevina sa na rozdiel od smreka dokáže vysporiadať s nepriaznivými ekologickými podmienkami a s kompetíciou bylín, takže nie je viazaná svojou obnovou iba na rozkladajúcu sa nekromasu ako je to v prípade smreka. Ak porovnáme celkové počty jedincov prirodzenej obnovy v jednotlivých štádiách, zistíme, že najmenej jedincov vo všetkých výškových zónach sa nachádza v štádiu dorastania (7 134–10 765 ks/ha) a najviac jedincov sa nachádza v štádiu rozpadu (22 599–31 133 ks/ha), čo je spôsobené postupným odumieraním jedincov predchádzajúcej generácie, čím sa výrazne zlepšujú ekologické podmienky pre klíčenie a odrastanie jedincov nasledujúcej generácie. Ďalej môžeme konštatovať, že vo všetkých výškových zónach a vývojových štádiách prevládajú jedince do 20 cm, pre ktoré je typická vysoká fluktuácia ich počtu aj v krátkych časových úsekoch (semenná úroda, sucho). Napriek tomu, že jarabina je dôležitou súčasťou drevinového zloženia vysokohorského lesa, pre posúdenie regeneračných procesov má rozhodujúci význam analýza obnovy smreka, ktorý je hlavnou porastotvornou drevinou a predstavuje nositeľa štruktúry porastu. Rozbor početnosti prirodzenej obnovy smreka je uvedený v tabuľke 4. Celkový počet jedincov smreka sa pohybuje v závislosti na výškovej zóne a vývojovom štádiu od 1 035–22 067 ks/ha.

Keď to porovnáme s vypočítaným modelovým počtom jedincov (8007 ks/ha), zistíme, že v štádiách optima a rozpadu sú počty jedincov prirodzenej obnovy vo väčšine prípadov postačujúce, iba v štádiu dorastania zaostávajú za modelovým údajom. Problematická je ale nevyhovujúca štruktúra zmladenia. Modelovú početnosť dosahujú a v mnohých prípadoch aj presahujú iba jedince vo výškovej kategórii do 20 cm a v prípade štádia rozpadu aj vo výškovej kategórii 21–50 cm. Problematický je ale prudký pokles počtu jedincov vo vyšších výškových kategóriách. Tieto poznatky potvrdzujú problematickosť a stagnáciu prirodzenej obnovy vo vysokohorských smrekových porastoch, spôsobenú

nepriaznivými ekologickými podmienkami a antropickým pôsobením. Ak ale zoberieme do úvahy aj prítomnosť jedincov prirodzenej obnovy jarabiny, môžeme konštatovať, že tento smrekový prírodný les je schopný svojho kontinuálneho vývoja.

Tab. 4 Početnosť prirodzenej obnovy smreka podľa výškových kategórií
Tab. 4 Anzahl der Naturverjungung von Fichte nach den Hohenkatergorien

Štádium		Výšková trieda (cm)					Spolu
		do 20	21–50	51–80	81–130	nad 130	
do 1300 m. n. m.							
dorastanie	ks/ha	4767	633	233	367	333	6333
	%	75,3	10,0	3,7	5,8	5,3	100,0
optimum	ks/ha	5067	267	100	100	–	5534
	%	91,6	4,8	1,8	1,8	–	100,0
rozpad	ks/ha	9633	1734	200	300	133	12000
	%	80,3	14,5	1,7	2,5	1,1	100,0
1300–1400 m. n. m.							
dorastanie	ks/ha	5633	400	166	367	233	6799
	%	82,9	5,9	2,4	5,4	3,4	100,0
optimum	ks/ha	12333	400	166	167	67	13133
	%	93,9	3,0	1,3	1,3	0,5	100,0
rozpad	ks/ha	17833	3000	567	367	300	22067
	%	80,8	13,6	2,6	1,7	1,4	100,0
nad 1400 m. n. m.							
dorastanie	ks/ha	167	233	167	134	333	1035
	%	16,1	22,5	16,1	12,9	32,2	100,0
optimum	ks/ha	8034	300	33	200	–	8567
	%	93,8	3,5	0,4	2,3	–	100,0
rozpad	ks/ha	6133	866	333	67	–	7399
	%	82,9	11,7	4,5	0,9	–	100,0

3.3 ANALÝZA VÝZNAMU MODEROVÉHO DREVA PRE REGENERAČNÉ PROCESY

Základné údaje o zásobe nekromasy, jej rozdelení na odumreté stojace a ležiace jedince a podľa stupňa rozkladu boli uvedené v predchádzajúcej stati – analýza dynamiky nekromasy (tab. 2). Pretože vo vysokohorskom lese predstavujú odumreté ležiace kmene

významný prvok pre priebeh regeneračných procesov, bol okrem zistenia základných údajov vykonaný aj podrobný rozbor nekromasy z pohľadu jej významu pre prirodzenú obnovu. Padnuté rozkladajúce sa kmene vytvárajú na svojom povrchu v určitom stupni rozkladu podmienky pre klíčenie, ujímanie a následný rast obnovy smreka. Pre možnosť nástupu prirodzenej obnovy je z tohto pohľadu dôležitejšia ako objem celková plocha, ktorú zaberá mŕtve drevo v poraste a ktorá je perspektívnym miestom pre nástup obnovy. Tak isto aj údaje o regeneračných procesoch v závislosti od výškovej zóny, vývojového štádia a zatriedenia podľa výškových kategórií už boli analyzované v predchádzajúcej stati. V tejto stati budeme analyzovať prirodzenú obnovu v závislosti od klíčneho lôžka, na ktorom rastie. Výsledky tejto analýzy sú uvedené v tabuľke 5. Keď porovnáme celkové počty jedincov prirodzenej obnovy zistíme, že najväčší podiel využíva ako klíčne lôžko pôdu (46,1–79,2 %), oproti tomu moderové drevo využíva iba 9,3–32,8 % všetkých jedincov. Táto skutočnosť sa však zmení, keď si dáme do pomeru plochu pôdy s plochou, ktorú zaberá moderové drevo. Celkový priemerný podiel moderového dreva na všetkých plochách je 3,68 %. Na tejto ploche sa nachádza priemerne 19,1 % jedincov z celkového počtu prirodzenej obnovy. Teda asi na $^{1}/_{25}$ plochy sa nachádza skoro $^{1}/_{5}$ jedincov. Ak to rozdelíme na jednotlivé dreviny, zistíme, že pri smreku je tento pomer ešte oveľa výraznejší a na ploche moderového dreva sa nachádza až $^{1}/_{3}$ jedincov (33,4 %). Zato pri jarabine sa viazanosť prirodzenej obnovy na moderové drevo vôbec nepotvrdila. Podiel jej jedincov na moderovom dreve tvorí iba 3,8 %. Tento poznatok sa nám potvrdil aj štatistickou analýzou počtu jedincov na jednotlivých klíčnych lôžkach, ktorá preukázala štatisticky signifikantný vplyv moderového dreva ako klíčneho lôžka len pri drevine smrek ($p = 0{,}0001$). Najvyšší podiel prirodzenej obnovy jedincov smreka sme zistili v najvyššej výškovej zóne v štádiu rozpadu a to až 56,3 %. Ak porovnáme tieto výsledky s výsledkami zo smrekového prírodného lesa na Babej hore (Holeksa 1998, Vorčák *et al*. 2005), kde na približne rovnakom podiele plochy moderového dreva (3,34 %, resp. 3,9 %), tvorila obnova smreka nadpolovičnú väčšinu, môžeme povedať, že prirodzená obnova smreka v doline Nefcerka nie je až tak silno viazaná na moderové drevo ako klíčne lôžko.

Tab. 5 Štruktúra prirodzenej obnovy drevín podľa výškových zón, vývojových štádií a klíčneho lôžka
Tab. 5 Struktur der Naturverjungung von Holzarten nach Hoheszonen, Entwicklungsstadien und Keimbett

štádium[1)]	klíčne lôžko[2)]	smrek[3)]		jarabina[4]		spolu[5)]	
		ks/ha	%	ks/ha	%	n	%
do 1300 m. n. m.							
dorastanie	pôda[6)]	2500	39,5	3100	94,9	5600	58,3
	kopčeky[7)]	2033	32,1	133	4,1	2166	22,6
	nekromasa[8)]	1800	28,4	33	1,0	1833	19,1
	spolu[5)]	6333	100,0	3267	100,0	9599	100

Tab. 5 Pokračovanie
Tab. 5 Forsetzung

štádium[1)]	klíčne lôžko[2)]	smrek[3)]		jarabina[4]		spolu[5)]	
		ks/ha	%	ks/ha	%	n	%
do 1300 m. n. m.							
optimum	pôda	3333	60,2	6033	95,8	9366	79,2
	kopčeky	933	16,9	266	4,2	1199	10,1
	nekromasa	1267	22,9	0	0,0	1267	10,7
	spolu	5534	100,0	6299	100,0	11832	100
rozpad	pôda	8234	68,6	10233	96,5	18467	81,7
	kopčeky	1800	15,0	233	2,2	2033	9,0
	nekromasa	1966	16,4	133	1,3	2099	9,3
	spolu	12000	100,0	10599	100,0	22599	100
1300–1400 m. n. m.							
dorastanie	pôda	1600	23,5	3367	84,9	4967	46,1
	kopčeky	1667	24,5	600	15,1	2267	21,1
	nekromasa	3533	52,0	0	0,0	3533	32,8
	spolu	6800	100,0	3967	100,0	10767	100
optimum	pôda	4833	36,8	6167	78,7	11000	52,5
	kopčeky	4265	32,5	1500	19,1	5765	27,5
	nekromasa	4033	30,7	166	2,1	4199	20,0
	spolu	13131	100,0	7833	100,0	20964	100
rozpad	pôda	8134	36,9	6633	73,2	14767	47,4
	kopčeky	5033	22,8	1867	20,6	6900	22,2
	nekromasa	8900	40,3	566	6,2	9466	30,4
	spolu	22067	100,0	9066	100,0	31133	100
nad 1400 m. n. m.							
dorastanie	pôda	234	22,6	3833	62,8	4067	57,0
	kopčeky	634	61,3	1666	27,3	2300	32,2
	nekromasa	167	16,1	600	9,8	767	10,8
	spolu	1035	100,0	6099	100,0	7134	100
optimum	pôda	2466	28,8	8934	84,5	11400	59,6
	kopčeky	4300	50,2	1067	10,1	5367	28,0
	nekromasa	1800	21,0	567	5,4	2367	12,4
	spolu	8566	100,0	10568	100,0	19134	100

Tab. 5 Pokračovanie
Tab. 5 Forsetzung

štádium[1)]	klíčne lôžko[2)]	smrek[3)]		jarabina[4]		spolu[5)]	
		ks/ha	%	ks/ha	%	n	%
nad 1400 m. n. m.							
rozpad	pôda	1167	15,8	15933	81,4	17100	63,4
	kopčeky	2066	27,9	2767	14,1	4833	17,9
	nekromasa	4165	56,3	866	4,4	5031	18,7
	spolu	7398	100,0	19566	100,0	26964	100

[1)]Stadium [2)]Keimbett [3)]Fichte [4)]Vogelbeerbaum [5)]Insgesamt [6)]Boden [7)]Hügel [8)]Moderholz

4. DISKUSIA A ZÁVER

Analýzou štruktúry nekromasy sme zistili, že jej objem, tak isto ako aj jej podiel na zásobe, stúpa spolu s nadmorskou výškou a že dáva predpoklady pre zabezpečenie kontinuálneho vývoja tohto smrekového prírodného lesa, pretože v štádiu rozpadu, v ktorom sú najlepšie podmienky na klíčenie a odrastanie jedincov a v ktorom je vlastne počiatok nasledujúcej generácie, dosahuje viac ako 20 %, ktoré sú považované za minimálne množstvo nekromasy v smrekových horských lesoch (Jankovský *et al*. 2006). V tomto štádiu dosahuje až optimálny podiel na zásobe (30-40 %) uvádzaný spomínaným autorom. Z analýzy regeneračných procesov smreka sme zistili, že v štádiách optima a rozpadu sú počty jedincov prirodzenej obnovy vo väčšine prípadov postačujúce, iba v štádiu dorastania zaostávajú za modelovým údajom. Problematická je ale nevyhovujúca štruktúra zmladenia. Modelovú početnosť dosahujú a v mnohých prípadoch aj presahujú iba jedince vo výškovej kategórii do 20 cm, pre ktoré je však typická vysoká fluktuácia ich počtu aj v krátkych časových úsekoch (semenná úroda, sucho) a pre posúdenie regeneračných procesov nemá až taký význam. Ako problematický sa javí prudký pokles počtu jedincov vo vyšších výškových kategóriách. Tento poznatok len potvrdzuje problematickosť a stagnáciu prirodzenej obnovy vo vysokohorských smrekových porastoch, spôsobenú nepriaznivými ekologickými podmienkami a antropickým pôsobením. Ak ale zoberieme do úvahy aj prítomnosť jedincov prirodzenej obnovy jarabiny, môžeme konštatovať, že tento smrekový prírodný les je schopný svojho samostatného kontinuálneho vývoja. Pri analýze prirodzenej obnovy podľa typu substrátu sa potvrdila významná úloha moderového dreva pre regeneračné procesy predovšetkým vo výškových zónach nad 1400 m. n. m. Celkový priemerný podiel moderového dreva na všetkých plochách tvoril 3,68 % z plochy TVP. Podiel obnovy smreka na mŕtvom dreve tvoril maximálne 78,7 % z celkového počtu jedincov. Priemerný podiel jedincov smreka bol 33,4 %. Ak porovnáme tieto výsledky s výsledkami Korpeľa (1989), ktorý udáva z NPR Poľana až 65 % podiel obnovy, alebo

s výsledkami zo smrekového prírodného lesa na Babej hore (Holeksa 1998, Vorčák 2005), kde na približne rovnakom podiele plochy moderového dreva (3,34 %, resp. 3,9 %), tvorila obnova smreka nadpolovičnú väčšinu, môžeme povedať, že prirodzená obnova smreka v doline Nefcerka nie je až tak silno viazaná na moderové drevo ako klíčne lôžko. Je to spôsobené hlavne horšími ekologickými podmienkami na Babej hore spôsobenými tamojšou surovou klímou (Vorčák 2005).Výskum bol podporený grantom APVV 0082-06.

5. 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.

Grassi, G., Minotta, G., Giannini, R., Bagnaresi, U., 2003: The structural dynamics of managed uneven-aged conifer stands in the Italian eastern Alps. For. Ecol. Manage. 185: 225–237.

Gubka, K., 2004: Súčasný stav porastov pod hornou hranicou lesa v Nízkych Tatrách na lokalite Lenivá (OLZ Beňuš), Acta Facultatis Forestalis Zvolen 46, s. 131–143.

Hillgarter, F. W., 1971: Waldbauliche und Ertragskundliche Untersuchungen im subalpinen Fichtenurwald Scatlé/Brigles. Dissertationsarbeit, 80 s.

Holeksa, J., 1998: Warunki odnowienia świerka a wielkopowierzchniovy rozpad warstvy drzew w karpackim borze górnoreglowym, In: Stav, vývoj, produkčné schopnosti a využívanie lesov v oblasti Babej hory a Pilska. Zvolen, 40–54.

Jankovský. L., Tomošovský. M., Beránek. J., Lička. D., 2006: Analýza postupů ponechávaní dřeva k zetlení z hlediska vlivu na biologickou rozmanitosť. Brno, 102 s.

Korpeľ, Š., 1989: Pralesy Slovenska. Veda, Bratislava, 328 s.

Kucbel, S., 2006: Štruktúra porastov a optimalizácia pestovných opatrení vo vysokohorských lesoch v oblasti Nízkych Tatier. Dizertačná práca, Zvolen, 108 s.

Leibundgut, H**.,** 1993**:** Europäische Urwälder. Verlag Paul Haupt, Bern, Stuttgert.

Mayer, H., Ott, E., 1991: Gebirgswalbau – Schutzwald pflege. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart, 587 s.

Mráz, I., 1998: Necháme vysokohorské lesy padnúť?, Les 54 (7): 17.

Ott, E., Frehner, M., Frey, H., Lüscher, P., 1997: Gebirgsnadelwälder, Verlag Paul Haupt, Bern, 287 p.

Ott, E., Hladík, M., Korpeľ, Š., Saniga, M., 1995: Pestovanie horských lesov Švajčiarska a Slovenska. Zvolen, 127 s.

Pelíšek, J., 1970: Pôdne pomery na Trvalých výskumných plochách. Zborník prác o TANAPe, č. 12, s. 47–78.

Saniga, M., 2002a: Pestovanie lesa. LF TU Zvolen, 247 s.

Saniga, M., 2002b: Štruktúra a regeneračné procesy smrekového prírodného lesa v NPR Kotlov žľab. Štúdie o TANAPe, 6 (39), Tatranská Lomnica, s. 111–132.

Saniga, M., 2002c: Štruktúra, produkčné procesy a regeneračné procesy smrekového prírodného lesa v lokalite Krížne a Nefcerka. Štúdie o TANAPe, 6 (39), s. 133–151.

Saniga, M., Jaloviar, P., 2002: Dynamik des Totholzanteil im rahmen des Entwicklungszyklus in den ausgewählten Urwäldern der Slowakei. Vedecké štúdie, TU Zvolen, 49 s.

Saniga, M., Schütz, J. P., 2001: Dynamik des Totholzes in zwei gemischten Urwäldern der Westkarpaten im pflanzengeographischen Bereich der Tannen-Buchen-und der Buchenwälder in verschiedenen Entwicklungsstadien. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen. – Jg. 152, Nr. 10, s. 407–416.

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.

Schmidt-Vogt, H., 1991: *Die Fichte*, Bd.II/3, Paul Parey Verlag, Hamburg Berlin, 781 p.

Šmelko, Š., 2000: Dendrometria, Vydavateľstvo TU, Zvolen, 399 pp.

Svoboda, M., 2005: Význam tlejícího dřeva v lese na příkladu horské smrčiny. Lesnícka práce, 5, s. 20–22.

Vorčák, J., 2005: Štrukturálna diverzita vybraných horských lesov Oravských Beskýd a Západných Tatier vo väzbe na ich ekologickú stabilitu. Dizertačná práca, Zvolen – Tvrdošín, 135 s.
Zalibera, J., 2000: Skúsenosti s rámcovým a podrobným plánovaním v horských lesoch, In: Praktické opatrenia pri obhospodarovaní horských lesov, LSR B. Bystrica, pp. 63–68.

Adresa autora:
Ing. Ján Pittner
Katedra pestovania lesa
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen

Nekromassestruktur und Verjungung von Holzarten des Fichtennaturwaldes im Tal Nefcerka

Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war die Analyse der Nekromassestruktur und der Verjungung von Fichte und Eberesche eines Fichtennaturwald im Tal Nefcerka. Messungen waren auf 27 Kreisversuchsflächen mit der Fläche 500 m^2 ausgeführt, die in 3 Hoheszonen und drei Entwicklungsstadien des Naturwaldes eingeteilt würden. Moderholz erfassten wir mit der FieldMap Technologie und nach Albrecht (1990) teilten wir es in vier Zerfallsgrade ein. Verjungungsprozesse haben wir auf 10 Kreisflächen mit der Fläche von 10 m^2 (100 m^2) bewertet. Einzelne Individuen haben wir nach der Holzart, Hoheskategorie und Keimbett eingeteilt. Durch die Analyse von gewonnenen Daten haben wir festgestellt, dass die Verjungung der Fichte im meisten Fällen auf das Moderholz angewiesen ist. Dieses Ergebnis hat uns auch die Varianzanalyse bestätigt. Bei der Verjungung der Eberesche hat sich diese Gebundenheit nicht bestätigt. Im Ganzen können wir sagen, dass die Anzahl von Individuen der Verjungung im Tal Nefcerka für die kontinuierliche Entwicklung dieses Fichtennaturwaldes hinreichend ist.

ACTA FACULTATIS FORESTALIS XLX
ZVOLEN – SLOVAKIA 2008

CHARAKTERISTIKA METODICKÉHO POSTUPU PRI HODNOTENÍ ŠTRUKTÚRY, TEXTÚRY, DIVERZITY A REGENERAČNÝCH PROCESOV PRÍRODNÉHO LESA V NPR HRONČECKÝ GRÚŇ

Miroslav B A L A N D A

Balanda, M., 2008: Charakteristika metodického postupu pri hodnotení štruktúry, textúry, diverzity a regeneračných procesov prírodného lesa v NPR Hrončecký Grúň. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, **XLX**, 2008, č. 1, s. 85–95.

Cieľom práce je poskytnúť rozbor problematiky prírodných zmiešaných lesov v stredoeurópskych podmienkach a zároveň stanoviť základný rozbor metodického postupu, ktorý bude použitý pri zbere dát z výskumných plôch v NPR Hrončecký Grúň. V kapitole „Rozbor metodiky“, ktorá je nosnou časťou práce, sa autor vysporiadúva s bazálnymi problémami založenia trvalých výskumných plôch, spôsobom ich členenia a fixovania v teréne. V nasledujúcej časti bližšie špecifikuje porastové charakteristiky, ktoré budú merané na jednotlivých TVP, osobitne pre tranzekt a ostatnú plochu. Práca sa rámcovo zaoberá i spôsobom vyhodnotenia zozbieraného empirického materiálu.

Kľúčové slová: prales, nekromasa, medzera, prirodzená obnova

ÚVOD

Prírodný les sa vyvíja podľa vlastných zákonitostí bez vonkajšieho vplyvu, ktorý nie je koordinovaný prírodnými zákonitosťami. Za prales sa pokladá človekom neovplyvnený prírodný les, ktorý v danej oblasti podľa druhového zloženia predstavuje posledný článok fylogenezického vývoja lesa. Predstavuje nenarušený klimaxový les ako krajnú, najviac zachovanú formu prírodného lesa (Korpeľ a kol. 1991).

Výrazná geomorfologická a výšková členitosť našich pohorí, spolu so zámernou ochranou mali za následok zachovanie, na európske pomery rozsiahlych, človekom nenarušených lesných komplexov. Slovensko patrí k jedným z mála európskych krajín, v ktorých sa na prevažnej ploche do súčasnosti zachovalo pôvodné (prirodzené) druhové zloženie lesov a niekoľko pralesových zvyškov, ktoré predstavujú európske unikáty.

Rozbor problematiky

Prírodné lesné spoločenstvo, ako systém živých organizmov na najvyššej úrovni v hierarchii otvorených systémov výrazne prejavuje tendenciu k dynamickej rovnováhe, k tzv. homeostáze (Jeník 1979). Táto rovnováha je daná štruktúrou prírodného lesa a dynamikou zmien prebiehajúcich v rámci nej.

Výsledkom fylogenezického vývoja, procesu adaptovania sa na konkrétne stanovištné podmienky a ich zmeny, je špecifické drevinové zloženie prírodného lesa. Konkrétne stálosť tohto zloženia je základným znakom pralesa. Počas fylogenezického vývoja sa procesom prirodzeného výberu vyštrukturalizovala konkrétna drevinová skladba, ktorá predstavuje optimálny variant druhového zloženia, schopný odolávať rušivým vplyvom prostredia. Druhová stálosť je teda jednou zo základných podmienok stability ekosystému (Korpeľ a kol. 1991).

Ekologická samostatnosť a vyrovnanosť je typickým znakom pralesa. Vyrovnanosť stavu pôdy vplyvom porastu je príčinou, že v rozsiahlych pralesoch nachádzame na rôznych expozíciách rovnaké typy lesa a pôdne typy (Fröhlich 1951, Rubner 1968). Porovnávacími štúdiami pôd pralesa a systematicky využívaného hospodárskeho lesa sa zistili značné rozdiely v obsahu humusu vrchných horizontov a v povrchovej humifikácii v prospech pralesa (Pelíšek 1958, Šály 1980).

Prirodzené fyzické dožívanie stromov, neovplyvnené človekom má za následok výrazne diferencovanú vekovú štruktúru. Toto je zabezpečené prítomnosťou prirodzenej obnovy a kontinuitným nahrádzaním jednotlivých generácií pralesa. Podľa autorov Ott *et al.* (1997) medzi hlavné príčiny poruchy regeneračných procesov patria hlavne nedostatok tepla, vysoká a dlhotrvajúca pokrývka snehu, vysoké sumy slnečného žiarenia, vysoká pokryvnosť bylinnej vegetácie a nepriaznivý stav nadložného humusu. Uvedené faktory sú podmieňované štruktúrou lesa (Kucbel 2003, Saniga 2000, 2002). Rovnovekosť na väčšej ploche pralesa je však výnimkou podmienenou katastrofou (Korpeľ 1989).

Objem rozkladajúceho sa, resp. odumretého dreva je v stredoeurópskych prírodných lesoch odhadovaný v rozpätí 50 až 200 $m^3.ha^{-1}$ (Albrecht 1990). Korpeľ (1989) uvádza v karpatských bukových pralesoch 40–80 $m^3.ha^{-1}$ a v smrekových 85 až 400 $m^3.ha^{-1}$ odumretého dreva; rozdiel odráža predovšetkým rôzne tempo rozkladu drevnej hmoty oboch drevín, podmienené drevinou a podnebím. Mŕtve drevo v neobhospodarovaných európskych listnatých lesoch tvorí 5 až 30 % celkovej zásoby porastu, čomu zodpovedá objem 40 až 200 m^3 ha^{-1}. Priemerný objem mŕtveho dreva v starých bukových lesoch činí 136 $m^3.ha^{-1}$ (Christensen, Morten, Hahn 2003 ex Jankovský *et al*. 2006).

Dlhodobá vyrovnanosť (stálosť) zásoby pralesa v širších plošných rámcoch je jeho typickým znakom. Spája sa s tzv. nulovým prírastkom (Korpeľ 1989).

Textúra pralesa, chápaná ako plošné rozmiestnenie vývojových štádií pralesa v rámci jeho plochy, je významným ukazovateľom dynamiky a stálosti lesného ekosystému. Platí, že čím je striedanie výstavbových odlišností a vývojových fáz maloplošnejšie, tým

je vývoj pozvoľnejší a celý útvar prírodného lesa stabilnejší, odolnejší a pri trvalosti na relatívne menšej výmere dynamicky vyrovnaný (Korpeľ a kol. 1991).

NPR Hrončecký Grúň

Z hľadiska drevinovej skladby predstavuje zmiešaný prales Hrončecký grúň vrchol zmiešania , z hľadiska počtu zastúpených druhov drevín. Uvedená drevinová skladba vytvára predpoklady pre výrazne diferencovanú štruktúru pralesa (Korpeľ 1995). Priemerné zásoby v jednotlivých vývojových štádiách uvádza Saniga (2004). V štádiu dorastania uvádza autor zásobu 689,32 $m^3.ha^{-1}$, štádiu rozpadu 905,72 $m^3.ha^{-1}$ a v štádiu optima 1096,02 $m^3.ha^{-1}$.

Saniga – Schütz (2002), Saniga (2004) publikovali prvé práce týkajúce sa analýzy vzniku a priebehu objemu mŕtveho dreva v tomto pralese. Autori zistili vysoké hodnoty nekromasy v priebehu celého vývojového cyklu, pričom najvyšší nárast bol zaznamenaný v štádiu optima. Tento bol spôsobený vypadávaním jedincov jedle v druhom vývojovom cykle, nakoľko určujúcou drevinou pralesa je buk. Regeneračné procesy jednotlivých drevín v tomto pralese sú čiastočne komplikované, vzhľadom na odlišné ekologické nároky jednotlivých drevín (Korpeľ 1995).

Rozbor metodického postupu

Charakteristika výskumného objektu NPR Hrončecký Grúň

Prales bol vyhlásený za prísnu rezerváciu v roku 1964 na výmere 55,30 ha, s ochranným pásmom o rozlohe 112,83 ha. Národná prírodná rezervácia sa nachádza v orografickom celku Poľana, LHC Hronec, dielce 298, 299, 300 a 301, v nadmorskej výške 600 až 950 m. n. m., na východnej až juhovýchodnej expozícii so sklonom 15–25° .

Geologické podložie tvorí andezitový tufový aglomerát a andezitové pyroklastiká. Prevažujúcim pôdnym typom je hnedá lesná pôda nenasýtená. Na ploche rezervácie sa nachádzajú štyri skupiny lesných typov: *Abieto-Fagetum, Fageto-Abietum, Fageto-Aceretum a Fraxineto-Aceretum.*

Terénne práce

Založenie trvalých výskumných plôch a fixácia v teréne

Na ploche pralesa budú založené dve TVP. Ich rozmiestnenie bude účelové, s cieľom zachytiť výrazne odlišné drevinové zloženie v rámci celej plochy NPR.

Jednotlivé TVP budú o rozmeroch 150 × 200 m, rozloha 3 ha. Kvôli lepšej orientácii a prehľadnosti bude každá plocha (TVP) rozdelená sieťou o rozmere 50 × 50 m. Tieto plochy (RP) o výmere 0,25 ha budú následne zahustené rastrom 25 × 25 m (ČP). Takýmto spôsobom vznikne na každej TVP 12 rastrových plôch (RP) a 48 čiastkových plôch (ČP). Plochy budú číslované podľa priloženej schémy. V prípade potreby bude možné konkrétnu ČP zahustiť sieťou 12,5 × 12,5 m. Jednotlivé TVP, ako i RP a ČP budú v teréne trvalo fixované drevenými kolíkmi a farebnými páskami. Stredom každej TVP bude prechádzať tranzekt 50 × 200 m o výmere 1 ha. Tranzekt sa člení na štyri RP a v rámci TVP bude dočasne označený farebnými páskami.

V teréne budú TVP vymeriavané pomocou technológie Field-MAP. Každej ČP bude pridelené identifikačné číslo skladajúce sa z dvoch písmen latinskej abecedy (označenie radu a stĺpca (RP)) a poradového číslo konkrétnej ČP v rámci RP. Číslovanie bude prebiehať od ľavého horného rohu v smere po vrstevnici a spádnici.

Zber údajov z TVP

Zber dendrometrických údajov na tranzekte

Na tranzekte budú merané nasledovné biometrické 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 porastu,
- situácia stojacich stromov ($d_{1,3} \geq 2{,}0$ cm) a projekcie korún živých stromov,
- situácia padnutých stromov a ich objem,
- situácia otvorených a rozšírených medzier, ich výmeru a počet vypadnutých stromov,
- plošná distribúcia prirodzenej obnovy podľa prevládajúcej vývojovej kategórie,
- určenie vývojových štádií,
- evidenciu jedincov prirodzenej obnovy.

Zber dendrometrických údajov na ostatnej ploche TVP

Meranie na ostatnej ploche zahŕňa zisťovanie:

- hrúbky stromov s $d_{1,3}$ väčšou ako 8,0 cm s presnosťou na 1 mm,
- výšky vybraných stromov s presnosťou na 0,5 m pre zostavenie výškového grafikonu,
- zaradenie stromov do vrstiev,
- situácie padnutých stromov a ich objem,
- situácie otvorených a rozšírených medzier, ich výmeru a počet vypadnutých stromov,

- situácie prirodzenej obnovy v plošnej forme podľa prevládajúcej vývojovej kategórie,
- určenie vývojových štádií.

Zásady merania jednotlivých veličín

Meranie hrúbky a výšky stromov

Meranie hrúbky stromov $d_{1,3}$ bude uskutočňované podľa všeobecne platných pravidiel priemerkovania (Šmelko 2000). V rámci tranzektu budú hrúbkovo zaznamenané jedince s minimálnym priemerom $d_{1,3}$ 2 cm. Na ostatnej ploche budú jedince zaznamenávané, pokiaľ hrúbka $d_{1,3}$ meraná v dvoch smeroch dosiahne hodnotu 8 cm.

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

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

Horná vrstva – výška stromu 2/3 $h_{0,}$
Stredná vrstva – 1/3 h_0 výška stromu ≤ 2/3 h_0,
Spodná vrstva – výška stromu ≤ 1/3 h_0.

Pozičné zameranie živých stromov a plošné projekcie koruny

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

Plošná projekcia koruny živého stromu bola zameraná prístrojom Field-MAP pomocou štyroch na seba kolmých polomerov. Výstupom bude mapa plošných projekcií korún stromov tranzektu s ich pozičným ukotvením.

Pozičná evidencia nekromasy

Plošná distribúcia nekromasy bude zaznamenávaná na celej ploche TVP pomocou prístroja FieldMAP. Pozične zamerané budú 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 bude vyhodnocovaná pre každú RP, objem nekromasy bude určovaný v rámci každej ČP.

Nekromasa bude klasifikovaná do v nasledovných troch stupňoch 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: beľ mäkká, jadro ešte miestami pevné pre sekeru, hniloba jadra je väčšia ako 1/3 priemeru.

Evidencia porastových medzier

Plošné zachytenie porastových medzier pomocou prístroja FieldMAP bude vykonávané na celej ploche porastu. Metodicky sa bude meranie medzier opierať o odporúčania Runkla (1992) a Drösslera (2006). Za medzeru v poraste bude považovaná iba taká medzera, ktorá vznikla vypadnutím jedincov hornej vrstvy (viď Meranie hrúbky a výšky stromov). Pomocou výškových kriviek získaných meraním výšok jedincov porastu bude odvodená hraničná hrúbka stromu, ktorá zodpovedá 2/3 hornej výšky (h_0) porastu. Za jedince, vypadnutím ktorých medzera vznikla, budeme považovať iba tie, ktoré presiahli hraničnú hrúbku reprezentujúcu príslušnosť k hornej vrstve porastu. Pre každý vypadnutý jedinec bude vykonaný odhad času vypadnutia na základe stupňa dekompozície podľa Drösslera (2006).

Pri evidencii medzier budú merané dva typy medzery, otvorená a rozšírená medzera. Otvorená medzera je definovaná ako vertikálny priemet otvoru v hornej vrstve porastu. Rozšírená medzera je podľa Runkla (1992) definovaná ako plocha ohraničená bázami kmeňov stromov tvoriaci hranicu otvorenej medzery. Otvorená a uzavretá medzera budú evidované iba v prípade, ak budú na pôdnom povrchu medzery ešte identifikovateľné zvyšky odumretých jedincov, ktorých vypadnutím medzera vznikla.

Za uzavretú medzeru v poraste bude považovaná medzera, ktorej priestor je vyplnený jedincami novej generácie s minimálny priemerom $d_{1,3}$ 8 cm.

Evidencia prirodzeného zmladenia

Plošné zachytenie prirodzenej obnovy bude vykonávané pomocou prístroja FieldMAP na celej ploche porastu. Prirodzená obnova bude zároveň klasifikovaná do kategórii podľa výšky resp. hrúbky jedincov. Na klasifikáciu jedincov prirodzenej obnovy na celej ploche TVP bude použitá nasledovná klasifikačná schéma (Röhring u. Gussone1990 ex Tabaku 1999, upravené):

Trieda	Popis kategórie
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

Jedince prirodzenej obnovy, ktoré nedosiahli $d_{1,3}$ 2 cm budú na ploche tranzektu klasifikované podľa výšky do nasledovných kategórií (Korpeľ 1989):

Trieda	Popis kategórie
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 do hrúbky $d_{1,3}$ 2,0 cm.

Jedince prirodzenej obnovy ktoré dosiahli $d_{1,3}$ 2 cm budú pozične zamerané v pomocou prístroja Field-MAP (viď „Pozičné zameranie živých stromov a plošné projekcie koruny“). Plošné zameranie prirodzenej obnovy bude konfrontované s plošnou distribúciou medzier v hornej vrstve porastu a mapou plošnej distribúcie mŕtveho dreva.

Určovanie vývojových štádií

Vývojové štádium bude určované pre každú čiastkovú plochu jednotlivo. Jednotlivé ČP budú zatrieďované do troch vývojových štádií podľa Korpeľa (1989), štádium dorastania, optima a rozpadu. Na zatriedenie ČP do štádia bude použitá upravená schéma na zatrieďovanie vývojových štádií podľa Tabaku (1999).

Pri zatrieďovaní jednotlivých čiastkových plôch budú uvažované nasledovné porastové charakteristiky:

- maximálna výška (h_{max}) stromu nameraná na konkrétnej ČP,
- maximálna hrúbka (d_{max}) stromu na ČP,
- plošný podiel prirodzenej obnovy z plochy ČP,
- suma korunových projekcií jedincov s $d_{1,3}$ 8 cm,
- podiel objemu nekromasy z celkovej zásoby na ČP,

- hrúbkové spektrum všetkých stromov na ČP (stanovenie kvartilového rozpätia),
- rastová fáza následnej generácie (mladina, žrďkovina, žrďovina).

V prvej fáze zatriedenia ČP do konkrétneho vývojového štádia je potrebné určiť drevinu, ktorá je nositeľkou štruktúry, resp. určujúca pre dĺžku vývojového cyklu pralesa. Kedže bude hodnotená každá ČP jednotlivo, i určujúca drevina bude stanovená pre každú ČP jednolivo. Ako kritérium, ktoré bude použité pre určenie druhu dreviny, ako nositeľa štruktúry, bol stanovený podiel kruhovej základne konkrétneho druhu z celkovej kruhovej základne na danej ČP. To znamená, že drevina s najväčším podielom kruhovej základne z celkovej kruhovej základne bude následne hodnotená pomocou zatrieďovacej schémy.

Kancelárske práce

Zhromaždené empirické údaje sme spracovali použitím klasických štatisticko -matematických metód.

V prvom kroku bolo je potrebné vypočítať pre každú TVP základné dendrometrické veličiny, a to celkovú zásobu, počet stromov a celkovú kruhovú základňu. Pre každého jedinca tranzektu podľa druhu dreviny sa osobitne vypočíta objem hrubiny s kôrou na základe priemernej hrúbky a jeho celkovej výšky. Na ostatnej ploche sa na základe hrúbok zatriedených do 4 cm hrúbkových stupňov podľa drevín a výšok prevzatých z výškového grafikonu vypočíta objem hrubiny s kôrou pre každú drevinu a hrúbkový stupeň zvlášť. Obdobný postup bude použitý pre výpočet kruhovej základne.

Objem ležiaceho mŕtveho dreva vypočítava FieldMAP automaticky podľa Smalianovho vzorca. Objem celých stojacích mŕtvych stromov sa vypočíta rovnakým spôsobom ako objem stojacích živých stromov.

Produkčné využitie disponibilného priestoru a plošný zápoj budú určované iba pre jedince nachádzajúce sa na tranzekte.

