



**ACTA
FACULTATIS
FORESTALIS
ZVOLEN**

**53(1)
2011**

TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE

ACTA FACULTATIS FORESTALIS ZVOLEN 53(1) 2011

Vedecký redaktor/Managing editor
Doc. Ing. Dušan Gömöry, DrSc.

Predseda redakčnej rady/Editor in Chief
Prof. Ing. Rudolf Kropil, CSc.

Redakčná rada/Editorial board
Doc. Ing. Marek Fabrika, PhD.
Prof. Ing. Peter Garaj, CSc.
Prof. Ing. Iveta Hajdúchová, PhD.
Prof. Ing. Matúš Jakubis, PhD.
Prof. Ing. Ladislav Paule, PhD.
Prof. Ing. Milan Saniga, DrSc.
Doc. Ing. Jozef Suchomel, CSc.
Doc. Dr. Ing. Jaroslav Šálka
Prof. Ing. Jaroslav Škvarenina, CSc.

Vydala Technická univerzita vo Zvolene
Vydanie I. – 2011
Rozsah 231 strán, 14,25 AH, 15,20 VH
Náklad 300 výtlačkov
Tlač a grafická úprava Vydavateľstvo TU vo Zvolene
Vydanie publikácie schválené Edičnou radou TU vo Zvolene dňa 26. 1. 2011, číslo
EP 167/2011
Evidenčné číslo 3861/2009

© Technická univerzita vo Zvolene
ISSN 0231-5785

OBSAH – CONTENTS – INHALT

Zúbrik, M., Kalmárová, G.: Extrakcia sacharidov, lipidov, polyfenolov a trieslovín z listov orecha vlašského <i>Juglans regia</i> L. a overenie ich účinku na húsenice mnišky veľkohlavej <i>Lymantria dispar</i> L. (Lep.: Lymantriidae).....	9
Extraction of carbohydrates, lipids, polyphenols and tanstuffs from royal walnut <i>Juglans regia</i> L. and verification of their effect on larvae of gypsy moth <i>Lymantria dispar</i> L. (Lep.: Lymantriidae).....	9
Kukla, J., Kuklová, M.: Prijem živín a dĺžkový rast výhonkov druhu <i>Rubus idaeus</i> L. v imisne znečistených smrekových geobiocenózach	21
Uptake of nutrients and length growth of <i>Rubus idaeus</i> L. shoots in spruce geobiocoenoses contaminated by atmospheric pollutants.....	21
Jaloviar, P., Lukáčik, I., Kuchel, S., Varga, M.: Porovnanie hrúbkového rastu vybraných proveniencií smreka obyčajného severského (<i>Picea abies septentrionalis</i> Svob.) vysadených v Arboréte Borová hora Technickej univerzity vo Zvolene	29
Radial growth comparison of selected Norway spruce (<i>Picea abies septentrionalis</i> Svob.) provenances growing in Arboretum Borová hora, Technical University in Zvolen	29
Kučerová, V., Gömöry, D., Ďurkovič, J., Paule, L., Kardošová, M.:	
Allopoloidná hybridizácia v rode <i>Sorbus</i> : ružovokveté hybridy v NPR Skalná Alpa...	41
Allopoloid hybridization in the genus <i>Sorbus</i> : pink-flowered hybrids in the National Nature Reserve Skalná Alpa.....	41
Schieber, B.: Fenológia buka (<i>Fagus sylvatica</i> L.) na výškovom gradiente (južné a stredné Slovensko).....	51
Phenology of common beech (<i>Fagus sylvatica</i> L.) on an altitudinal gradient (south and centra Slovakia).....	51
Gömöryová, E.: Aktivita pôdných mikroorganizmov vo vzťahu k veľkostným frakciám zeminy	61
Soil microbial activity in relation to the soil fractions of different size.....	61
Jakubis, M., Jakubisová, M.: Modelové stanovenie kulminačných prietokov v bystrinách Vysokých Tatier po vetrovej kalamite	73
The model determination of culmination discharges in torrents of West Tatras after wind calamity	73

Mezeiová, N., Škvarenina, J.: Vplyv mikroklimatických podmienok na pôdnu respiráciu na kalamitnej ploche požiariska v Tatranskom národnom parku	89
Influence of microclimatological conditions on the soil respiration on the windfall burnt area in the Tatra National Park	89
Škvarenina, J., Vida, T.: Hodnotenie sucha v meniacich sa podmienkach klímy na Slovensku	97
Drought assessment in changing conditions of climate in the Slovak republic	97
Danková, L., Saniga, M.: Rastové charakteristiky a využitie disponibilného priestoru drevinami v pralese NPR Sitno	113
The growth characteristics and utilization of available space by trees in the natural forest remnant of the nature reserve Sitno	113
Zrak, J., Saniga, M.: Disturbančný režim v smrekovo-bukovom pralese v NPR Skalná Alpa	123
Disturbance regime in a mixed spruce-beech natural forest in the nature reserve Skalná Alpa	123
Bugošová, L., Saniga, M.: Štruktúra, produkčné pomery, nekromasa a regeneračné procesy v bukovom prírodnom lese NPR Rožok	133
Structure, production, deadwood and regeneration processes in a beech primeval forest in the nature reserve Rožok	133
Schön, M., Fabrika, M.: Prístupy štruktúrálného modelovania ako nástroj vizualizácie výsledkov simulácií rastového simulátora SIBYLA na úrovni jedince	143
Approaches to structural modeling as a tool for visualization of simulation results SIBYLA growth simulator for individual tree level	143
Merganič, J., Fabrika, M., Merganičová, K.: Submodel štádiovej výškovej krivky pre klimaticko-stanovištné stratá modelu prirodzeného zmladenia rastového simulátora SIBYLA	155
Submodel of height-diameter function for climatic-site strata of the model of natural regeneration in the growth simulator SIBYLA	155
Žihlavič, A., Dóczy, J.: Využitie metódy matematických modelov na reguláciu vekovej štruktúry lesa	169
Utilization of mathematic models method for age structure regulation of forest	169

Messingerová, V., Kováčik, P.: Technologická príprava pracovísk v lanovkových terénoch pre podrastový hospodársky spôsob.....	185
Technological workplace planning in steep terrains for shelterwood system	185
Kovalčík, M., Sarvašová, Z., Tutka, J.: Informácie a integrácia verejnoprospešných funkcií lesa do trhového mechanizmu.....	201
Information and integration of public goods into the market mechanism	201
Moravčík, M., Sarvašová, Z., Kovalčík, M., Radocha, M.: Stratégie pre posilnenie medzisektorových vzťahov lesníctva a drevárstva	213
Strategies of strengthening the intersectoral collaboration of forestry and wood processing industry.....	213

EXTRAKCIA SACHARIDOV, LIPIDOV, POLYFENOLOV A TRIESLOVÍN Z LISTOV ORECHA VLAŠSKÉHO *JUGLANS REGIA* L. A OVERENIE ICH ÚČINKU NA HÚSENICE MNÍŠKY VEĽKOHlavej *LYMANTRIA DISPAR* L. (LEP.: LYMANTRIIDAE)

Milan Z Ú B R I K – Gabriela K A L M Á R O V Á

Zúbrik, M., Kalmárová, G.: Extraction of carbohydrates, lipids, polyphenols and tanstuffs from royal walnut *Juglans regia* L. and verification of their effect on larvae of gypsy moth *Lymantria dispar* L. (Lep.: Lymantriidae). Acta Facultatis Forestalis Zvolen, 53(1): 9–19, 2011.

Gypsy moth (*Lymantria dispar* L.) belongs to the most important insect pests in the broadleaved forest stands. There were aerially treated 29 831 ha of forest stands in Slovakia during the recent pest outbreak in 2004–2006. Four specific components of the Persian walnut (*Juglans regia* L.) leaves were chemically selected and used in gypsy moth laboratory rearing to test their impact on selected environmental characteristics of the pest-mortality in larval and pupal stage, weight of the larvae and length of the early five instars. Provided experiments showed that larvae reared on the artificial diet treated by the tanstuffs needed the longest time to reach the pupal stage, had the lowest weight and reached the highest mortality in larval and pupal stage. The lipids and polyphenols in some cases influenced the larvae positively comparing the control. The mortality in tanstuffs in larvae stage reached 57.7% and in pupae stage 36.6%. There is an assumption, that if the tanstuffs suspension will be artificially increased by adding some components as adhesives or similar in the future, the reached mortality may be even higher and tanstuffs from the Persian walnut leaves can be used in the integrated pest management in control of local pest populations.

Key words: phytopesticides, Persian walnut tree, gypsy moth, forest protection

1 ÚVOD

V celosvetovom meradle patrí mniška veľkohlavá *Lymantria dispar* L. (Lep.: Lymantriidae) k najvýznamnejším druhom lesných škodcov (ZÚBRIK, 2004). Len v SR od roku 2003 poškodila viac ako 40 000 ha lesných porastov pričom obranné letecké opatrenia boli vykonané na výmere 29 831 ha (spolu za roky 2004, 2005, 2006). Prognózy najbližšieho vývoja potvrdzujú, že škodca bude mať v strednej Európe aj naďalej dominantné postavenie medzi škodcami listnatých porastov. Očakávaný priebeh klimatických zmien vyhovuje jej bionómii a preto sa v budúcnosti predpokladá nárast výmer poškodených porastov (ZÚBRIK *et al.* 2008). Jej húsenice sú schopné konzumovať v eurázijskej časti sveta listy viac ako 90 druhov stromov, kým v USA je to viac ako 80 druhov (SCHEDL 1936,

DOANE & McMANUS 1981, MAUFFETTE *et al.* 1983). Doteraz sa podrobnejšie netestovala otázka, prečo sa tak široký polyfág vyhýba drevinám z čeľade Oleaceae (napr. *Fraxinus excelsior* L.) a Loranthaceae a ani v čase najväčšej núdze ich nekonzumuje (SCHEDL 1936, NOVOTNÝ 1986).

Použitie syntetických insekticídov malo a má stále svoje miesto v rámci integrovanej ochrany lesa proti mniške veľkohlavej (DOANE & McMANUS 1981). Aj u nás sa tieto prípravky používajú aj keď v len obmedzenej miere. Zväčša sú u nás nahrádzané ekologickejšími inhibítormi tvorby chitínu – napríklad na báze *novaluronu* a *teflunozuroilu*, prípadne čisto biologickými prípravkami na báze baktérie *Bacillus thuringiensis* (ZÚBRIK *et al.* 2005). Nie je ale možné prehliadnuť viacero negatív, ktoré použitie chemických prípravkov prináša. Je to najmä vplyv na životné prostredie (nízka selektivita, reziduá) a vznik rezistencie u cieľových druhov. Tieto skutočnosti nútia hľadať alternatívne riešenia (DOANE, McMANUS 1981). Už v roku 1988 NOVOTNÝ úspešne testoval nové, ekologické metódy boja proti mniške veľkohlavej – prípravky na báze *Bacillus thuringiensis*. Úspešné experimenty neskôr viedli k pomerne širokému uplatneniu prípravkov na tejto báze v biologickej ochrane pred škodcom u nás (ZÚBRIK 2006).

Vo svete sa pokračuje v snahe o nahradenie chemických prípravkov novými alternatívami. V oblasti overenia účinnosti tzv. botanických insekticídov bolo veľa experimentov vykonaných s látkami neem (výtťažok rastliny *Azadirachta indica* A. Juss). U listožravých druhov motýľov sa zaznamenal silný insekticídny a antifidantný účinok, u chrobákov sa prejavila takmer 100 % redukcia produkcie plodných vajíčok (DUTHIE-HOLT *et al.* 1999, MALINOWSKI *et al.* 2000, ROHNE 1997). Potvrdila sa aj vysoká účinnosť neem na húsenice mnišky veľkohlavej *Lymantria dispar* L. (NICOL a SCHMUTTERER 1996, ZABEL *et al.* 2002). Prípravky u nás úspešne testoval TURČÁNI (2001). Predbežné výsledky získané v laboratóriách NLC (zatiaľ nepublikované) dokonca poukázali na to, že výluhy z niektorých rastlín, ako napr. orecha vlašského *Juglans regia* L., jaseňa štíhleho *Fraxinus excelsior* L. či iných rastlín aplikované na umelú potravu, pôsobia v laboratórnych chovoch repelentne, zvyšujú mortalitu lariev a kukiel mnišky veľkohlavej, predlžujú larválny vývoj a znižujú váhu kukiel.

Vo svete sa stále venuje veľká pozornosť hľadaniu ďalších, doteraz neznámych látok, ktoré by mohli v budúcnosti nahradiť syntetické pesticídy. BUROV *et al.* v roku 1995 extrahoval účinné látky zo 129 pôvodných rastlín v Rusku. V laboratórnych experimentoch potom overil ich účinnosť na viacero druhov hmyzích škodcov, napr. na *Thrips tabaci* Lindeman či *Myzus persicae* Sulzer. Viaceré z nich preukázali vysokú účinnosť a vplyv na mortalitu. Podobne sa testovala účinnosť esenciálnych olejov, (HOU *et al.* 2002) či výťažkov z ihličia smreka a borovice (terpény a mastné kyseliny) (DAUGAVIETIS 2001).

Nie sú informácie ohľadne využívanie výluhov orecha vlašského proti mniške veľkohlavej. Jedným z dôvodov je aj fakt, že orech je v Európe považovaný za vhodnú potravu pre mnišku veľkohlavú. V USA, kde bol škodca introdukovaný sa tejto drevine vyhýba (LECHOWICZ, MAUFFETTE, 1986).

Cieľom práce bolo overiť úroveň insekticídneho, resp. antifidantného účinku štyroch komponentov listov orecha vlašského (lipidy, sacharidy, triesloviny a polyfenoly) na vývojové charakteristiky lariev mnišky veľkohlavej v umelom laboratórnom chove.

2 MATERIÁL A METÓDIKA

Hmyz použitý v experimentoch

Na experimenty sa použili húsenice mníšky veľkohlavej *Lymantria dispar* L. Založil sa laboratórny chov tohto druhu. Vaječné znášky škodcu sa získali z čistého laboratórneho chovu škodcu z USA (USDA, Otis USA). Na chov sa použila umelá potrava na báze pšeničných klíčkov (BELL *et al.* 1981).

Príprava extraktov

Na experimenty sa použili čerstvé listy orecha vlašského zbierané v oblasti Banskej Štiavnice v mesiacoch jún a júl. Pre všetky extrakcie sa použilo rovnaké množstvo listov – 10 g.

Extrakcia lipidov

Vzorka vzducho-suchých listov sa zaliala pri laboratórnej teplote zmesou izopropanol, chloroform a metanol (1 : 1 : 1) a extrahovala sa až do odfarbenia. Získaný extrakt sa odparil do sucha na vákuovej rotačnej odparovačke. Takto získaná hmota sa rozpustila v zmesi chloroform a metanol (2 : 1) a centrifugovala sa pri 5000 g. Lipidy sa premyli zmesou chloroform, voda (4 : 1). Vodná fáza sa ešte dvakrát pretrepala chloroformom na vyextrahovanie všetkých lipidov. Chloroformová fáza sa odparila do sucha a obsah lipidov vo vzorke sa stanovil gravimetricky (LI *et al.* 2001, TSAMOURIS *et al.* 2002). Sušina sa zaliala 100 ml vody a použila na experiment.

Extrakcia sacharidov

Vzorka vzducho-suchých listov sa extrahovala v Soxhletovom prístroji zmesou chloroform, 80 % etanol a voda (2 : 4 : 2,5). Vzniknutý extrakt sa odparil na vákuovej odparke do sucha a zväžil. Sušina sa zaliala 100 ml vody a použila na experiment.

Extrakcia trieslovín metóda 1

Použila sa modifikovaná metóda podľa Edera (COOMANS, 1979). Vzorka vzducho-suchých listov sa zaliala 100 ml etanolu a extrahovala sa pod spätným chladičom vo vodnom kúpeli 2 hod. Triesloviny sa zrážali postupným pridávaním roztoku octanu meďnatého (použilo sa len minimálne množstvo octanu meďnatého potrebné na iniciáciu zrážania) vo vodnom kúpeli s teplotou cca 40 °C po dobu 10 min. Následne sa vzniknutá zrazenina prefiltruje, premyje a vysuší pri teplote 60 °C. Sušina sa zaliala 100 ml vody a použila na experiment.

Extrakcia trieslovín metóda 2

Nakoľko sa predpokladá, že pôsobením octanu meďnatého neprešli všetky triesloviny do formy zrazeniny, ale časť z nich ostala voľná v roztoku, filtrát vzniknutý po odfiltrovaní zrazeniny trieslovín na vákuovej odparke sa použil na experiment.

Extrakcia polyfenolov

Vzorka vzducho-suchých listov sa rozmixovala v studenej vode (hydromodul 1 : 1,5). Po uplynutí 6-tich hodín sa vzniknutá zmes centrifugovala pri 4 000 g po dobu 15 min. Polyfenoly v extrakte sa zrážali Stiasnyho činidlom (HCl, H₂O a HCOH v pomere 2 : 1 : 4), zrazenina sa po 18 hod. prefiltrovala, premyla a vysušila. Sušina sa rozpustila v 100 ml vody a použila na experiment.

Priebeh experimentu

Desať kusov vaječných znášok sa po skončení diapauzy vložilo jednotlivo do Petriho misiek a vajíčka sa nechali vyliahnúť pri izbovej teplote. Po vyliahnutí sa larvy chovali spoločne v Petriho miske na umelej potrave cca 3 dni. Následne sa sto kusov z nich (vyberalo sa vždy 10 ks z jednej znášky) umiestnilo jednotlivo do 10 ml chovných plastických nádobiek. Umelá potrava sa umiestnila na dno nádoby a ošetrovala sa každý druhý deň získanými extraktmi tak, že sa vybrala z nádoby, namočila sa na 10 sekúnd do pripraveného roztoku, nechala sa usušiť (cca 60–90 min.) a potom sa vrátila späť do nádoby. Húsenice sa počas tohto procesu ukladali do osobitnej čistej nádoby. Húsenice sa kontrolovali denne, sledovala sa ich mortalita, váha a zaznamenával sa instar. Húsenice sa kontrolovali až do konca piateho instaru. Údaje o samčích a samičích húseniciach sa neseparovali ale sa vyhodnocovali spoločne. Po zakuklení sa kukly vážili a sledovala sa ich vitalita. V každej variante (pre každú rastlinu) sa použilo 100 húseníc v 4 opakovaníach. Výsledky sa porovnávali s kontrolou – húsenice sa chovali na čistej umelej potrave bez ošetrovania extraktmi.

3. VÝSLEDKY

Dĺžka vývoja

V chove sme zistili štatistické rozdiely v dĺžke vývoja húseníc. Celkove sa najvýraznejší vplyv na dĺžku vývoja objavil u trieslovín. Húsenice potrebovali priemerne 35,54 dňa aby dosiahli koniec piateho instaru. Húsenice v kontrolnej vzorke potrebovali na dosiahnutie konca piateho instaru 29,64 dňa. Keď bola potrava húseníc ošetrovaná sacharidmi resp. polyfenolmi pôsobili tieto látky na húsenice stimulačne a húsenice sa vyvíjali rýchlejšie ako v kontrolnej vzorke (tab. 1).

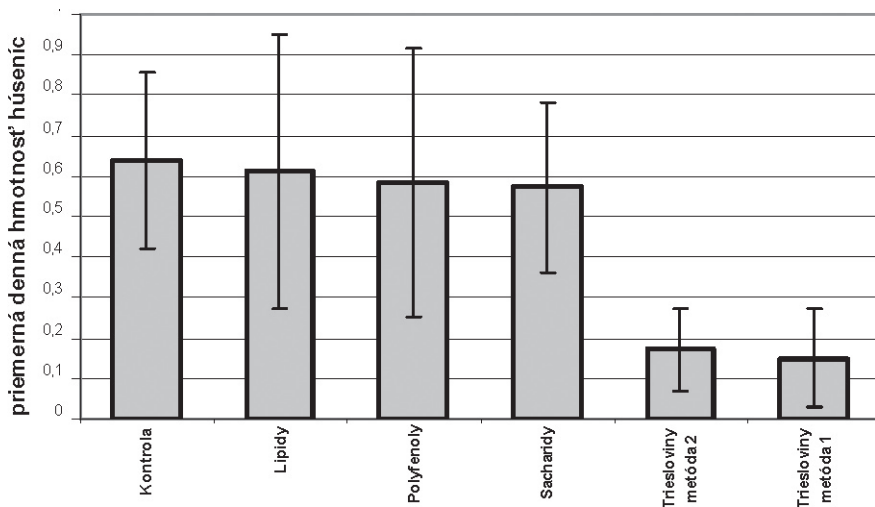
Váha húseníc

Počas experimentov sme sledovali zmenu hmotnosti húseníc. Ukázalo sa, že húsenice v kontrole získali počas chovu najvyššiu priemernú dennú hmotnosť 0,638 g. Veľmi podobnú, len o málo nižšiu priemernú dennú váhu mali húsenice pri použití lipídov, polyfenolov a sacharidov. Vo variante s plným extraktom sme už zaznamenali zníženie váhy, kým u trieslovín metóda 1 a trieslovín metóda 2, bolo zníženie váhy veľmi výrazné. Dosiahnutá priemerná denná váha húseníc v chovoch bola 0,170 g resp. 0,150 g, čo je 4-krát menej ako u kontroly (obr. 1). Rozdiely boli štatisticky významné.

Tab. 1 Priemerný vývoj ($\pm S_x$) samčích a samičích lariev každej varianty vo všetkých opakovaniach spolu, zaznamenaný od prvého (L1) do piateho (L5) instaru. *, ** = štatistické rozdiely medzi variantmi v jednotlivých larválnych štádiách osobitne – $P < 0,05$; $P < 0,01$

Tab. 1 Mean development ($\pm S_x$) of male and female larvae of each variant in all replications totally, recorded from the 1st (L1) to 5th (L5) instar, *, ** statistical differences between variants in individual larvae stages separately – $P < 0,05$; $P < 0,01$

Variant	L1	L2	L3	L4	L5	Celkom
Sacharidy	7,53 $\pm$ 0,89	3,89 $\pm$ 1,32	4,45 $\pm$ 1,27	5,27 $\pm$ 2,57	7,18 $\pm$ 3,46	28,32
Polyfenoly	7,71 $\pm$ 0,97	3,53 $\pm$ 1,16	4,50 $\pm$ 1,23	5,43 $\pm$ 2,28	7,29 $\pm$ 2,87	28,47
Kontrola	8,44 $\pm$ 1,83	4,12 $\pm$ 1,45	4,13 $\pm$ 1,16	4,83 $\pm$ 2,33	8,12 $\pm$ 3,21	29,64
Lipidy	8,13 $\pm$ 1,01	3,69 $\pm$ 1,16	4,09 $\pm$ 1,26	6,36 $\pm$ 3,21	8,33 $\pm$ 2,51	30,60
Triesloviny metóda 2	7,67 $\pm$ 0,95	5,02 $\pm$ 2,35	6,26 $\pm$ 3,19	6,00 $\pm$ 2,46	8,80 $\pm$ 2,76	33,75
Triesloviny metóda 1	7,8 $\pm$ 1,08	4,52 $\pm$ 1,37	6,67 $\pm$ 4,07	6,47 $\pm$ 2,8	10,08 $\pm$ 2,34	35,54
Štatistická významnosť		*	*	**	**	

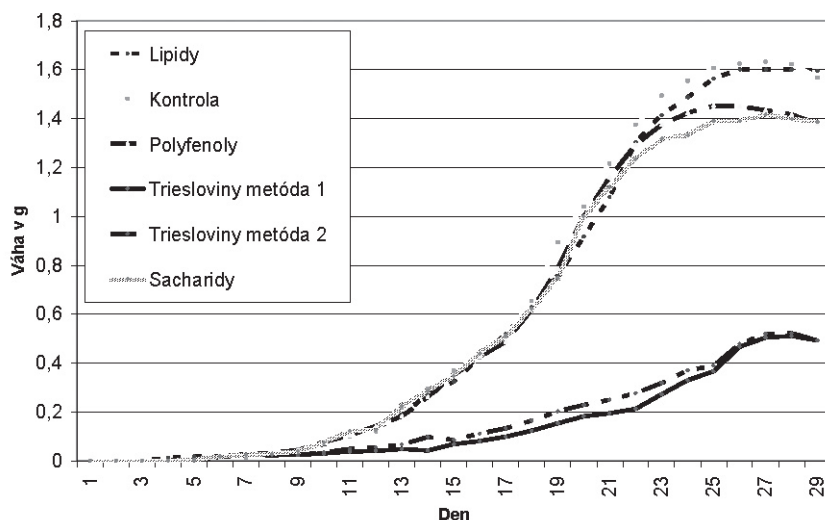


Obr. 1 Priemerná denná váha (g) všetkých húseníc v chovoch od štádia L2 do štádia L5

Fig. 1 Mean daily weight (g) of larvae in breeding from the stage L2 to stage L5

Sledovali sme aj priebeh narastania váhy húseníc v dennom režime (obr. 2) do 30. dňa vývoja. Váha húseníc začala výraznejšie narastať až okolo 10–11. dňa od vyliahnutia,

čo zodpovedá štádiu L2 s prudkým nárastom cca medzi 15. až 23. dňom. Medzi 25. a 30. dňom sa dostavil pokles priemerných váh. Najvyššiu váhu sme zaznamenali u húseníc chovaných na čistej potrave (kontrola). Najnižšie váhy dosiahli húsenice v prípade ošetrenia potravy trieslovinami.

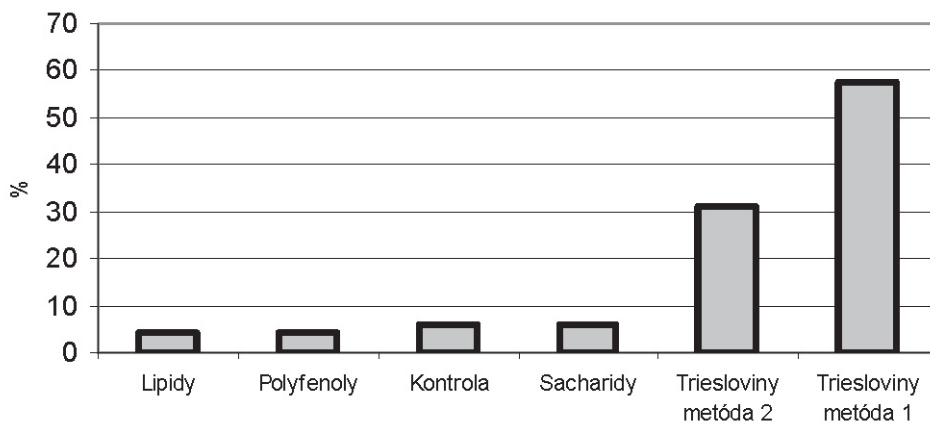


Obr. 2 Priemerná denná váha húseníc (samce + samice) v chove v jednotlivých variantoch po dňoch počas prvých 29 dní trvania experimentov

Fig. 2 Mean daily weight of larvae (male and female) in breeding in particular variants day by day during the first 29 days of experiments

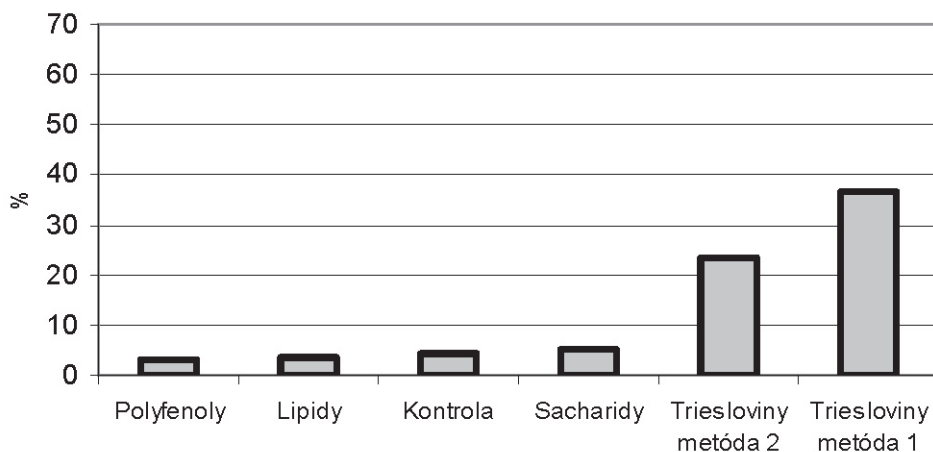
Mortalita

Ďalšou významnou veličinou, ktorá bola ovplyvnená pôsobením jednotlivých komponentov extraktu listov orecha na potravu mnišky veľkohlavej bola mortalita. Mortalita v štádiu larvy dosiahla úroveň 57,7 % vo variante triesloviny metóda 1 a 31,1 % u varianty triesloviny metóda 2. Mortalita v kontrole (6,0 %) bola o niečo málo vyššia ako u variant s použitím lipidov a polyfenolov, ktoré rovnako ako pri váhe húseníc preukázali svoj stimulačný účinok na vývoj lariev (obr. 2). Mortalita v štádiu kukly dosiahla úroveň 36,6 % vo variante triesloviny metóda 1. Mortalita v kontrole (4,5 %) bola o niečo málo vyššia ako u variant s použitím lipidov a polyfenolov, ktoré rovnako ako pri váhe a mortalite húseníc preukázali svoj stimulačný účinok (obr. 3 a 4).



Obr. 3 Mortalita húseníc (samce + samice) v jednotlivých variantoch

Fig. 3 Mortality of larvae (male and female) in particular variants



Obr. 4 Mortalita kukiel (samce + samice) v jednotlivých variantoch

Fig. 4 Mortality of pupae (male and female) in particular variants

4 DISKUSIA

Mníška veľkohlavá je široký polyfág a konzumuje listy mnohých druhov listnatých drevín, pričom niektorým z nich sa pravidelne vyhýba. Napr. jaseňu (*Fraxinus* spp.) a vtáčiemu zobu *Ligustrum vulgare* L. (SCHEDL 1936). GANSNER a HERRICK (1985) zistili len 0,07% defoliáciu jaseňa v porovnaní so 100% defoliáciou duba. Ani pri premnoženiach mnišky veľkohlavej nebývajú zaznamenané významné škody na ihličnatých drevinách okrem smrekovca opadavého (NOVOTNÝ 1986) a navyše sa už v minulosti potvrdil

vplyv výťažkov ihlíc smreka na mortalitu lariev hmyzu (DAUGAVIETIS 2001). Efektivitu výluhov *Taraxacum officinale* Web. a *Syringa vulgaris* L. potvrdil napríklad BUROV *et al.* v roku 1995. Predchádzajúce (doteraz nepublikované) údaje získané v laboratórnych chovoch na NLC-LVÚ Zvolen naznačujú, že výluhy z orecha vlašského by mohli mať vplyv na dĺžku vývoja lariev, ich váhu a mortalitu. Preto sme pripravili chemické rozbory výluhov listov a zabezpečili sme prípravu samostatného extraktu štyroch komponentov – lipidov, sacharidov, trieslovín (extrakcia dvoma metódami) a polyfenolov.

Takmer vo všetkých pokusoch sa najvýraznejšie na sledované charakteristiky prejavil vplyv trieslovín. Vývoj húseníc ovplyvňovali negatívne. V prípade polyfenolov a lipidov sme zaznamenali aj pozitívny vplyv na vývojové charakteristiky.

V chove sme zistili štatistické rozdiely v dĺžke vývoja húseníc. Celkove sa najvýraznejší vplyv na dĺžku vývoja objavil u trieslovín. Húsenice potrebovali priemerne 35,54 dňa aby dosiahli koniec piateho instaru. Húsenice v kontrolnej vzorke potrebovali na dosiahnutie konca piateho instaru 29,64 dňa. Predlžovanie vývoja zohráva dôležitú úlohu pri realizácii obranných opatrení. Húsenice, ktorých vývoj trvá dlhšie bývajú častejšie napádané parazitoidmi a patogénmi (ZÚBRIK, NOVOTNÝ 2009). Naopak sacharidový a polyfenolový extrakt pôsobil stimulačne a húsenice dosiahli štádium kukly rýchlejšie ako húsenice v kontrole.

Počas experimentov sme sledovali zmenu hmotnosti húseníc. Ukázalo sa, že húsenice v kontrole získali počas chovu najvyššiu priemernú dennú hmotnosť 0,638 g. Veľmi podobnú, len o málo nižšiu priemernú dennú váhu mali húsenice pri použití lipidov, polyfenolov a sacharidov. Vo variante s plným extraktom sme už zaznamenali významné zníženie váhy, kým u trieslovín – metóda 1 a trieslovín metóda 2, bolo zníženie váhy veľmi výrazné. Dosiahnutá priemerná denná váha húseníc v chovoch bola 0,170 g resp. 0,150 g, čo je 4-krát menej ako u kontroly (obr. 1). Rozdiely boli štatisticky významné.

Mimoriadne dôležitým sledovaným faktorom bola mortalita húseníc a kukiel. V predchádzajúcich experimentoch na NLC-LVÚ Zvolen dosahovala mortalita pri použití výluhov z listov *Juglans regia* L. 17 % a mortalita kukiel 14,9 %. Celková mortalita teda 31,9 %. Mortalita húseníc pri použití prípravkov na báze *Bacillus thuringiensis* v poľných pokusoch kolíše na úrovni 41,4–91,6 % (ZÚBRIK *et al.* 2005), pri použití prípravkov na báze diflubenzurolu resp. novaluronu dosahuje úrovne 80–98 % (ZÚBRIK *et al.* 2005) a na báze NPV 57–89 % (NOVOTNÝ *et al.* 1993). Pri použití separátnych výluhov sme očakávali zvýšenie mortality húseníc. Táto bola dosiahnutá pri použití trieslovín. Mortalita v štádiu húsenice dosiahla úrovne 57,7 % vo variante triesloviny metóda 1 a 31,1 % u varianty triesloviny metóda 2. Mortalita v kontrole bola 6,0 %. Tieto údaje sú pomerne nádejné, pretože sa získali pri použití čistých extraktov a v laboratórnych podmienkach. Dá sa predkladať, že ak by sme umelo zvýšili účinnosť extraktu (napríklad pridaním emulgátorov či UV stabilizátorov a pod.) pokusy by sa realizovali v poľných podmienkach, mohli by sme dosiahnuť mortalitu blížiacu sa až k 70 %. To by znamenalo, že použitie trieslovinového extraktu na ovládanie lokálnych populácií škodcu v kombinácii s ďalšími metódami v rámci integrovaného systému boja so škodcom by bolo možné.

ZÁVER

Na regulovanie početnosti mníšky veľkohlavej, tak ako aj väčšiny listožravých škodcov v lesoch sa dnes používajú najmä pyretróidy, retardátory tvorby chitínu (napr. *teflubenzuron*, *novaluron*, a pod.) a biopreparáty na báze *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*. Účinnosť komerčne vyrábaných prípravkov sa pohybuje na úrovni 60–99 %. Aj keď mortalita v našich pokusoch nedosiahla takej úrovne, sú naše výsledky nádejné a znamenajú ďalší, pomerne pozitívny posun ku prevádzkovému využitiu niektorých fytopes-tídných látok. V ďalších experimentoch bude potrebné sa zamerať na stabilizáciu extraktu a umelé zvyšovanie pridávaním emulgátorov a ďalších komponentov.

Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Centrum excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy, ITMS: 26220120006, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja. Autori ďakujú spolupracujúcim inštitúciám najmä Technickej univerzite vo Zvolene, Dr. J. Tannerovi z USDA Otis, USA, doc. Ing. S. Šilhárovi, CSc. a pracovisku Biocentrum Modra, Lesom SR, š.p. Banská Bystrica a ďalším, ktorí sa podieľali na riešení. Kolegom I. Ilkaničovi a R. Nigrínimu za technickú pomoc pri realizácii experimentov.

Literatúra

- BELL, R. A., OWENS, C. D., SHAPIRO, M., and TARDIF, J. R., 1981. Development of mass rearing technology. In: Doane, C. C. and McManus, M. L. (Eds.): The Gypsy Moth: Research Toward Integrated Pest Management. U.S. Dep. Agr. Tech. Bull. 1584. s. 599–633.
- BUROV, V. N., KONIUKHOV, V. P., TIUTEREV, S. L., NESTERENKO, S. A. 1995: Some results and prospects of plant originated pesticide application in plant protection against harmful organism. *Agrochemistry*, 8, s. 70–80.
- COOMANS D., SILBERKLANG J., MICHOTTE Y., DRYON L., MASSART D. L. 1979: Determination of tannins in tea by potentiometry and atomic absorption spectrometry. *Fresenius Z. Anal. Chem.* 294, s. 140–144.
- DAUGAVIETIS, M. 2001: Experience of pine and spruce needles extractives using for plant protection. Practice oriented results on the use of plant extracts and pheromones in pest control, *Proceedings of Workshop, Estonia*, s. 11–12.
- DOANE, C. C. – McMANUS, M. L. (ed) 1981: The gypsy moth: Research toward integrated pest management. USDA For. Serv. Sci. Educ. Ag. Technical Bull. 1584, Washington, D. C. 1981, 757 s.
- DUTHIE-HOLT, M. A., BORDEN, J. H., RANKIN, L. J. 1999: Translocation and efficacy of a neem-based insecticide in lodgepole pine using *Ips pini* (Coleoptera: Scolytidae) as an indicator species. *Journal of Econom. Entom.* 92 (1) s. 180–186.
- GANSNER, D.A., HERRICK. O. W. 1985. Host preferences of gypsy moth on a new frontier of infestation. USDA For. Serv. Res. Note NE-330.
- Internet: <http://www.irinnews.org/report.asp?ReportID=36809>
- LECHOWICZ, M. J., MAUFFETTE, Y. 1986: Host preferences of the gypsy moth in eastern North American versus European forests. *Revue D'Entomologie du Quebec*, 31 (43) s. 123–127.
- LI H., RADUNZ A., HE P., SCHMID G.H. 2002: Influence of different light intensities on the content of diosgenin, lipids, carotenoids and fatty acids in leaves of *Dioscorea zingiberensis*. *Z.Naturforsch.* 57c, s. 135–143.
- MALINOWSKI, H., WORETA, D., STOCKI, J. 2000: Experiments with Azadirachtin to reduce the Common Cockchafer *Melolontha melolontha* L and Some Leaf-eating Insects from the Order Lepidoptera. In: Kleeberg, H., Zebitz, C. P. W. (ed). Practice Oriented Results on Use and Production of Neem-Ingredients and Pheromones, *Proceedings of the 8th Workshop, Germany*, s 5–13.

- MAUFFETTE, Y., LECHOVICZ, M. J., JOBIN, L. 1983: Host preference of the gypsy moth, est Research 13: 53–60.
- NICOL, C. M. Y., SCHMUTTERER, H. 1996: Control of the Gypsy moth, *Lymantria dispar* with NeemAzal-T in stands of oak. In: Kleeberg, H., Micheletti, V (ed). Practice Oriented Results on Use and Production of Neem-Ingredients and Pheromones, Proceedings of the 4th Workshop, Italy, s 95–101.
- NOVOTNÝ, J. 1986: Nový charakter kalamity mnišky veľkohlavej (*Lymantria dispar* L.) v lesoch Slovenska. Zprávy les. výsk. 31(3): s. 26–29.
- NOVOTNÝ, J. *et al.* 1993: Ochrana lesa proti poškodzovaniu hmyzom. Čiastk. výsk. správa úlohy č. N 0553193503, LVÚ Zvolen, 56 s.
- NOVOTNÝ, J. 1988: Empfindlichkeit der Raupen von *Lymantria dispar* L. (Lep., Lymantriidae) gegenüber *Bacillus thuringiensis* und 2 Häutungshemmstoffen, allein und in Mischung. Anzeiger für Schädlingkunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz 61 (1): s. 11–14.
- ROHNE, M. 1997: Effect of NeemAzal on vitality and fertility of *Melolontha hippocastani*. In: Kleeberg, H., Zebitz, C. P. W. (ed). Practice Oriented Results on Use and Production of Neem-Ingredients and Pheromones, Proceedings of the 5th Workshop, Germany, s 75–81.
- SCHEDL, K. E. 1936: Der Schwammspinner in Euroasien, Afrika und Neuengland. Berlin, Verlagsbuchhandlung Paul Parey, 242 s.
- TURČANI, M. 2001: The preliminary results of trials conducted with Neem and combinations of neem and *Bacillus thuringiensis* var *kurstaki* in gypsy moth (*Lymantria dispar* L.) control in Slovakia. Proceedings of the International Workshop Tartu, Estonia, Jan. 24–25, 2001. s. 120–123.
- TSAMOURIS G., HATZIANTONIOU S., DEMETZOS C. 2002: Lipid analysis of greek walnut oil (*Juglans regia* L.). Z Naturforsch. 57c, s. 51–56.
- ZABEL, A., MANOJLOVIC, B., RAJKOVIC, S., STANKOVIC, S., KOSTIC, M., 2002: Effect of neem extract on *Lymantria dispar* L. (Lepidoptera: Lymantriidae) and *Leptinotarsa decemlineata* Say. (Coleoptera: Chrysomelidae). Anzeiger für Schädlingkunde. 75 (1), s. 19–25.
- ZÚBRIK, M., 2004: Mniška veľkohlavá *Lymantria dispar* (L.) najvýznamnejší defoliátor dubín. In: Varínsky, J. (ed), Aktuálne problémy v ochrane lesa 2004, Lesnícky výskumný ústav, Zvolen, s. 130–141.
- ZÚBRIK, M. 2006: V tomto roku vrcholí premnoženie mnišky veľkohlavej! LES – Slovenské lesokruhy, 2006, č. 3–4, s. 9–10.
- ZÚBRIK, M., LONGAUEROVÁ, V., KUNCA, A., LEONTOVÝČ, R., STRMEŇ, S., VAKULA, J., VARÍNSKY, J., 2005: Správa o účinnosti leteckých ošetroví proti mniške veľkohlavej zabezpečených LVÚ Zvolen v roku 2005. Banská Štiavnica, júl 2005, 13 s.
- ZÚBRIK, M., KUNCA, A., VAKULA, J., GUBKA, A., KONÔPKA, J., KAŠTIER, P., FINĐO, S., LEONTOVÝČ, R., VARÍNSKY, J., NOVOTNÝ, J., TURČANI, M., LONGAUEROVÁ, V., NIKOLOV, CH. 2008: Prognóza vývoja škodlivých činiteľov s ohľadom na globálnu klimatickú zmenu a predpoklad ich dopadu na zdravotný stav lesov. In: Aktuálne problémy ochrany lesa. Zborník referátov z medzinárodnej konferencie 17.–18. apríla 2008, NLC-LVÚ Zvolen, s. 103–116.
- ZÚBRIK, M., NOVOTNÝ, J.: 2009: Impact of gamma radiation on the developmental characteristics of the gypsy moth, *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymantriidae) preparatory to their use as supplemental hosts/prey for natural enemy enhancement. Biocontrol Science and Technology, 19 (S1) : 291–301.

Adresa autorov:

Ing. Milan Zúbrik, PhD.
 Národné lesnícke centrum
 Lesnícky výskumný ústav Zvolen
 T. G. Masaryka 22
 960 92 Zvolen
 SR
 e-mail: zubrik@nlcsk.org

Ing. Gabriela Kalmárová
Národné lesnícke centrum
T. G. Masaryka 22
960 92 Zvolen
SR

e-mail: kalmarova@nlcsk.org

Extrakcia sacharidov, lipidov, polyfenolov a trieslovín z listov orecha vlašského *Juglans regia* L. a overenie ich účinku na húsenice mníšky veľkohlavej *Lymantria dispar* L. (Lep.: Lymantriidae)

Abstrakt

Mniška veľkohlavá (*Lymantria dispar* L.) patrí k najvýznamnejším druhom hmyzích škodcov v listnatých porastoch. V rokoch 2004–2006 bolo počas poslednej gradácie škodcu letecky ošetrovaných 29 831 ha. Štyri špecifické komponenty listov orecha vlašského (*Juglans regia* L.) boli chemicky vyselektované a použité v laboratórnom chove mníšky veľkohlavej pričom bol testovaný ich vplyv na vybrané environmentálne charakteristiky škodcu – mortalitu v štádiu húsenice a kukly, váhu húseníc a dĺžku prvých piatich instarov. Vykonané experimenty ukázali, že húsenice chované na umelej potrave ošetrenej trieslovínami potrebovali najdlhší čas aby dosiahli pupálneho štádia. Lipidy a polyfenoly v niektorých prípadoch ovplyvňovali húsenice pozitívne v porovnaní s kontrolou. Mortalita húseníc pri použití trieslovín dosiahla 57,7 % a mortalita kukiel 36,6 %. Dá sa predpokladať, že ak by bola v budúcnosti účinnosť suspenzie trieslovín umelo zvýšená pridaním niektorých komponentov ako sú adhezíva alebo podobne, bolo by možné dosiahnuť ešte vyššiu mortalitu a triesloviny z listov orecha by mohli byť použité integrovanej ochrane lesa proti lokálnym populáciám škodcu.

Kľúčové slová: fytopesticídy, vlašský orech, mníška veľkohlavá, ochrana lesa

PRÍJEM ŽIVÍN A DĹŽKOVÝ RAST VÝHONKOV DRUHU *RUBUS IDAEUS* L. V IMISNE ZNEČISTENÝCH SMREKOVÝCH GEOBIOCENÓZACH

Ján K U K L A – Margita K U K L O V Á

Kukla, J., Kuklová, M.: Uptake of nutrients and length growth of *Rubus idaeus* L. shoots in spruce geobiocoenoses contaminated by atmospheric pollutants. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, 53(1): 21–28, 2011.

The research was realised in hemioligotrophic and oligotrophic spruce geobiocoenoses of the 5th and 6th forest vegetation tier (fvt) influenced by atmospheric pollutants situated along altitudinal transect (950–1100 m a.s.l.) established in neighbouring of the Novoveská Huta village. The most in the *Rubus idaeus* shoots varied iron contents ($117.3 \pm 89.3 \text{ mg kg}^{-1} \text{ d.w.}$), the least boron contents ($34.1 \pm 4 \text{ mg kg}^{-1}$). Content of Mn was in the range of toxicity ($2\,524.8 \pm 901.8 \text{ mg kg}^{-1} \text{ d.w.}$). The lengths of raspberry shoots growing in segment of hemioligotrophic geobiocoenosis on damaged plot C (the 5th fvt, gtg *Abieti-Fageta inferiora*, Podsolc Cambisol) varied the most ($55.5 \pm 23.5 \text{ cm}$) and the shoots growing in segment of oligotrophic geobiocoenosis on non damaged plot B (the 6th fvt, gtg *Fageta abietino-piceosa*, Skeli-Humic Podzol) varied the least ($27.1 \pm 8.7 \text{ cm}$). The raspberry shoots sampled in geobiocoenoses of the 5th fvt were significantly higher, compared with shoots growing in 6th fvt.