Plošný zápoj

Pre výpočet plošného zápoja bude potrebné najprv z nameraných priemetov korún x_1–x_4 odvodiť šírku korún stromov jednotlivo pre každý strom podľa vzorca:

$$b = \frac{\sum r_i}{2}$$

kde: b – šírka koruny, r_i – polomery korún v štyroch smeroch.

Vypočítaním plôch korunových projekcií všetkých stromov dostaneme sumu korunových projekcií na celom tranzekte (S_k). Ak vydelíme sumu korunových projekcií (S_k) plochou tranzektu (S_{tr}), dostaneme plošný zápoj (PZ):

$$PZ = \frac{S_k}{S_{tr}}$$

Využitie disponibilného priestoru

Pre výpočet uvedenej charakteristiky bude potrebné vypočítať dĺžky korún a ich objemy pre každý strom na tranzekte. Na výpočet budú použité tieto vzorce:

Dĺžka korún (*l*):

$$l = h - h_z$$

kde: *l* – dĺžka koruny, *h* – výška stromu, h_z – výška nasadenia koruny.

Objemy korún stromov (C_k) sa vypočítajú podľa vzorca Assmanna, 1961:

pre listnaté dreviny:

$$C_k = \frac{\pi}{8}.b^2.l$$

kde: *b* – šírka koruny stromu, *l* – dĺžka koruny stromu,

pre ihličnaté dreviny:

$$C_k = \frac{\pi}{12}.b^2.l$$

kde: *b* – šírka koruny stromu, *l* – dĺžka koruny stromu.

Spočítaním objemov korún jednotlivých stromov dostaneme sumu objemov korún na celom tranzekte (*C*):

$$C = \sum C_k$$

Produkčný priestor tranzektu (V_{tr}) dostaneme vynásobením hornej výšky (h_0) plochou tranzektu (S_{tr}):

$$V_{tr} = S_{tr} \,.\, h_{10\%}$$

kde: S_{tr} – plocha tranzektu, $h_{10\%}$ – horná výška porastu.

Produkčné využitie disponibilného priestoru (*VDP*) korunami stromov vypočítame ako:

$$VDP = \frac{C}{V_{tr}}$$

ZÁVER

Práca poskytuje rámcový prehľad problematiky a predkladá metodický postup, ktorý bude použitý pri zbere a následnej analýze dát z NPR Hrončecký Grúň. Metodika je stále v štádiu precizovania, niektoré úpravy a prispôsobenia je možné vykonať až po započatí samotných terénnych prác.

Výskum vývoja a rastových procesov v prírodnom lese je základným predpokladom pre racionálne využívanie a pestovateľské usmerňovanie lesov všetkých kategórií. Poznatky takto získané majú vysokú výpovednú hodnotu o fungovaní pôvodného, človekom nenarušeného prírodného ekosystému a tvoria významnú porovnávaciu rovinu pre produkčné a funkčné usmerňovanie lesa obhospodarovaného podľa princípov prírode blízkeho pestovania lesov.

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.

Assmann , E., 1961. Waldertragskunde. BLV München, Basel, Wien. 361 s.

Drössler, L. 2006: Struktur und Dynamik von zwei Buchenurwäldern in der Slowakei, Disertation, Göttingen, 103 s.

Fröhlich, J. 1951: Urwaldpraxis. Radebeul u. Berlin, 200 s.

Jankovský L., Tomšovský M., Beránek J., Lička D., 2006: Analýza postupů ponechávání dřeva k zetlení z hlediska vlivu na biologickou rozmanitost. Brno, 27 s.

Jeník, J. 1979: Ecological meaning of stability. In: Stability of spruce forest ecosystems. Symposium MAB, Brno, p. 7–15.

Korf, V. 1939: Příspěvek k matematické definici vzrůstového zákona hmot lesních porostů. Lesnická práce, 18, s. 339–379.

Korpeľ, Š. 1989: Pralesy Slovenska. Bratislava : Veda, SAV. 332 s.

Korpeľ, Š. a kol. 1991: Pestovanie lesa. Bratislava: Príroda, 465 s.

Korpeľ, Š., 1995: Die Urwälder der Westkarpaten. Fischer Verlag. Stuttgard, Jena – New York 1995, 310 s.

Kucbel, S., 2003: Charakteristika modelovej štruktúru vysokohorského smrekového lesa v oblasti Prašivej v Nízkych Tatrách, *Acta facultatis forestalis Zvolen* 45: 173–186.

Ott, E., et al., 1997: Gebirgsnadelwälder. Haupt Verlag Bern – Stuttgard – Wien, 228 s.

Parobeková, Z., 2007: Štruktúra, textúra, produkcia a regeneračné procesy NPR Dobročský prales. Projekt dizertačnej práce, Zvolen, 52 s.

Pelíšek, J., 1958: Půdy boubínskeho pralesa a jeho okolí v oblasti Šumavy. Lesnictví, 1, s. 21–38.

Rubner, K., 1968: Grundlagen des naturnahen Waldbaus in Europa. Forstwiss. Centralblatt,1, s. 8–36.

Runkle, J. R. 1992: Guidelines and Sample Protocol for Sampling Forest Gaps. Forest service, General Technical Report PNW-GTR-283.

Saniga, M. – Schütz J.,Ph.: Relation of deadwood coarse within the development cycle of selected virgin forests in Slovakia. Journal of forest science 48 (12): 513–528.

Saniga, M., 2000: Vplyv štruktúry výberkového lesa s rôznou úrovňou porastovej zásoby na regeneračné procesy v oblasti Oravských Beskýd. *Beskydy* 13: 145–150.

Saniga, M., 2002: Štruktúra, regeneračné procesy a model výberkového lesa v orografickom celku Oravské Beskydy. *Acta facultatis forestalis Zvolen,* XLIV: 71–82.

Saniga, M., 2004: Štruktúra, rastové a regeneračné procesy prírodného lesa v NPR Hrončecký grúň. Ochrana prírody 23: 112–124.

Šály,R. 1975: Výskum pôdneho prostredia vybraných štátnych prírodných rezervácií na Slovensku. Záverečná správa výskumnej úlohy č. VI-5-5-/11, LF VŠLD Zvolen, 169 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.

Adresa autora:
Ing. Miroslav Balanda
Katedra pestovania lesa
TU Zvolen Masarykova 24
960 53 Zvolen, Slovenská republika

e-mail: balanda@vsld.tuzvo.sk

The characteristics of metodics for evaluation of structure, texture, diversity and regeneration processes in NNR Hrončecký Grúň

Summary

The main aim of the paper is to analyse the problematics of natural mixture forests in the middle-European conditions and define the metodics that will be used for data collection on the permanent research plots in the National Nature Reserve Hornčecký Grúň. The author describes basal problems in the PRP establishment in the chapter „Analyse of metodics“. The next chapter provides the specifications of the stand characteristics, that will be measured on PRP´s, separately for entire plot and transect. The paper in general solves the evaluation of collected data.

ACTA FACULTATIS FORESTALIS XLX
ZVOLEN – SLOVAKIA 2008

ANALÝZA KONCEPCIE PRÍRASTKOVÉHO HOSPODÁRSTVA DUBOVÝCH A BUKOVÝCH PORASTOV S VYUŽITÍM RASTOVÉHO SIMULÁTORA SIBYLA

Martin S C H N E I D E R

Schneider, M.: Analýza koncepcie prírastkového hospodárstva dubových a bu-kových porastov s využitím rastového simulátora SIBYLA. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, **XLX**, 2008, č. 1, s. 97–114.

Cieľom práce bolo pre lesnícku prax odporučiť intenzitu výchovných zásahov v zmiešaných listnatých porastoch duba a buka nad 50 rokov, v ktorých je zámerom prírode blízke obhospodarovanie lesa vo forme uplatňovania koncepcie hodnotového prírastkového hospodárstva. Ďalej bol cieľ stanoviť približný vek hodnotovej rubnej zrelosti u buka a duba, a taktiež odporučiť ich cieľové hrúbky na základe využitia algoritmov výpočtov a rastových simulácií s vykonaním výchovných zásahov pomocou rastového simulátora SIBYLA a sortimentácie 16 cieľových stromov (CS) duba kvality A a B, 12 CS buka kvality A na 8 vybratých jednorázových skusných plochách meraných v roku 2007 v porastoch v slt *Fageto-Quercetum* a *Querceto-Fagetum* a 1 skusnej ploche v slt *Fagetum pauper nst.* v LUC Kulháň na LS Duchonka, OZ Prievidza. Na základe analýzy prebierok a sortimentovej štruktúry jednotlivých najkvalitnejších CS a im prislúchajúcich sortimentačných tabuliek som dospel k odporučeniu intenzity (sila) výchovných zásahov v každom decéniu v porastoch od 50 do 70 rokov a porastoch vo veku 80 až 110 rokov. Približný rubný vek rozlišujem pre dub podľa slt FQ a QF. Tieto veky zodpovedajú veku porastov (stromov), kedy by mali dosiahnuť CS duba minimálne hrúbky, pri ktorých nastane najvyšší posun v sortimentovej štruktúre jednotlivého kmeňa kvality A a B v prospech sortimentov v I. akostnej triede, a tým aj cene (hodnote). Pri buku som na podklade najmä sortimentačných tabuliek a analýzy kriviek CBP a CPP hodnotového zistil fakt, že optimálna štruktúra sortimentov jednotlivého kmeňa je v určitom veku, resp. vekovom rozpätí. Po tomto veku dochádza k výraznému a rýchlemu znehodnocovaniu najkvalitnejších kmeňov triedy A.

Kľúčové slová: prírastkové hospodárstvo, intenzita prebierok, rubný vek, minimálna cieľová hrúbka, zmiešané listnaté porasty, modelovanie rastu

1. ÚVOD A PROBLEMATIKA

Buk lesný (*Fagus sylvatica* L.) je najzastúpenejšou drevinou v našich lesných porastoch. Spolu s dubom zimným (*Quercus petrea* L.) vytvára zmiešané porasty v 2. bukovo-dubovom a v 3. dubovo-bukovom lesnom vegetačnom stupni. Buk je zastúpený 31,2 %, dub bez rozlíšenia, či ide o dub zimný alebo letný 10,9 %. Buk, spolu s hrabom

(*Carpinus betulus* L.) a v nižších polohách lipou malolistou (*Tilia cordata* MILL.) plní v tejto zmesi nielen drevoprodukčnú funkciu zameranú na produkciu kvalitných sortimentov, ale aj výchovnú funkciu. V podúrovni zatieňuje kmeň duba, dreviny náchylnej po náhlom osvetlení k aktivizácii spiacich púčikov a vytváraniu tzv. vlčích vetiev, ktoré znižujú kvalitovú hodnotu jeho sortimentov.

Európske lesníctvo je v poslednom období pod stupňujúcim sa ekonomickým tlakom, dlhšie sa hovorí o ekonomicky nutnej výchove porastov. Cieľom je znižovať finančné náklady v prvých rastových fázach lesa, ktoré neprodukujú objem hrubiny na nutné minimum. Táto snaha je najnaliehavejšia v porastoch listnatých drevín hlavne buka a duba. Ak potom chceme listnaté porasty dostať do vyššieho zisku, musíme zvýšiť podiel najkvalitnejších sortimentov a pestovnú starostlivosť biologicky zlacniť. V zmiešaných listnatých porastoch s prevahou duba, resp. buka budeme musieť pri ich obhospodarovaní viac prihliadať na pôdu, väčšiu starostlivosť venovať formovaniu a rastu zdravej koruny kvalitných jedincov v zmysle zásady, kvalitný kmeň potrebuje kapacitne veľkú korunu, pre vysokú asimiláciu kvalitnej drevnej hmoty (Saniga 2005).

1.1 Prírode blízke obhospodarovanie lesa

V stále častejšie skloňovanej téme globálneho otepľovania a meniacich sa klimatických a ekologických podmienkach vystupuje do popredia problematika udržania a návratu k pôvodným lesným ekosystémom. Na území Slovenska majú 70–75 % zastúpenie autochtónne lesné dreviny a ich porasty.

Prírode blízke obhospodarovanie lesa rešpektuje všetky prírodné zákonitosti lesa a využíva ich na jeho trvalé udržanie a zefektívnenie využívania prírodných zdrojov a znižovanie nákladových vstupov do lesnej výroby. Cieľom je zachovanie, ochrana a zlepšenie stavu lesných ekosystémov. Zo zámeru prírode blízkeho obhospodarovania vychádza aj nová pestovná koncepcia prírastkového hodnotového hospodárstva mozaikových porastov rozpracovaná Sanigom (2007).

1.2 Prírastkové hodnotové hospodárstvo listnatých drevín

Pestovná koncepcia prírastkového hodnotového hospodárstva listnatých drevín, ktorá vychádza z dlhoročných výskumov bukových a dubovo-bukových prírodných lesov, pre ktoré je charakteristická 2–3 vrstvová výstavba počas celého vývojového cyklu a maloplošná textúra. Striedanie vývojových štádií počas vývojového cyklu listnatého pralesa je charakterizované určitými znakmi, ktoré je možné uplatniť pri obhospodarovaní a pestovnom usmerňovaní lesov 1.–4. lvs (Saniga 2007).

1.3 Výchovné zásahy ako nástroj vystupňovania hodnotovej produkcie listnatých porastov – tvarová a uvoľňovacia prebierka

Predpokladom uplatnenia uvoľňovacej prebierky je dôsledná a systematická výchova porastov v mladších rastových fázach mladiny čistkou, žrďkoviny a žrďoviny úrovňovými prebierkami s pozitívnym výberom. Proces zvyšovania kvalitnej porastovej zásoby bude potrebné začať v rastovej fáze tenkej kmeňoviny vo veku nad 50, resp. 60 rokov, kedy je kvalita systematicky vychovávaného kmeňa v listnatých porastoch vyformovaná. Úrovňové prebierky s pozitívnym výberom, dostatočne dlhý priamy, priebežný a plnodrevný 10–15 metrový kmeň vytvárajú predpoklad pre maximálne možný rozvoj koruny ako nositeľa asimilačného aparátu. V tejto rastovej fáze porastu je potrebné posudzovať jednotlivé stromy z hľadiska ich prírastkového potenciálu.

Rozdiely v prírastkovom potenciáli jednotlivých stromov v poraste sú jedným z najdôležitejších predpokladov pre ich priaznivé ovplyvňovanie cez individuálny výber. Jeho úlohou je uvoľniť korunu kvalitných jedincov odstránením menej kvalitných, málo prirastavých zložiek s cieľom vystupňovania vysokého objemového prírastku na ich kmeni. Celý pestovný zásah je orientovaný na formovanie a zväčšovanie objemu, hlavne zvyšovaním podielu clonenej plochy ich korún, čím sa má stupňovať prírastková energia jednotlivého stromu cez väčší prístup svetla a väčšiu kapacitu asimilačného aparátu. Ide predovšetkým o zvýšenie podielu osvetlenej časti koruny úrovňových stromov.

Čím je koruna pri nadúrovňovom postavení stromu voľnejšia, alebo bola priaznivo uvoľnená pri uvoľňovacích prebierkach, tým viac sa zväčšuje dĺžka jej osvetlenej časti. Pri buku sa tvar osvetlenej časti koruny blíži ku kubickému paraboloidu alebo pologuli, teda korunová výtvarnica (podiel osvetlenej dĺžky koruny k celkovej) má hodnotu väčšiu ako 0,5. Assmann (1968) uvádza, že sĺnna koruna vplýva omnoho viac na celkový výsledok asimilácie ako tienna koruna, ktorej asimilačný prebytok pri vysokých respiračných stratách je veľmi malý.

Saniga (2007) odporúča väčšiu silu zásahu ako je bežný predpis LHP v porastoch zmiešanín listnatých drevín, najmä buka a duba. Hovorí o silných uvoľňovacích zásahoch na úrovni 15–25 % zásoby združeného porastu oproti bežným, taxátorom predpísaným 10 %.

Ako sme už bolo uvedené, v bukovo-dubových a dubovo-bukových porastoch je aj buk nositeľom hodnotovej produkcie, pričom podúrovňové a úrovňové jedince plnia výchovnú a stabilizačnú funkciu. Vo viacerých zdrojoch sa uvádza a je všeobecne platným poznatkom, že dub dosahuje v týchto porastoch najvyššiu kvalitu. Na vlhkých a nitrofilnejších stanovištiach v dolinkách alebo hlbších zárezoch je prirodzenou drevinovou prímesou javor horský (*Acer pseudoplatanus* L.) a jaseň štíhly (*Fraxinus excelsior* L.) treba počítať s ich podielom na hodnotovej produkcii 15–20 % (Saniga 2007).

2. CIEĽ

Táto práca vychádza z novotvoriacej sa koncepcie prírastkového hodnotového hospodárstva a prírode blízkeho obhospodarovania lesa. V lesníckej praxi sa začína uplatňovať pestovná koncepcia prírastkového hodnotového hospodárstva zmiešaných listnatých lesov, ktorá zo sebou prináša viaceré nové prvky. Ide najmä o tejto koncepcii nevyhovujúce a sporné predpisy objemov výchovných ťažieb stanovené podľa decenálnych prebierkových percent Halaja *a kol*. (1986), ktoré sú často nepostačujúce.

Práca sa zaoberá odporučením intenzity výchovných zásahov v porastoch nad 50 rokov v zmysle uvedenej pestovnej koncepcie a tvorby mozaikových porastov. Preverenie intenzity výchovných zásahov a stanovenie veku, do akého majú byť ponechávané v porastoch najkvalitnejšie jedince, najmä duba, si vyžiadala lesnícka prax v podobe pracovníkov LS Duchonka. Intenzitu výchovných zásahov budeme odporúčať v jednotlivých decéniách vo vytypovaných porastoch v skupinách lesných typov *Fageto-Quercetum* a *Querceto-Fagetum* a *Fagetum pauper* nst., v ktorých je do budúcnosti zámerom zmeniť spôsob a formu obhospodarovania platných podľa predchádzajúceho LHP.

Zmeny ťažbových predpisov v ponímaní tvorby klasického LHP budú vyžadované v nasledujúcom období pri tvorbe nového LHP, platného pre budúci LC Kulháň od roku 2010.

Ďalej si prax vyžiadala odporúčanie minimálnej hrúbky cieľových stromov, do ktorej by mali byť najkvalitnejšie jedince v porastoch ponechávané, aby dosiahli čo možno najvyššiu hodnotu sortimentov. V zmiešaných bukovo-dubových a dubovo-bukových porastov na území LS Duchonka boli na podklade skupín lesných typov *Fageto-Quercetum* a *Querceto-Fagetum* a *Fagetum pauper* nst., resp. 2. a 3. lesného vegetačného stupňa, odvodené minimálne hrúbky jednotlivých najkvalitnejších stromov duba a čiastočne buka a ich približného rubného veku.

Rubný vek jednotlivých cieľových stromov duba a buka je odvádzaný na základe analýz kriviek CBP a CPP hodnotových cieľových stromov a veku dosiahnutia minimálnych cieľových hrúbok.

Úloha bude rešená pomocou moderného slovenského rastového simulátora SIBYLA, ktorá vo svojich submodeloch poskytuje vhodný nástroj realizácie aj zložitejších modelových situácií.

3. MATERIÁL A METÓDY

3.1 Pestovná a taxačná charakteristika vybraných porastov a skusných plôch

V tab. 1 uvádzame prehľad základných údajov o vybraných skusných plochách v jednotlivých dielcoch.

Tab. 1 Základné údaje o skusných plochách

Tab. 1 Basic data about sample plots

plocha	slt	výmera (ha)	zastúpenie (%)		bonita		zakmenenie	počet stromov	počet CS	
			db	bk	db	bk			db	bk
1158	FQ	22,48	42,70	57,30	28	32	0,96	28	1	2
1160a	FQ	9,49	48,00	52,00	34	30	1,23	51	2	2
1174	FQ	4,59	72,57	26,25	28	34	0,81	42	3	0
1234	FQ	17,87	99,66	0,34	24	26	1,01	50	2	0
1359	FQ	5,04	98,23		26		1,14	47	3	0
1231	QF	9,40	57,63	42,37	28	30	0,96	31	2	2
1350	QF	18,62	60,60	39,40	26	30	1,04	43	3	1
1352	QF	7,73	9,00	91,00	26	28	1,01	41	1	2
1241a	Fp	15,05	12,47	87,53	24	26	1,15	79	1	3

3.2 Použitie modelu SIBYLA

Ako prostriedok na uskutočnenie cieľa tejto práce sme sa rozhodli využiť najvariabilnejší a z pohľadu ponúkaných výstupov a ich presnosti najpresnejší slovenský rastový model SIBYLA (Fabrika 2005).

Zameriavame sa na stanovenie intenzity výchovných zásahov a prírastkov jednotlivých vytypovaných stromov v rovnovekých, v rôzne zmiešaných bukovo-dubových a dubovo-bukových porastoch na LS Duchonka v LUC Kulháň.

3.2.1 Získavanie vstupných údajov a ich editácia v prostredí SIBYLA Generátor

Vyberali sme v rámci slt FQ, QF a Fp (Ft). Nakoniec sa do výberu po rekognoskácii terénu a pochôdzke po týchto porastoch dostalo 9 porastov v slt FQ (5 porastov), QF (3 porasty) a Fp nst (1 porast). V každom poraste bola nakoniec vybraná skusná plocha tak, aby zodpovedala vytypovanému lt a približne druhu a stupňu zmiešania. Potom sme vytýčili a vykolíkovali plochu o rozmere štvorca 25 × 25 metrov (0,0625 ha), na sledovanie dynamiky vývoja 1–3(4) sociologických skupín. Plochy boli vyberané v málosklonitom teréne a na rovinách.

Na každej takejto skusnej ploche boli merané a zisťované pre každý strom:

1. číslo a poloha jednotlivého stromu v pravouhlom súradnicovom systéme s počiatkom v JZ rohu plochy (s presnosťou na 1 dm),
2. druh dreviny,

3. hrúbka $d_{1.3}$ (cm) meraná milimetrovou priemerkou Haglof,
4. výška h (m) meraná výškomerom Suunto,
5. výška nasadenia koruny ch (m),
6. poškodenie (1 – poškodený, 0 – nepoškodený),
7. mortalita (1 – odumretý, 0 – živý),
8. kvalita kmeňa (A–D, podľa platnej normy),
9. sklon (%),
10. expozícia,
11. nadmorská výška (odčítaním z porastovej mapy),
12. výber cieľových najkvalitnejších jedincov.

Samotná editácia nasledovala po ukončení terénnych prác. Prebiehala v module ***SIBYLA Generátor*** na úrovni vstupov jednotlivého stromu. Boli zaznamenávané v rámci druhu dreviny poradové číslo stromu, hrúbka (dbh), výška (h), výška nasadenia koruny (ch), súradnice polohy (x, y), vek (t), kvalita (qual), poškodenie (dmg), mortalita (mort). Následne bola dogenerovaná štruktúra a zvyšné údaje.

Ďalej nasledovala editácia vstupných klimatických a nutričných parametrov na základe všeobecnej charakteristiky vybraného územia v module ***SIBYLA Lokalizátor***. Editovala sa lesná oblasť (LO 5 – Považský Inovec), nadmorská výška, expozícia (v azimute), sklon (%) a lesný typ (z LHP sme získali čísla lt a uviedli ten, ktorý sa vyskytoval na skusnej ploche, pri podobných lt najzastúpenejší). Po vygenerovaní rastových kriviek so všeobecných klimatických údajov sa zistilo, že sa signifikantne nelíšia od bonít uvedených v LHP pre dané porasty.

3.2.2 Simulácia a modelovanie výchovných zásahov v 3-D VRML a v prostredí SIBYLA Kultivátor

Keďže cieľové stromy sme vytypovali a očíslovali už v teréne, v prvom rade sme sa zamerali na ich označenie vo virtuálnej realite 3-D modelu. Ďalej nasledovalo označenie vybraných stromov do prebierky, ak boli tieto vyznačené už v teréne, alebo sme postupovali podľa stanoveného cieľa pomoci budúcim rubným stromom. S ohľadom na dostatočné uvoľnenie koruny za účelom jej formovania boli odstránené 2-3 úrovňové alebo vrastavé škodlivé jedince. K stupňu pomoci bolo treba pristupovať individuálne, nakoľko v niektorých porastoch bol vykonaný výchovných zásah v tomto desaťročí v uplynulých 2 až 3 rokoch. Všeobecne sme sa držali zásady, že buku pomáhame maximálne (stupeň 2–3), dubu individuálne aj odstránením vrastavých jedincov (stupeň 1–2(3)). Ďalej bol nastavená prebierka uložená pre aktívny záznam a prebehol prebierkový model.

3.2.3 Simulácia v SIBYLA Prorok

Simulácie sme nastavili s počtom opakovaní 1, bez reziduálnej zložky a korekcie okrajového efektu (pre zjednodušenie neskorších výpočtov). Po zbehnutí simulácie sme uložili poslednú periódu (2. perióda po desiatich rokoch) ako prvú periódu nasledujúceho decénia. Simulácie s popísanými výchovnými zásahmi pokračovali s rovnakým postupom až do doby, kedy na simulovanej skusnej ploche nezostali len cieľové jedince (približne do veku 140–150 rokov). Ďalej bola simulácia bez výchovných zásahov na niekoľko desaťročí dopredu.

3.3 Export získaných dát, ich analýza a výpočty

Po sérii simulácií jednej skusnej plochy (porastu) boli exportované požadované vybrané dáta programových databáz Sibyla.dbf a Prorok.dbf do vlastnej databázy a aplikácie MS Excel na ďalšie spracovanie.

3.3.1 Intenzita zásahov

Intenzitu (silu) zásahov (1) v jednotlivých desaťročných periódach pre každú skusnú plochu sme získali ako podiel hektárovej zásoby podružného (prebierka) a združeného porastu (pred prebierkou):

$$I\% = \frac{Vt(m^3.ha^{-1})}{Vc(m^3.ha^{-1})}.100 = \% \qquad (1)$$

Zásoby boli získané z databázy Sibyla.dbf.

3.3.2 Výpočet objemu cieľových stromov a ich sortimentácia

Objem cieľových stromov sme počítali pre každý rok z dopočítaných údajov o ich hrúbkach a výškach objemovými rovnicami pre dub a buk v h. b. k. (Petráš, Pajtík 1991).

Hrúbka bola počítaná podľa algoritmu výpočtu prevzatého z rastového simulátora bez zaokrúhľovania hrúbok (Fabrika 2005):

1. maximálny hrúbkový prírastok

$$i_{d\max} = d_{1.3}\frac{k}{\left(\frac{-k}{\ln\left(\frac{d_{1.3}}{c.A}\right).(p-1)}\right)^{\frac{p}{p-1}}} \qquad (2)$$

kde koeficienty *A, k, p* (parametre Korfovej funkcie) a *c* modelu sú uvedené v tab. 3,

2. maximálna prírastok na kruhovej základni

$$i_{g\max} = \frac{\pi}{4}.\left[\left(d_{1.3} + i_{d\max}\right)^2 - {d_{1.3}}^2\right] \tag{3}$$

3. prírastok na kruhovej základni vypočítaný pomocou stanovištného redukčného faktora r_g, redukčného faktora vitality stromu r_V, redukčného faktora konkurenčného tlaku r_C. (Koeficienty r_g a a_5 sú prevzaté z modelu, podobne aj vstupné dáta pre výpočet r_V a r_C.)

$$i_g = i_{g\max} \,.\, a_5.\, r_8 \,.\, r_v \,.\, r_c \tag{4}$$

4. hrúbkový prírastok stromu

$$i_d = \sqrt{{d_{1.3}}^2 + \frac{4.i_g}{\pi}} - d_{1.3} \tag{5}$$

Tab. 2 Parametre Korfovej funkcie a multiplikátor *c* pre vybrané dreviny
Tab. 2 Parameters of Korf's function and the *c* – multiplier for selected tree species

drevina	A	k	p	c
buk	235,2344	5,846434	1,436825	2,04
dub	201,9198	4,746941	1,418058	1,73

Výška h_{j+1} bola počítaná bez jej zaokrúhľovania súčtom výšky na začiatku aktuálneho roku h_j a jej prírastku, prevzatého z databáz modelu.

$$h_j + 1 = h_j + i_h \tag{6}$$

Objemové rovnice (Petráš, Pajtík 1991)

Buk

$$v = \left(a_1 + \frac{a_2}{d} + \frac{a_3}{d^2} + \frac{a_4}{d^3} + a_5.h + a_6.d.h + a_7.d^2.h + a_8.d^3.h\right)\frac{\pi.d^2}{40000}.h \tag{7}$$

Dub

$$v = \frac{\pi.d^2}{40000}.h\left[\left(a_1 + \frac{a_2}{h} + \frac{a_3}{h^2} + \frac{a_4}{d} + a_5.\frac{h}{d} + a_6.\frac{h^2}{d}\right) + \left(\frac{a_7}{d^2} + a_8.\frac{h}{d^2} + a_9.\frac{h^2}{d^2} + a_{10}.d^3 + a_{11}.\frac{h}{d^3} + a_{12}.\frac{h^2}{d^3}\right)\right] \tag{8}$$

Na ***sortimentáciu cieľových stromov***, ktorú sme vykonávali vždy na konci desaťročia, sme použili sortimentačné tabuľky hlavných drevín (Petráš, Nociar 1991).

3.3.3 Výpočet CPP a CBP hodnotových

Pre stanovenie priemerných a bežných 10-ročných hodnotových prírastkov bolo najskôr potrebné oceniť jednotlivé sortimenty podľa hrúbkových tried, ktoré sme získali sortimentáciou. Ocenenie a finančné hodnoty sú vykonané na základe bežných cien, ktoré boli platné v cenníku drevnej hmoty pre IV. kvartály roku 2007 na LZ Prievidza. Ceny uvádzané v tomto cenníku platia pre predaj sortimentov surového dreva, vyrobeného podľa Technických podmienok OZ Prievidza pre listnaté drevo. Sú stanovené v Sk za 1 m^3 surového dreva bez kôry, vyrobeného v kôre.

4. VÝSLEDKY A DISKUSIA

4.1 Odporučenie intenzity výchovných zásahov

Výsledky, ktoré nám poskytli náš výskum a analýzy potvrdili, opodstatnenosť požiadaviek lesníckej praxe na požiadavky hospodárskej úpravy lesa. Lesnícka prax, konkrétne LS Duchonka, mala požiadavku preverenia a odporučenia približnej sily výchovných zásahov v zmiešaných porastoch duba a buka nad 50 rokov, v ktorých chcú uplatňovať koncepciu prírastkového hodnotového hospodárstva.

Zistili sme, že v porastoch s väčším zastúpením buka na zásobe budú výchovné zásahy silnejšie (tab. 3). V tab. 3 je ďalej naznačené, že odoberanie zásoby vo veku 110 až 150 rokov sa postupne zvyšuje. Je to spôsobené práve individuálnym prístupom v starostlivosti o cieľového jedinca odstraňovaním konkurencie a rýchlejším odoberaním zásoby pre zabezpečenie prežívania a odrastania prirodzenej obnovy. V tomto veku sa predpokladá už malý počet relatívne objemných stromov na ploche, čo ich vyťažením spôsobí vyššie percento zásahu.

Vo veku od 100–110 rokov prakticky začína obnovná doba (u bukovo-dubových porastov je zväčša vo veku 105 rokov, u dubovo-bukových 115 rokov), ale v našom prípade sa jej striktne nedržíme. Vo veku približne 150 rokov predpokladáme na skusných plochách len existenciu cieľových jedincov, preto sa zásahy budú týkať len odstránenia konkurentov v rámci CS, resp, jedincov s dosiahnutou cieľovou hrúbkou.

Väčší rozptyl v sile výchovných zásahov medzi jednotlivými dielcami je zapríčinený tým, že v niektorých bola vykonaná prebierka v uplynulých 2–3 rokoch pred našim meraním a simuláciou. Preto nami navrhnutý zásah v prvom decéniu bude len veľmi mierny.

Môžeme konštatovať, že intenzita zásahov v jednotlivých decéniách sa vo veku 50 až 70 rokov bude pohybovať bez rozdielu slt a pomeru zastúpenia hlavných drevín buka a duba v priemere od 20 do 25 %. Vo veku 80 až 110 rokov bude sila zásahov okolo 13 až 14 %, na plochách s vyšším zastúpením buka 15–25 %. V neskoršom období už budú

zásahy viac orientované na prežitie a odrastanie prirodzenej obnovy, maximálne uvoľnenie koruny CS a prakticky na umožneniu postavenia solitéra znížením konkurenčného tlaku na minimum.

Tab. 3 Intenzita výchovných zásahov v % zásoby združeného porastu podľa dielcov a slt
Tab. 3 Intensity of thinnings according the forest compartments and groups of forest types

slt	FQ					QF			Fp nst	
vek	1158	1160a	1174	1234	1359	1231	1350	1352	1241	priemer
50	–	23,10	–	–	–	–	–	–	–	23,10
60	14,95	15,04	–	–	–	–	21,79	18,54	–	17,58
70	21,37	17,48	–	–	25,53	–	21,43	19,82	–	21,24
80	8,60	17,09	1,47	–	15,79	–	14,29	15,67	21,82	14,21
90	4,62	17,24	9,41	13,61	6,60	9,75	19,72	23,86	23,08	13,38
100	2,00	5,57	10,76	16,00	11,53	14,85	15,03	25,38	12,56	12,70
110	2,33	0,42	9,69	22,65	16,30	14,68	15,32	24,88	9,69	13,40
120	12,86	26,25	26,47	18,52	9,49	8,95	16,47	21,21	11,18	17,86
130	16,72	43,57	20,70	13,13	14,87	9,80	0,00	32,12	21,39	20,22
140	0,18	0,00	27,27	20,61	17,88	17,52	9,46	45,91	32,67	20,58
150	0,00	0,00	11,95	25,57	27,12	12,48	0,00	0,00	39,00	8,02

Stanovenie intenzity – sily výchovných zásahov má za cieľ orientačné zistenie a odporúčanie pre prax. Skúsenosti ukázali, že pri takomto smerovaní obhospodarovania zmiešaných listnatých porastov bežný predpis LHP stanovený podľa tabuliek prebierkových percent, ktoré vychádzajú s Assmannovej teórie kritickej kruhovej základne, je väčšinou nepostačujúci a núti lesného hospodára k žiadostiam o jeho zmenu.

4.2 Stanovenie cieľových hrúbok a rubného veku

Pri stanovení cieľových hrúbok vytypovaných najkvalitnejších jedincov duba a buka sme vychádzali z analýzy ich sortimentovej štruktúry a hodnoty sortimentov. Sortimentáciu sme robili podľa stromových sortimentačných tabuliek hlavných drevín (Petráš, Nociar 1991). Pre určenie rubného veku sme ocenili jednotlivé sortimenty každého cieľového stromu v každom decéniu.

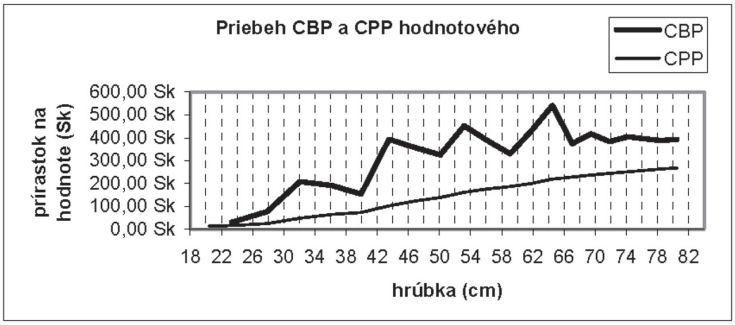
4.2.1 Cieľová hrúbka pre dub

Rozanalyzovali sme sortimentáciu duba kvalitovej triedy A a B podľa príslúchajúcich sortimentačných tabuliek. Cieľové jedince, ktoré sme vybrali na našich

skusných plochách boli takejto kvality. Na základe kvality kmeňa sme do triedy A zaradili 14 dubov a do kvalitovej triedy B 2 duby, ktoré sa nachádzali na skusných plochách.

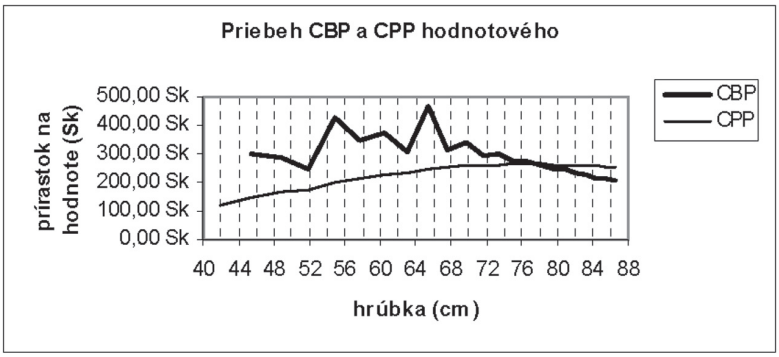
Zistili sme, že pri raste kvalitných jedincov dochádza k skokovým posunom v percentuálnom zastúpení jednotlivých sortimentov a ich hrúbkových tried. Tieto skoky majú za následok výrazné posuny v hodnote. Ceny v I. a II. triede sú veľmi výrazne ovplyvnené hrúbkovým stupňom. Preto v kombinácii s dorastaním hmoty dýharenských výrezov do väčších hrúbok dochádza k synergickému efektu v posúvaní hodnoty smerom hore. Je vhodné pri dobrom zdravotnom stave jedinca a priaznivých rastových podmienkach počkať, kým cieľový jedinec nedosiahne hrúbku minimálne 64,1 cm. Táto hrúbka je začiatkom hrúbkového stupňa 66 cm, kedy podľa sortimentačných tabuliek už dorástol sortiment I. triedy do 6. hrúbkového stupňa a tým aj do najvyššej hodnoty a zároveň tvorí významný podiel 34,9 % v kvalite A a 16,8 % v kvalite B na objeme stromu.

Ako príklad môžeme uviesť grafické znázornenie hodnotových prírastkov CS 51 na ploche porastu 1160a (slt FQ) v závislosti od hrúbky $d_{1,3}$ (obr. 1). Pozorujeme tu výrazné posuny v hodnotách CBP hodnotového (desaťročného) na začiatkoch jednotlivých hrúbkových stupňov. K ustáleniu prichádza až pri hrúbke 66 cm.



Obr. 1: Priebeh CBP a CPP hodnotového na príklade CS č. 51 v dielci 1160a v závislosti od hrúbky
Fig. 1: Development of increments on the example of target tree nr. 51 in the forest stand 1160A according the DBH

V niektorých prípadoch sa krivky CBP a CPP hodnotového preťali. Ako príklad môžeme uviesť prípad CS č. 41 v poraste 1350 slt QF (obr. 2). Objemový prírastok klesá veľmi pozvoľne aj vo vysokom veku. Rastie objem, pričom podiel najkvalitnejších sortimentov I. a II. akostnej triedy zostáva prakticky konštantný. Tým stúpa aj celková hodnota sortimentov. Ďalej môžeme pozorovať, že klesá podiel sortimentu III. A a výrazne rastie podiel vlákninového dreva (akostná trieda V.), čo tiež výrazne ovplyvňuje celkovú



Obr. 2: Priebeh CBP a CPP hodnotového na príklade CS č. 41 v dielci 1350 v závislosti od hrúbky
Fig. 2: Development of increments on the example of target tree nr. 41 in the forest stand 1350 according the DBH

4.2.2 Rubný vek pre dub

Predpokladáme, že pri dobrom zdravotnom stave CS duba ako dlhovekej dreviny sa krivky CBP a CPP hodnotového pretnú vo vysokom veku až po 300 rokoch. Preto sme ako kritérium hodnotenia rubného veku nebrali do úvahy túto skutočnosť, resp. vytvorenie vrcholu krivky CPP hodnotového, ale vek dosiahnutia hrúbkového stupňa 66 cm, t. z. minimálne 64,1 cm. Pre lepšiu orientáciu uvádzame hrúbky na konci jednotlivých decénií.

Pri simuláciách sme zistili, že priemerný rubný vek jednotlivého stromu je u duba v skupine lesných typov *Fageto-Quercetum* 176 rokov. V slt *Querceto-Fagetum* je 166 rokov, čo je o 10 rokov menej (tab. 4). V tejto slt výsledky mierne skresľujú údaje zo skusnej plochy v dielci č. 1231, ktorá bola podľa Sanigu (2005) vychovávaná podúrovňovými prebierkami, stromy majú kratšie koruny a menšiu plochu asimilačného aparátu a na začiatku simulácií sme jej prisúdili vek 90 rokov. Na ostatných plochách v slt *QF* je cieľová hrúbka dosiahnutá v priemere o 50 rokov skôr oproti stromom na plochách v rovnakej slt a podobných lesných typoch.

Do výsledkov sme zaradili aj údaje skusnej plochy v poraste 1241a, v ktorom prevažuje lesný typ 3312 – ostricová bučina nst. a patrí do slt *Fagetum pauper* nst. Je to najmä z dôvodu, že v takýchto porastoch je horná hranica rozšírenia duba (Križová 1998) a na skúmanom území je alebo bol jeho podiel zastúpenia v porastoch pomerne významný.

Tab. 4 Priemerná hodnota cieľového stromu v približnom rubnom veku podľa slt (dub zimný)
Tab. 4 Average value of target tree in mature age according the group of forest types (*Quercus petraea*)

FQ						
dielec	**CS**	**$d_{1.3}$ (cm)**	**v (m^3)**	**vek**	**hodnota CS (Sk)**	**kvalita**
1158	14	65,21625	5,52809919	170	40 592,72 Sk	A
1160a	51	64,5118	5,38050336	180	39 508,93 Sk	A
1174	5	65,24897	4,97163886	180	36 506,64 Sk	A
	23	64,41847	4,65419453	160	34 175,66 Sk	A
	29	64,85904	4,99765402	160	36 697,67 Sk	A
1234	33	65,84556	4,21068438	200	20 724,15 Sk	B
	44	65,65273	4,15378288	190	20 444,09 Sk	B
1359	5	65,62987	4,58175862	160	33 643,76 Sk	A
	31	64,00505	4,4350347	180	32 566,37 Sk	A
	38	65,87438	4,71542609	180	34 625,28 Sk	A
priemer			**4,76287766**	**176**	**36 039,63 Sk**	**A**
					20 584,12 Sk	**B**
1231	1	64,78401	5,23059404	190	38 408,15 Sk	A
	19	64,33795	5,06181099	200	37 168,78 Sk	A
1350	11	64,96444	4,83853071	140	35 529,23 Sk	A
	41	65,39145	4,74117287	140	34 814,34 Sk	A
1352	2	65,29985	5,11238097	160	37 540,11 Sk	A
priemer			**4,99689791**	**166**	**36 692,12 Sk**	**A**
Fp nst						
1241a	40	64,81676	4,74091179	200	34 812,42 Sk	A
priemer			**4,74091179**	**200**	**34 812,42 Sk**	**A**
priemer celkom			**4,83356245**	**181**	**32 032,07 Sk**	

4.2.3 Cieľová hrúbka a rubný vek pre buk

Pre stanovenie a odporúčanie cieľovej hrúbky a rubného veku sme použili iný postup ako pri dube. Základom pre rozhodnutie bolo preskúmanie stromových sortimentačných tabuliek pre buk. Tabuľky pre túto drevinu sú päťparametrové. Zohľadňujú hrúbku a vek stromu, kvalitu a poškodenie kmeňa a rastovú oblasť (Petráš, Nociar 1991).

Za predpokladu, že CS nebude počas svojho ďalšieho života poškodený, vytvorí takú štruktúru sortimentov svojho kmeňa v príslušnom veku, ktorá mu zabezpečí maximálnu

vysokú hodnotu. Celkový priemerný prírastok na tejto hodnote bude vrcholiť približne v 140–150 rokoch. Na základe toho sme usúdili, že rubný vek pri buku musí viac zohľadňovať štruktúru sortimentačných tabuliek, nakoľko pri ich konštrukcii bol použitý aj vek. Vek u buka pravdepodobne korešponduje aj s tvorbou nepravého jadra a tým znižovania hodnoty sortimentov kmeňa.

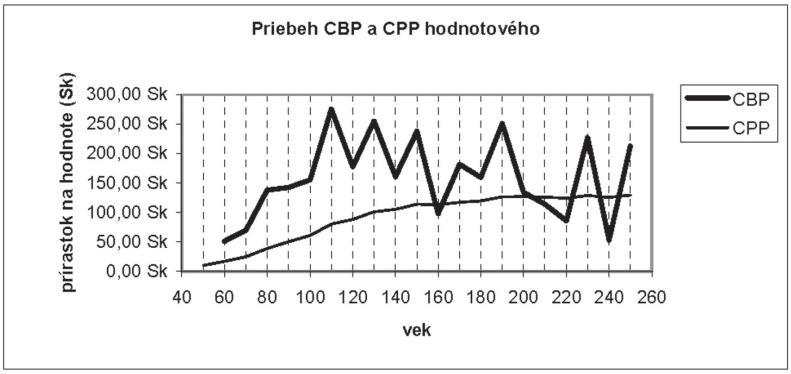
Zistili sme, že priemerný hodnotový prírastok skutočne vrcholí vo veku približne 140–150 rokov (tab. 5). Potom na základe uvedeného sa môžeme zamerať na maximalizáciu hrúbky a objemu vytypovaných CS do daného veku. Krivka CBP hodnotového pretne krivku CPP po veku 150 rokov (obr. 3).

Tab. 5 Vývoj celkovej hodnoty CS č. 33 v dielci 1160a a jeho CBP a CPP hodnotových
Tab. 5 Total value development of the tree nr. 33 in the forest stand nr. 1160A and its increases

t	hodnota	CBP	CPP	$d_{1,3}$ (cm)
50	518,35 Sk		10,37 Sk	20,5
60	1 033,68 Sk	51,53 Sk	17,23 Sk	23,558932
70	1 736,08 Sk	70,24 Sk	24,80 Sk	27,993788
80	3 114,10 Sk	137,80 Sk	38,93 Sk	32,565882
90	4 540,03 Sk	142,59 Sk	50,44 Sk	37,225703
100	6 092,38 Sk	155,23 Sk	60,92 Sk	41,746591
110	8 845,13 Sk	275,28 Sk	80,41 Sk	46,036061
120	10 619,44 Sk	177,43 Sk	88,50 Sk	50,12609
130	13 172,92 Sk	255,35 Sk	101,33 Sk	54,052982
140	14 780,88 Sk	160,80 Sk	105,58 Sk	57,972702
150	17 158,04 Sk	237,72 Sk	114,39 Sk	61,748969
160	18 139,82 Sk	98,18 Sk	113,37 Sk	65,389523

Analyzovali sme vývoj hrúbok, objemov a hodnoty sortimentov 11 CS buka. V tab. 10 sú zobrazené finančné hodnoty jednotlivých analyzovaných CS buka, ich hrúbky a objemy vo 140 rokov.

Priebeh kriviek CBP a CPP hodnotových u buka po veku 180 rokov už netreba brať do úvahy, nakoľko sa tento vek blíži k hornej hranici fyzického veku buka v porastoch (250 rokov). V takomto veku sa rapídne znižuje kvalita kmeňa znehodnocovaním a odumieraním jedinca.



Obr. 3: Priebeh CBP a CPP hodnotového na príklade CS č. 33 v dielci 1160a v závislosti od veku
Fig. 3: Development of increments on the example of target tree nr. 33 in the forest stand 1160A according the DBH

Môžeme skonštatovať, že buk má aj vzhľadom na optimálne rastové podmienky a bonity najlepší rast v slt FQ a QF. Pri dostatočnom uvoľnení koruny a následnej reakcii na zvýšený prísun svetla je jeho prírastok relatívne vysoký a dosiahne veľkých hrúbok v skoršom veku. To znamená, že čím je väčšia hrúbka u buka dosiahnutá skôr, tým je hodnota jeho kmeňa vyššia (tab. 6). Uvedené vyplýva aj z konštrukcie stromových sortimentačných tabuliek.

Na základe zistených faktov navrhujeme pri danom pestovnom zámere brať do úvahy cieľovú hrúbku ako kritérium rubnej zrelosti. Odporúčame dosiahnuť cieľovú hrúbku minimálne 60 cm v čo najskoršom veku, maximálne však do veku 140(150) rokov, ktorá približne predstavuje vek skončenia obnovnej doby u buka v slt FQ a QF.

Z konštrukcie stromových sortimentačných tabuliek buka vyplýva, že čím je hrúbka stromu vyššia v mladšom veku, tým je podiel najkvalitnejších sortimentov vyšší.

Tab. 6 Priemerná hodnota a hrúbka cieľového stromu v stanovenom veku 140 rokov podľa slt (buk lesný)
Tab. 6 Average value and DBH of target tree in the age of 140 years according the group of forest types

FQ						
dielec	**CS**	**$d_{1.3}$ (cm)**	**v (m^3)**	**vek**	**hodnota CS (Sk)**	**kvalita**
1158	2	62,60546	5,86510753	140	16 757,19 Sk	A
	8	66,37864	6,63754731	140	18 656,55 Sk	A
1160a	25	67,00532	6,8801277	140	19 338,39 Sk	A
	33	57,9727	5,11951173	140	14 780,88 Sk	A
priemer		**63,49053**	**6,12557357**		**17 383,25 Sk**	**A**

Tab. 6 Pokračovanie
Tab. 6 Continued

QF						
1231	15	56,67688	4,69834706	140	13 564,91 Sk	
	25	58,9243	4,98432269	140	14 390,57 Sk	
1350	34	70,95533	7,84654141	140	21 436,22 Sk	
1352	12	57,26496	4,81722106	140	13 908,12 Sk	
	32	67,52064	7,67190666	140	21 563,89 Sk	
priemer		62,26842	**6,00366778**		16 972,74 Sk	**sort A**
Fp nst						
1241a	4	51,81775	3,41607554	140	9 852,55 Sk	
	55	58,49495	4,4476367	140	12 841,07 Sk	
	63	54,51033	3,71154934	140	10 882,58 Sk	
priemer		**54,94101**	**3,85842052**		**11 192,07 Sk**	**sort A**
priemer celkom			**5,32922062**		**15 182,69 Sk**	

5. Záver

Z praktických skúseností OLH (odborných lesných hospodárov) na LS Duchonka je zrejmé, že v rastovej fáze tenkej kmeňoviny, kedy je už jasne vyformovaný kvalitný kmeň vytypovaných cieľových jedincov, bude postačujúci jeden, resp. dva silnejšie výchovné zásahy v priebehu 2–3 decénií. Ako vyplýva z prehľadu v tab. 4, po silnejšom zásahu nad 20 %, bude nasledovať v tejto fáze slabší zásah v nasledujúcom desaťročí (15 %). Ukázalo sa, že na plochách v porastoch, v ktorých boli silnejšie zásahy v posledných 2–3 rokoch vykonané v zmysle uvedenej pestovnej koncepcie, je tento trend správny. Do budúcnosti bude potrebné prehodnotiť aktuálnosť a účelnosť plánovania a predpisov výchovných ťažieb zriaďovateľom LHP podľa tabuliek prebierkových percent tak, aby nedochádzalo k neúmernému zaťažovaniu OLH žiadosťami o zmenu týchto predpisov.

Touto prácou sme chceli priblížiť opodstatnenosť potreby silnejších výchovných zásahov pri výchove zmiešaných listnatých porastov buka a duba v rastovej fáze tenkej až strednej kmeňoviny vo približne veku 50–70 rokov a zároveň navrhnúť ich intenzitu. Ďalej odporúčame ponechávať najkvalitnejšie zdravé jedince duba v porastoch čo najdlhšie, minimálne však po dosiahnutie cieľovej hrúbky 64,1 cm. Buk je potrebné vychovávať po vytvorení základu kvalitného kmeňa veľmi intenzívne už od mladého veku tak, aby bola dosiahnutá maximálna hrúbka v čo najskoršom veku. Pri dostatočne skorej a cieľavedomej starostlivosti o asimilačný aparát najkvalitnejších jedincov buka a ich šetrení pri ťažbe

a približovaní, sú schopné CS buka vytvárať vysoké prírastky na hrúbke. Dosiahnutie väčších hrúbok a objemov je možné v skoršom veku, ešte pred intenzívnym nástupom nepravého jadra a znehodnocovania kmeňa. Cieľové stromy buka potom odporúčame ponechávať v porastoch maximálne do veku 140 rokov.

6. Literatúra

Assmann, E. 1969: *Náuka o výnose lesa*. 1. vyd. Bratislava: Príroda, vydavateľstvo pôdohospodárskej literatúry v Bratislave, 1969. 488 s.

Fabrika, M. 2005: *Simulátor biodynamiky lesa – Koncepcia, konštrukcia a programové riešenie (Habilitačná práca)*. Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie. Zvolen, 2005

Halaj, J.: Produkcia dubových porastov ČSSR. In: Korenek, Jozef a kol.: *Vedecké práce VÚLH 31: Dub a jeho produkcia*, 1. vyd. Bratislava, 1981, 265 s.

Halaj, J. – Petráš, R. – Sequens, J. 1986: *Percentá prebierok pre hlavné dreviny*. Bratislava: Príroda, 1986. 98 s.

Korpeľ, Š.: Výchova zmiešaných dubových porastov a jej vplyv na štruktúru a produkciu. In: Korenek, Jozef a kol.: *Vedecké práce VÚLH 31: Dub a jeho produkcia*, 1. vyd. Bratislava, 1981. 265 s.

Križová, E. 1998: *Fytocenológia a lesnícka typológia*. 1. vyd. – dotlač. Technická univerzita vo Zvolene, 1998. 202 s.

Petráš, R. – Nociar, V. 1991: *Sortimentačné tabuľky hlavných drevín*. 1. vyd. Bratislava: Veda, vydavateľstvo SAV, 1991

Petráš, R. – Pajtík, J.. 1991: *Sústava česko-slovenských objemových tabuliek*. In: *Lesnícky časopis*, 15. 2. 1991, č. 37, 1991, s. 49–56.

Saniga, M. 2005: *Hodnotové prírastkové hospodárstvo listnatých porastov: Exkurzný sprievodca k Les-níckemu dňu PRO SILVA Kulháň-Duchonka.*

Saniga, M. 2007: *Pestovanie lesa*. Technická univerzita vo Zvolene, 2007

Šmelko, Š. – Wenk, G. – Antanaitis, V. 1992: *Rast, štruktúra a produkcia lesa*. 1. vyd. Bra-tislava: Príroda a. s., Bratislava , 1992.

Šmelko, Š. 2000: *Dendrometria : Vysokoškolská učebnica*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2000. 399 s.

Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike 2007 – Zelená správa. Ministerstvo pôdohospodárstva, 2007
(dostupné na: http://www.land.gov.sk/index.php?navID=122&id=343)

Adresa autora:

Analysis of increment management conception of hardwood oak and beech forest stands with the use of growth simulator SIBYLA

Summary

From practical know-how specialized forest managers on Forest Service Duchonka come through, that in growth phase thin trunk wood, when is already clearly modelled high-class trunk chosen target trees, will be ample one, if you like two more strongly thinnings in 2–3 decades. How results from summary of tab. 4, after strong hit above 20 %, will be follow in this growth phase finer hit in next decade (15 %). It turned out, that at plots in stands, in those was more strongly hits last 2–3 year carried out in the sense of analyzed silvicultural operations, and is this trend correct. Into the future will be needs revalue topicality and suitability of planning a prediction of the timber harvesting from forest management planner by tablet thinnings percents like this, that could not five out to excessive straining specialized forest managers ask for a change this regulation.

We would like to bring justness of demand strong thinnings near upbringing mixture hardwood beech and oak stands on growth phase thin or medium stem wood at approximately age 50–70 years of and propose their intensity, by this work. Further, we are recommending leaving quality and healthy oaks in stands, what at longest. But minimum till to achievement target thickness 64.1 cm at breast height. Beech is needed raise after establishing base high-class trunk very intense, already from early age like this, which was her achievement maximum diameter at the earliest age. At equally early and systematic care about assimilations apparatus, best single beeches and their careful harvesting and skidding, they are able to form high increase on thickness. Achievement of bigger diameter and volumes is possible in earlier age, short of intense start falce heartwood or devaluation of stem. Target beech trees then we recommend leaving their in stands maximum in age 140 years of.

ACTA FACULTATIS FORESTALIS XLX
ZVOLEN – SLOVAKIA 2008

VYUŽITIE MATERIÁLOV DIGITÁLNEHO SNÍMKOVANIA NA URČOVANIE PLOŠNÝCH OBSAHOV

Florián B E C Z E – Jozef Š A D I B O L

Becze, F., Šadibol, J.: Využitie materiálov digitálneho snímkovania na určovanie plošných obsahov. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, **XLX**, 2008, č. 1, s. 115–124.

Predložená práca sa zaoberá posúdením presnosti určenia plošných obsahov pozemkov a objektov, pri spracovávaní máp a projektov v rôznych mierkach, vyhodnotených na snímkach z digitálnej kamery Vexcel UltraCamD rôznymi metódami digitálneho fotogrametrického spracovania. Experimentálny materiál bol získaný zistením plošných obsahov z meraní dobre identifikovateľných lomových bodov hraníc pozemkov, kde ako fotogrametrický materiál boli použité digitálne panchromatické snímky získané kamerou Vexcel UltraCamD. Pri získavaní dát bol použitý dvojfrekvenčný GNSS prijímač značky TOPCON Hiper GGD, ktorý pri určovaní polohy bodov plne využíva oba dostupné družicové systémy (NAVSTAR a GLONASS).

Kľúčové slová: digitálna fotogrametria, ortofotosnímka, stereoskopické vyhodnotenie

1 ÚVOD A ROZBOR PROBLEMATIKY

Mapovanie lesov je prostriedkom na získavanie aktuálnych a spoľahlivých informácií o krajine, jej prvkoch a vzťahoch medzi nimi. Krajina je neustále pretváraná vplyvom svojich vnútorných alebo vonkajších činiteľov. Z tohto hľadiska predstavuje lesnícke mapovanie významný nástroj získavania potrebných meniacich sa údajov na zemskom povrchu. Z lesníckeho hľadiska je mapovanie lesov dôležitá vedná disciplína pre získavanie spoľahlivých polohopisných a výškopisných podkladov pre vyhotovenie lesných hospodárskych plánov, tvorbu základnej lesníckej mapy ako aj špeciálnych lesníckych účelových máp – tematické účelové mapovanie. Predovšetkým ide o mapy hospodárske, porastové, ťažbové, obrysové a organizačné. Taktiež je mapovanie dôležité pri určovaní polohy a výmery jednotiek priestorového rozdelenia lesa (JPRL) – mapovanie lesov, a pri zisťovaní zdravotného stavu lesa – diaľkový prieskum Zeme (DPZ), fotointerpretácia, zisťovanie kvalitatívnych veličín. Meračské práce majú v lesnom hospodárstve veľký význam v rámci hospodárskej úpravy lesov, pri tvorbe a schvaľovaní lesných hospodárskych plánov, vymeriavaní pozemkov pri navracaní ich pôvodným

majiteľom, či pri projektovaní ciest, vodných nádrží, úprave a zahrádzaní bystrín, alebo iných projekčných činnostiach v lesníctve.

V súčasnosti sa lesné hospodárske plány (LHP) vykonávajú na rozlohe viac ako 2 miliónov hektárov. Veľký rozsah lesníckych mapovacích prác (týka sa takmer 41 % z rozlohy SR), ich časová náročnosť, mnohokrát v členitých a neprehľadných terénoch, vyžaduje zameranie lesného detailu predovšetkým využitím fotogrametrie v spojení s fotointerpretáciou a v súčasnosti už výrazným nástupom digitálnej fotogrametrie (Žíhlavník, Š. 2004, 2005, Chudý, F. 1998, 2000, Kardoš, M. 2005). K náležitosti lesného hospodárskeho plánu patria tiež plochová tabuľka a lesnícke mapy (Žíhlavník, A. 2005), čo v rámci desaťročných obnovných cyklov LHP, ktoré sa vzťahujú na asi jednu desatinu výmery lesov Slovenska je potrebné každoročne vykonať mapovacie práce. Hlavné zastúpenie pri tejto činnosti má digitálna fotogrametria, ktorá predstavuje cca 70 až 80 % z celkového podielu mapovacích prác.

V lesnom hospodárstve sú vykonávané činnosti viazané na priestorovú polohu predmetu jeho hospodárenia – polohu lesných porastov. K atribútu polohy sa nutne pripája výmera, na ktorú sa viažu všetky vykonávané hospodárske opatrenia.

Metóda digitálneho fotogrametrického vyhodnocovania má v súčasnosti najvyšší podiel pri mapovaní a táto skutočnosť ju predurčuje v perspektívnu metódu aj pri určovaní plošných obsahov resp. získavania výmery parciel lesných porastov.

Vývoj informačných technológií má značný vplyv aj na metódy využívané v lesníckom mapovaní. Určovanie polohy bodov pomocou globálnych družicových polohových systémov (technológia GNSS) a metódy digitálneho spracovania leteckých meračských snímok (LMS) sa stali bežne zaužívané v praxi. Na trhu sa objavuje veľké množstvo digitálnych leteckých kamier s rozličnou rozlišovacou schopnosťou, či už sa jedná o priestorovú, radiometrickú, spektrálnu alebo časovú rozlišovaciu schopnosť.

V práci sa zaoberáme problematikou zisťovania plošného obsahu jednoznačne identifikovateľných lomových bodov parciel z digitálnych leteckých snímok vysokej rozlišovacej schopnosti získaných z kamery UltraCamD. Cieľom je posúdiť presnosť tohto spôsobu určenia s využitím geodetických meraní na báze družicových systémov (GPS, GLONAS).

Súčasný európsky i svetový trend v oblasti mapovania smeruje k maximálnej automatizácii terénnych i kancelárskych mapovacích prác a k digitalizácii výsledkov mapovania. V oblasti terestrického merania začínajú prevládať elektronické prístroje – totálne stanice, ktoré umožňujú meranie všetkých geodetických prvkov (dĺžky, uhly, prevýšenia), sú vybavené automatickou registráciou údajov, prípadne i radom štandardných programov pre rôzne geodetické výpočty. Významným pokrokom v geodetickej praxi (aj v lesníctve) je určovanie polohy a výšky geodetických bodov používaním globálneho polohového systému (GPS), ktorý je vybudovaný na báze umelých družíc Zeme. V súčasnosti sa v našich podmienkach prezentujú najmä poznatky o používaní GPS ako náhrady

iných postupov geodetických meraní – pri lokalizácií geodetických bodov, vlícovacích a kontrolných bodov pre fotogrametrické účely a podobne.

2 EXPERIMENTÁLNY MATERIÁL

2.1 Snímkový materiál

Experimentálny materiál bol získaný zistením plošných obsahov z meraní dobre identifikovateľných lomových bodov hraníc pozemkov, kde ako fotogrametrický materiál boli použité digitálne panchromatické snímky a farebné snímky (po panchromatickom zaostrení) získané kamerou Vexcel UltraCamD. Z celkového počtu 630 snímok (10 radov po 63 snímok), ktoré zachytávajú územie severnej časti VŠLP, bola vybratá dvojica snímok zachytávajúcich okolie Technickej univerzity.

Parametre snímok:
Veľkosť pixla: 9 μm
Rozmer snímok: 7500 × 11 500 pixelov
Približná mierka: 1 : 11 000
Rozmer pixla v skutočnosti: 10 cm
Konštanta fotokomory: 101,400
Výška letu: 1620 m. n. m
Priemerná nadmorská výška: 400 m. n. m
Pozdĺžny prekryt snímok: 85 %

Na zistenie skutočného plošného obsahu jednotlivých plôch bol použitý dvojfrekvenčný globálny polohový systém TOPCON Hiper GGD geodetickej presnosti, spracúvajúci signál z oboch dostupných družicových systémov (GPS a GLONASS), súradnice lomových bodov boli merané metódu RTK. Súradnice boli určené v Jednotnom trigonometrickom systéme katastrálnom (JTSK).

2.2 Hardvérové a softvérové vybavenie

Hardvérové vybavenie – pracovná fotogrametrická stanica: 2 procesory Intel Pentium® 3Xeon 2,66GHz, operačná pamäť 1024 MB RAM, systémový disk 360 GB (3 × 120), operačný systém Windows XP, 3D grafický akcelerátor, WildCat 7110 256 MB, monitor 24“ SONY TRINITRON – panchromatický, 10 tlačítkový dvoj ručný kurzor

Softvérové vybavenie – Windows XP Professional, systém ImageStation SSK (Integrovaný digitálny fotogrametrický systém) Intergraph pracujúci v prostredí Microstation V8, interaktívny grafický systém Kokeš, Geomedia Professional.

3 METODIKA PRÁCE

Na zistenie plošných obsahov 8 parciel boli použité štyri metódy:

- družicový systém na meranie polohy bodov (metóda RTK),
- digitálna jednosnímková fotogrametria (transformácia obrazu snímky na vlícovací podklad – štyri vlícovacie body),
- zisťovanie plošných obsahov na čiernobielej a farebnej digitálnej ortofotosnímke,
- zisťovanie plošných obsahov meraním polohy bodov na stereoskopickom modeli z dvojice snímok.

Presnosť výmer parciel bola porovnávaná vzhľadom na plochu, ktorej súradnice bodov boli zamerané družicovým systémom. Tieto plochy boli považované za správne. Presnosť výpočtu výmer bola posudzovaná podľa rozdielu výsledkov dvoch nezávisle vykonaných výpočtov výmer, kde plochy určované pomocou súradníc získaných metódou merania cez družicové systémy, boli považované za správne a plochy vypočítané zo súradníc bodov ostatnými metódami, boli porovnávané pomocou krajnej dovolenej odchýlky ΔP v m^2 podľa vyhlášky Úradu geodézie, kartografie a katastra SR č. 79/1996 Z. z. Rozdiel nesmie prekročiť hodnotu krajnej odchýlky ΔP pri výmerách určených z priamo meraných mier alebo zo súradníc lomových bodov parcely, alebo jej dielu, ktoré boli vypočítané z priamo meraných mier v porovnaní s výmerami určenými graficky pre mierku mapy:

1 : 1 000 $\quad \Delta P = 0{,}25 \sqrt{P} + 2$

1 : 2 000 $\quad \Delta P = 0{,}50 \sqrt{P} + 4$

1 : 5 000 $\quad \Delta P = 1{,}20 \sqrt{P} + 10$

kde P je vypočítaná výmera v m^2 určená zo súradníc získaných pomocou GPS.

Odchýlka O_P medzi dvoma plochami bola vypočítaná podľa vzorca:

$$O_P = P_1 - P_2$$

kde P_1 a P_2 sú porovnávané plošné obsahy. Táto odchýlka bola porovnaná s krajnou dovolenou odchýlkou ΔP, a plochu určenú fotogrametrickou metódou sme považovali za správnu, ak bola splnená podmienka:

$$O_P \leq \Delta P$$

3.1 Jednosnímkové vyhodnotenie

Pri jednosnímkovom vyhodnocovaní bolo potrebné snímku natransformovať do príslušného pravouhlého súradnicového systému Jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej (JTSK) pomocou vlicovacích bodov. Konkrétnejšie sa jednalo o afinnú transformáciu, ktorú sme vykonali v softvérom prostredí Kokeš. Na transformovanom

rastrovom obraze boli identifikované lomové body testovaných plôch, ktorých hranice predstavovali obrubníky chodníkov v parku a po ich vektorizácii boli vypočítané plošné obsahy jednotlivých plôch taktiež v systéme Kokeš.

Jednotlivé výmery plôch zistené touto metódou boli porovnávané so skutočnými výmerami plôch, ktoré boli určené pomocou globálneho polohového systému. Na základe krajnej dovolenej odchýlky ΔP pre vybrané mierky máp sme určili presnosť určenia výmer jednotlivých plôch. Treba poznamenať, že túto metódu možno použiť len na rovinatých územiach kvôli radiálnym skresleniam.

3.2 Zisťovanie plôch na ortofotosnímke

Farebnú a čiernobielu ortofotosnímku sme vytvorili vo fotogrametrickom softvérovom prostredí ImageStation SSK. Po vytvorení ortofotosnímky boli opäť v systéme Kokeš a Geomedia Professional zistené plošné obsahy jednotlivých testovaných plôch a tieto porovnané s ich skutočným plošným obsahom, ako v prvom prípade.

3.3 Stereoskopické vyhodnotenie plošných obsahov

Pod stereoskopickým vyhodnotením rozumieme priestorové vyhodnotenie leteckých snímok, ktoré sa vykonáva vytvorením priestorového modelu z dvojice snímok. Pri vyhotovovaní daných stereo dvojíc je požadovaný pozdĺžny prekryt väčší ako 50 % a priečny prekryt a 25–35 %.

Pre určenie plošných obsahov boli v stereoskopickom móde systému ImageStation SSK za použitia stereoskopickej značky a špeciálnych stereo okuliarov s infračerveným ovládačom, určené súradnice lomových bodov identických parciel. Z nich v systéme Kokeš boli opäť vypočítané príslušné plošné obsahy, ktoré boli porovnané s krajnou dovolenou odchýlkou.

4 DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY A DISKUSIA

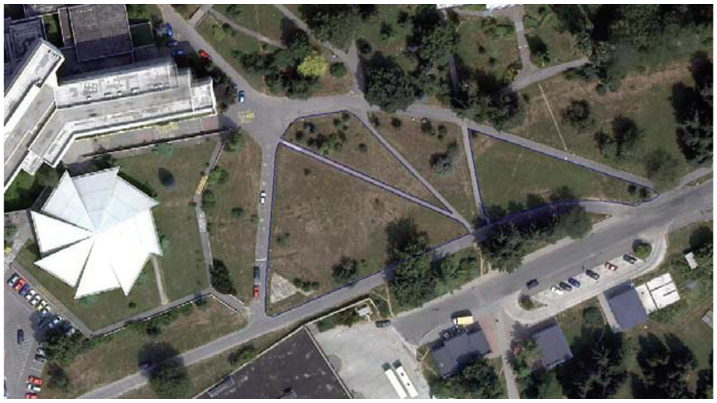
Jednotlivé plochy boli vybrané tak, aby lomové body tvoriace ich hranicu boli jednoznačne identifikovateľné. Stabilizáciu ich polohy zabezpečoval kraj obrubníka. Plošné obsahy zistené jednotlivými metódami sú uvedené v tabuľke č. 1.

Tab. 1 Plošné obsahy určené zo súradníc zistených rôznymi metódami
Tab. 1 Flächeninhalte wurden aus der festgestellten Koordinate verschieden Methode ermittelt

Metóda merania	Plocha 1	Plocha 2	Plocha 3	Plocha 4	Plocha 5	Plocha 6	Plocha 7	Plocha 8
	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²
GPS	706,97	1976,85	582,23	783,32	2401,25	1303,14	1041,79	875,95

Tab. 1 Pokračovanie
Tab. 1 Forsetzung

Metóda merania	Plocha 1	Plocha 2	Plocha 3	Plocha 4	Plocha 5	Plocha 6	Plocha 7	Plocha 8
	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²	m²
Jednosnímkové vyhodnotenie	700,80	1979,03	586,43	780,61	2399,87	1320,47	1074,18	868,87
Čiernobiela ortofotosnímka	708,54	1973,06	587,01	773,72	2405,02	1305,84	1049,71	881,89
Farebná ortofotosnímka	702,71	1978,2	584.21	789,30	2402,40	1308,21	1050,91	875,81
Stereoskopické vyhodnotenie	708,2	1976,2	583,00	781,23	2403,9	1300,9	1043,9	874,25



Obr. 1 Farebná ortofotosnímka s vyznačenými plochami
Abb. 1 Farbige Orthophotokarte mit den gekennzeichneten Flächen

V tabuľke č. 2 sú vypočítané krajné dovolené odchýlky ΔP pre plochy zamerané družicovým systémom schopným prijímať signál z oboch dostupných satelitných systémov (GPS aj GLONASS), pre rôzne mierky máp.

Tab. 2 Krajné dovolené odchýlky ΔP v m^2 pre rôzne mierky (plošný obsah zistený metódou GPS)
Tab. 2 Grenz-vergünstigte Abweichungen ΔP m^2 für verschiedenen Massstäbe (Flächeninhalt festgestellt der Methode GPS)

Metóda – GPS GLONASS	Plocha 1	Plocha 2	Plocha 3	Plocha 4	Plocha 5	Plocha 6	Plocha 7	Plocha 8
Plošný obsah	706,97	1976,85	582,23	783,32	2401,25	1303,14	1041,79	875,95
ΔP – 1 : 1 000	8,65	13,12	8,03	9,00	14,25	11,02	10,07	9,40
ΔP – 1 : 2 000	17,29	26,23	16,06	17,99	28,50	22,05	20,14	18,80
ΔP – 1 : 5 000	41,91	63,35	38,96	43,59	68,80	53,32	48,73	45,52

Vypočítané odchýlky medzi skutočnými plochami a plochami určenými jednotlivými skúmanými metódami sú uvedené v tabuľke č. 3.

Tab. 3 Odchýlky O_p medzi skutočnými a zistenými plochami pre jednotlivé metódy v m^2
Tab. 3 Die Abweichungen O_p zwischen richtigen und festgestellten Fläche für die einzelne Methode in m^2

Odchýlky	Plocha 1	Plocha 2	Plocha 3	Plocha 4	Plocha 5	Plocha 6	Plocha 7	Plocha 8
A: GPS – jednosnímkové vyhodnotenie	6,17	2,18	4,2	2,71	1,38	17,33	32,39	7,08
B: GPS – čiernobiela ortofotosnímka	1,57	3,79	4,78	9,6	3,77	2,7	7,92	5,94
C: GPS – farebná ortofotosnímka	4,26	1,35	1,98	5,98	1,15	5,07	9,12	0,14
D: GPS – stereoskopické vyhodnotenie	1,23	0,65	0,77	2,09	2,65	2,24	2,11	1,7

Tab. 4 Percentuálne podiely odchýlok O_p určovania výmer
Tab. 4 Prozentuale Dividenden der Abweichungen O_p der Bestimmungfläche

Odchýlky v %	Plocha 1	Plocha 2	Plocha 3	Plocha 4	Plocha 5	Plocha 6	Plocha 7	Plocha 8
A: GPS – jednosnímkové vyhodnotenie	0,87	0,11	0,72	0,35	0,06	1,33	3,11	0,81
B: GPS – čiernobiela ortofotosnímka	0,22	0,19	0,82	1,23	0,16	0,21	0,76	0,68
C: GPS – farebná ortofotosnímka	0,60	0,07	0,34	0,76	0,05	0,39	0,87	0,02
D: GPS – stereoskopické vyhodnotenie	0,17	0,03	0,13	0,27	0,11	0,17	0,20	0,19

V tabuľkách č. 5., 6., 7. sú porovnané odchýlky s krajnými dovolenými odchýlkami pre mapy mierok 1 : 1 000, 2 000, 5 000, kde platnosť vyjadrenia podmienky je definovaná výrazom „ano“.

Tab. 5 Platnosť podmienky, odchýlka O_P musí byť menšia, alebo rovná ΔP pre mapy v mierke 1 : 1 000
Tab. 5 Die Geltung der Verhältnisse, Abweichen musst geringen sein, oder ist gleich für der Mappe 1 : 1 000

O_P < ΔP 1 : 1000	Plocha 1	Plocha 2	Plocha 3	Plocha 4	Plocha 5	Plocha 6	Plocha 7	Plocha 8
A	ano	ano	ano	ano	ano	nie	nie	ano
B	ano	ano	ano	nie	ano	ano	ano	ano
C	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano
D	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano

Tab. 6 Platnosť podmienky, odchýlka O_P musí byť menšia, alebo rovná ΔP pre mapy v mierke 1 : 2 000
Tab. 6 Die Geltung der Verhältnisse, Abweichen musst geringen sein, oder ist gleich für der Mappe 1 : 2 000

O_P < ΔP 1 : 2 000	Plocha 1	Plocha 2	Plocha 3	Plocha 4	Plocha 5	Plocha 6	Plocha 7	Plocha 8
A	ano	ano	ano	ano	ano	ano	nie	ano
B	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano
C	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano
D	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano

Tab. 7 Platnosť podmienky, odchýlka O_P musí byť menšia, alebo rovná ΔP pre mapy v mierke 1 : 5 000
Tab. 7 Die Geltung der Verhältnisse, Abweichen musst geringen sein, oder ist gleich für der Mappe 1 : 5 000

O_P < ΔP 1 : 5 000	Plocha 1	Plocha 2	Plocha 3	Plocha 4	Plocha 5	Plocha 6	Plocha 7	Plocha 8
A	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano
B	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano
C	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano
D	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano

Z tabuľky č. 3 vidieť, že pri jednosnímkovom vyhodnocovaní boli výrazné odchýlky na ploche 6 a 7, pri určení výmery z čiernobielej ortofotosnímky na ploche 4, čo sa prejavilo aj v nesplnení požiadavky presnosti pre mapy v mierke 1 : 1 000. Pre mapy v mierke 1 : 2 000 sa počet nepresne určených plôch znížil na jednu (plocha 7 určená jednosnímkovým vyhodnocovaním) a v treťom prípade podmienku presnosti spĺňajú všetky určené plošné obsahy. Z toho vyplýva, že zo zvyšujúcim sa mierkovým číslom môže byť väčšia odchýlka medzi O_P a ΔP. Vyššiu odchýlku v uvedených plochách však nepovažujeme za podstatnú, pretože jej výskyt je len v malom počte určovaných

plôch, pravdepodobne bola spôsobená nepresnou identifikáciou danej plochy. Na základe výsledkov skúmania môžeme konštatovať, že použité digitálne snímky geometrickým rozlíšením 9 μm sú vhodné na zisťovanie plošných obsahov pre rôzne úlohy lesného hospodárstva s vysokou presnosťou.