Keywords: spruce stands, atmospheric pollutants, *Rubus idaeus*, nutrient contents, length of shoots

1 ÚVOD

V minulom storočí bola kvalita trvalých ekologických podmienok v lesných geobiocenózach Stredného Spiša lokálne zmenená najmä v dôsledku banskej činnosti a dlhodobého vplyvu priemyselných imisií. K postupnému rozpadu smrekových ekosystémov dochádza najmä v dôsledku súčinnosti abiotických, biotických a antropogénnych škodlivých činiteľov. K najnebezpečnejším zložkám imisií patrí oxid siričitý, ale významne sa uplatňujú aj oxidy uhlíka, dusíka, amoniak, zlúčeniny fluóru, chlóru, ozónu, organické látky a i. Z tuhých znečisťujúcich látok sú to najmä popolček a prach z hutí, ktorý je obohatený o ťažké kovy.

Nedostatok alebo nadbytok živín vznikajúci v dôsledku nadmerného znečistenia pôd vyvoláva morfológické zmeny asimilačných orgánov citlivejších druhov rastlín, spomaľuje ich rast, znižuje ich produkciu, alebo môže zapríčiniť až ich úhyn a v konečnom dôsledku pokles druhovej diverzity fytocenóz (KUKLOVÁ, KUKLA 2006). Citlivým indikátorom environmentálnych zmien je najmä bylinný podrast (KUKLA, KUKLOVÁ 2008),

vývoj ktorého súčasne informuje aj o zmenách prebiehajúcich v iných zložkách lesného ekosystému (KODRÍK 2004, JAMNICKÁ *et al.* 2007, BARNA *et al.* 2009, JANÍK 2009, JANÍK, SCHIEBER 2010).

V tejto práci sme sa zamerali na posúdenie vplyvu imisne znečisteného prostredia kyslomilných smrekových geobiocenóz nachádzajúcich sa na výškovom transekte v blízkosti Novoveskej Huty na obsah vybraných živín a dĺžkovú variabilitu výhonkov druhu *Rubus idaeus* L.

2 MATERIÁL A METÓDY

Výskum sa realizoval v smrekových geobiocenózach 5. a 6. lesného vegetačného stupňa (Ivs) situovaných pozdĺž výškového transektu Hliníky-Muráň (950–1100 m n. m.), ktorý bol založený JZ od Novoveskej Huty v ochrannom pásme NP Slovenský raj.

V spodnej časti transektu sa v segmentoch hemioligotrofnej skupiny typov geobiocenóz (stg) *Abieti-Fageta inferiora* (5. Ivs) založila plocha C (poškodený porast, zápoj 30–50 %) a D (nepoškodený porast, zápoj 70–80 %). Nachádzajú sa tu kambizeme podzolové s hodnotami aktívnej reakcie v povrchovom humuse v rozpätí 3,6–4,1 a v minerálnych vrstvách v rozpätí 3,5–4,5. Vo vrchnej časti transektu bola v segmentoch oligotrofnej stg *Fageta abietino-piceosa* (6. Ivs) založená plocha A (poškodený porast, zápoj 40 %) a B (nepoškodený porast, zápoj 60 %). nachádzajú sa tu podzoly rankrové s hodnotami aktívnej reakcie v povrchovom humuse v rozpätí 3,6–4,5 a v minerálnych vrstvách v rozpätí 3,2–3,8 (KUKLA, KUKLOVÁ 2008).

Pôdy geobiocenóz boli opísané v zmysle ŠÁLYHO a CIESARIKA (1991) a zatriedené v zmysle KOLEKTÍVU (2000), a zatriedenie geobiocenóz sa urobilo na základe výsledkov floristicko-ekologickej analýzy (ZLATNÍK 1976a) v zmysle ZLATNÍKA (1976b). Vzorky ostružiny malinovej sa odobrali náhodným výberom z plochy fytoecologického zápisu (400 m²). Za individuum sa považovali výhonky vyrastajúce z plazivých koreňov. V laboratóriu sa dĺžka čerstvých výhonkov skúmaného druhu zmerala s presnosťou na 0,5 cm. Vzorky sa sušili pri 80 °C počas 48 hodín, zhomogenizovali v achátovom mlyne firmy Fritsch (<0,001 mm) a zmineralizovali za pomoci koncentrovanej HNO₃ v mikrovlnnej mineralizačnej piecke Uni Clever (Plasmatronika). V získanom mineralizáte bol obsah Mn, Fe a B stanovený prostredníctvom metódy AES-ICP, na prístroji LECO 3000.

Vplyv ekologických podmienok na dĺžku výhonkov skúmaného druhu sme vyhodnotili pomocou neparametrického Kruskal-Wallis testu (program Statistica 7).

3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Obsah živín vo výhonkoch druhu Rubus idaeus L.

Mangán, železo a bór patria k dôležitým živinám, nedostatok, ale aj nadbytok ktorých nepriaznivo vplyva na zdravotný stav a vitalitu rastlín. Nedostatok **man-gánu** sa prejavuje obmedzením tvorby chloroplastov, znížením fotosyntézy, výskytom

svetlých škvŕn na mladých listoch (medzižilovej chlorózy), podobne ako pri nedostatku Fe (FECENKO, LOŽEK 2000). Nadbytok **mangánu**, ktorý je charakteristický najmä pre silne kyslé pôdy, zasa toxicky vplýva najmä na rast citlivejších rastlín.

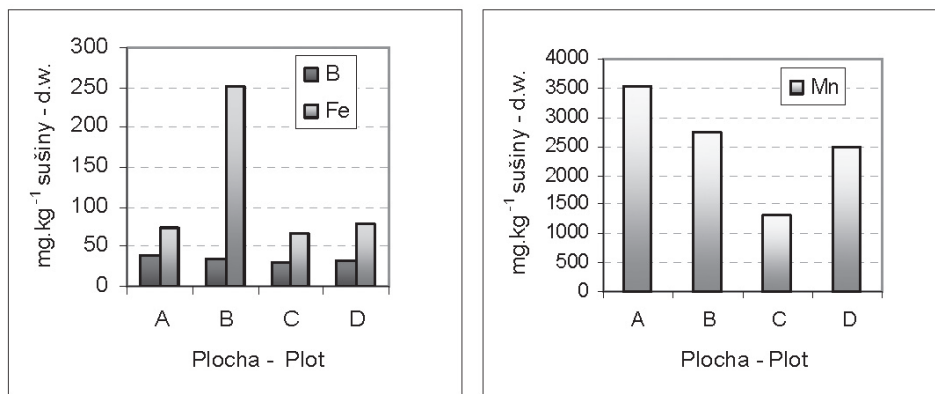
MARKERT (1995) považuje za referenčnú hodnotu v rastlinách 200 mg Mn kg⁻¹ sušiny, avšak pre konkrétny druh môže byť táto hodnota podstatne vyššia, alebo nižšia. MAŇKOVSKÁ (1996) napr. uvádza rozpätie 20–700 mg Mn kg⁻¹ sušiny. Pri väčšine poľnohospodárskych plodín sa za optimálne považujú hodnoty 15–200 mg Mn kg⁻¹ v sušine (FECENKO, LOŽEK 2000). Obsah mangánu zistený vo výhonkoch druhu *Rubus idaeus* rastúcich pozdĺž výškového transektu Hliníky-Muráň (1 337–3 514 mg kg⁻¹ sušiny) bol v porovnaní s vyššie uvedenými referenčnými hodnotami podstatne vyšší a pohyboval sa teda v oblasti toxicity (obr. 1, tab.1).

V kyslých pôdach je aj **železo** veľmi mobilné a môže toxicky pôsobiť na rastliny. V takomto prípade rastliny prijímajú menej Ca, Mn a B, ale aj P a K. Na druhej strane v dôsledku nedostatku Fe a obmedzenej tvorby chlorofylu dochádza k žltnutiu listov. KABATA-PENDIAS, PENDIAS (1992) i MAŇKOVSKÁ (1996) uvádzajú, že v popole rastlín sa obvyčajne nachádza 70–1 200 mg Fe kg⁻¹ sušiny. MARKERT (1995) za referenčnú považuje hodnotu 150 mg kg⁻¹. Nami zistené hodnoty sa pohybovali v rozpätí 65,8–251,0 mg Fe kg⁻¹ (obr. 1, tab. 1) a v porovnaní s referenčnou hodnotou MARKERTA (1995) sa vyšší obsah železa zistil len vo výhonkoch maliny rastúcich v segmente oligotrofnej stg *Fageta abietino-piceosa* (nepoškodený porast v 6. lvs).

Bór je živina podporujúca rast rastlín a tvorbu ich kvetov a plodov. Jeho nedostatok i nadbytok sa prejavuje typickými príznakmi už pri kvitnutí (žltnutím špičiek listov, rozsah ktorého sa neskôr zväčšuje a nakoniec celý list zhnedne). Príjem bóru rastlinami závisí od reakcie pôdy, jej zrnitostného zloženia a obsahu vody v pôde. Nižší je v prípade veľmi ľahkých a veľmi ťažkých pôd, ako aj suchých a kyslých pôd.

Obsah bóru v rastlinách kolíše v rozpätí 11–140 mg kg⁻¹ (BOWEN 1979) a referenčná hodnota dosahuje 40 mg B kg⁻¹ (MARKERT 1995). V porovnaní s touto hodnotou bol obsah bóru vo výhonkoch malín rastúcich pozdĺž vertikálneho transektu trochu nižší (obr. 1, tab. 1).

Hodnoty priemerných obsahov živín a ich variabilita vo výhonkoch druhu *Rubus idaeus* sú uvedené v tabuľke 1. V sušine uvedeného druhu najviac varíroval obsah železa, najmenej obsah bóru (tab. 1).



Obr. 1 Množstvo živín vo výhonkoch druhu *Rubus idaeus* L. (plocha A a B: 6. lvs, oligotrofná stg *Fageta abietino-piceosa*, podzol rankový; plocha C a D: 5. lvs, hemioligotrofná stg *Abieti-Fageta inferiora*, kambizem podzolová)

Fig. 1 Amount of nutrients in shoots of *Rubus idaeus* L. species (plot A and B: 6. fvt, oligotrophic gtg *Fageta abietino-piceosa*, Skeli-Humic Podzol; plot C and D: 5. fvt, hemioligotrophic stg *Abieti-Fageta inferiora*, Podzolic Cambisol)

Tab. 1 Štatistické charakteristiky obsahu živín vo výhonkoch druhu *Rubus idaeus* L.

Tab. 1 Statistic characteristics of nutrients contents in the *Rubus idaeus* L. shoots

Element ¹⁾	$x_{\min}$	$x_{\max}$	Aritmetický priemer ²⁾ ($\bar{x}$)	Geometrický priemer ³⁾ (x_G)	Medián ⁴⁾ ($\bar{x}$)	Smerodajná odchýlka ⁵⁾ (s_x)	Variačný koeficient ⁶⁾ (k)
(mg.kg ⁻¹)							
Mn	1 337	3 514	2 524,8	2 383,5	2 624,0	901,8	34,4
Fe	65,8	251,0	117,3	98,9	76,2	89,3	76,1
B	29,6	39,3	34,1	33,9	33,7	4,0	11,7

Element¹⁾, Aritmetic mean²⁾, Geometric mean³⁾ Median⁴⁾ Standard deviation⁵⁾ Coefficient of variation⁶⁾

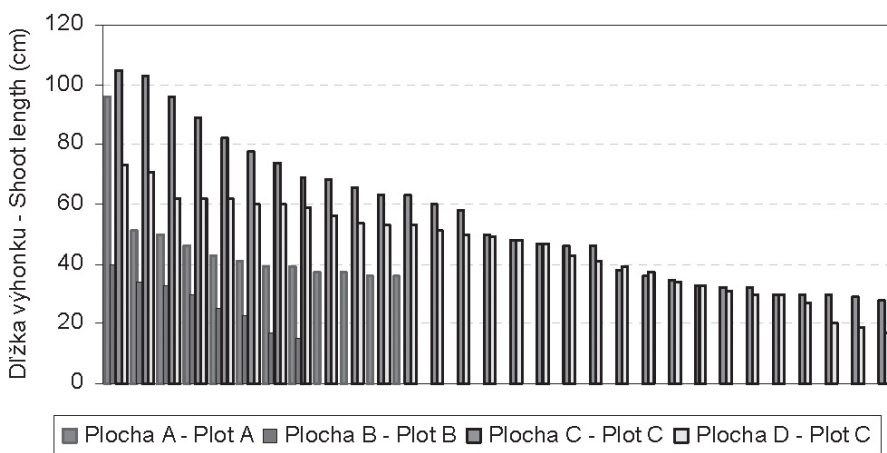
Dĺžkový rast výhonkov druhu Rubus idaeus L.

Ostružina malinová je heliofytný až hemiheliofytný, humideštruktívny druh vyskytujúci sa v rozpätí 3–7 (8) lesného vegetačného stupňa (ZLATNÍK *et al.* 1970). Rastie najčastejšie na kyslých až mierne kyslých pôdach, ale aj na pôdach bohatých na živiny, vrátane N, v rozpätí od oligotrofného až po kalcifilný rad geobiocénov. V optimálnych podmienkach dorastá tento druh až do výšky 100–150 cm (DOSTÁL 1989).

Priemerné dĺžky výhonkov maliny zistené na plochách výškového transektu Hliníky-Muráň (tab. 2) kolísali od $27,1 \pm 8,7$ cm (nepoškodená plocha B, oligotrofná stg *Fageta abietino-piceosa*, 6. lvs) do $55,5 \pm 23,5$ cm (poškodená plocha C, hemioligotrofná stg

Abieti-Fageta inferiora, 5. lvs). Na kalamitou narušených smrekových plochách (A, C) boli priemerné dĺžky výhonkov tohto druhu vyššie, čo zrejme súviselo s priaznivejšími svetelnými podmienkami, v porovnaní s nenarušenými plochami (B, D). Priemerná dĺžka výhonkov zistená na poškodenej ploche A (zápoj porastu 40 %) bola dokonca viac-menej rovnaká, ako na nepoškodenej ploche D (zápoj porastu 70–80 %).

Vyššia variabilita priemerných dĺžok výhonkov maliny bola zaznamenaná na poškodených plochách, s maximom na ploche C (oligotrofná stg *Abieti-Fageta inferiora*). Nižšia bola na nepoškodených plochách, s minimom na ploche B (hemioligotrofná stg *Fageta abietino-piceosa*). Na uvedených plochách sa v odobratých výberových súboroch zistil aj absolútne najkratší výhonok (15 cm, na nepoškodenej ploche B), resp. absolútne najdlhší výhonok (105 cm, na poškodenej ploche C).



Obr. 2 Variabilita dĺžok výhonkov druhu *Rubus idaeus* L. rastúcich na výškovom transekte Hliníky-Muráň

Obr. 2 Variability of *Rubus idaeus* shoot lengths growing on altitudinal transekt Hliníky-Muráň

Tab. 2 Štatistické charakteristiky dĺžok výhonkov druhu *Rubus idaeus* L.

Tab. 2 Statistic characteristics of *Rubus idaeus* shoot lengths

Plocha ¹⁾		Nadm. výška ²⁾ (m)	Lesný vegetačný stupeň ³⁾	Rozsah súboru ⁴⁾ (n)	$x_{\min}$	$x_{\max}$	Aritmetický priemer ⁵⁾ ($\bar{x}_G$)	Smerodajná odchýlka ⁶⁾ (s_x)	Variačný koeficient ⁷⁾ (k)
		(cm)							
Muráň	A ⁸⁾	1 110	6	12	36	96	45,9	16,6	16,6
	B	1 080		8	15	40	27,1	8,7	8,7
Hliníky	C ⁸⁾	960	5	30	42,5	105	55,5	23,5	23,5
	D	950		30	33,6	73	45,7	15,3	15,3

Plot¹⁾, Altitude²⁾, Forest vegetation tier³⁾, Sample size⁴⁾, Arithmetic mean⁵⁾, Standard deviation⁶⁾, Coefficient of variation⁷⁾, kalamitou narušený smrekový porast – spruce stand disturbed by disaster⁸⁾

Kruskal-Wallisov test ($H_{(3, 80)} = 13,17273$; $p = 0,0043$) ukázal, že priemerné dĺžky výhonkov rastúcich v rôznych ekologických podmienkach výškového transektu Hliníky-Muráň sa významne odlišujú (tab. 3). V porovnaní s priemernou hodnotou zistenou v 6. lesnom vegetačnom stupni (nepoškodená plocha B) bola dĺžka výhonkov zistená vo vzorkách ostružiny malinovej odobratej z geobiocenóz 5. lvs (plochy C a D) významne vyššia, približne o 41–51 %.

Tab. 3 Lokality so signifikantne rozdielnou dĺžkou výhonkov druhu *Rubus idaeus* L.

Tab. 3 Locality with significantly different *Rubus idaeus* shoot lengths

Plocha – Plot	Muráň A (45,9 cm)	Hliníky C (55,5 cm)	Hliníky D (45,7 cm)
Muráň B (27,1 cm)	0,079531	0,001732*	0,020022*

* $p < 0,05$

4 ZÁVER

Rast výhonkov ostružiny malinovej vyskytujúcich sa pozdĺž výškového transektu Hliníky-Muráň ovplyvňuje najmä kvalita pôdneho prostredia (mera kyslosti, kontaminácie, skeletnatosti pôd) a množstvo svetla mozaikovite prenikajúce cez korunové vrstvy smrekových porastov.

Vo výhonkoch uvedeného druhu najmenej kolísal obsah bóru a najviac obsah železa. V oblasti toxicity sa nachádzal len obsah mangánu. Najviac varírovali dĺžky výhonkov druhu v segmente hemioligotrofnej geobiocenózy zo skupiny typov geobiocenov (stg) *Abieti-Fageta inferiora* na ploche C, najmenej dĺžky výhonkov v segmente oligotrofnej geobiocenózy zo stg *Fageta abietino-piceosa* na ploche B. Jedince maliny odobrané z geobiocenóz 5. lvs boli v porovnaní s jedincami rastúcimi v 6. lvs významne vyššie.

Podakovanie

Táto štúdia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt Centrum excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy, ITMS: 26220120006, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

- BARNA, M., SCHIEBER, B., CÍČAK, A., 2009: Effects of post-cutting changes in site conditions on the morphology and phenology of naturally regenerated beech seedlings (*Fagus sylvatica* L.). Polish Journal of Ecology, 57, 3: 461–472.
- BOWEN H. J. M., 1979: Environmental chemistry of the elements. Academic Press, London, 333 p.
- DOSTÁL, J. 1989: Nová květena ČSSR. Díl 1 a 2. Vydání 1. Academia, ČSAV Praha, 1563 p.
- FECENKO, J., LOŽEK, O., 2000: Výživa a hnojení poľných plodín. SPU Nitra, 442 p.
- JAMNICKÁ G, BUČINOVÁ K, HAVRANOVÁ I, URBAN A., 2007: Current state of mineral nutrition and risk elements in a beech ecosystem situated near the aluminium smelter in Žiar nad Hronom, Central Slovakia. For Ecol Manag, 248: 26–35.

- JANÍK, R., 2009: Biomass production in herbs layer in submountain beech stands dependent on time and cutting intensity. *Nauka za gorata (Forest Science)*, 3: 59–66.
- JANÍK, R., SCHIEBER, B., 2010: Effect of stocking densities on the biomass production of *Carex pilosa* L. in submountain beech stand. *Beskydy*, 3, 2: 151–158.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H., 1992: Trace Elements in Soils and Plants. London, CRC Press, 2nd edition, 365 p.
- KOLEKTÍV, 2000: Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenčná taxonómia. VÚPOP, Bratislava, 76 p.
- KUKLA, J., KUKLOVÁ, M., 2008: Growth of *Vaccinium myrtillus* L. (ERICACEAE) in spruce forests damaged by air pollution. *Polish Journal of Ecology*, 56, 1: 149–155.
- KUKLOVÁ, M., KUKLA, J., 2006: Phytoparameters and content of risk elements in *Dryopteris dilatata* (Hoffm.) A. Gray populations. *Folia oecologica*, 33, 2: 102–107.
- MAŇKOVSKÁ B., 1996: Mercury concentrations in forest trees from Slovakia. *Water, Air, and Soil Pollution*, 89: 267–275.
- MARKERT B., 1995: Instrumental multielement analysis in plant materials: a modern method in environmental chemistry and tropical systems research. CETEM/CNPq, Rio de Janeiro, Série Tecnologia Ambiental, 32 p.
- ŠÁLY, R., CIESARIK, M., 1991: Pedológia. Návod na cvičenia. TU Zvolen, 123 p.
- ZLATNÍK, A., KRIŽO, M., CVRČEK, M., MRENICA, M., 1970: Lesnická botanika speciální. SZN Praha, 667 p.
- ZLATNÍK, A., 1976a: Lesnická fytocenologie. ŠZN, Praha. 495 p.
- ZLATNÍK, A., 1976b: Přehled skupin typů geobiocénů původně lesních a křovinových v ČSSR. Zprávy Geografického ústavu ČSAV, 13, (3–4): 55–64.
-

Adresa autorov:

Ing. Ján Kukla, CSc.

Ing. Margita Kuklová, CSc.

Ústav ekológie lesa SAV vo Zvolene

Štúrova 2

960 53 Zvolen

Slovakia

e-mail: kukla@savzv.sk

kuklova@savzv.sk

Príjem živín a dĺžkový rast výhonkov druhu *Rubus idaeus* L. v imisne znečistených smrekových geobiocenózach

Abstrakt

Výskum sa realizoval v imisne ovplyvnených hemioligotrofných a oligotrofných smrekových geobiocenózach 5. a 6. lesného vegetačného stupňa (lvs) situovaných pozdĺž výškového transektu (950–1 100 m n. m.), ktorý bol založený v blízkosti Novoveskej Huty. Vo výhonkoch druhu *Rubus idaeus* L. najviac kolísal obsah železa ($117,3 \pm 89,3 \text{ mg kg}^{-1}$ sušiny), najmenej obsah bóru ($34,1 \pm 4 \text{ mg kg}^{-1}$). Obsah mangánu sa nachádzal v oblasti toxicity ($2\,524,8 \pm 901,8 \text{ mg kg}^{-1}$ sušiny). Najviac varírovali dĺžky výhonkov druhu rastúce v segmente hemioligotrofnej geobiocenózy (plocha C, poškodený porast, kambizem podzolová, 5. lvs) zo skupiny typov geobiocénov (stg) *Abieti-Fageta inferiora* ($55,5 \pm 23,5 \text{ cm}$), najmenej výhonky rastúce v segmente oligotrofnej geobiocenózy (plocha B, nepoškodený porast, podzol rankrový, 6. lvs) zo stg *Fageta abietino-piceosa* ($27,1 \pm 8,7 \text{ cm}$). Jedince maliny odobrané z geobiocenóz 5. lvs boli v porovnaní s jedincami rastúcimi v 6. lvs významne vyššie.

Kľúčové slová: smrekové porasty, imisie, *Rubus idaeus* L., obsah živín, dĺžka výhonkov

POROVNANIE HRÚBKOVÉHO RASTU VYBRANÝCH PROVENIENCIÍ SMREKA OBYČAJNÉHO SEVERSKÉHO (*PICEA ABIES SEPTENTRIONALIS* SVOB.) VYSAZENÝCH V ARBORÉTE BOROVÁ HORA TECHNICKEJ UNIVERZITY VO ZVOLENE

Peter J A L O V I A R – Ivan L U K Á Č I K – Stanislav K U C B E L –
– Martin V A R G A

Jaloviár, P., Lukáčik, I., Kuchel, S. & Varga, M.: Radial growth comparison of selected Norway spruce (*Picea abies septentrionalis* Svob.) provenances growing in Arboretum Borová hora, Technical University in Zvolen. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, 53(1): 29–39, 2011.

In the paper we evaluated tree ring widths of four provenances of Norway spruce (*Picea abies septentrionalis* Svob.) from a provenance trial established in 1965 in Arboretum Borová Hora (TU Zvolen). For the analysis, two provenances of both largest and smallest mean diameter were selected. The minimum value of mean tree ring width was reached by the provenance 117 – Russian climatype (2.32 mm) and the maximum value by the provenance 133 – Ob climatype (4.32 mm). The analysis has confirmed a higher variability of tree ring widths for the slower growing provenances in comparison to the faster growing ones. The largest diameter of provenance 133 is the result of a steady radial growth as well as of high increments at the beginning of investigated period. A more steady growth of this provenance was confirmed by several characteristics as the unimodal distribution of relative ring widths, the higher value of mean sensitivity, the lower r of the 1st order autocorrelation and of the linear correlation between the ring width and year. The lowest value of regression coefficient of provenance 133 proves the slowest decrease of mean tree ring width with the increasing age.

Keywords: *Picea abies septentrionalis*, tree ring, radial growth

ÚVOD

Rast a vzhľad drevín je podmienený z podstatnej časti geneticky. Toto je dobre pozorovateľné vtedy, ak rozdielne druhy drevín rastú na spoločnom homogénnom stanovišti (SCHWEINGRUBER 1996). Merateľné rozdiely sa vyskytujú nielen medzi druhmi, ale aj v rámci jedného druhu medzi rôznymi ekotypmi.

Smrek obyčajný má veľmi rozsiahly areál, ktorý sa rozprestiera na veľkej časti Eurázie. Vyskytuje sa od západného okraja Álp na východ po Ochotské more, od pohorí Pirin a Rhodope na juhu Bulharska až na sever Škandinávie. Odlišné podmienky prostredia v širokej oblasti jeho prirodzeného rozšírenia sú predpokladom, aby sa pri smreku obyčajnom vylíšilo viacero základných oblastí (SVOBODA 1953). Závislosti hrúbkového

a výškového rastu od zemepisnej polohy proveniencie vyjadrenej zemepisnými súradnicami popisujú WIERSMA (1963) a SCHMIDT-VOGT (1977). Uvádza sa, že závislosti sú lineárne, ale obmedzujú sa v prípade severnej zemepisnej šírky s. z. š. na oblasť na sever od 50° s. z. š. Podľa výsledkov provenienčného pokusu IUFRO 1964–1968 sa intenzita výškového aj hrúbkového rastu zväčšuje smerom zo severu na juh a prvé maximum predstavujú baltické ekotypy. Ďalšie maximum je o 5–10° s. z. š. južnejšie (Beskydy a východné Karpaty). Od 46° s. z. š. intenzita rastu smerom na juh klesá. V predloženej práci sa hodnotia proveniencie od 48° s. z. š. Rozdiely v hrúbkovom raste jednotlivých stromov sú spôsobené niekoľkými skupinami faktorov. SCHWEINGRUBER (1996) uvádza len ich všeobecné rozdelenia na genetické, biotické a abiotické. COOK, KAIRIUKSTIS (1992) delí tieto faktory v rámci lineárneho agregovaného modelu vyjadreného rovnicou:

$$R_t = A_t + C_t + \delta D_1 + \delta D_2 + E_t \quad (1)$$

kde: R_t – šírka letokruhu,

A_t – vekový trend šírky letokruhov,

C_t – klimaticky podmienený environmentálny vplyv (signál),

D_1 – endogénny disturbančný pulz,

δD_2 – exogénny (porastom podmienený) disturbančný pulz,

δE_t – náhodné vplyvy, ktoré nemajú vzťah k popísaným signálom.

Rozdiely v priemerných hrúbkach proveniencií v istom okamihu ich existencie sú teda spôsobené kombináciou týchto faktorov, ale vzhľadom na homogenitu stanovišťa sa predpokladá dominancia genetického vplyvu. Geneticky podmienené rozdiely sa môžu prejaviť jednak v absolútnych šírkach letokruhov, ale aj v ich senzitivite, t.j. v stupni reakcie stromu na environmentálne vplyvy.

Hrúbky stromov sú výsledkom súčtu širok letokruhov a teda rozdiely v hrúbkach proveniencií môžu byť buď výsledkom rozdielu v šírkach letokruhov počas celého obdobia rastu alebo rozdielu v dynamike hrúbkového rastu. Cieľom práce bolo preverenie platnosti dvoch možných príčin rozdielov v hrúbke a hrúbkovom raste proveniencií a identifikácia najlepšie rastúcich proveniencií smreka obyčajného. Vychádzali sme z dvoch možných príčin. V prvom prípade môže byť prírastkový potenciál proveniencií s najmenšími hrúbkami slabší počas celého obdobia ich doterajšieho rastu, t.j. vo fáze kulminácie hrúbkových prírastkov, ako aj vo fáze poklesu hrúbkového prírastku. Dynamika hrúbkového rastu (tvar krivky radiálneho rastu) je pri všetkých provenienciách približne rovnaká. V druhom prípade, ak sú šírky letokruhov najtenších a najhrubších proveniencií v určitých (identických) životných obdobiach porovnateľne veľké, potom je rozdiel výslednej hrúbky spôsobený mimoriadnym poklesom prírastku slabších proveniencií v iných obdobiach.

MATERIÁL A METODIKA

Materiál pre túto prácu sa získal z proveniencií smreka obyčajného severského vysadených v Arboréte Borová hora. Ide o provenienčný pokus z proveniencií získaných prevažne na území dnešnej Ruskej federácie. Podrobný popis objektu vrátane hodnoteného sponového pokusu uvádzajú GALAJDA (1968), DUDAS (1974) a LUKÁČIK

(2000). Pre porovnanie dynamiky hrúbkových prírastkov proveniencií smreka severského sme vybrali po dve proveniencie s najmenšou a najväčšou priemernou hrúbkou dosiahnutou v roku 2006 (LUKÁČIK, JALOVIAROVÁ 2006). Tieto sú v ďalšom texte označované ako pomaly resp. rýchlo rastúce. V každej proveniencii sme odobrali vývrty z 5 vzorníkov, ktorých hrúbka sa najmenej líšila od priemernej hrúbky proveniencie, pričom z výberu boli vylúčené okrajové stromy (tab.1). Vývrty sme odoberali vo výške 1 m nad zemou aby sme zachytili čo najviac ročníkov a zároveň sa vyhli zóne najväčšej zbíhavosti kmeňa. Ďalšie spracovanie odobratých dendrochronologických vzoriek sme urobili podľa všeobecne používaných zásad (COOK, KAIRIUKSTIS 1992). Vývrty sa vlepili do drážok drevených dosiek a pripravené vzorky sa digitalizovali a hodnotili v prostredí programu WinDendro™ (Régent Instruments® Ltd. CA). Jeho výstupom sú údaje obsahujúce šírky letokruhov (presnosť 0,001mm) a ich datovanie podľa zadaného letopočtu. Synchronizácia (crossdating) bola v tomto prípade jednoduchá, pretože všetky stromy boli vysadené v jednom roku, s dostatočným rastovým priestorom a minimálnym vzájomným ovplyvnením. V prípade smreka je prechod medzi jarným a letným drevom zreteľný, takže aj veľmi úzke letokruhy sa dajú dobre identifikovať. Z údajových výstupov boli po synchronizácii časových radov vypočítané základné štatistiky pre jednotlivé stromy a priemerné hodnoty proveniencií (FRITTS 1976).

Tab. 1 Základná charakteristika hodnotených proveniencií smreka obyčajného

Tab. 1 Basic characteristics of analysed Norway spruce provenances

Č. prov. ¹	oblasť ²	klimatyp ³	priemerná hrúbka [cm] ⁴	priemerná výška [m] ⁵
131	karelská tajga ⁷	laponský ¹⁰	24,0	20,9
133	západosibírska tajga ⁸	obský ¹¹	29,2	22,4
134	západosibírska tajga ⁸	obský ¹¹	14,5	13,2
117	pásmo zmiešaných lesov (Rusko) ⁶	ruský ⁹	16,9	16,4

¹provenance number, ²region, ³climatyp, ⁴mean diameter, ⁵mean height, ⁶mixed forest zone (Russia),

⁷Karelian taiga, ⁸West-Siberian taiga, ⁹Russian, ¹⁰Lapland, ¹¹Ob

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Priemerná šírka letokruhov v tab. 2 bola vypočítaná ako aritmetický priemer priemerných širok letokruhov 5 stromov danej proveniencie podľa jednotlivých ročníkov. Medzi priemernou hrúbkou $d_{1,3}$ vybraných vzorníkov a priemernou šírkou letokruhu podľa jednotlivých ročníkov tesný vzťah vyjadrený priamkou:

$$y = 0,415 + 0,129 \cdot x \quad (r^2 = 0,916) \quad [1]$$

Tab. 2 Priemerné hodnoty základných dendrometrických veličín skúmaných proveniencií
 Tab. 2 Average values of basic dendrometric measures of investigated provenances

rastový typ (rýchlosť rastu)	pomalyrastúci		rýchlorastúci	
proveniencia ¹	117	134	131	133
priemerná šírka letokruhov za všetky sledované ročníky a stromy ^(a) [mm] ²	2,32 (1,70)	2,57 (2,18)	3,34 (2,87)	4,32 (4,18)
s_x a $s_x\%$ (b) [mm]	1,40 (60,2)	1,35 (52,8)	1,69 (50,5)	1,34 (31,1)
počet ročníkov ³	34	39	40	40
min. šírka priemerných letokruhov ^(c) [mm] ⁴	0,63 (0,29)	0,51 (0,12)	1,10 (0,15)	1,88 (0,92)
max. šírka priemerných letokruhov ^(d) [mm] ⁵	5,15 (6,10)	4,94 (6,77)	7,23 (13,67)	8,22 (10,44)

^(a)v zátvorke je uvedený medián, ^(b)smerodajná odchýlka priemerných (priemer 5 vzorníkov danej proveniencie) širok letokruhov za hodnotené obdobie a variačný koeficient v zátvorke, ^(c)v zátvorke je minimálna šírka jednotlivého stromu, ^(d)zátvorke je maximálna šírka jednotlivého stromu

^(a)median value in brackets, ^(b)standard deviation of mean tree ring width (mean of 5 sample trees of given provenance) within investigated period and coefficient of variation in brackets, ^(c)minimum ring width of single tree in brackets, ^(d)maximum ring width of single tree in brackets

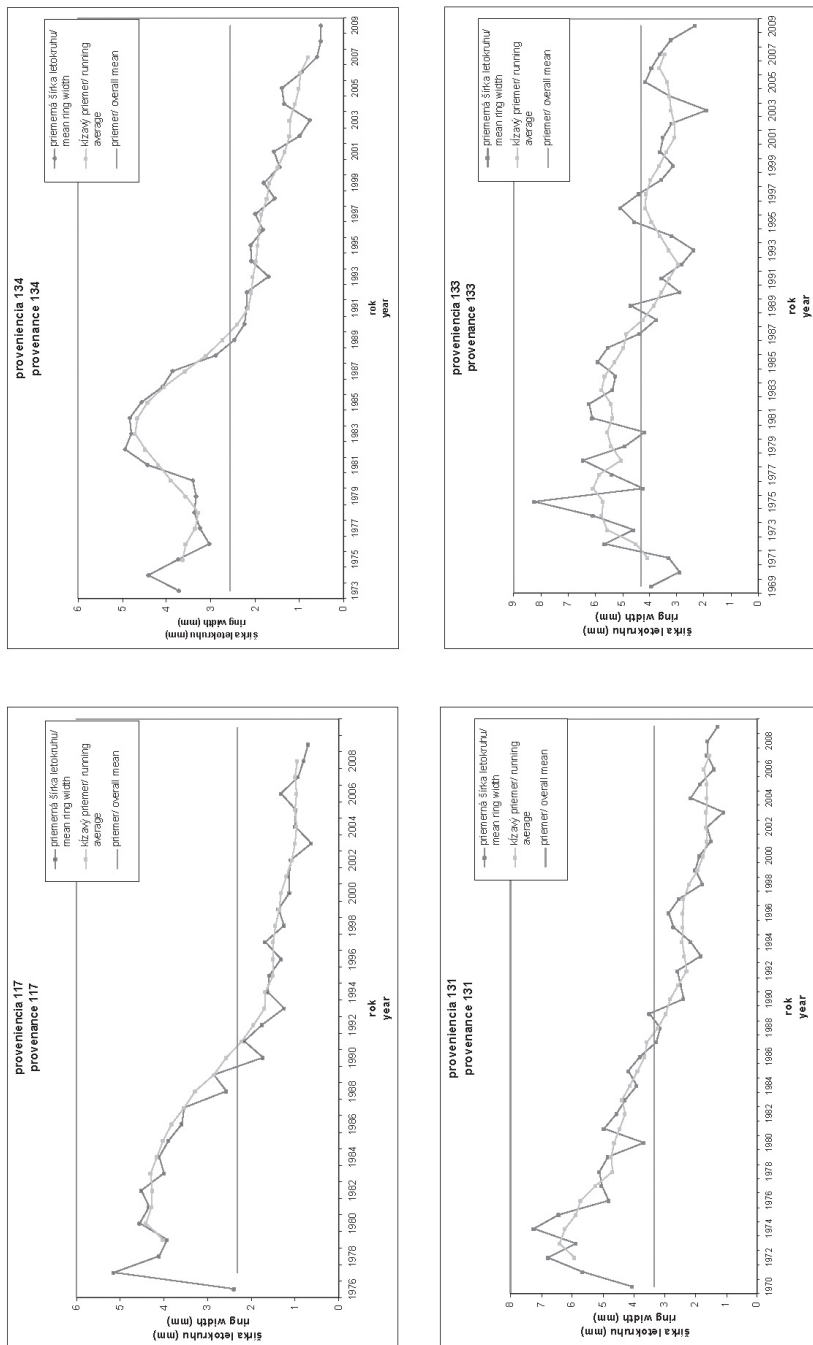
¹provenance number, ²mean tree ring width, ³number of year rings, ⁴minimum tree ring width, ⁵maximum tree ring width

Priemerné šírky letokruhov pomalyrastúcich proveniencií predstavujú 53,7% až 76,9% šírky letokruhov rýchlorastúcich proveniencií. Priemerná šírka letokruhov v priebehu sledovaných ročníkov klesá, pričom nezávisle od proveniencie nastáva pokles šírky pod priemernú hodnotu šírky za celé sledované obdobie medzi rokmi 1988 a 1990 (obr. 1).

Keďže celý provenienčný pokus bol založený v jednom roku vyjadruje počet hodnotených ročníkov nepriamo aj intenzitu výškového rastu. Rýchlo rastúce proveniencie dosiahli výšku 1 meter najneskôr v roku 1969 (t.j. v 4. roku veku), proveniencia 117 až o 6 rokov neskôr.

Absolútne hodnoty variačného rozpätia priemerných širok letokruhov sú väčšie pri rýchlorastúcich provenienciách, ale pomer maximálnej a minimálnej hodnoty priemernej šírky letokruhu je vyšší pri pomalyrastúcich (0,10 resp 0,12 pri pomalyrastúcich oproti 0,15 resp 0,22 pri rýchlorastúcich).

Variabilita širok letokruhov jednotlivých stromov v rámci proveniencií je značne rozdielna (tab. 3). Medzi provenienciami je veľký rozdiel z hľadiska minimálnych a maximálnych variačných koeficientov širok letokruhov jednotlivých vzorníkov v rámci proveniencie. Najmenší variačný koeficient bol zistený pri proveniencii 117 v ročníku 2006 (3,9%), najväčší v proveniencii 134 v ročníku 2005 (96,4%). Okrem proveniencie 117 existuje mierny trend zvyšovania hodnoty variačných koeficientov s rastúcim vekom.



Obr. 1 Časové rady priemerných širok letokruhov a ich 5-ročných kĺzavých priemerov pri jednotlivých provenienciách
Fig. 1 Mean ring width chronologies and their 5-year moving averages for individual proveniences

Spoločným znakom troch proveniencií (s výnimkou č. 133) je priebeh priemernej šírky letokruhov počas života (obr. 1). Bežné šírky letokruhov v provenienciách 117, 131 a 134 sa nachádzajú pod alebo nad hodnotou priemerného prírastku, ale pred ani po okamihu poklesu pod hodnotu priemeru už neoscilujú okolo celkového priemeru, ale zostávajú výhradne nad alebo pod jeho hodnotou. Proveniencia 133 s najvyššou hodnotou priemerného radiálneho prírastku je v tomto smere odlišná, pretože v priebehu života dochádza k viacerým poklesom a vzostupom pod a nad priemernú hodnotu.

Tab. 3 Miery variability širok letokruhov jednotlivých stromov v skúmaných provenienciách

Tab. 3 Variability characteristics of tree ring widths of single trees in the investigated provenances

Č. prov ¹	smerodajná odchýlka s_x^2		variačný koeficient $s_x\%$ ³		$s_x\%$ v ročníkoch ⁴	
	rozpätie ⁵	priemer ⁶	rozpätie	priemer	minimum	maximum
117	0,957–1,829	1,398	56,8–72,4	60,2	3,9	57,5
134	1,154–1,826	1,354	36,9–81,4	52,7	11,3	96,4
131	1,417–2,401	1,686	42,9–82,7	50,5	9,1	67,0
133	1,304–2,461	1,342	27,0–63,4	31,1	10,2	53,9

¹provenance number, ²standard deviation, ³coefficient of variation, ⁴coefficient of variation between years, ⁵range, ⁶mean

Priebeh kľzavých 5-ročných priemerov je pri všetkých provenienciách podobný v tom, že počas hodnoteného obdobia neosciluje okolo priemernej hodnoty šírky letokruhu. Provenencie 117 a 131 predstavujú príklad monotónneho poklesu kľzavého priemeru, pri proveniencii 134 sa vyskytlo jedno lokálne minimum (rok 1978) a pri proveniencii 133 až 5 menej výrazných lokálnych miním v rokoch 1975, 1978, 1985, 1991 a 2001. Pri tejto proveniencii neklesá hodnota kľzavého priemeru pod hodnotu 3 mm (minimum je 3,06 mm) čo predstavuje viac ako dvojnásobok minimálnej hodnoty kľzavého priemeru ostatných proveniencií. Najväčšia stredná hrúbka tejto proveniencie je teda skôr výsledkom rovnomerného trendu hrúbkového prírastku ako vysokých prírastkov na začiatku sledovaného obdobia, čo je dobre viditeľné v porovnaní s provenienciou 131. Táto dosahovala v porovnateľnom období do roku 1975 vyššie hodnoty kľzavých priemerov, ale od roku 1976 už v žiadnom roku nedosiahla hodnoty proveniencie 133. Vzájomný pomer kľzavých priemerov prírastkov oboch proveniencií vykazuje od roku 1970 po súčasnosť plynulý pokles od hodnoty 1,31 po hodnotu 0,45, čo zreteľne dokumentuje postupné zaostávanie proveniencie 131 z hľadiska hrúbkového rastu.

Citlivosť priemeru (*mean sensitivity* – ms_x) je mierou relatívnych rozdielov širok po sebe nasledujúcich letokruhov. Jej hodnota sa môže pohybovať od nuly, keď neexistuje rozdiel v šírkach po sebe nasledujúcich letokruhov po 2,0, kedy sa nulové hodnoty pravidelne striedajú s nenulovými hodnotami širok (FRITTS 1976). Táto štatistická charakteristika bola vypočítaná pre každú provenienciu z priemeru širok letokruhov všetkých 5 stromov v danom roku. Spolu s autokoreláciami 1. rádu dokumentuje rozdielnosť proveniencií z hľadiska priebehu hrúbkových prírastkov (tab. 4). Citlivosť priemeru dosahuje

všeobecne nízke hodnoty, čo dokumentuje relatívne malé rozdiely širok susedných letokruhov. Najvyššia hodnota ms bola vypočítaná v prípade proveniencie 133 a korešponduje s predchádzajúcimi závermi o najvyššej diferenciácii jednotlivých po sebe nasledujúcich širok letokruhov. Oveľa väčšie rozdiely medzi provenienciami sa vyskytujú v prípade autokorelácií 1. rádu. Nízka hodnota korelačného koeficienta (r) pre korelácie 1. rádu pri proveniencii 133 v porovnaní s ostatnými tromi zodpovedá voľnému priebehu kľzavých priemerov a striedaniu podpriemerných a nadpriemerných ročníkov (obr. 1). Rovnako aj tesnosť lineárnej regresie šírky letokruhov a letopočtu spolu s hodnotami absolútneho a regresného koeficienta dosahujú pri tejto proveniencii najnižšie hodnoty, t.j. pokles šírky letokruhov s rastúcim vekom je pri tejto proveniencii najpomalší a zároveň najmenej pravidelný.