Z tabuliek č. 2. a 3. vyplýva, že najlepšie výsledky určenia plošného obsahu boli dosiahnuté zo stereoskopického vyhodnotenia.

5 ZÁVER

Technologický rozvoj a rozmach digitálneho snímkovanie otvára nové a perspektívne možnosti využitia produktov snímkovania. Významnou zmenou, nie len pre mapovanie, je aj prechod z analógových snímkových materiálov na digitálne. Čoraz vyššia geometrická rozlišovacia schopnosť digitálnych meračských kamier nám poskytuje doteraz nevídané možnosti aj v odbore lesného hospodárstva.

Medzi úlohy lesníckeho mapovania patrí aj zisťovanie plošných obsahov lesných porastov, pozemkov a iných objektov súvisiacich s lesným prostredím. V práci sme sa zaoberali možnosťou využitia digitálnych LMS pri určení plošných obsahov pre potreby lesníctva. Pri použití viacerých metód digitálneho fotogrametrického vyhodnocovania môžeme konštatovať, že pomocou skúmaného fotogrametrického materiálu boli za daných podmienok dosiahnuté veľmi dobré výsledky určenia plošných obsahov. Toto tvrdenie možno doložiť priemernými percentuálnymi odchýlkami od skutočnej výmery (metóda merania výmery pomocou súradníc meraných družicovým systémom) a plochami určenými pomocou jednotlivých metód (A, B, C, D), kde pri metóde A sme dosiahli hodnotu priemernej odchýlky 0,92 %, pri metóde B 0,53 % a pri metóde C 0,39 %, pri metóde D 0,16 %. Na základe týchto údajov môžeme skonštatovať, že najlepšie výsledky dosiahla metóda zo stereoskopického vyhodnocovania a lepšie výsledky sa dosiahli pri určovaní výmer z farebných ortofotosnímok ako pri čiernobielych snímkach.

Z dosiahnutých výsledkov je zrejmé, že letecké meračské snímky získané z digitálnych leteckých meračských kamier majú svoje opodstatnenie pri zisťovaní plošných obsahov a výmer v odbore lesného hospodárstva. Je potrebné sa naďalej zaoberať touto problematikou a taktiež klásť dôraz na kvalitnú predprípravu snímkového materiálu. Za najvýhodnejší snímkový materiál z hľadiska interpretácie sa nám javili farebné LMS, ktoré vo fáze predprípravy prešli procesom panchromatického zaostrovania – pansharpening.

Literatúra

Chudý, F., 1998: Niektoré aspekty lesníckeho mapovania pomocou digitálnej fotogrametrie. Zborník referátov In:Aktuálne problémy lesníckeho mapovania. TU Zvolen, s. 109–114.

Žíhlavník, A., 2005: Hospodárska úprava lesov. VŠ učebnica. TU Zvolen, 389 s.

Žíhlavník, Š. – CHudý, F. – Kardoš, M., 2005: Digitálna fotogrametria v lesníckom mapovaní. TU Zvolen, Vedecké štúdie, 80 s.

ŽIHLAVNÍK, Š., 2004: Geodézia, fotogrametria a mapovanie v lesníctve. VŠ učebnica, TU Zvolen, 388 s.
Vyhláška Úradu geodézie, kartografie a katastra SR č. 79/1996 Z. z.

Adresa autora:
Ing. 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@vsld.tuzvo.sk
josa@atlas.sk

Die Auswertung der Materialien digitales Aufnahme an die Bestimmung der Flächenausmässe

Zusammenfassung

Die Vorgelegte Arbeit betreibt sich Einschätzung der Genauigkeit der Flächenausmässe von Grúnden und Objekte. von Grúnden und Objekte. Die Flächenausmässe wurden verschiedenen Methode digitalen photogrametrischen Bearbeitung ermitteln. Das photogrametrische Material wurden digitalen panchromatischen Luftbildern gewonnene digitale Kamera UltraCamD eingesetzt. Bei der erfassung der Daten wurden GNNS Emfänger die Markierungen TOPCON Hiper GGD angewendet, der bei Positionsbestimmung der Punkte reslos erreichbares Satellitensystem (NAVSTAR und GLONASS) nutzt.

Die Schlusselworter: Digitale Photogrammetrie, stereoskopische Messung, Orthophotokarte

ACTA FACULTATIS FORESTALIS XLX
ZVOLEN – SLOVAKIA 2008

AIRBORNE AISA – HYPERSPEKTRÁLNE ZÁZNAMY A ICH VYUŽITIE V LESNÍCTVE

Róbert S M R E Č E K – Florián B E C Z E

Smreček, R., Becze, F.: Airborne AISA – Hyperspektrálne záznamy a ich využitie v lesníctve. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, **XLX**, 2008, č. 1, s. 125–135.
Predložená práca sa zaoberá novým materiálom diaľkového prieskumu Zeme – hyperspektrálnymi záznamami. Tieto záznamy môžu mať niekoľko sto spektrálnych kanálov, z ktorých sa vytvorí spektrálna krivka. Pomocou tejto spektrálnej krivky je možné identifikovať materiály a objekty na zemskom povrchu. Výskumy vo svete naznačujú možnosti využitia týchto záznamov aj v lesníctve, v príspevku je súhrn prác, ktoré sa týkajú zisťovania základných charakteristík porastu, monitorovanie lesných ekosystémov atď. Airborne AISA je hyperspektrálny snímač, ktorý je dostupný najmä v európskych krajinách, pomocou tohto hyperspektrálneho snímača bolo vykonané snímkovanie na VšLP TU vo Zvolene.

Kľúčové slová: hyperspektrálne záznamy, hyperspektrálny skener AISA, whiskbroom, pushbroom

1 ÚVOD A PROBLEMATIKA

Letecké a satelitné obrazové záznamy s veľmi vysokým rozlíšením (0,1 až 1m) nachádzajú v lesníctve veľmi široké uplatnenie. Čiernobiele, farebné a multispektrálne záznamy sa využívajú pri mapovaní lesných porastov, projektovaní lesných ciest, ochrane lesa, inventarizácii lesov, monitoringu lesných ekosystémov a pre ďalšie lesnícke účely (Žíhlavník 1992).

Multispektrálne záznamy zachytávajú 4 až 8 kanálov v oblasti viditeľného a infračerveného žiarenia, kde šírka kanálov vo viditeľnom spektre žiarenia je okolo 70nm a v infračervenom spektre 200–300 nm. Na rozdiel od multispektrálnych záznamov, hy perspektrálne záznamy zachytávajú niekoľko desiatok až stovky spektrálnych kanálov vo viditeľných a infračervených oblastiach elektromagnetického spektra. Spektrálne kanály snímané hyperspektrálnymi senzorom sú veľmi úzke, v rozmedzí 1 až 20 nm. Pomocou hyperspektrálnych senzorov je možné detailne zachytiť spektrálne vlastnosti objektov. Jednotlivé objekty na zemskom povrchu majú rôznu spektrálnu odraznosť, túto rôznu spektrálnu odraznosť využívajú multispektrálne a hyperspektrálne záznamy pri identifikácii týchto objektov.

Vďaka veľkému počtu kanálov a vysokému spektrálnemu rozlíšeniu hyperspektrálnych senzorov, môže byť v jednom pixli identifikovaných viac materiálov. Materiály nemusia úplne vyplniť pixel na to aby boli identifikované, ale musia mať charakteristickú absorpciu objektu alebo spektrálnu formu (Robichaud a kol. 2006).

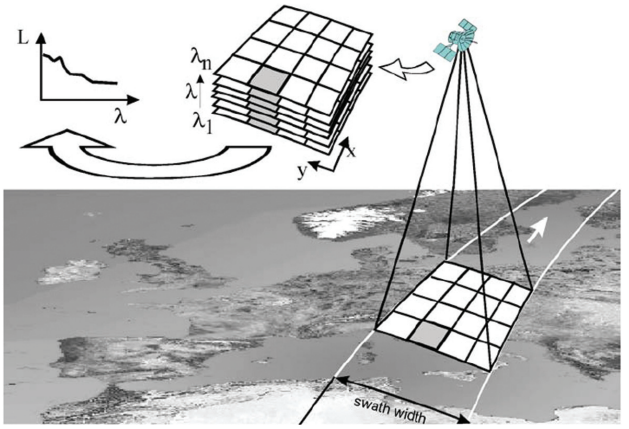
Využitie multispektrálneho a hyperspektrálneho snímkovania má široké uplatnenie v mnohých oblastiach výskumu napr. pri zisťovaní stavu vegetácie (monitorovanie zdravotného stavu drevín, obsahu chlorofylu a celulózy), na kontrolu účinnosti postrekov poľnohospodárskych plodín a lesných porastov, pri zisťovaní rizika vzniku požiarov a monitorovanie požiarov, v geológii (vyhľadávanie minerálov a typov pôd).

Ďalšie využitie hyperspektrálnych snímok je v oblastiach výskumu:

- atmosféry, napr. detekcia aerosólu a pohybu plynov,
- využívania krajiny, napr. zisťovanie krytu krajiny a jej zmien,
- hydrológie, oceanológie, napr. detekcia planktónu, sedimentov, rozpustených minerálnych látok, sneh a ľad, napr. znečistenie snehu.

Spektrálne kanály hyperspektrálnych záznamov je možné vizualizovať pomocou 3D hyperspektrálnej kocky (Obr. 1). Táto 3D hyperspektrálna kocka sa skladá z dvoch priestorových a jednej spektrálnej osi.

Cieľom predloženej práce je oboznámenie s novým materiálom diaľkového prieskumu Zeme – hyperspektrálnymi záznamami. Výskumy vo svete naznačujú možnosti využitia týchto záznamov aj v lesníctve. Uvedené súhrny prác sa týkajú zisťovania základných charakteristík porastu, monitorovanie lesných ekosystémov atď. Airborne AISA je hyperspektrálny snímač, ktorý je dostupný v európskych krajinách pre praktické vyžitie ako aj pre výskumné účely, pomocou ktorého bolo vykonané snímkovanie na VšLP TU vo Zvolene.



Obr. 1: Generovanie hyperspektrálnej kocky a spektrálne krivky odraznosti hyperspektrálnym snímaním povrchu (Zdroj: Lillesand a kol. 2004)
Fig. 1: Generation of hypercube and spectral curve by imaging the surface

2 SÚČASNÝ STAV

Ako aj v iných odvetviach priemyslu tak aj vo fotogrametrii sme postrehli zmeny v aktuálnom vedení „workflows“ (pracovný postup). Tieto zmeny sú spojené s vývojom výpočtovej techniky, nových snímacích (senzorových) technológií a podnikových riešení v spoločnostiach, ktoré sa venujú fotogrametrii.

Hyperspektrálne snímkovanie drží prvenstvo v kvalite spektrálnych údajov získaných o objektoch na zemskom povrchu. Hyperspektrálne snímkovanie tiež uskutočňuje prechod v kvantite získaných údajov. A preto výskum ako optimalizovať analýzy týchto údajov s veľkým objemom stále pokračuje (Lillesand a kol., 2004).

Pomerne mladou technológiou, ktorá má veľmi široké uplatnenie je LIDAR, z anglického Light Detection and Ranging, ktorého vývoj začal asi pred 15 rokmi. Používa sa na skenovanie zemského povrchu, ako aj objektov na zemskom povrchu, podzemných priestorov a pod. Uplatnenie nájde aj pri sledovaní atmosféry a atmosferických úkazov, napr. znečistenie ovzdušia látkami, sledovanie pohybov atmosféry a mrakov a pod.

LIDAR sa stal rozšíreným a akceptovaným nástrojom získavania údajov vďaka vysokej hustote skenovania a presnosti získaných terénnych dát. Narastá trend integrácie LIDARu s digitálnymi kamerami čo môže zrýchliť proces tvorby ortofotosnímky. Zároveň, keď sú spojené s GPS alebo IMU (**I**nertial **M**easurement **U**nit – inerciálna meračská jednotka) technológiu georeferencované snímky môžu byť k dispozícii hneď po stiahnutí po snímkovacom lete (Strynatka 2007).

Interferometric Synthetic Aperture RADAR (IFSAR) interferometrické aktívne radarové záznamy, podobne ako LIDAR je rozvíjajúci sa mapovací systém ako zdroj priestorových údajov. Umožňujúce nahliadnuť dokonca aj pod povrch zemského povrchu.

Výskum tiež pokračuje vo vývoji „ultraspektrálnych“ senzorov, ktoré budú poskytovať stovky spektrálnych kanálov. Tento stupeň citlivosti je potrebný pre také aplikácie ako je identifikácia špecifických materiálov a zložiek aerosólov a pod. (Logicon 1997).

Tab. 1 Rozlišovacia schopnosť rôznych senzorov (Schneider 2006)
Tab. 1 Resolution ability of several sensors

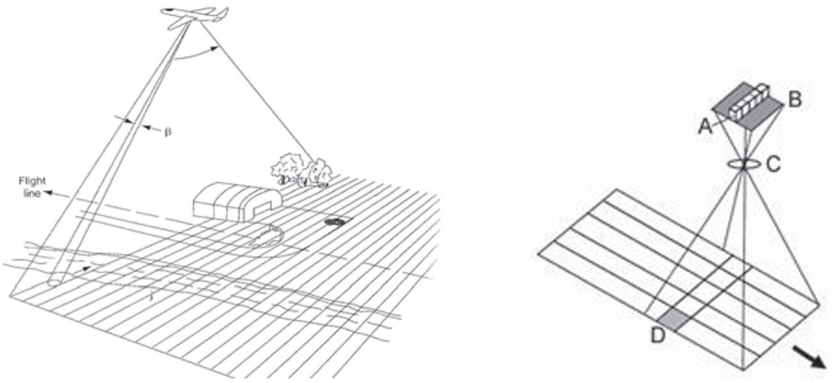
Senzor	Priestorové rozlíšenie [5)]	Spektrálne rozlíšenie [6)]	Časové rozlíšenie [7)]
Letecká meračská kamera[1)]	vysoké	nízke	potencionálne vysoké
Letecký skener[2)]	stredné	stredné až vysoké	potencionálne vysoké
Satelitný skener[3)]	nízke až stredné	stredné až vysoké	nízke až vysoké
Laserový skener[4)]	vysoké (3D)		
SAR	nízke		potencionálne veľmi vysoké

[1)]Aerial camera, [2)]Airborne scanner, [3)]Satellite scanner, [4)]Laser scanner, [5)]Spatial resolution, [6)] Spectral resolution, [7)] Time resolution

V súčasnosti sa využívajú dva spôsoby skenovania:

- naprieč smeru letu tzv. „whiskbroom“,
- pozdĺž smeru letu tzv. „pushbroom“.

„Whiskbroom“ skenery skenujú územie pomocou rotačných alebo vibračných zrkadiel v pásoch, ktoré sú kolmo na smer letu (Obr. 2). Dáta sú zbierané v uhle 90 až 120°. Pri skenovaní sa so zvyšujúcou výškou letu znižuje priestorové rozlíšenie a zväčšuje šírka skenovaného pásu. Nakoľko rotácia zrkadla je konštantná, dochádza na okrajoch pásov ku skresleniu. Rozlíšenie buniek sa tiež smerom ku kraju mení. Na obraze, ktorý vznikol skenovaním sú objekty odklonené smerom od nadiru ku vonkajšiemu okraju. Pretože zber údajov je dynamický, súvislý proces každá zmena v polohe lietadla (zmeny v dôsledku pôsobenia vonkajších vplyvov na trajektóriu letu a polohy lietadla) má vplyv na zobrazenie.



Obr. 2: Princíp snímania „whiskbroom“ a „pushbroom“ skenera (Zdroj: Lillesand a kol. 2004)
Fig. 2: Principle of sensing – Whiskbroom and pushbroom scanners

Aj pri „pushbroom“ skeneroch (Obr. 2) vznikajú obrazy z jednotlivých skenovaných pásov. Na rozdiel od „whiskbroom“ skenerov nemajú tieto skenery žiadne zrkadlo. Namiesto toho je použitá lineárna rada detektorov. Tieto rady zvyčajne pozostávajú z mnohých CCD snímačov. Každý element detektora je určený k snímaniu jedného stĺpca. V každom okamžiku skener „vidí“ cez „okamžité zorné pole“ systému, tzv. IFOV (instantaneous field of view). Veľkosť rozlíšenia je určená pomocou IFOV každého detektora (Obr. 2 uhol β). Lineárne rady CCD snímačov sú konštruované tak, aby boli čo najmenšie. Jedna rada môže obsahovať až 10 000 detektorov. Geometria je odlišná ako pri „whiskbroom“ skeneroch, nakoľko „pushbroom“ skenery nemajú zrkadlo a majú fixné geometrické vzťahy medzi elementmi detektora skenujúcimi každý pás. Môžu sa vyskytnúť odchýlky medzi jednotlivými pásmi spôsobené letom a pôsobením vonkajších vplyvov na lietadlo.

Navigačné prístroje lietadla a GPS systémy sa používajú na zachytenie týchto vplyvov a geometrickú korekciu údajov nasnímaných „pushbroom“ skenermi.

„Pushbroom“ skenery majú viacero výhod oproti „whiskbroom“ skenerom. Lineárne rady umožňujú pre každý detektor dlhšiu dobu počas ktorej môže byť snímaný povrch Zeme, to umožňuje zaznamenanie silnejšieho signálu. Geometria „pushbroom“ skenerov je lepšia a je podobná klasickým leteckým snímkam. „Pushbroom“ skenery sú menšie zariadenia a na prevádzku potrebujú menej energie ako „whiskbroom“ skenery. Nevýhoda „pushbroom“ skenerov je, že pri kalibrácii je potrebné kalibrovať omnoho viac detektorov. Tiež majú limitovanú spektrálnu citlivosť (Lillesand a kol. 2004).

3 HYPERSPEKTRÁLNY SKENER – AISA

Systém AISA (Airborne Imaging Spectrometer for Applications) sa používa na snímkovanie hlavne v európskych krajinách (Obr. 3). Zariadenie vyrába finska spoločnosť Specim. Kompletný systém sa skladá z hyperspektrálnej hlavy, miniatúrneho GPS snímača, jednotky zberu údajov, výkonného osobného počítača s monitorom a zdroja elektrickej energie. Snímač pracuje v rozsahu 450 až 970 nm, maximálny počet kanálov je 186, rádiometrické rozlíšenie 12 bitov, IFOV 1 mrad. Zariadenie pracuje v 4 operačných módoch (Koreň a kol. 2007):

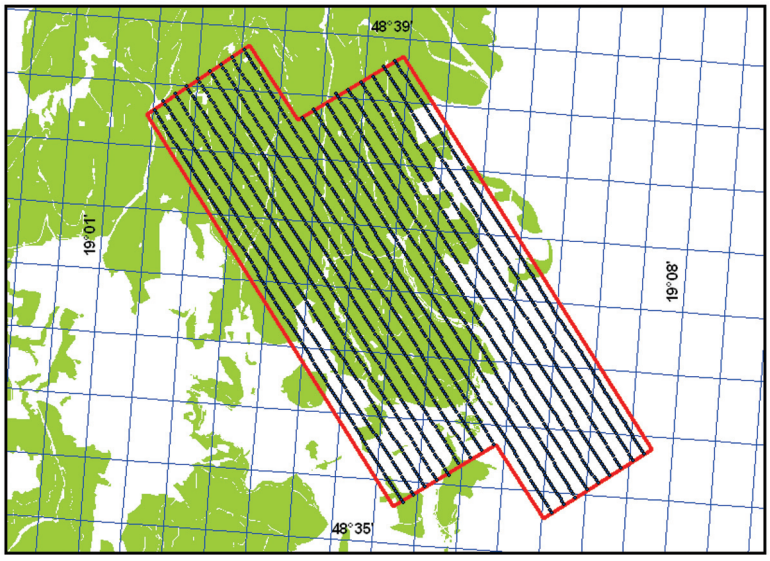
- Mód A. Prenášajú sa všetky informácie z CCD snímača, minimálna doba prenosu je 150 ms. Mód sa využíva pre laboratórne experimenty a na pomaly pohybujúcich sa nosičoch.
- Mód B. Užívateľ volí počet kanálov a ich spektrálne umiestnenie. Najčastejšie používaný mód pre zber hyperspektrálnych údajov. Celkový počet spektrálnych kanálov je limitovaný rýchlosťou snímania, prenosu a zápisu údajov.
- Mód C. Snímajú sa úplne spektrálne informácie pre 47 rovnomerne rozmiestnených kanálov na CCD snímači. Vytvárajú sa spektrálne náhľady.
- Mód D je kombináciou módov B a C.

Obr. 3: Hyperspektrálny systém AISA (Zdroj: www.channelsystems.ca)
Fig. 3: Hyperspectral system AISA

4 VYUŽITIE HYPERSPEKTRÁLNYCH ZÁZNAMOV DOMA A V ZAHRANIČÍ

4.1 Hyperspektrálne záznamy na TUZVO

Dňa 23. 7. 2006 sa v čase od 9.30 do 11.30 uskutočnilo snímkovanie územia Vysokoškolského lesníckeho podniku Technickej univerzity vo Zvolene. Snímkovanie sa uskutočnilo v spolupráci s Ústavom systémovej biológie a ekológie Akademie věd ČR. Snímkovanie bolo vykonané leteckým skenerom AISA Eagle. TOPU Banská Bystrica poskytol referenčné údaje pre postprocesing. Snímkovalo sa územie o rozlohe 16 km^2, nasnímalo sa 18 pásom, pričom 9 bolo snímaných v smere severo-západ a 9 v opačnom smere (Obr. 4). Šírka jedného pásu je približne 200, priestorové rozlíšenie je 0,6 m. Každý pás sa skladá zo 130 spektrálnych kanálov so šírkou 4,6 nm, ktoré zachytávajú elektromagnetické žiarenie v rozsahu od 400 do 1 000 nm. Priečny prekryt pásov je premenlivý. Závisí od letových podmienok, v priemere je približne 50 % (Koreň a kol. 2007).



Obr. 4: Schéma náletu územia VŠLP hyperspektrálnym skenerom AISA
Fig. 4: Photography scheme of VšLP area sensing by hyperspectral scanner AISA

Čerman (2007) v rámci svojej diplomovej práce vytvoril v systéme ArcGIS geografickú databázu. Táto geografická databáza obsahuje vektorové a opisné údaje pre ďalšie spracovanie a interpretáciu hyperspektrálnych záznamov z územia Vysokoškolského lesníckeho podniku Technickej univerzity vo Zvolene. Obsahuje:

- hranice JPRL,
- opisné údaje LHP,
- body náletu,
- pozemné kontrolné body,
- polohy pozorovacích bodov,
- trénovacie polygóny.

Terénnym prieskumom bol zistený stav krajinnej pokrývky a lesných porastov v čase snímkovania a zaznamenaný do databázy.

4.2 Vybrané práce zahraničných autorov

Lee a kol. (2004) porovnali presnosť indexu LAI (Leaf Area Index) vypočítaného z multispektrálnych záznamov Landsat ETM+ a hyperspektrálnych záznamov AVIRIS. Údaje DPZ porovnávali s pozemnými meraniami hodnôt LAI pre poľnohospodárske plodiny, vysoký trávny porast, zmiešaný listnato-ihličnatý porast a ihličnatý porast. Regresnými modelmi simulovali vplyv šírky a umiestnenia spektrálnych kanálov. Modely s vybranými kanálmi AVIRIS dávali lepšie výsledky ako širokopásmové modely zo záznamov Landsat ETM+. Nebol zaznamenaný výraznejší vplyv väčšieho počtu kanálov. Spektrálne kanály na rozhraní červenej a infračervenej sú dôležitejšie na predikciu LAI ako v blízkej infračervenej oblasti.

Marek (2007) vo svojej práci pri zisťovaní asimilačnej aktivity v trávnatom poraste a zisťovaní osvetlenej a zatienenej listovej plochy využil systém AISA Eagle, s ktorým snímal trávnatý porast z výšky 4 m. Parametrom indikujúcim asimilačnej aktivity je tzv. Plant Reflectance Index (PRI), tento index indikuje výskyt listového pigmentu zeaxanthin. Stanovuje sa na základe hodnôt reflekcie pri vlnovej dĺžke 539 resp. 569 nm (vzorec 4.1). Nakoľko je výskyt zeaxanthinu úzko viazaný s fotosyntetickou aktivitou, indikuje výskyt asimilácie. Pri určovaní osvetlenej a zatienenej listovej plochy využil normalizovaný vegetačný index (NDVI) (vzorec 4.2). NDVI využil k podrobnejšej identifikácii živej zelene a k rozlíšeniu slnnej a zatienenej listovej plochy na snímanej ploche. Medzi dosiahnuté výsledky patrí identifikácia značnej horizontálnej priestorovej heterogenity hodnôt PRI, hodnoty PRI vykazujú zreteľné zmeny v priebehu dňa v závislosti na ožiarení povrchu slnečnými lúčmi a denný chod hodnôt PRI úzko koreluje so stanoveným obsahom pigmentu zeaxanthin v listoch.

$$PRI = (R529 - R570) / (R529 + R570) \quad (4.1)$$

$$NDVI = (R554 - R677) / (R554 + R677) \quad (4.2)$$

Albrechtová, Barret (2003) sa venovali zisťovaniu zdravotného stavu smreka obyčajného (*Picea abies* L.) v Krušných horách v Českej republike. Cieľom projektu bolo nájsť čo najspoľahlivejšie metódy pre hodnotenie stavu lesov v Krušných horách,

vyhľadávať zmeny signalizujúce ohrozenie porastov, na ktorých základe je možné lepšie plánovať ochranné a nápravné opatrenia k záchrane horských lesných ekosystémov. Na zisťovanie stavu použili najskôr multispektrálne snímky zo satelitu LANDSAT. Od roku 1998 začali zisťovať zdravotný stav pomocou hyperspektrálnych záznamov zo skenera ASAS. Zistili, že hyperspektrálne záznamy lepšie zachytávajú drobné zmeny v zdravotnom stave smrekových porastov ako multispektrálne snímky. Pomocou hyperspektrálnych záznamov je možné zistiť jemné zmeny v zdravotnom stave, nakoľko zmena sa najskôr prejaví v infračervenej časti spektra.

Sampson a kol. (2003) využili na zisťovanie stresorov pôsobiacich na rastliny hyperspektrálny senzor CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager). Domnievajú sa, že nakoľko sa stresové faktory prejavujú na olistení (chlorofil, level pigmentu atď.) je možné pomocou hyperspektrálnych senzorov zachytiť včas tieto varovné signály. Využili senzor CASI na meranie obsahu chlorofilu, RMS sa pohybovala od 12,6 do 13,0 mg/cm^2. Táto schopnosť môže byť použitá na operatívne zisťovanie fyziologického poškodenia lesa a na klasifikáciu zdravotného stavu lesa založenej na obsahu chlorofilu.

Smith a kol. (2004) sa venovali monitorovaniu zdravotného stavu borovice kadidlovej (*Pinus taeda* L.). Vytvorili päť kategórií stavu koruny, ktoré reprezentovali stupeň odumierania. údaje boli získané v lete 2002 pomocou HYMAP (Hyvista´s hyperspectral mapping) s 5 m priestorovým rozlíšením. Pri použití len pozemných meraní bolo možné bez chyby určiť jednotlivé triedy odumierania, pri kombinácii s HYMAP dátami neboli autori spokojní s výsledkom. Preto použili iný postup ako pri terénnych meraniach. Pre 60 skusných plôch, vyšla celková úspešnosť klasifikácie 83,3 %. Klasifikácia plôch, ktoré boli poškodené malo úspešnosť 72,2 % a plochy, ktoré boli zdravé 88,1 %.

Darvishsefat a kol. (2002) použili údaje z austrálskeho senzora HyMap na mapovanie lesných porastov. Dáta pochádzali z leta 1998. Uvádzajú, že hyperspektrálne dáta zo senzora HyMap v kombinácii s leteckými infračervenými snímkami poskytujú veľmi dobrý nástroj na automatické rozlišovanie ihličnatých a listnatých porastov a ich zmiešania.

Spektrálne charakteristiky rôznych funkčných častí koruny smreka obyčajného (*Picea abies* L.) porovnával Malenovský a kol. (2003). Teoretické a praktické možnosti využitia hyperspektrálnych záznamov pre odhad indexov defoliácie smreka obyčajného a monitorovanie poškodenia asimilačných orgánov drevín spracoval Raši (2001, 2003).

Hyperspektrálne letecké záznamy s veľmi vysokým rozlíšením sú vhodným prostriedkom na ohraničenie a stanovnie parametrov korún stromov. Bunting a Lucas (2006) navrhli algoritmus na určenie korún stromov, ktorý aplikovali na študijnom území v Queenslande, Austrália. Postup sa skladá zo šiestich krokov: odlíšenie lesa a okolia, počiatočná segmentácia lesa a vytvorenie objektov zodpovedajúcich spektrálnemu typu lesa, vyhľadanie lokálnych maxím a ich rozšírenie k predpokladaným hraniciam korún alebo skupín korún, klasifikácia objektov na koruny a skupiny korún, iteratívne rozdelenie skupín

na jednotlivé koruny, vyhľadanie a opätovné spojenie nesprávne rozdelených objektov. V porovnaní s pozemnými pozorovaniami bola dosiahnutá približne 70 % správnosť.

Jia a kol. (2006) použili hyperspektrálne záznamy na klasifikáciu drevinového zloženia, určenie zápoja a rizika vzniku požiaru lesa v oblasti Rocky Mountains. Predikcia šírenia lesného požiaru vyžaduje presné stanovenie drevinového zloženia a palivového modelu. Autori dosiahli 53–57 % správnosť rozlíšenia duglasky tisolistej (*Pseudotsuga menziesii* Mirbell) a borovice ťažkej (*Pinus ponderosa* Dougl.) pomocou spektrálnej analýzy hyperspektrálnych snímok AVIRIS.

5 ZÁVER

V minulosti boli snímky (údaje) zálohované na páskových médiách, v dnešnej dobe sa už používajú moderné pamäťové médiá, ktorých obstarávacia cena dramaticky poklesla. Postupne ako narastal záujem o údaje s vysokým rozlíšením, ukladanie veľkého objemu údajov priamo na pracovnej stanici sa stalo pre užívateľov menej praktickým riešením.

Užívatelia stále viac využívajú a ukladajú údaje na serveroch, ktoré umožňujú prístup k údajom rôznymi spôsobmi. Náležite rastie aj dopyt po nástrojoch v oblasti spravovania a archivovania údajov. Rovnako aj užívatelia skúmajú možnosti zverejňovania dát uložených na serveroch a zverejnených na webových priestoroch alebo klientskych aplikácií ako napr. Google Earth (Strynatka 2007).

Moderné geoinformačné technológie sú schopné získať a spracovať informácie o povrchu Zeme a objektoch, ktoré sa na ňom nachádzajú v podstatne presnejších mierkach. Využitím nových technológií môžeme získať, odvodiť, kombinovať a využiť nové informácie. Tento druh informácií prispieva k lepšiemu pochopeniu komplexu druh dreviny, genetický pôvod, pôda, geológia, topografia terénu, nadmorská výška, zrážky, mikroklíma apod., a ich následnom využití v obhospodarovaní lesa. Pomocou moderných technológií sme schopní získať presné informácie o povrchu Zeme a objektoch, ktoré sa na ňom nachádzajú. Príchod technológií ako sú hyperspektrálne snímky, vysoko precízne DPZ, mobilné GIS mapujúce pomocou GPS, LIDAR, PDA, laserové diaľkomery a ostatné technológie sú schopné získať tieto presné informácie a precízne lesníctvo sa tak môže stať trvalou súčasťou lesného hospodárstva.

Hyperspektrálne záznamy zachytávajú spektrálne charakteristiky objektov presnejšie ako multispektrálne záznamy. Táto vlastnosť ich predurčuje na široké využitie nielen v lesníckej praxi. Skúsenosti najmä zo zahraničia ukazujú široké možnosti nasadania hyperspektrálnych záznamov, kde sa využíva nielen ich spektrálne rozlíšenie ale aj vysoké priestorové rozlíšenie. Ide napríklad o sledovanie stavu lesa, lokalizácia korún stromov, identifikáciu drevinového zloženia, stanovenie rizika vzniku požiarov a sledovanie požiarov ako aj ďalšie lesnícke aplikácie.

6 Použitá literatúra

Albrechtová, J., Barret, N., R. 2003: Dálkový průzkum Krušnohorských lesů. Internetový zdroj: http: //www.vesmir.cz/clanek.php3?CID=5497

Bunting P., Lucas R. 2006: The delineation of tree crowns in Australian mixed species forests using hyperspectral Compact Airborne Spectrographic Imager (CASI) data. In: Remote Sensing of Environment, Vol. 101, 2006, s. 230–248. Zdroj: Koreň, M., Tuček, J., Černan, P. (2007). Možnosti využitia hyperspektrálnych leteckých snímok v lesníctve Lesnícky časopis – Forestry Journal, ročník 53, číslo 2, 2007, s. 251–262.

Černan, P. 2007: Databáza podporných údajov pre spracovanie hyperspektrálnych leteckých snímok z územia VŠLP. Diplomová práca, Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie, Technická univerzita vo Zvolene, 2007, 52 s.

Darvishsefat, A., A., Kellenberger, W., T., Itten, I., K. 2002: Application of hyperspectral date for forest stand mapping. In: Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applicaions, ISPRS Commission IV, Ottaw a 2002, ISSN 1682-1750. Internetový zdroj: http://www.isprs.org/commission4/proceedings02/pdfpapers/357.pdf

Griffin, K., M., Hsu, M., S., Hsiao-Hua, Burke, K., Snow, J., W. 2004: Charakterization of clouds, fires and smoke plunes in hyperspectral images. In: American Meteorogical Society, 11th Conference on satellite meteorology and oceanography, 2004. Zdroj: Robichaud, R., P., Zamudio, J., A. (2006). Hyperspectral Imag ing over forest fires. Internetový zdroj: http://www.earthsearch.com/pdf/forestfires.pdf

Jia G. J., Burke I. C., Kaufmann M. R., Goetz A. F. H., Kindel B. C., Pu Y. 2006: Estimates of forest canopy fuel attributes using hyperspectral data. In: Forest Ecology and Management, Vol. 229, No. 1–3, 2006, s. 27–38. Zdroj: Koreň, M., Tuček, J., Černan, P. (2007). Možnosti využitia hyperspektrálnych leteckých snímok v lesníctve Lesnícky časopis – Forestry Journal, ročník 53, číslo 2, 2007, s. 251–262.

Koreň, M., Tuček, J., Černan, P. 2007: Možnosti využitia hyperspektrálnych leteckých snímok v lesníctve. Lesnícky časopis – Forestry Journal, ročník 53, číslo 2, 2007, s. 251–262.

Lee K. S., Cohen W. B., Kennedy R. E., Maiersperger T. K., Gower S. T. 2004: Hyperspectral versus multispectral data for estimating index in four different biomes. In: Remote Sensing of Environment, Vol. 91, 2004, s. 508-520. Zdroj: Koreň, M., Tuček, J., Černan, P. (2007). Možnosti využitia hyperspektrálnych leteckých snímok v lesníctve Lesnícky časopis – Forestry Journal, ročník 53, číslo 2, 2007, s. 251–262.

Lillesand, M., T., Kiefer, W., R., Chipman, W., J. 2004: Remote sensing and image interpretation. 5th edition, Wiley, Hoboken, 2004, 763 s., ISBN 0-471-45152-5.

Logicon 1997: Multispectral users guide. Logicon Geodynamics, Fairfax, VA, 1997. Zdroj: Lillesand, M., T., Kiefer, W., R., Chipman, W., J. 2004: Remote sensing and image interpretation, 5th edition, Wiley, Hoboken, 2004, 763 s., ISBN 0-471-45152-5.

Malenovský Z., Clevers J. G. P. W., Arkimaa H., Kuosmanen V., Cudlín P., Polák T. 2003: Spectral differences of the functional crown parts and status of Norway spruce trees studied using remote sensing. In: Ecology (Bratislava). Vol 22 (1), 2003, s. 207-210. Zdroj: Koreň, M., Tuček, J., Černan, P. (2007). Možnosti využitia hyperspektrálnych leteckých snímok v lesníctve Lesnícky časopis – Forestry Journal, ročník 53, číslo 2, 2007, s. 251–262.

Marek, V. M. 2006: Procesový remote sensinc – mapa sinků uhlíku v porostech rostlin. In: Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů ČZU v Praze, 2006, s. 12 – 13., ISBN 80-213-1484-2.

Robichaud, R., P., Zamudio, J., A. 2006: Hyperspectral Imaging over forest fires, 2006 Internetový zdroj: http://www.earthsearch.com/pdf/forestfires.pdf

Sampson, P., H., Zarco-Tejada, P., J., Mohammed, G., H., Miller, J., R., Noland, T., L. 2003: Hyperspectral Remote Sensing of Forest Condition: Estimating Chlorophyll Content in Tolerant Hardwoods. In: Forest Science, Volume 49, Number 3, 2003, s. 381–391, ISSN 0015-749X. Internetový zdroj: http://www.pmtech.ca/Gina/GM_JournalPapers.htm

Schmid T., Schack-Kirchner H., Hildebrand E. 2004: A Case Study of Terrestrial Laser Scanning in Erosion Research: Calculation of Roughness Indices and Volume Balance at a Logged Forest Site. In: International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVI, Part 8/W2, 2004, s. 114–118, ISSN 1682-1750.

Schneider, W. 2006: Einführung in die Fernerkundung, Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation Universität für Bodenkultur, Wien, 2006, 91 s.
Strynatka, R., 2007: Photogrammetric Workflows: Traditional, Digital and The Future, The Global Geospatial Magazine, May 2007 Vol 11 issue 5, s. 28–31.
Žihlavník, Š., 1992: Využitie diaľkového prieskumu zeme pri lesníckom mapovaní. TU Zvolen, Vedecké pedagogické aktuality, No. 5, 53 s.

Adresa autorov:
Ing. Smreček Róbert
Ing. Florián Becze
Katedra Hospodárskej úpravy lesov a geodézie
Lesnícka fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen

e-mail: smrecek@vsld.tuzvo.sk
becze@vsld.tuzvo.sk

Airborne AISA – hyperspectral images and their application in forestry

Summary

The article deals with information about new materials of remote sensing - high resolution hyperspectral images. Hyperspectral imaging technology uses hundreds of very narrow wavelength bands to "see" reflected energy from objects on the ground. This energy appears in the form of "spectral fingerprints" across the light spectrum and enables collection of much more detailed data and produces a much higher spectral resolution of a scene than possible using other remote sensing technologies. Each element leaves a unique spectral signature, also called spectral reflectance curve, in various bands of the spectrum, based on their spectral reflectance. Research has been providing also in forestry with advance. In this article there is a summary of some projects where the purpose of investigation was concentrate on basic forest features, monitoring of forest ecosystems. Airborne AISA is hyperspectral sensor which is available to research mostly in European countries and also the same sensor were used for photography on VšLP TU Zvolen.

ACTA FACULTATIS FORESTALIS XLX
ZVOLEN – SLOVAKIA 2008

DRUŽICOVÁ GEODÉZIA (GNSS) A SLUŽBA SKPOS V LESNÍCKOM MAPOVANÍ

Jozef M E L U Š – Marek F A Š K O

Meluš, J., Faško, M.: Družicová geodézia (GNSS) a služba SKPOS v lesníckom mapovaní. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, **XLX**, 2008, č. 1, s. 137–150.

V rámci medzinárodného projektu EU POS bola aj na Slovensku v novembri 2006 spustená skúšobná prevádzka permanentnej služby na využívanie globálnych navigačných satelitných systémov. Služba SKPOS poskytuje okrem iného používateľom technológie GNSS na určovanie priestorovej polohy možnosť využívať korekčné informácie (dáta), ktoré sú k užívateľovi doručené prostredníctvom internetu buďto v reálnom čase alebo v postreálnom čase pre dodatočné spracovanie. Táto práca sa zaoberá skúmaním spoľahlivosti a dosiahnuteľnej presnosti merania pri využití tejto služby v lesníckej geodézii. Experimentálny materiál bol získaný meraním polohy vrcholových bodov polygónového ťahu ležiacich na lesnom prieseku Statickou metódou merania GNSS. Postprocesingové spracovanie bolo realizované v prvej etape s využitím dát z vlastnej referenčnej stanice a v etape druhej s využitím dát z virtuálnej referenčnej stanice poskytnutých v postreálnom čase službou SK POS vo formáte RINEX.

Kľúčové slová: Lesnícke mapovanie, SK POS, GNSS1

1 ÚVOD

Lesnícke mapovanie predstavuje súhrn činností, zameraných na získanie spoľahlivých nevyhnutných informácií o polohe a rozlohe jednotlivých častí lesa pre potreby lesníckych činností a činností s lesným hospodárstvom súvisiacich. Na Slovensku sa vzťahuje na plochu lesných pozemkov, výmera ktorých je cca 2,006 mil. hektárov, čo predstavuje takmer 41 % z rozlohy štátu. Mapovanie na tejto ploche v súčasnosti v plnej miere vykonáva Národné lesnícke centrum (NLC) vo Zvolene prostredníctvom Ústavu lesných zdrojov a informatiky – odboru tematického štátneho mapového diela. Pracovníci týchto ústavov vyhotovujú a udržiavajú mapový fond na lesných pozemkoch formou lesníckych máp. Táto povinnosť vyplýva aj z § 4, ods. 7 zákona NR SR č. 215/1995 Z. z. o geodézii a kartografii v znení neskorších predpisov, v zmysle ktorého sa pre lesnícke mapy používa termín Štátne mapové dielo s tematickým obsahom lesného hospodárstva.

Lesnícke mapy a plochová tabuľka ako priame výsledky mapovania lesov sú dôležitou súčasťou lesného hospodárskeho plánu (LHP). Pojem lesnícke mapovanie však nemožno zúžiť len na lesnícke mapy, ale ide o širší záber dotýkajúci sa rôznych oblastí pri zisťovaní

stavu lesa. Lesnícke mapovanie je špecifické tým, že aj keď sa využívajú výsledky verejného mapovania, tieto nepostačujú pre zobrazenie rozsiahleho, rozmanitého a premenlivého lesného detailu tak, aby boli zohľadnené biologické, technické i ekonomické činitele lesného hospodárstva. Pri výbere metód získavania podkladov pre potreby lesníckeho mapovania sa preto musia zvažovať všetky osobitosti lesného prostredia.

V súčasnosti sa už väčšina lesníckeho mapovania (cca 70–80 %) vykonáva fotogrametrickými metódami. Ide o jednoznačnú racionalizáciu v oblasti mapovania. Neznamená to však, že terestrické geodetické metódy budú úplne nahradené fotogrametrickým vyhodnotením leteckých meračských snímok. Dve oblasti ostanú vždy predmetom terestrických meraní. Prvá oblasť je určenie tých predmetov, ktoré sú na snímkach neidentifikovateľné. Druhá oblasť je zameranie potrebného počtu vlícovacích bodov. V posledných rokoch v oblasti terestrického merania dominujú elektronické prístroje – totálne stanice, ktoré umožňujú meranie všetkých geodetických prvkov (dĺžky, uhly, prevýšenia), sú vybavené automatickou registráciou údajov, prípadne i radom štandardných programov pre rôzne geodetické výpočty. Význačným pokrokom v geodetickej praxi (aj v lesníctve) je určovanie polohy a výšky geodetických bodov používaním globálnych navigačných satelitných systémov (GNSS), ktoré sú vybudované na báze umelých družíc Zeme. Práve využívanie tejto metódy znamená veľký krok vpred najmä pri zhusťovaní podrobného polohového bodového poľa (PPBP), pri meraní polohy vlícovacích bodov pre fotogrametrické vyhodnotenie leteckých meračských snímok, ako aj pri meraní lesného detailu.

Vzhľadom na osobitosti lesného prostredia (členitosť, neprehľadnosť, rôzna štruktúra a rastová fáza lesných porastov a pod.) nemožno jednoznačne pri lesníckom mapovaní aplikovať výsledky a skúsenosti z geodetických meraní pri mapovacích prácach na voľných priestranstvách. Práce niekoľkých autorov zaoberajúce sa problematikou využitia technológie GNSS jasne ukazujú na veľké množstvo faktorov ovplyvňujúcich presnosť a samotnú úspešnosť takýchto meraní v lesnatom území (napr. Hricko, Žíhlavník, 2001, Hricko, 2002, Hricko, Tunák, Žíhlavník, 2004, Klusoň, Janoš, Ďurica, 2004, Halvoň 2006). Vo všeobecnosti možno ako spoločný zámer týchto prác uviesť snahu o hľadanie a optimalizovanie ciest, ako perspektívnu geodetickú metódu GNSS hospodárne využívať aj v lesníckom mapovaní.

2 ROZBOR PROBLEMATIKY

2.1 Technológia GNSS a SK*POS*

Od počiatku vzniku myšlienky určovania polohy na princípe umelých družíc Zeme uplynulo už veľa času a stupeň vývoja ktorý dnes v tejto oblasti sledujeme tomu odpovedá. V prevádzke sú dnes dva vzájomne nezávislé ale kompatibilné družicové systémy, americký priekopnícky systém GPS NAVSTAR (Global Positioning System

– NAVigation Satellite Timing And Ranging) a ruský satelitný systém GLONASS (GLObaľnaja NAvigacionnaja Sputnikovaja Sistema). U oboch týchto systémov je štruktúra základných systémových segmentov v princípe rovnaká (Hefty – Husár, 2003, Voženílek – Sedlák, 2004). Európska únia (EU) a Európska vesmírna agentúra (ESA) s cieľom modernizácie technológie GNSS pracuje na družicovom systéme GALILEO, ktorý bude prvým európskym civilne riadeným Globálnym navigačným družicovým systémom (http://www.esa.int.). Hlavným argumentom pre rozhodnutie o vývoji tohto systému je pritom nezávislosť na americkom systéme GPS a pravidlám jeho užívania, pričom ťažisko využitia má byť v civilnej sfére.

Pre aplikáciu technológie GNSS je možné použiť niekoľko základných metód merania, ktoré sa líšia spôsobom záznamu a spracovania dát, dobou observácie a napokon výslednou presnosťou určenia polohy v súradnicovom systéme WGS-84. Pre dosiahnutie potrebnej geodetickej presnosti je nutné pri všetkých metódach využívať technológiu D GNSS (Differencial GNSS), známu tiež ako RELATÍVNE určovanie polohy.

Tento variant vo svojej klasickej podobe vyžaduje simultánne meranie dvoma, alebo viacerými samostatnými prijímačmi, pričom sa jeden z nich umiestni na bod so známymi priestorovými súradnicami, tzv. bázový prijímač a druhým prijímačom, tzv. roverom sa zamieravajú jednotlivé podrobné body. Súradnice týchto nových bodov sa potom určujú vzhľadom na referenčný bod, resp. body so známou polohou. Získajú sa tak najprv parametre základnice – priestorovej spojnice referenčného a nového bodu, na základe čoho sa následne hľadaná poloha nového bodu matematicky odvodí.

Od novembra roku 2006 je už aj na Slovensku spustená skúšobná prevádzka permanentnej priestorovej observačnej služby SK*POS*. Predstavuje nástroj ktorého úlohou je prostredníctvom siete vzájomne kooperujúcich permanentných referenčných staníc realizovať využívanie nového ponímania geodetických základov. Po prechode na plnú prevádzku by mal SK*POS* prostredníctvom internetu zabezpečovať šírenie korekčných dát na výpočet polohy v geocentrickom súradnicovom systéme ETRS89 a v dvojrozmernom národnom súradnicovom systéme S-JTSK v reálnom čase. Cieľom je dosiahnuť stav, pri ktorom je užívateľovi umožnené pri meraní metódou GNSS pracovať priamo so súradnicami týchto v geodetickej praxi zaužívaných „záväzných“ systémov bez potreby dodatočných transformácií. Počas testovacej fázy prevádzky je potrebné vypracovať postupy monitorovania kvality a integrity vysielaných korekcií.

Každá z 21 referenčných staníc, ktoré tvoria fyzickú geodetickú základňu je vybavená geodetickým prijímačom na príjem signálov oboch dostupných družicových systémov (NAVSTAR aj GLONASS) a je pripojená do komunikačnej siete VPS. Referenčné stanice prostredníctvom tejto siete odosielajú dáta do Národného Servisného Centra (NSC), kde sa tieto spracúvajú a poskytujú cez internet užívateľom buď v reálnom čase alebo v postreálnom čase pre postprocessing. Takto je umožnené na celom území Slovenska metódou RTK určovať polohu bodov v dvoch úrovniach presnosti (decimetrovej a centimetrovej) a pri Statickej metóde merania GNSS pri postprocesingovom spracovaní v presnosti milimetrovej (Klobušiak a Leitmannová, 2006).

Z geodetického hľadiska pre potreby lesníckeho mapovania najvýznamnejšia služba **SK*POS*-mm**, ktorá sa viaže na Statickú metódu merania je realizovateľná len v postreálnom čase (postprocessing). V súčasnosti táto služba poskytuje korekčné dáta jednotlivých referenčných staníc ako aj dáta v podobe sieťového riešenia tzv. VRS konceptu (Virtual Refference Station), čo znamená že systém vygeneruje virtuálnu referenčnú stanicu na mieste s užívateľom zadanou polohou, resp. s polohou vhodnou pre lokalitu v ktorej sa uskutočňuje meranie.

Tieto referenčné dáta, ktoré v podstate nahrádzajú dáta vlastnej referenčnej stanice (bázovej prijímacej aparatúry) môže registrovaný užívateľ získať stiahnutím z internetovej stránky GKÚ vo formáte RINEX. Tím užívateľovi teoreticky postačuje miesto dvoch geodetických GNSS prijímačov jeden, čo samozrejme zvyšuje hospodárnosť meraní. Táto práca sa zameriava na preverenie spoľahlivosti a presnosti takéhoto merania v porovnaní s meraním využívajúcim vlastnú referenčnú prijímaciu aparatúru.

3 MATERIÁL A METÓDY

3.1 Popis prístrojového a softwarového vybavenia použitého pri meraní

Charakteristika totálnej stanice TOPCON GPT 3002

Jedná sa o kompaktnú elektronickú totálnu stanicu, vybavenú interným registračným zariadením. Možnosti merania dĺžok sú pomocou odrazového hranolu do vzdialenosti 3 km s presnosťou ± 3 mm, pričom samotné meranie dĺžok je rozšírené aj o bezhranolové meranie pomocou pulzného laseru až do vzdialenosti 1 200 m s presnosťou ± 5 mm. Pomocou pulzného laseru je schopný identifikovať odraz od požadovaného bodu a tak odfiltrovať nadbytočné signály. Presnosť merania uhlov je dvojsekundová.

Charakteristika GNSS prijímača TOPCON Hiper GGD

Prijímač Hiper GGD je jeden z najnovších modelov z rady dvojfrekvenčných GNSS prijímačov od spoločnosti GEODIS. Predstavuje špičkový dvojfrekvenčný prijímač, schopný pre observačné merania využívať oba v súčasnosti aktívne satelitné systémy GPS NAVSTAR a GLONASS.

Pre spracovanie údajov z meraní GNSS prijímačom Hiper GGD boli použité nasledujúce softwarové produkty ako je PCCDU, TOPCON LINK, TOP SURW, TOPCON PINNACLE a transformačné programy TRAN GPS. Presnosť udávaná výrobcom, s akou GNSS prijímač pracuje udáva tabuľka č. 1.

Tab. 1 Presnosť merania vektorov GNSS prijímačom Hiper GGD
Tab. 1 Genauigkeit der Vektormessungen mittels des GNSS Empfängers Hiper GGD

Výkonové parametre[1]	(1 sigma)
Presnosť vektora[2]	Hor. 3 mm+1 ppm pro L1+L2, 5 mm+1.5 ppm pro L1
	Ver. 5 mm+1 ppm pro L1+L2, 6 mm+1.5 ppm pro L1
Presnosť RTK (OTF) 3	Hor.10 mm+1.5 ppm pro L1+L2, 15 mm+2 ppm pro L1M
	Ver. 15 mm+1.5 ppm pro L1+L2, 20mm+2 ppm pro L1

[1]Leistungsparametern, [2] Genauigkeit der Vektorbestimmung, [3]Genauigkeit der RTK Methode (Real Time Kinematic)

3.2 Výber záujmovej plochy a metódy merania

Prvé experimentálne merania prebehli v mesiaci november–december 2007 (v čase vegetačného pokoja) v katastrálnom území Kováčová. Priemerná nadmorská výška územia je 400 m. n. m. Predmetom terénneho merania bolo zameranie vrcholových bodov polygónového ťahu na lesnom prieseku klasickou metódou polygónových ťahov a následne Statickou metódou merania GNSS s využitím vlastnej referenčnej stanice umiestnenej cca 1 km od záujmovej oblasti a následne aj s využitím služby SK*POS*.

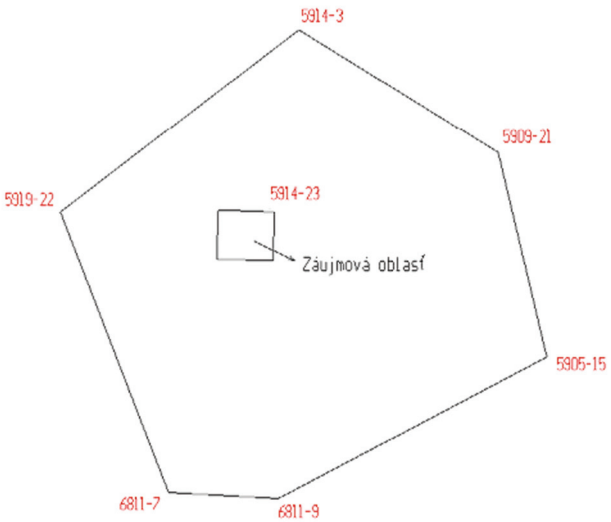
Predmetom merania boli vrcholové body polygónového ťahu na lesnom prieseku, ktorý je stabilizovaný trigonometrickým bodom 23-Dibák a 47-Trebuľa v katastri obce Kováčová. Body polygónového ťahu sú v teréne dočasne stabilizované kovovými rúrkami. Body boli v teréne zamerané metódou polygónových ťahov totálnou stanicou TOPCON GPT 3002. Geometrické parametre tohto ťahu spĺňajú kritériá na ťahy hlavné s krátkymi dĺžkami strán (60–400 m) podľa *Inštrukcie na práce v polohových bodových poliach 984 121 I/93 (1994)* a pri určovaní polohy vrcholových bodov polygónového ťahu sa dosiahla presnosť 2. triedy pre PBPP (Tunák, 1998). Celkovo bolo zameraných 11 vrcholových bodov. Body polygónového ťahu sa následne zamerali Statickou metódou merania GNSS, pričom sa použil už vyššie popísaný dvojfrekvenčný GNSS prijímač Hiper GGD.

Pri Statickej metóde merania GNSS bol stanovený rovnaký časový interval registrácie dát z družíc (5 sekúnd) a rovnaký sklon elevačnej masky k horizontu (5°). Body polygónových ťahov boli zamerané v rôznych časových intervaloch observácie (5, 10 a 15 minút). Výpočet vektorov prebiehal v dvoch etapách. V prvej etape sa pre vyriešenie ambiguid a výpočet vektorov použili dáta z vlastnej referenčnej stanice, umiestnenej na referenčnom bode transformačného kľúča č 5914-23 (Dibákovo), ktorý je od záujmovej oblasti vzdialený cca 1 km. V druhej etape sa pre vyriešenie ambiguid a výpočet vektorov využili dáta z virtuálnej referenčnej stanice, ktoré nám pre danú polohu poskytla služba SK*POS* cez internetový online obchod. Pri meraniach GNSS bol použitý systém redukcie bočného odrazeného signálu (multi-path efekt). Pre transformovanie geocentrických súradníc ETRS 89 do lokálneho súradnicového systému S JTSK sme použili lokálny

transformačný kľúč, ktorý sme získali vyrovnaním siete siedmych trigonometrických bodov. Miera stotožnenia v polohe v transformačnom kľúči dosahuje strednú chybu m_{xy} = 0,042 m a miera stotožnenia vo výške m_z = 0,0273 m. Grafické znázornenie záujmovej oblasti vzhľadom na tvar použitého transformačného kľúča je na obrázku č. 1.

3.3 Metódy vyhodnotenia a spracovaných dát

Pri vyhodnocovaní získaných výsledkov sa vypočítali stredné súradnicové a výškové chyby, smerodajné odchýlky a aritmetické priemery. Všetky merania boli testované nulovou hypotézou na výskyt systematických chýb. Bol použitý klasický postup v zmysle vyrovnávacieho počtu (BÖHM 1990), pričom za správne geodetické súradnice a nadmorské výšky boli použité hodnoty získané z merania totálnou stanicou TOPCON GPT 3002.



Obr. 1: Grafické zobrazenie tvaru transformačného kľúča a záujmovej oblasti
Abb. 1: Graphische Darstellung der Form des Transformationsschlüssels und des Einzugsgebietes

Postup bol nasledovný:

a) výpočet súradnicových rozdielov (odchýlok) δ_{xi}, δ_{yi}, δ_{zi},
b) výpočet aritmetického priemeru $\delta_{x(y)(z)}$ rozdielov súradníc a nadmorských výšok súboru,
c) posúdenie presnosti určenia súradníc bodov:

- výpočet $m_{x,}$ $m_{y,}$ m_z – stredných chýb určenia súradníc (x, y) a nadm.výšok (z),

- stanovenie nulovej hypotézy $\delta_{\bar{x}} = 0$, $\delta_{\bar{y}} = 0$ a $\delta_{\bar{z}} = 0$ pre posúdenie správnosti merania (výskytu systematickej chyby),
- výpočet strednej súradnicovej (m_{xy}) a výškovej (m_z) chyby (Böhm a kol.1990).

4 VÝSLEDKY A DISKUSIA

4.1 Vyhodnotenie výsledkov

Po spracovaní nameraných dát, výpočte súradníc ETRS 89 a ich následnej transformácii do lokálneho súradnicového systému S-JTSK sa pristúpilo k odstráneniu prípadných systematických chýb a následne k výpočtu a k porovnávaniu stredných súradnicových (m_{xy}) a stredných výškových (m_z) chýb pri súčasnom zohľadnení vplyvu dĺžky observácie a sklonu elevačnej masky k horizontu.

Tab. 2 Prehľad stredných súradnicových (m_{xy}) a stredných výškových (m_z) chýb meraného polygónu pri rôznych časových observáciach a sklonoch elevačnej masky
Tab. 2 Zusammenfassung der mittleren Lagefehlern (m_{xy}) und Höhefehlern (m_z) des Polygonzuges bei verschiedenen Observationsperioden und verschiedenen Winkeln des Höhenfilters

Objekt merania [1]	Elevačná maska[2](º)	Dĺžka observácie[3] (min.)	Použité družicové systémy[4]			
			GPS		GPS + GLONASS	
			m_{xy} (m)	m_z (m)	m_{xy} (m)	m_z (m)
Polygón pri využití vlastnej referenčnej stanice [5]	5º	5	0,4105	0,6295	–	–
		10	0,3079	0,6995	–	–
		15	0,1226	0,4045	–	–
	10º	5	0,5872	0,5927	–	–
		10	0,3207	0,6686	–	–
		15	0,1389	0,3177	–	–
	15º	5	0,5430	0,6104	–	–
		10	0,2305	0,5821	–	–
		15	0,1416	0,3179	–	–
Polygón pri využití služby SK*POS*[6]	5º	5	0,5382	0,6291	–	–
		10	0,3074	0,8467	–	–
		15	0,0989	0,1714	–	–
	10º	5	0,5001	0,8331	–	–
		10	0,3276	0,8548	–	–
		15	0,1031	0,1864	–	–
	15º	5	0,5031	0,9181	–	–
		10	0,3277	0,8547	–	–
		15	0,1030	0,1862	–	–

[1]Messobjekt, [2]der Winkel des Elevationfilters, [3]Observationsperiode, [4]Satellitensysteme, [5]Polygonzug mit der Verwendung der eigenen Referenzstation, [6]Polygonzug mit der Verwendung des SKPOS Dienstes

Bez ohľadu na použitú referenčnú stanicu (vlastná aj virtuálna)pri výpočte súradníc získané hodnoty stredných súradnicových (m_{xy}) aj výškových (m_z) chýb na vrcholových bodoch polygónu v oboch prípadoch presahovali pri kratších dĺžkach observácií (5–10 minút) kritériá stanovené aj pre 4. triedu presnosti mapovania (m_{xy} = 0,26 m) (tab. 2). Dôvodom nižších dosahovaných presností pri kratších observačných dobách sú zhoršené meračské podmienky v prostredí lesného prieseku. Ako z tabuľky č. 2 vidieť, pri posudzovaní dosiahnutých presností sa okrem vplyvu referenčnej stanice sledoval vplyv dĺžky observácie a sklonu elevačnej masky k horizontu. Je zrejmé že sa na presnosti dosahovaných výsledkov významne preukázal vplyv dĺžky observácie na čo poukázali aj práce iných autorov (napr. VITÁSKOVÁ, 2002).

Pri dlhších intervaloch observácií (15 minút) sa dosahovali hodnoty stredných polohových aj výškových chýb, ktoré odpovedajú kritériám 3. triedy presnosti mapovania (m_{xy} = 0,14 m).

Podrobnejšie o vplyve dĺžky observácie na presnosť dosahovaných výsledkov pojednáva tabuľka č. 3. Sú tu uvedené priemerné hodnoty stredných polohových aj výškových chýb pri jednotlivých observačných dobách bez ohľadu na sklon elevačnej masky k horizontu. Ako z tabuľky vidieť, so zvýšením dĺžky observácie z 5 minút na 15 minút dochádzalo v oboch prípadoch k znižovaniu stredných polohových chýb priemerne o 77 % (t. j. cca o 0,39 m) a stredných výškových chýb priemerne o 61 % (t. j. cca o 0,44 m). Je to zrejmé z dôvodu, že v extrémnom prostredí lesného prieseku sú kratšie observácie (5–10 minút) nepostačujúce pre spoľahlivé vyriešenie ambiguid.

Tab. 3 Prehľad priemerných súradnicových (m_{xy}) a priemerných výškových (m_z) chýb meraného polygónu pri zohľadnení vplyvu dĺžky observačnej doby

Tab. 3 Zusammenfassung der durchschnittlichen mittleren Lagefehlern (m_{xy}) und Höhenfehlern (m_z) des Polygonzuges bei der Einbeziehung des Einflusses von der Dauer der Observationsperiode

Objekt merania[1]	Dĺžka observácie[2] (min.)						Rozdiel m_{xy} (5 min–15 min)		Rozdiel m_z (5 min–15 min)	
	5 min.		10 min.		15 min.					
	m_{xy} (m)	m_z (m)	m_{xy} (m)	m_z (m)	m_{xy} (m)	m_z (m)	(m)	(%)	(m)	(%)
Polygón pri využití vlastnej referenčnej stanice[3]	0,5136	0,6109	0,2864	0,6501	0,1344	0,3467	–0,3792	–73,8	–0,2642	–43,2
Polygón pri využití služby SK*POS*[4]	0,5138	0,7934	0,3209	0,8520	0,1017	0,1813	–0,4121	–80,2	–0,6121	–77,1

[1]Messobjekt, [2]Observationsperiode, [3]Polygonzug mit der Verwendung der eigenen Referenzstation, [4]Polygonzug mit der Verwendung des SKPOS Dienstes

– zníženie strednej súradnicovej (m_{xy}) a strednej výškovej (m_z) chyby pri zvýšení dĺžky observačnej doby na 15 minút,

– die Reduktion des mittleren Lagefehlers (m_{xy}) und Höhefehlers (m_z) bei der Erhöhung der Observationsperiode auf die Dauer von 15 Minuten.

Jedným z čiastkových cieľov práce bolo tiež posúdenie vplyvu sklonu elevačnej masky k horizontu na presnosť dosahovaných výsledkov. Podrobnejšie o vplyve tohto faktora pojednáva tabuľka č. 4, kde sú uvedené priemerné hodnoty stredných polohových aj výškových chýb bez ohľadu na dĺžku observácie. Ako z tabuľky vidieť, vplyv tohto faktora sa na presnosti dosahovaných výsledkov významnejšie nepreukázal. So znižovaním sklonu elevačnej masky k horizontu z 15º na 5º dochádzalo len k nepatrnému zvýšeniu alebo zníženiu hodnôt stredných chýb (rádovo v centimetroch). Znižovanie sklonu elevačnej masky na 5º sa vyznačuje zvýšením počtu spoločne observovaných družíc, ktoré je možné pri spracovaní využiť pre správne vyriešenie ambiguid. Tento faktor sa významnejšie preukazuje predovšetkým pri spoločnom využívaní systému NAVSTAR a systému GLONASS, kde je vyššia pravdepodobnosť zaregistrovania dát z väčšieho počtu družíc pri nižšom sklone elevačnej masky.

Tab. 4 Prehľad priemerných súradnicových (m_{xy}) a priemerných výškových (m_z) chýb meraného polygónu pri zohľadnení vplyvu sklonu elevačnej masky k horizontu

Tab. 4 Zusammenfassung der durchschnittlichen mittleren Lagefehlern (m_{xy}) und Höhefehlern (m_z) des Polygonzuges bei der Einbeziehung des Einflusses von dem Winkel des Höhenfilters

Objekt merania[1]	Elevačná maska (º)[2]						Rozdiel m_{xy} (5°–15°)		Rozdiel m_z (5°–15°)	
	5º		10º		15º					
	m_{xy} (m)	m_z (m)	m_{xy} (m)	m_z (m)	m_{xy} (m)	m_z (m)	(m)	(%)	(m)	(%)
Polygón pri využití vlastnej referenčnej stanice[3]	0,2803	0,5778	0,3489	0,5263	0,3050	0,5035	–0,0247	–8,1	0,0744	14,8
Polygón pri využití služby SK*POS*[4]	0,3148	0,5491	0,3102	0,6247	0,3113	0,6530	0,0036	1,1	–0,1039	–15,9

[1]Messobjekt, [2]Observationsperiode, [3]Polygonzug mit der Verwendung der eigenen Referenzstation, [4]Polygonzug mit der Verwendung des SKPOS Dienstes

- zníženie strednej súradnicovej (m_{xy}) a strednej výškovej (mz) chyby pri znížení sklonu elevačnej masky k horizontu na 5º
- die Reduktion des mittleren Lagefehlers (mxy) und Höhefehlers (mz) bei der Absetzung des Winkels des Höhenfilters auf den Wert 5°
- zvýšenie strednej súradnicovej (m_{xy}) a strednej výškovej (mz) chyby pri znížení sklonu elevačnej masky k horizontu na 5º
- die Zunahme des mittleren Lagefehlers (mxy) und Höhefehlers (mz) bei der Absetzung des Winkels des Höhenfilters auf den Wert 5°

Zatiaľ služba SKP*OS* neumožňuje využívať ruský družicový systém GLONASS pri postprocesingu a preto sa znižovanie sklonu elevačnej masky preukázalo len nepatrne. Vzhľadom na uvedené skutočnosti nemožno úlohu ktorú tento faktor zohráva jednoznačne posúdiť.

O vzájomnom porovnaní hodnôt stredných polohových a výškových chýb dosiahnutých pri Statickej metóde merania GNSS na lesnom prieseku vzhľadom na využitie vlastnej referenčnej stanice a virtuálnej referenčnej stanice podrobnejšie pojednáva tabuľka č. 5. Sú tu uvedené priemerné hodnoty stredných polohových a výškových chýb bez ohľadu na

dĺžku observačnej doby a sklon elevačnej masky k horizontu. Ako z tabuľky vidieť, vplyv použitej referenčnej stanice sa na presnosť meraní významne nepreukázal.

Tab. 5 Prehľad dosiahnutých priemerných súradnicových (m_{xy}) a priemerných výškových (m_z) chýb pri zohľadnení vplyvu použitej referenčnej stanice pri Statickej metóde merania GNSS
Tab. 5 Zusammenfassung der durchschnittlichen mittleren Lagefehlern (m_{xy}) und Höhefehlern (m_z) bei der Einbeziehung des Einflusses der verwendeten Referenzstation

Objekt merania[1]	Statická metóda pri využití vlastnej referenčnej stanice[2]		Statická metóda pri využití služby SK*POS*[3]	
	m_{xy} (m)	m_z (m)	m_{xy} (m)	m_z (m)
Polygón na lesnom prieseku	0,3114	0,5359	0,3121	0,6089

[1]Messobjekt, [2]Verwendung der eigenen Referenzstation, [3]Verwendung des SKPOS Dienstes

4.2 Posúdenie GNSS metódy merania z hľadiska časovej efektivity

Jedným z cieľov práce bolo posúdenie jednotlivých metód merania GNSS z hľadiska časovej efektivity. Problematika zameriavania hraníc či už v podmienkach mapovania katastrálneho alebo lesníckeho v extravilánoch je v súčasnosti veľmi aktuálna. V extravilánoch (predovšetkým pri riešeniach pozemkových úprav) často nie je možné rýchle pripojenie sa na lokálny súradnicový systém S-JTSK, nakoľko známe trigonometrické body sa často od záujmových lokalít nachádzajú vo vzdialenostiach aj niekoľko kilometrov. Je preto nutné uvedené lokality zhusťovať známymi terestrickými metódami merania (napr. polygonizácia), čo vyžaduje značné množstvo potrebného času a pracovníkov, aby boli splnené požadované kritériá presnosti (minimálne 4. trieda presnosti mapovania) pri meraní vlastníckych hraníc. Pri polygónových ťahoch s dĺžkami aj cez 3 km sú merania značne časovo náročné. Samotná príprava merania a vykonanie potrebných spätných orientácií na jednom vrchole polygónového ťahu (často v dvoch polohách ďalekohľadu) trvá aj cez 15 minút. Pri vyššom požadovanom počte vrcholov polygónového ťahu (8–10) sa stáva táto metóda zhusťovania bodových polí z časového hľadiska značne náročná.

Zavedenie technológií GNSS do mapovacích prác v podmienkach extravilánov zaznamenalo značný prínos. Výhodou jednotlivých metód GNSS je, že pri zhusťovaní bodových polí nie je potrebná vzájomná viditeľnosť medzi jednotlivými bodmi, merania môže vykonávať len jeden pracovník a samotné zhusťovanie bodových polí je v porovnaní s klasickými terestrickými metódami z časového hľadiska oveľa efektívnejšie. Dosahované presnosti pri jednotlivých metódach merania GNSS odpovedajú kritériám presnosti stanovených pre zameriavanie nielen nevlastníckych hraníc jednotiek priestorového rozdelenia lesa ale aj hraníc vlastníckych. Využitie presnejších metód merania GNSS na

zameriavanie hraníc bez kombinácie s klasickými terestrickými metódami (totálne stanice, elektronické tachymetre a pod.) by však bolo značne neefektívne, nakoľko zameranie jedného bodu v požadovanej minimálnej 4. triede presnosti mapovania pre meranie vlastníckych hraníc trvá spolu so všetkými prípravami na meranie aj niekoľko desiatok minút. Pri potrebe vyššieho počtu podrobných bodov by bolo meranie neefektívne. Preto je Statickú metódu merania GNSS výhodné v podmienkach extravilánov, lesných priesekov aj lesných porastov kombinovať s klasickými terestrickými metódami, kde GNSS metódy možno využívať na zhusťovanie bodových polí a na ďalšie zameriavanie podrobných bodov je výhodnejšie používať klasické terestrické metódy merania.

4.3 Získané poznatky

Na podklade spracovania experimentálneho materiálu možno výsledky analýz zovšeobecniť a charakterizovať pritom vplyv jednotlivých skúmaných faktorov ako aj celkovú vhodnosť Statickej metódy merania GNSS v lesníckej geodetickej praxi.

Vplyv dĺžky observácie na presnosť merania sa prejavil významne. Kratšie observačné doby (do 10 minút) sa preukázali ako nepostačujúce pre správne vyriešenie ambiguid. Je preto nevyhnutné pre dosahovanie pozitívnych a spoľahlivých výsledkov pristupovať k dlhším observáciám (15 minút). Tu hodnoty stredných polohových aj výškových chýb odpovedajú kritériám 3. triedy presnosti mapovania (m_{xy} = 0,14 m). Pri zvyšovaní dĺžky observačnej doby z 5 minút na 15 minút dochádzalo k výraznému znižovaniu stredných polohových chýb priemerne o 77 % (t. j. cca o 0,39 m) a stredných výškových chýb priemerne o 61 % (t. j. cca o 0,44 m).

Pri posudzovaní vplyvu sklonu elevačnej masky k horizontu na presnosť dosahovaných výsledkov sa jej vplyv významnejšie nepreukázal. So znižovaním sklonu elevačnej masky k horizontu z 15º na 5º dochádzalo len k nepatrnému zvýšeniu alebo zníženiu hodnôt stredných polohových aj výškových chýb (rádovo v centimetroch). Nižší sklon elevačnej masky sa znamená zvýšenie počtu spoločne observovaných satelitov, ktoré je možné pri postprocesingu využiť pre vyriešenie ambiguid. Nakoľko služba SK*POS* dnes ešte neumožňuje pre výpočty využívať aj ruský systém GLONASS, znižovanie sklonu elevačnej masky sa preukázalo len nepatrnými zmenami v počte družíc. Na základe tejto skutočnosti preto nemožno tento faktor jednoznačne potvrdiť ani vylúčiť.

Po vzájomnom posúdení stredných polohových a výškových chýb dosiahnutých pri Statickej metóde merania GNSS pri využití vlastnej referenčnej stanice a pri využití virtuálnej referenčnej stanice poskytnutej službou SK*POS* pre danú polohu neboli zistené výraznejšie rozdiely. Obe merania preto možno považovať z hľadiska dosahovaných presností za rovnocenné. Je však nutné podotknúť, že pri Statickej metóde merania GNSS pri využívaní vlastnej referenčnej stanice je možnosť dosahovania aj pozitívnejších výsledkov, nakoľko je tu možnosť využívať pri spracovaní pre vyriešenie ambiguid aj

ruský družicový systém GLONASS. To vedie k dosahovaniu spoľahlivejších výsledkov aj pri kratších observačných dobách (do 10 minút), zatiaľ čo služba SK*POS* ešte neumožňuje ruský družicový systém GLONASS plne využívať.

Na základe dosiahnutých výsledkov môžeme usudzovať, že využitie Statickej metódy merania GNSS pri využívaní vlastnej referenčnej stanice alebo pri vyžívaní virtuálnej referenčnej stanice poskytovanej pre danú polohu službou SK*POS* má pri zhusťovaní bodových polí v podmienkach lesných priesekoch svoje opodstatnenie. Je vhodné pri meraniach pristupovať k dlhším observáciám (15 minút), pri nastaveniach nižšieho sklonu elevačnej masky (5º–10º) a pri súčasnom využívaní oboch družicových systémov (GPS a GLONASS). Pred samotnými meraniami je však veľmi vhodné pristupovať k simuláciám meračských podmienok (Occupation Planning), ktoré poskytujú informácie o počte aj konštelácií družíc na danom mieste, v danom čase merania. Tým je možné merania v maximálnej miere optimalizovať. Metódu Statickú možno efektívne využívať v kombinácií s klasickými terestrickými metódami (totálne stanice a elektronické tachymetre) na zameriavanie nielen nevlastníckych hraníc jednotiek priestorového rozdelenia lesa a lesných líniových stavieb, ale aj hraníc vlastníckych v podmienkach mapovania katastrálneho.