Tab. 4 Základné štatistické parametre vnútornej variability priemerných širok letokruhov v skúmaných provenienciách

Tab. 4 Basic variability statistics of mean tree ring widths in investigated provenances

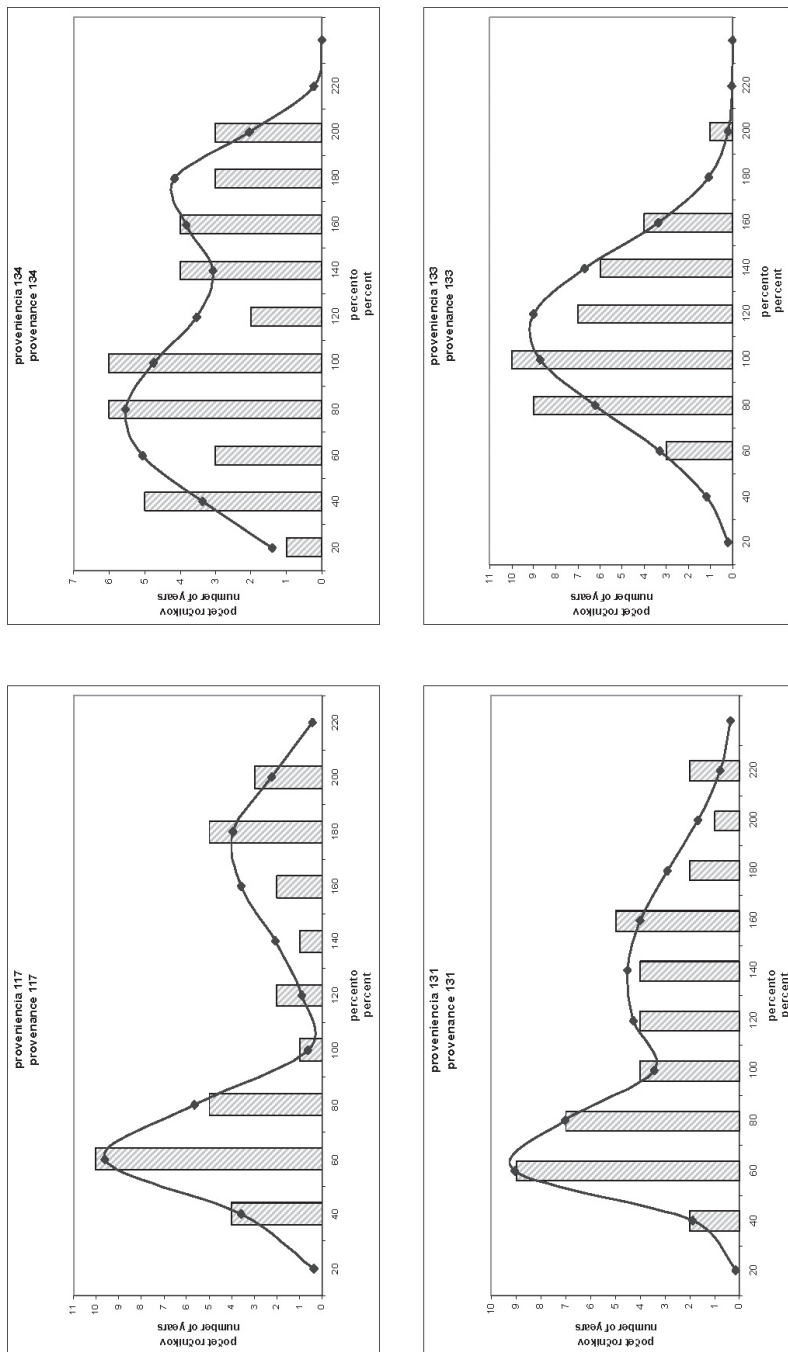
proveniencia ¹	citlivosť priemeru ²	autokorelácia 1. rádu ³	lineárna regresia ⁴		
			a	b	r
117	0,196	0,873	264,5	– 0,132	– 0,814
134	0,155	0,910	229,1	– 0,114	– 0,727
131	0,174	0,890	268,0	– 0,133	– 0,784
133	0,226	0,562	147,2	– 0,072	– 0,442

¹provenance number, ²mean sensitivity, ³1st order correlation, ⁴linear regression

Rozdelenie hodnôt relatívnych širok letokruhov (pomer priemernej šírky letokruhov v danom roku k priemernej šírke letokruhov za celé hodnotené obdobie (obr. 2) jednotlivých proveniencií dokumentuje rovnomernejší radiálny rast proveniencie 133 v porovnaní so všetkými ostatnými. Rozdelenie hodnôt sme vyrovnali pomocou kombinácie dvoch Weibullových rozdelení (ZHANG *et al.* 2001). Weibullova funkcia (distribučná funkcia Weibullovho rozdelenia [2]) je pre tento typ vyrovnania vhodná pre jej vysokú plasticnosť, kedy sa zmenou jej parametrov dá dosiahnuť zásadná zmena jej tvaru, od približne exponenciálneho až po normálne rozdelenie.

$$F(x, \psi) = \rho F_1(x, \theta_1) + (1 - \rho) F_2(x, \theta_2) \quad \text{pričom} \quad F(x, \theta) = 1 - e^{-[x/\theta]^\gamma} \quad [2]$$

V tomto prípade sa jedno rozdelenie relatívnych prírastkov a to v proveniencii 133 dalo aproximovať jediným rozdelením, ostatné s dostatočnou tesnosťou možno vyrovnáť len pomocou kombinácie dvoch rozdelení, ktorých parametre sú uvedené v tab. 5. Zistené tvary rozdelenia početností zodpovedajú záveru o rovnomernosti rozdelenia prírastku v rámci sledovaného obdobia pri proveniencii s najväčšou priemernou hrúbkou. Pri slabo rastúcich provenienciách je dvojvrcholový charakter výraznejší ako v prípade proveniencie 131, čo znamená, že so stúpajúcim priemerným radiálnym prírastkom sa hrúbkový rast stromov stáva rovnomernejší. Rýchly pokles radiálneho prírastku pri



Obr. 2 Rozdelenie početnosti ročníkov podľa relatívnej šírky letokruhov (stĺpce) a ich aproximácia Weibullovým rozdelením (čiara).

Relatívna šírka letokruhu predstavuje percentuálny podiel priemernej šírky letokruhu v danom ročníku z celkovej priemernej šírky za provenienciu

Fig. 2 Distribution of relative tree ring widths (bars) with the shape of fitted Weibull distribution (line). Relative tree ring width is the proportion (in percent) of mean tree ring width in certain year from the overall mean tree ring width for given provenience

rovnakom veku stromov je pravdepodobne dôsledkom rozdielného stupňa štádiálneho vývoja, kedy stromy s nízkou hrúbkou môžu byť v tomto štádiálne vyspelejšie.

Tab. 5 Parametre Weibullových funkcií použitých na vyrovnanie rozdelenia početností relatívnych širok letokruhov

Tab. 5 Parameters of Weibull functions fitted to the relative tree ring widths distributions

č. prov. ¹	ρ	1. časť rozdelenia ²		2. časť rozdelenia ³		χ^2
		β	γ	β	γ	
117	58,9	4,933	67,537	7,348	177,911	4,987**
131	35,2	6,820	69,246	3,445	150,693	8,561**
133	100	3,732	122,250	–	–	4,414**
134	68,3	2,545	92,465	8,636	179,281	4,987**

¹provenance number, ²first part of distribution, ³second part of distribution

ZÁVER

Rozdielny hrúbkový rast proveniencií smreka obyčajného severského je ovplyvnený kombináciou rôzne veľkých hrúbkových prírastkov proveniencií na začiatku ich rastu a rozdielne rýchleho poklesu prírastku v rastúcom veku. Tvar priebehu časového radu bol pri všetkých skúmaných provenienciách podobný v tom, že pokles 5-ročného kízavého priemeru pod hladinu priemernej šírky letokruhov bol trvalý. Proveniencia s najväčšou dosiahnutou priemernou hrúbkou je na rozdiel od ostatných proveniencií charakteristická jednak miernosťou tohto poklesu, ako aj tým, že šírky jednotlivých letokruhov sú väčšie, ako celkový priemer, aj v tom časovom úseku, keď je hodnota kízavého priemeru trvale nižšia. Dosiahnutá vysoká hodnota hrúbky je teda pravdepodobne výsledkom rýchlejšieho rastu na začiatku hodnoteného obdobia a následného rovnomerného trendu hrúbkových prírastkov.

Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt Centrum excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy, ITMS: 26220120006, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

- COOK, E. R., KAIRIUKSTIS, L. A., 1990: *Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publishers, 394 pp.
- DUDAS, J., 1974: Vyhodnotenie rôznych pôvodov smreka obyčajného *Picea excelsa* L. v Arboréte Borová hora. *Diplomová práca*. Vysoká škola lesnícka a drevárska, Zvolen, 88 pp.
- FRITTS, H. C., 1976: *Tree rings and climate*. Academic Press, New York, 579 pp.
- GALAJDA, M., 1968: Vyhodnotenie proveniencií severského smreka v Arboréte Borová hora. *Diplomová práca*. Vysoká škola lesnícka a drevárska, Zvolen, 56 pp.

- LUKÁČIK, I., 2000: Arborétum Borová hora – významný objekt pre štúdium premenlivosti drevín. In: Arboréta, premenlivosť a introdukcia drevín. Lesnícky výskumný ústav, Zvolen, 243 pp.
- LUKÁČIK, I., JALOVIAŘOVÁ, V., 2006: Hodnotenie výškového a hrúbkového rastu proveniencií smreka obyčajného (*Picea abies* [L.] Karst.) v Arboréte Borová hora Technickej univerzity vo Zvolene. *Acta facultatis forestalis* 48: 43–57.
- SCHMIDT-VOGT, H., 1977: Die Fichte. Band 1. Paul Parey Verlag, Hamburg u. Berlin, 647 pp.
- SCHWEINGRUBER, F. H., 1996: *Tree rings and environment dendroecology*. Haupt Publishers, Berne, Stuttgart, Vienna, 609 pp.
- SVOBODA, P., 1953: *Lesné dřeviny a jejich porosty I*. Státní zemědělské nakladatelství Praha, 411 pp.
- WIERSMA, J. H., 1963: A new method of dealing with results of provenance tests. *Silvae Genet.* 12: 200–205.
- ZHANG, L., GOVE, J. H., LIU, CH., LEAK, W. B., 2001: A finite mixture of two Weibull distributions for modeling the diameter distributions of rotated sigmoid, uneven-aged stands. *Canadian Journal of Forest Research* 31: 1654–1659.
-

Adresa autorov:

Ing. Peter Jaloviar, PhD.

Doc. Ing. Ivan Lukáčik, CSc.

Ing. Stanislav Kucbel, PhD.

Bc. Martin Varga

Katedra pestovania lesa

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24

960 53 Zvolen

e-mail: jaloviar@vsld.tuzvo.sk

lukacik@vsld.tuzvo.sk

kucbel@vsld.tuzvo.sk

Porovnanie hrúbkového rastu vybraných proveniencií smreka obyčajného severského (*Picea abies septentrionalis* Svob.) vysadených v Arboréte Borová hora Technickej univerzity vo Zvolene

Abstrakt

Hodnotili sa šírky letokruhov štyroch proveniencií smreka obyčajného severského z provenienčného pokusu založeného v roku 1965. Vybraté boli po dve proveniencie s najväčšou a najmenšou priemernou hrúbkou. Najnižšiu hodnotu priemernej šírky letokruhov dosiahla proveniencia 117 – ruský klimatyp (2,32 mm), najvyššiu hodnotu proveniencia 133 – obský klimatyp (4,32 mm). Zistila sa vyššia variabilita širok letokruhov pri pomalšie rastúcich provenienciách v porovnaní s rýchlejšie rastúcimi provenienciami. Najväčšia stredná hrúbka proveniencie 133 je výsledkom rovnomerného trendu hrúbkového prírastku, ako aj vysokých prírastkov na začiatku sledovaného obdobia. Rovnomernejší rast tejto proveniencie sa prejavil v tvare jednovrcholového rozdelenia ročníkov podľa relatívnych širok letokruhov, vo vyššej hodnote citlivosti priemeru, nižšej hodnote korelačného koeficientu (r) pre autokorelácie 1. rádu a lineárnej korelácie medzi šírkou letokruhov a letopočtom. Najnižšia hodnota regresného koeficienta proveniencie 133 potvrdzuje najpomalší pokles priemernej šírky letokruhov s rastúcim vekom.

Kľúčové slová: *Picea abies septentrionalis*, ročný kruh, hrúbkový rast

ALOPLOIDNÁ HYBRIDIZÁCIA V RODE *SORBUS*: RUŽOVOKVETÉ HYBRIDY V NPR SKALNÁ ALPA

Veronika KUČEROVÁ – Dušan GÖMÖRY –
Jaroslav ĎURKOVÍČ – Ladislav PAULE – Monika Kardošová

Kučerová, V., Gömöry, D., Ďurkovič, J., Paule, L., Kardošová, M.: Allopolyploid hybridization in the genus *Sorbus*: pink-flowered hybrids in the National Nature Reserve Skalná Alpa. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, 53(1): 41–49, 2011.

The study focuses on allopolyploid hybridization of subalpine *Sorbus* taxa, which includes *S. chamaemespilus* as one parent. In the nature reserve Skalná Alpa, five such interspecific hybrids occur, including the putative parental species *S. aria*, *S. chamaemespilus* and *S. aucuparia*. Chloroplast microsatellites were used to identify the maternal species and possible polyphyletic origin of hybrid taxa. We found that *S. aria* acts as pollen donor in three out of five hybrid taxa. *S. chamaemespilus* was found completely monomorphic and is thus suspected to be facultative apomictic species. Wood characters do not allow reliable discrimination of taxa, nevertheless, the hybrid *S. zuzanae* has transitional characters between the putative parental species. Interspecific genetic heterogeneity and a complete intraspecific homogeneity indicate that hybrid taxa are not systematically formed by multiple hybridizations de novo but rather represent monophyletic taxa.

Keywords: allopolyploidy, hybridization, *Sorbus* subgen. *Chamaespiraea*, *Chamaemespilaria*

ÚVOD

Podobne ako zvyšok čeľade *Rosaceae*, aj celý rod *Sorbus* patrí k najviac sporným taxonomickým jednotkám medzi semennými rastlinami z hľadiska počtu, jednoznačnosti postavenia a úrovne jednotlivých taxónov (ALDASORO *et al.* 1998, NELSON-JONES *et al.* 2002). Len samotná Flora Europaea uvádza v Európe pre rod *Sorbus* celkovo 113 taxónov rozličných úrovní a rôzneho predpokladaného pôvodu. Základ systematického členenia rodu tvorí päť druhov, z ktorých každý je zaradovaný každý do iného podrodu (WARBURG a KÁRPÁTI 1968): *S. aucuparia* L. (podr. *Sorbus*), *S. domestica* L. (podr. *Cormus*), *S. torminalis* (L.) Crantz (podr. *Torminaria*), *S. chamaemespilus* (L.) Crantz (podr. *Chamaemespilus*), a *S. aria* (L.) Crantz (podr. *Aria*). Postavenie týchto druhov v princípe nie je predmetom sporov, viaceré z nich majú pomerne veľké a relatívne súvislé areály (*S. aria*, *S. aucuparia*), iné sú vyslovene zriedkavé a viazané na špecifické stanovištia, ale roztrúsene sa vyskytujú na veľkom území, takže napriek malej sumárnej ploche obrys ich areálu zaberá značnú časť kontinentu (*S. domestica*, *S. torminalis*, *S. chamaemespilus*). Tieto druhy sú diploidné, aj keď v rámci agregátu *S. aria* existuje množstvo triploidných

a tetraploidných taxónov a polyploidy boli zaznamenané aj u *S. torminalis* a *S. chamaemespilus*, a vo všeobecnosti sa u nich predpokladá prevažne pohlavné rozmnožovanie.

Okrem týchto základných druhov bolo popísaných množstvo lokálnych, spravidla stenoendemických taxónov so sporným taxonomickým postavením, pravdepodobne hybridného pôvodu. U väčšiny z nich sa predpokladá, že vznikli hybridizáciou *S. aria sensu lato* a *S. chamaemespilus*, *S. torminalis* prípadne niektorého druhu podrodu *Sorbus*. Tieto hybridy sú spravidla triploidné alebo tetraploidné, väčšina z nich je obligátne alebo fakultatívne apominktická (CAMPBELL a DICKINSON 1990, JANKUN 1993, NELSON-JONES *et al.* 2002). Viacero takýchto mikrodruhov bolo popísaných aj zo Západných Karpát. Okvetné lístky niektorých hybridných taxónov sú ružové alebo majú ružové okraje, čo naznačuje, že jedným z rodičovských taxónov je *S. chamaemespilus* ako jediný ružovokvetý základný druh jarabín. Výskyt týchto hybridných taxónov je obmedzený len na subalpínske alebo dealpínske polohy najvyšších pohorí. Zrejme prvým takýmto popísaným hybridným taxónom bola *S. sudetica*, rastúca v centrálnej časti Krkonoš (Labské jamy, Obří důl) na kryštaliniku (KOCIÁNOVÁ *et al.* 2005, KOVANDA 1965). Toto zaradenie bolo následne paušálne používané pre všetky ružovokveté hybridy. Na Slovensku sa takéto jedince vyskytujú v strednej časti Západných Karpát, spravidla sa rastú v porastoch kosodreviny, vždy na karbonátových horninách. BERNÁTOVÁ a MÁJOVSKÝ (2003) vykonali ich podrobnejšiu systematickú klasifikáciu a vylíšili 6 nových taxónov. Na základe morfológických znakov listov a kvetov došli k záveru, že taxóny *S. zuzanae* a *S. haljamovae* pochádzajú z hybridizácie medzi *S. chamaemespilus* a *S. aria*, zatiaľ čo pôvod *S. montisalpae* a *S. atrimontis* pripisujú komplexnej hybridizácii medzi zástupcami podrodov *Sorbus*, *Aria* a *Chamaemespilus*.

Aloplodia síce mení celkový obsah jadrovej DNA, ale nezasahuje organelárny genóm (chloroplastový a mitochondriálny), dedičnosť ktorého sa riadi rovnakými pravidlami ako pri homoploidnej hybridizácii. V prípade rodu *Sorbus* sa chloroplastová DNA dedí rovnako ako pri väčšine krytosemenných rastlín výlučne po matke (RASPE 2001), chloroplastový haplotyp teda možno veľmi výhodne využiť pri štúdiu smeru hybridizácie. Cieľom tejto štúdie bolo identifikovať smer kríženia pri ružovokvetých hybridoch subalpínskych jarabín, ich monofyletický resp. polyfyletický pôvod, a zistiť, nakoľko sa hybridný status odráža v morfológii dreva.

MATERIÁL A METODIKA

Všetky sledovania sa vykonali v NPR Skalná Alpa na strednom Slovensku. Rezervácia s celkovou výmerou 524 ha zasahuje do viacerých lesných vegetačných stupňov vo výškovom rozsahu od 940 do 1463 m n. m. Rastlinné spoločenstvá vo vrcholovej časti s dominanciou kosodreviny a roztrúseným výskytom smreka a jarabiny vtáče patria k asociácii *Adenostylo-Pinetum mughii* a rastú na triasových dolomitoch. Celkovo tu bolo identifikovaných 7 druhov jarabín okrem jarabiny vtáče: *S. chamaemespilus*, *S. aria*, *S. zuzanae*, *S. haljamovae*, *S. montisalpae*, *S. diversicolor* a *S. atrimontis* (BERNÁTOVÁ a MÁJOVSKÝ 2003).

Zber materiálu sme vykonali počas obdobia kvitnutia, aby bolo možné spoľahlivo zaradiť jedincov k taxónom. Determináciu položiek vykonala Dr. D. Bernátová (Botanická záhrada UK, Blatnica) priamo v teréne alebo neskôr na základe herbárových položiek.

Identifikácia materských druhov hybridných taxónov bola založená na analýze maternálne dedených chloroplastových markérov. Z listov bola izolovaná celková genomická DNA metódou DOYLA a DOYLA (1987) s malými modifikáciami. Jedince boli genotypované dĺžkami 6 sekvencií chloroplastového genómu, ktoré obsahujú tandemové opakovania (mikrosatelity): *trnT-Lpm4*, *trnT-Lpm3*, *rps16pm2*, *rps16pm1*, *rpl16pm1*, *trnT-Lpm1* (CHESTER *et al.* 2007). Zmes pre PCR (6 μ l) obsahovala 50 ng templátovej DNA, 3 μ l Qiagen Multiplex PCR Kit a primery v nasledovných koncentráciách: 0,4 μ M *trnT-Lpm4*, 0,4 μ M *trnT-Lpm3*, 0,05 μ M *rps16pm2*, 0,05 μ M *rps16pm1*, 0,05 μ M *rpl16pm1*, 0,4 μ M *trnT-Lpm1*. Amplifikácia prebiehala v nasledovnom profile: úvodná denaturácia 15 min pri 95 °C, 32 cyklov 30 s denaturácia pri 94 °C, 90 s annealing pri 50 °C, 1 min elongácia pri 72 °C, záverečná elongácia 8 min pri 72 °C v cykloch GeneAmp® PCR System 9700 (Applied Biosystems) resp. iQ5 real-time PCR detection system (Bio-Rad). Produkty PCR boli separované elektroforézou v DNA sekvenátore ABI 3100 (Applied Biosystems), genotypy boli určené softwarom GeneMapper v 3.7.

Fylogenetické vzťahy medzi haplotypmi boli hodnotené na základe IAM modelu. Aj keď v prípade mikrosatelitných markérov sa považuje za vhodnejší model krokových mutácií (SMM), nebolo možné ho v našom prípade použiť, keďže jednotlivé fragmenty sa neodlišovali len násobkami repetitívneho sekvenčného motívu, ale vyskytovali sa v nich aj rozsiahlejšie insercie/delécie s dĺžkou až do 32 bp. Všetky veľkosti fragmentov boli teda považované na navzájom ekvivalentné a kvalitatívne odlišné alely. Miera nepodobnosti bola vyjadrená ako počet alel odlišujúcich sa medzi haplotypmi. Vzhľadom na predpokladanú nejednoznačnosť fylogenetického signálu sme vzťahy rekonštruovali nie fylogenetickým stromom, ale sieťou prístupom neighbour-net (BRYANT a MOULTON 2004) pomocou programu Splits Tree 4.

Morfologické vlastnosti ciev boli určované u 4 druhov. Po 6 jedincov bolo analyzovaných u *S. chamaemespilus*, *S. zuzanae* a *S. aucuparia*, 3 jedinci u *S. aria*. Z jedincov boli odobrané vetvy s priemerom cca 1,2 cm. Priečne rezy boli pozlátané a pozorované scanningovým elektrónovým mikroskopom (SEM) VEGA TS 5130 (Tescan, Czech Republic). Posledných 3–5-ročných kruhov na SEM fotografiách bolo analyzovaných softwarom pre analýzu obrazu (NIS-Elements AR 3.0, Laboratory Imaging). Hodnotili sme plochy ciev, cievnatosť (podiel lumenov ciev z celkovej plochy) a počet ciev na mm² (*N*). Naviac bola odhadovaná teoretická relatívna konduktivita ciev podľa ZIMMERMANN (1983).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Sledované chloroplastové lokusy podľa očakávania nevykazovali vysokú úroveň polymorfizmu. Napriek zahrnutiu druhov patriacich do 3 rozličných podrodov a ich prirodzených hybridov počet identifikovaných alel (dĺžok fragmentov obsahujúcich tandemové opakovania) bol vo všeobecnosti nízky, pohyboval sa medzi 2 a 4 alelami na lokus (tab. 1). Ako už bolo konštatované, rozdiely dĺžok fragmentov boli síce v 4 lokusoch

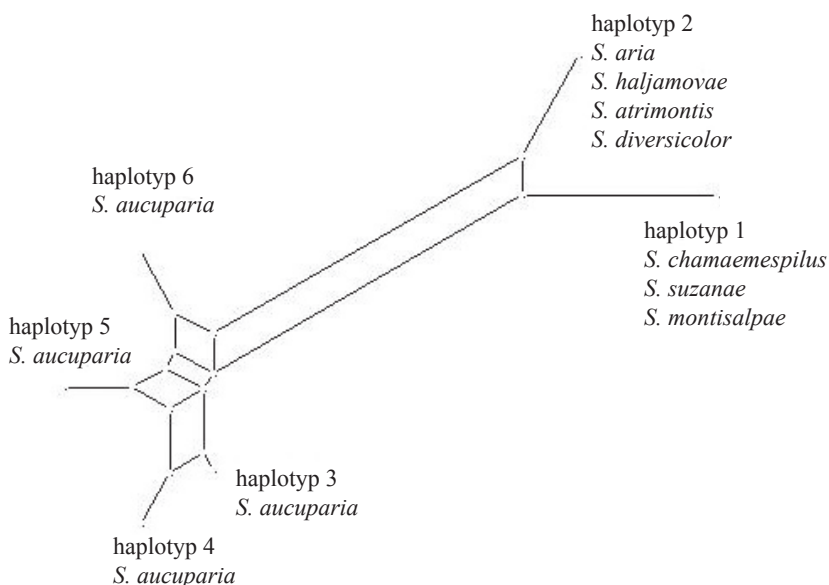
násobkami repetitívneho sekvenčného motívu, ale v 3 lokusoch sa vyskytovali rozsiahle indely s rozličnými dĺžkami (*trnT-Lpm3* 23 bp, *rpl16 pm1* min. 31 bp, *trnT-Lpm1* 33 bp). Keďže jednotlivé fragmenty sú pomerne krátke, ich sekvenovanie by bolo obtiažne. Preto sme neboli schopní odhadnúť počet mutácií, ktoré oddeľujú alely v sledovaných lokusoch. Pre účely hodnotenia fylogenetických vzťahov sme teda vychádzali z IAM modelu, ktorý jednotlivé alely považuje za kvalitatívne, navzájom rovnako odlišné genetické varianty.

Tab. 1 Prehľad dĺžok alel v jednotlivých lokusoch cpDNA a ich haplotypových kombinácií
Table 1 Overview of allele sizes in individual chloroplast loci and their haplotype combinations

Druh	<i>N</i>	<i>trnT-Lpm4</i>	<i>trnT-Lpm3</i>	<i>rps16 pm2</i>	<i>rps1 6pm1</i>	<i>rpl16 pm1</i>	<i>trnT-Lpm1</i>
<i>S. aria</i>	1	115	187	269	100	144	272
<i>S. aucuparia</i>	5	121	162	268	104	111	239
		122		269		112	
				270			
<i>S. chamaemespilus</i>	21	115	164	271	100	143	272
<i>S. zuzanae</i>	18	115	164	271	100	143	272
<i>S. haljamovae</i>	10	115	187	269	100	144	272
<i>S. montisalpae</i>	12	115	164	271	100	143	272
<i>S. atrimontis</i>	2	115	187	269	100	144	272
<i>S. diversicolor</i>	1	115	187	269	100	144	272
haplotyp							
h1		115	164	271	100	143	272
h2		115	187	269	100	144	272
h3		121	162	268	104	112	239
h4		121	162	269	104	112	239
h5		121	162	270	104	111	239
h6		122	162	269	104	111	239

Chloroplastová DNA je tvorená jedinou kruhovou molekulou, takže všetky fragmenty sú súčasťou jednej väzbovej skupiny. Haplotyp sa vďaka takmer absentujúcej rekombinácii (GILLHAM *et al.* 1991, PUCHTA *et al.* 1994) do ďalšej generácie prenáša v nezmenenej podobe, prakticky jediným zdrojom premenlivosti chloroplastového genómu sú mutácie. Kombinácie alel v našom materiáli tvoria celkovo 6 odlišných haplotypov, ktorých fylogenetické vzťahy sú zobrazené na obr. 1. *S. aucuparia* sa ukázala ako jediný polymorfný druh. Celkovo sme identifikovali 4 haplotypy u tohto druhu, aj keď navzájom úzko príbuzné (obr. 1), čo pri výberovej vzorke 6 jedincov predstavuje naozaj vysokú úroveň haplotypovej multiplicity. Pochopiteľne, jediný strom *S. aria*, ktorý sa nachádza vo vrcholovej časti NPR Skalná Alpa, neumožňuje akékoľvek závery o miere

polymorfizmu chloroplastovej DNA tohto druhu. Keďže *S. aria* je druh s geograficky aj ekologicky pomerne rozsiahlym rozšírením a morfológicky variabilný, je vysoko pravdepodobné, že aj jeho chloroplastový genóm je variabilný. Pozoruhodná je pomerne blízka príbuznosť haplotypov *S. aria* a *S. chamaemespilus*. V tomto štádiu je problematické odhadnúť, či podobnosť mikrosatelitných sekvencií cpDNA odráža aj väčšiu fylogenetickú príbuznosť oboch druhov (a podrodov) v porovnaní so *S. aucuparia*. Haplotypy sa odlišujú v 3 lokusoch a s jedinou výnimkou sa javia ako vysoko konzervované. Len v lokuse *rps16pm2* sa u *S. aucuparia* objavuje alelický variant, ktorý je typický pre haplotyp h2, teda pre *S. aria*.



Obr. 1 Fylogenetická sieť vzťahov medzi chloroplastovými haplotypmi taxónov rodu *Sorbus*

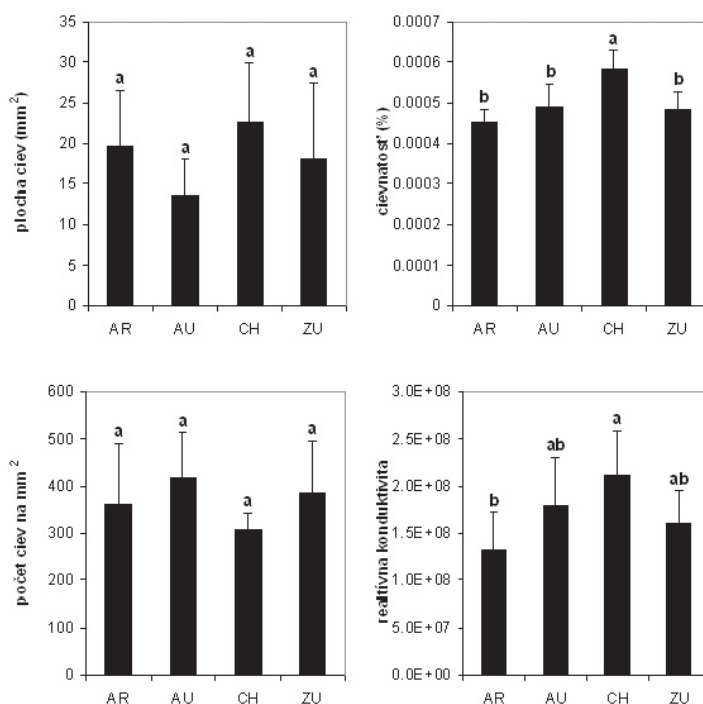
Fig. 1 Phylogenetic network displaying relationships between chloroplast haplotypes of *Sorbus* taxa

Ako sme očakávali, hybridy zdieľajú chloroplastový haplotyp buď so *S. aria* (*S. haljamovae*, *S. atrimontis*, *S. diversicolor*) alebo so *S. chamaemespilus* (*S. zuzanae*, *S. montisalpae*). V rámci lokality sú všetky hybridné taxóny monomorfne, čo naznačuje monofyletický pôvod (aj keď pri malých výberových vzorkách a konzervatívnom charaktere chloroplastového genómu to pochopiteľne nie je dôkaz). Žiadny s hybridných taxónov nezdieľa chloroplastový haplotyp so *S. aucuparia*, čo dokazuje, že tento druh, ak skutočne do hybridizácie vstupuje, je vždy donorom peľu. Napriek pomerne veľkému rozsahu výberu u *S. chamaemespilus* (21 jedincov) sme v rámci taxónu nepozorovali žiadnu premenlivosť.

Zo sledovaných znakov dreva len dva vykazovali významnú premenlivosť medzi taxónmi. Najvyšší podiel ciev a následne aj najvyššiu konduktivitu vykazovala

S. chamaespilus, najnižšiu konduktivitu *S. aria*, pričom hybridný taxón *S. haljamovae* a *S. aucuparia* vykazovali prechodné postavenie (obr. 2).

Viacrozmerná analýza v princípe potvrdzuje výsledky univariátnych testov. Ako sa dalo očakávať pri malom počte fyziologicky súvisiacich a preto aj tesne navzájom korelovaných znakov, už prvé dve hlavné osi vystihujú spolu 88,8 % celkového rozptylu (obr. 3). Variabilita jednotlivých taxónov sa však v značnej miere prekrýva. Jedine bodové pole *S. chamaespilus* je do istej miery separované. Ťažisko bodového poľa *S. zuzanae* je síce posunuté medzi oba predpokladané rodičovské druhy, ale rozsah premenlivosti tohto hybridného taxónu sa do značnej miery prekrýva so *S. aria*. Je evidentné, že pri vlastnostiach dreva zohráva fylogénéza menej významnú úlohu než iné faktory, pravdepodobne najmä životná forma. *S. chamaespilus* ako poliehavý ker nepotrebuje natoľko investovať do mechanickej pevnosti dreva a môže preto zlepšovať na jej úkor konduktivitu svojich vodivých pletív podstatne viac, ako si to môžu dovoliť druhy stromového vzrastu. *S. zuzanae* je síce tiež ker, ale predsa len mohutnejšej konštitúcie. V každom prípade sa morfológia dreva neukázala ako spoľahlivý markér pre fylogenetické či taxonomické štúdie.

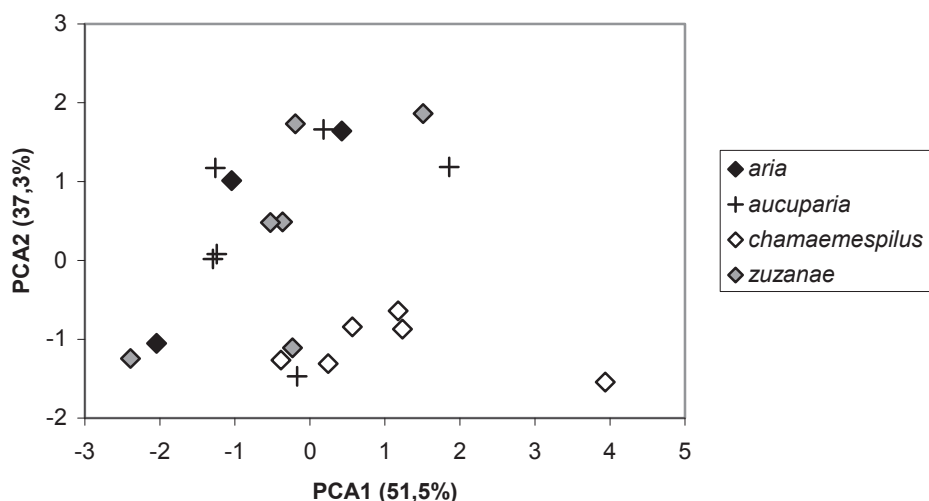


Obr. 2 Priemerné hodnoty a smerodajné odchýlky znakov dreva taxónov rodu *Sorbus*. Písmená označujú homogénne skupiny na základe Duncanovho testu

Fig. 2 Means and standard deviations of wood traits in *Sorbus* taxa. Letters denote homogeneous groups based on Duncan's pairwise tests

Závery, ktoré z tejto štúdie vyplývajú, nie sú jednoznačné. Na rozdiel od prevládajúceho názoru, že *S. aria* vstupuje do hybridizácie prevažne ako otcovský partner (NELSON JONES *et al.* 2002, ROBERTSON *et al.* 2010), sme v u dvoch z piatich hybridných taxónov z jedinej lokality zistili účasť jarabiny mukyne ako materského partnera. Napriek preukázanému fakt, že *S. aria* je motorom hybridizácie v rode *Sorbus* a jej genetický príspevok je prítomný v genóme všetkých hybridných jarabín, nie je jej úloha obmedzená len na donora peľu.

Absencia genetickej variability *S. chamaemespilus* potvrdzuje predchádzajúce pozorovanie založené na jadrových mikrosatelitoch (GÖMÖRY a KRAJMEROVÁ 2008) a prispieva k podozreniu, že jarabina mišpulka je fakultatívne apomiktický druh, prinajmenšom na tejto lokalite.



Obr. 3 Analýza základných komponentov založená na znakoch dreva

Fig. 3 Principal component analysis based on wood traits

Napriek pomerne malému rozsahu výberu (ktorý ale vyplýva z početnej obmedzenosti populácií hybridných taxónov jarabín, predstavujúcich rádovo niekoľko jedincov resp. nanajvýš desiatky jedincov) medzidruhovú genetickú heterogenitu a úplnú vnútrodrohovú genetickú homogenitu naznačujú, že hybridné taxóny nevznikajú systematicky hybridizáciou *de novo*, ale ide pravdepodobne o monofyletické taxóny. Aj keď JANKUN (1993) paušálne predpokladá u hybridných taxónov apomixiu, nie je možné ich reprodukčný systém spoľahlivo hodnotiť, keďže ich kvety vyzerajú byť plne funkčné (čo samozrejme nevylučuje agamospermiu). Ich spätná krížiteľnosť s rodičovskými druhmi je otázná, charakter morfologickej variability v populácii (Bernátová os. spr.) ani charakter variability chloroplastového genómu nijako nenaznačujú možnosť introgresie a vytvárania hybridného roja. Nemôžu teda predstavovať most spájajúci genofondy rodičovských druhov a potenciálne riziko pre ich genetickú integritu.

Alopoloidná hybridizácia sa teda ukazuje ako mechanizmus málo prispievajúci ku genetickej diverzite ale o to viac zvyšujúci diverzitu druhovú. Hybridné taxóny jarabín, aj keby sme pominuli ich nemalú estetickú hodnotu, obohacujú inak dosť monotónne subalpínske a dealpínske spoločenstvá s dominanciou kosodreviny. Ich vznik a stabilizácia sa nejaví bežnou a každodennou záležitosťou, preto napriek skutočnosti, že sa v ich prípade môže jednať o jediný klonálne sa množiaci genotyp, zasluhujú si druhovú ochranu.

PodĎakovanie

Táto štúdia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt Centrum excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy, ITMS: 26220120006, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja. Autori ďakujú Dr. D. Bernátovej za determináciu jedincov hybridných jarabín.

Literatúra

- ALDASORO, J.J., AEDO, C., NAVARRO, C., GARMENDIA, F.M., 1998: The genus *Sorbus* (Maloideae, Rosaceae) in Europe and in North Africa: Morphological analysis and systematics. *Systematic Botany* 23: 189–212.
- BERNÁTOVÁ, D., MÁJOVSKÝ, J. 2003: New endemic hybridogeneous species of the genus *Sorbus* in the Western Carpathians. *Biologia* 58: 781–790.
- BRYANT, D., MOULTON, V., 2004: Neighbor-Net: an agglomerative method for the construction of phylogenetic networks. *Molecular Biology and Evolution* 21: 255–265.
- CAMPBELL, C.S., DICKINSON, T.A., 1990: Apomixis, patterns of morphological variation, and species concepts in subfam. Maloideae (Rosaceae). *Systematic Botany* 15: 124–135.
- DOYLE, J.J., DOYLE, J.L., 1987: A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemistry Bulletin* 19: 11–15.
- GILLHAM, N.W., BOYNTON, J.E., HARRIS, E.H., 1991: Transmission of plastid genes. *Cell Culture and Somatic Cell Genetics in Plants* 7A: 55–92.
- GÖMÖRY, D., KRAJMEROVÁ, D., 2008: Spatial structure of a natural mixed topodeme of subalpine *Sorbus* taxa. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 77(4): 305–311.
- CHESTER, M., COWAN, R.S., FAY, M.F., RICH, T.C.G., 2007: Parentage of endemic *Sorbus* L. (Rosaceae) species in the British Isles: evidence from plastid DNA. *Botanical Journal of the Linnean Society* 154: 291–304.
- JANKUN, A., 1993: Evolutionary significance of apomixis in the genus *Sorbus* (Rosaceae). *Fragmenta Floristica et Geobotanica* 38: 627–686.
- KOCIÁNOVÁ, M., ŠTURSOVÁ, H., ZAHRADNÍKOVÁ, J., 2005: Klonální růst endemického jeřábu *Sorbus sudetica* v Krkonoších. *Opera Corcontica* 42: 99–105.
- KOVANDA, M., 1965: Taxonomie jeřábu sudetského *Sorbus sudetica* (Tausch) Hedlund a otázka jeho endemismu. *Československá ochrana přírody* 2: 17–62.
- NELSON-JONES, E.B., BRIGGS, D., SMITH, A.G., 2002: The origin of intermediate species of the genus *Sorbus*. *Theoretical and Applied Genetics* 105 (6–7): 953–963.
- PUCHTA, H., SWOBODA, P., HOHN, B., 1994: Homologous recombination in plants. *Experientia* 50: 277–284.
- RASPE, O., 2001: Inheritance of the chloroplast genome in *Sorbus aucuparia* L. (Rosaceae). *Journal of Heredity* 92: 507–509.
- ROBERTSON, A., RICH, T.C.G., ALLEN, A.M., HOUSTON, L., ROBERTS, C., BRIDLE, J.R., HARRIS, S.A., HISCOCK, S.J., 2010: Hybridization and polyploidy as drivers of continuing evolution and speciation in *Sorbus*. *Molecular Ecology* 19: 1675–1690.
- WARBURG, E.F., KÁRPÁTI, Z.E., 1968: *Sorbus* L. In: Tutin TG, Heywood VH, Burges NA, Moore DM, Valentine DH, Walters SM, Webb DA (eds.), *Flora Europaea*. Cambridge University Press, Cambridge, 67–71.
- ZIMMERMANN, M.H., 1983: Xylem structure and the ascent of sap. Springer-Verlag, Berlin.

Adresa autorov:

Doc. Ing. Dušan Gömöry, DrSc.

Prof. Ing. Ladislav Paule, PhD.

Dr. Mgr. Jaroslav Ďurkovič

Ing. Veronika Kučerová

Ing. Monika Kardošová

Technická univerzita vo Zvolene

Lesnícka fakulta

T. G. Masaryka 24

960 53 Zvolen

e-mail: gomory@vsld.tuzvo.sk

paule@vsld.tuzvo.sk

durkovic@vsld.tuzvo.sk

Aloploidná hybridizácia v rode *Sorbus*: ružovokveté hybridy v NPR Skalná Alpa

Súhrn

Práca je zameraná na aloploidnú hybridizáciu subalpínskych taxónov rod *Sorbus*, ktorá zahŕňa *S. chamaemespilus* ako jeden z rodičovských druhov. V NPR Skalná Alpa sa vyskytuje päť takýchto hybridných taxónov vrátane predpokladaných rodičovských druhov *S. aria*, *S. chamaemespilus* and *S. aucuparia*. Na identifikáciu materského druhu a možného polyfyletického pôvodu hybridných taxónov sme použili chloroplastové mikrosatelity. Zistili sme, že *S. aria* sa ako donor peľu zúčastňuje u troch z piatich hybridných taxónov. *S. chamaemespilus* sa ukázala ako úplne monomorfný druh, čo potvrdzuje podozrenie, že sa jedná o fakultatívne apomiktický taxón. Zanky dreva neumožnili spoľahlivé rozlíšenie taxónov, ale hybrid *S. zuzanae* vykazuje prechodné znaky medzi oboma rodičovskými druhmi. Medzidruhovú genetickú heterogenitu a úplnú vnútrodrohovú homogenitu naznačujú, že hybridné taxóny nevznikajú systematicky hybridizáciou de novo ale predstavujú pravdepodobne monofyletické taxóny.

Kľúčové slová: aloploidia, hybridizácia, *Sorbus* subgen. *Chamsoraria*, *Chamaemespilaria*

FENOLÓGIA BUKA (*FAGUS SYLVATICA* L.) NA VÝŠKOVOM GRADIENTE (JUŽNÉ A STREDNÉ SLOVENSKO)

Branislav SCHIEBER

Schieber, B.: Phenology of common beech (*Fagus sylvatica* L.) on an altitudinal gradient (south and central Slovakia). Acta Facultatis Forestalis Zvolen, 53(1): 51–60, 2011.

The start and course of selected vegetative phenological phases of beech on an altitudinal gradient were studied. Observations were done in Burda Mts. (200–300 m a.s.l.), in Kremnické vrchy Mts. (500 m a.s.l.) and in Poľana Mts. (900–1000 m a.s.l., 1200–1400 m a.s.l.). Spring phenological phases – bud-burst and leaf unfolding as well as autumnal phenological phases – leaf colouring and leaf fall were monitored over the period of 3 years (2007–2009). The earliest mean onset of spring phenological phases during the period of study was found in the lowest-lying sites in Burda Mts. By contrast, the latest onset of spring phenological phases was observed in the uppermost site in Poľana Mts. The mean onset of autumnal phenological phases had the opposite course as in the case of spring phenophases. The earliest onset, observed in the uppermost locality in Poľana Mts. was gradually delayed with decreasing altitude. Phenological gradient, expressing the shift in onset of spring phenophases among the altitudes, reached the mean values of 2.86–3.00 days/100 m, in the case of autumnal phenological phases moved from –1.00 to –2.08 days/100 m. The mean duration of interphase interval between onset of general leaf unfolding and onset of general leaf colouring, which represents vegetative period of beech, was 131 and 182 days in the highest and in the lowest altitudes, respectively. High significant correlations ($P < 0.01$) were detected between dating of the phenophases onset and altitude.

Keywords: phenological phases, phenological gradient, Burda Mts., Kremnické vrchy Mts., Poľana Mts.

1 ÚVOD

V súvislosti s globálnou zmenou klímy pozorujeme zvýšenú extremitu klimatických podmienok počas roka, následkom ktorej môže dôjsť k zmene konkurenčných vzťahov medzi drevinami (BOLLIGER *et al.* 2000). Reakcie drevín na meniace sa ekologické podmienky vo forme fenologickej odozvy nám slúžia ako ich bioindikátor (SAXE *et al.* 2001, MELO 2006, CLELAND *et al.* 2007, ŠKVARENINOVÁ 2007, ŠKVARENINOVÁ *et al.* 2008). Nárast teploty vyvoláva skoršie pučanie v jarnej období, čo môže predstavovať zvýšené riziko poškodenia asimilačného aparátu drevín neskorými jarnými mrazmi (KRAMER 1995, DITTMAR *et al.* 2005). Vodný deficit počas vegetačného obdobia môže spôsobiť oslabenie kompetičnej schopnosti (GESSLER *et al.* 2007, KMEŤ *et al.* 2010). Na druhej strane možno očakávať aj relatívne pozitívny efekt, napr. predĺženie vegetačného obdobia vplyvom

zvyšujúcej sa priemernej teploty vzduchu (CHMIELEWSKI, RÖTZER 2001). Dreviny dokážu tolerovať tieto zmeny a prispôbiť sa im, ale len v istom limite. Preto je dôležité poznať ich reakcie aj na hraniciach ich ekologickej existencie. Buk lesný má najvyššie zastúpenie (31,6 %) v lesných porastoch Slovenskej republiky (KOLEKTÍV 2010). Je drevinou oceánickej klímy, neznáša silné mrazy a extrémne sucha, ale ani trvalé zamokrenie (ZLATNÍK 1978). Patrí medzi lesné dreviny, u ktorých prebiehajú fenologické pozorovania v rámci programu Medzinárodných fenologických záhrad (CHMIELEWSKI 1996). Fenológii buka sa v poslednom období venovalo pomerne veľa pozornosti (CICÁK, ŠTEFANČÍK 1993, HEIDE 1993, VON WUEHLISCH *et al.* 1995, FALUSSI, CALAMASSI 1997, ŠTEFANČÍK 1997, PRIWITZER, MIŇDÁŠ 1998, CHMURA, ROZKOWSKI 2002, SCHIEBER 2005, 2006, BEDNÁŘOVÁ, MERKLOVÁ 2007, MERKLOVÁ, BEDNÁŘOVÁ 2008, BARNA *et al.* 2009, SCHIEBER *et al.* 2009). Práce, ktoré sa zaoberajú fenologickými prejavmi tejto dreviny na hraniciach jeho vertikálneho výskytu sú však pomerne zriedkavé (DITTMAR, ELLING 2006; VITASSE *et al.* 2009). S rastúcou nadmorskou výškou dochádza k zmene jednotlivých klimatických prvkov, pričom veľký význam z pohľadu fenológie má všeobecné ubúdanie teploty vzduchu, pribúdanie zrážok ako aj zvyšovanie sa priemernej oblačnosti vo vegetačnom období.

Cieľom práce je vyhodnotenie nástupu a priebehu vybraných fenologických fáz buka na vertikálnom gradiente v priebehu troch rokov.

2 MATERIÁL A METÓDY

Fenologické pozorovania buka boli robené v lesných porastoch nachádzajúcich sa v troch neovulkanických pohoriach situovaných južne od hlavnej klimatickej čiary Slovenska – Burda, Kremnické vrchy a Poľana. Pohorie Burda leží v juhovýchodnom cípe Podunajskej pahorkatiny medzi riekami Dunaj, Hron a Ipel'. Výškovo je relatívne málo diferencované (113–405 m n. m.). Patrí do teplej klimatickej oblasti, okrsku suchého s mierne zimou. Priemerná ročná teplota dosahuje 8,5–10,5 °C, priemerné ročné úhrny zrážok sa pohybujú okolo 600 mm. Pozorovania boli v Burde realizované na dvoch lokalitách severne od obce Chľaba – prvá na začiatku Veľkej doliny (B1) a druhá neďaleko chaty Ipel' (B2), v nadmorskej výške cca 200 m n. m., resp. 300 m n. m. Kremnické vrchy sa nachádzajú v centrálnej časti stredného Slovenska. Kým nižšie polohy pohoria patria do mierne teplej klimatickej oblasti, okrsku mierne vlhkého až vlhkého, vyššie položené miesta (asi od 800 m n. m.) sa zaraďujú do chladnej klimatickej oblasti. Fenologické pozorovania prebiehali na Ekologickom experimentálnom stacionári Kremnické vrchy (KV), ktorý je lokalizovaný v JV časti vyššie uvedeného orografického celku, v nadmorskej výške okolo 500 m n. m. Poľana predstavuje naše najvyššie sopečné pohorie. Južné predhorie Poľany patrí do klimatickej oblasti mierne teplej, okrsku vlhkého. Ostatné územie tohto pohoria zaraďujeme do chladnej klimatickej oblasti, okrsku mierne chladného až chladného horského (LAPIN *et al.* 2002). V rámci tohto pohoria boli pozorovania robené na 5 lokalitách. Prvá (P1) sa nachádza nad osadou Priehalina, asi 100 výškových metrov pod lokalitou Javorinka v nadmorskej výške 900 m n. m. Druhá lokalita (P2) je na Javorinke (1000 m n. m.). Ďalšie tri lokality sú: P3 – Huklová (1200 m n. m.), P4 – Predná Poľana (1300 m n. m.) a P5 – Zadná Poľana (1400 m n. m.).

Pozorovanie a vyhodnocovanie fenofáz v období troch rokov (2007–2009) bolo robené podľa metodického predpisu pre fenologické pozorovanie lesných rastlín, štandardne používaného v rámci fenologického monitoringu SHMÚ (BRASLAVSKÁ, KAMENSKÝ, 1996). Sledovali sa nasledovné fenofázy: začiatok pučania (ZP), začiatok zalisťovania (ZZ), všeobecné zalisťovanie (VZ), začiatok žltnutia listov (ZZL), všeobecné žltnutie listov (VŽL), začiatok opadu listov (ZOL) a koniec opadu listov (KOL). Na každej lokalite bol označený súbor 10 dospelých jedincov rastúcich v lesnom poraste, s vylúčením skorých alebo neskorých fenologických foriem. Začiatok fenofázy predstavoval termín, kedy sa aspoň na polovici jedincov súboru objavila fenofáza, za všeobecný nástup fenofázy bol považovaný deň, kedy sa u všetkých jedincov pozoroval jej 50 % nástup. Termíny nástupu fenofáz, ktoré sa uvádzajú v texte a grafoch sú vyjadrené ako poradové dni roka počítané od prvého januára. Klimatické údaje použité v práci pochádzajú z databáz SHMÚ Bratislava, OMSZ (Národná meteorologická služba, Maďarsko) a sú doplnené aj vlastnými meraniami.

3 VÝSLEDKY

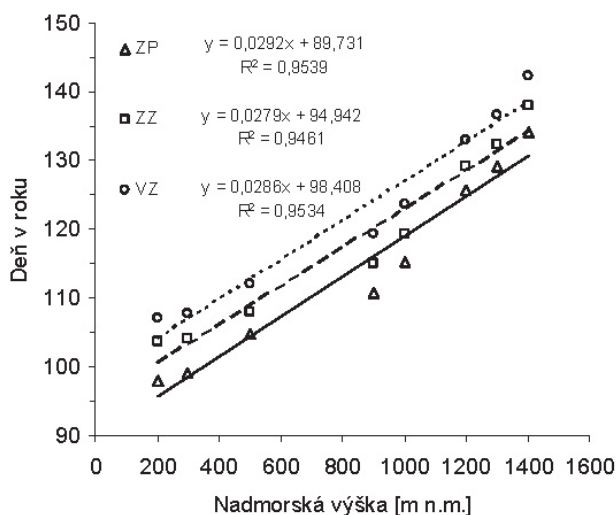
3.1 Jarné fenofázy

Nástup a priebeh jarných fenologických fáz buka na lokalitách s rôznou nadmorskou výškou v období rokov 2007–2009 je uvedený v tabuľke 1.

Najskorší priemerný nástup jarných fenofáz bol v sledovanom období zistený v najnižšie položených lokalitách B1 a B2 v pohorí Burda. Naopak, najneskorší priemerný nástup fenofáz bol pozorovaný v najvyššie položenej lokalite B5 na Poľane. Priemerný nástup začiatku pučania (ZP) sa v najnižšie položenej lokalite B1 zaznamenal na 98. deň v roku (8. apríl). S rastúcou nadmorskou výškou sa tento postupne oneskoroval a v najvyššie položenej lokalite P5 predstavovalo oneskorenie nástupu o 36 dní (14. máj). Fenologický gradient, ktorý vyjadruje rozdiel v nástupe fenofázy medzi najnižšie a najvyššie položenou lokalitou prepočítaný na 100 výškových metrov dosahoval pri tejto fenofáze v priemere 3 dni/100 m. Podobný priebeh mal aj priemerný nástup ďalších dvoch jarných fenologických fáz – začiatok zalisťovania (ZZ) a všeobecné zalisťovanie (VZ), kedy rozdiel v nástupe týchto fáz medzi najnižšie a najvyššie položenou lokalitou predstavoval 34, resp. 35 dní. Fenologický gradient predstavoval v priemere 2,86 dňa/100 m pre fenofázu ZZ a 2,92 dňa/100 m pre VZ. Priemerná dĺžka medzifázového intervalu začiatok pučania – všeobecné zalisťovanie sa pohybovala na lokalitách v intervale 7–9 dní. Korelačná analýza medzi priemerným nástupom jarných fenofáz a nadmorskou výškou potvrdila štatisticky významnú koreláciu ($P < 0,01$, obr. 1).

Tabuľka 1 Nástup jarých fenologických fáz (FF) na lokalitách v rôznych nadmorských výškach
Table 1 Onset of spring phenophases (FF) on the localities at different altitudes

Lokalita		B1 200 m n. m.	B2 300 m n. m.	KV 500 m n. m.	P1 900 m n. m.	P2 1000 m n. m.	P3 1200 m n. m.	P4 1300 m n. m.	P5 1400 m n. m.	Fenologický gradient (dni/100 m)
Rok	FF	Poradové číslo dňa v roku								
2007	ZP	93	95	104	107	110	123	128	131	+3,17
	ZZ	104	105	108	110	115	126	131	134	+2,50
	VZ	108	109	112	115	120	129	134	137	+2,42
2008	ZP	100	102	109	114	121	128	131	138	+3,17
	ZZ	103	104	113	120	125	132	135	142	+3,25
	VZ	107	108	116	124	129	136	140	147	+3,33
2009	ZP	101	100	101	111	115	126	128	133	+2,67
	ZZ	104	103	103	115	118	129	131	138	+2,83
	VZ	107	109	109	119	122	134	136	143	+3,00
07–09	ZP	98	99	105	111	115	126	129	134	+3,00
	ZZ	104	104	108	115	119	129	132	138	+2,86
	VZ	107	108	112	119	124	133	137	142	+2,92



Obr. 1 Závislosť medzi priemerným nástupom jarých fenofáz buka a nadmorskou výškou. Znáznornený je lineárny trend (ZP – začiatok pučania, ZZ – začiatok zalisťovania, VZ – všeobecné zalisťovanie)

Fig. 1 Relationship between mean onset of spring phenological phases of beech and altitude. Linear trend is depicted (ZP – bud burst, ZZ – beginning of leaf unfolding, VZ – general leaf unfolding)

3.2 Jesenné fenofázy

Nástup a priebeh jesenných fenologických fáz v období rokov 2007–2009 je uvedený v tabuľke 2. Priemerný nástup jesenných fenofáz mal opačný priebeh ako to bolo v prípade jarých fenofáz – najskorší nástup bol pozorovaný v najvyššie položenej lokalite P5 na Poľane, s klesajúcou nadmorskou výškou sa postupne oneskoroval. V lokalitách B1, B2 a KV (200–500 m n. m.) bol priemerný nástup začiatku žltnutia listov (ZŽL) zaznamenaný takmer v rovnakom termíne (28. a 29. september), kým v najvyššie položenej lokalite P5 bol priemerný nástup ZŽL pozorovaný o 12 dní skôr (16. september). Fenologický gradient v rámci tejto fenofázy predstavoval –1,00 deň/100 m. Nástup ďalších dvoch fenofáz – všeobecné žltnutie listov (VŽL) a začiatok opadu listov (ZOL) sa s rastúcou nadmorskou výškou urýchlňoval v priemere o 1,31 dňa/100 m, resp. o 1,00 deň/100 m. Časový rozdiel v nástupe fenofázy VŽL, resp. ZOL medzi najnižšie a najvyššie položenou lokalitou predstavoval 15, resp. 13 dní. Koniec opadu listov (KOL) sa urýchlňoval v priemere o 2,08 dňa/100 m a rozdiel v nástupe medzi najnižšie a najvyššie položenou lokalitou predstavoval až 25 dní. Priemerná dĺžka medzifázového intervalu ZŽL–KOL sa pohybovala v intervale 38 dní (Poľana – lokalita P5) až 51 dní (Burda – lokalita B1). Aj v prípade jesenných fenofáz sme zistili štatisticky významnú koreláciu medzi ich priemerným nástupom a nadmorskou výškou (obr. 2).

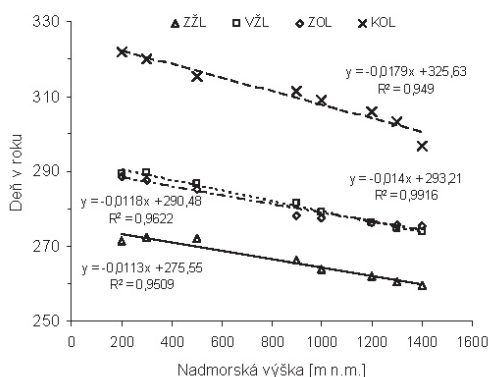
Tabuľka 2 Nástup jesenných fenologických fáz (FF) buka na lokalitách v rôznych nadmorských výškach

Table 2 Onset of autumnal phenological phases of beech on the localities at different altitudes

Lokalita		B1 200 m n. m.	B2 3200 m n. m.	KV 500 m n. m.	P1 900 m n. m.	P2 100 m n. m.	P3 1200 m n. m.	P4 1300 m n. m.	P5 1400 m n. m.	Fenologický gradient (dni/100 m)
Rok	FF	Poradové číslo dňa v roku								
2007	ZŽL	271	270	265	261	256	254	252	250	–1,75
	VŽL	293	291	287	275	271	266	264	262	–2,58
	ZOL	293	290	283	268	268	269	269	270	–1,92
	KOL	316	314	310	303	298	293	288	285	–2,58
2008	ZŽL	268	271	274	272	269	267	265	265	–0,25
	VŽL	283	285	284	281	279	278	276	276	–0,58
	ZOL	283	285	287	286	285	283	282	281	–0,17
	KOL	320	318	311	305	303	298	296	295	–2,08
2009	ZŽL	275	276	277	266	266	265	264	263	–1,00
	VŽL	292	293	289	288	287	285	284	283	–0,75
	ZOL	286	286	285	280	279	277	276	275	–0,92
	KOL	329	328	325	326	326	327	325	310	–1,58
07–09	ZŽL	271	272	272	266	264	262	260	259	–1,00
	VŽL	289	290	287	281	279	276	275	274	–1,31
	ZOL	288	288	285	278	277	276	276	275	–1,00
	KOL	322	320	315	311	309	306	303	297	–2,08

4 DISKUSIA

Dátumy nástupu jarných a jesenných vegetatívnych fenofáz buka variovali nielen v závislosti od nadmorskej výšky ako bolo uvádzané vyššie, ale aj medzi porovnávanými rokmi. Medziročnú variabilitu nástupu fenofáz ovplyvňuje hlavne priebeh počasia v jednotlivých rokoch. V období 2007–2009 bol najskorší nástup začiatku pučania na všetkých lokalitách pozorovaný v roku 2007. Tento fakt súvisel pravdepodobne s priaznivými klimatickými podmienkami už na začiatku vegetačného obdobia v uvedenom roku, pretože marec 2007 bol po teplotnej stránke silne nadnormálnym mesiacom s kladnou odchýlkou 3–4 °C od dlhodobého priemeru ($DP_{1951-1980}$). Najskorší nástup ďalších dvoch fenofáz – začiatok zalisťovania a všeobecné zalisťovanie bol tiež pozorovaný v roku 2007, ale len v lokalitách od 900 m n. m. V nižších polohách (200–500 m n. m.) sa buk zalisťoval najskôr v roku 2009. V týchto polohách nasledoval výrazne teplý apríl 2009 po relatívne teplom marci, kým vo vyšších polohách bol marec 2009 relatívne chladnejší (obr. 3), čo bolo pravdepodobnou príčinou oneskorenia zalisťovania buka v porovnaní s rokom 2007.

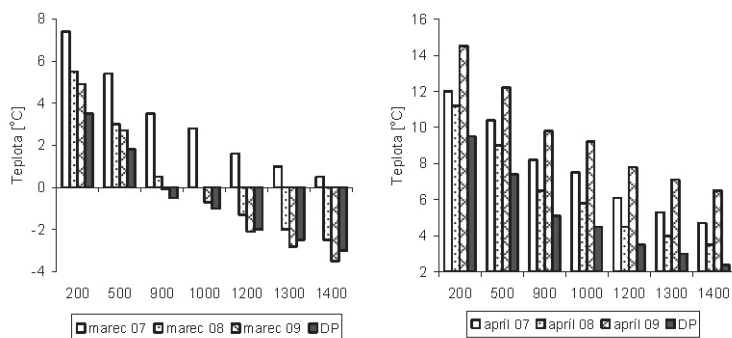


Obr. 2 Závislosť medzi priemerným nástupom jesenných fenofáz buka a nadmorskou výškou. Znázornený je lineárny trend (ZŽL – začiatok žltnutia listov, VŽL – všeobecné žltnutie listov, ZOL – začiatok opadu listov, KOL – koniec opadu listov)

Fig. 2 Relationship between mean onset of autumnal phenological phases of beech and altitude. Linear trend is depicted (ZŽL – beginning of leaf colouring, VŽL – general leaf colouring, ZOL – beginning of leaf fall, KOL – end of leaf fall)

Nástup jesenných fenologických fáz – žltnutie a opad listov závisí okrem biologických vlastností predovšetkým od klimatických faktorov ako je vlhkosť, teplota a pod. Na rozdiel od jarných fenofáz, ktoré sú v našich lesných oblastiach ovplyvňované hlavne teplotnými pomermi, v prípade jesenných fenofáz dôležitú úlohu popri teplote zohráva aj vlhkosť, preto je ich analýza zložitejší problém a v literatúre sa výsledky tohto druhu vyskytujú sporadicky (KAMENSKÝ, BRASLAVSKÁ 1999). Porovnaním priemerného nástupu jesenných fenofáz sa zistilo, že rozdiely medzi lokalitami sú podstatne menšie ako pri

jarných fenofázach. Je to zrejmé aj z hodnôt fenologického gradientu, ktorý v prípade jarných fenofáz dosahoval priemerné hodnoty v intervale 2,86–3,00 dňa/100 m, kým pri jesenných fenofázach boli zistené priemerné hodnoty gradientu v intervale 1,00–2,08 dňa/100 m.



Obr. 3 Priemerné mesačné teploty vzduchu v rôznych nadmorských výškach DP – dlhodobý priemer)

Fig. 3 Mean monthly air temperature at different altitudes (DP – long-term average)

DITTMAR a ELLING (2006) zistili, že jarné zalisťovanie buka v južnom Nemecku prebiehalo s oneskorením cca 2 dni na každých 100 m stúpajúcej nadmorskej výšky, kým jesenné prefarbovanie listov od nej nezáviselo. VITASSE *et al.* (2009) uvádzajú, že s klesajúcou nadmorskou výškou sa urýchľuje zalisťovanie buka približne o 1,1 dňa/100 m, kým napr. u duba to bolo až 3,4 dňa/100 m.

5 ZÁVER

Fenologické pozorovanie, ktoré predstavuje jednu z metód štúdia sezónnej dynamiky rastlín prežíva v poslednom období opätovný rozvoj. Zvýšená pozornosť sa venuje štúdiu zmien podmienok prostredia, ktoré sú vyvolané globálnymi zmenami, medzi ktoré sa zaraďuje aj klimatická zmena. Vplyvom narastajúcej rozkolísanosti chodu hlavných klimatických prvkov počas roka dochádza následne k rozdielnej fenologickej odozve. Pre objektívnejšie pochopenie týchto procesov je preto dôležité poznať reakcie rastlín aj na okrajoch ich existencie, napr. v rámci vertikálneho gradientu. V období rokov 2007–2009 bol študovaný nástup a priebeh jarných a jesenných fenologických fáz buka na vertikálnom gradiente Burda (200–300 m n. m.) – Kremnické vrchy (500 m n. m.) – Poľana (900–1000 m n. m., 1200–1400 m n. m.). Najskorší priemerný nástup jarných fenofáz bol v sledovanom období zistený v najnižšie položených lokalitách B1 a B2 v pohorí Burda. Naopak najneskorší priemerný nástup fenofáz bol pozorovaný v najvyššie položenej lokalite B5 na Poľane. Priemerný nástup jesenných fenofáz mal opačný priebeh ako to bolo v prípade jarných fenofáz – najskorší nástup bol pozorovaný v najvyššie položenej lokalite P5 na Poľane, s klesajúcou nadmorskou výškou sa postupne oneskoroval.

Fenologický gradient vyjadrujúci posun v nástupe jarých fenofáz medzi lokalitami dosiahol priemerné hodnoty 2,86–3,00 dňa/100 m, resp. –1,00 až –2,08 dňa/100 m v prípade jesenných fenologických fáz. Dĺžka intervalu všeobecné zalisťovanie–všeobecné žltnutie listov, predstavujúca vegetačné obdobie buka, dosahovala v priemere 182 dní v najnižšej, resp. 131 dní v najvyššej polohe. Zistili sme významnú koreláciu ($P < 0,01$) medzi nástupom jarých a jesenných fenofáz a nadmorskou výškou.

Výsledky fenologických pozorovaní lesných drevín môžu prispieť k rozšíreniu poznatkov týkajúcich sa ich fenologickej odozvy ako bioindikátorov meniacich sa podmienok prostredia. V šľachtiteľskej a pestovateľskej lesníckej praxi je ich využitie možné napr. pri selekcii vhodných fenologických foriem (neskoropučiacich) a následnom zakladaní lesných porastov v extrémnych ekologických podmienkach.

Pod'akovanie

Táto štúdia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt Centrum excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy, ITMS: 26220120006, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja. (70 %) ako aj vďaka podpore grantovej agentúry VEGA (projekty č. 2/0034/10 a 2/0055/10).

Literatúra

- BARNA, M., SCHIEBER, B., CÍČÁK, A., 2009: Effect of post-cutting changes in site conditions on the morphology and phenology of naturally regenerated beech seedlings (*Fagus sylvatica* L.). Polish Journal of Ecology, 57, p. 461–472.
- BEDNÁŘOVÁ E., MERKLOVÁ L., 2007: Results of monitoring the vegetative phenological phases of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in 1991–2006. Folia oecologica, 34, p. 77–85.
- BOLLIGER J., KIENAST F., ZIMMERMANN N.E., 2000: Risk of global warming on montane and subalpine forests in Switzerland—a modeling study. Regional Environmental Change, 1, p. 99–111.
- BRASLAVSKÁ, O., KAMENSKÝ, L., 1996: Fenologické pozorovanie lesných rastlín. Metodický predpis. SHMÚ Bratislava, 22 s.
- CÍČÁK, A., ŠTEFANČÍK, I., 1993: Phenology of bud breaking of beech (*Fagus sylvatica* L.) in relation to stocking of its tree component. Ekológia (Bratislava), 12, p. 441–448.
- CLELAND, E., CHUINE, I., MENZEL, A., MOONEY, H.A., SCHWARTZ, M.D., 2007: Shifting plant phenology in response to global change. Trends in Ecology and Evolution, 22, p. 357–365.
- DITTMAR, C., FRICKE, W., ELLING, W., 2005: Impact of late frost events on radial growth of common beech (*Fagus sylvatica* L.) in Southern Germany. European Journal of Forest Research, 125, p. 249–259.
- DITTMAR, CH., ELLING, W., 2006: Phenological phases of common beech (*Fagus sylvatica* L.) and their dependence on region and altitude in Southern Germany. European Journal of Forest Research, 125, p. 181–188.
- FALUSSI, M., CALAMASSI, R., 1997: Bud dormancy in *Fagus sylvatica* L. I. Chilling and photoperiod as factors determining budbreak. Plant Biosystems, 131, p. 67–72.
- GESSLER, A., KEITEL, C., KREUZWIESER, J., MATYSSEK, R., SEILER, W., RENNENBERG, H., 2007: Potential risk for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in a changing climate. Trees, 21, p. 1–11.
- HEIDE, O.M., 1993: Daylength and thermal time responses of budburst during dormancy release in some northern deciduous trees. Physiologia Plantarum, 88, p. 531–540.
- CHMIELEWSKI, F.M., RÖTZER, T., 2001: Response of tree phenology to climate change across Europe. Agricultural and Forest Meteorology, 108, p. 101–112.
- CHMIELEWSKI, F.M., 1996: The International Phenological Gardens across Europe. Present state and perspectives. Phenology and Seasonality, 1, p. 19–23.

- CHMURA, D. J., ROZKOWSKI, R., 2002: Variability of beech provenances in spring and autumn phenology. *Silvae Genetica*, 51, p. 123–127.
- KMEŤ, J., DITMAROVÁ, L., PRIWITZER, T., KURJAK, D., BALÁŽ, P., BLAŽENEC, M., 2010: Physiological limits – a possible cause of spruce decline. *Beskydy*, 3, p. 55–64.
- KAMENSKÝ, L., BRASLAVSKÁ, O., 1999: Fenologické charakteristiky listnatých drevín na Slovensku v období 1986–1995. *Meteorologický časopis – Meteorological Journal*, 2, s. 49–55.
- KOLEKTÍV, 2010: Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike za rok 2009 (Zelená správa). Ministerstvo pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky Bratislava, Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 102 s.
- KRAMER, K., 1995: Phenotypic plasticity of the phenology of seven European tree species in relation to climatic warming. *Plant, Cell and Environment*, 18, p. 93–104.
- LAPIN M., FAŠKO P., MELO M., ŠŤASTNÝ P., TOMLAIN J., 2002: Klimatické oblasti. In: MIKLOS L. (ed.) *Atlas krajiny Slovenskej republiky*. MŽP, Bratislava, 344 s.
- MELO, M., 2006: Vplyv geografickej polohy na nástup fenologických fáz lipy malolistej na Slovensku. In: Rožnovský, J., Litschmann, T., Vyskot, I. (eds) *Fenologická odezva proměnlivosti podnebí*, Brno, CD, ISBN 80-86690-35-0.
- MERKLOVÁ, L., BEDNÁŘOVÁ, E., 2008: Results of a phenological study of the tree layer of a mixed stand in the region of the Drahanská vrchovina Upland. *Journal of Forest Science*, 54, p. 294–305.
- PRIWITZER, T., MIŇDÁŠ, J., 1998: Výsledky fenologických pozorování lesných drevín v rokoch 1993–1997 na lokalite Poľana-Hukavský Grúň. *Vedecké práce LVÚ*, 42, s. 17–32.
- SAXE, H., CANNEL, M.G.R., JOHNSEN, Ø., RYAN, M., VOURLITIS, G., 2001: Tree and forest functioning in response to global warming. *New Phytologist*, 149, p. 369–400.
- SCHIEBER B., 2005: Onset and course of selected phenological phases in European beech (*Fagus sylvatica* L.) over the last 10 years. *Meteorologický časopis – Meteorological Journal*, 8, p. 9–12.
- SCHIEBER, B., 2006: Spring phenology of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in submountain beech forest stand with various stocking between 1995–2004. *Journal of Forest Science*, 52, p. 208–216.
- SCHIEBER, B., JANÍK, R., SNOPOKOVÁ, Z., 2009: Phenology of four broad-leaved forest trees in a submountain beech forest. *Journal of Forest Science*, 55, p. 15–22.
- ŠKVARENINOVÁ, J., 2007: Charakteristika fenologických fáz jelše lepkavej (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) v Arboréte Borová hora v rokoch 1987–2006. *Acta Facultatis Forestalis Zvolen*, XLIX, s. 17–29.
- ŠKVARENINOVÁ, J., DOMČEKOVÁ, D., SNOPOKOVÁ, Z., ŠKVARENINA, J., ŠÍŠKA, B., 2008: Phenology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in the Zvolen basin, in dependence on bio-meteorological factors. *Folia Oecologica*, 35, p. 40–47.
- ŠTEFANČÍK, I., 1997: Phenology of beech (*Fagus sylvatica*) in two different localities in Slovakia. *Biologia (Bratislava)*, 52, p. 33–40.
- VITASSE, Y., DELZON, S., DUFRÊNE, E., PONTAILLER, J.Y., LOUVET, J.M., KREMER, A., MICHALET, R., 2009: Leaf phenology sensitivity to temperature in European trees: Do within-species populations exhibit similar responses? *Agriculture and Forest Meteorology*, 149, p. 735–744.
- VON WUEHLISCH, G., KRUSCHE, D., MUHS, J., 1995: Variation in temperature sum requirement for flushing of beech provenances. *Silvae Genetica*, 44, p. 343–346.
- ZLATNÍK, A., 1978: *Lesnická fytoecologie*. Academia, Praha, 495 s.

Adresa autora:

Mgr. Branislav Schieber, PhD.

Ústav ekológie lesa SAV

Štúrova 2

960 53 Zvolen

e- mail: schieber@sav.savzv.sk

Fenológia buka (*Fagus sylvatica* L.) na výškovom gradiente (južné a stredné Slovensko)

Abstrakt

Študovali sme nástup a priebeh vybraných vegetatívnych fenologických fáz buka na výškovom gradiente. Fenologické pozorovania boli robené v pohoriach Burda (200–300 m n. m.) Kremnické vrchy (500 m n. m.) a na Poľane (900–1000 m n. m., 1200–1400 m n. m.). Jarné a jesenné fenologické fázy – začiatok pučania, zalisťovanie, žltnutie listov a opad listov boli sledované počas troch rokov (2007–2009). Najskorší priemerný nástup jarných fenofáz bol v sledovanom období zistený v najnižšie položených lokalitách v pohorí Burda. Naopak, najneskorší priemerný nástup fenofáz bol pozorovaný v najvyššie položenej lokalite na Poľane. Priemerný nástup jesenných fenofáz mal opačný priebeh ako to bolo v prípade jarných fenofáz – najskorší nástup bol pozorovaný v najvyššie položenej lokalite na Poľane a s klesajúcou nadmorskou výškou sa postupne oneskoroval. Fenologický gradient vyjadrujúci posun v nástupe jarných fenofáz vo vzťahu k rastúcej nadmorskej výške dosahoval priemerné hodnoty 2,86–3,00 dňa/100 m, v prípade jesenných fenologických fáz sa jeho hodnoty pohybovali od –1,00 do –2,08 dňa na každých 100 výškových metrov. Priemerná dĺžka medzifázového intervalu všeobecné zalisťovanie – všeobecné žltnutie listov, predstavujúca vegetačné obdobie buka, sa pohybovala od 131 dní v najvyšších polohách do 182 dní v najnižších polohách. Medzi nástupom fenofáz a nadmorskou výškou sme zistili štatisticky významné korelácie ($P < 0,01$).

Kľúčové slová: fenologické fázy, fenologický gradient, Burda, Kremnické vrchy, Poľana

AKTIVITA PÔDNÝCH MIKROORGANIZMOV VO VZŤAHU K VEĽKOSTNÝM FRAKCIÁM ZEMINY

Erika G Ö M Ö R Y O V Á

Gömöryová, E.: Soil microbial activity in relation to the soil fractions of different sizes. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, 53(1): 61–72, 2011.

The living space of soil microorganisms depends in a great deal on the soil texture and properties associated with it. In this study we analysed the activity of soil microorganisms (catalase activity) and microbial community structure based on the BIOLOG method in relation to the soil fractions of different sizes (< 2, 2–5, 5–10, 10–25, > 25 mm), including soil skeleton and macroaggregates. Soil samples were taken from each horizon of podzol, cambisol and rendzina profile. At all profiles, catalase activity decreased with increasing size of soil fraction. The most visible changes were found in horizons enriched in soil organic matter. The pattern of community structure was different for soil types. While there were no differences in community structure between soil fractions at cambisol, the situation at podzol was different – fractions with smaller size exhibited more similar community structure than fractions with larger size.

Keywords: microbial activity, soil aggregates, soil skeleton

1 ÚVOD

Textúra (zrnitostné zloženie) pôdy a s ňou súvisiaca pórovitosť významnou mierou ovplyvňujú životné podmienky pôdných mikroorganizmov. Medzi veľkosťou frakcie jemnozeme (pôdne čiastočky < 2 mm) a mikrobiálnou biomasou sa zistila úzka súvislosť (SIX *et al.* 2004). So zmenou veľkosti frakcie sa pozoruje nielen zmena mikrobiálnej biomasy, ale aj aktivity enzýmov. STEMMER *et al.* (1998) napríklad najvyššiu aktivitu invertázy zaznamenali vo frakcii prachu a ílu, zatiaľ čo aktivita xylanázy bola naopak vyššia v hrubšej, piesčitej frakcii. Rozdiely v aktivite enzýmov podľa veľkostných kategórií jemnozeme sa vysvetľujú rôznou intenzitou adsorpcie enzýmov na povrchu pôdných častíc a rozdielnym vplyvom inhibície.

Analýzy pôdných vzoriek za účelom zistenia fyzikálno-chemických vlastností sa spravidla obmedzujú na jemnozem. Keďže pri hodnotení mikrobiálnych pomerov sa používajú vzorky buď s prirodzeným obsahom vody v pôdnej vzorke alebo nasýtené na 60 % maximálnej kapilárnej kapacity, obvyklý spôsob prípravy jemnozeme odpadá (t.j. vysušenie vzorky pri izbovej teplote, následné rozmelenie agregátov), vzorky sa preosievajú buď cez sito s 2 alebo 4 mm okami, s väčšou frakciou sa pri analýzach neuvažuje. V uvedenej frakcii sa však nemusí nachádzať len skelet, ale aj pôdne agregáty. Minerálne a organické častice pôdy často bývajú zoskupené do viac či menej stabilných agregátov

rôznej veľkosti (s veľkosťou niekoľkých mm až cm), tvaru a vzájomného priestorového usporiadania, s rôznym stupňom vývoja. Viacerí autori (STEMMER 1998, DRAZKIEWICZ 2008 a pod.) poukázali na niektoré súvislosti medzi veľkosťou pôdných agregátov a biomasou či aktivitou pôdných mikroorganizmov. Práce talianskych pôdoznalcov (UGOLINI *et al.* 1996, AGNELLI *et al.* 2001) zase poukazujú na skutočnosť, že aj pôdny skelet, najmä vo vyššom štádiu zvetrania, vykazuje podobné fyzikálne a chemické vlastnosti ako jemnozeme. Pri štúdiu mikrobiálnych pomerov vo frakcii skeletu a jemnozeme zistili, že skelet vo vysokom stupni zvetrania vytvára veľmi priaznivé podmienky pre mikrobiálnu biomasu a jej aktivitu. Vylúčením uvedenej frakcie z analýzy sa teda môže stať, že nepodchytíme dostatočne mikrobiálny obraz o danej pôde.

Vychádzajúc z uvedených skutočností sme si za cieľ práce kládli zistiť, ako sa menia mikrobiálne pomery v jednotlivých frakciách zeminy nad 2 mm v porovnaní s frakciou jemnozeme a či prípadný trend v týchto zmenách pozorovať vo všetkých horizontoch pôdneho profilu.

2 MATERIÁL A METÓDY

Pre analýzy sme použili vzorky zeminy z piatich pôdných profilov 1) podzol humusovo-železitý, lokalita Hrochoť; 2) podzol humusovo-železitý, lokalita Šachtičky; 3) podzol humusovo-železitý, lokalita Tichá dolina, Tatry; 4) kambizem rendzínová, lokalita Šachtičky; 5) rendzina kambizemná, lokalita Šachtičky. Pri každom pôdnom profile sme urobili detailný opis morfológických charakteristík jednotlivých horizontov a odobrali z nich vzorky zeminy, ktorú sme následne po prinesení z terénu preosievaním rozdelili na frakcie veľkosti a) menšej ako 2 mm, b) 2–5 mm, c) 5–10 mm, d) 10–25 mm a e) väčšej ako 25 mm. Takto vytriedené frakcie sme potom uchovávali v chladničke pri teplote 4 °C až do vykonania analýz.

V jednotlivých frakciách sme stanovili aktivitu katalázy podľa CHAZIJEVA (1976) meraním objemu kyslíka, ktorý sa uvoľnil po 10 min. z 10 g pôdnej vzorky po pridaní 20 ml 3 % H₂O₂. Pre štúdium funkčnej diverzity pôdných mikroorganizmov sme použili BIOLOG® Eco Plates. Z vybraných vzoriek sme pripravili inokulum, k vzorke sa pridal 0,9 % NaCl a 150 µl extraktu o zriedení 1 : 10 000 sa inkubovalo v mikrotitračných platniach pri 27 °C po dobu 6 dní (GARLAND 1995). Pre výpočet metabolickej aktivity sme hodnoty absorbancie odčítavali dvakrát denne pri 590 nm na prístroji Sunrise Microplate reader (Tecan, Salzburg, Austria).

Pre hodnotenie regresnej závislosti aktivity katalázy na veľkostných frakciách pôdy sme zvolili polynóm 1. a 2. stupňa.

Pre posúdenie variability zastúpenia jednotlivých funkčných skupín mikroorganizmov v závislosti na pôdných horizontoch a veľkosti frakcie bola použitá nepriama gradientová analýza. Matica frekvencií funkčných skupín (metabolizovaných substrátov) bola podrobená detrendovanej korešpondenčnej analýze (DCA) v prostredí programu CANOCO (TER BRAAK *et al.* SMILAUER 2002). Vzorky nevykazujúce žiadnu biologickú aktivitu boli z analýzy vylúčené. Dĺžka prvej ordinačnej osi presahujúca 6 SD indikuje použitie ordinačnej metódy založenej na unimodálnom rozdelení frekvencií pozdĺž gradientu, takže DCA bola ponechaná aj pre následnú interpretáciu.

3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

V tab. 1 uvádzame morfológický opis profilov sledovaných pôd. Ako je z nej zrejmé, pôdy na sledovaných lokalitách boli vytvorené z rozdielnych materských substrátov, čo sa odráža následne aj v chemických a fyzikálnych vlastnostiach pôdy – okrem iného v skeletnatosti, či tvorbe pôdnych agregátov. Z uvedených profilov sa najvyšším obsahom skeletu vyznačoval podzol humusovo-železitý vytvorený z kremencov (Hrochoť), kde prakticky v celom pôdnom profile (s výnimkou Aup horizontu) dominovala frakcia nad 2 mm. Najnižším obsahom skeletu sa naopak vyznačoval podzol humusovo-železitý na Šachtíčkách a kambizem rendzinová zo slieňovcov na lokalite Šachtičky. Zároveň však v tomto pôdnom profile boli pôdne častice zoskupené do veľmi dobre vyvinutých agregátov, s polyedrickou štruktúrou.

Analýza aktivity katalázy v jednotlivých veľkostných frakciách priniesla zaujímavé výsledky, prezentované na obr. 1. Pri všetkých sledovaných pôdnych typoch sme zaznamenali pokles aktivity katalázy s narastajúcou veľkosťou frakcie, intenzita poklesu ale nie je pri nich rovnaká. Kým napríklad v pôdnom profile podzolu na lokalite Hrochoť aktivita katalázy klesala exponenciálne, v profile kambizeme rendzinovej išlo o lineárny pokles. Frakcie nad 2 mm sa však svojím zložením významne líšili – pri podzole predstavuje jednotlivé frakcie skelet, pri kambizemi rendzinovej pôdne agregáty. Pohľad na detailné rozdelenie hodnôt aktivity katalázy pri podzole podľa jednotlivých horizontov (obr. 2) naznačuje, že rozdiely medzi frakciami sú najväčšie práve v tých horizontoch, ktoré sú bohatšie na organickú hmotu (Aup a iluviálny Bsh horizont); v horizontoch ochudobnených o tento materiál sú aj rozdiely v aktivite katalázy medzi jednotlivými frakciami podstatne menšie. Vo všetkých horizontoch však aktivita katalázy je exponenciálnou funkciou veľkosti frakcie (skeletu).

So zaujímavou situáciou sa stretávame pri kambizemi rendzinovej (lokalita Šachtičky), kde v troch najvrchnejších horizontoch pokles aktivity katalázy je lineárnou funkciou veľkosti frakcie; avšak v najspodnejšom horizonte (B/C) je priebeh poklesu celkom odlišný a podobný skôr situácii pri podzole (obr. 3). Kým v najvrchnejších horizontoch vo všetkých veľkostných frakciách dominovali pôdne agregáty, v B/C horizonte mal vo frakciách väčších ako 2 mm výraznú dominanciu pôdny skelet. Uvedené obrázky teda naznačujú, že intenzita poklesu mikrobiálnej aktivity s narastajúcou veľkosťou frakcie bude úzko súvisieť so zložením danej frakcie (skelet, agregáty) a tiež od obsahu organickej hmoty v nej. Potvrdzujú to aj grafy s odlišným priebehom poklesu aktivity katalázy na obr. 1 pri ďalších sledovaných pôdnych profiloch – pôdy sa odlišovali nielen rôznym zastúpením skeletu medzi jednotlivými pôdnymi horizontmi, ale aj rôznym pomerom skeletu a agregátov v jednotlivých frakciách (napr. pri podzole v Tichej doline, údaje nepubl.). Treba však upozorniť na fakt, že v prípade frakcie skeletu vzhľadom na spôsob frakcionácie nejde len o „čistý“ skelet, ale aj o jemný materiál, ktorý priľnul k povrchu skeletu a pri preosievaní sa z jeho povrchu neodstránil. Nie je možné vzhľadom na metodické problémy a snahu o zachovanie čo najprirodzenejších pomerov (resp. pomerov podobných tým *in situ*) jeho množstvo kvantifikovať, podobne nie je možné určiť, či aktivita katalázy je prejavom mikroorganizmov nachádzajúcich sa len v tejto vrstve alebo v pórovom priestranstve napr. zvetraného skeletu slieňitých vápencov.

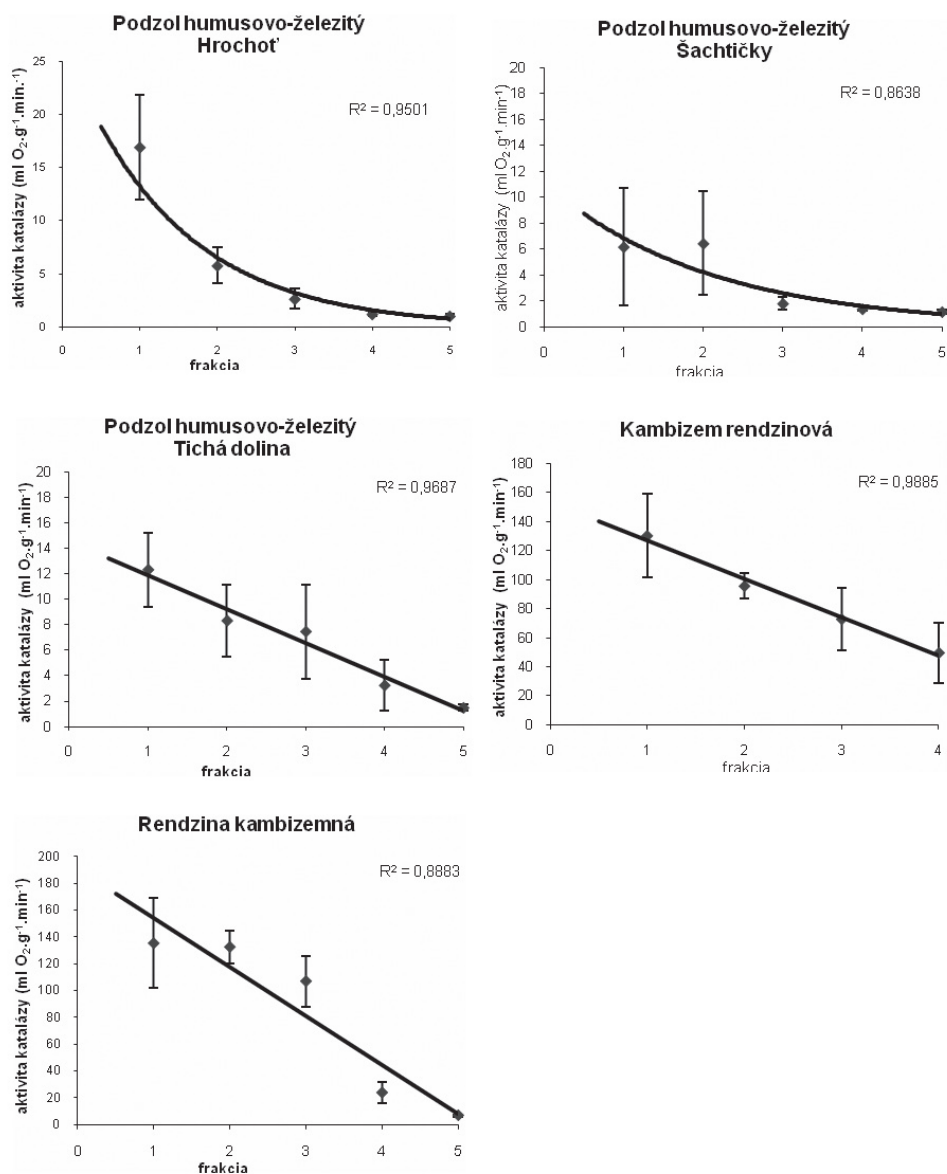
Tab. 1 Opis morfológických znakov analyzovaných pôdnych profilov
Table 1 Soil profiles description

Pôdny typ	Lokalita	Hĺbka (cm)	Opis pôdneho profilu
Podzol humusovo-železitý	Hrochoť	10–0	O – vrstva opadu, drviny, výrazne dominuje melina
		0–6	Aup – čierny, hlinito-piesčitý s elementárnou štruktúrou, sypký, 60 % skeletu veľkosti štrku
		6–30	Ep – okrovo-sivý, piesčitý, s elementárnou štruktúrou, sypký, 80 % skeletu veľkosti štrku
		30–67	Bsh – hrdzavotmavohnedý, hlinito-piesčitý, s elementárnou štruktúrou, uľahnutý, 80 % skeletu veľkosti štrku
		67–120	Bsv – hrdzavý, hlinitopiesčitý, s elementárnou štruktúrou, 70 % skeletu veľkosti štrku
			Materský substrát: svahovina z kremencov
Podzol humusovo-železitý	Šachtičky	15–0	O – listnato-ihličnatý opad, drvina a melina
		0–10	Aup – čiernohnedý, hlinito-piesčitý, s nevýraznou štruktúrou, sypký, skelet veľkosti štrku ojedinele
		10–140	Ep – sivý, piesčitý, s elementárnou štruktúrou, 15 % drobného štrku, vo vrchnej časti sypký, v spodnej časti mierne uľahnutý
		140–146	Bsh – hrdzavotmavohnedý, piesčitohlinitý, silne uľahnutý, 20 % veľkosti štrku
		146–164	Bsv1 – hrdzavý, piesčito-hlinitý až hlinito-piesčitý, s nevýraznou štruktúrou, 20% prevažne štrku, ojedinele kameňov
			Materský substrát: svahovina zo sedimentov verrucana (zlepence, brekcie, arkózy, pestré bridlice) a kremencov
Podzol humusovo-železitý	Tichá dolina	6(15)–0	O – veľmi nerovnomerná vrstva ihličnatého opadu, drviny a meliny
		0–5	Aup – piesčito-hlinitá, jemne odrobinkovitý, veľmi kyprý, 15–20 % štrku
		5–23	Ep – hlinito-piesčitá, s elementárnou štruktúrou, kyprý, 30 % štrku
		23–47	Bsh – piesčito-hlinitá, s nevýraznou štruktúrou, mierne uľahnutý, 60 % štrku a kameňov
		47–66	Bsv – hlinito-piesčitá, s elementárnou štruktúrou, mierne uľahnutý 60–70 % štrku a kameňov
		66–80	B/C hlinito-piesčitá až piesčitá, s elementárnou štruktúrou, 70 % štrku a kameňov
			Materský substrát: svahovina z granitoidov

Tab. 1 Pokračovanie
Table 1 Continue

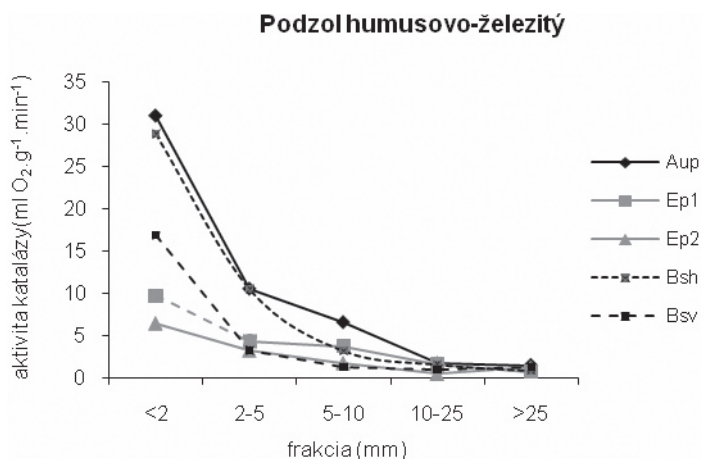
Pôdny typ	Lokalita	Hĺbka (cm)	Opis pôdneho profilu
Kambizem rendzinová	Šachtičky	2–0	O – tenká vrstva prevažne listnatého opadu a drviny
		0–6	Au – tmavohnedý, hlinitý, jemne odrobinkovitý, veľmi kypký, bez skeletu
		6–35	Bv1 – hnedý, hlinitý, stredne polyedrický, mierne uľahnutý, 5 % štrku,
		35–66	Bv2 – hnedý, ílovito-hlinitý, hrubopolyedrický, 10 % štrku
			B/C – hnedý, 80 % skeletu veľkosti prevažne kameňov
		66–80	Materský substrát: svahovina zo slieňovcov
Rendzina kambizemná	Šachtičky	4–0	O – vrstva prevažne ihličnatého opadu a drviny
		0–20	Amc – čiernohnedý, ílovito-hlinitý, jemne odrobinkovitý, veľmi kypký, 30 % skeletu veľkosti štrku a kameňov,
		20–35	(Bv)c – hnedý, ílovito-hlinitý, stredne odrobinkovitý, mierne uľahnutý, 60 % hrubého štrku a kameňov
		35–65	B/C – svetlo hnedý, ílovito-hlinitý, hruboodrobinkovitý až polyedrický, mierne uľahnutý, 70% skeletu s prevažujúcou veľkosťou kameňov
			Materský substrát: svahovina z dolomitického vápenca

Mikroorganizmy žijú v spoločenstvách, ktoré sú niektoré viac, iné menej navzájom prepojené. Výsledky štúdií naznačujú význam pôdnej štruktúry a priestorovej izolácie na diverzitu a štruktúru mikrobiálnych spoločenstiev. RANJARD *et* RACHAUME (2001) pri analýzach pôdnych vzoriek zistili, že až 80 % baktérií sa nachádzalo v mikropóroch vo vnútri stabilných mikroagregátov. Takéto mikrohabitáty sa vyznačovali priaznivými podmienkami pre rast mikroorganizmov vzhľadom na priaznivé vlhkostné pomery, dostatok živín a ochranu pred predátormi, a pravdepodobne aj pred antibiotikami produkovanými hubami. Stavba pôdy, rôzne priestorové usporiadanie pôdnych častíc, pórového priestranstva s pôdnym roztokom a vzduchom spôsobuje, že už na veľmi malých vzdialenostiach (niekoľko mm až μ m) sa vytvárajú habitáty s veľmi rozdielnymi podmienkami pre život mikroorganizmov. Pórové priestranstvo vytvára akýsi labyrint pórov, vďaka ktorému môžu byť mikroorganizmy separované na značné vzdialenosti (v porovnaní s ich veľkosťou). Dalo by sa to porovnať s geografickou izoláciou vyšších organizmov, avšak v podstatne menšej mierke. Predpokladá sa, že rozdiely v množstve a v kvalite organickej hmoty, ktorá je zdrojom výživy väčšiny pôdnych organizmov, vedú aj k diverzite mikrobiálnych spoločenstiev. Konkurenčný boj o potravu patrí medzi kľúčové faktory diverzifikácie organizmov.