Na základe všetkých zhodnotených výsledkov, získaných poznatkov a výsledkov prác iných autorov možno vysloviť nasledujúce odporúčania pre využívanie geodetických metód GNSS pri zhusťovaní bodových polí v podmienkach lesných porastov a lesných priesekov:

- Pristupovať k nastaveniu nižších sklonov elevačnej masky (5°–10°),
- Využívať dlhšie observačné doby (10–15 minút),
- Využívať nižší interval registrácie dát (3 sekundy) počas observácií,
- Využívať oba dostupné družicové systémy (GPS + GLONASS),
- Bodové polia nebudovať v tesnej blízkosti tieniacich drevín,
- Pristupovať k vykonávaniu simulácií meračských podmienok.

5 SÚHRN

Využitie technológií GNSS pri lesníckom mapovaní je aktuálne. Táto technológia sa javí ako najvýhodnejšia pri zhusťovaní bodových polí na voľných priestranstvách, lesných priesekoch a na okrajoch lesných porastov s následným meraním pod lesným porastom klasickými terestrickými metódami (meranie s totálnymi stanicami, ele ktronickými tachymetrami, buzolové meranie s Field-mapom a pod.).

Výsledky GNSS meraní sú závislé od použitej metódy merania, dĺžky observácie, družicového systému, počte a konštelácii družíc. Pri lesníckom mapovaní sa ako najvýhodnejšia javí Statická metóda GNSS. V podmienkach lesných porastov dochádza pri kinematickej (RTK) metóde aj pri metóde Stop & Go k vyšším výkyvom polohových chýb (desiatky centimetrov), a preto nie je možnosť využitia týchto metód pri budovaní bodových

polí, pri zameriavaní vlastníckych hraníc pri požadovanej minimálnej 4. triede presnosti mapovania (m_{xy} = 0,26 m). Je ale možnosť využita týchto metód pri zameriavaní hraníc JPRL, ktoré nie sú vlastníckymi hranicami a ostatného lesného detailu, kde polohové presnosti pri metódach merania GNSS sú postačujúce (m_{xy} = 1,50 m). Na presnosť merania majú vplyv aj ďalšie faktory, ako je napr. charakter lesného porastu, stredná hrúbka, zakmenenie a zápoj. Vplyv má tiež ročné obdobie a samotné umiestnenie meraných bodov v teréne. Tu zohráva vplyv konfigurácia terénu, expozícia, výskyt hrubých kmeňov v blízkosti meraného bodu.

Pri zhusťovaní bodového poľa je dôležité venovať pozornosť optimálnemu rozmiestneniu bodov. Body je vhodné umiestňovať na voľnejšie priestranstvá (okraje porastov, lesné prieseky) tak, aby bol zabezpečený čo najoptimálnejší príjem družicových signálov a zabezpečená zároveň aj optimálna možnosť využitia navrhovaného bodového poľa pre ďalšie terestrické merania. Navrhované body je vhodné umiestňovať do vzdialenosti 1 km od referenčnej stanice. Pokiaľ pri meraní nebude zabezpečený dostatočný počet družíc (6 a viac), nie je vhodné meranie realizovať, pretože aj pri predĺženej dĺžke observácie nie je zaručené vyriešenie ambiguid (Vitásková, 2002).

Použitím dnešných dvojfrekvenčných GNSS prijímačov, ktoré sú schopné prijímať nielen signály z amerických družíc NAVSTAR (GPS), ale aj z ruských družíc GLONASS a v blízkej budúcnosti aj signály družíc GALILEO sa značne rozširujú možnosti využívania technológií GNSS aj v menej priaznivých meračských podmienkach akými sú charakteristické napríklad lesné prieseky a lesné porasty.

6 Použitá literatúra

Böhm, J. a kol.: Teórie chýb za vyrovnávací počet. GKP Praha, 1990, 416 s.,

Halvoň, Ľ.: Využitie metód GPS pri lesníckom mapovaní, In. Geodézia v lesníctve, TU Zvolen, 2006, s. 26-38,

Hefty, J., Husár, L.: Družicová geodézia. Globálny polohový systém, STU, Bratislava, 2003, 186 s.

Hricko, B.:Nové trendy v lesníckom mapovaní. Dizertačná práca, TU Zvolen, 2002, 128 s.

Hricko, B. – Žíhlavník, Š.: Určovanie polohy bodov pomocou GPS v lesných porastoch, Geodézia, fotogrametria a inžinierska geodézia v informačnej spoločnosti, Slovenská technická univerzita, STU Bratislava, 2001, s. 272–280.

Hricko, B. – Tunák, D. – Žíhlavník, Š.: Globálny polohový systém v lesníckom mapovaní. In. Aktuálne problémy v lesníckeho mapovania, TU Zvolen, 2004, s. 41–50.

Klobušiak, M., Leitmannová, K.: SK*POS* a 3D projekčný priestor. GPS + GLONASS + Galileo: nové obzory geodézie, Zborník referátov, Bratislava, 2006, s. 81–94.

Klusoň, Z. – Janoš, M. – Ďurica, M.: Letecké měřičské snímkování s využitím systému aerocontrol, In. Aktuálne problémy lesníckeho mapovania, TU Zvolen, 2004, s. 137–141,

Tunák, D.: Určovanie polohových bodov v zalesnených územiach metódou polygónových ťahov. In: Zborník odborných referátov „Nové metódy a techniky pre meranie lesa a dreva“ TU Zvolen, 1998, 127 s.,

Vitásková, J.: Využití metódy GPS v lesním hospodářství, Autoreferát dizertačnej práce, Modelová zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2002, s. 14,

Voženílek, V.- Sedlák, P.: In: Geografický časopis, Mobilné geoinformačné technológie v geomorfologickom mapovaní, roč. 56, č. 1, Bratislava, 2004, s. 65–81.

Firemná literatúra TOPCON Hiper GGD, TOPCON GPT 3002.

Inštrukcia na práce v polohových bodových poliach 984 121 (1994), ÚGKK SR, 110 s.

Vyhláška MP SR č. 453/2006 Z. z. o hospodárskej úprave lesov.
Zákon NR SR č. 215/1995 Z. z. o geodézií a kartografií.
Internetové adresy:
http://www.zememeric.cz/
http://www.glonass-ianc.rsa.ru/
http//:www.skpos.gku.sk
http://www.gku.sk/slo/produkty/gnss

Adresa autorov:
Ing. Jozef Meluš, PhD.
Ing. Marek Faško
Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie
Lesnícka fakulta
Technická univerzita
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen

e-mail: marekfasko@gmail.com

Satellite Geodesy (GNSS) and the SKPOS Service in Forestry Survey

Resümee

Ausnutzung der GNSS Technologie bei der forstlichen Kartierung ist aktuell. Diese Methode scheint die günstigste für das Verdichten des Punktfeldes auf offenen Stellen, auf den Waldhauen und auf dem Rand der Waldbestände zu sein. Für die Bedürfnisse der geodätischen Praxis ist es jedoch unerlässlich, die anschließende Messung unter dem Bestandesdach durch den klassischen terrestrischen Messmethoden auszuüben (Totalstationen, elektronische Tachymetern, Bussolenmessung mit der FIELD MAP Apparatur .u ä.).

Die Ergebnisse der GNSS Messungen beeinflusst die verwendete Messmethode, Observationsdauer, die Zahl und Konfiguration der Satelliten des verwendeten Satellitensystems. Bei der forstlichen Kartierung weist das Statische Messverfahren die besten Resultate auf. In den Waldbestandsbedingungen kommt es bei dem Kinematischen (RTK) sowie bei dem „Stop and go“ Messverfahren zu höheren Schwankungen der Lagefehlern (einige zehn cm) ein. Deswegen gibt es keine Möglichkeit für die Ausnutzung dieser Verfahren bei dem Aufbau des Punktfeldes für die Bedarfe der Eigentumsgrenzenvermessung, wo man mindestens die 4. Klasse der Genauigkeit der Kartierung erfordert (m_{xy} = 0,26 m). Diese Messverfahren eignen sich aber für die Vermessung der Grenzen der Waldeinteilungseinheitseinheiten (JPRL), die nicht zugleich die Eigentumsgrenzen bilden und auch des sog. Forstdetails, wobei die Genauigkeiten dieser GNSS Verfahren zureichend sind (m_{xy} = 1,50 m). Die Resultatspräzision beeinflussen auch andere Faktoren, wie der Charakter des Waldbestandes, die mittlere Dicke, Bestockung und die Dichte des Kronendachs. Eine Rolle spielt auch die Jahreszeit und die Position der messenden Punkte im Terrain, nämlich durch die Exposition, Anwesenheit der starken Baumstämme in der direkten Umgebung des gemessenen Punktes.

ACTA FACULTATIS FORESTALIS XLX
ZVOLEN – SLOVAKIA 2008

PRINCÍP REKUPERAČNÝCH LANOVÝCH ZARIADENÍ

Štefan I L Č Í K

ILČÍK, Š.: Princíp rekuperačných lanových zariadení, Acta Facultatis Forestalis Zvolen, **XLX**, 2008, č. 1, s. 151–162.

Príspevok sa zaoberá rekuperačnými lanovými zariadeniami. Jedná sa o svetovo nové koncepčné technické riešenia v oblasti lanových zariadení so zameraním na opätovné získavanie energie ako zdroja ich vlastného pohonu použitím pôsobenia gravitačnej sily počas gravitačného približovania vozíka a nákladu. Ďalej je v príspevku uvedené teoretické odvodenie základného princípu rekuperačných lanových zariadení so zameraním na analýzu silových pomerov a mechanickej práce, ktorá zohľadňuje aj vplyv menovitej hmotnosti jedného metra ťažného lana, vo fáze gravitačného približovania vozíka s nákladom a vo fáze vyťahovania prázdneho vozíka späť hore svahom.

Kľúčové slová: rekuperačné lanové zariadenie, gravitačná sila, rekuperácia energie

1. ÚVOD A PROBLEMATIKA

V súvislosti so zvyšujúcimi sa požiadavkami na využívanie pohonných hmôt v oblasti lesného hospodárstva sa na KLŤM vykonáva základný výskum energeticky úsporných zariadení na sústreďovanie dreva. Základný výskum je realizovaný na základe grantu **VEGA č. 1/3523/06**, ktorého výsledkom sú nové koncepčné technické riešenia rekuperačných lanových zariadení chránené podľa patentových prihlášok PP 0053-2006, PP 0080-2007, PP 0103-2007, PP 0108-2007, PP 0109-2007, ktorých vlastníkom je Technická univerzita vo Zvolene.

Rekuperačné lanové zariadenia sú zamerané na opätovné získavania energie ako zdroja ich vlastného pohonu využitím pôsobenia gravitačnej sily počas gravitačného približovania vozíka a nákladu. Základným princípom je akumulovanie gravitačnej energie vozíka a nákladu vo fáze gravitačného približovania dole svahom v trakčnom akumulátore, ktorá je v ďalšom použitá na pohon lanového zariadenia (Štollmann, V. – Ilčík, Š., 2007).

Rekuperačné lanové zariadenia sa rozdeľujú podľa spôsobu, akým sa akumuluje gravitačná energia vozíka a nákladu vo fáze gravitačného približovania dole svahom na rekuperačné lanové zariadenia s elektrickým pohonom, hydraulickým pohonom, pneumatickým pohonom a mechanickým pohonom (Štollmann, V. – Ilčík, Š., 2007).

2. CIEĽ A METODIKA

Cieľom problematiky je teoretické odvodenie základného princípu rekuperačných lanových zariadení so zameraním na analýzu silových pomerov a mechanickej práce vo fáze gravitačného približovania vozíka s nákladom a vo fáze vyťahovania prázdneho vozíka späť hore svahom.

V prvej časti riešenia sa vypočíta veľkosť výslednej sily *F*, ktorá spôsobuje gravitačné približovanie vozíka a nákladu dole svahom a veľkosť sily, ktorá je potrebná pre vytiahnutie prázdneho vozíka späť hore svahom. Pri výpočtoch budeme brať do úvahy aj menovitú hmotnosť *q* jedného metra ťažného lana, ktorá má pre ťažné lano s menovitým priemerom *d = 16 mm* hodnotu *0,92 kg*. Menovitá hmotnosť jedného metra ťažného lana sa vo fáze gravitačného približovania vozíka a nákladu pripočítava ku hmotnosti gravitačného lanového vozíka postupne v každom metri na celej dráhe gravitačného približovania a vo fáze vyťahovania prázdneho vozíka späť hore svahom sa odpočítava od hmotnosti gravitačného lanového vozíka na celej dráhe vyťahovania. Ďalej pri výpočte bude zohľadnený trakčný súčiniteľ trenia *f = 0,007* (Dukeľskij A. I., 1966).

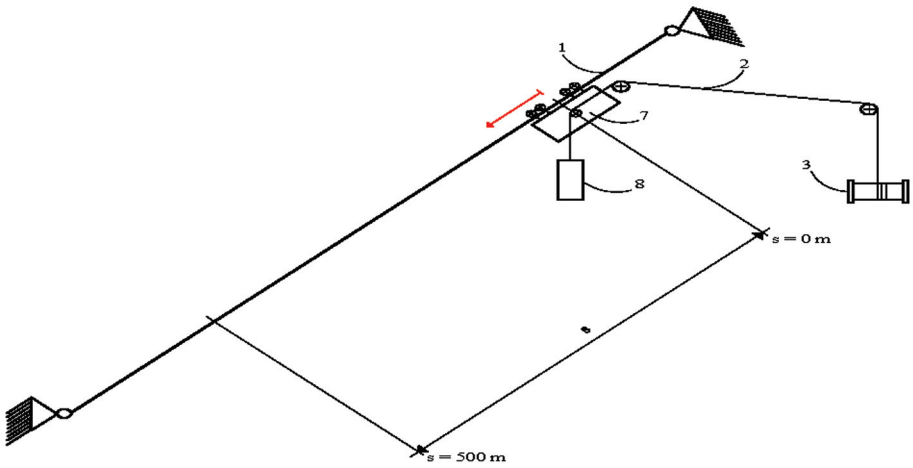
V druhej časti riešenia sa vypočíta mechanická práca *A* rekuperačného lanového zariadenia prostredníctvom matematickej metódy vo fáze gravitačného približovania a vo fáze vyťahovania prázdneho vozíka späť hore svahom. Výpočet mechanickej práce zohľadňuje aj zmenu menovitej hmotnosti jedného metra ťažného lana. Pri výpočte mechanickej práce *A* matematickou metódou sa postupuje tak, že najskôr sa podľa prvej časti riešenia vypočíta sila *F*, ktorá spôsobuje gravitačné približovanie vozíka a nákladu resp. je potrebná na vytiahnutie prázdneho vozíka späť hore svahom, pre každý meter na dráhe *s*. Z vypočítaných hodnôt sa zostaví graf, ktorého graf funkcie charakterizuje meniaci sa priebeh sily s meniacou sa dráhou. Výpočet mechanickej práce sa určí prostredníctvom určitého integrálu, ktorým sa vypočíta obsah rovinnej oblasti, ktorá je ohraničená grafom funkcie, osou grafu, na ktorej je vynesená sila *F* a osou grafu, na ktorej je vynesená dráha *s*.

Na základe porovnania veľkosti mechanickej práce, demonštrujeme funkčnosť základného princípu rekuperačných lanových zariadení.

3. VÝSLEDKY

3.1 Výpočet zmeny veľkosti sily pri zmene menovitej hmotnosti ťažného lana vo fáze gravitačného približovania

V prvej časti riešenia vypočítame veľkosť sily *F*, ktorá spôsobuje gravitačné približovanie vozíka a nákladu dole svahom (príklad č. 1). Veľkosť sily *F* na začiatku gravitačného približovania v dráhe *s = 0 m* sa určí prostredníctvom vzťahu (1).



Obr. 1: Gravitačný lanový vozík na začiatku dráhy *s = 0 m* vo fáze gravitačného približovania
Fig. 1: Carriage at the beginning of the path *s=0 m* in part of downhill yarding

Príklad č. 1:
Za predpokladu že platí:

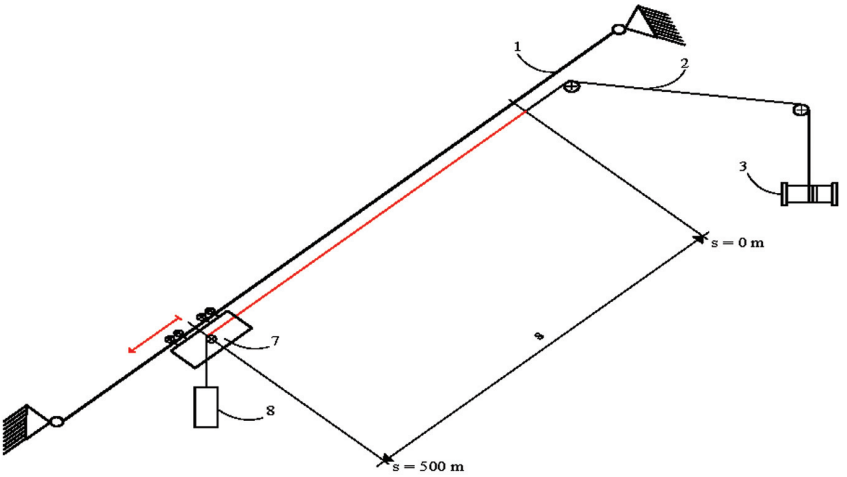
- dráha gravitačného približovania s = *od 0 do 500 m*
- hmotnosť nákladu $m_n = 1500\ kg$
- hmotnosť gravitačného vozíka $m_v = 100\ kg$
- menovitý priemer ťažného lana $d = 16\ mm$
- menovitá hmotnosť jedného metra ťažného lana $q = 0{,}92\ kg.m^{-1}$
- dĺžka ťažného lana v metroch d_l
- uhol gravitačného približovania $\alpha = 30°$
- trakčný súčiniteľ trenia $f = 0{,}007$

$$F_{(q,d_l)} = [(m_v + m_n) + q \,.\, d_l] \,.\, g \,.\, (\sin\alpha - f \,.\, \cos\alpha)$$

$$F_{(0,92;0)} = [(100 + 1500) + 0{,}92 \,.\, 0] \,.\, 9{,}81 \,.\, (\sin 30° - 0{,}007 \,.\, \cos 30°) \qquad (1)$$

$$F_{(0,92;0)} = [(100 + 1500) + 0{,}92 \,.\, 0] \,.\, 9{,}81 \,.\, (0{,}5 - 0{,}007 \,.\, 0{,}866025) = 7752{,}85\ N = 7{,}75\ kN$$

Veľkosť výslednej sily F, ktorá spôsobuje gravitačné približovanie vozíka a nákladu je *7752,85 N = 7,75 kN*. Veľkosť sily pri dráhe $s = 0\ m$ sa nezmenila z dôvodu že sa ešte nepripočítala menovitá hmotnosť jedného metra ťažného lana. Pozícia gravitačného lanového vozíka v dráhe $s = 0\ m$ vo fáze gravitačného približovania je znázornená na obr. 1.



Obr. 2: Gravitačný lanový vozík na konci dráhy *s = 500 m* vo fáze gravitačného približovania
Fig. 2: Carriage at the end of the path *s = 500 m* in part of downhill yarding

Veľkosť výslednej sily *F* na konci gravitačného približovania v dráhe *s = 500 m* sa určí rovnakým spôsobom, ako v predchádzajúcom prípade ale sa zohľadní aj menovitá hmotnosť ťažného lana prostredníctvom vzťahu (2):

$$F_{(q,d_l)} = [(m_v + m_n) + q \,.\, d_l] \,.\, g \,.\, (\sin\alpha - f \,.\, \cos\alpha)$$

$$F_{(0,92;500)} = [(100 + 1500) + 0{,}92 \,.\, 500] \,.\, 9{,}81 \,.\, (\sin 30° - 0{,}007 \,.\, \cos 30°) \qquad (2)$$

$$F_{(0,92;500)} = [1600 + 460] \,.\, 9{,}81 \,.\, (0{,}5 - 0{,}007 \,.\, 0{,}866025) = 9981{,}79\ N = 9{,}98\ kN$$

Veľkosť sily *F*, ktorá spôsobuje gravitačné približovanie vozíka a nákladu je *9981,79 N = 9,98 kN*. Veľkosť sily v dráhe *s = 500 m* sa zmenila z dôvodu pripočítania menovitej hmotnosti jedného metra ťažného lana v každom metri gravitačného približovania. Pozícia gravitačného lanového vozíka v dráhe *s = 500 m* vo fáze gravitačného približovania je znázornená na obr. 2.

3.1.1 Rozdiel výslednej sily na konci dráhy a na začiatku dráhy vo fáze gravitačného približovania

Podľa výpočtov v príklade č. 1 je veľkosť sily $F_{(0,92;0)}$ na začiatku dráhy s = 0 *m* vo fáze gravitačného približovania *7752,85 N = 7,75 kN* a veľkosť sily $F_{(0,92;500)}$ na konci dráhy s = 500 *m* vo fáze gravitačného približovania *9981,79 N = 9,98 kN*. Rozdiel ΔF sily určíme prostredníctvom vzťahu (3).

$$\Delta F = F_{(0,92:500)} - F_{(0,92:0)}$$
$$\Delta F = 9981{,}79 - 7752{,}85 = 2228{,}94\ N = 2{,}23\ kN \quad (3)$$

Z uvedeného rozdielu sily ΔF vidno, že výsledná sila F vplyvom menovitej hmotnosti ťažného lana počas gravitačného približovania vozíka a nákladu na konci dráhy približovania zväčšila svoju hodnotu o *2,23 kN*. Na základe porovnania výsledkov z uvedeného príkladu pri výpočte veľkosti sily F je zrejmé, že vplyv premenlivej hmotnosti vozíka, ktorá je spôsobená pripočítavaním hmotnosti jedného metra ťažného lana v každom metri ku hmotnosti vozíka počas gravitačného približovania je významným faktorom, ktorý v ďalšom ovplyvní hodnotu výsledku pri výpočte práce vo fáze gravitačného približovania. Z tohto dôvodu je potrebné brať tento faktor do úvahy pri výpočte práce vykonanej rekuperačným lanovým zariadením.

3.2 Výpočet zmeny veľkosti sily pri zmene menovitej hmotnosti ťažného lana vo fáze vyťahovania prázdneho vozíka späť hore svahom

Veľkosť výslednej sily F, ktorá je potrebná na vytiahnutie prázdneho vozíka späť hore svahom (príklad č. 2) na začiatku vyťahovania v dráhe $s = 0\ m$ sa určí prostredníctvom vzťahu (4).

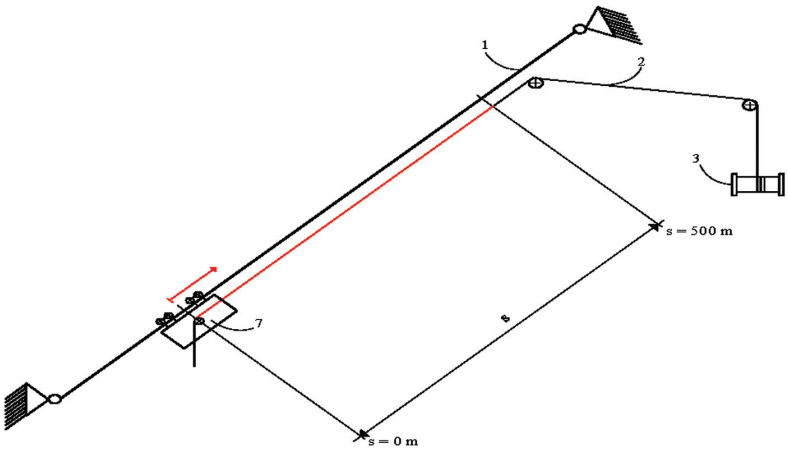
Príklad č. 2:

Za predpokladu že platí:

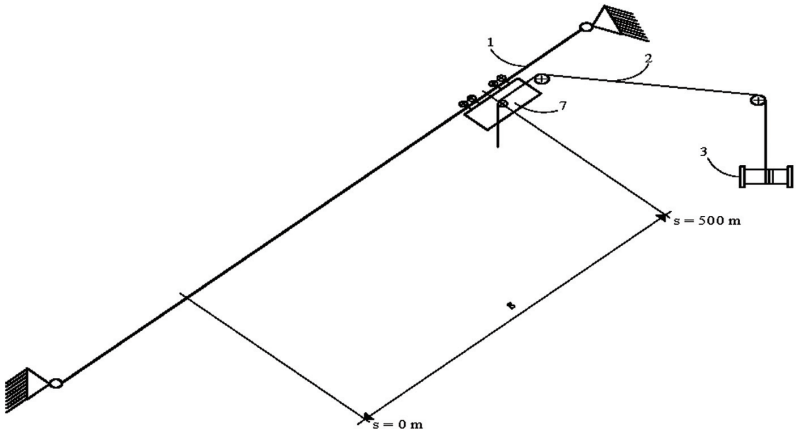
- dráha vyťahovania prázdneho vozíka späť hore svahom $s = od\ 0\ do\ 500\ m$,
- hmotnosť gravitačného vozíka $m_v = 100\ kg$,
- menovitá hmotnosť ťažného lana na celej dráhe vyťahovania $q\ .\ d_l = 0{,}92\ .\ 500 = 460\ kg$,
- menovitý priemer ťažného lana $d = 16\ mm$,
- menovitá hmotnosť jedného metra ťažného lana $q = 0{,}92\ kg\ .\ m^{-1}$,
- dĺžka ťažného lana v metroch d_l,
- uhol gravitačného približovania $\alpha = 30°$,
- trakčný súčiniteľ trenia $f = 0{,}007$.

$$F_{(q,d_l)} = [(m_v + (q\ .\ d_l)) - q\ .\ d_l]\ .\ g\ .\ (\sin\alpha + f\ .\ \cos\alpha)$$
$$F_{(0,92;500)} = [(100 + (0{,}92\ .\ 500)) - 0{,}92\ .\ 0]\ .\ 9{,}81\ .\ (\sin 30° + 0{,}007\ .\ \cos 30°) \quad (4)$$
$$F_{(0,92;500)} = [100 + 460] - 0{,}92\ .\ 0]\ .\ 9{,}81\ .\ (0{,}5 + 0{,}007\ .\ 0{,}866025) = 2780{,}10\ N = 2{,}78\ kN$$

Veľkosť výslednej sily F, ktorá je potrebná v dráhe $s = 0\ m$ na vytiahnutie prázdneho vozíka späť hore svahom je *2780,1 N = 2,78 kN*. Pozícia gravitačného lanového vozíka vo fáze vyťahovania v dráhe $s = 0\ m$ je znázornená na obr. 3.



Obr. 3: Gravitačný lanový vozík na začiatku fázy vyťahovania v dráhe *s = 0 m*
Fig. 3: Carriage at the beginning in part of uphill yarding in the path *s = 0 m*



Obr. 4: Gravitačný lanový vozík na konci fázy vyťahovania v dráhe *s = 500 m*
Fig. 4: Carriage at the end in part of uphill yearding in the path *s = 500 m*

Veľkosť výslednej sily *F* na konci vyťahovania prázdneho vozíka späť hore svahom v dráhe *s = 500 m* sa určí rovnakým spôsobom podľa vzťahu (5):

$$F_{(q,d_l)} = [(m_v + (q \,.\, d_l)) - q \,.\, d_l] \,.\, g \,.\, (\sin\alpha + f \,.\, \cos\alpha)$$

$$F_{(0,92;0)} = [(100 + (0{,}92 \,.\, 500)) - 0{,}92 \,.\, 500] \,.\, 9{,}81 \,.\, (\sin 30° + 0{,}007 \,.\, \cos 30°) \qquad (5)$$

$$F_{(0,92;0)} = [100 + 460] - 0{,}92 \,.\, 500] \,.\, 9{,}81 \,.\, (0{,}5 + 0{,}007 \,.\, 0{,}866025) = 496{,}44\ N = 0{,}49\ kN$$

Veľkosť výslednej sily *F* po vytiahnutí prázdneho vozíka späť hore svahom do pozície v dráhe *s = 500 m* je *496,44 N = 0,49 kN*. Veľkosť sily po spätnom vytiahnutí prázdneho vozíka v dráhe *s = 500 m* sa znížila z dôvodu odpočítania menovitej hmotnosti jedného metra ťažného lana v každom metri na dráhe vyťahovania prázdneho vozíka späť hore svahom. Pozícia gravitačného lanového vozíka vo fáze spätného vyťahovania v dráhe *s = 500 m* je znázornená na obr. 4.

3.2.1 Rozdiel výslednej sily na konci dráhy a na začiatku dráhy vo fáze vyťahovania prázdneho vozíka

Z uvedených výpočtov v príklade č. 2 vidno, že veľkosť sily $F_{(0,92;500)}$ na začiatku vyťahovania prázdneho vozíka v dráhe $s = 0$ *m* činí *2780,10 N = 2,78 kN* a veľkosť sily $F_{(0,92;0)}$ na konci vyťahovania prázdneho vozíka v dráhe $s = 500$ *m* činí *496,44 N = 0,49 kN*. Rozdiel sily ΔF určíme prostredníctvom vzťahu (3).

$$\Delta F = F_{(0,92;500)} - F_{(0,92;0)} \qquad (3)$$

$$\Delta F = 2780,10 - 496,44 = 2283,66\ N = 2,28\ kN$$

Z uvedeného rozdielu sily vidno, že výsledná sila *F* počas vyťahovania prázdneho vozíka späť hore svahom sa vplyvom menovitej hmotnosti ťažného lana na konci dráhy vyťahovania zmenšila o hodnotu *2,28 kN*.

3.3 Výpočet prác matematickou metódou

3.3.1 Výpočet práce matematickou metódou vo fáze gravitačného približovania

Sila *F* mení s dráhou *s* svoju veľkosť vplyvom meniacej sa menovitej hmotnosti ťažného lana. Vo fáze gravitačného približovania sa menovitá hmotnosť jedného metra ťažného lana pripočítava k hmotnosti vozíka a nákladu. Sila *F*, ktorá spôsobuje gravitačné približovanie postupne s dráhou *s* zväčšuje svoju veľkosť. Na začiatku gravitačného približovania má sila *F* na dráhe veľkosť *7752,84 N* a na konci dráhy gravitačného približovania veľkosť *9981,79 N*. Sila *F* sa vypočítala pre každý meter dráhy *s* a z vypočítaných hodnôt sa zostavil graf, ktorého meniaci sa priebeh veľkosti sily *F* na dráhe *s* má tvar lineárnej funkcie, ktorej grafom je priamka $F = kx + q$ (obr. 5).

Matematický výpočet:

$F_{(0)}$ = 7752,84 *N* – veľkosť sily *F* na začiatku približovania v dráhe $s = 0$ *m*

$F_{(500)}$ = 9981,79 *N* – veľkosť sily *F* na konci približovania v dráhe $s = 500$ *m*

$F_{(s)} = k \,.\, s + q$ – rovnica priamky

$7752{,}848057 + k\,.\,0 + q$ $\quad 9981{,}791873 = k\,.\,500 + 7752{,}848057$ $\quad \frac{2228{,}943816}{500} = k$

$9981{,}791873 = k\,.\,500 + q$ $\quad 9981{,}791873 = 7752{,}848057 = k\,.\,500$

$q = 7752{,}848057$ $\quad 2228{,}943816 = k\,.\,500$ $\quad 4{,}457887632 = k$

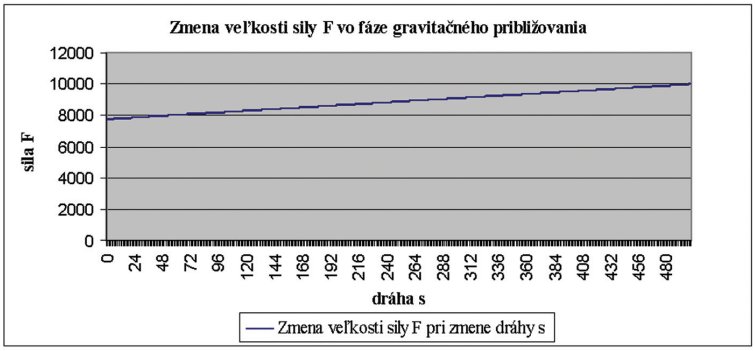
Rovnica priamky pre priebeh sily *F* vo fáze gravitačného približovania

$$F_{(s)} = 4{,}45788632\,.\,s + 7752{,}848057$$

Skúška správnosti:

$F_{(0)} = 4{,}45788632\,.\,0 + 7752{,}848057$ $\quad F_{(500)} = 4{,}45788632\,.\,500 + 7752{,}848057$

$F_{(0)} = 7752{,}848057\ N$ $\quad F_{(500)} = 9981{,}791873\ N$



Obr. 5: Znázornená zmena veľkosti sily so zmenou dráhy vo fáze gravitačného približovania
Fig. 5: Change size of the force with change path in part of downhill yearding

Výpočet práce pomocou určitého integrálu vo fáze gravitačného približovania

$$A_{vn} = \int_0^{500} F ds = \int_0^{500} (k.s + q) ds$$

$$A_{vn} = \int_0^{500} F ds = \int_0^{500} (k.s + q) ds = \left[k.\frac{s^2}{2} + qs \right]_0^{500} = k.\frac{500^2}{2} + q.500 =$$

$$A_{vn} = 4{,}457887632.125000 + 7752{,}848057.500 = 4433659{,}983\ J = 4433{,}66\ kJ$$

Veľkosť práce A_{vn}, ktorú vykoná vozík a náklad sa vypočíta prostredníctvom vzťahu 7 a vo fáze gravitačného približovania činí *4433,66 kJ*.

3.3.2 Výpočet práce matematickou metódou vo fáze vyťahovania prázdneho vozíka

Vo fáze vyťahovania prázdneho vozíka späť hore svahom sa menovitá hmotnosť jedného metra ťažného lana odpočítava od hmotnosti vozíka. Sila F, ktorá je potrebná na vytiahnutie prázdneho vozíka postupne pri spätnom vyťahovaní s dráhou s zmenšuje svoju veľkosť. Na začiatku vyťahovania prázdneho vozíka späť hore svahom má sila F veľkosť *2780,1 N* a po vytiahnutí prázdneho vozíka veľkosť *496,44 N*. Sila F sa vypočítala zvlášť pre každý meter dráhy s a z vypočítaných hodnôt sa zostavil graf na základe, ktorého vidno že meniaci sa priebeh veľkosti sily F na dráhe s má tvar lineárnej funkcie, ktorej grafom je priamka $F = kx + q$ (obr. 6).

Matematický výpočet

$F_{(0)}$ = 2780,10 *N* – veľkosť sily F na začiatku vyťahovania v dráhe $s = 0$ *m*

$F_{(500)}$ = 496,44 *N* – veľkosť sily F na konci vyťahovania v dráhe $s = 500$ *m*

$F_{(s)} = k \,.\, s + q$ – rovnica priamky

$2780{,}10 + k \,.\, 500 + q$ $\quad$ $2780{,}10 = k \,.\, 500 + 496{,}44$ $\quad$ $\frac{2283{,}65}{500} = k$

$496{,}44 = k \,.\, 0 + q$ $\quad$ $2780{,}10 - 496{,}44 = k \,.\, 500$

$q = 496{,}44$ $\quad$ $2283{,}65 = k \,.\, 500$ $\quad$ $4{,}567312362 = k$

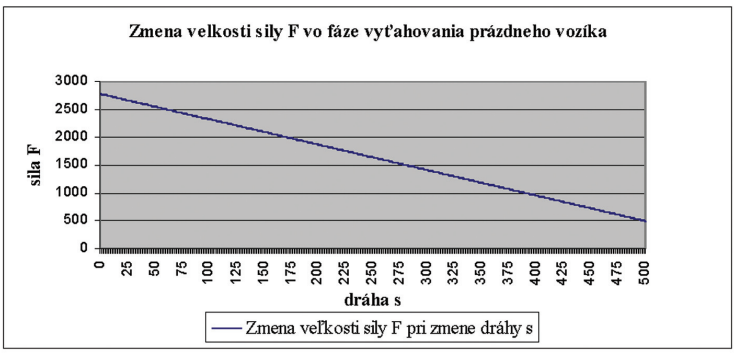
Rovnica priamky pre priebeh sily F vo fáze vyťahovania prázdneho vozíka

$F_{(s)} = 4{,}567312362 \,.\, s + 496{,}44$

Skúška správnosti:

$F_{(0)} = 4{,}567312362 \,.\, 500 + 496{,}44$ $\quad$ $F_{(500)} = 4{,}567312362 \,.\, 0 + 496{,}44$

$F_{(0)} = 2780{,}10$ *N* $\quad$ $F_{(500)}$ 496,44 *N*



Obr. 6: Znázornená zmena veľkosti sily so zmenou dráhy vo fáze vyťahovania prázdneho vozíka späť hore svahom

Fig. 6: Change size of the force with change path in part of uphill yearding

Výpočet práce pomocou určitého integrálu vo fáze vyťahovania prázdneho vozíka

$$A_v = \int_0^{500} F ds = \int_0^{500} (k.s + q) ds$$

$$A_v = \int_0^{500} F ds = \int_0^{500} (k.s + q) ds = \left[k.\frac{s^2}{2} + qs \right]_0^{500} = k.\frac{500^2}{2} + q.500 =$$

$$A_v = 4,567312362.125000 + 496,4469964.500 = 819137,54\ J = 819,14\ kJ$$

Veľkosť práce A_v, ktorú musí vykonať zariadenie na vytiahnutie prázdneho vozíka späť hore svahom je *819137,54 J = 819,14 kJ*.

3.3.3 Rozdiel práce

Z uvedených príkladov je zrejme, že veľkosť práce vozíka a nákladu A_{vn} vo fáze gravitačného približovania činí *4433,66 kJ* a veľkosť práce prázdneho vozíka A_v vo fáze vyťahovania činí *819,14 kJ*. Rozdiel práce určíme prostredníctvom vzťahu (8).