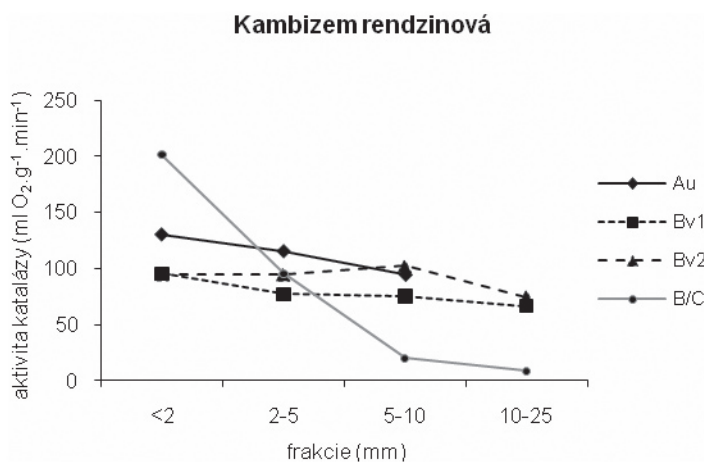
Obr. 1 Zmeny aktivity katalázy s veľkosťou frakcie pôdy (frakcia 1 – < 2 mm; 2 – 2–5 mm; 3 – 5–10 mm, 4 – 10–25 mm, 5 – >25 mm) v pôdnych profiloch podzolov, kambizeme rendzinovej a rendziny kambizemnej (R^2 – index korelácie) súhrnne pre všetky horizonty

Fig 1 Changes of the catalase activity in relation to the soil fractions (fraction 1 – < 2 mm; 2 – 2–5 mm) 3 – 5–10 mm, 4 – 10–25 mm, 5 – >25 mm) in podzols, cambisol and rendzina profiles (R^2 – index of determination) including all horizons



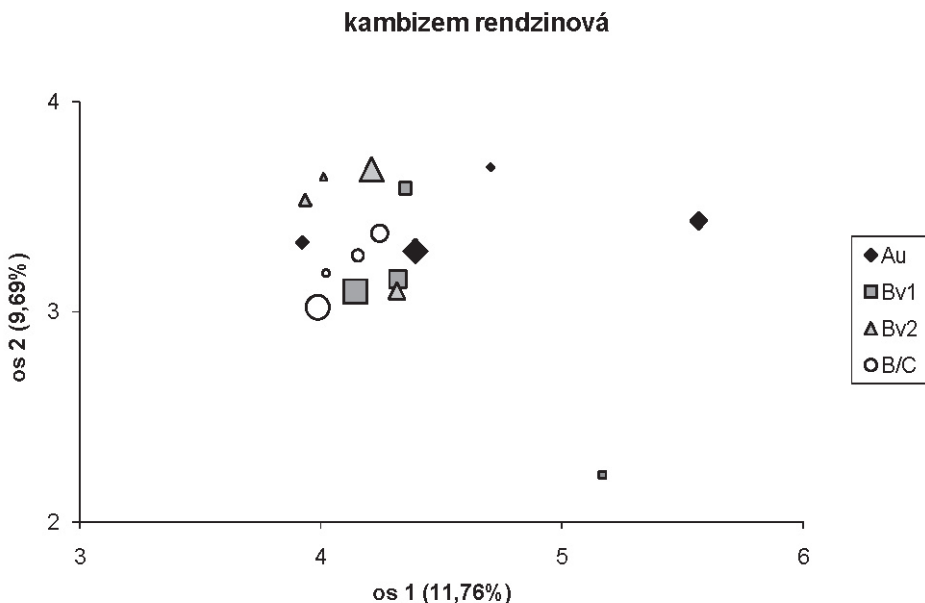
Obr. 2 Zmeny aktivity katalázy s veľkosťou frakcie pôdy v pôdnom profile podzolu (lokalita Hrochoť)

Fig. 2 Changes of the catalase activity in relation to the soil fractions in each horizon of the podzol profile (locality Hrochoť)



Obr. 3 Zmeny aktivity katalázy s veľkosťou frakcie pôdy v pôdnom profile kambizeme (lokalita Šachtický)

Fig. 3 Changes of the catalase activity in relation to the soil fractions in each horizon of the cambisol profile (locality Šachtický)



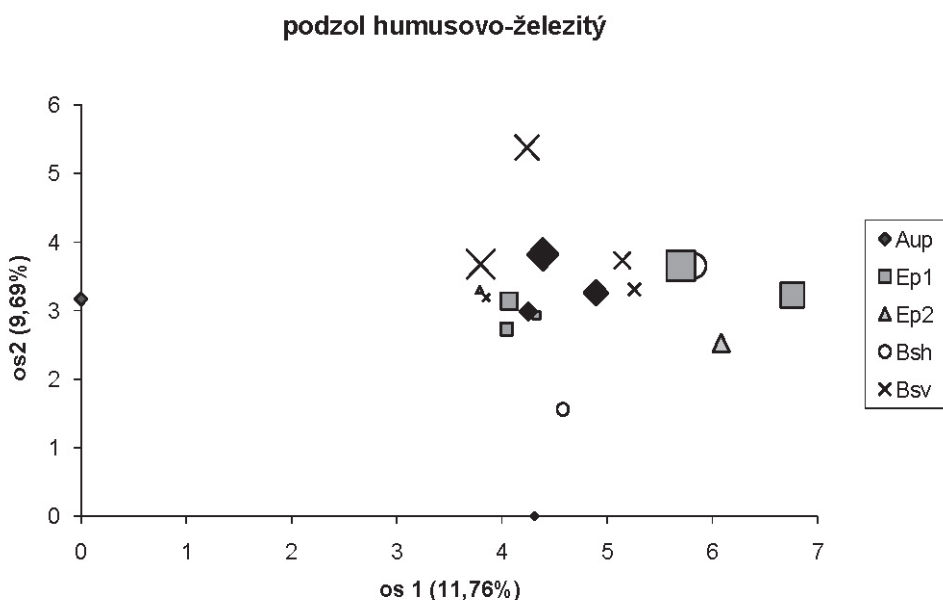
Obr. 4 Detrendovaná korešpondenčná analýza založená na frekvencii funkčných skupín mikroorganizmov podľa jednotlivých horizontov pri kambizemi rendzinovej (lokalita Šachtičky). Veľkosť symbolu korešponduje s veľkosťou frakcie

Fig. 4 Detrended correspondence analysis based on the frequency of microbial functional groups in cambisol horizons (locality Šachtičky). Symbol size corresponds to the fraction size

Ako už bolo spomenuté, jedným z hlavných determinantov vysokej mikrobiálnej diverzity v pôdach môže byť priestorová izolácia ako funkcia veľkosti frakcie a pôdnej vlhkosti, ktorá by mohla viesť k rozdielnej štruktúre mikrobiálnych spoločenstiev nachádzajúcich sa napríklad aj vo vnútri skeletu a v jemnozemi. CERTINI *et al.* (2004) pomocou elektrónovej mikroskopie zistili vo vzorkách z A-horizontu, že hýfy húb „obopínajú“ nielen agregáty, ale aj samotný skelet, pričom sa nachádzajú najmä v rôznych priehlbínach skeletu a často vytvárajú akýsi hubový plášť. Niektoré hýfy síce prenikali až do skeletu, ale nešlo o hĺbku väčšiu ako 1–2 mm. Podľa týchto výsledkov mikroorganizmy sa nachádzajú skôr na povrchu skeletu ako priamo v samotnom skelete. Predpokladá sa, že na povrchu skeletu sa vytvára biofilm, ktorý je výsledkom adhézie a rastu mikroorganizmov na rozhraní skeletu a okolitého prostredia.

Pre hodnotenie rozdielov vo variabilite funkčných skupín pôdnych mikroorganizmov medzi jednotlivými frakciami zeminy v rôznych horizontoch sme použili vzorky z dvoch veľmi rozdielnych pôd – podzolu humusovo-železitého z Hrochote a kambizeme rendzinovej zo Šachtičiek. DCA ukázala, že pri kambizemi rendzinovej vo všeobecnosti nepozorovať rozdiely v štruktúre funkčných skupín mikroorganizmov v spojitosti s veľkosťou

frakcie (obr. 4). Na druhej strane, pokiaľ ide o štruktúru spoločenstiev podľa jednotlivých horizontov, zdá sa, že vo všetkých frakciách sú si spoločenstvá najpodobnejšie v najspodnejšom zo sledovaných horizontov – v B/C, avšak smerom k pôdnemu povrchu sa zloženie mikrobiálnych spoločenstiev medzi jednotlivými frakciami čím ďalej, tým viac líši. Inú situáciu možno pozorovať pri podzole (obr. 5), kde menšie frakcie sa vyznačujú zastúpením navzájom si podobnejších funkčných skupín, na druhej strane, rozdiely medzi jednotlivými horizontmi nie sú také viditeľné ako v prípade predchádzajúcej pôdy. Avšak aj tu pozorovať určité náznaky zväčšovania rozptylu v štruktúre mikrobiálneho spoločenstva v jednotlivých frakciách s približovaním sa k pôdnemu povrchu.



Obr. 5 Detrendovaná korešpondenčná analýza založená na frekvencii funkčných skupín mikroorganizmov podľa jednotlivých horizontov pri podzole humusovo-železitom (lokalita Hrochoť). Veľkosť symbolu korešponduje s veľkosťou frakcie

Fig. 5 Detrended correspondence analysis based on the frequency of microbial functional groups in podzol horizons (locality Hrochoť). Symbol size corresponds to the fraction size

ZÁVER

Meranie aktivity katalázy v rôznych frakciách zeminy na jednej strane potvrdilo pokles mikrobiálnej aktivity so zväčšujúcou sa veľkostiou frakciou, na druhej strane, ukázalo sa, že intenzita poklesu v značnej miere závisí od toho, či uvedená frakcia je tvorená skeletom alebo či v nej dominujú makroagregáty. Pritom výraznejšie rozdiely v aktivite katalázy medzi jednotlivými frakciami sme zaznamenali v horizontoch bohatších na pôdnu

organickú hmotu. Výsledky štúdie variability funkčných skupín pôdných mikroorganizmov nepoukázali na rozdiely v štruktúre mikrobiálnych spoločenstiev medzi jednotlivými frakciami, aj keď pri podzole určité náznaky, najmä pri jemnejších frakciách, existujú.

Podakovanie

Táto štúdia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt Centrum excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy, ITMS: 26220120006, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

- AGNELLI A., UGOLINI F.C., CORTI G., PIETRAMELLARA G., 2001: Microbial biomass-C and basal respiration of fine earth and highly altered rock fragments of two forest soils. *Soil Biology and Biochemistry* 33: 613–620.
- CERTINI G., CAMPBELL C.D., EDWARDS A.C., 2004: Rock fragments in soil support a different microbial community from the fine earth. *Soil Biology and Biochemistry* 36: 1119–1128.
- DRAZKIEWICZ M., 1994: Distribution of microorganisms in soil aggregates: effect of aggregate size. *Folia Microbiologica* 39: 276–282.
- GARLAND J.L., 1995: Analytical approaches to the characterization of samples of microbial communities using patterns of potential C source utilization. *Soil Biology and Biochemistry* 28: 213–221.
- CHAZIEV F.CH., 1976: Fermentativnaja aktivnost' počv. Metodičeskoe posobje, Moskva.
- RANJARD L., RICHARME A., 2001: Quantitative and qualitative microscale distribution of bacteria in soil. *Research in Microbiology* 152: 707–716.
- SEIFERT J., 1962: The influence of the soil structure and moisture content on the number of bacteria and degree of nitrification. *Folia Microbiologica* 7: 234–238.
- SIX J., BOSSUYT H., DEGRYZE S., DENEJ K., 2004: A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and Tillage Research* 79: 7–31.
- STEMMER M., GERZABEK M.H., KANDELER E., 1998: Organic matter and enzyme activity in particle-size fractions of soils obtained after low-energy sonication. *Soil Biology and Biochemistry* 30: 9–17.
- TER BRAAK, C.J.F., ŠMILAUER, P., 1998: CANOCO Reference Manual and User's Guide to Canoco for Windows. Software for Canonical Community Ordination (version 4). Centre of Biometry, Wageningen.
- UGOLINI F.C., CORTI G., AGNELLI A., PICCARDI F., 1996: Mineralogical, physical and chemical properties of rock fragments in soil. *Soil Science* 161: 521–542.
-

Adresa autora:

Doc. Ing. Erika Gömöryová, CSc.

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24

960 53 Zvolen

e-mail: egomory@vsld.tuzvo.sk

Aktivita pôdných mikroorganizmov vo vzťahu k veľkostným frakciám zeminy

Abstrakt

Zrnitostné zloženie pôdy a s ňou súvisiace ďalšie vlastnosti významnou mierou ovplyvňujú životné podmienky pôdných mikroorganizmov. Cieľom práce bolo porovnať aktivitu pôdných mikroorganizmov na príklade aktivity katalázy a zastúpení funkčných skupín metódou BIOLOG® v rôznych veľkostných frakciách zeminy (< 2, 2–5, 5–10, 10–25, > 25 mm), zahrňujúcich okrem jemnozeme aj pôdny skelet a makroagregáty. Analýzy sme vykonali zo vzoriek, odobratých z rôznych horizontov pôdných profilov humusovo-železitých podzolov, kambizeme rendzinovej a rendziny kambizemnej. Pri všetkých pôdných typoch sme zaznamenali pokles aktivity katalázy s narastajúcou veľkosťou frakcie, pričom rozdiely medzi frakciami sú najväčšie v tých horizontoch, ktoré sú najbohatšie na organickú hmotu. Pokiaľ ide o štruktúru spoločenstiev, kým pri kambizemi rendzinovej sme nezaznamenali rozdiely medzi jednotlivými frakciami, pri podzole sa menšie frakcie vyznačovali zastúpením navzájom si podobnejších funkčných skupín.

Kľúčové slová: aktivita mikroorganizmov, pôdne agregáty, pôdny skelet

MODELOVÉ STANOVENIE KULMINAČNÝCH PRIETOKOV V BYSTRINÁCH VYSOKÝCH TATIER PO VETROVEJ KALAMITE

Matúš J A K U B I S – Mariana J A K U B I S O V Á

Jakubis, M., Jakubisová, M.: The model determination of culmination discharges in torrents of West Tatras after wind calamity. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, 53(1): 73–88, 2011.

The report deals with the determination of culmination discharges after wind calamity (19. 11. 2004) in connection with hydrologic efficiency of forest ecosystems in five small watersheds of High Tatras: Malý Štiavnik (watershed area $S_{\text{pov}} = 0.875 \text{ km}^2$, forest coverage before/after calamity $l_{\%} = 91.4/70.1\%$), Veľký Jazyk (watershed area $S_{\text{pov}} = 1.193 \text{ km}^2$, forest coverage $l_{\%} = 77.5/65.9\%$), Štiavnik (watershed area $S_{\text{pov}} = 1.637 \text{ km}^2$, forest coverage $l_{\%} = 55.8/45.9\%$), Päť prameňov (watershed area $S_{\text{pov}} = 0.981 \text{ km}^2$, forest coverage $l_{\%} = 88.7/64.5\%$) and Pod Hrebienkom (watershed area $S_{\text{pov}} = 2.732 \text{ km}^2$, forest coverage $l_{\%} = 83.1/63.7\%$). The calculation of culmination discharges was realised by SCS-CN method and by rainfall-runoff model HEC-HMS. Calculated culmination discharges in experimental profiles after disturbance of forest ecosystems by wind calamity are higher, but the differences are not clear.

Keywords: torrents, culmination discharge, hydrologic efficiency, wind calamity

1 ÚVOD A PROBLEMATIKA

Problematika vplyvu disturbance lesných ekosystémov Vysokých Tatier na vytváranie kulminačných prietokov si vyžaduje dlhoročné merania a pozorovania. Za obdobie od vetrovej kalamity po súčasnosť (necelých 7 rokov) nie je presné vystihnúť zmien kulminačných prietokov pred kalamitou a po nej z viacerých dôvodov reálne. V práci sme sa zamerali na časť súvisiacej problematiky, ktorá sa týka vplyvu disturbance lesného ekosystému na odtok a vytváranie kulminačných prietokov v piatich modelových bystrinných povodiach Vysokých Tatier. Porovnali sme vypočítané modelové kulminačné prietoky v týchto bystrinách pred vetrovou kalamitou a po nej.

V malých bystrinných povodiach na tvorbu a priebeh odtoku významne vplývajú intenzívne zrážky s krátkou dobou trvania a spôsob využívania jednotlivých častí povodia. Takéto povodia sú charakteristické tým, že v nich môžu vznikať rýchle a nebezpečné lokálne povodne, vrátane sprievodných, extrémne deštruktívnych erózných procesov. K takýmto javom dochádza predovšetkým po extrémnych prívalových zrážkach. Nebezpečenstvo lokálnych povodní sa zvyšuje po prírodných katastrofách (kalamity, požiare, lavíny). Takouto katastrofou, ktorá postihla viac povodí Vysokých Tatier, bola aj vetrová kalamita

dňa 19. 11. 2004. Kalamitou sa o. i. znižila hydrická účinnosť lesných ekosystémov v postihnutých povodiach. Hydrická účinnosť lesných ekosystémov je predmetom výskumu už viac ako sto rokov (HEGG *et al.* 2006), avšak vzhľadom na rozdielnosť množstva faktorov v rôznych lokalitách výskumu nie je možné v tomto smere vykonať detailné zovšeobecnenia. Na vodohospodársky význam lesa poukázalo v mnohých súvislostiach viac domácich aj zahraničných autorov (ZELENÝ *et al.* 1980, KREČMER, KREČEK, 1981, VALTÝNI 1986, 2002, KREČMER *et al.* 1998, MINĐÁŠ, ČABOUN 2002, BÍBA *et al.* 2006 a iní). MAJERČÁKOVÁ, ŠKODA (1998) uvádzajú, že hydrická funkcia lesa, chápaná ako jeho intercepčná kapacita, infiltračná kapacita lesnej pôdy a horninového prostredia i schopnosť lesa spomaľovať odtok z malého povodia, sa môže pozitívne prejavovať len v zrážkovo-odtokovom procese pri zrážkach nepresahujúcich 20 až 24 mm za 24 hodín a že význam hydrickej funkcie lesného ekosystému narastá v rámci sezónnych alebo ročných hydrologických bilancií. VALTÝNI (2002) uvádza, že skutočná retenčná kapacita lesných porastov je pomerne veľká (30 až 70 mm), ale nie až natoľko, aby bola schopná zabrániť vzniku povodne, ak sa vyskytnú extrémne zrážky v čase nasýtenia lesných porastov predchádzajúcimi zrážkami. MINĐÁŠ, ČABOUN (2002) uvádzajú retenčnú schopnosť lesného ekosystému 30–40 mm, po extrémnych zrážkach až 68 mm, BÍBA *et al.* (2006) uvádza hodnotu zrážok zadržaných lesom 50 mm. Stanovenie vplyvu lesných ekosystémov na tvorbu a priebeh odtoku nie je vzhľadom na veľkú variabilitu ich hydrickej účinnosti a množstvo ďalších vplývajúcich faktorov jednoduché. V tomto smere je potrebné zohľadniť ekologické rady, skupiny lesných typov, zdravotný stav lesných porastov, ich vek, priestorové rozmiestnenie v povodí, výškovú variabilitu, zakmenenie, zápoj, formu humusu, jeho hrúbku atď. Dôležitý význam pri tvorbe odtoku zohráva lesná cestná sieť, najmä jej hustota a kvalita, druh a kvalita odvodňovacích zariadení, údržba spomínaných prvkov a pod. Vplyv lesných ekosystémov na tvorbu a priebeh odtoku nie je možné stanoviť izolovane od iných faktorov (pedologických, hydrogeologických, geomorfologických, meteorologických, klimatických atď.). Problematikou rizikových faktorov pri vzniku povodní sa podrobnejšie zaoberala GREŠKOVÁ (2001). Zásadnú úlohu v odtokovom procese a následne pri vzniku povodní zohráva nasýtenosť povodia predchádzajúcimi zrážkami a tiež doba koncentrácie odtoku.

2 MATERIÁL

2.1 Geografické a hydrologické začlenenie povodí

Analyzované povodia sa nachádzajú v geomorfologickom celku Tatry, podcelku Východné Tatry, časti Vysoké Tatry. Malý Štiavnik je ľavostranný prítok Slavkovského potoka, do ktorého sa vlieva v nadmorskej výške 881,8 m juhovýchodne od Tatranských Zrubov. Veľký Jazyk je pravostranný prítok bystriny Štiavnik, do ktorej sa vlieva v nadmorskej výške 867,2 m západne od Dolného Smokovca. Štiavnik je ľavostranným prítokom Slavkovského potoka, do ktorého sa vlieva v nadmorskej výške 749,7 m južne od Dolného Smokovca. Päť prameňov je ľavostranným prítokom bystriny Štiavnik, do ktorej sa vlieva v nadmorskej výške 867,2 m západne od Dolného Smokovca, resp. severozápadne od obce Veľký Slavkov. Bystrina Pod Hrebienkom je ľavostranným prítokom bystriny

Štiavnik, do ktorej sa vlieva v nadmorskej výške 867,2 m západne od Dolného Smokovca. Všetky uvedené bystriny sa nachádzajú v povodí rieky Poprad, resp. jeho čiastkového povodia Slavkovský potok. Slavkovský potok je ľavostranný prítok rieky Poprad, do ktorej sa vlieva v nadmorskej výške 653 m pri obci Matejovce.

2.2 Základné charakteristiky povodí

Základné charakteristiky povodí sú podrobne obsiahnuté v tab. 2.1. Hydrologické charakteristiky povodí sú spracované v tab. 2.2.

Tab. 2.1 Charakteristiky povodí

Table 2.1 Characteristics of the watersheds

Názov	Označenie	Malý Štiavnik	Veľký Jazyk	Štiavnik	Päť prameňov	Pod Hrebienkom
1	2	3	4	5	6	7
Plocha povodia	S_{pov}	0,875 km ²	1,193 km ²	1,637 km ²	0,981 km ²	2,732 km ²
Dĺžka rozvodnice	O	6,425 km	6,625 km	7,450 km	5,625 km	8,150 km
Dĺžka hlavného toku	L	0,925 km	0,975 km	1,925 km	1,375 km	1,500 km
Dĺžka ľavostr. prítokov.	L_l	0 km	0,800 km	0 km	0 km	0 km
Dĺžka pravostr. prítokov	L_p	0 km	0 km	0 km	0,750 km	0 km
Celková dĺžka tokov	L_c	0,925 km	1,775 km	1,925 km	2,125 km	1,500 km
Hustota tokov v povodí	r	1,06 km/km ²	1,49 km/km ²	1,18 km/km ²	2,17 km/km ²	0,55 km/km ²
Súčiniteľ tvaru povodia	α	0,09	0,12	0,13	0,13	0,25
Dĺžka údolnice	L_u	3,075 km	3,200 km	3,575 km	2,750 km	3,300 km
Stredná šírka povodia	B_p	0,284 km	0,373 km	0,458 km	0,357 km	0,828 km
Pomer šírka/dĺžka pov.	$\bar{s} : d$	1 : 10,8	1 : 8,6	1 : 7,8	1 : 7,7	1 : 4,0
Miera asymetrie povodia	a	0,1	-0,3	-0,5	0,4	-0,2
Absolútny spád toku	ΔH_t	124 m	126 m	318 m	160 m	188 m
Priemerný sklon toku	I_t	13,41 %	12,92 %	16,52 %	11,64 %	12,53 %
Absolútny spád povodia	ΔH_p	965 m	1042 m	1276 m	710 m	1075 m
Priem. nadm. výška pov.	$H_{\Phi\text{ pov}}$	1273 m n. m.	1306 m n. m.	1528 m n. m.	1239 m n. m.	1308 m n. m.
Stred. sklon svahov pov.	$I_{sv\text{ pov}}$	26,80 %	28,60 %	39,20 %	26,40 %	27,40 %
Priemerný sklon údol.	I_u	31,38 %	32,56 %	33,71 %	25,82 %	26,67 %

Tab. 2.1 Pokračovanie
Table 2.1 Continue

Názov	Označenie	Malý Štiavnik	Veľký Jazyk	Štiavnik	Päť prameňov	Pod Hrebenkom
1	2	3	4	5	6	7
Plocha lesa (bez kos.)	S _{LES}	0,675 km ²	0,870 km ²	0,734 km ²	0,808 km ²	1,784 km ²
Plocha lesa 6. lvs	S _{LES6}	0,439 km ²	0,479 km ²	0,462 km ²	0,469 km ²	1,231 km ²
Plocha lesa 7. lvs	S _{LES7}	0,236 km ²	0,391 km ²	0,272 km ²	0,339 km ²	0,553 km ²
Plocha lesa po kalamite	S _{LK}	0,488 km ²	0,743 km ²	0,572 km ²	0,571 km ²	1,253 km ²
Plocha kalamity	S _{KAL}	0,187 km ²	0,127 km ²	0,162 km ²	0,237 km ²	0,531 km ²
Zastavaná plocha	S _{ZAST}	0,0 km ²	0,010 km ²	0,062 km ²	0,031 km ²	0,199 km ²
Kosodrevina (8.lvs)	S _{KOS8}	0,125 km ²	0,043 km ²	0,180 km ²	0,062 km ²	0,487 km ²
Plocha lesa a kos. spolu	S _{LES+KOS}	0,800 km ²	0,913 km ²	0,914 km ²	0,870 km ²	2,271 km ²
Lesnatosť pov. pred kal.	l %	91,4 %	77,5 %	55,8 %	88,7 %	83,1 %
Lesnatosť pov. po kal.	l k %	70,1 %	65,9 %	45,9 %	64,5 %	63,7 %
Plocha bez vegetácie	SBV	0,075 km ²	0,270 km ²	0,661 km ²	0,080 km ²	0,262 km ²
Max. nadm. výš. údol.	H _{maxúdol.}	1970 m n. m.	2040 m n. m.	2202 m n. m.	1700 m n. m.	1865 m n. m.
Max. nadm. výška pov.	H _{max}	1970 m n. m.	2040 m n. m.	2273 m n. m.	1700 m n. m.	2060 m n. m.
Min. nadm. výška pov.	H _{min}	1005 m n. m.	998 m n. m.	997 m n. m.	990 m n. m.	985 m n. m.
Max. nadm. výška toku	H _{maxt}	1129 m n. m.	1124 m n. m.	1315 m n. m.	1150 m n. m.	1173 m n. m.

Tab. 2.2 Hydrologické charakteristiky povodí
Table 2.2 Hydrologic characteristics of the watersheds

Hydrologické charakteristiky	Názov toku				
	Malý Štiavnik	Veľký Jazyk	Štiavnik	Päť prameňov	Pod Hrebienkom
1	2	3	4	5	6
$H_{\Phi \text{ pov}}$ (m n.m.)	1273	1306	1528	1239	1308
Z (mm)	1057	1077	1209	1037	1078
E_{pi} (mm)	402	395	351	409	395
O (mm)	677	702	869	652	703
E (mm)	380	375	340	385	375
T (°C)	3,63	3,46	2,35	3,80	3,45
$H_{100 \text{ id}}$	120,8	122,4	132,6	119,3	122,5

Vysvetlivky k tab. 2.2:

$H_{\Phi \text{ pov}}$ priemerná nadmorská výška povodia (m n. m.), Z – priemerný ročný zrážkový úhrn (mm), E_{pi} index potenciálnej ročnej evapotranspirácie (mm), O – priemerná ročná odtoková výška (mm), E – priemerný ročný klimatický výpar (mm), T – priemerná ročná teplota (°C) $H_{100 \text{ id}}$ – 100-ročný denný zrážkový úhrn.

3 METODIKA

Na stanovenie kulminačného prietoku sme použili zrážkovo-odtokový (hydrologický) model (ZOM) HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System (FORD *et al.* 2008). ZOM HEC-HMS slúži na simuláciu zrážkovo-odtokového procesu. Pozostáva z troch častí:

- Model povodia, obsahujúci informácie o povodí a jeho štruktúre. Povodie je členené na podpovodia (segmenty), pre každý segment sa zadávajú vstupné charakteristiky. Základnou vstupnou charakteristikou je plocha (rozloha).
- Model zrážok, obsahujúci informácie o zrážkach. Do modelu je potrebné zadať návrhový dážď vo forme hyetogramu.
- Model kontrolnej špecifikácie, obsahujúci údaje o začiatku, konci a zvolenom časovom kroku simulácie zrážkovo-odtokovej udalosti.

Na odvodenie objemu odtoku je možné z viacerých možností použiť metódu čísel odtokových kriviek (CN). Na tento účel je potrebné analyzovať jednotlivé spôsoby využívania plôch v povodí, pôdne druhy a predchádzajúce zrážky. Na odvodenie hydrogramu priameho odtoku je možné využiť metódu jednotkového hydrogramu SCS. Algoritmus výpočtu vychádza z metódy SCS-CN, ktorú sme použili aj pre bežné výpočty kulminačného prietoku. Vstupnými charakteristikami sú počiatočná strata $I_a = 0,2 \text{ A}$ (mm), potenciálna retencia povodia A (mm), ktorú model vypočíta podľa vzťahu (3.4), percentuálne zastúpenie jednotlivých druhov využívania plôch v povodí (%) a čísla odtokových kriviek CN. Na výpočet prietoku v koryte sme použili metódu kinematickej vlny po zadaní dĺžky toku (m), jeho priemerného sklonu (%), stupňa drsnosti n , tvaru koryta (približne

lichobežníkový) a geometrických charakteristik pokusného prietokového profilu. Základnou výstupnou charakteristikou modelu HEC-HMS je kulmináčny prietok ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Na modelové výpočty kulmináčnych prietokov $Q_{\max}$ sme použili postup výpočtu metódou SCS-CN (Soil Conservation Service-Curve Number), ktorú pre viaceré malé povodia SR overili s dobrými výsledkami VALTÝNI (2002) a JAKUBIS, JAKUBISOVÁ (2010) a na výpočet kulmináčnych prietokov ju doporučujú aj viacerí renomovaní zahraniční autori (CHOW *et al.* 1988, MAIDMENT 1993, MISHRA, SINGH 2003, RAMAKRISHNAN *et al.* 2009 a iní). Charakteristiky povodí boli stanovené pomocou GIS.

Vypočítané kulmináčné prietoky $Q_{\max}$ pred kalamitou a po kalamite boli navzájom porovnané. Aby sme posúdili potenciálne ohrozenie okolia posudzovaných bystrín v blízkosti uzavierajúcich PP povodňami, v teréne sme niveláciou odmerali geometrické a stanovili hydraulické charakteristiky pokusných prietokových profilov jednotlivých bystrín. Vypočítali sme, aké sú prirodzené prietokové kapacity pokusných prietokových (uzavierajúcich) profilov a zároveň aké kulmináčné prietoky môžu prietokovými profilmi pretiecť bez vyliatia sa vody z koryta. Kulmináčny prietok sme stanovili vzťahom:

$$Q_{\max} = \frac{2 \cdot O_{OP}}{t_{pp}} \quad (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}) \quad (3.1)$$

Vo vzťahu (3.1) znamená:

- $Q_{\max}$ – maximálny (kulmináčny) prietok ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$),
- O_{OP} – celkový objem povrchového odtoku (m^3),
- t_{pp} – čas trvania povodňového prietoku (s).

Celkový objem povrchového odtoku vypočítame:

$$O_{OP} = H_{OP} \cdot S_p \cdot k \quad (\text{m}^3) \quad (3.2)$$

Vo vzťahu (3.2) znamená:

- H_{OP} – výška povrchového odtoku (mm),
- S_p – plocha povodia (km^2),
- k – rozmerový koeficient ($k = 1000$).

Výšku povrchového odtoku vypočítame:

$$H_{OP} = \frac{(H_z - 0,2 \cdot A)^2}{H_z + 0,8 \cdot A} \quad (\text{mm}) \quad (3.3)$$

Vo vzťahu (3.3) znamená:

- H_z – výška uvažovanej zrážky (mm),
- A – potenciálna retencia konkrétnej časti povodia (mm).

Potenciálnu retenciu konkrétnej časti povodia vypočítame vzťahom:

$$A = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (\text{mm}) \quad (3.4)$$

Vo vzťahu (3.4) znamená:
CN – číslo (hodnota) CN krivky.

Čísla (hodnoty) CN kriviek (curve number) pre rôzne spôsoby využívania povodia sú najdôležitejším parametrom vo výpočtoch modelových kulminačných prietokov. Výber hodnoty CN môže byť ovplyvnený subjektívnym pohľadom. Spresňovanie, resp. objektivizácia hodnôt CN pre rôznu kvalitu lesných ekosystémov je zaujímavým námetom pre výskum lesníckej hydrológie v budúcnosti. Hodnoty CN (pre lesné ekosystémy rôznej kvality, resp. hydrickej účinnosti) v ťažiskových prácach podrobne uvádzajú CHOW *et al.* (1988), MAIDMENT (1993) a iní. Pre lesné ekosystémy s rôznou hustotou, vekom, rúbaniská, porasty poškodené vetrovou kalamitou, približovacie linky, mladé porasty (nárasty) a pod. ich podrobne definoval CIEPIEŁOWSKI *et al.* (2002). Presnosť výpočtu kulminačného prietoku je zásadne ovplyvňovaná správnym výberom hodnoty CN vo výpočtoch.

Čas trvania povodňového prietoku t_{pp} do vzťahu (3.1) stanovíme:

$$t_{pp} = 3 \cdot t_p \quad (s) \quad (3.5)$$

Vo vzťahu (3.5) znamená:
 t_p – celkový čas trvania koncentrácie odtoku (s) vypočítame:

$$t_p = \frac{t_z}{2} + 0,6 t_{ks} \quad (s) \quad (3.6)$$

Vo vzťahu (3.6) znamená:
 t_z – čas trvania kritickej zrážky (s),
 t_{ks} – prepočítaný čas koncentrácie odtoku (s) určíme vzťahom:

$$t_{ks} = 3600 \cdot t_{kh} = 60 \cdot t_{kmin} \quad (s) \quad (3.7)$$

Výpočet času koncentrácie odtoku v hodinách t_{kh} vypočítame vzťahom:

$$t_{kh} = \left(0,868 \cdot \frac{L^3}{\Delta H_t} \right)^{0,385} \quad (h) \quad (3.8)$$

Vo vzťahu (3.8) znamená:
L – dĺžka hlavného toku (km),
 ΔH_t – absolútny spád hlavného toku (m).

Výpočet času koncentrácie odtoku v minútach t_{kmin} je možné uskutočniť vzťahom:

$$t_{kmin} = 0,0195 \cdot L^{0,77} \cdot i_t^{-0,385} \quad (min) \quad (3.9)$$

Vo vzťahu (3.9) znamená:
L – dĺžka hlavného toku (m),
 i_t – priemerný pozdĺžny sklon hlavného toku (m/m).

Vo výpočtoch sme vychádzali z hodnoty maximálnych denných úhrnov zrážok v predmetnej oblasti Vysokých Tatier dosiahnutých alebo prekročených priemerne raz za sto rokov. Hodnotu maximálneho denného úhrnu zrážok dosiahnutých alebo prekročených priemerne raz za sto rokov sme stanovili odvodením z údajov, ktoré publikoval HEINIGE *et al.* (1995) pre Starý Smokovec (1007 m n. m.) kde $H_z = H_{100 id} = 108,5$ mm

a Hrebienok (1267 m n. m.) kde $H_z = H_{100\text{id}} = 120,5$ mm. Tieto úhrny pre jednotlivé povodia obsahuje tab. 2.2.

Aby bolo možné zistiť skutočnú prietokovú kapacitu uzavierajúcich prietokových profilov povodí a uskutočniť jej posúdenie s ohľadom na vypočítané kulminačné prietoky pred kalamitou a po kalamite, zmerali, resp. stanovili sme na každej bystrine potrebné vstupné charakteristiky pre príslušné výpočty. Na skúmaných bystrinách sme založili v rovných úsekoch pokusné úseky (PÚ) s dĺžkami cca 3 · B (B = šírka koryta v brehoch) a na nich pokusné profily (PP) tak, aby PP vystihovali celkový charakter vybraného PÚ. Na PP (PÚ) sme niveláciou určili pozdĺžny sklon dna. Na každom PP sme odobrali z vytýčeného pruhu (kolmo na os toku) so šírkou d_{max} vzorku splavenín z povrchovej vrstvy nad (50 kg) na zrnitostný rozbor a určenie stupňa drsnosti dna. Niveláciou sme zmerali geometrické charakteristiky PP – šírku dna b (m), šírku koryta v brehoch B (m), výšku prietokového profilu H (m). V rámci spracovania sme vyniesli na mm papier priečne rezy PP, digitálnym planimetrom zistili hodnoty plochy prietokových profilov S_{pp} (m²) a zmeraním dĺžky čiastkových omočených obvodov O_1 (m), O_2 (m) a celkového omočeného obvodu O (m). Hodnotu výšky PP – H (m) sme určili ako priemer hĺbok po každých 10 cm. Priemernú profilovú rýchlosť sme vypočítali Chezyho rýchlostnou rovnicou s Pavlovského rýchlostným súčiniteľom. Kapacitný prietok sme vypočítali vzťahom $Q_k = S_{\text{pp}} \cdot v$ (m³·s⁻¹). Geometrické charakteristiky prietokových profilov jednotlivých tokov sú podrobne uvedené v tab. 4.5, hydraulické charakteristiky sú uvedené v tab. 4.6.

4 VÝSLEDKY

Výsledné hodnoty modelových kulminačných prietokov v uzavierajúcich prietokových pre rôzne trvania prietokov pred kalamitou a po kalamite sú uvedené v tab. 4. 2 –4. 4.

Rozdiely vo vypočítaných kulminačných prietokoch pred kalamitou a po kalamite ku zvoleným uzavierajúcim prietokovým profilom povodí (hodnoty rozdielov v absolútnom vyjadrení obsahujú tab. 4. 2 až 4. 4) nie sú príliš výrazné. Relatívne nízke rozdiely kulminačných prietokov pred kalamitou a po kalamite môžeme zdôvodniť viacerými skutočnosťami:

Vo všetkých analyzovaných povodiach sa lesné porasty vyskytujú v 6., 7. a 8. lesnom vegetačnom stupni (lvs). Hranica medzi 5. (jedľovo-bukovým) a 6. (smrekovo-bukovo-jedľovým) lvs prebieha približne v nadmorskej výške 1000 m n. m., teda približne v miestach uzavierajúcich prietokových profilov povodí. V nadmorskej výške približne 1200–1250 m n. m. nastupuje 7. lvs (smrekový). Na tento lvs nadväzuje v nadmorskej výške približne 1450–1500 m 8. lvs (kosodrevinový). Hydrický potenciál lesných ekosystémov v 7. a 8. lvs je relatívne nízky, hydrický potenciál lesných ekosystémov v 6. lvs je priemerný (VALTÝNI 2002). Skupiny lesných typov (slt), ktoré sa v povodiach vyskytujú, je možné zaradiť v zmysle fytocenologického chápania do radu A – kyslého, ktoré majú malý hydrologický význam.

Ak vezmeme do úvahy súčasnú prietokovú kapacitu prirodzených uzavierajúcich prietokových profilov jednotlivých povodí, ohrozenie okolia povodňami v ich blízkosti nie je zvlášť významné.

V súvislosti s vytváraním kulminačných prietokov sú dôležité aj ďalšie skutočnosti.

Analyzované povodia sú orientované približne v smere sever-juh s pomerom šírky ku dĺžke od 1 : 10,8 (Malý Štiavnik) do 1 : 4 (Pod Hrebienkom) (pozri tab. 2.1), sú to teda úzke a dlhé povodia. Relatívne vysoký pomer šírky ku dĺžke jednotlivých povodí znamená lepšiu kvalitu odtoku (rozumej vyrovnanejšie prietoky) v súvislosti s dlhšou kritickou dobou dobiehania.

Kalamita postihla dolné časti analyzovaných povodí. Boli postihnuté lesné ekosystémy v 6. lvs. Ak uvažujeme so 100-ročným denným zrážkovým úhrnom, ktorý by zasiahol celú plochu povodia rovnomerne a zároveň s tým, že odtok sa začína vytvárať už od najvyšších častí povodia, zmenená hydrická kvalita (účinnosť) lesného ekosystému po kalamite (resp. jeho zmenený hydrický potenciál) v dolnej časti povodia kulminačné prietoky mimoriadne významne neovplyvní.

Kulminačné prietoky boli vypočítané k uzavierajúcim prietokovým profilom nad Cestou slobody (z hľadiska potenciálneho ohrozenia najhustejšie zastavaných oblastí Vysokých Tatier povodňami a s ohľadom na možnosť prístupu k meraným prietokovým profilom). Sú to teda vodné toky (bystriny) najnižších rádo (v klesajúcej stupnici). Predpokladáme, že postupným spájaním sa tokov najnižších rádo (za predpokladu významných zrážkových udalostí vo viacerých analyzovaných povodiach súčasne) sa môže zvýšenie kulminačných prietokov prejavíť výraznejšie na toku vyššieho rádu, v tomto prípade napr. na toku Štiavnik v jeho dolnej časti alebo na toku Slavkovský potok, prípadne v menšej miere na rieke Poprad.

Vetrová kalamita zasiahla povodia bystrín Vysokých Tatier aj pod uvažovanými uzavierajúcimi prietokovými profilmi, teda južne od Cesty slobody. To znamená, že vplyv kalamity na zvýšenie hodnôt kulminačných prietokov sa môže prejavíť v nižších častiach tokov (nižšie umiestneným uzavierajúcim prietokovým profilom) a to podstatne významnejšími rozdielmi.

Vo výpočtoch sme uvažovali s triedou predchádzajúceho zavlaženia (nasýtenia) povodia (antecedent moisture class) – AMC II. (pozri CHOW *et al.* 1988), čo predstavuje priemernú nasýtenosť povodí predchádzajúcimi zrážkami. V prípade vyššieho nasýtenia povodia predchádzajúcimi zrážkami budú vypočítané kulminačné prietoky a tým aj ohrozenosť okolia povodňami podstatne vyššie.

Medzi faktory, ktoré by mohli zvýšiť hodnoty kulminačných prietokov a zvýšiť nebezpečenstvo povodní patrí napr. rýchle topenie sa zásob snehu vplyvom vyšších teplôt v horných častiach povodí v jarných mesiacoch, výskyt väčších nánosov mŕtveho dreva (large woody debris) v korytách a napr. aj zníženie vrstvy nadložného humusu po požiaroch atď.

Na druhej strane nebezpečenstvo povodní v skúmaných povodiach znižuje výskyt hrubého skeletu v pôdach (zvýšená infiltrácia) a vyššia hydrická účinnosť kamenných polí v povodiach. Okrem toho sa hydrická účinnosť kalamitou postihnutých lesných ekosystémov relatívne pomaly, ale významne mení v čase. S vývojom nových lesných porastov

na kalamitných plochách sa postupne zvyšuje. V budúcnosti sa prejaví zmena hydrickej účinnosti lesných ekosystémov aj v súvislosti so zmenou drevinového zloženia v nových lesných porastoch. Optimum hydrickej účinnosti dosiahnu lesné ekosystémy v dospelosti.