$\Delta A = A_{vn} - A_v$

$\Delta A = 4433,66 - 819,14 = 3614,52\ kJ$

Rozdiel práce ΔA činí *3614,52 kJ*. Z týchto príkladov vidno, že akumulovaná gravitačná energia nám postačuje na vytiahnutie prázdneho lanového vozíka.

4. DISKUSIA A ZÁVER

Na základe počítaných príkladov môžeme usúdiť, že veľkosť práce vozíka a nákladu A_{vn} vo fáze gravitačného približovania činí *4433659,983 J = 4433,6 kJ*. V tejto fáze je výsledkom práca resp. energia, ktorú vykoná gravitačná sila. O túto energiu sa môže dobíjať trakčný akumulátor. Táto získaná energia vo fáze gravitačného približovania slúži na vytiahnutie prázdneho vozíka späť hore svahom a na ďalšie pracovné úkony ako je napr. aktívne vysúvanie ťažného lana a vyťahovanie nákladu z porastu pod nosné lano. Veľkosť tejto energie, ktorá vzniká pri gravitačnom približovaní dole svahom, bude závisieť od uhla gravitačného približovania, hmotnosti nákladu a dráhy gravitačného približovania.

Veľkosť práce vozíka A_v vo fáze vyťahovania prázdneho vozíka späť hore svahom činí *819137,54 J = 819,1 kJ*. Výsledkom je práca resp. energia, ktorú musí vykonať zariadenie napr. elektromotor na vytiahnutie prázdneho vozíka späť hore svahom. Táto energia sa odoberie z trakčného akumulátora. Veľkosť tejto energie, ktorú treba vynaložiť

pri vyťahovaní prázdneho vozíka späť hore svahom, bude závisieť od uhla gravitačného približovania a dráhy vyťahovania.

Rozdiel prác ΔA vo fáze gravitačného približovania a vo fáze vyťahovania prázdneho vozíka späť hore svahom činí *3614522,44 J = 3614,5 kJ*. Na základe tohto vypočítaného rozdielu prác, môžeme usúdiť že v trakčnom akumulátore po odobratí energie na spätné vytiahnutie prázdneho vozíka ostáva ešte akumulovaná veľká časť využiteľnej energie. Tento rozdiel práce predstavuje voľnú energiu, ktorá sa akumuluje a využije na pohon rekuperačného lanového zariadenia.

Rekuperačné lanové zariadenia ponúkajú principiálne nové riešenie problémov v lesníckej prevádzke vyplývajúcich zo zvyšujúcich sa požiadaviek na spotrebu pohonných hmôt. Náhrada spaľovacieho motora, riešenie problematiky nadspotreby pohonných hmôt, nezaťažovanie životného prostredia exhalátmi, odpadovým teplom a spotrebou kyslíka ako je to v prípade používania spaľovacích motorov a zvyšujú bezpečnosť pr áce. Rekuperačné lanové zariadenia majú široké uplatnenie a možno ich použiť nielen v lesnom hospodárstve na približovanie drevnej hmoty v lanovkových terénoch, ale tiež pri gravitačnej doprave rôznych nákladov v oblasti poľnohospodárstva a stavebníctva s prekonávaním výškového rozdielu (Štollmann, V. – Ilčík, Š., 2007).

Poznatky uvedené v príspevku vznikli pri riešení grantu **VEGA č. 1/3523/06** s názvom Výskum nových technických a technologických princípov strojov na sústreďovanie dreva za podpory Ministerstva školstva SR.

Literatúra

Dukeľskij A. I., 1966: Podvesnyje kanatnyje dorogi i kabeľnyje krany. Moskva: Mašinostrojenie, s. 481.

Ilčík Š., 2008: Výskum pracovných princípov rekuperačných lanových zariadení, Projekt dizertačnej práce, Technická univerzita vo Zvolene, s. 85.

ÚRAD PRIEMYSELNÉHO VLASTNÍCTVA SLOVENSKEJ REPUBLIKY: Rekuperačné lanové zariadenie pre ťažbu dreva, Pôvodca: Vladimír Štollmann. Int. Cl.: B66B1/00. Číslo patentovej prihlášky 53-2006, 22. 03. 2006.

ÚRAD PRIEMYSELNÉHO VLASTNÍCTVA SLOVENSKEJ REPUBLIKY: Termoelektrické rekuperačné lanové zariadenie. Pôvodca: Štefan Ilčík, Vladimír Štollmann. Int. Cl. B66B 1/00. Slovenská republika. Číslo patentovej prihlášky, 0080-2007, 08. 06. 2007.

ÚRAD PRIEMYSELNÉHO VLASTNÍCTVA SLOVENSKEJ REPUBLIKY: Hydraulické rekuperačné lanové zariadenie. Pôvodca: Vladimír Štollmann, Štefan Ilčík. Int. Cl. B66D 1/00. Slovenská republika. Číslo patentovej prihlášky 0103-2007, 24. 07. 2007.

ÚRAD PRIEMYSELNÉHO VLASTNÍCTVA SLOVENSKEJ REPUBLIKY: Mechanické rekuperačné lanové zariadenie so zotrvačníkom – gyrolanovka. Pôvodca: Vladimír Štollmann, Štefan Ilčík. Int. Cl.: B66B 7/00. Slovenská republika. Číslo patentovej prihlášky 0108-2007, 23. 08. 2007.

ÚRAD PRIEMYSELNÉHO VLASTNÍCTVA SLOVENSKEJ REPUBLIKY: Pneumatické rekuperačné lanové zariadenie. Pôvodca: Vladimír Štollmann, Štefan Ilčík. Int. Cl.: B66B 7/00. Slovenská republika. Číslo patentovej prihlášky 0109-2007, 23. 08. 2007.

Adresa autora:
Ing. Štefan Ilčík
Katedra lesnej ťažby a mechanizácie
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen

e-mail: ilcik@vsld.tuzvo.s

Principle of recuperative forest cableways

Summary

The paper presents of recuperative forest cableways. The research deals with world´s leading engineering solutions in the sphere of forest cableway specifications with oriented to recovery of energy as the source of self traction by use influence of gravitational force during gravitational skidding of carriage and load. Further on, the paper presents teoretical eduction of basic principle of recuperative forest cableways with oriented to analysis of calculations action of forces and mechanical work, that takes into considerations influence of rated weight of main line in part of gravitational skidding load and back return of empty carriage uphill.

Key words: recuperative forest cableway, gravitational force, energy recovery

ACTA FACULTATIS FORESTALIS XLX
ZVOLEN – SLOVAKIA 2008

ČASOVÁ ANALÝZA OPERÁCII PRI SÚSTREĎOVANÍ DREVA HORSKÝM PROCESOROM KONRAD MOUNTY 4000

Marián B U G O Š – Miroslav S T A N O V S K Ý
– Martin L I E S K O V S K Ý

Bugoš, M., Stanovský, M., Lieskovský M.: Časová analýza operácií pri sústreďovaní dreva horským procesorom Konrad Mounty 4000. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, **XLX**, 2008, č. 1, s. 163–174.

Práca analyzuje pracovné operácie horského procesora Konrad Mounty 4000 v podmienkach horských lesov Kysúc pri spracovaní kalamity lykožrúta smrekového (*Ips typhographus*) a podpňovky smrekovej (*Armillaria ostoyae*). Tento horský procesor vlastnia a prevádzkujú Lesy SR.

Analýza ukázala, že vplyv na spotrebu času pracovných operácii mala najmä vzdialenosť jazdy vozíka do porastu a vzdialenosť vyťahovania nákladu pod nosné lano. Pri približovaní nákladu spotreba času nie je závislá na približovacej vzdialenosti. Závislosť spotreby času od objemu nákladu a počtu stromov pri operáciách zostavovanie nákladu a odopínanie nákladu sa nepotvrdila. Časové straty spôsobovalo hlavne zabiehanie stromov za pne pri vyťahovaní a prestoje pri približovaní ktoré vznikali odovzdávaním ovládania od operátora pri bázovom stroji operátorovi v poraste.

Uvedený horský procesor je veľmi vhodný do týchto porastov zasiahnutých kalamitou, kde je možná veľká koncentrácia hmoty.

Kľúčové slová: horský procesor, pracovné operácie, časová analýza

1. ÚVOD

Na Slovensku sú veľmi zložité výrobno- 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.

V súčasnosti je percento využitia lanovkových technológií takmer mizivé. Považuje sa za organizačnú, ekonomickú a ekologickú deformáciu stav, keď približne 50 % lesov Slovenska je situovaných v pásme lanovkových terénov (nad 40 % sklonu, resp. s veľkou reliéfovou energiou) a napriek tomu viac ako 95 % dreva sa sústreďuje traktormi (Lukáč *et al*. 2003).

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 *et al*. 2003).

Najdôležitejšou funkciou horského lesa je to, že zabezpečuje „produkciu" a kolobeh vody. V kontinentálnej krajine ako je Slovensko, ktorého pramene zásobujú vodou rozsiahle územia Európy je zachovanie funkcie a biodiverzity horských lesov limitujúcim faktorom prosperujúcej existencie. Racionálne parametre vzťahu človeka k prírode môžeme poznať pomocou vedy, resp. môžeme akceptovať skúsenosti a intuitívne správanie sa minulých generácii.

Trvalo udržateľný rozvoj, resp. trvalo udržateľné hospodárenie v lesoch, je mozaika veľkého množstva detailov do ktorých plne zapadá aj variabilita technológii obhospodarovania lesov v horách. Práve viacoperačné stroje prinášajú aj do horských lesov také technologické postupy, ktoré sú najviac v súlade s podmienkami trvalosti. Je symbolické, že pre funkčné integrované moderné lesné hospodárstvo sa najvhodnejším výrobným systémom javia integrované technológie ťažbovo- dopravného obhospodarovania lesov (Lukáč, 2005).

2. CIEĽ

Cieľom práce bolo analyzovať pracovné operácie horského procesora KONRAD MOUNTY 4000, ktorý je vo vlastníctve štátnych lesov ako jedno zo zariadení pracujúce v podmienkach Kysúc pri spracovaní kalamity spôsobenej lykožrútom smrekovým (*Ips typhographus*) a podpňovky smrekovej (*Armillaria ostoyae*).

Časovými snímkami bol zisťovaný podiel jednotlivých operácii na sústreďovaní a faktory, na ktorých sú závislé, respektíve ktoré vplývajú zanedbateľnou mierou. Hodnotená bola i vhodnosť lanového zariadenie KONRAD MOUNTY 4000 v porastoch zasiahnutých kalamitou.

3. PROBLEMATIKA

Využite horských procesorov v horských porastoch Slovenska zasiahnutých kalamitou má veľký význam z dôvodu neustále rastúceho podielu náhodných ťažieb následkom pôsobenia abiotických a biotických činiteľov.

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 obsluhy lanovky 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 obsluhy lanoviek sú dôvodom ich odchodu na atraktívnejšie pracovné miesta operátorov harvesterov a forvarderov. Je stále obrovský rozdiel sociálneho postavenia medzi operátorom harvestera a obsluhy lanovky. Viacúčelový stroj zahrňujúci kombináciou lanovky, hydromanipulátoru a procesorovej hlavice môže nepriaznivý trend odchodu kvalifikovaných lanovkárov radikálne zmeniť.
- Odpadá potreba nasadenia traktora s navijákom pri odťahovaní a ukladaní lanovkou priblíženého dreva na odvoznom mieste.
- Súčasne so sústreďovaním sa vykonáva aj hygiena porastu čo v konečnom dôsledku ma 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 prejavia 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).

4. METODIKA PRÁCE

Potrebné údaje boli namerané počas 116 cyklov sústreďovania, na jednej trase lanovky, v jednom poraste pri gravitačnom sústreďovaní pomocou stopiek. Meraná bola spotrebu času pri operáciách jazda vozíka do porastu, zostavovanie nákladu, približovanie a odopínanie nákladu. Merania boli vykonávané na OZ Čadca na LS Stará Bystrica, kde sa v dielci 5289 vykonávalo sústreďovanie dreva horským procesorom KONRAD MOUNTY 4000.

Porast, v ktorom sa merania uskutočnili bol postihnutý kalamitou z polovice lykožrúta smrekového (*Ips typhographus*) a z polovice podpňovkou smrekovou (*Armillaria ostoyae*). Porast bol vybraný z dôvodu veľkej koncentrácie hmoty.

Štatistická významnosť korelačných koeficientov ***R*** bola hodnotená na základe štatistickej charakteristiky ***t*** (studentovo rozdelenie)

$$t = \frac{r.\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

pri $n = 116$ má t nasledujúce kritické hodnoty pre hladiny významnosti:

$\alpha_{0,05}$ $t = 1,98$ – korelačný koeficient je štatisticky významný s 95 %-nou pravdepodobnosťou – štatisticky významná závisloť x od y,

$\alpha_{0,01}$ $t = 2,62$ – korelačný koeficient je štatisticky významný s 99 %-nou pravdepodobnosťou – štatisticky silne významná závisloť x od y,

$\alpha_{0,001}$ $t = 3,37$ – korelačný koeficient je štatisticky významný s 99,9 %-nou pravdepodobnosťou – štatisticky veľmi silne významná závisloť x od y.

4.1 Charakteristika jednotlivých operácii

4.1.1 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, nakoľko sú na trase postavené dve bodky a taktiež preto, že na konci trasy sa musí vozík opatrnejšie približovať ku kotevnému bodu.

4.1.2 Zostavovanie nákladu a vyťahovanie

Operácia zostavenie nákladu je operácia zložená zo získania voľného konca ťažného lana, zapnutia nákladu do úväzku, vytiahnutia nákladu pod nosné lano a vydvihnutia nákladu do prepravnej polohy.

4.1.3 Približovanie

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

4.1.4 Odopínanie nákladu

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

4.2 Charakteristika porastu

Dielec 5289			
OZ Čadca		LS Stará Bystrica	
Kategória lesa:	H	Tvar lesa:	V
Vek:	80 rokov	Výmera:	11,41
Expozícia:	Z	Zásoba na ha:	462 m^3
Sklon:	SM 100 %	Bonita:	30

Stredný kmeň:	
Výška:	27 m
Hrúbka $d_{1,3}$:	33 cm
Objem:	0,84 m^3

Kalamitou bola zasiahnutá celková plocha 39,5 ha pričom horským procesorom bola spracovaná plocha o výmere 9,4 ha a spracovaný objem 3 965 m^3 čo predstavuje 23,8 % z celkovej kalamity. Ostatná časť kalamitnej plochy bola spracovaná využitím iných technológií.

4.3 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 harvesterovou hlavicou WOODY 60 s dosahom do 9 metrov. Hlavica dokáže manipulovať (odvetvovať, skracovať) s drevom o hrúbke od 8 do 60 cm. Dosah lanovky je 550 m pri hrúbke lana 20 mm. V tomto prípade bolo použité lano o priemere 22 mm. Približovanie v poraste bolo gravitačne, takže musel byť použitý lanovkový vozík WOODLINER 3000 s nosnosťou 3000 kg. Pri použití tohto vozíka sa jedná o nekonvenčnú lanovku. Vozík lanovky je vybavený jednovalcovým motorom s výkonom 76 kW a je diaľkovo ovládaný. Vozík umožňuje vysúvanie voľného konca lana prostredníctvom samostatného bubna integrovaného v ráme vozíka na ľubovoľnom mieste trasy. 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 antigravitačnom približovaní sa používa vozík LIFTLINER 3000 ktorý pracuje na princípe ťažného lana o priemere 12 mm a dĺžkou 650 m a pomocného lana. Celá lanovka je poháňaná motorom z vozidla MAN.

Horský procesor bol postavený na odvoznej ceste kam sa presunul z vedľajšieho stanovišťa. Odvoz sortimentov bol zabezpečený sólo vozidlom na medzisklad v tesnej blízkosti lanovky odkiaľ následne boli sortimenty odvážané na manipulačno-expedičný sklad.

Pracovná skupina je zložená z operátora pri bázovom stroji, ktorý obsluhuje lanovku a pomocou hydromanipulátora so stínacou hlavicou vyrába sortimenty. V poraste sa nachádza ďalší operátor, ktorý obsluhuje iba vozík a zapína náklad a dvaja piliari.

5. DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY

Na základe údajov nameraných počas 116 cyklov, ktoré sa skladali z operácii jazda vozíka do porastu, zostavenie nákladu, približovanie a odopínanie nákladu bolo zistené, že priemerná spotreba času na jeden cyklus je 11:50 minút. Počas merania bola zaznamenaná jedna technická porucha kedy vyskočilo nosné lano z botky. Táto technická prestávka trvala 33 minút. V jednom prípade musela byť lanovka vyradená z činnosti uvoľnením nosného lana a spustením na zem z dôvodu spiľovania stromov v tesnej blízkosti podperných prvkov a nosného lana čo predstavovalo 56 minút. Počas merania sa priemerný denný výkon pri pracovnej dobe 12 hodín s dvomi polhodinovými prestávkami a strednom objeme kmeňa 0,84 pohyboval na hranici 63 m^3.

5.1 Jazda vozíka do porastu

Jazda vozíka do porastu na prázdno začína pokynom operátora bázového stroja na mieste odopínania nákladu. Vzdialenosť jazdy sa mení v závislosti od potreby približovania. Končí zastavením vozíka operátorom v poraste v mieste najvhodnejšom na vyťahovanie nákladu z porastu. Táto operácia v sebe zahŕňa aj čas potrebný na výmenu ovládania medzi operátormi. Závislosť spotreby času jazdy vozíka do porastu od vzdialenosti je znázornená v grafe 1.

Priemerná spotreba času na jednu operáciu: 1:35 min

Priemerná rýchlosť jazdy vozíka do porastu 4,07 $m.s^{-1}$

Operácia predstavuje 13,4 % z celkovej spotreby času potrebnej jeden cyklus sústreďovania (hodnoty sú vypočítane z regresnej rovnice pre priemernú približovaciu vzdialenosť 388,6 m).

Úpravou regresnej rovnice spotreby času na jednu operáciu dostaneme spotrebu času tejto operácie na sústredenie 1 m^3:

$$t_1 = (0{,}226 \,.\, l_p + 7{,}8625)/Q \quad [\text{min. m}^3]$$

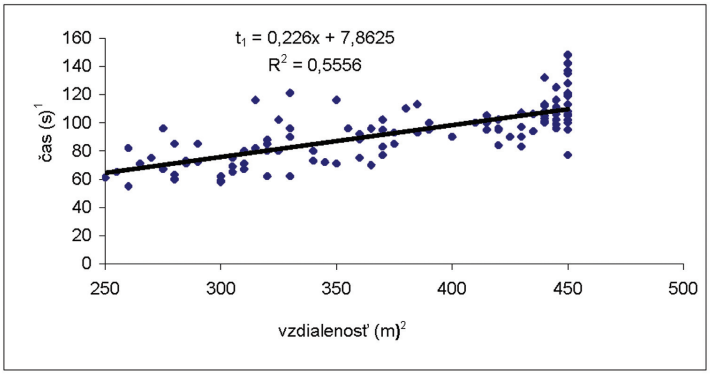
l_p – približovacia vzdialenosť [m],

Q – priemerný objem nákladu [m^3].

Spotreba času tejto operácie na sústredenie 1 m^3 pri priemernom objeme nákladu 2,32 m^3 a priemernej približovacej vzdialenosti 388,6 m dosahovala 0.41 min.

Analýzou grafu 1 bolo zistené, že medzi spotrebou času a približovacou vzdialenosťou je závislosť štatisticky veľmi silne významná, pričom $r = 0{,}75$. Rozptyl hodnôt hľadaného

znaku (spotreba času) sa dá vyjadriť v závislosti na znaku známom (vzdialenosť) na základe regresnej rovnice t_1= 0,226x + 7,8625. Zvyšok spôsobujú neuvažované činitele ako napríklad nekonštantná rýchlosť vozíka, spotreba času na odovzdanie ovládania medzi operátormi, zníženie rýchlosti pri prejazde cez botky a pri dojazde ku nepriechodnej podpere.



[1]time (s), [2]distance (m), R^2 coefficient of determination

Graf 1: Spotreba času jazdy vozíka na prázdno v závislosti na vzdialenosti
Figure 1: Time consumption of the empty wagon drive according to the distance

5.2 Zostavenie nákladu a vytiahnutie

Zostavenie nákladu začína uvoľnením voľného konca ťažného lana zapínačovi, s následnou chôdzou, zapnutie nákladu do úväzku a vytiahnutie nákladu pod nosné lano.

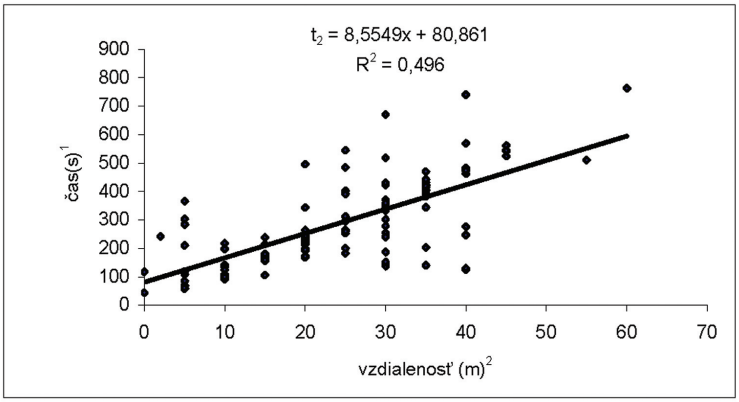
Priemerná spotreba času na zostavenie a vytiahnutie nákladu 5:24 min
Priemerná rýchlosť zostavovania s vyťahovania 0,08 m.s^{-1}
Spotreba času zostavenia a vyťahovania na sústredenie 1 m^3 2:21 min

(pri priemernej vyťahovacej vzdialenosti 28,8 m a priemernom objeme nákladu 2,32 m^3).

Operácia predstavuje 45,6 % z celkovej spotreby času potrebnej jeden cyklus sústreďovania.

Na základe grafu č. 2 možno tvrdiť, že medzi spotrebou času potrebnou na zostavenie nákladu a vytiahnutie pod nosné lano a vyťahovacou vzdialenosťou štatisticky silne významná závislosť, pričom 70 % hľadaného znaku (spotreba času) sa dá vyjadriť v závislosti na znaku známom (vyťahovacia vzdialenosť) na základe regresnej rovnice t_2 = 8,5549. x + 80,861. Zvyšok spôsobujú neuvažované činitele medzi ktoré patria napríklad terénne podmienky, ktoré ovplyvňujú čas potrebný na chôdzu s voľným koncom ťažného lana ku stromu, sprístupnenosť konca stromu za ktorý bude upnutý do úväzku, zabiehanie stromov

pri vyťahovaní za pne, následne prepínanie nákladu ako aj počet stromov v jednom náklade.

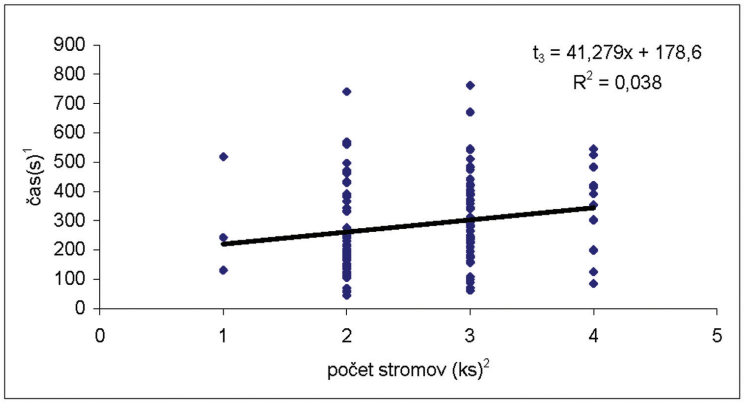


[1] time (s), [2] distance (m), R^2 coefficient of determination

Graf 2: Spotreba času na zostavenie nákladu a vytiahnutie nákladu pod nosné lano v závislosti od vzdialenosti vyťahovania

Figure 2: Time consumption of the composing the load and drawing out the load under the carrying cable according the distance of the pulling

Na grafe č. 3 vidieť, že medzi spotrebou času a počtom vyťahovaných stromov existuje štatisticky významná závislosť s 95 % pravdepodobnosťou *r = 0,19*. Medzi neuvažované činitele môžme zaradiť napríklad poškodenie stromov lykožrútom smrekovým a podpňovkou, ktoré spôsobuje ich zlomenie, čo vedie k nárastu času potrebného na vytiahnutie.



[1]time (s), [2]number of trees (pc), R^2 coefficient of determination

Graf 3: Spotreba času na zostavenie nákladu a vytiahnutie pod nosné lano v závislosti na počte kusov

Figure 3: Time consumption of the composing the load and drawing out the load under the carrying cable according the quantity

5.3 Približovanie

Operácia približovanie začína odbrzdením vozíka s nákladom v polozávese v poraste až po priblíženie nákladu k veži lanovky.

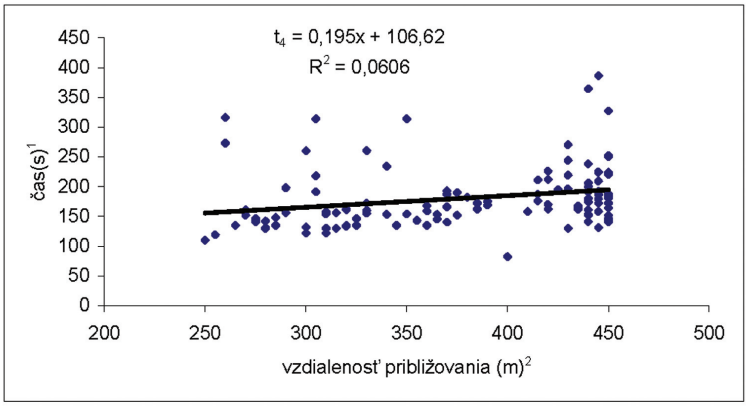
Priemerná spotreba času na priblíženie nákladu 3:02 min

Priemerná rýchlosť približovania 2,14 $m.s^{-1}$

Spotreba času priblížovania na sústredenie $1m^3$ 1:18 min

(pri priemernej približovacej vzdialenosti 388,6 m a priemernom objeme nákladu 2,32 m^3).

Operácia predstavuje 25,6 % z celkovej spotreby času potrebnej jeden cyklus sústreďovania.



[1]time consumption (s), [2]skidding distance (m), R^2 coefficient of determination

Graf 4: Spotreba času na približovanie v závislosti na približovacej vzdialenosti
Figure 4: Time consumption of the skidding according the skidding distance

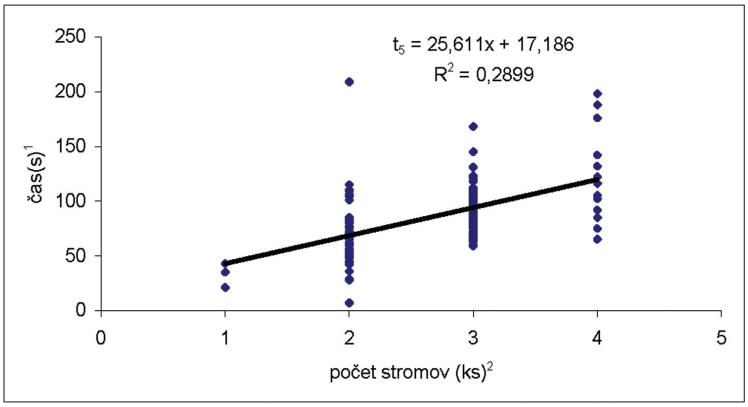
Analýzou grafu 4 bolo zistené, že spotreba času na približovanie je významne závislá na približovacej vzdialenosti pričom *r = 0,25*. V tejto operácii pôsobí veľké množstvo neuvažovaných činiteľov. Pri približovaní dochádza k zabiehaniu nákladu pri prejazde cez bodku za stožiarový strom, často vzniká rozhojdanie nákladu následkom čoho vozík musí zastaviť na čas nevyhnutný na ustálenie nákladu. Pri odovzdávaní ovládania medzi operátormi vzniká veľká časová strata pre zaneprázdnenosť operátora pri bázovom stroji z dôvodu spracovávania nákladu z predošlého cyklu, ktorá sa pohybuje rádovo v minútach. Jedným z neuvažovaných činiteľov je aj sklon terénu, ktorý pôsobí na ovládateľnosť nákladu pri gravitačnom približovaní.

5.4 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 jazda vozíka do porastu ako začiatok nového cyklu.

Priemerná spotreba času na odopínanie nákladu 1:28 min
Spotreba času odopínania nákladu na sústredenie 1m^3 0:38 min
Spotreba času na odopína nienákladu na sústredenie jedného stromu 0:32 min
(pri priemernom objeme nákladu 2,32 m^3 a priemernom počte stromov v jednom náklade 2,76 ks).

Operácia predstavuje podiel 12,4 % z celkovej spotreby času potrebnej jeden cyklus sústreďovania.



[1]time consumption (s), [2]number of trees (m), R^2 coefficient of determination

Graf 5: Závislosť spotreby času odopínania nákladu od počtu stromov v náklade
Figure 5: Dependence of the time consumption and the number of trees in the load

Na základe Grafu 5 možno konštatovať, že medzi spotrebou času na odopínanie nákladu a počtom stromov v jednom náklade existuje štatisticky silne významná závislosť *r = 0,54*. Na odopínanie nákladu pôsobia neuvažované činitele ako napríklad zaseknutie úväzku alebo zošmyknutie nákladu pod manipulačnú plošinu.

6. DISKUSIA A ZÁVER

Po vyhodnotení všetkých závislosti na spotrebu času pri jednotlivých operáciách možno tvrdiť, že proces sústreďovania dreva horským procesorom KONRAD MOUNTY

4000 ovplyvňuje predovšetkým približovacia vzdialenosť pri operácii jazda vozíka do porastu na začiatku pracovného cyklu a vzdialenosť vyťahovania pri operácii zostavovanie nákladu a vyťahovanie pod nosné lano.

Na proces sústreďovanie dreva pôsobí veľké množstvo neuvažovaných činiteľov. Najväčšie množstvo neuvažovaných činiteľov pôsobí pri operácii zostavovanie nákladu a vyťahovanie pod nosné lano. V tejto operácii bola zaznamenaná aj najväčšia variabilita dosiahnutých výsledkov spotreby času. Medzi najvýznamnejšie neuvažované činitele patrí členitosť a sklon terénu, ktorý spôsobuje zabiehanie nákladu za pne pri vyťahovaní nákladu, zabiehanie nákladu za stožiarové stromy a zlá ovládateľnosť pri gravitačnom sústreďovaní v operácii približovanie. Veľký vplyv na sústreďovanie má aj ľudský faktor. Dômyselným a pohotovým riadením jednotlivých operácii sa dá zabezpečiť plynulosť a nerušený priebeh približovania. Sú však momenty kedy operátori musia zvoliť dôležitejšiu operáciu a pri menej dôležitej operácii nastáva časová strata ako napríklad pri odovzdávaní ovládania medzi operátormi kedy operátor pri bazovom stroji spracováva hmotu z predchádzajúceho cyklu a náklad musí kvôli bezpečnosti počkať vo vhodnej vzdialenosti od bázového stroja .

Využite horských procesorov v horských porastoch Slovenska zasiahnutých kalamitou má veľký význam z dôvodu neustále rastúceho podielu náhodných ťažieb. 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 (poprípade spaľovanie haluziny). V súčasnej dobe na Slovensku pracuje jeden horský procesor tohto typu v réžii Lesov SR a jeden súkromný pričom LESY SR plánujú v najbližšom období zadovážiť ešte jeden takýto stroj, čo prinesie do naších lesov modernizáciu, ergonómiu a zvýšenie bezpečnosti.

7. Použitá 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, 134 s.

Horek, P a kol: Horský harvestor, Lesnícka práce, 8/2006 (s 48–49) , 2005. – 134 s. : 81 obr., 39 ab.

www.forsttechnik.at/gebirgsharvester-mounty4000-en.php

Adresa autorov:
Marián Bugoš
Miroslav Stanovský
Martin Lieskovský
Katedra lesnej ťazby a mechanizácie
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen

e-mail: stanov@vsld.tuzvo.sk
lieskov@vsld.tuzvo.sk

Time analysis of the operations during yearding by mountainy procesor Konrad Mounty 4000

Summary

This work is analyzing the working operations of the alpine harvester Konrad Mounty 4000 in the mountain conditions of the Kysuce area during the European spruce bark beetle (*Ips typhographus*) and Armillaria root rot (A*rmillaria ostoyae*) calamity wood processing. This alpine harvester is owned and runed by Lesy SR.

The analysis showed, that the distance of the wagon drive into the stand and the distance of the drawing out the load under the carrying cable had the main impact on the time consumption of the working operations. The time consumption does not depend on the skidding distance during the skidding the load. The dependence between the time consumption and the volume of the load and the amount of the trees during the operations composing the load and unfasten the load were not proved. Time losses were mainly caused by the turning the trees over the tree stumps during the drawing up and downtimes during the skidding caused by the giving the remote control from the operator of the main machine to the operator in the stand.

Mentioned alpine harvester is suitable to these calamity stands where a great wood concentration is available.

Keywords: alpine harvester, work operations, time analyse

ACTA FACULTATIS FORESTALIS XLX
ZVOLEN – SLOVAKIA 2008

VYUŽITIE LANOVIEK V ÚMYSELNÝCH A NÁHODNÝCH ŤAŽBÁCH – HORSKÝ PROCESOR MOUNTY 4000

Jozef H O L P

Holp, J.: Využitie lanoviek v úmyselných a náhodných ťažbách – horský procesor Mounty 4000. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, **XLX**, 2008, č. 1, s. 175–190.

Práca analyzuje technologické využitie horského procesora Mounty 4000 v podmienkach odumierajúcich porastov na území OZ Čadca. Vykonávalo sa experimentálne zisťovanie práce stroja pomocou časovej snímky pracovného dňa. Zariadenie bolo nasadené v náhodnej ťažbe. Merala sa spotreba času na jednotlivé pracovné činnosti, ktoré súhrnne tvoria pracovný cyklus (jazda vozíka do porastu, vyťahovanie nákladu pod nosné lano a pod.), ako aj zmenová výkonnosť stroja.

Kľúčové slová: horský procesor, lanovka, spotreba času, pracovné operácie

1. ÚVOD

Za jednu z najdôležitejších fáz pri výrobe dreva sa považuje jeho sústreďovanie. Okrem iného je to aj z toho dôvodu, že pri sústreďovaní dreva sa musí prekonávať veľa prekážok s ťažkým bremenom, pričom sa často poškodzuje okolitý stojací porast, následný podrast a narušením pôdy vlečeným drevom vzniká tzv. ťažbovo-dopravná erózia. Z uvedených príčin preto medzi najšetrnejšie technologické princípy ťažbového výrobného procesu v lesnom hospodárstve patrí sústreďovanie dreva lanovými dopravnými za-riadeniami (lesníckymi lanovkami).

V porovnaní s inými spôsobmi sústreďovania dreva (gravitačne, koňmi, traktormi, atď.), vyžaduje použitie lesných lanoviek vyššiu úroveň technicko-organizačných a pracovných činností. Nie každý jednotlivec je schopný prijať a osvojiť si kvalitatívne vyššiu formu technológie. Preto za základnú podmienku sústreďovania dreva lanovkami v podmienkach lesného hospodárstva považujeme vysoký stupeň profesionálnej prípravy na všetkých úrovniach riadenia výrobného procesu (Lukáč, 2005).

Oblasť horských lesov sa vymedzuje 6. (smrekovo-bukovo-jedľovým) a 7. (smrekovým) lesným vegetačným stupňom, ktoré sa vyskytujú v najvyšších horstvách SR.

Lesy 6. lesného vegetačného stupňa sa rozprestierajú na ploche približne 175 tisíc ha v nadmorskej výške 900–1300 m a lesy 7. lesného vegetačného stupňa s výmerou takmer 40 tisíc ha sa rozprestierajú od nadmorskej výšky 1250 m až po hornú hranicu stromovej vegetácie, to znamená do výšky 1550 m. Tieto oblasti sú charakterizované najmä sklonmi svahov nad 40 %. Podľa klasifikácie vypracovanej pre jednotlivé lesné oblasti Slovenska predstavujú sklony svahov v kategórii 41–50 % 314 946 ha, čo znamená 16,9 % z celkovej výmery lesov na Slovensku a sklony svahov nad 51 % predstavujú 416 061 ha, čo znamená 22,44 % z celkovej výmery lesa. Toto konštatovanie však neznamená, že podmienky pre prácu lanoviek sa nenachádzajú aj v ostatných členitých terénoch lesov Slovenska (Hnilica, 2003).

2. CIEĽ PRÁCE

Cieľom práce bolo charakterizovať použitie lesníckych lanoviek a analyzovať konkrétny typ (Mounty 4000) lanového zariadenia pracujúceho v pracovných podmienkach slovenských lesov. Vykonať experimentálne zisťovanie práce stroja pomocou časovej snímky pracovného dňa. Zmerať spotrebu času na jednotlivé pracovné činnosti, ktoré súhrnne tvoria pracovný cyklus (jazda vozíka do porastu, vyťahovanie nákladu pod nosné lano a pod.), ako aj zmenová výkonnosť stroja.

3. PROBLEMATIKA

Lanovka Mounty (obr. 1) sa zaradzuje medzi osobitnú skupinu viacoperačných strojov označovaných ako horské procesory.

Obr. 1: Horský procesor Mounty 4000
Abb. 1: Mountain procesor Mounty 4000

Lukáč (2005) uvádza, práca horského procesora je kombinácia troch súčastí ťažbového procesu, a to:

a) Spiľovanie – vykonáva sa klasicky motorovou pílou.
b) Vyťahovanie a sústreďovanie stromov – vykonáva sa klasicky lesníckou lanovkou v rôznych technologických modifikáciách.
c) Opracovanie stromu a výroba sortimentov – súčasťou strojovej jednotky lesníckej lanovky je hydromanipulátor s procesorovou hlavicou. Po zložení nákladu lanovky operátor uchopí strom, odvetví ho, rozpíli a uloží príslušné sortimenty v dosahu odvozného prostriedku.