Tab. 4.1 Vypočítané hydrologické charakteristiky povodí

Table 4.1 Calculated hydrologic characteristics of the watersheds

Hydrologické charakteristiky	Názov toku				
	Malý Štiavnik	Veľký Jazyk	Štiavnik	Päť prameňov	Pod Hrebienkom
1	2	3	4	5	6
$Q_{\max}$ (m ³ .s ⁻¹) pred kalamitou (Dub)	3,15	4,43	6,44	3,52	7,85
$q_{\max}$ (m ³ .s ⁻¹ km ⁻²) pred kalamitou (Dub)	3,60	3,72	3,93	3,59	2,87
$Q_{\max}$ (m ³ .s ⁻¹) po kalamite (Dub)	3,64	4,77	6,80	4,13	8,88
$q_{\max}$ (m ³ .s ⁻¹ km ⁻²) po kalamite (Dub)	4,16	4,00	4,15	4,21	3,25
H_{op} (mm) pred kalamitou (SCS CN)	47,87	52,58	69,17	47,17	53,70
H_{op} (mm) po kalamite (SCS CN)	53,47	55,39	71,96	53,42	58,83
O_{op} (mm) pred kalamitou (SCS CN)	41 888	62 732	113 236	46 269	146 704
O_{op} (mm) po kalamite (SCS CN)	46 787	66 085	117 804	52 407	160 722

Poznámka k tab. 4.1: Hodnoty B a n do Dubovej rovnice boli prevzaté z OTN ŽP 3112:1-03
(B = 6,75, n = 0,415)

Tab. 4.2 Kulminačné prietoky $Q_{\max}$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) pre 100-ročné 24-hodinové zrážkový úhrny (Malý Štiavnik, Veľký Jazyk)

Table 4.2 Culmination discharges $Q_{\max}$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) for 100-yearly 24-hours precipitation amounts (Malý Štiavnik, Veľký Jazyk)

Trvanie zrážky (h)	Názov toku							
	Malý Štiavnik $H_z = 120,8 \text{ mm}$				Veľký Jazyk $H_z = 122,4 \text{ mm}$			
	Trvanie prietoku t_{pp} (s)	$Q_{\max}$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) SCS-CN / HEC		Rozdiel ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Trvanie prietoku t_{pp} (s)	$Q_{\max}$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) SCS-CN / HEC		Rozdiel ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
		Pred kala-mitou	Po kala-mite			Pred kala-mitou	Po kala-mite	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	6 277	13,35	14,91	1,56	6 326	19,83	20,89	1,06
		14,82	16,40	1,58		22,21	23,40	1,19
3	17 077	4,91	5,48	0,57	17 126	7,33	7,72	0,39
		5,40	5,97	0,57		8,06	8,49	0,43
6	33 277	2,52	2,81	0,29	33 326	3,76	3,97	0,21
		2,72	3,03	0,31		4,10	4,37	0,27
12	65 677	1,28	1,42	0,12	65 726	1,91	2,01	0,10
		1,37	1,52	0,15		2,04	2,15	0,11
18	98 077	0,85	0,95	0,10	98 126	1,28	1,35	0,07
		0,90	1,00	0,10		1,36	1,43	0,07
24	130 477	0,64	0,72	0,08	130 526	0,96	1,01	0,05
		0,71	0,76	0,05		1,02	1,07	0,05

Tab. 4.3 Kulminačné prietoky $Q_{\max}$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) pre 100-ročné 24-hodinové zrážkový úhrny (Štiavnik, Päť prameňov)

Table 4.3 Culmination discharges $Q_{\max}$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) for 100-yearly 24-hours precipitation amounts (Štiavnik, Päť prameňov)

Trvanie zrážky (h)	Názov toku							
	Malý Štiavnik $H_z = 132,6$ mm				Päť prameňov $H_z = 119,3$ mm			
	Trvanie prietoku t_{pp} (s)	$Q_{\max}$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) SCS-CN / HEC		Rozdiel ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Trvanie prietoku t_{pp} (s)	$Q_{\max}$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) SCS-CN / HEC		Rozdiel ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
		Pred kalamiťou	Po kalamiťte			Pred kalamiťou	Po kalamiťte	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	6 822	33,20	34,54	1,34	6 656	13,90	15,75	1,85
		37,18	38,68	1,50		15,43	17,48	2,05
3	17 622	12,85	13,37	0,52	17 456	5,30	6,00	0,70
		14,26	14,84	0,58		5,83	6,60	0,77
6	33 822	6,70	6,97	0,27	33 656	2,75	3,11	0,36
		7,37	7,67	0,30		2,97	3,36	0,39
12	66 222	3,42	3,56	0,14	66 056	1,40	1,59	0,19
		3,69	3,84	0,15		1,51	1,72	0,21
18	98,622	2,30	2,39	0,09	98 456	0,94	1,06	0,12
		2,44	2,53	0,09		1,00	1,12	0,12
24	131 022	1,73	1,80	0,09	130 856	0,71	0,80	0,09
		1,83	1,91	0,08		0,75	0,85	0,10

Tab. 4.4 Kulminačné prietoky $Q_{\max}$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) pre 100-ročné 24-hodinové zrážkový úhrny (Pod Hrebienkom)

Table 4.4 Culmination discharges $Q_{\max}$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) for 100-yearly 24-hours precipitation amounts (Pod Hrebienkom)

Trvanie zrážky (h)	Názov toku			
	Pod hrebienkom $H_z = 122,5 \text{ mm}$			
	Trvanie prietoku t_{pp} (s)	$Q_{\max}$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) SCS-CN / HEC		Rozdiel ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
		Pred kalamitou	Po kalamite	
1	2	3	4	5
1	6 705	43,76	47,94	4,18
		49,49	54,17	4,68
3	17 505	16,67	18,36	1,69
		18,50	20,38	1,88
6	33 705	8,71	9,54	0,83
		9,58	10,49	0,91
12	66 105	4,44	4,86	0,42
		4,80	5,25	0,45
18	98 505	2,98	3,26	0,28
		3,19	3,52	0,33
24	130 905	2,24	2,46	0,22
		2,37	2,61	0,24

Tab. 4.5 Geometrické charakteristiky pokusných prietokových profilov

Table 4.5 Geometric characteristics of experimental flow profiles

Por. č. ⁽¹⁾	Názov toku ⁽²⁾	B (m)	H (m)	S_{pp} (m^2)	O_1 (m)	O_2 (m)	O (m)	R (m)
1	2	4	5	6	7	8	9	10
1	Malý Štiavnik	2,1	0,45	0,9	1,3	1,3	2,6	0,346
2	Veľký Jazyk	2,1	0,45	1,0	1,4	1,4	2,8	0,357
3	Štiavnik	2,4	0,5	1,1	1,5	1,4	2,9	0,345
4	Päť prameňov	2,0	0,4	0,9	1,3	1,3	2,6	0,346
5	Pod Hrebienkom	2,6	0,5	1,3	1,7	1,3	3,0	0,433

⁽¹⁾serial number, ⁽²⁾name of water flow

Vysvetlivky k tab. 4.5: B – šírka koryta v brehoch (m); H – hĺbka koryta (m); S_{pp} – plocha prietokového profilu v (m^2); O_1 – čiastkový omočený obvod – dno (m), O_2 – čiastkový omočený obvod – svahy (m), O – celkový omočený obvod (m); R – hydraulický rádius (m)

Tab. 4.6 Hydraulické charakteristiky pokusných prietokových profilov
Table 4.6 Hydraulic characteristics of experimental flow profiles

Por. č. ⁽¹⁾	Názov toku ⁽²⁾	d_e (m)	n_1 (–)	n_2 (–)	n (–)	y (–)	c ($m^{0.5} \cdot s^{-1}$)	i (%)	v ($m \cdot s^{-1}$)	Q_k ($m^3 \cdot s^{-1}$)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Malý Štiavnik	0,06	0,030	0,035	0,0325	0,289	22,66	1,03	1,35	1,22
2	Veľký Jazyk	0,065	0,0305	0,035	0,0327	0,29	22,66	2,18	2,00	2,00
3	Štiavnik	0,07	0,031	0,035	0,0329	0,29	22,93	3,40	2,60	2,86
4	Päť prameňov	0,072	0,031	0,035	0,0330	0,292	22,23	1,40	1,55	1,39
5	Pod Hrebienkom	0,078	0,031	0,031	0,031	0,277	25,58	2,30	2,55	3,32

⁽¹⁾serial number, ⁽²⁾name of water flow

Vysvetlivky k tab. 4.6:

d_e – rozmer efektívneho zrna (m); n_1 , n_2 – čiastkové stupne drsnosti; n – celkový stupeň drsnosti; y – premenlivý mocniteľ; c – rýchlostný súčiniteľ Pavlovského ($m^{0.5} \cdot s^{-1}$); i – pozdĺžny sklon PP (%); v – priemerná profilová rýchlosť ($m \cdot s^{-1}$); Q_k – prietok plným prietokovým profilom – bankfull discharge ($m^3 \cdot s^{-1}$). Stupne drsnosti n_1 (dno) a n_2 (svahy) sme určili z tabuliek (STURM 2001) podľa konkrétnych podmienok PP.

Prirodzené prietokové kapacity pokusných (uzavierajúcich) prietokových profilov sú uvedené v tab. 4.6. Kulminačné prietoky, ktoré bezpečne pretečú pokusnými (uzavierajúcimi) prietokovými profilmi sú v tab. 4.2 až 4.4 vyznačené **hrubo**.

5 ZÁVER

Modelové výpočty kulminačných prietokov v analyzovaných bystrinách Vysokých Tatier môžu byť v budúcnosti dôležité z hľadiska posúdenia presnosti použitých postupov. Za prínos považujeme aj možnosť porovnania kulminačných povodňových prietokov, ktoré boli stanovené rozdielnymi metódami – metódou SCS-CN a zrážkovo-odtokovým modelom HEC-HMS. Podľa našich doterajších skúseností poskytujú obe použité metódy dobré výsledky, ktoré je možné využiť v preventívnej protipovodňovej ochrane krajiny v rámci malých povodí. Za prínos považujeme aplikáciu hodnôt (čísiel) CN kriviek podľa hydrickej účinnosti skupín lesných typov v spomínaných výpočtoch.

PodĎakovanie

Táto štúdia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt Centrum excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy, ITMS: 26220120006, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

BIBA, M., OCEÁNSKA, Z., VÍCHA, Z., JAŘABÁČ, M. 2006: Forest – hydrological research in small experimental catchments in the Beskydy Mountains. J. Hydrol. Hydromech., 54, No. 2, pp. 113–122.

- CIEPIEŁOWSKI, A., WOJCIK, J., BANASIK, K. 2002: Adaptation of the unit hydrograph method to the conditions in Polish forest. In: Proceeding of the 5th International Conference on Hydro-Science & Engineering, Warsaw: University of Technology, Faculty of Environmental Engineering, pp. 10.
- GREŠKOVÁ, A. 2001: Identifikácia rizikových oblastí a rizikových faktorov vzniku povodní v malých povodiach. *Geografický časopis*, 53, (3), s. 247–268.
- HEGG, CH., MC. ARDELL, B. W., BADOUX, A. 2006: One hundred years of mountain hydrology in Switzelland by the WSL. *Hydrol. Process.*, 20, pp. 371–376.
- HEINIGE, V., HLAVČOVÁ, K., BACÚRIK, I. 1995: Ochrana a organizácia povodia. Bratislava: STU, Stavebná fakulta, 225 s.
- CHOW, V. T., MAIDMENT, D. R., MAYS, L. W. 1988: *Applied Hydrology*. Boston, Massachusetts: Mc.Graw-Hill, Inc., pp. 572.
- JAKUBIS, M., JAKUBISOVÁ, M. 2009: Zmeny odtoku v malých povodiach Vysokých Tatier po disturbancii lesných ekosystémov vetrovou kalamitou. *Acta Facultatis Forestalis Zvolen*, 51, (3), s. 55–65.
- JAKUBIS, M., JAKUBISOVÁ, M. 2010: K stanoveniu kulminačných prietokov v súvislosti s hydrickou účinnosťou lesných ekosystémov v malých povodiach. *Acta Facultatis Forestalis Zvolen*, 52 (1) s. 89–101.
- KREČMER, V., KRČEK, J. 1981: Lesnatost jako hydrologická charakteristika povodí. *Lesnictví*, 27, č. 5, s. 461–470.
- KREČMER, V., KREŠL, J., RYNDÁ, I., ŠVIHLA, V. 1998: Vztah lesů v horských a podhorských regionech ke vzniku povodní. *Živa* (1), s. 9–12.
- MAIDMENT, D. R. (ED.) 1993: *Handbook of Hydrology*. New York: McGraw-Hill, Inc., 1423 s.
- MAJERČÁKOVÁ, O., ŠKODA, P. 1998: Prívalové dažde na severovýchodnom Slovensku. *Vodohospodársky spravodajca*, XLI, (10), s. 18–19.
- MINDÁŠ, J., ČABOUN, V. 2002: Influence of vegetation on catchment runoff. Final Report of Propject VTP 27-64 E0203, Zvolen: LVÚ, 26 pp.
- MISHRA, S. K., SINGH, V. P. 2003: *Soil conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology*. New York: Springer, 536 p.
- RAMAKRISHNAN, D., BANDYOPADHYAY, A., KUSUMA, K. N. 2009: SCS-CN and GIS-based approach for identifying potential water harvesting sites in the Kali Watershed. Mahi River Basin, India. *Journal of Earth System Science*, 118, No. 4, pp. 355–368.
- STURM, T. W. 2001: *Open channel hydraulics*. New York: McGraw-Hill, 493 p.
- VALTÝNI, J. 1986: Vodohospodársky a vodoochranný význam lesa. Zvolen: Lesnícky výskumný ústav, Lesnícke štúdie č. 38, 68 s.
- VALTÝNI, J. 2002: Lesy a povodne. Technická univerzita vo Zvolene, Vedecké štúdie 5/2001/A, 46 s.
- ZELENÝ, V., JAŘABÁČ, M., CHLEBEK, A. 1980: Nástin výsledků 25 - letého lesnicko-vodohospodářského výzkumu v Beskydech. *Lesnictví* (26), č. 8, s. 677–697.
-

Adresa autorov:

Prof. Ing. Matúš Jakubis, PhD.
Katedra lesníckych stavieb a meliorácií

Ing. Mariana Jakubisová
Katedra prírodného prostredia
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
e-mail: jakubis@vsld.tuzvo.sk

Modelové stanovenie kulminačných prietokov v bystrinách Vysokých Tatier po vetrovej kalamite

Abstrakt

Práca sa zaoberá modelovým stanovením kulminačných prietokov v piatich bystrinách Vysokých Tatier, v povodiach ktorých bola časť lesných ekosystémov postihnutá vetrovou kalamitou (19. 11. 2004). Modelové výpočty boli uskutočnené v povodiach: Malý Štiavnik (plocha povodia 0,875 km², lesnatosť povodia pred kalamitou 91,4 %, po kalamite 70,1 %), Veľký Jazyk (plocha povodia 1,193 km², lesnatosť povodia pred kalamitou 77,5 %, po kalamite 65,9 %), Štiavnik (plocha povodia 1,637 km², lesnatosť povodia pred kalamitou 55,8 %, po kalamite 45,9 %), Päť prameňov (plocha povodia 0,981 km², lesnatosť povodia pred kalamitou 88,7 %, po kalamite 64,5 %) a Pod Hrebienkom (plocha povodia 2,732 km², lesnatosť povodia pred kalamitou 83,1 %, po kalamite 63,7 %). Kulminačné prietoky boli vypočítané metódou SCS-CN (pre 100-ročné denné zrážkové úhrny s rozdielnou dobou trvania zrážok a prietokov) a zrážkovo-odtokovým modelom HEC-HMS. Vypočítané modelové kulminačné prietoky po narušení lesných ekosystémov vetrovou kalamitou sú vyššie, avšak rozdiely nie sú výrazné.

Kľúčové slová: bystriny, kulminačný prietok, lesné ekosystémy, hydrická účinnosť, vetrová kalamita

VPLYV MIKROKLIMATICKÝCH PODMIENOK NA PÔDNU RESPIRÁCIU NA KALAMITNEJ PLOCHE POŽIARISKA V TATRANSKOM NÁRODNOM PARKU

Nora MEZEIOVÁ – Jaroslav ŠKVARENINA

Mezeiová, N., Škvarenina, J.: Influence of microclimatological conditions on the soil respiration on the windfall burnt area in the Tatra National Park. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, 53(1): 89–96, 2011.

Terrestrial ecosystems play an important role in the global carbon cycle. Soil respiration is the primary path by which CO_2 fixed by land plants returns to the atmosphere. After photosynthesis, soil respiration is the second largest flux of carbon in most ecosystems. Soil carbon dioxide (CO_2) efflux derives from respiration of decomposers of soil organic matter (heterotrophic respiration) and respiration of plant rhizosphere (autotrophic respiration).

Windthrow disaster of the 19th november 2004 and subsequent fire on July 30th 2005 that engulfed Tatras National Park caused changes in many fields, e.g. in soils, hydrology, atmosphere, fauna, vegetation, landscape, etc.

Soil respiration was measured using a portable closed dynamic system with Vaisala CARBOCAP hand – held carbon dioxide meter GM70. The soil chamber was placed on fixed collars (each covering $0,071 \text{ m}^2$) with 5–10 cm inserted into the soil. Soil respiration values were directly corrected by temperature and atmospheric pressure.

On the burnt plot we recorded considerable differences in soil respiration rate between measure points, which were located in different microclimatic conditions. Microclima created by the vegetation is one of many factors influencing the soil respiration rate.

Keywords: microclimatological condition, soil respiration, TANAP

1 ÚVOD A PROBLEMATIKA

Pôda je hlavný rezervoár pre uhlík, globálne obsahuje dvakrát viac uhlíka ako atmosféra a trikrát viac ako vegetácia (GRAMIER *et al.*, 2000). Pôdna respirácia, ktorá pochádza z autotrofnej koreňovej respirácie, heterotrofnej mikrobiálnej respirácie v rizosfére a zásoby pôdy, poskytuje hlavný uhlíkový tok z terestriálnych ekosystémov do atmosféry, a tak je zaujímavou časťou globálnej uhlíkovej bilancie (BUCHMANN, 2000; SCHLESINGER a ANDREWS, 200). Množstvo pôdneho toku CO_2 závisí na produkcii CO_2 v pôde a jeho transporte z pôdy do atmosféry. Autotrofická a heterotrofická respirácia silne závisia na teplote, rastlinnej a mikrobiálnej aktivite, obsahu pôdneho organického uhlíka, jeho stupňa degradácie a dostupnosti vlhkosti.

Vzhľadom na rozlohu lesov (40 mil. km²) a schopnosť dlhodobo viazať uhlík majú lesné ekosystémy významné miesto v globálnom cykle uhlíka. Lesy viažu uhlík v živej biomase, rozkladajúcich sa zvyškoch organickej hmoty a v pôde. Boreálne lesy, kam často zaraďujú aj tatranské lesy, viažu až 3 t C/ha ročne. V posledných rokoch sa rizikom pre akumuláciu C v lesoch stáva narastajúca časová i priestorová škála disturbancií. Zvýšená mineralizácia organickej zložky pôdy spôsobuje uvoľnenie C do atmosféry. Doteraz však chýbajú poznatky o dynamike C po veľkoplošných prírodných katastrofách (MURAY *et al.* 2000, DON *et al.*, 2006).

Pôdna respirácia je v ekosystéme definovaná ako totálna produkcia CO₂ v neporušených pôdach vyplývajúca z respirácie pôdných organizmov, koreňov a mykorízy. Táto aktivita nie je narušená vstupmi organických látok do pôdy z nadzemného priestoru a z koreňov. Tri hlavné komponenty pôdnej respirácie môžu byť definované nasledovne: koreňová respirácia, respirácia povrchového opadu, respirácia organickej hmoty (zahrňujúc koreňové úlomky). Špecifická dôležitosť týchto troch komponentov široko varíruje pozdĺž miest. Meranie pôdnej respirácie je dôležité pre zistenie celkovej metabolickej aktivity v pôde, pre určenie množstva toku uhlíka cez pôdy a pre skúmanie vzťahov pôdy – atmosféry (RAICH a SCHLESINGER, 1992).

Prírodné disturbancie (napr. oheň, vetrová kalamita) alebo antropické zmeny využívania krajiny (ťažba, poľnohospodárske využívanie, odlesňovanie) často menia pôdny profil, a týmto spôsobom menia nie len zásobu uhlíka, ale aj toky uhlíka (SCHIMEL *et al.*, 1997).

Tatranský národný park patrí na Slovensku k najcennejším prírodným chráneným územiám. Kalamita z 19. novembra 2004 v tatranskej oblasti postihla mimoriadne veľké územie, dlhé vyše 30 km, s celkovou výmerou vyše 12 600 ha lesov (KOREŇ, 2005, 2006). Okrem narušenia funkcií lesa priniesla aj sekundárne riziká. Jedným z hlavných rizík je vznik požiarov, pričom najrozsiahlejší požiar od založenia národného parku vznikol 30. júla 2005 (FLEISCHER, 2005).

2 MATERIÁL A METÓDY

2.1 Výskumná plocha

Kalamitná plocha požiariska je zahrnutá do výskumných plôch pokalamitného výskumu v Tatrách, ktorý prebieha pod gesciou Výskumnej stanice ŠL TANAP-u. Pre účely pokalamitného výskumu boli založené štyri výskumné plochy s rôznym stupňom poškodenia a následného manažmentu.

Kalamitná plocha požiariska bola v r. 2004 postihnutá vetrovou kalamitou a následne v r. 2005 ju zasiahol rozsiahly požiar, čím sa výrazne zmenili jej podmienky v oblasti pôdy, vegetácie, mikroklimy a pod.. Plocha požiariska sa nachádza nad tatranskou osadou Tatranské Zruby. Nadmorská výška tejto 100 ha plochy je od 1000 do 1200 m n. m., má juhovýchodnú expozíciu so sklonom 5–10 %, pôdnym typom tejto plochy je kambizem podzolovaná. Pred vetrovou kalamitou sa na tejto ploche nachádzali dreviny skupiny lesných typov *Lariceto-Piceetum*. Zmeny v ekologických podmienkach viedli k evidentným

zmenám v bylinnej vegetácii. ŠOLTĚS *et al.* (2008) udáva, že k najpodstatnejším zmenám vegetácie došlo v rokoch 2006–2007. Najviac rozšírenými druhmi sa stali smlz chĺpkatý (*Callamagrostis villosa*) a kyprina úzkolistá (*Chamaerion angustifolium*).

2.2 Meranie pôdnej respirácie

Pôdnu respiráciu sme merali manuálne gazometrickou metódou s uzavretým systémom a IRGA sondou a to pomocou CARBOCAP Hand-Held Carbon Dioxide Meter GM70 od firmy Vaisala. Prístroj funguje na princípe schopnosti infračerveného žiarenia (IR) absorbovať molekuly CO_2 a na základe množstva molekúl stanovuje koncentráciu CO_2 v analyzovanej vzorke vzduchu.

Pri meraní sme používali bezodné komory, ktoré sa skladajú z trvalo osadených kruhov (valcov) s priemerom 30 cm a výškou 20 cm, ktoré sú spodným okrajom zapustené do zeme asi 10 cm. (Obr. 1). Druhou súčasťou bezodných komôr je vrch komory, ktorý je z toho istého materiálu, s priemerom 30 cm a výškou 15 cm (Obr. 2). Na styčnej hrane je tesnenie pre dôkladné uzavretie týchto dvoch častí komory. Do stredu vrchnej časti komory vkladáme sondu prístroja Vaisala CARBOCAP Hand – Held Carbon Dioxide Meter GM70.

Vo vrchnej časti komory je tiež inštalovaný malý ventilátor, ktorý zabezpečuje premiešavanie vzorky vzduchu v komore, keďže pri meraní toku CO_2 z pôdy v tomto uzavretom gazometrickom systéme, môže dochádzať ku vzniku gradientu koncentrácie CO_2 v komore. Tlak v komore bol s okolitým prostredím vyrovnávaný pomocou 20 cm dlhej teflónovej trubičky a priemerom 4 mm, keďže pri meraní toku CO_2 z pôdy môže dochádzať k rozdielom tlaku vzduchu medzi komorou a jej okolím.



Obr. 1 Spodná časť bezodnej komory na meranie pôdnej respirácie, trvalo osadená na výskumnej ploche

Fig. 1 Bottom part of plumbless chamber for measuring soil respiration, which is permanent installed on the research plot



Obr. 2 Uzatvorená komora počas merania pôdnej respirácie
 Fig. 2 Enclosed chamber during measurement of soil respiration

Len čo je komora umiestnená na pôde koncentrácia v priestore komory sa začne meniť. Komora uzavretá nad pôdou vyvoláva zmeny gradientu koncentrácie CO_2 v pôdnom profile a medzi pôdou – atmosférou a priestorom komory. Minimalizovanie času, keď je komora uzavretá minimalizuje vplyvy spôsobené zmenou gradientu koncentrácie CO_2 . Prudký nárast nastáva krátko po uzavretí komory na pôde ako výsledok malého tlakového rozdielu a iných narušení, v čase keď sa komora ukladá na miesto. Potom je zvyčajne pozorovaný takmer lineárny nárast koncentrácie CO_2 . Keď je sklon lineárnej regresie použitý do kalkulácie toku, vplyv zmeny difúzneho gradientu môžeme zanedbať.

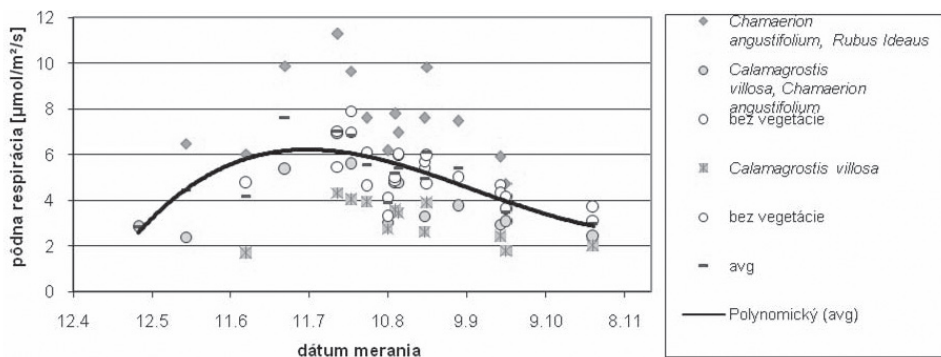
Pôdnu respiráciu sme merali počas vegetačnej sezóny 2009 približne raz za týždeň. Na ploche požiariska je umiestnená sústava meracích bodov, pre naše merania sme využili päť stálych bodov, ktoré boli odlišné svojim okolím (najmä prevládajúcou vegetáciou v okolí bodu). Dva body boli umiestnené na plôškach, ktoré ešte neboli porastené vegetáciou. V okolí jedného bodu rástli *Chamaerion angustifolium* spolu s *Rubus ideaus*, v okolí druhého bodu rasti *Calamagrostis villosa* spolu s *Chamaerion angustifolium* a v okolí tretieho bodu rástla *Calamagrostis villosa*. Pôdnu respiráciu sme merali približne 10 minút, pričom sa hodnoty koncentrácie CO_2 zaznamenávajú každých 5 sekúnd. Na meracej sonde CO_2 nastavujeme korekciu pre teplotu v $^{\circ}\text{C}$ a tlak vzduchu v mb, ktoré zisťujeme pri každom meraní (pomocou teplomeru Radelkis, Barometra Suunto, Finland). Koncentráciu CO_2 sonda meria v ppm (parts per million) a môžeme ju zobrazit' na displeji v číselnej alebo grafickej forme.

3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Plocha požiariska bola v roku 2006, po postihnutí vetrovou kalamitou a následným požiarom, charakteristická tým, že vytvárala rozmanité mikroklimatické podmienky, keďže jej povrch bol členitý. Tvorilo ho množstvo balvanov, vývrátov, miestami sa tu nachádzali holé plôšky, ktoré zatiaľ neboli porastené bylinami. Z bylinného zastúpenia mali významné miesto smlz chlpkatý (*Calamagrostis villosa*) a kyprina úzkolistá (*Chamaerion angustifolium*). V rokoch 2005–2009 sa na tejto ploche ukázal najvýraznejší nárast druhovej diverzity, počet druhov sa zvýšil z 8 až na 26 druhov (CHOVANCOVÁ, 2010).

Pri predchádzajúcom skúmaní mikroklimy plochy požiariska sa zistilo, že vytvára extrémnejšie podmienky, čo sa týka teploty a to nie len plochy ako celku ale aj v mikroklimatickom meradle (MIŠÍKOVÁ a ŠKVARENINA, 2009) a ďalej, ako najextrémnejšie z hľadiska maximálnych teplôt sa ukázali plôšky zarastené smlzom chlpkatým (*Calamagrostis villosa*). Ako extrémne sa v tom čase ukázali aj plôšky bez vegetácie, pričom extrémnejšie sa ukazovali minimálne teploty.

V roku 2009 sa na ploche FIR ešte stále nachádzali plôšky bez vegetácie, na ktorých pôdna respirácia dosahovala priemerné hodnoty (obr. 3). Aj GÖMÖRYOVÁ (2008) uvádza, že najnižšie hodnoty pôdnej respirácie namerali na lokalitách s nízkou pokrývnosťou (pokryvnosť 10 %) a najvyššie hodnoty pôdnej respirácie namerali na miestach s vysokou pokrývnosťou bylinnej vrstvy (80–100 %). GÖMÖRYOVÁ (2008) ďalej uvádza, že vysoké alebo nízke hodnoty CO₂ môžu tiež súvisieť s kvalitou a množstvom bylinného opadu. Mikroklima holej plochy ako udáva PETRIK *et al.* (1986) je extrémna a veľmi drsná. Zvyšuje sa z nej výpar a narúša sa hospodárenie pôdy s vodou. Humus sa rýchlo rozkladá, štruktúra pôdy sa zhoršuje a obmedzuje sa činnosť edafónu.



Obr. 3 Pôdna respirácia počas sezóny 2009 na ploche postihnutej požiarom podľa typu vegetácie
Fig. 3 Soil respiration during season 2009 on the burnt plot according vegetation

Najvyššie hodnoty boli trvalo merané na meracom bode, v ktorého tesnom okolí sa nachádzali *Chamaerion angustifolium* a *Rubus ideaus* a najnižšie hodnoty boli trvalo merané na meracom bode, v ktorého tesnom okolí rástla *Calamagrostis villosa* (FLEISCHER *et al.*, 2009). RAICH *et al.* (2000) uvádza, že ako výsledok pozorovaných rozdielov v pôdnej

respirácii pozdĺž rastlinných spoločenstiev môže byť často pripisovaný ovplyvňovaniu mikroklimy rastlinami. Korene rastlín však tiež významne prispievajú k pôdnej respirácii. Mikroklima, ktorá sa vytvára pôsobením porastu týchto vysokých bylín (*Chamaerion angustifolium* a *Calamagrostis villosa*), značne mení žiarivú a vodnú bilanciu a aj režim prúdenia vzduchu v porovnaní s podmienkami holej plochy (PETRÍK *et al.*, 1986). Postupným zakrytím holej pôdy vegetáciou sa obmedzuje intenzívne prehrievanie povrchu pôdy a rastlinný druh si tak upravuje vlastnú mikroklimu.

Intenzívna sukcesia trávovej vegetácie (*Calamagrostis villosa*) prispela ku vzniku mohutej vrstvy koreňov, odumretých a živých trsov s izolačným účinkom voči prestupu tepla, evaporácii, a teda strate pôdnej vlhkosti, v týchto miestach sme zaznamenali najnižšie množstvá pôdnej respirácie.

Pri skúmaní priestorovej variability hodnôt pôdnej respirácie na ploche požiariska sme zistili medzi jednotlivými bodmi významné rozdiely. Bod, v okolí ktorého rástli *Chamaerion angustifolium* a *Rubus ideaus* mal najvyššie hodnoty, a to až o 40–50 % vyššie ako body s najnižšou pôdnou respiráciou, v okolí ktorých rástla *Calamagrostis villosa*.

Všeobecne sme zistili pozitívnu koreláciu medzi teplotou a pôdnou respiráciou, korelačný koeficient na ploche požiariska bol $r^2 = 0,81$. Aj viacero autorov potvrdzuje pozitívnu koreláciu medzi teplotou a pôdnou respiráciou (SINGH A GUBTA, 1977; LLOYD A TAYLOR 1994; PAVELKA *et al.*, 2007).

4 ZÁVER

Meranie pôdnej respirácie sme uskutočnili na výskumnej ploche požiariska, ktorá je súčasťou pokalamitného výskumu v Tatrách. Výskumná plocha nachádzajúca sa nad tatranskou osadou Tatranské Zruby vytvárala aj štyri roky po požari rozmanité mikroklimatické podmienky, keďže jej povrch bol členitý. Z bylinného zastúpenia mali významné miesto smlz chlpkatý (*Calamagrostis villosa*) a kyprina úzkolistá (*Chamaerion angustifolium*) a aj v tejto dobe sa tu ešte nachádzali holé plôšky bez porastu vegetácie.

Na ploche požiariska sme zaznamenali významné rozdiely vo veľkosti pôdnej respirácie medzi jednotlivými meracími bodmi, ktoré sa nachádzali v rôznych mikroklimatických podmienkach. Mikroklima vytvorená rastlinnou vegetáciou je jedným z faktorov ovplyvňujúcich množstvo pôdnej respirácie.

Podakovanie

Táto štúdia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt Centrum excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy, ITMS: 26220120006, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

BUCHMANN, N., 2000: Biotic and abiotic factors controlling soil respiration rates in *Picea abies* stands. In: Soil Biology and Biochemistry 32, 1625–1635.

- DON, A., FRAUBAUER, A., BARWOLF, A., NEBELUNC, K., SCHRUMPF, M., SCHULZE, E. D., 2006: C and N cycling on soils after a wind throw in the Hight Tatra Mts. Poster. Book of abstracts. Open Science Conference, The CHG cycle in Northern Hemisphere, Sissi Lasithi, Crete, p. 210.
- FLEISCHER, P., 2005: Nové výskumné aktivity. Tatry, ročník 2005, 2. Mimoriadne vydanie, 27–28.
- FLEISCHER, P., MIŠÍKOVÁ, N., FLEISCHER, P. (ml.), 2009: Toky CO₂ ako ukazovateľ stavu lesného ekosystému po vetrovej kalamite 2004 vo Vysokých Tatrách. In: Hlaváč, P., Kodrik, M. (eds.) Ochrana lesa 2009. CD.
- GÖMÖRYOVÁ, E., TUŽINSKÝ, L., 2008: Zmeny výdaja CO₂ pôdnymi mikroorganizmami pozdĺž výškového transektu. In: Rožnovský, J., Litschmann, T., (eds): Bioklimatologické aspekty hodnotení procesů v krajině, Mikulov 9.–11. 9. 2008.
- CHOVANCOVÁ, G., 2010: sukcesné zmeny lesnej vegetácie po vetrovej kalamite vo Vysokých Tatrách. Dizertačná práca. LF TU Zvolen. 134 s.
- KOREŇ, M., 2005: Voda, vietor a oheň. Tatry, 2. Mimoriadne vydanie, ročník 2005, 12–17.
- KOREŇ, M., 2006: Vetrová kalamita 19. Novembra 2004 – nové pohľady a konsekvencie. Tatry, okt 2006, 6–29.
- LLOYD, J., TAYLOR, J. A., 1994: On the temperature dependence of soil respiration. Functional Ecology 8, 315–323.
- MIŠÍKOVÁ, N., ŠKVARENINA, J., 2009: Mikroklimatické podmienky kalamitnej plochy požiariska v Tatranskom národnom parku a jej zmeny. Meteorological journal, ročník 12, číslo 1, 31–36.
- MURRAY, B. C., PRISLEY, S. P., BIRDSEY, R. A., SAMPSON, R. N., 2000: Carbon sink in the Kyoto Protocol – potential relevance for us foresters, J. For., 6–11.
- PAVELKA, M., ACOSTA, M., MAREK, M. V., KUTSCH, W., JANOUŠ, D., 2007: Dependency of the Q₁₀ values on the depth of soil temperature measuring point. Plant and Soil, 292. 171–179.
- PETRIK, M., HAVLÍČEK, V., UHRECKÝ, I., 1986: Lesnícka bioklimatológia. Bratislava, Príroda 1986, 352 s.
- RAICH, J. W., SCHLESINGER, W. H., 1992: The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. In: Tellus 44B, 81–99.
- RAICH, J. W. & TUFEKCIOGLU, A., 2000: Vegetation and soil respiration: Correlations and controls. In: Biogeochemistry 48, 71–90.
- SINGH, J. S., GUBTA, S. R., 1977: Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. The botanical Review 43, 449–528.
- SCHIMEL, D. S., VEMAP Participants, Braswell, B. H., 1997: Continental scale variability in ecosystem processes: models, data, and the role of disturbance. Ecological Monographs. 67, 251–271.
- SCHLESINGER, W. H., ANDREWS, J. A., 2000: Soil respiration and the global carbon cycle. In: Biogeochemistry 48, 7–20.
- ŠOLTĚS, R., ŠKOLEK, J., KYSELOVÁ, Z. 2008: Pokalamitný vývoj vegetácie. Pokalamitný výskum v TANAPe, 2008, Zborník príspevkov, Stará Lesná, 20.–21. nov. 2008, Bratislava: Geofyzikálny ústav SAV. CD-ROM.

Adresa autorov:

Ing. Nora Mezeiová, PhD.

Prof. Ing. Jaroslav Škvarenina, CSc.

Lesnícka fakulta

Katedra prírodného prostredia

Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24

960 53 Zvolen

e-mail: nora.misikova@gmail.com

jarosk@vsld.tuzvo.sk

Vplyv mikroklimatických podmienok na pôdnu respiráciu na kalamitnej ploche požiariska v Tatranskom národnom parku

Abstrakt

Terestriálne ekosystémy majú dôležitú úlohu v globálnom cykle uhlíka. Pôdna respirácia tvorí primárnu cestu, ktorou CO₂ fixovaný rastlinami sa vracia do atmosféry. Po fotosyntéze je pôdna respirácia druhý najväčší tok uhlíka vo väčšine ekosystémov. Tok oxidu uhličitého (CO₂) pochádza z respirácie dekompozítorov pôdnej organickej hmoty (heterotrofická respirácia) a z respirácie rastlinnej rizosféry (autotrofická respirácia).

Vetrová kalamita z 19. novembra 2004 a následné postihnutie územia požiarom 30. júla 2005 spôsobili zmeny v mnohých zložkách ekosystému, napr. v pôdach, vode, atmosfére, živočíšstve, rastlinstve, krajine a pod.

Pôdnu respiráciu sme merali použitím prenosného uzatvoreného systému s Vaisala CARBOCAP hand – held carbon dioxide meter GM70. Pôdna komora bola umiestňovaná na fixované miesta (kruhy, ktoré pokrývali 0,071 m²) a boli zapustené do zeme 5–10 cm. Pôdna respirácia bola pri meraní korigovaná teplotou a atmosférickým tlakom.

Na ploche požiariska sme zaznamenali významné rozdiely vo veľkosti pôdnej respirácie medzi jednotlivými meracími bodmi, ktoré sa nachádzali v rôznych mikroklimatických podmienkach. Mikroklima vytvorená rastlinnou vegetáciou je jedným z faktorov ovplyvňujúcich množstvo pôdnej respirácie.

Kľúčové slová: pôdna respirácia, mikroklima, požiarisko, TANAP

HODNOTENIE SUCHA V MENIACICH SA PODMIENKACH KLÍMY NA SLOVENSKU

Jaroslav Š K V A R E N I N A – Tomáš V I D A

Škvarenina, J., Vida, T.: Drought assessment in changing conditions of climate in the Slovak republic. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, 53(1): 97–112, 2011.

The paper is focused on drought issues in the conditions of starting climate change in Slovakia. Its aim is to analyze drought identification possibilities in the forests on the base of drought indexes and ecosystem water balance calculation. On the base of relative evapotranspiration (E/E_o) and drought index (E_o/P) this work analyses the trends in occurrence of dry and wet periods in altitudinal vegetation stages in Slovakia between 1951 and 2005. We have used meteorological data from Hurbanovo, Červený Kláštor and Oravská Lesná meteorological stations representing the oak, fir-beech and spruce-beech-oak vegetation stage of Slovakia. For the Hurbanovo station (on the south) was observed trend to aridity. Stations north from the climatic border indicate neutral or even trend to humidity in the period of 1951–2005.

Keywords: drought, evapotranspiration, drought index, forest ecosystems, climate change

1 ÚVOD A CIELE

Zmena klímy a s ňou vyvolané meniace sa podmienky krajiny, sa spája s mnohými rizikami ako pre ľudskú spoločnosť tak aj pre iné živé systémy. Les ako najkomplexnejší živý systém na Zemi má mnohé mechanizmy na prispôbovanie sa takýmto zmenám, no jednak ich súčasná intenzita, ako aj významný vplyv človeka na lesné ekosystémy znižujú účinnosť týchto mechanizmov. Dôsledkom týchto zmien je očakávaná zmena vodnej bilancie krajiny (BUDYKO 1980, EEA 2004, MINĐÁŠ *et al.* 1996) ktorá bude mať za následok pravdepodobne posun vegetačných stupňov (ROŽNOVSKÝ a JANOUŠ 2001, ŠKVARENINA *et al.* 2004).

Klimatická zmena podľa doterajšieho vedeckého nazerania na problematiku prinesie so sebou nárast extrémnosti počasia (IPCC 2007, LAPIN *et al.* 2000, 2008). Podľa citovaného Medzivládneho panelu pre klimatickú zmenu (IPCC) by sa v dôsledku nastupujúcich klimatických zmien mohla zvýšiť frekvencia a rozsah extrémnych prejavov počasia ako sú silné búrky, horúčavy, suchá, požiare alebo záplavy. Podľa viacerých klimatických modelov, by mal súčasný vývoj, ktorý je poznamenaný narastajúcou frekvenciou a dopadom týchto javov vo svete, naďalej pretrvávať. V podmienkach temperátnej klimatickej zóny, teda aj lesných ekosystémov Slovenska, sa ako významné extrémne

prejavy počasia a klímy považujú sucho a s ním spojené riziko vzniku lesných a krajinných požiarov (STŘELCOVÁ *et al.* 2009).

Stúpajúca frekvencia a intenzita klimatických extrémov je zrejmá zo stúpajúcich škôd spôsobovaných národnému hospodárstvu (HOLÉCY *et al.* 2004). V prípade lesných ekosystémov sú dopady zmeny klímy tým závažnejšie, že napríklad na rozdiel od poľnohospodárstva, zmierňovacie a adaptačné opatrenia nie je možné vyvíjať a aplikovať rýchlosťou primeranou rýchlosti klimatických zmien. Adaptácia na zmeny v režime klimatických extrémov vo forme períód sucha, vetrových kalamít, mimoriadnych horúčav či mrazov je komplikovaná nejasnou prognózovateľnosťou týchto javov, ako aj vysokou variabilitou ich dopadov na les.

V rámci aktivity „Globálne a regionálne zmeny“ projektu centra excelencie Lesníckej fakulty Technickej univerzity „Adaptívne lesné ekosystémy“ sa budeme vo výskumnej práci orientovať predovšetkým na:

- Hodnotenie klimatickej zmeny a extrémov počasia pomocou charakteristík stavu atmosféry (v rôznych vegetačných stupňoch Slovenska) a v rámci nami prezentovanej aktivity predovšetkým na aspekty bioklimatického sucha.
- Analýzu trendu výskytu suchých a vlhkých períód pre rôzne nadmorské výšky predstavujúce rozdielne lesné vegetačné stupne v rámci Slovenska.

2 ROZBOR PROBLEMATIKY

Sucho je normálna, rekurentná črta klímy mierneho klimatického pásma. Sucho sa môže vyskytovať skoro všade, hoci jeho prejavy môžu byť odlišné od oblasti k oblasti (HAYES *et al.* 1999). Definovanie sucha je zložitá, závisí od regionálnych rozdielov, a od potrieb jednotlivých disciplín. Sucho je prechodná odchýlka a nie je totožné s pojmom aridita, ktorý je obmedzený na oblasti s nízkymi zrážkami a predstavuje trvalú črtu klímy.

Sucho vyjadruje relatívne krátkodobú zápornú odchýlku vodnej bilancie od normálu a výrazne ovplyvňuje celý rad aktivít ľudskej spoločnosti (HAYES *et al.* 1999, HEIM 2002, DUBROVSKÝ *et al.* 2005, ŠÍŠKA a SAMUHEL 2007, ŠÍŠKA *et al.* 2005). Väčšina autorov rozlišuje sucho meteorologické, poľnohospodárske, hydrologické a socioekonomické. Primárnou príčinou sucha na Slovensku je bez výnimky deficit zrážok v určitom časovom intervale, ako napr. v priebehu vegetačného obdobia, alebo jeho časti. Spolupôsobenie ostatných meteorologických faktorov, napr.: vysoká teplota, intenzívne prúdenie vzduchu, nízka relatívna vlhkosť vzduchu, môže tiež významne prispieť k prehĺbeniu tohto javu.

Nadmorská výška a reliéf terénu ako silne diferencujúce faktory klímy, zohrávajú v orograficky členitom území Slovenska mimoriadne významnú úlohu. So stúpajúcou nadmorskou výškou sa podstatne mení radiačná, termická i vodná bilancia krajiny. Na prvoradý význam klímy z hľadiska prirodzenej vegetácie upozorňuje už ZLATNÍK (1976). Opisuje vegetačné stupne, ako základné jednotky pre nepriame vyjadrenie výškovej klímy (vertikálnej stupňovitosti) pomocou vegetácie (biocenózy). Ich rozmanitosť je podmienená klimatickými rozdielmi vplyvom nadmorskej výšky, expozície a reliéfu, ktoré vyplývajú z konfigurácie terénu. Pôsobením týchto činiteľov vznikli biogeocenózy zoskupené do 9 vegetačných stupňov. Na území Slovenska sa vyskytujú podľa ZLATNÍKA

(1976) vegetačné stupne nazvané podľa zastúpenia, čiže dominancie významných stromových alebo krovitých edifikátorov, nie teda podľa ich optima výskytu vo vegetačných stupňoch. Sú to vegetačné stupne (vs): 1. dubový, 2. bukovo-dubový, 3. dubovo-bukový, 4. bukový, 5. jedľovo-bukový, 6. smrekovo-bukovo-jedľový, 7. smrekový, 8. kosodrevinový, 9. alpínsky (nelesný vs).

Vegetačné stupne nižších polôh, 1. vs dubový, 2. vs bukovo-dubový a 3. vs dubovo-bukový sú vo vegetačnom období (marec–september) pomerne suché. Deficit zrážok dosahuje 100 až 300 mm vo vegetačnom období. Až 4. vs bukový je charakteristický vyrovnanou klimatickou vodnou bilanciou. Vo vyšších vegetačných stupňoch, (5. vs jedľovo-bukový a 6. vs smrekovo-bukovo-jedľový), humidita klímy narastá. Humidnosť klímy patrí k základným ekologickým podmienkam horských lesov. Vodná bilancia dosahuje najvyšších hodnôt v 8. vs kosodrevinovom a 9. vs alpínskom, kde množstvo zrážok výrazne prevyšuje evaporačné nároky atmosféry. V ročnej bilancii dosahuje nadbytok vody zo zrážok cca 1 000 mm (ŠKVARENINA *et al.* 2004).

3 METODIKA

Kľúčovou úlohou pri hodnotení sucha v temperátnej klimatickej zóne je okrem hodnotenia režimu atmosférických zrážok aj hodnotenie výparu a vodnej bilancie. Evapotranspirácia predstavuje výpar vody z pôdy pokrytej vegetáciou. Predstavuje komplikovaný biofyzikálny dej, ktorý v podstate pozostáva z fyzikálneho výparu (evaporácie) a fyziologického výparu z rastlinných orgánov (transpirácie). Experimentálne bolo dokázané, že v optimálnych podmienkach rastu rastlín aktuálna evapotranspirácia (E) dosahuje hodnoty potenciálnej evapotranspirácie (E_o) (t.j. maximálne možnej evapotranspirácie v daných klimatických podmienkach pri dostatočnej vlhkosti pôdy).