Lanovka sa svojou výkonnosťou zatrieďuje medzi najvýkonnejšie a najmodernejšie lanovky používané na Slovensku, je vyrobená v Rakúsku. Svoje využite nachádza v obnovných ťažbách a rozsiahlych kalamitách ihličnatých porastov. Lanovka je určená na približovanie najmä stromov v polozávese. Približovaním kmeňov alebo sortimentov sa znižuje účinnosť a klesá denná výkonnosť. Lanovka nepotrebuje ďalší stroj na odťahovanie sústredenej drevnej hmoty od lanovky k odvoznému miestu, je adaptovaná stožiarom a procesorovou hlavicou. Nosné lano sa napína motoricky, ťažné lano sa získava aktívne, kotviace laná (4 kusy) na stožiar majú motorické napínanie, bubny kotviacich lán sú namontované na stožiari. Na bubne nosného lana sa nachádza dynamometer, ktorý informuje o sile akou je nosné lano napnuté. Pracuje systémom nosné a vyťahovacie lano pre antigravitačné približovanie, alebo iba s nosným lanom pre gravitačné (po svahu) približovanie. Pre tieto systémy sústreďovania sa používajú dva typy vozíkov, Liftliner 4000 a Woodyliner 3000, ktoré sú súčasťou horského procesora. Vozík Liftliner 4000 sa používa na antigravitačné približovanie a Woodyliner 3000 má využite pri práci po svahu a na rovine. V Rakúsku kvôli menšej hmotnosti vozíka a tým vyššej nosnosti lanovky používajú pre sústreďovanie vozík Sherpa Mot, pre túto lanovku je v hodný aj vozík českej výroby MOKO 25. Existuje aj prevedenie s možnosťou duálnej práce (súbežne hore svahom aj dole svahom) ale musí byť zabezpečený plynulý odvoz spracovaného dreva.

Horský procesor Mounty 4000 pozostáva z lesníckej lanovky, namontovanej na podvozok nákladného automobilu (MAN- TGA 33413 FDAC 6x6 so vznetovým motorom o výkone 410 k). Lanovka a hydromanipulátor môžu byť montované osobitne, ale je tu rozdiel v dosahu hydromanipulátora.

Hlavné časti horského procesora:

- Automobilový podvozok – vozidlo MAN
  - sklopná úložná plošina
- Lesnícka lanovka
  - sklopná vysoká veža (stožiar)
  - laná lanovky (nosné, ťažné, kotviace a pomocné)
  - vozíky lanovky Liftliner 4000, Woodyliner 3000, prípadne Sherpa Mot
  - diaľkové ovládanie lanovky

- Hydromanipulátor s procesorovou hlavicou Woody 60
  – na hydromanipulátor je možné montovať rôzne druhy procesorových hlavíc alebo drapákov.

Základné technické údaje horského procesora sú uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1 Základné technické parametre horských procesorov Mounty
Table 1 asic technical characteristics of mountain processor Mounty

Typ procesora	Mounty 2500	Mounty 4000	Mounty 4000+
Nosné lano	550 m / 18 mm	550 m / 20 mm	800 m / 22 mm
Ťažné lano	600 m / 11 mm	650 m / 12 mm	900 m / 12 mm
Navijak ť. lana	25kN/5 (10) m / s	40kN / 5(10) m/s	40kN / 5(10) m / s
Zdvihový moment	200 kN	220 kN	220 kN
Ťažná sila	40 kN	42 kN	42 kN
Podvozok	MAN FE 360 A 4 × 4/360 k	MAN TGA 33413 FDAC/6 × 6/410 k	MAN TGA 33413 FDAC/6 × 6 410 k
Max. nosnosť	2,5 t	4 t	4 t
Výška veže	11 030 mm	13 065 mm	13 065 mm
Dosah hydromanip.	8 600 mm	9 620 mm	9 620 mm

4. METODIKA

Pracovný cyklus som rozdelil na nasledovné operácie:

1 – Navíjanie voľného konca ťažného lana do vozíka.
Táto operácia začína odopnutím úväzkov a končí v momente, keď sa koniec lana priblížil k lanovému vozíku na minimálnu vzdialenosť a tým bol vozík pripravený vyštartovať smerom do porastu. Cieľom bolo získať prehľad o čase potrebnom na vykonanie tejto operácie. Táto činnosť sa agreguje spolu s jazdou vozíka do porastu a spolu tvoria súhrnnú činnosť nazývanú jazda vozíka naprázdno.

2 – Jazda vozíka do porastu.
Táto činnosť začína v momente, keď sa lanový vozík začne pohybovať smerom do porastu a končí vtedy, keď obsluha lanovky zastaví vozík na mieste, ktorý je najvhodnejší na vytiahnutie drevnej suroviny pod nosné lano. Hlavný dôvod, prečo sa monitorovala táto operácia samostatne, bolo očistenie celkovej spotreby času na jazdu vozíka na prázdno a tým získanie podkladov jednak pre presnejšie určenie závislosti na vzdialenosti jazdy, ale aj pre zistenie technických možností konkrétneho typu lanového zariadenia. Namerané hodnoty sa porovnávali s hodnotami, ktoré udáva výrobca a zisťovalo sa či vzájomne korešpondujú.

3 – Vyťahovanie ťažného lana do porastu a chôdza obsluhy s lanom k nákladu.
Činnosť začína v momente, keď sa začne odvíjať ťažné lano a obsluha uchopí voľný koniec lana a skončí ako náhle sa obsluha dostane aj s voľným koncom lana k nákladu, ktorý sa bude vyťahovať pod nosné lano. Hlavný dôvod prečo sa činnosti vyťahovania ťažného lana do porastu a chôdza obsluhy s lanom k nákladu zlúčili, bolo že nebolo potrebné čakať na vysunutie voľného konca ťažného lana z vozíka a tým získanie presnejších informácií o rýchlosti chôdze s lanom v konkrétnych podmienkach prostredia.

4 – Zostavenie a zapínanie nákladu.
V zápisníku je potrebné na stanovenie časovej spotreby uviesť počet zapínaných kmeňov a spôsob približovania. Táto činnosť začína v momente, keď obsluha pritiahne voľný koniec lana k nákladu a končí, keď sa začne náklad priťahovať k vozíku.

5 – Vytiahnutie nákladu na trasu lanovky.
Meria sa spotreba času na činnosť, ktorá začína plynúť, keď sa začne na bubon navijaku ťažného lana navíjať lano a končí v momente zastavenia navíjania. Vtedy by mal byť náklad v správnej výške nad terénom a môže začať približovanie po nosnom lane. Pri tejto činnosti je potrebné brať zohľadniť dĺžku vyťahovania, množstvo a veľkosť prekážok, ale aj hmotnatosť vyťahovaného nákladu.

6 – Približovanie po nosnom lane.
Pri tejto pracovnej operácii je potrebné prihliadať na smer približovania (gravitačne, antigravitačne), sklon svahu a objem približovaných stromov, preto je potrebné toto uviesť aj do zápisníka. Začiatok tejto činnosti nastáva v momente, keď sa začne lanový vozík aj s nákladom pohybovať smerom k horskému procesoru. Činnosť končí, keď sa náklad zastaví v bezpečnej vzdialenosti nad procesorom.

7 – Spustenie nákladu na procesorovú plošinu.
Merať sa začína, keď sa vozík s nákladom zastaví nad procesorom a končí v momente, keď je náklad jedným koncom na procesorovej plošine pripravený na odopnutie. Zohľadňuje sa výška nosného lana nad terénom v mieste spúšťania nákladu, veľkosť nákladu a prípadne schopnosti operátora pre prácu s hydromanipulátorom.

8 – Odopnutie nákladu.
Meria sa čas od doby, keď sa náklad uložil na procesorovú úložnú plošinu po začiatok činnosti navíjania ťažného lana do vozíka. Je potrebné prihliadať na počet kmeňov a ich zavetvenosť. Tento počet by sa mal zhodovať s počtom zapínaných kmeňov.

9 – Odvetvovanie, sortimentácia a ukladanie hotových sortimentov.
Činnosť začína uchopením stromu do procesorovej hlavice, zarovnaním čela následným odvetvením a pokračuje sortimentáciou hmoty s jej uložením. Čas na túto činnosť som začal merať od doby, keď operátor uchopí strom do procesorovej hlavice, strom odvetví rozmanipuluje na sortimenty a zároveň ukladá na skládku vedľa stroja.

Pri tejto pracovnej operácii je potrebné zohľadňovať objem a počet sústredených stromov a hlavne zručnosti operátora.

5. PRACOVNÉ PODMIENKY A ORGANIZÁCIA PRÁCE PRI SÚSTREĎOVANÍ DREVA

Pozorovanie činnosti lanového zariadenia MOUNTY 4000 sa uskutočnilo na OZ Čadca, lesná správa Stará Bystrica, porast č. 290 A.

Základné údaje o poraste:

Drevina	Zastúpenie	Stredný kmeň			Bonita	Zásoba na ha	Zásoba na celej ploche.
		Výška	Hrúbka	Objem			
		m	cm	m^3			
BK	20 %	16	21	0,25	20	38	270
SM	80 %	27	29	0,74	32	336	2 386

Skutočná plocha: 7,10 ha
Vek: 75
Rubná doba: 110
Obnovná doba: 40
Expozícia: SZ
Zakmenenie: 0,7
Sklon: 40 %
Pôda: Hlboká, miestami kamenitá.
Prikrývka: stredná kmeňovina JD, JH.

Stanica lanového zariadenia bola umiestnená na svahovej odvoznej ceste so nespevneným povrchom. Trasa bola štvorpoľová približovalo sa dole svahom (gravitačne) a horným bodom trasy bol smrek s priemerom v $d_{1,3}$ 47 cm. Skládka zmanipulovaného dreva sa nachádzala na úrovni stanice, keď že pre nedostatok priestoru boli kmene ukladané na cestu odkiaľ sa odvážali na odvozné miesto prostriedkom TATRA 815, ktorý musel naspäť cúvať v dôsledku nedostatočného priestoru. Sústreďovanie dreva lanovým zariadením sa uskutočňovalo metódou celých stromov, dolu svahom s použitím základného technologického spôsobu nasadenia. Stromy sa skracovali odrezaním vrcholca priamo v poraste.

Ovládanie vozíka lanového systému bolo vykonávané dvomi povelovými stanicami (jedna v poraste a druhá na skládke). K zlepšeniu vzájomnej komunikácie pracovníkov v poraste a na skládke pomáhalo používanie krátkovlnných vysielačiek.

Pracovnú skupinu tvorili 4 pracovníci, plniaci nasledujúce pracovné úlohy:

– spiľovanie a odrezávanie vrcholca (2 pracovníci – pílčik, pomocník),
– vyťahovanie voľného konca ťažnej vetvy obežného lana do porastu, zapínanie nákladu, ovládanie lanového zariadenia (1 pracovník),
– ovládanie lanového zariadenia, odopínanie nákladu a spracovanie sústredených stromov(1 pracovník – operátor).

Montáž lanovej trasy vykonávali štyria pracovníci, súbežne (podľa možností) dvaja z nich spiľovali a skracovali stromy. Po dokončení prác súvisiacich s montážou trasy pracovníci vykonávajúci túto činnosť ďalej pokračovali v spiľovaní a skracovaní stromov. Pracovná zmena trvala 12 hodín čistý pracovný čas bol 11 hodín.

Charakteristika pracovnej plochy:

Jednalo sa o smrekový porast v pokročilom štádiu odumierania s 20 % zastúpením buka. Následkom poškodenia hmyzom bol porast smreka odumretý na 60% na stojato. Ťažba bola vykonávaná holorubným spôsobom za účelom čo možno najrýchlejšieho spracovania drevnej hmoty tak aby nedochádzalo k ďalšiemu rozširovaniu hmyzích a iných škodcov. Terén, v ktorom bol horský procesor (Mounty 4000+) nasadený je z hľadiska sklonu považovaný za traktorový. Limitujúcim faktorom tu bola málo únosná pôda a ďalším faktorom tu bola vysoká koncentrácia hmoty, ktorá ako faktor umožňuje efektívne využitie lanoviek.

Základné informačné údaje:

Dĺžka trasy lanovky	560 m
Šírka pracovného poľa	80 m
Priemerná približovacia vzdialenosť	460 m
Priemerný objem vyťaženého kmeňa	0,725 m^3
Priemerná vyťahovacia vzdialenosť	20 m
Priemerný sklon svahu	40 %
Dĺžka pracovnej zmeny	12 h

6. DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY

6.1 Analýza časových snímok

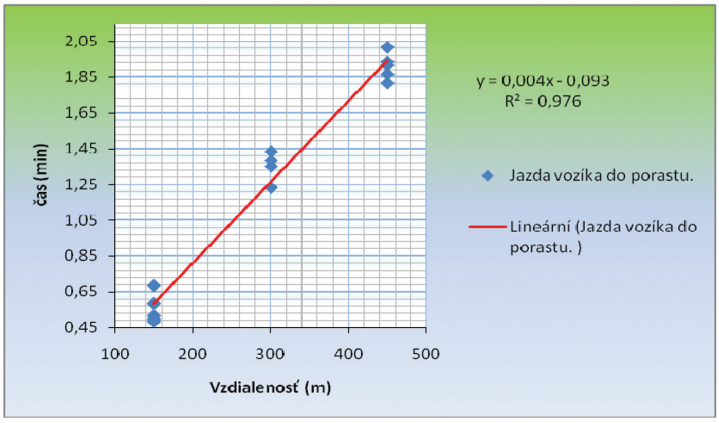
Navíjanie voľného konca lana do vozíka

Táto pracovná činnosť začína hneď po odopnutí nákladu a jej úlohou je úprava dĺžky vysunutého lana na minimálnu dĺžku (vhodná na pohyb vozíka do porastu). Spotrebu času na jednu pracovnú operáciu som určil ako nevážený aritmetický priemer z nameraných hodnôt, priemerný čas bol t = 0,29 min. Pri konštantnej výške vedenia lán nad skládkou cca 13 m to znamená, že priemerná rýchlosť mala hodnotu v = 0,75 m . s^{-1}.

Časovú spotrebu tejto pracovnej činnosti v závislosti na výške vedenia lana nad trasou môžeme vyjadriť vzťahom $t_1 = 0{,}22 \times l$ [min] ; l – výška vedenia lán nad skládkou [m] Pracovná operácia tvorila z pracovného cyklu 3,00 %. Smerodajná odchýlka Sx = 0,042; Variačný koeficient Sx % = 14,344.

Jazda vozíka do porastu

Jazda prázdneho vozíka do porastu začína na mieste odopínania nákladu po navití voľného konca ťažného lana do vozíka. Vzdialenosť jazdy prázdneho vozíka sa v rámci dĺžky trasy mení podľa potrieb približovania. Závislosť spotreby času jazdy vozíka na prázdno od vzdialenosti v sledovaných podmienkach je znázornená v grafe 1.



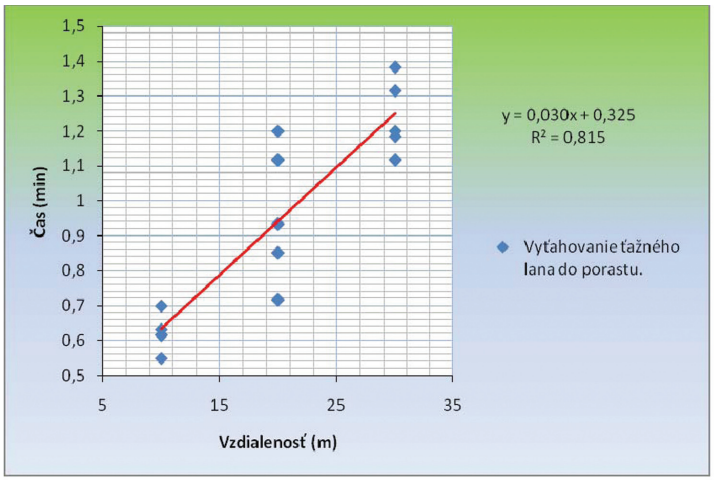
Graf 1: Závislosť spotreby času na jazdu vozíka do porastu od vzdialenosti
Chart 1: The Dependency of time consumption for the overrun of carriage from distance

Priemerná spotreba času na jednu jazdu vozíka t = 1,92 min.; Smerodajná odchýlka Sx = 0,05; Variačný koeficient Sx% = 2,604; Rýchlosť vozíka v = 4,4 m . s^{-1}; Korelačný koeficient R = 0,98.

Výrobca tohto lanového zariadenia uvádza rýchlosť vozíka na prázdno v = 0–6 m .s^{-1}. Rozdiel, ktorý vznikol, bol spôsobený spôsobom merania. Čas som meral v momente, keď sa vozík začal pohybovať do porastu. Ako náhle bol vozík na vhodnom mieste pre vyťahovanie nákladu, tak som čas prestal merať. Straty pravdepodobne vznikli pri spôsobe predávania priority, pracovník pracujúci na skládke vyšle vozík smerom do porastu a po vopred nadefinovanej vzdialenosti (pomocou vstavaného počítača) sa vozík zastaví a čaká na signál z povelovej stanice nachádzajúcej sa v poraste. Po príjazde vozíka na predbežné miesto, nastalo ešte jemné polohovanie, aby bolo vyťahovanie efektívne. Táto pracovná činnosť zaberá z celkového času 19,75 %.

Vyťahovanie ťažného lana do porastu a chôdza obsluhy s lanom k nákladu

Pracovná činnosť je ovládaná povelovou stanicou z porastu. Rýchlosť vysúvania voľného konca ťažného lana je ovplyvňovaná otáčkami motora a výškou vedenia lana v mieste vysúvania. Otáčky motora dosahovali voľnobeh a priemerná výška vedenia nosného lana bola cca 5 m. Rýchlosť vysúvania voľného konca ťažného lana presahovala rýchlosť chôdze pracovníka v poraste. Najviac na spotrebovaný čas tejto činnosti vplývali pracovné podmienky. Pracovník sa s lanom pohyboval prevažne po vrstevnici, alebo kráčal mierne hore svahom (ak mu to umožňovali podmienky). Týmto si prácu zjednodušil a zefektívnil. Šírka pracovného poľa bola 80 metrov, aj keď by sa malo uvažovať s priemernou vyťahovacou vzdialenosťou 18 metrov, za priemernú vyťahovaciu vzdialenosť som dosadil 20 metrov z dôvodu vykonávania smerovej stínky. Závislosť medzi spotrebovaným časom a vzdialenosťou vyťahovania v konkrétnych podmienkach je uvedená v grafe 2.



Graf 2: Závislosť spotreby času od vzdialenosti vyťahovania ťažného lana
Chart 2: The Dependency of time consumption from distance of drawing-out of the skidding line

Priemerná spotreba času na operáciu je t = 0,93 min.; Smerodajná odchýlka Sx = 0,21; Variačný koeficient Sx% = 22,572; Táto činnosť zaberala z pracovného cyklu 9,54 %.; Korelačný koeficient R = 0,90.

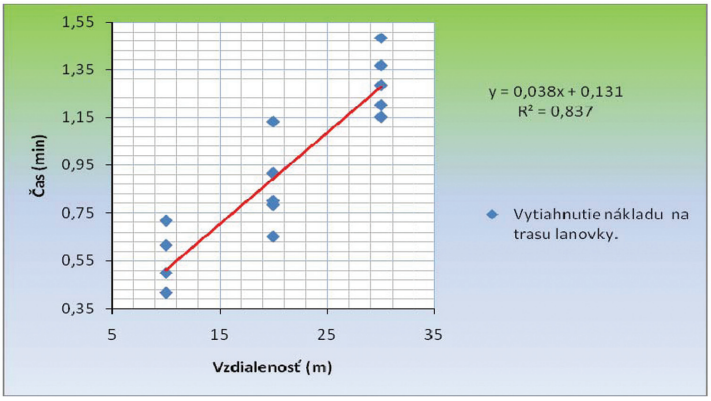
Zostavovanie a zapínanie nákladu

Spotreba času na zostavovanie a zapínanie nákladu závisí od konkrétnych pracovných podmienok a od počtu zapínaných kmeňov. Keďže náklad tvorili takmer vždy

dva stromy (iba v jednom prípade to bol iba jeden), spotreba času závisela hlavne od vzdialenosti medzi dvomi zoťatými stromami. Priemerná spotreba času je t = 0,94 min.; Smerodajná odchýlka Sx = 0,253; Variačný koeficient Sx% = 26,826; Pracovná činnosť zaberala z pracovného cyklu 9,66 %.

Vytiahnutie nákladu pod nosné lano

Táto činnosť nasleduje hneď po zostavení a zapnutí nákladu a vzdialenia sa pracovníka na bezpečné miesto. Ovplyvnenie vyťahovacej rýchlosti môže spôsobiť opatrnosť pracovníka, ktorý obsluhuje ovládanie vozíka. Samotná spotreba času na vytiahnutie nákladu na trasu lanovky závisí hlavne od vzdialenosti. Závislosť medzi spotrebovaným časom a vzdialenosťou vyťahovania znázorňuje graf 3.

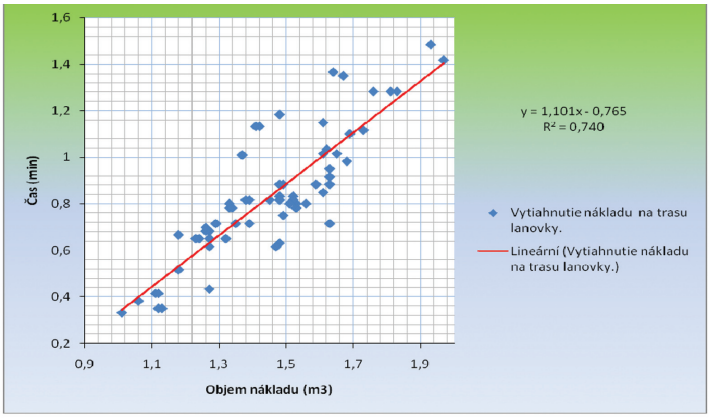


Graf 3: Závislosť spotreby času od vzdialenosti vyťahovania nákladu
Chart 3: The Dependency of time consumption from the distance of drawing-out the load

Korelačný koeficient R = 0,91.

Samotná spotreba času na vyťahovanie nákladu nezávisí len od vzdialenosti vyťahovania, ale aj od objemu nákladu. Závislosť medzi spotrebovaným časom a objemom vyťahovaných stromov znázorňuje graf 4.

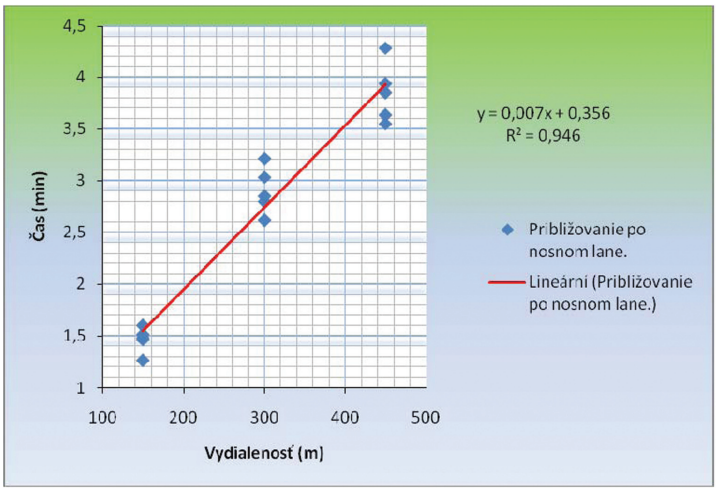
Korelačný koeficient R = 0,86.; Priemerná spotreba času je t = 0,83 min.; Smerodajná odchýlka Sx = 0,271; Variačný koeficient Sx% = 32,316; Pracovná činnosť zaberala z pracovného cyklu 8,59 %.



Graf 4: Závislosť spotreby času na vytiahnutie nákladu na trasu lanovky od objemu
Chart 4: The Dependency of time consumption for drawing-out the load on the track of forest cableway from timber volume

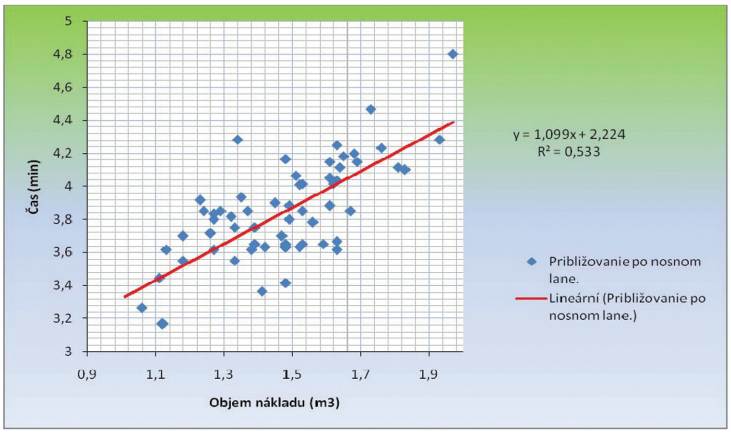
Približovanie po nosnom lane

Pracovná činnosť nie je ovplyvňovaná veľkosťou nákladu. Rýchlosť približovania s nákladom je daná konštrukčne. Čas potrebný na približovanie závisí od terénnych podmienok a dĺžky trasy. Pri približovaní dole svahom má drevo tendenciu predbiehať lanový vozík kvôli čomu z bezpečnostných dôvodov približovanie neprebiehalo plynule. Závislosť spotreby času od vzdialenosti približovania je znázornená v grafe 5.



Graf 5: Závislosť spotreby času od vzdialenosti približovania dreva
Chart 5: The Dependency of time consumption from the distance of skyline timber skidding

Tak ako pri vyťahovaní aj na približovanie má vplyv objem nákladu. Závislosť spotreby času od objemu nákladu je znázornená v grafe 6.



Graf 6: Závislosť spotreby času na približovanie od objemu
Chart 6: The Dependency of time consumption for skyline skidding from timber volume

Priemerná spotreba času t = 3,82 min.; Smerodajná odchýlka Sx = 0,319; Variačný koeficient Sx% = 8,331; Pracovná činnosť zaberá z pracovného cyklu 39,18 %.; Priemerná rýchlosť približovania v = 1,96 m . s^{-1}; Korelačný koeficient v súvislosti s vzdialenosťou R = 0,97; Korelačný koeficient v súvislosti s objemom R = 0,73.

Spustenie nákladu na plošinu procesora

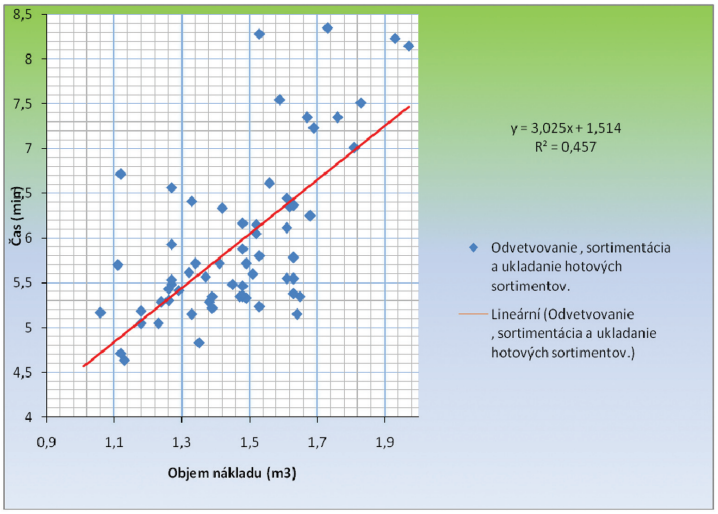
Činnosť nasleduje po zastavení nákladu v bezpečnej vzdialenosti od procesora. Táto činnosť je ovplyvnená konštrukčnými možnosťami lanového zariadenia, potrebami operátora pracujúceho na skládke a výškou vedenia lán nad trasou. Výška ani konštrukčné možnosti sa počas pracovného cyklu nemenili. Čas potrebný na vykonanie tejto operácie je ovplyvnený výškou nosného lana nad terénom v mieste spúšťania nákladu a ako šikovne si uchopí náklad operátor hydromanipulátorom a pritiahne ho na okraj procesorovej plošiny. Na rýchlosť spúšťania má pravdepodobne vplyv aj objem, ale aby náklad neprešiel cez plošinu alebo nenarazil do kabíny operátora tak sa náklad musel zaistiť a uložiť procesorovou hlavicou. Priemerná spotreba času t = 0,23 min.; Smerodajná odchýlka Sx = 0,158; Variačný koeficient Sx% = 20,193; Činnosť zaberá z celkového času 8,01 %; Korelačný koeficient R = 0,22.

Odopnutie nákladu

Činnosť ovplyvňuje najmä počet odopínaných kmeňov, odopínali sa vždy dva stromy. Spotrebovaný čas je rozdielny pri horšom prístupe k odopínaným kmeňom, čo je spôsobené aj tým, že sa približovalo korunou k procesoru a sťažený prístup spôsobovali odstávajúce konáre. Priemerná spotreba času t = 0,23 min.; Smerodajná odchýlka Sx = 0,062; Variačný koeficient Sx% = 26,959; Činnosť zaberala z celkového času 2,37 %.

Odvetvovanie, sortimentácia a ukladanie hotových sortimentov

Dĺžka tejto pracovnej operácie by mala závisieť od objemu sústredených stromov a hlavne zručnosti operátora. Činnosť začína uchopením priblíženého stromu do hlavice procesora, zarovnaním čela následným odvetvením a pokračuje sortimentáciou hmoty s jej uložením. Tieto operácie ukončujú pracovný cyklus. Závislosť spotreby času na tieto operácie od objemu nákladu je znázornená v grafe 7.



Graf 7: Závislosť spotreby času na pracovné operácie od objemu
Chart 7: The Dependency of time consumption for cutting operations from timber volume

Priemerná spotreba času t = 5,92 min.; Smerodajná odchýlka Sx = 0,947, Variačný koeficient Sx% = 15,999, Korelačný koeficient R = 0,68.

Časové straty súvisiace so sústreďovaním dreva lanovým zariadením

a) nutnosťou prebratia vozíka:

spotreba času na jeden cyklus 0,6 min.
celkom za zmenu 25,2 min.

Tento prestoj nastával vtedy ak sa vozík dostal do bodu, kde sa preberalo ovládanie vozíka a na tomto bode zastal. Tento prestoj vznikal aj nepozornosťou obsluhy.

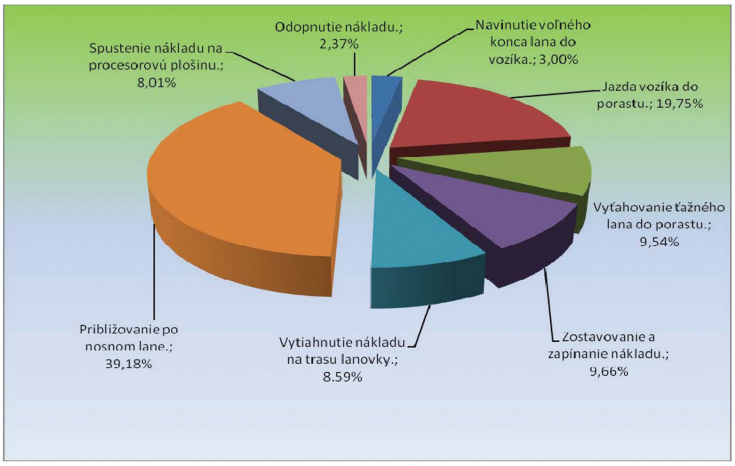
b) prestoj spôsobený napínaním dopĺňaním paliva do vozíka:
spotreba času na jeden cyklus 0,37 min.
celkom za zmenu 15,63 min.

Tento prestoj vznikol pri dopĺňaní paliva do vozíka. Nosné lano sa muselo postupne povoľovať aby sa vozík dostal na úroveň terénu, po doplnení paliva sa nosné lano opätovne naplo.

7. ZÁVER

Zmenová výkonnosť počas vykonávania meraní dosiahla 61,08 m^3 na pracovnú zmenu pri koeficiente využitia pracovnej zmeny 0,86.

Percentuálnu spotrebu času jednotlivých činností znázorňuje obr. 2.



Obr. 2: Percentuálny podiel pracovných činností priemerného pracovného cyklu na sústreďovanie dreva

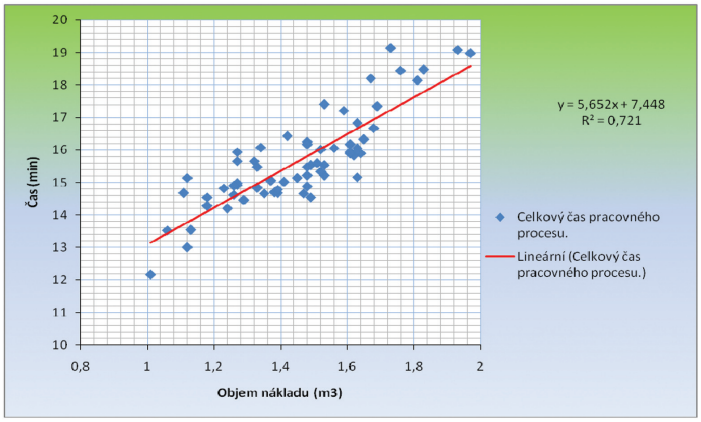
Abb. 2: The percentage of work activities of average work cykle in cableway skidding

Z obr. 2 vidieť, že najväčší podiel z celkového času pracovného cyklu majú operácie jazda vozíka do porastu, približovanie po nosnom lane. V časoch pohybu vozíka boli zahrnuté aj krátke prestávky, počas ktorých si operátory menili prioritu ovládania vozíka.

Zatiaľ čo operátor spracováva priblížené stromy, hneď po odopnutí stromov z úväzkov začína nový pracovný cyklus, tak že prvých päť operácií pracovného cyklu prebieha súčasne so spracovávaním priblíženej hmoty. Pracovné cykly sa prekrývajú.

Keď že čas na spracovanie sústredených stromov je kratší (5,92 min.) než čas na sústredenie krátených stromov (9,762 min.), operácie spracovania hmoty neovplyvňujú čas na priblíženie nákladu a tým nemajú vplyv na dĺžku pracovného cyklu, čo je veľká výhoda integrovaných technológii a horského procesora.

Zmenová výkonnosť závisí od dĺžky pracovného cyklu a od objemu sústreďovaného nákladu. Závislosť medzi spotrebou času na priemerný pracovný cyklus a objemom nákladu je znázornená v grafe 8.



Graf 8: Závislosť spotrebovaného času na pracovný cyklus od objemu nákladu
Chart 8: The Dependency of time consumption for work cycle from timber volume

Priemerná spotreba času na jeden pracovný cyklus t = 15,68 min; Smerodajná odchýlka Sx = 1,41; Variačný koeficient Sx% = 8,988; Korelačný koeficient R = 0,85**;** Priemerná spotreba času na 1 m^3 t = 10,77 min; Priemerná výkonnosť za 1hodinu = 5,18 m^3

Na výkonnosť zariadenia vplývajú počas roka tieto faktory: poruchovosť stroja, odpracovaný čas, objem sústreďovaného dreva prestavba (presun) lanového zariadenia. V prvý deň merania pracovná zmena trvala 6 hodín (príchod pracovníkov) čistý pracovný čas 5,5 hodiny, vyťažených bolo 32,3 m^3. V druhý deň pracovná zmena trvala 12 hodín, pri čistom pracovnom čase 11 hodín bolo vyťažených 62 m^3 hmoty.

Vysoká efektívnosť horského procesora (Mounty 4000) nastáva len pri sústreďovaní ihličnatej suroviny. Dostupnosť lanového zariadenia v teréne, je obmedzená na spevnené

cesty. Lanovka si vyžaduje vysokú organizovanosť práce, je vhodné ju kombinovať so štiepkovačkou. Ovládanie lanovky je riešené rádiom, čo má ekologický ale aj ekonomický charakter. Veľkou výhodou je veľmi krátky čas potrebný na stavbu trasy. Lanovka Mounty 4000 spĺňa ako jedna z mála lanoviek atribúty a požiadavky modernej lanovky.

Použitá literatúra:

Hnilica, R.: Aplikácia dvojbubnových navijakov pri konštrukcii a technologickom využití lanových systémov. Dizertačná práca, Zvolen, 2003, 84 s.

Lukáč, T. a kol.: Lanovky v lesníctve. Ústav pre výchovu a vzdelávanie pracovníkov LVH SR, Zvolen, 2001, 167 s.

Lukáč, T.: Lesné dopravníctvo. TU Zvolen, 1986, 228 s.

Lukáč, T.: Lesnícke lanovky – ich technologická účinnosť, 2002. Les, č. 2, s. 4–5.

Lukáč, T.: Viacoperačné stroje v lesnom hospodárstve, 2005, 137 s.

MAňkovský, F.: Sústreďovanie dreva a ekonomika, ekológia..., 1998. Les, č. 12, s. 23.

Messinrerová, V.: Lesné dopravníctvo (návody na cvičenia). TU Zvolen, 2001, 152 s.

Messingerová, V.: Teoretické princípy sprístupňovania a technologickej prípravy pracovísk v horských lesoch, Acta facultatis forestalis XL VI,TU Zvolen, s. 275–383.

Tajboš, J. *et al*., 2005.: Technické a technologické parametre viacoperačnej lanovky Mounty 4000, Acta facultatis forestalis XL VII, TU Zvolen, s. 345–358.

Turiak, J.: Technologické využitie lesných lanoviek v podmienkach OZ Slovenská Ľupča. Diplomová práca, Zvolen, 2007, 68 s.

Stanovský, Ferenčík: Analýza výkonnosti horského procesora Mounty 4000 pri spracovaní kalamity v oblasti Kysúc, 2007, 7 s.

http://www.forsttechnik.at/gebirgsharvester-mounty4000.php

Adresa autora:
Jozef Holp
Katedra lesnej ťažby a mechanizácie
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen

e-mail: jozef_holp@centrum.sk

The Use of the Forest Cableways in Salvage and Planned Cuts. Mountain processor Mounty 4000

Summary

This work analyses technological utilization of the Mounty 4000 Mountain Processor in the conditions of the declining forest stands at the Kysuce area (the Čadca Forest Enterprise). There is presented short analysis of work time consumption for individual yarding and processing operations and compares the results with records from former research. The suitability of this technology in given condition and its perspectives for future was considered.

Hlavný sponzor Acta Facultatis Forestalis Zvolen, XLX, 2008, č. 1

KT servis

Na vydanie Acta Facultatis Forestalis Zvolen, XLX, 2008, č. 1 prispeli:

Lesy mesta Spišská Nová Ves s.r.o

Pro Populo Poprad s.r.o

GRUBE-Kováčová – Lesnícke náradie