Ako konštatujú viaceré práce, napríklad BUDYKO a ZUBENOKOVÁ (1961), ŠPÁNIK, ŠIŠKA *et al.* (2004), TOMLAIN (2004), ŠIŠKA a TAKÁČ (2008), nižšie uvedené indexy pomerne presne umožňujú kvantifikovať sucho ako deficit vody v koreňovej zóne z hľadiska optimálneho rastu rastlín.

- Relatívna evapotranspirácia (E/E_o),
- evapotranspiračný deficit ($E_o - E$),
- a Budykov index sucha (E_o/P), (kde P je zrážkový úhrn).

Dôležitou informáciou pre pôdohospodára je časové rozloženie sucha počas roka, vegetačného obdobia. Pre tento účel sme na Katedre prírodného prostredia TU rozpracovali metódu *modifikovaných klimadiagramov vodnej bilancie* (ŠKVARENINA *et al.* 2004), ktorá pomerne presne (s mesačným krokom) dokáže identifikovať výskyt bioklimatického sucha počas roka.

4 VÝSLEDKY A DISKUSIA

4.1 Dlhodobé priemerné hodnoty relatívnej evapotranspirácie a indexu sucha

Tabuľka. 1 udáva priemerné ročné hodnoty indexu sucha (E_0/P), potenciálnej evapotranspirácie (E_0), zrážok (P), aktuálnej evapotranspirácie (E) a relatívnej evapotranspirácie (E/E_0) za obdobie 1951–2005 na vybraných staniciach Slovenska.

Tabuľka 1 Nadmorská výška staníc, priemerné hodnoty zrážok (P) v mm, potenciálnej evapotranspirácie (E_0) a aktuálnej evapotranspirácie (E) v mm, relatívnej evapotranspirácie (E/E_0) v % a indexu sucha (E_0/P), pre vybrané meteorologické stanice zaradené do príslušných vegetačných stupňov, pre časové obdobie rokov 1951–2005

Table 1 Average annual values of precipitation (P), potential (E_0), actual, evapotranspiration (E), drought index (E_0/P), in mm and relative evapotranspiration (E/E_0) in % at chosen localities of Slovakia for the period 1951–2005

Meteorologická stanica	H (m n. m.)	P	E_0	E	E/E_0	E_0/P	Vegetačný stupeň
Hurbanovo	115	537	748	432	58	1,44	1. dubový
Myjava	375	671	627	450	72	0,96	2. bukovo-dubový
Kamenica n. C.	178	722	644	501	78	0,92	3. dubovo-bukový
Plaveč	488	693	522	451	87	0,78	4. bukový
Červený Kláštor	474	755	507	457	90	0,69	5. jedľovo-bukový
Oravská Lesná	780	1114	456	432	95	0,42	6. smrekovo-bukovo-jedľový
Tatranská Javorina	1020	1253	422	412	97	0,35	7. smrekový
Štrbské Pleso	1360	995	435	407	94	0,45	7. smrekový 8. kosodrevinový

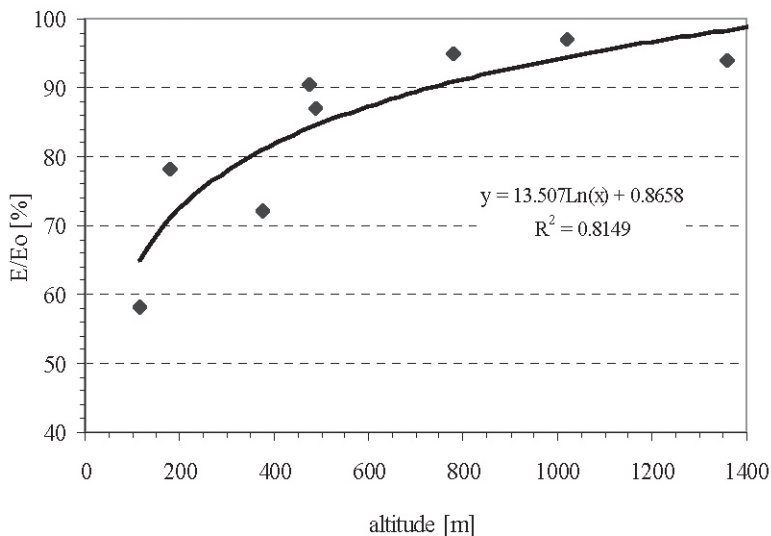
V priemere najmenšie ročné hodnoty E/E_0 za spracované obdobie 1951–2005 boli zaznamenané na Podunajskej nížine (1. vs dubový), t.j. v oblasti s vysokými úhrnmi potenciálnej evapotranspirácie (nad 700 mm) a s ročnými zrážkami menšími ako 550 mm. V horských oblastiach Slovenska, ktoré sa vyznačujú dostatočne vysokými úhrnmi zrážok počas celého roka, sa aktuálna evapotranspirácia len málo líši od potenciálnej evapotranspirácie (menej ako 4 %). Rastom zrážok sa aktuálna evapotranspirácia s nadmorskou výškou zväčšuje až po určitú hranicu (cca po 3. vs dubovo-bukový), potom ako výsledok poklesu celkovej bilancie žiarenia (zväčšovanie oblačnosti, relatívnej vlhkosti vzduchu, počtu dní so snehovou pokrývkou, poklesom teploty povrchu pôdy a vzduchu) úhrny aktuálnej evapotranspirácie sa s výškou znižujú. Priemerné ročné hodnoty potenciálnej evapotranspirácie sa menia od 750 mm v južnej časti Podunajskej nížiny (1. vs dubový) do 350 mm a menej v najvyšších horských polohách (smrekový, kosodrevinový až alpínsky stupeň).

Obrázok 1 a obrázok 2 prinášajú regresnú závislosť ročných hodnôt relatívnej evapotranspirácie E/E_0 a indexu sucha E_0/P od nadmorskej výšky za obdobie 1951–2005.

Relatívna evapotranspirácia E/E_0 je výborný ukazovateľ vlhového zabezpečenia rastlín. Dosahuje v najnižších oblastiach hodnoty okolo 60 %. Smerom k vyšším vegetačným stupňom hodnota tohto pomeru rastie pričom vo 4. vs už dosahuje 90 % a viac. V horských polohách však tento ukazovateľ čiastočne stráca na presnosti. Od 5. vs je rozlišovacia schopnosť E/E_0 už len minimálna (1–5 %) a to v dôsledku vyrovnávania sa hodnôt potenciálnej a skutočnej evapotranspirácie. Obrázok 1 podáva vzťah relatívnej evapotranspirácie od rastúcej nadmorskej výšky.

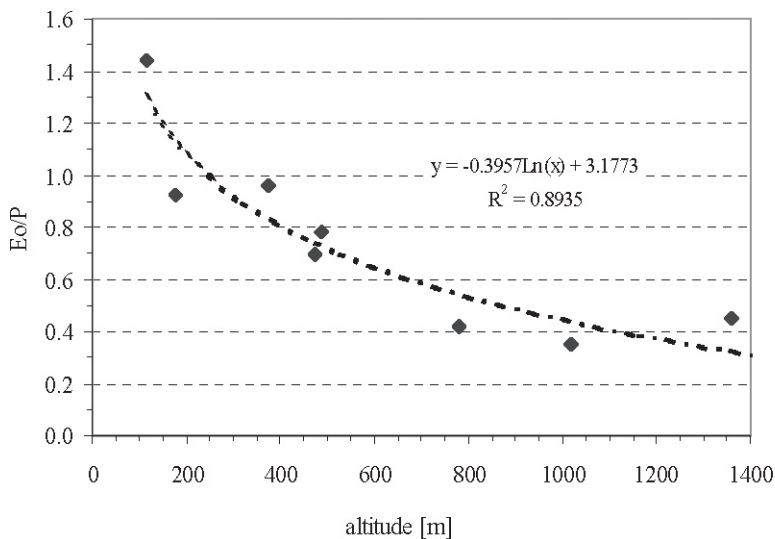
Index sucha E_0/P vyjadruje vzťah medzi energetickými možnosťami a zrážkovými vstupmi v uvažovanom vegetačnom stupni. Tento index bol použitý pre hodnotenie bioklimatologických regiónov v celoplanetárnom merítku (BUDYKO 1955, 1971, LARCHER 1984, BAUMGARTNER a LIEBSCHER 1990). Index E_0/P nad očakávanie dokázal veľmi citlivo reagovať na výškové zmeny bioklimatologických podmienok aj na relatívne malom území Slovenska (obrázok 2). BUDYKO (1980) uvádza, že ak je $E_0/P > 1$ územie začína mať aridny charakter (lesostep, step). Ak je hodnota indexu v intervale $0,3 < E_0/P < 1$ charakterizuje sa bióm ako lesný. Pri hodnote $E_0/P < 0,3$ má ekosystém charakter tajgy (tundry), v našom ponímaní aj horského lesa temperátnej zóny. Vidíme, že uvedené rozdelenie plne platí aj na Slovensku.

BOCHENEK *et al.* (2005) zhodnotili index sucha vo vegetačnom období (apríl–september) pre územie Poľska. Zistili hodnoty od 1,6 (v centrálnej časti krajiny) do hodnoty 1,0 pre oblasti kde letné zrážky boli vyššie ako potenciálna evapotranspirácia, t.j. horské polohy v južných regiónoch Poľska.



Obrázok 1 Logaritmická regresná závislosť ročných hodnôt relatívnej evapotranspirácie (E/E_0) od nadmorskej výšky (altitude [m]) na území Slovenska za obdobie rokov 1951–2005

Figure 1 Logarithmic regression dependence of relative evapotranspiration annual values (E/E_0) on altitude [m a.s.l.] on the territory of Slovakia for the period 1951–2005



Obrázok 2 Logaritmická regresná závislosť ročných hodnôt indexu sucha (E_0/P) od nadmorskej výšky (altitude [m]) na území Slovenska za obdobie rokov 1951–2005

Figure 2 Logarithmic regression dependence of drought index annual values (E_0/P) on altitude [m a.s.l.] on the territory of Slovakia for the period 1951–2005

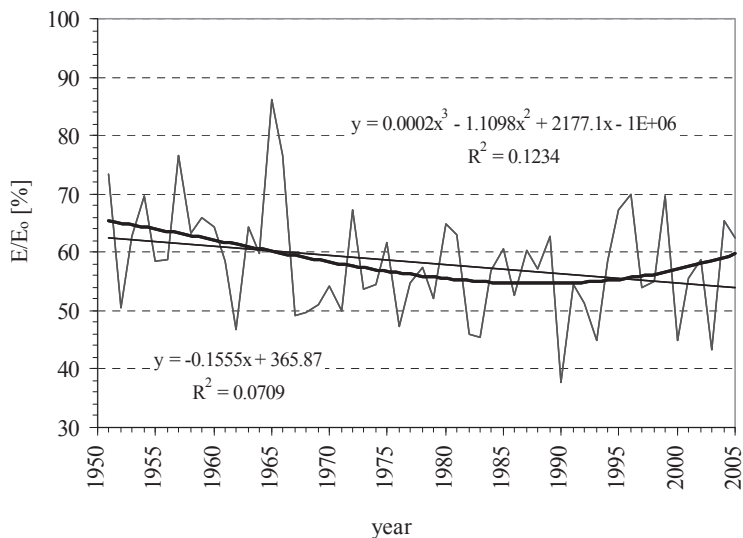
4.2 Dlhodobý priebeh relatívnej evapotranspirácie a indexu sucha

Ako sme už popísali v metodicknej časti vyhodnotili sme ročné hodnoty relatívnej evapotranspirácie za obdobie 1951–2005. Zistili sme nasledovné hraničné hodnoty: v Hurbanove sa hodnoty E/E_0 menili od 38 % v roku 1990 ($P = 422$ mm) do 86 % v roku 1965 ($P = 827$ mm), v Oravskej Lesnej od 74 % v roku 1992 ($P = 980$ mm) do 99 % v roku 1958 ($P = 1389$ mm); v roku 1965 ($P = 1320$ mm); v roku 1968 ($P = 1133$ mm); v roku 1979 ($P = 1051$ mm); v roku 1991 ($P = 986$ mm); v roku 2004 ($P = 1256$ mm); v roku 2005 ($P = 1342$ mm), v Červenom Kláštore od 71 % v roku 1964 ($P = 530$ mm) do 99 % v roku 1975 ($P = 850$ mm).

Ročné hodnoty indexu sucha sa v danom období menili od 0,81 v roku 1965 ($P = 827$ mm) do 2,65 v roku 2003 ($P = 333$ mm) v Hurbanove, od 0,28 v roku 1974 ($P = 1463$ mm) do 0,55 v roku 1959 ($P = 860$ mm) v Oravskej Lesnej a od 0,46 v roku 1980 ($P = 908$ mm) do 1,03 v roku 1971 ($P = 548$ mm) v Červenom Kláštore.

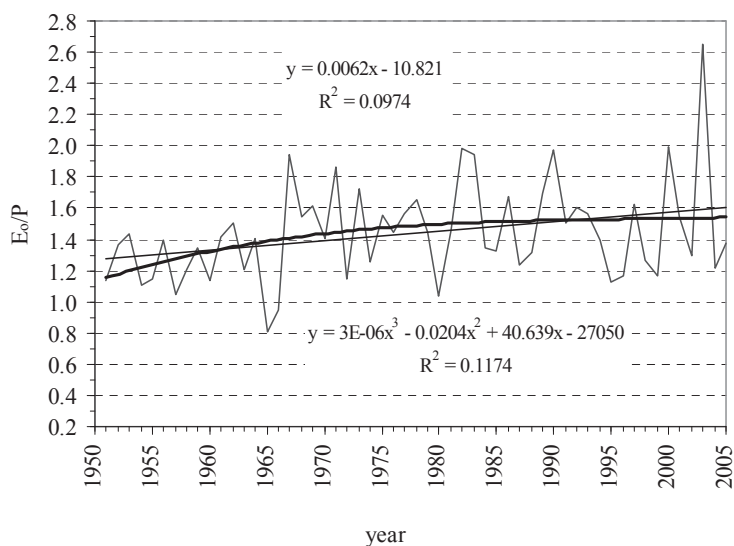
Rozdiely vo výskyte extrémnych ročných hodnôt E/E_0 a E_0/P sú spôsobené časovou a priestorovou variabilitou energetických možností evapotranspirácie a poľa zrážok na území Slovenska. Obrázky 3–8 prinášajú dlhodobý chod ročných hodnôt relatívnej evapotranspirácie a indexu sucha na vybraných staniciach Slovenska za obdobie 1951 až 2005. Z obrázkov vidíme, že na Podunajskej nížine (1. vs dubový a 2. vs bukovo-dubový) ročné hodnoty E/E_0 majú klesajúcu tendenciu a E_0/P sa postupne zväčšujú. V kotlinách a na severe Východoslovenskej nížiny ročné hodnoty E/E_0 postupne rastú. Dostatok zrážok v horských oblastiach Slovenska pozorujeme počas celého roka, a preto priemerné ročné hodnoty E/E_0 vykazujú len malé kolísanie.

V tabuľke 2 podávame výsledky Studentovho t testu významnosti korelačných koeficientov pre E/E_0 (relative evapotranspiration) and drought index (E_0/P), ako aj trend lineárnej regresie. Významne signifikantný trend k aridite sme zaregistrovali len v južných častiach Slovenska, na stanici Hurbanovo. V Oravskej Lesnej (sever Stredného Slovenska) počas hodnoteného 55 ročného obdobia sa nepreukázal ani v jednom z hodnotených indexov signifikantný trend.



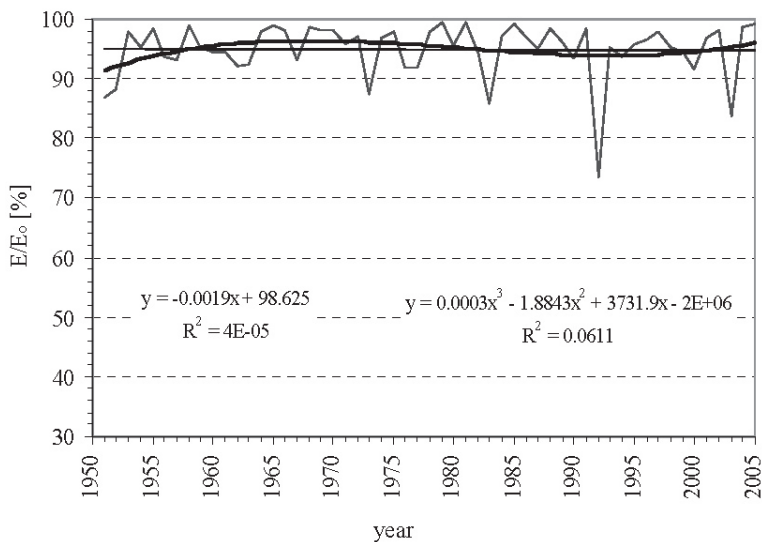
Obrázok 3 Dlhodobý priebeh relatívnej evapotranspirácie (E/E_0) v Hurbanove v rokoch 1951–2005 (lineárny a polynomický trend tretieho stupňa)

Figure 3 Long-term course of relative evapotranspiration annual values (E/E_0) at Hurbanovo for the period 1951–2005 with the linear trend and polynomial of 3rd order



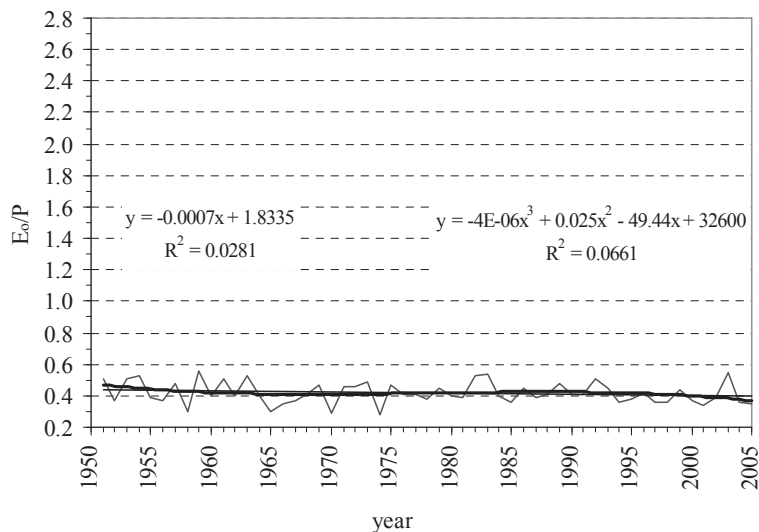
Obrázok 4 Dlhodobý priebeh indexu sucha (E_0/P) v Hurbanove v rokoch 1951–2005 (lineárny a polynomický trend tretieho stupňa)

Figure 4 Long-term course of drought index annual values (E_0/P) at Hurbanovo for the period 1951–2005 with the linear trend and polynomial of 3rd order



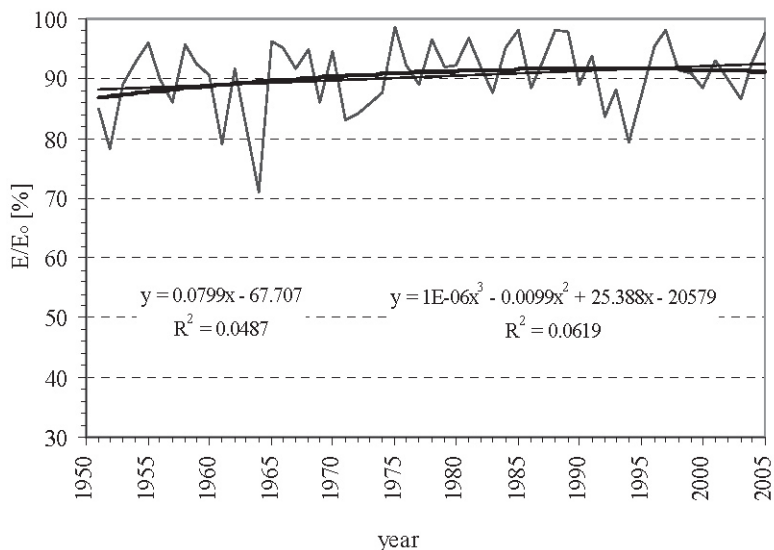
Obrázok 5 Dlhodobý priebeh indexu sucha (E_0/P) v Oravskej Lesnej v rokoch 1951–2005 (lineárny a polynomický trend tretieho stupňa)

Figure 5 Long-term course of relative evapotranspiration annual values (E/E_0) at Oravská Lesná for the period 1951–2005 with the linear trend and polynomial of 3rd order



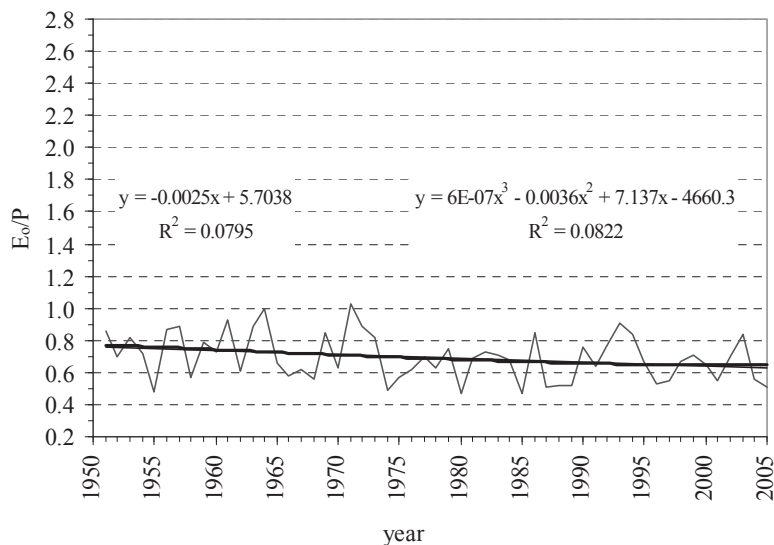
Obrázok 6 Dlhodobý priebeh indexu sucha (E_0/P) v Oravskej Lesnej v rokoch 1951–2005 (lineárny a polynomický trend tretieho stupňa)

Figure 6 Long-term course of drought index annual values (E_0/P) at Oravská Lesná for the period 1951–2005 with the linear trend and polynomial of 3rd order



Obrázok 7 Dlhodobý priebeh indexu sucha (E_0/P) v Červenom Kláštore v rokoch 1951–2005 (lineárny a polynomický trend tretieho stupňa)

Figure 7 Long-term course of relative evapotranspiration annual values (E/E_0) at Červený Kláštor for the period 1951–2005 with the linear trend and polynomial of 3rd order



Obrázok 8 Dlhodobý priebeh indexu sucha (E_0/P) v Červenom Kláštore v rokoch 1951–2005 (lineárny a polynomický trend tretieho stupňa)

Figure 8 Long-term course of drought index annual values (E_0/P) at Červený Kláštor for the period 1951–2005 with the linear trend and polynomial of 3rd order

Tabuľka 2 Test významnosti korelačných koeficientov Studentovho t testu pre relatívnu evapotranspiráciu E/E_0 , index sucha (E_0/P) a ich trendy lineárnej regresie (pravdepodobnosť $\alpha = 0.1$ * málo významný, $\alpha = 0.05$ ** významný, $\alpha = 0.01$ *** veľmi významný, stupeň voľnosti $n = 53$)

Table 2 Results of the trend analysis performed on yearly data (1950–2005) for selected meteorological stations. E/E_0 (relative evapotranspiration), drought index (E_0/P) probability level * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$, n.s. not significant

Meteorologická stanica	$E/E_0 = f(\text{rok})$	$E_0/P = f(\text{rok})$	Trend
Hurbanovo	**	***	aridita
Oravská Lesná	—	—	—
Červený Kláštor	*	**	humidita

4.3 Odraz humidnosti a aridnosti klímy vo vegetačno-bioklimatických pomeroch Slovenska

Územie Slovenska sa z hľadiska vegetačných pomerov delí na oblasť panonskú (oblasť panonskej nížiny), ovplyvňovanú klímou Stredozemného mora a na oblasť vnútrokarpatskú, ovplyvňovanú suboceánskou klímou horskou a klímou Severného a Baltského mora. Rozhranie týchto oblastí vytýčil ZLATNÍK (1959) tzv. hlavnou klimatickou čiarou Slovenska (climatic border line), ktorou karpatský oblúk oddeľuje dve významné európske klimatické oblasti. Oblasť na sever od čiar je nápadne vlhšia a chladnejšia, oblasť južná je suchšia a teplejšia. V severnej časti sa mimoriadne uplatňuje napríklad smrek. V južnej časti sa takto smrek neprejavuje vôbec, alebo len v smrekovom stupni.

Z výsledkov v tabuľke 2 a v obrázkoch 3–8 vidíme, že meteorologická stanica na juhu Slovenska (Hurbanovo) má trend aridný. Stanice na sever od klimatickej deliacej čiar majú v časovom rade 1951–2005 trend neutrálny alebo skôr humidný. Podobné výsledky uvádza aj LAPIN *et al.* (1997), ŠÚTOR *et al.* (2002) pri hodnotení zrážkového režimu na Slovensku.

Výrazné klimatické a pestré petrograficko-geologické pomery a tým i pôdne pomery majú odraz v mnohotvárnej vegetácii.

Oblasť na sever od čiar je nápadne vlhšia a chladnejšia, oblasť južná je suchšia a teplejšia. Fytogeograficky je toto rozdelenie zaujímavé a veľmi dôležité. V severnej časti sa mimoriadne uplatňuje smrek na akomkoľvek podklade, i na pôdach z vápencov a vedľa smrekovca vyskytuje sa ako solitér aj v najnižších polohách. V južnej časti sa takto smrek neprejavuje vôbec, alebo len v smrekovom stupni. Nápadná je sviežosť lúk a pastvín v severnej časti, aj v druhej polovici leta, kým na juhu sú lúky a pastviny v tejto dobe už suché, s výnimkou tých, ktoré sú ovplyvňované spodnou vodou.

Hlavná klimatická čiara je výrazným odlišením šírenia sa druhov a lesných spoločenstiev. Na sever od nej dominuje spoločenstvo zaradené do skupiny lesných typov *Abieto-Fagetum* (Jedľová bučina) (sensu ZLATNÍK), v ktorej pôvodné drevinové zloženie buk, jedľa, smrek bolo umelo značne zmenené v prospech smreka. Vo vyšších polohách ustupuje buk, vyššie tiež jedľa, takže najvyššie porasty (aj pôvodne) tvorí smrek s jarabinou či

smrekovcom alebo javorom horským v spoločenstvách skupín lesných typov *Sorbetto-Piceetum* (Jarabinová smrečina), *Lariceto-Piceetum* (Smrekovcová smrečina) a *Acereto-Piceetum* (Javorová smrečina). Najvyššie položené uvoľnené smrečiny prechádzajú cez pásmo boja so skupinami smrekov a jednotlivých solitérov – smrekov do pásma kosodrevín (skupina lesných typov *Mughetum* (Kosodrevina)). V najvyšších vrstvách s výnimkou Vysokých Tatier sú kosodrevinové porasty silne rozrušené, miestami zničené a premenené na horské pastviny – hole.

Na juh od hlavnej klimatickej čiary je rozšírená skupina lesných typov *Fagetum pauper* (Bučina), spoločenstvá bučín, ktoré s klesajúcou nadmorskou výškou prechádzajú v spoločenstvá dúb (skupiny lesných typov *Querceto-Fagetum* (Dubová bučina), *Fageto-Quercetum* (Buková dúbava), *Carpineto-Quercetum* (Hrabová dúbava)). Zásah človeka v týchto oblastiach sa prejavil nielen zmeneným drevinovým zložením, ale aj prevodom na výmladkové lesy hlavne dubové, hrabové a agátové.

Na pôdach z karbonátových hornín, hlavne na rendzinách, sú dealpínske spoločenstvá. Na juh od klimatickej čiary ostrokovite sa vyskytujú spoločenstvá skupiny lesných typov *Corneto-Quercetum* (Drieňová dúbava) s dubom plstnatým, jaseňom manovým (*Fraxinus ornus*) a hojnými krovinami hlavne rodu *Cornus* (Drieň). Hojné sú dealpínske spoločenstvá bukovo-dubové, dubovo-bukové, borovicové, smrekovo-bukové, vyskytujúce sa aj na sever od klimatickej čiary. Tieto na eróziu veľmi citlivé spoločenstvá tam, kde došlo k odlesneniu, devastovali nie zriedka na kamenné stepi (Slovenský kras).

Súčasný drevinový zložený oproti pôvodnému má značné rozdiely. Vyznačuje sa hlavne zvýšením zastúpenia smreka a znížením zastúpenia duba (rod *Quercus*) a cenných listnáčov. Zväčšil sa podiel hraba (*Carpinus betulus*), agátu (*Robinia pseudoacacia*), duba cerového (*Quercus cerris*) v zmiešaných lesoch i zmiešaných porastoch. S odvolaním sa na práce ŠKVARENINA *et al.* (2004), ŠKVARENINA a TOMLAIN (2000), MINĐÁŠ *et al.* (1996) a i., prinesie očakávaná zmena klímy ďalšie dramatické zmeny vo vegetačnom zložení spoločenstiev. Vážnym environmentálnym dôsledkom z pohľadu ochrany biodiverzity bude aj zavlečenie inváznych druhov a ich expanzia do zmenou klímy oslabených pôvodných areálov.

4.4 Vplyv globálnych zmien klímy na hodnoty relatívnej evapotranspirácie a indexu sucha na Slovensku vo vybraných vegetačných stupňoch

V tabuľke 3 podávame výsledky modelových výstupov zmien relatívnej evapotranspirácie a indexu sucha pre tri časové horizonty: referenčné obdobie (1951-80), rok 2030 a rok 2075. Scenáre klimatickej zmeny boli spracované podľa modelu CCCM (Canadian Climate Centre) (BALAJKA *et al.* 2005, LAPIN *et al.* 2000).

Zistené poznatky môžeme zhodnotiť nasledovne. V nižších vegetačných stupňoch môžeme v podmienkach globálnej zmeny klímy očakávať pomerne silný nárast aridity, predovšetkým to dokumentujú hodnoty E/E_0 pre 1. až 5. vegetačný stupeň. Ukazuje sa, že ani mierny nárast zrážok predpokladaný pre roky 2030 a 2075 nedokáže pokryť rastúce požiadavky „novej“ klímy na výpar. Nastane pravdepodobne posun bioklimatologických podmienok z hľadiska bilancie vlahy cca o jeden až jeden a pol vegetačného stupňa. Na

severe Slovenska, Orava a severné polohy Tatier, preukazujú iba minimálnu zmenu pomeru E/E_0 . Je to pravdepodobne dôsledok skutočnosti, že ani v podmienkach otepľujúcej sa klímy nebude evapotranspirácia limitovaná nedostatkom vody. Zo zažitej schémy sa vymyká stanica Štrbské Pleso, kde nastane pokles E/E_0 , avšak tento stav je pravdepodobne daný dôsledkom zrážkového tieňa, ktorý vplýva na vodnú bilanciu južných svahov Tatier.

Tabuľka 3 Relatívna evapotranspirácia E/E_0 a index sucha E_0/P pre podmienky referenčnej klímy (1951–1980) a pre podmienky človekom podmienenej zmeny klímy podľa modelu CCCM pre rok 2030 a 2075

Table 3 Relative evapotranspiration E/E_0 and drought index E_0/P for period 1951–80 (current climate) and years 2030–2075 – model CCCM (scenario of climate changes)

Meteorologická stanica	E/E_0			E_0/P		
	1951-80	2030	2075	1951-80	2030	2075
Hurbanovo	63	58	54	1,32	1,45	1,53
Oravská Lesná	99	98	96	0,40	0,44	0,47
Červený Kláštor	97	92	88	0,69	0,75	0,80

Ak hodnotíme očakávanú zmenu z pohľadu druhého ukazovateľa, indexu sucha E_0/P , zisťujeme mierne odlišné fakty, ktoré vyplynuli z modelového riešenia. Nárast sucha je evidentný v rozsahu 1. až 7. vegetačného stupňa (posun až dva stupne smerom nahor), avšak najvýraznejší bude cca do 5-teho vegetačného stupňa. Je to dôsledok konštrukcie indexu, nakoľko tento hodnotí pomer potenciálnej evapotranspirácie (ktorá bude mať v teplejšej atmosfére vyššie hodnoty) a zrážok, ktorých nárast je pre podmienky zmeny klímy pomerne slabý. Aj u tohto indexu vidíme u severoslovenských staníc istú anomáliu podmienenú hlavne „náveternosťou a zveternosťou“ v členitých orografických podmienkach Oravy a Tatier.

5 ZÁVER

V spojitosti s očakávanými zmenami klímy, rastie na území Slovenska riziko častejšieho výskytu sucha. Tento nebezpečný fenomén klímy je významným predpokladom vzniku reálneho rizika rastu lesných a krajinných požiarov. V práci sa podrobne analyzujú teoretické východiská sucha v podmienkach Slovenska. Analyzujú sa jednotlivé vhodné kalkulácie indexov sucha a vodnej bilancie ekosystému, ich rozloženie v podmienkach výškovo a klimaticky vertikálne rozčlenených vegetačných stupňov Slovenska. Ukazuje sa potreba účinného boja so suchom predovšetkým v nižších vegetačných stupňoch v južných častiach Slovenska.

Podakovanie

Predložená práca vznikla v rámci riešenia projektu „Centrum excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy”, na základe podpory Operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

- BALAJKA, J., LAPIN, M., MINĐÁŠ, J., ŠTASTNÝ, P., THALMEINEROVÁ, D., 2005: Štvrtá národná správa SR o zmene klímy a Správa o dosiahnutom pokroku pri plnení Kjótskeho protokolu. Ministerstvo životného prostredia SR, Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava, 114 pp.
- BAUMGARTNER, A., LIEBSCHER, H.J., 1990: Lehrbuch der Hydrologie Band 1: Allgemeine Hydrologie, Quantitative Hydrologie, Gebrüder Bornträger, Berlin, 673 pp.
- BOCHENEK, Z., DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA, K., CIOLKOSZ, A., DRUPKA, S., BOKEN, V.K., 2005: Monitoring Agricultural Drought in Poland. In: Boken, V.K., Cracknell, A.P., and Heathcote, R.L. (eds) Monitoring and Predicting Agricultural Drought: A Global Study, Oxford University Press, New York, 171–180.
- BUDYKO, M.I., (Ed.) 1955: Atlas Tephogo Balansa (Atlas of the heat balance) (in Russian), Gridometeizdat, Leningrad, 41 pp.
- BUDYKO, M.I., 1980: Klimat v proshlom i budushchem (Climate in the Past and in the Future) (in Russian). Gidrometeizdat, Leningrad, 352 pp.
- BUDYKO, M.I., ZUBENOK, L.I., 1961: The determination of evaporation from the land surface (in Russian). Izv. Akad. Nauk SSSR Ser. Geogr. 6, 3–17.
- DUBROVSKY, M., TRNKA, M., SVOBODA, M., GATES, M., ŠILHÁTE, D., ZALUD, Z., SEMERADOVA, D., 2005: Drought Conditions in the Czech Republic in Present and Changed Climate. In: Proceedings of the European Geophysical Union, Vienna, 25–29.
- EEA, 2004: Impacts of Europe's changing climate reprt No. 2/2004. Dostupné z http://www.eea.europa.eu/publications/climate_report_2_2004
- FAO 2007: Fire management – global assessment 2006. FAO Forestry paper 151. Dostupné z <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/A0969E/A0969E00.pdf>
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. Dostupná z www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-syr.htm.
- LAPIN, M., ZÁVODSKÝ, D., MAJERČÁKOVÁ, O., MINĐÁŠ, J., ŠPÁNIK, F., 1997: Vulnerability and Adaptation Assessment for Slovakia. Final Report of the Slovak Republic's Country Study, Element 2, U.S. Country Studies Program, Slovak Ministry of the Environment, Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava.
- LAPIN, M., MELO, M., DAMBORSKÁ, I., GERA, M., FAŠKO, P., 2000: Nové scenáre klimatickej zmeny pre Slovensko na báze výstupov prepojených modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry. Národný klimatický program SR 5(8), 5–24.
- LAPIN, M., DAMBORSKÁ, I., DRINKA, R., FAŠKO, P., GAÁL, L., MELO, M., 2008: Úvod k scenárom extrémnych poveternostných situácií a vybrané výsledky spracovania. Národný klimatický program SR 12, 9–30.
- LARCHER, W., 1984: Ökologie der Pflanzen auf physiologischer Grundlage. (In German) Uni-Taschenbücher 232, UTB für Wissenschaftler. Ulmer, Stuttgart, 4th revised edition. 403 pp.
- MINĐÁŠ, J., LAPIN, M., ŠKVARENINA, J., 1996: Klimatické zmeny a lesy Slovenska. Národný klimatický program SR 3(5), 1–96.
- PAUSAS, J.G., 2004: Changes in Fire and Climate in the Eastern Iberian Peninsula (Mediterranean Basin), Climatic Change 63, 337–350.
- ROŽNOVSKÝ, J., JANOUŠ, D., (ed) 2001: Sucho, hodnocení a predikce. Pracovní seminář, ČHMU, Brno.
- STŘELCOVÁ, K., CSABA, M., KLEIDON, A., LAPIN, M., MATEJKA, F., BLÁŽENEC, M., ŠKVARENINA, J., HOLECY, J., (eds) 2009: Bioclimatology and natural hazards, Springer Science+Business Media B.V., 298 pp.
- ŠÍŠKA, B., TAKÁČ, J., IGAZ, D., 2005: Climate change impacts on winter wheat yield on Danubian lowland in Slovak republic. *Savremena poljoprivreda* 54 (1–2), 324–328.

- ŠÍŠKA, B., SAMUHEL, P., 2007: Modeling Climate Change Impact on Maize (*Zea Mays* L.) Yields in Conditions of the Danubian Lowland. *Meteorological Journal* 10, 81–84.
- ŠÍŠKA, B., TAKÁČ, J., 2008: Klimatická zmena a poľnohospodárstvo Slovenskej republiky. Štúdia Slovenskej bioklimatologickej spoločnosti pri SAV, ročník XXI, číslo XXIV, Vydavateľstvo Technickej univerzity vo Zvolene, 69 pp.
- ŠPÁNIK, F., ŠÍŠKA, B., et al., 2004. *Biometeorológia*, VES SPU Nitra, 227 pp.
- ŠÚTOR, J., ŠTEKAUEROVÁ, V., MAJERČÁK, J., 2002: Water balance in agriculture ecosystems. In: *Proceedings of 19th European Regional Conference of ICID "Sustainable Use of Land and Water"*, Brno – Prague, 8 p., CD.
- TOMLAIN, J., 2004: Contribution to humid conditions of Slovakia. *Acta Meteorologica Universitatis Comenianae* 33, 21–30.
- ŠKVARENINA, J., KRIŽOVÁ, E., TOMLAIN, J., 2004: Impact of the climate change on the water balance of altitudinal vegetation stages in Slovakia. *Ekológia* 23(2), 13–19.
- ŠKVARENINA, J., TOMLAIN, J., 2000: Posúdenie dôsledkov zmeny klímy na vodnú bilanciú lesných vegetačných stupňov. *Národný klimatický program SR* 9: 47–56.
- ŠKVARENINA, J., TOMLAIN, J., HRVOL, J., ŠKVARENINOVÁ, J., HLAVATÁ, H., 2008: Výskyt suchých a vlhkých období vo vegetačných stupňoch západných Karpát a Slovensku: analýza časového radu 1951-2005 a prognóza očakávaných zmien klímy. *Národný klimatický program SR* 7(12), 123–142.
- ZLATNÍK, A 1976: *Lesnícka fytoecológia*. SZN, Praha, 495 pp.
-

Adresa autorov:

Prof. Ing. Jaroslav Škvarenina CSc.

Lesnícka fakulta

Katedra prírodného prostredia

Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24

96053 Zvolen

Ing. Tomáš Vida

Lesnícka fakulta

Katedra prírodného prostredia

Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24

96053 Zvolen

e-mail: jarosk@vsld.tuzvo.sk

vida.tomas@gmail.com

Hodnotenie sucha v meniacich sa podmienkach klímy na Slovensku

Abstrakt

Článok sa zaoberá problematikou sucha na Slovensku v spojitosti s nastupujúcimi zmenami klímy. Analyzuje možnosti identifikácie sucha v lesnej krajine na základe kalkulácie indexov sucha a vodnej bilancie ekosystému. Na základe použitia relatívnej evapotranspirácie (E/E_o) a indexu sucha (E_o/P) sa v článku analyzuje trend výskytu suchých a vlhkých období pre rôzne nadmorské výšky predstavujúce rozdielne vegetačné stupne. Hodnotili sa dáta zo staníc Hurbanovo, Červený Kláštor a Oravská Lesná reprezentujúcich dubový, jedľovo-bukový a smrekovo-bukový-jedľový vegetačný stupeň. Meteorologická stanica na juhu Slovenska (Hurbanovo) má trend arídny. Stanice na sever od klimatickej deliacej čiary majú v časovom rade 1951–2005 trend neutrálny alebo skôr humídny. Článok vznikol v rámci aktivity 2.1 Globálne a regionálne zmeny, projektu centra excelencie Lesníckej fakulty Technickej univerzity „Adaptívne lesné ekosystémy“.

Kľúčové slová: sucho, evapotranspirácia, index sucha, lesné ekosystémy, zmena klímy

RASTOVÉ CHARAKTERISTIKY A VYUŽITIE DISPONIBILNÉHO PRIESTORU DREVINAMI V PRALESE NPR SITNO

Lucia DANKOVÁ – Milan SANIGA

Danková, L., Saniga, M.: The growth characteristics and utilization of available space by trees in the natural forest remnant of NNR Sitno. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, 53(1): 113–122, 2011.

The aim of this study was to consider selected patterns of mixed natural forest remnant in NNR Sitno. The data were collected in the years 1978, 1988 and 1998 from the 3 plots (60 × 10 m). This plots reflect following developmental stages: growth, optimum and disintegration stage. The simple linear regression analysis revealed the strong correlation between the crown volume and trunk volume in beech. The strongest correlation coefficient ($r = 0.91$ and $r^2 = 0.83$) was recorded in initial phase of the growth stage. The utilization of available growth space by the crown volume ranged from 31.2% to 40.4% in this stage. The weaker relation was confirmed in disintegration stage ($r^2 = 0.48$), where European hornbeam and sycamore maple were dominated trees in upper tree layer.

Key words: natural forest, developmental stage, utilization of available growth space

1 ÚVOD A PROBLEMATIKA

Popis pralesov začína v európskej literatúre objavovať od polovice 19. storočia (GÖPPERT 1868, GAYER 1898, GURNAUD 1886, ENGLER 1900 *in* BRANG 2005). Vedecké práce zaoberajúce sa výskumom ich štruktúry sa datujú hlavne v druhej polovici 20. storočia (PINTARIČ 1959, MLINŠEK 1978, 1993, LEIBUNDGUT 1982, MAYER *et al.* 1989, KORPEL 1989 *in* BRANG 2005).

V tomto období sa do popredia dostáva aj vývojové hľadisko výskumu pralesov. WATT (1947) prvý prezentoval sukcesný prístup skúmania lesných ekosystémov, pričom sa otázka riešenia tejto problematiky dostala na úroveň časovo-priestorového výskumu vývoja prírodných lesov. Striedanie vývojových fáz a štádií v rámci vývojového cyklu pralesa znamená rôznu mieru a dynamiku využívania jeho produkčného a rastového priestoru korunami stromov jednotlivých drevín, ktorá je determinovaná ich fyzickým vekom, ekologickou toleranciou a kompetičnými schopnosťami. GRATZER *et al.* (2004) zdôrazňuje, že tento proces vedie ku zmene priestorovej štruktúry v čase a má veľký význam pri chápaní dynamiky prírodného lesa. Podľa KORPELA (1989, 1995) a SANIGU (1995) je funkciou striedania vývojových štádií pralesa konkurenčný tlak stromov a drevín v rastovom disponibilnom priestore

pralesa, ich oslabenie z dôvodu vysokého veku a vplyv biotických resp. abiotických faktorov. Podľa WATTA (1947) je spúšťacím mechanizmom striedania vývojových štádií cyklický asynchrónny vznik medzier, ktoré sú spôsobené faktormi, ktoré popísal KORPEL (1989, 1995). Takéto chápanie časovej a priestorovej dynamiky pralesa tvorí základný rámec pre prírodné lesy temperátneho pásma (OLDEMAN 1990, VEBLEN 1992). Okrem textúry pralesa je veľmi dôležité poznať produkčné využitie jeho rastového priestoru korunami stromov dreviny resp. drevín ako ukazovateľa nárastu biomasy. Kapacita korún (objem) má veľký význam pre objem kmeňov a následne ďalšie produkčné charakteristiky biomasy pralesa. Uvedený smer výskumu je v poslednom období veľmi aktuálny. Prvé kroky boli vykonané pri analýze produkčných charakteristík v prípade výberkových lesov Slovenska (SANIGA, VENCÚRIK 2007). Vysoká tesnosť korelácie medzi objemom korún smreka, resp. jedle a objemom ich kmeňov potvrdila, že až 80–82 % prírastku na objeme kmeňa je determinované jeho objemom koruny. Treba pripomenúť, že sa jedná o výberkové lesy, kde pomocou výberkového rubu sa reguluje štruktúra vertikálneho zápoja porastu.

Iná situácia je v tomto procese využitia produkčného priestoru korunami stromov v prípade pralesov, kde intenzita tlaku v korunovom priestore je determinovaná len prírodnými zákonitostami. Výsledky z pralesa Hrončokovský Grúň (SANIGA, BALANDA 2008) a z bukových pralesov západných Karpát (BAKOŠOVÁ, SANIGA 2009) potvrdili rozdielne hodnoty závislosti medzi sledovanými produkčnými charakteristikami. Vysoká tesnosť korelácie sa potvrdila v prípade rovnorodých bukových pralesov východného Slovenska v NPR Rožok a Havešová, nižšia hodnota medzi objemom korún a ich kmeňov bola zistená v NPR Kyjov. Dôvodom podľa autorov je nižšia stabilita a väčšia frekvencia medzier v tomto pralesi. Na strane druhej, práca SANIGA, BALANDA (2008) potvrdila, že v prípade viacerých drevín, ktoré sa zúčastňujú na štruktúre a výstavbe pralesa, sú závislosti medzi ich objemami korún a kmeňov menej tesné a závisia hlavne od ich tolerance na svetlo a miesta (vrstvy), v ktorej sa nachádza prevažná časť stromov analyzovaných drevín. Analýza týchto závislostí v prípade pralesa Skalná Alpa (ZRAK, SANIGA 2010) potvrdila, že produkčné procesy tohto pralesa sú rôznou mierou určované asimilačnou kapacitou korún stromov. Rozbor výsledkov ukázal, že v štádiu dorastania a optima sa objem korún podieľa len 40–45 % na tvorbe objemu kmeňa. Tesnejšia závislosť sa potvrdila v štádiu rozpadu, kde sa konkurenčný tlak v korunovom priestore drevín znižuje, čím sa jedince oboch skúmaných drevín dostávajú do autonómnejšieho postavenia s následným lepším využitím asimilačnej kapacity korún stromov.

2 MATERIÁL A METODIKA

NPR Sitno sa nachádza na južných svahoch Štiavnických vrchov (48°24' S, 18°53' V), v katastrálnom území Ilija. V roku 1951 bola vyhlásená ako ŠPR na výmere 93,68 ha na ochranu prírodovedcky, historicky a kultúrne významnej dominanty – Sitna. Zloženie, rozšírenie a typové zastúpenie lesných spoločenstiev úzko súvisí s expozíciou územia, geomorfologickým stvárnením reliéfu a pedologickými vlastnosťami stanovišťa. Geologické podložie budujú sopečné horniny: amfibolické a pyroxenické andezity a zmiešané aglomeratické tufy. Prevažujúcim pôdnym typom je hnedá lesná pôda. Priemerná

ročná teplota je 6 °C a priemerný ročný úhrn zrážok 850 mm (KORPEL 1989, 1993). Charakter vegetácie je submontánnny, formovaný vplyvom teplých a studených klimatických prúdov. Vzhľadom na 260 metrové prevýšenie Sitna (750–1 009 m n. m.) lesy na území NPR patria do štyroch vegetačných stupňov. Najrozšírenejší je 3. dubovo-bukový lvs so slt *Querceto-Fagetum*, ktorá zaberá asi 70 % z plochy všetkých lesných typov. V tomto vegetačnom stupni sú zastúpené lesné spoločenstvá ostricovo-marinkovej živnej dubovej bučiny a lipovej javoriny. Z ďalších lesných vegetačných stupňov sa v rezervácii nachádza 1. dubový lvs so spoločenstvami skupiny lesných typov vikovo-cesnačkovej hrabovej dúbravy s javorom (*Carpineto-Quercetum acerosum*), 2. lvs bukovo-dubový so slt *Fageto-Quercetum* a málo je zastúpený aj 4. bukový vegetačný stupeň (*Fagetum typicum*) so spoločenstvami typickej marinkovej bučiny. Les tvoria pôvodné dreviny s pestrým zastúpením buka, dubov, céra, javora horského a mliečneho, lipy, hraba, jaseňa, z ihličnatých sa vyskytuje jedľa a smrek.

V slt *Querceto-Fagetum* boli v roku 1978 založené 3 trvalé výskumné plochy (TVP) o rozmere 0,5 ha, tak aby odrážali rovnaké stanovištné podmienky a zachytávali tri základné vývojové štádiá (TVP 1 – štádium optima, TVP 2 – štádium rozpadu, TVP 3 – štádium dorastania). Na analýzu využitia rastového disponibilného priestoru pralesa korunami stromov jednotlivých drevín ako aj na analýzu zistenia závislosti medzi objemami korún stromov (x) a objemom ich kmeňov (y) boli použité údaje z merania transektov (10 × 60 m) na všetkých trvalých výskumných plochách. Pre zistenie týchto produkčných charakteristík boli použité merania z 3 decénií (roky 1978, 1988, 1998). Na transektoch boli namerané a využité pre spracovanie nasledovné dendrometrické veličiny:

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

Z nameraných údajov bol vypočítaný objem korún stromov (C_k) podľa vzorcov JURČA (1968):

– pre listnaté dreviny
$$C_k = \frac{\Pi}{8} \cdot b^2 \cdot l$$

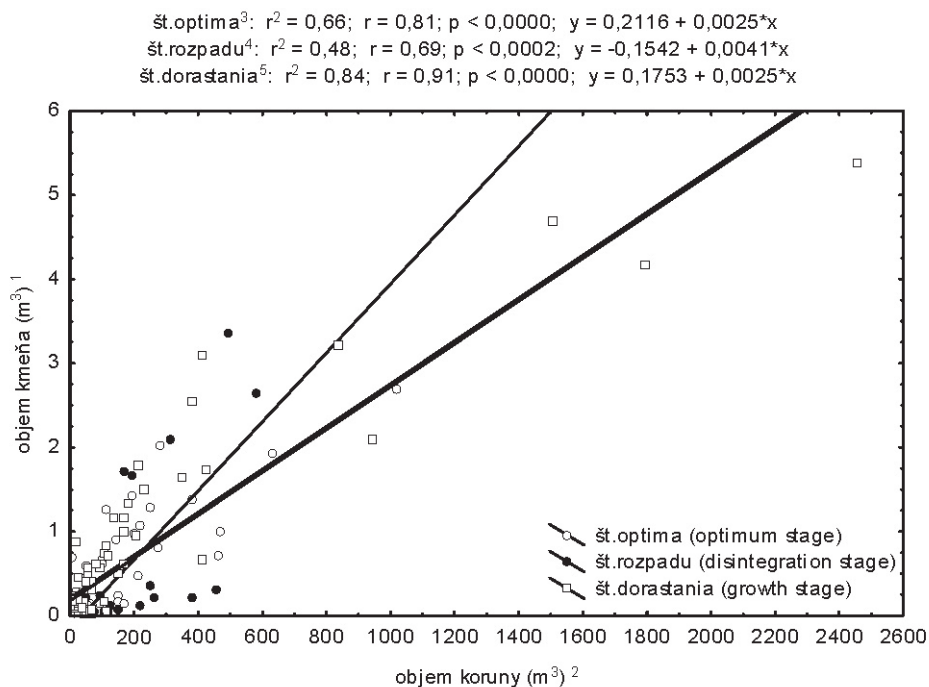
– pre ihličnaté dreviny
$$C_k = \frac{\Pi}{12} \cdot b^2 \cdot l$$

kde: b – šírka koruny (m), l – dĺžka koruny v m.

Na stanovenie objemu kmeňa boli použité objemové tabuľky PETRÁŠ – PAJTIK (1991). Produkčné využitie disponibilného priestoru stromov (VDP) sme stanovili ako podiel objemu korún stromov nachádzajúcich sa na transekte a objemu kvádra s rozmermi 10 × 60 × $h_{10\%}$ (veľkosť transektu × horná výška porastu v metroch). Stromy porastu boli rozdelené do jednotlivých vrstiev podľa tretín hornej výšky porastu.

3 VÝSLEDKY

Napriek skutočnosti, že prales Sitno je tvorený viacerými drevinami, základnou a určujúcou drevinou štruktúry a vývojového cyklu je buk lesný. Údaje o parametroch objemu koruny a objemu kmeňa ostatných drevín sú početne nedostatočné pre korelačnú analýzu. Rozbor závislosti medzi objemom korún (x) buka, ako nezávisle premennou, a objemom kmeňa (y) je prezentovaný obr. 1.



¹Trunk volume, ²Crown volume, ³Optimum stage, ⁴Disintegration stage, ⁵Growth stage

Obr. 1 Lineárna závislosť objemu kmeňa buka od objemu koruny podľa vývojových štádií
 Fig. 1 Relationship between crown and trunk volume of beech according to developmental stages

Z pohľadu tesnosti korelácie medzi skúmanými dendrometrickými veličinami sa potvrdil najvyšší korelačný koeficient v počiatočnom štádiu dorastania $r = 0,91$ s koeficientom determinácie $r^2 = 0,84$. Najnižší korelačný koeficient $r = 0,69$ spolu s najnižším koeficientom determinácie $r^2 = 0,48$ sa potvrdil pri korelovaní oboch skúmaných dendrometrických veličín v štádiu rozpadu. Z rozboru závislosti možno konštatovať, že asimilačný aparát korún stromov buka sa podieľa na objeme ich kmeňa odlišnou mierou. Najviac sa prejavuje v počiatočnej fáze štádia dorastania až 83 %, najmenej v štádiu rozpadu len 48 %. Napriek tomu, že buk je tienna drevina, tlak v rastovom priestore a konkurencia medzi drevinami v hornej vrstve je rozdielna. Práve v štádiách rozpadu je využitie disponibilného priestoru

stromami jednotlivých drevín najväčšie, pričom hrab a javor horský za obdobie 20 rokov majú najväčšie koruny (tab. 3). Táto skutočnosť mala vplyv na menšiu tesnosť korelácie v tomto vývojovom štádiu. Vo vývojovom štádiu optima dominuje v hornej a strednej vrstve buk počas obdobia skúmania, preto korelačný koeficient je významne vyšší ako v štádiu rozpadu (tab. 2).

Tab. 1 Využitie disponibilného priestoru korunami stromov (VDP) v % v jednotlivých vrstvách na TVP 3 (**štádium dorastania**) za obdobie rokov 1978–1998 v NPR Sitno

Table 1 The utilization of available growth space by tree crowns according to tree species and levels in NNR Sitno in space of time 20 years (**growth stage**)

r. 1978⁹									
drevina ¹	horná vrstva ²			stredná vrstva ³			dolná vrstva ⁴		
	C _k ⁵ [m ³]	VDP ⁶ [%]	n ⁷ [ks.ha ⁻¹]	C _k [m ³]	VDP [%]	n [ks.ha ⁻¹]	C _k [m ³]	VDP [%]	n [ks.ha ⁻¹]
bk	3 282,1	17,6	150	333,9	1,8	183	211,0	1,1	250
db	134,9	0,7	67	264,7	1,4	100	–	–	–
hb	–	–	–	371,9	2,0	150	11,8	0,1	50
jd	512,9	2,8	50	–	–	–	4,4	0,0	17
js	102,1	0,5	33	–	–	–	–	–	–
jvm	459,8	2,5	17	23,9	0,1	17	1,2	0,0	17
lp	73,6	0,4	33	34,7	0,2	17	–	–	–
spolu ⁸	4 565,5	24,5	350	1 029,1	5,5	467	228,4	1,2	333
r. 1988									
bk	3 559,4	19,1	167	293,5	1,6	150	168,0	0,9	183
db	143,4	0,8	100	31,2	0,2	17			
hb				283,0	1,5	83			
jd	376,0	2,0	33				13,2	0,1	17
js	158,0	0,8	33						
jvm	597,7	3,2	17	40,6	0,2	17	7,5	0,0	17
lp	119,0	0,6	33	28,4	0,2	17			
spolu	4 953,5	26,6	383	676,6	3,6	283	188,7	1,0	217

¹Tree species: bk-European beech, db-oak, hb-European hornbeam, jd-fir, js-ash, jvm-Norway maple, lp-lime, ²Upper layer, ³Medium layer, ⁴Lower layer, ⁵Crown volume, ⁶Utilization of available growth space by tree crowns, ⁷Tree density per hectare, ⁸Total, ⁹Year

Tab. 1 Pokračovanie
Table 1 Continue

r. 1998 ⁹									
drešina ¹	horná vrstva ²			stredná vrstva ³			dolná vrstva ⁴		
	CK ⁵ [m ³]	VDP ⁶ [%]	n ⁷ [ks.ha ⁻¹]	C _k [m ³]	VDP [%]	n [ks.ha ⁻¹]	C _k [m ³]	VDP [%]	n [ks.ha ⁻¹]
bk	5 165,8	27,8	200	273,3	1,5	100	129,3	0,7	117
db	219,0	1,2	83						
hb	17,9	0,1	17	268,2	1,4	67			
jd	510,9	2,7	33				12,1	0,1	17
js	125,0	0,7	33						
jvm	399,4	2,1	17	34,6	0,2	17	10,8	0,1	17
lp	352,0	1,9	33						
spolu ⁸	6 789,9	36,5	416	576,1	3,1	184	152,1	0,8	151

¹Tree species: bk-European beech, db-oak, hb-European hornbeam, jd-fir, js-ash, jvm-Norway maple, lp-lime, ²Upper layer, ³Medium layer, ⁴Lower layer, ⁵Crown volume, ⁶Utilization of available growth space by tree crowns, ⁷Tree density per hectare, ⁸Total, ⁹Year

Štruktúra využitia rastového disponibilného priestoru pralesa korunami stromov podľa vrstiev a rokov merania je charakterizovaná v tab. 1–3. Najvyššie hodnoty boli zistené v štádiu dorastania (tab. 1). Pokiaľ hodnotíme hustotu vyplnenia rastového priestoru asimilačnou plochou korún stromov, môžeme konštatovať jej nerovnomernosť. Najvyššia hodnota bola zistená v hornej vrstve v roku merania 1998 a to 6 789,9 m³, čo predstavuje 36,5 % vyplnenia rastového priestoru. S týmto procesom súvisí postupné vyprázdňovanie strednej a dolnej vrstvy pralesa, ktoré je tvorené dominantnou drevinou buk (tab. 1).

TVP 1, ktorá reprezentuje štádium optima má hodnoty využitia rastového disponibilného priestoru pralesa, až na strednú vrstvu najnižšie (tab. 2). Vyrovnané hodnoty objemu korún stromov hornej vrstvy poukazujú na ich rastovú vitalitu a nerušený priebeh tohto vývojového štádia.

Hodnoty využitia rastového priestoru korunami stromov na TVP 2, ktorá predstavuje štádium rozpadu majú v hornej vrstve pralesa klesajúcu tendenciu (tab. 3), aj keď objem korún stromov v roku 1988 mierne narástol, bola to reakcia zostávajúcich živých stromov na uvoľnený rastový priestor po odumretí 4 stromov. V ďalšom období merania (rok 1998) zaznamenala táto dendrometrická veličina zreteľný pokles. Rozborom výsledkov na TVP 2, možno konštatovať, že buk sa v hornej vrstve pralesa udržal, objemovo v korunovom priestore zvýšil svoju hodnotu. Znížil sa objem korún hraba, duba zimného a javora mliečneho (tab. 3). Stredná vrstva je veľmi chudobná, vyplnená len bukom, ktorý za obdobie 20 rokov zvýšil objem korún na hodnotu 676,3 m³.

Tab. 2 Využitie disponibilného priestoru korunami stromov (VDP) v % v jednotlivých vrstvách na TVP 1 (**štádium optima**) za obdobie rokov 1978–1998 v NPR Sitno

Table 2 The utilization of available crown space according to tree species and levels in NNR Sitno in space of time 20 years (**optimum stage**)

r. 1978⁹									
drevina ¹	horná vrstva ²			stredná vrstva ³			dolná vrstva ⁴		
	C _k ⁵ [m ³]	VDP ⁶ [%]	n ⁷ [ks.ha ⁻¹]	C _k [m ³]	VDP [%]	n [ks.ha ⁻¹]	C _k [m ³]	VDP [%]	n [ks.ha ⁻¹]
bk	1 367,5	7,4	117	144,9	0,8	83	39,3	0,2	33
db	622,7	3,3	133	118,6	0,6	33			
hb				353,9	1,9	117	7,5	0,0	17
js	156,3	0,8	17	4,9	0,0	17			
lp	631,2	3,4	50	22,9	0,1	17			
spolu ⁸	2 777,7	14,9	317	645,2	3,5	267	46,9	0,2	50
r. 1988									
bk	1 768,0	9,5	117	381,9	2,1	83	55,7	0,3	33
db	325,5	1,8	100						
hb	88,7	0,5	17	661,7	3,6	67			
js	69,3	0,4	17						
lp	422,3	2,3	50	88,4	0,5	17			
spolu	2 673,8	14,4	301	1 132,0	6,1	167	55,7	0,3	33
r. 1998									
bk	2 070,9	11,1	100	331,8	1,8	50	75,4	0,4	17
db	169,2	0,9	33						
hb				233,3	1,3	33			
js	396,1	2,1	17						
lp	112,0	0,6	17	31,8	0,2	17			
spolu	2 748,2	14,8	167	596,9	3,2	100	75,4	0,4	17

¹Tree species: bk-European beech, db-oak, hb-European hornbeam, js-ash, lp-lime, ²Upper layer,

³Medium layer, ⁴Lower layer, ⁵Crown volume, ⁶Utilization of available growth space by tree crowns,

⁷Tree density per hectare, ⁸Total, ⁹Year

Tab. 3 Využitie disponibilného priestoru korunami stromov (VDP) v % v jednotlivých vrstvách na TVP 2 (štádium rozpadu) za obdobie rokov 1978–1998 v NPR Sitno

Table 3 The utilization of available crown space according to tree species and levels in NNR Sitno in space of time 20 years (disintegration stage)

r. 1978 ⁹									
drevina ¹	horná vrstva ²			stredná vrstva ³			dolná vrstva ⁴		
	C _k ⁵ [m ³]	VDP ⁶ [%]	n ⁷ [ks.ha ⁻¹]	C _k [m ³]	VDP [%]	n [ks.ha ⁻¹]	C _k [m ³]	VDP [%]	n [ks.ha ⁻¹]
bk	772,1	4,2	33	265,9	1,4	50	387,6	2,1	50
db	420,9	2,3	17						
hb	1 441,1	7,7	83						
jvm	513,7	2,8	83						
jvh	1 320,6	7,1	83						
spolu ⁸	4 468,4	24,0	299	265,9	1,4	50	402,9	2,2	67
r. 1988									
bk	663,1	3,6	33	433,7	2,3	50	155,0	0,8	33
db	577,4	3,1	17						
hb	1 036,8	5,6	50						
jvm	917,8	4,9	33						
jvh	1 682,8	9,0	67						
spolu	4 877,9	26,2	200	559,0	3,0	67	166,3	0,9	50
r. 1998									
bk	943,2	5,1	50	676,3	3,6	50	142,7	0,8	33
db	298,2	1,6	17						
hb	1 004,8	5,4	33						
jvm	364,7	2,0	17						
jvh	1 512,4	8,1	83						
spolu	4 123,3	22,2	200	676,3	3,6	50	168,7	0,9	50

¹Tree species: bk-European beech, db-oak, hb-European hornbeam, jvm-Norway maple, jvh-sycamore maple, ²Upper layer, ³Medium layer, ⁴Lower layer, ⁵Crown volume, ⁶Utilization of available growth space by tree crowns, ⁷Tree density per hectare, ⁸Total, ⁹Year

4 DISKUSIA A ZÁVER

Výsledky získavané z výskumu pralesa Sitno sú čiastočne odlišené od podobných výsledkov získavaných z pralesa Skalná Alpa (ZRAK, SANIGA 2010), ale aj z pralesa Hrončokovský Grúň (SANIGA, BALANDA 2008). Jedná sa hlavne o analýzu vzťahu medzi objemom koruny a kmeňa buka v jednotlivých vývojových štádiách. Štádium optima má vo všeobecnosti najnižšiu tesnosť korelácie, čo pri všetkých aj drevinovo rovnorodých

pralesoch potvrdzujú výsledky. Na druhej strane v prípade pralesa Sitno výsledky potvrdili najvyšší koeficient determinácie v štádiu dorastania, napriek najvyššiemu využitiu rastového disponibilného priestoru. K podobným výsledkom dospeli autori BAKOŠOVÁ, SANIGA (2009) z výskumu bukových pralesov východného Slovenska. Najvyššie hodnoty využitia rastového priestoru sa ukázali práve v štádiu dorastania, pričom najvýraznejší nárast objemu korún buka bol zaznamenaný v NPR Rožok v hornej vrstve štádia rozpadu. V NPR Sitno buk ako nositeľ štruktúry porastu dominoval počas sledovaného obdobia v celom rastovom priestore pralesa až na hornú vrstvu štádia rozpadu, kde sa objemovo viac presadili hrab a javor horský.

Práca vznikla v rámci riešenia projektu „Centrum excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy“, na základe podpory Operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja na základe zmluvy č. 262201200006.

Literatúra

- BAKOŠOVÁ, L., SANIGA, M. 2009. Výbrané charakteristiky rastového priestoru bukových pralesov Slovenska. Pestovanie lesa ako nástroj cieľavedomého využívania potenciálu lesov, NLC – LVÚ Zvolen, s. 291–298.
- BRANG, P. 2005. Virgin forests as a knowledge source for central European silviculture: reality or myth? *Forest Snow and Landscape Research*. 79, 1/2, p. 19–32.
- GRATZER, G., et al. 2004. Spatio-temporal development of forests – current trends in field methods and models. *Oikos*, vol. 107, p. 3–15.
- KORPEL, Š. 1989. Pralesy Slovenska. Veda, SAV, Bratislava, 332 s.
- KORPEL, Š. 1995. Die Urwälder der Westkarpaten. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 310 s.
- OLDEMANN, R.A.A. 1990. *Forests: Elements of Silvology*. Springer-Verlag (Berlin and New York), p. 624.
- PETRÁŠ, R., PAJTIK, J. 1991. Sústava česko-slovenských objemových tabuliek drevín. *Lesnícky časopis*, roč. 37, č. 1, s. 49–56.
- SANIGA, M. 1995. Štruktúra, vývoj a rastové procesy prírodného lesa Skalná Alpa. *Ochrana prírody, Banská Bystrica*, roč. 13, s. 251–262.
- SANIGA, M., BALANDA, M. 2008. Dynamics of tree species composition and characteristics of available space utilization in the natural forest of the National Nature Reserve Hrončokovský Grúň. *Journal of Forest Science*, 54, p. 497–508.
- SANIGA, M., VENCÚRIK, J. 2007. Dynamika štruktúry a regeneračné procesy lesov v rôznej fáze prebudovy na výberkový les v LHC Korytnica. *Vedecké štúdie TU Zvolen*, 83 s.
- VEBLEN, T.T. 1992. Regeneration dynamics. In: Glenn-Lewin, D. C., Peet, R. K., Veblen, T. T. *Plant succession, theory and prediction*. Chapman and Hall, p. 152–187.
- WATT, A.S. 1947. Pattern and process in the plant community. *Journal of Ecology*. 35, p. 1–22.
- ZRAK, J., SANIGA, M. 2010. Produkčné a rastové charakteristiky drevín v rastovom priestore pralesa NPR Skalná Alpa. *Acta Facultatis Forestalis, Zvolen*, s. 55–63.

Adresa autorov:

Prof. Ing. Milan Saniga, DrSc.

Ing. Lucia Danková

Katedra pestovania lesa

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24

960 53 Zvolen

Rastové charakteristiky a využitie disponibilného priestoru drevinami v pralese NPR Sitno

Abstrakt

Cieľom predkladanej práce bolo posúdiť vybrané produkčné a rastové charakteristiky zmiešaného pralesa v NPR Sitno. Údaje pochádzajú z transektov (60×10 m) trvalých plôch založených v troch rôznych štádiách (štádium dorastania, optima a rozpadu) za obdobie rokov 1978–1998. Analýza vzťahu medzi objemom kmeňa a objemom koruny buka poukázala na tesnú závislosť. Najvyšší korelačný koeficient ($r = 0,91$ a $r^2 = 0,83$) bol dosiahnutý v počiatočnom štádiu dorastania, napriek tomu že využitie disponibilného priestoru korunami stromov za sledované obdobie dosahovalo najvyššie hodnoty (od 31,2 % do 40,4 %). V štádiu rozpadu, kde v hornej vrstve dominovali hrab a javor mliečny, sa naopak ukázala menej tesná závislosť medzi objemom kmeňa a objemom koruny buka ($r^2 = 0,48$).

Kľúčové slová: prales, vývojové štádium, využitie disponibilného priestoru

DISTURBANČNÝ REŽIM V SMREKOVO-BUKOVOM PRALESE V NPR SKALNÁ ALPA

Jozef Z R A K – Milan S A N I G A

Zrak, J., Saniga, M.: Disturbance regime in a mixed spruce-beech natural forest in the nature reserve Skalná Alpa. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen, 56(1): 123–132, 2011.

This paper deals with the evaluation of gaps in a spruce-beech natural forest on limestone bedrock in the National Nature Reserve Skalná Alpa. Data were collected using the Field.Map on two permanent research plots (PRP) with sizes of 50 × 150 m each. We measured 23 gaps locate within the PRPs. We distinguished between open and expanded gaps. Gap area, number of gapmakers and gapmakers decay classes were evaluated for each gap. The summary area of open and expanded gaps is 2 485.1 m² and 6 704.6 m², respectively. Individual open gap area ranged between 9.5 m² and 461.1 m², whereas the individual expanded gap area ranged from 56 m² to 895.2 m². Sixty-three gapmakers participated in the formation of gaps. Species composition of gapmakers was beech approx. 90%, spruce approx. 8% and maple 2%.

Keywords: Skalná Alpa, beech, forest gaps, natural forest

1 ÚVOD A PROBLEMATIKA

Tvorba medzier v poraste je výsledkom buď prirodzeného vypadávania jedincov v dôsledku dovŕšenia ich fyziologického veku alebo v dôsledku rôznych disturbancií. Disturbancie silne ovplyvňujú štruktúru porastu. V našich podmienkach je najvýznamnejším disturbančným faktorom vietor (NAGEL *et al.*, 2006; NAGEL, SVOBODA 2008).

Tvorba medzier v poraste, veľmi významne ovplyvňuje následnú štruktúru porastu. V lesoch tvorených slnnými drevinami sú medzery vytvárané odumieraním jednotlivých stromov alebo v malých skupinách, čoho výsledkom je maloplošná štruktúra medzier. V lesoch z dominanciou drevín ako smrek a jedľa dynamika tvorby medzier ovplyvňuje štruktúru porastu omnoho viac ako sa predpokladalo (McCARTHY 2001). Úloha exogénnych disturbancií pri tvorbe medzier v poraste však bola v tradičnom stredoeurópskom ponímaní podhodnocovaná, nakoľko autori (PRŮŠA 1958, LEIBUNDGUT 1987, KORPEL 1995) považovali tvorbu medzier za relatívne plynulý, endogénny proces odumierania jednotlivých stromov alebo ich skupín. Naproti tomu súčasné výskumy potvrdili, že periodické disturbancie môžu mať významný vplyv na formovanie medzier v poraste. Vietor má teda významnú úlohu pri vytváraní stredných a veľkých medzier v poraste ako aj v procese formovania a rozširovania medzier lesov strednej Európy (NAGEL *et al.* 2006; NAGEL, SVOBODA 2008;). Pohľad na vietor ako disturbančný faktor však môže byť rozdielny, nakoľko jeho intenzita môže byť rôzna. Pri určitej sile vietor ničí rovnako stromy zdravé ako aj

oslabené, toto pôsobenie je považované za exogénne (PICKET, WHITE, 1985). Na druhej strane, ak vietor vyvracia len stromy oslabené rastovými stresmi alebo prirodzeným dožívaním ako súčasťou prirodzeného vývoja ekosystému, disturbancia je jednoznačne endogénna (BORMANN, LIKENS 1979). Tento pohľad sa prikláňa k tradičnému stredoeurópskemu ponímaniu (PRŮŠA 1958, LEIBUNDGUT 1987, KORPEL 1995).

Či už prirodzeným odumieraním jedincov v poraste, alebo pôsobením disturbancií dochádza k tvorbe medzier v poraste. Vznik medzier v poraste, ako aj samotná medzera svojim tvarom, veľkosťou a orientáciou formuje štruktúru porastu (McCARTHY 2001). Taktiež ovplyvňuje regeneračné procesy a druhové zloženie porastu prostredníctvom rôznych mikroklimatických a ekologických podmienok v rámci medzery. Energia, ktorá sa dostane do podúrovne vďaka vypadnutiu jedincov, urýchli rozklad vrchných humusových vrstiev, zmení teplotný a vlhkosťný režim, čím výrazne zlepši podmienky pre ujímanie, odrastanie a prežívanie jedincov z prirodzeného zmladenia. Dynamika prirodzenej obnovy v pralesoch na hornej hranici lesa je špecifická (KORPEL 1995, SANIGA 2007). Tvorba medzier a následné procesy nie sú jediný spôsob ako disturbancie ovplyvňujú porast. Veľmi významný vplyv má tiež tvorba kopčiekov a jám po vyvrátených stromoch (pit and mound topography), ktoré sú v poraste badateľné ešte niekoľko desiatok rokov. Tieto majú veľký vplyv na vývin pôdy ako aj mikroklimu stanovišťa, čím sa vytvárajú osobité podmienky pre prirodzenú obnovu rôznych drevín a tým ovplyvňujú následnú štruktúru porastu.

Cieľom tejto práce je zistiť rozsah a rozdelenie porastových medzier podľa počtu, veľkosti a počtu gapmakerov v NPR Skalná Alpa.

2 CHARAKTERISTIKA VÝSKUMNÉHO OBJEKTU

Skalná Alpa (1 463,2 m n. m.) je jedným z vrchov orografického celku Veľká Fatra. Nachádza sa v Žilinskom kraji, okrese Ružomberok v katastri obce Liptovská Osada a Lubochňa.

Rezervácia predstavuje zachovaný komplex lesných spoločenstiev 6., 7. a 8 lesného vegetačného stupňa. Porasty sú výrazne rôznoveké, 100 až 160 ročné. V nižších polohách ich tvorí zmes buka, jedle, smrek a javora horského. KORPEL (1989) uvádza v NPR Skalná Alpa nasledovné drevinové zloženie SM 65 %, JD 10 %, BK 20 %, JH 5 %. Tieto porasty patriace do skupín lesných typov (slt) *Fageto-Aceretum*, a *Abieto-Fagetum*, prechádzajú v siedmom lvs do prestarnutých porastov patriacich do slt *Fageto-Picetum* a *Acereto-Picetum*. Vo výškach nad 1 400 m. n. m sa vyskytuje porast kosodreviny s vtrúseným smrekom, jarabinou vtáčou a rakytou (VYSKOT 1981). Z rastlín v synúzii prevládajú *Mercurialis perennis*, *Adenostyles alliariae*, *Mulgedium alpinum*, *Doronicum austriacum*, *Homogyne alpina* a *Cortusa Mathiolii*.

Geologické podložie je tvorené vápencami a dolomitmi. Na týchto horninách z pôdnych typov prevažujú rendziny hnedé, vyvinuté buď na vápencovom alebo dolomitovom podloží. Ďalším podtypom je rendzina typická, viažuca sa na hrebeňové a podhrebeňové lokality a strmé svahy. Na svahovinách silikátových hornín sa vyskytujú taktiež hnedé lesné pôdy (VESTENICKÝ, VOLOŠČUK 1986).

Priemerná ročná teplota je 4 °C, priemerné ročné zrážky sa pohybujú od 1 000 do 1 200 mm, z toho vo vegetačnej dobe padne v priemere 600–650 mm. Počet letných dní s teplotou nad 25 °C a vyššie je 20 a počet mrazových dní je v priemere 170 (SANIGA 2004).

3 METODIKA

Výskum bol vykonaný na dvoch trvalých výskumných plochách o rozmeroch 150 × 50 m (0,75 ha). Celková skúmaná plocha bola teda 1,5 ha. Výskumné plochy boli založené účelovo v bukovo-javorovej časti NPR Skalná Alpa v slt. *Fageto-Aceretum*. Plochy boli vymerané pomocou technológie Field-Map a stabilizované pomocou drevených kolíkov. Plochy boli orientované dlhšou stranou po vrstevnici. Každá plocha bola rozdelená kvôli lepšej orientácii na 12 čiastkových plôch o výmere 25 × 25 m.

Na každej ploche boli technológiou Field-Map zamerané porastové medzery a zbytky tzv. *gapmakerov*. Za *gapmakery* považujeme stromy, ktorých vypadnutím vznikla medzera. Tieto majú charakter stojacej alebo ležiacej nekromasy.

Pri nekromase sme merali jej dĺžku automaticky prístrojom Field-Map pri jej pozícnom zachytení. Merali sme priemer na hrubšom a tenšom konci dendrometrickej priemerky s milimetrovým delením s presnosťou na 1 mm. Pri stojacej nekromase, sme merali jej hrúbku a výšku podľa všeobecných zásad priemerkovania. Výšku sme merali pomocou ultrazvukového výškomeru Vertex III s presnosťou na 0,5 m. Registračná hodnota pre stojacu nekromasu je jej minimálny priemer v $d_{1,3}$ 8 cm, a minimálna výška 2 metre. Objem nekromasy sa priradzuje k tej ploche, v ktorej mal jedinec pôvod, teda z ktorej vypadol.

Stupne rozkladu odumretých stojacich a ležiacich kmeňov bude určený podľa metódy ALBRECHT (1990), a to:

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

Na záujmovej ploche 1,5 ha sme zameriavali dva typy medzier. A to otvorené a rozšírené (*sensu* RUNKLE 1992). Otvorená medzera sa rozumie ako vertikálny priemet otvoru v korunách, ktorý vznikol vypadnutím jedného alebo viacerých jedincov patriacich do hornej vrstvy. Rozšírená medzera je definovaná, ako plocha ohraničená bázami kmeňov stromov, ktorých koruny ohraničujú otvorenú medzeru. Za medzeru v poraste bude považovaný otvor v korunovej klenbe, ktorý vznikol po vypadnutí jedného alebo viacerých jedincov z hornej vrstvy porastu. Otvorená a rozšírená medzera budú evidované len vtedy, keď sú ešte identifikovateľné zvyšky odumretých jedincov, ktorých vypadnutie spôsobilo vznik medzery. Ak sa v medzere nachádzajú jedince následnej generácie, ktoré dosiahli výšku nerozoznateľnú od jedincov okolitého porastu, takúto medzeru považujeme za uzavretú.

Pre každú medzeru sme zisťovali výmeru. Túto sme určili ako obsah polygónu vzniknutého z jednotlivých meracích bodov. Výpočet plošného obsahu bol vykonaný automaticky v prístroji Field-Map.

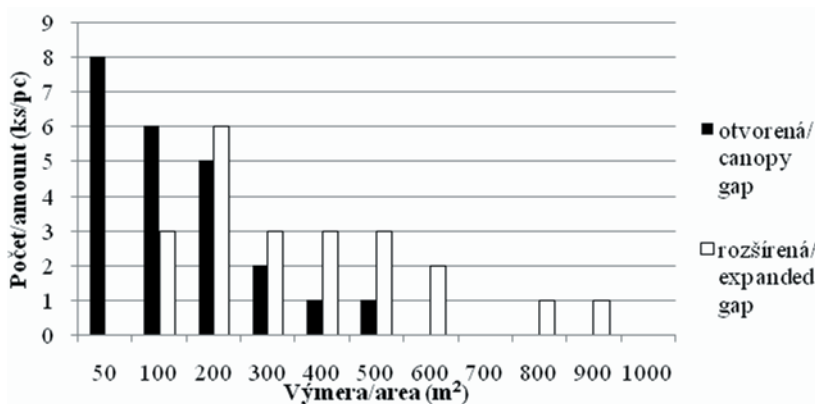
4 VÝSLEDKY

Na dvoch výskumných plochách o výmere 1,5 ha bolo zmeraných 23 porastových medzier, čo znamená, že na 1 ha plochy pripadá viac ako 15 porastových medzier. Suma výmer otvorených medzier je 2 485,1 m², čo činí pri relatívnom vyjadrení 16,6 % plochy. Sumárna výmera rozšírených medzier bola zistená s plochou 6 704,6 m², čo znamená, že až 44,7 % skúmanej plochy zaberajú rozšírené medzery.

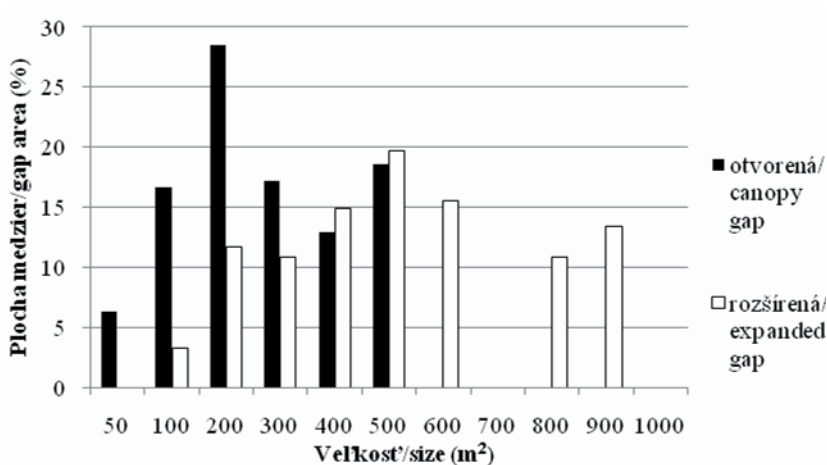
Veľkosť otvorených medzier sa pohybuje od 9,5 m² do 461,1 m² (Obr. 1). Priemerná veľkosť otvorenej medzery je 108 m² a mediánová hodnota je 72,3 m². Výmery rozšírených medzier sa pohybujú od 56 m² do 895,2 m². Priemerná veľkosť rozšírenej medzery je 304,8 m² a mediánová hodnota je 256,9 m² (Obr. 4). Histogram rozdelenia početností otvorených a rozšírených medzier je charakterizovaný na obr. 1. Rozbor štruktúry poukazuje na skutočnosť, že najpočetnejšie zastúpenou veľkostnou kategóriou otvorených medzier je kategória do 50 m², avšak táto sa podieľa na celkovej výmere otvorených medzier len 6,3 %. Najviac sa celkovej výmere podieľa kategória 100–200 m², ktorá je však početnosťou až na treťom mieste. Iná je situácia v prípade rozšírených medzier, kde je najpočetnejšia kategória 100–200 m². Najväčší podiel na výmere rozšírených medzier (19,7 %) má však kategória 400–500 m². Obr. 2 znázorňuje akým percentuálnym podielom sa zúčastňuje príslušná veľkostná kategória medzier na celkovej výmere medzier v poraste. Tu sa potvrdilo, že otvorené medzery svojim % podielom sú najmä zastúpené v kategórii do 200 m². Celkovo možno konštatovať, že otvorené medzery v rozpätí veľkostí 200–500 m² tvoria až 49 % z celkovej plochy porastových medzier.

Na tvorbe medzier sa podieľa 63 gapmakerov. Najmenšie medzery na trvalej výskumnej ploche sú tvorené jedným gapmakerom, najväčšie až siedmymi. Percentuálny podiel medzier v závislosti od počtu gapmakerov je vyobrazený na obrázku č. 3. Druhé zloženie gapmakerov je nasledovné: buk lesný – 57 ks, smrek obyčajný – 5 ks, javor horský – 1ks. V relatívnom vyjadrení sa na tvorbe medzier podieľa buk lesný cca 90 %, smrek obyčajný cca 8 %. Najmenší podiel má javor horský so svojou 2 % účasťou (Obr. 5).

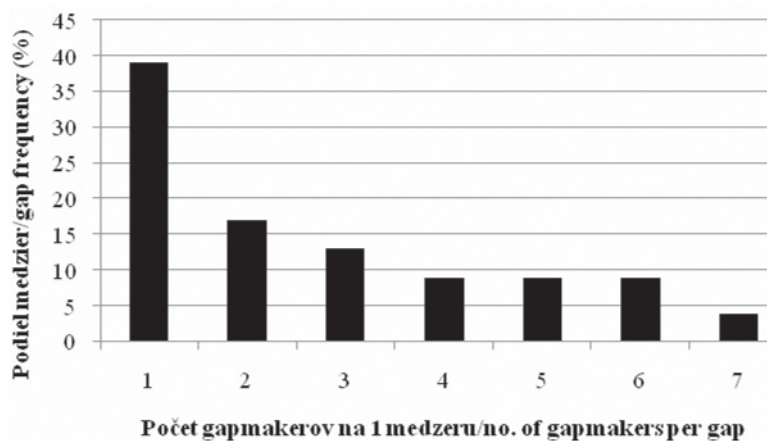
Z celkového počtu gapmakerov 63, je 10 kusov v prvom štádiu rozkladu (*sensu* ALBRECHT 1990), 14 kusov v druhom štádiu, 22 kusov v treťom štádiu a v štvrtom štádiu sa nachádza 17 kusov gapmakerov (Obr. 6). Z rozboru štruktúry počtu gapmakerov na tvorbe porastovej medzery je zrejmé, že 34 % tvoria medzery vytvorené jedným stromom (Obr. 3). Medzera vytvorená vypadnutím 7 stromov sa podieľa na celkovom počte 4 %.



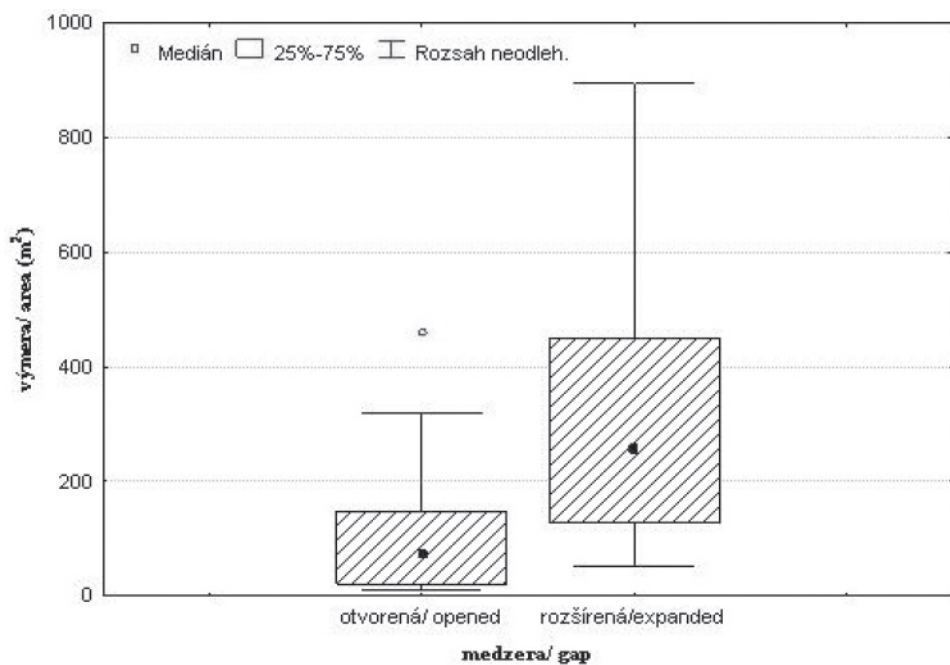
Obr. 1 Rozdelenie absolútneho počtu porastových medzier v závislosti od ich veľkosti
Fig. 1 Frequency of canopy gaps according to size classes



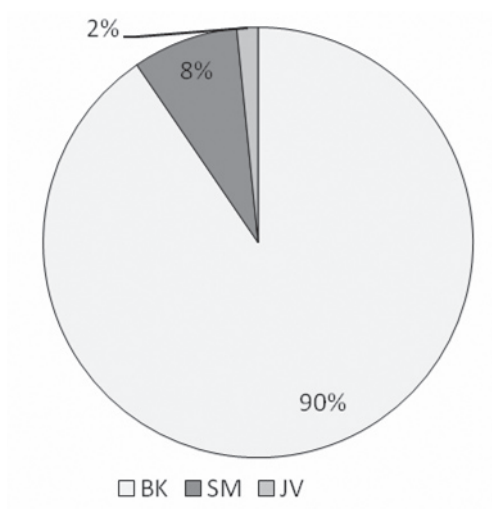
Obr. 2 Relatívny podiel medzier jednotlivých veľkostných kategórií na celkovej výmere medzier
Fig. 2 Proportion of total gap area in particular gap size categories of canopy gaps



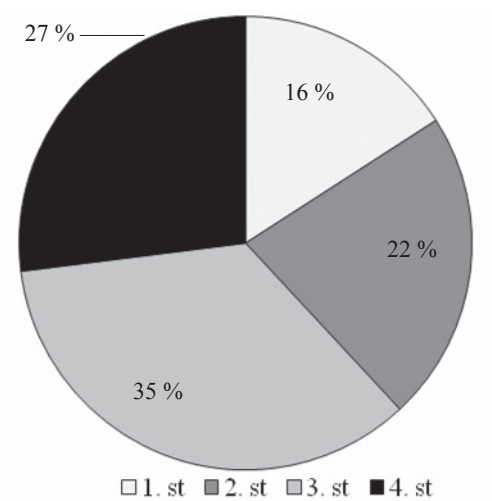
Obr. 3 Relatívne rozdelenie medzier v závislosti od počtu gapmakerov, ktoré ich tvoria
 Fig. 3 Gap frequency according to number of gapmakers per gap



Obr. 4 Veľkosti otvorených a rozšírených medzier
 Fig. 4 Opened gap and closed gap sizes



Obr. 5 Druhové zloženie gapmakerov
Fig. 5 Species composition of gapmakers



Obr. 6 Percentuálne zastúpenie jednotlivých štádií rozpadu gapmakerov
Fig. 6 Percentage of gapmakers decay classes

5 DISKUSIA A ZÁVER

Zistené charakteristiky porastových medzier v záujmovej časti NPR Skalná Alpa najviac korešpondujú so zisteniami BALANDU (2010) z NPR Hrončecký grůň, napriek tomu, že pracoval v podmienkach 6. lvs. Výskyt 15 porastových medzier pripadajúcich na 1 ha porastu je blízky údajom BALANDU (2010), ktorý uvádza 14 porastových medzier na hektár. Naproti tomu iní autori, ako napr. KUCBEL *et al.* (2010) uvádzajú v NPR Badínsky prales denzitu medzier 9 ks/1 ha a PAROBEKOVÁ, KLIMAŠ (2007) v NPR Dobročský prales dokonca len necelých 7 medzier na 1 ha porastu.

Podiel otvorených medzier v NPR Hrončecký grůň uvádza BALANDA (2010) taktiež blízky našim zisteniam, a to: 17,44 % (TVP2) resp. 11,7 % (TVP1) a rozšírených medzier 48,15 %, resp. 41,17 % (Skalná Alpa – 16,6 % otvorené medzery a 44,7 % rozšírené medzery). V Badínskom pralese otvorené medzery zaberajú 11,3 % a rozšírené 37,9 % plochy (KUCBEL *et al.* 2010). Podiel medzier v NPR Dobročský prales je 18,25 % v prípade otvorených a 36,5 % v prípade rozšírených medzier (OLŠAVSKÁ, KLIMAŠ 2007). Početne najdominantnejšou kategóriou medzier pri všetkých porovnávaných prácach je kategória 50–100 m².

Toto druhové zloženie gapmakerov kopíruje druhové zloženie porastu, vo všetkých porovnávaných prácach. Rozpad porastu je najmaloplošnejší v prípade NPR Skalná Alpa, kde viac ako 75 % medzier je tvorených jedným gapmakerom. V NPR Badínsky prales je 50 % medzier tvorených 1–2 gapmakermi (KUCBEL *et al.* 2010), v NPR Hrončocký grůň 78 % medzier je tvorených 1–3 jedincami (BALANDA 2010) a v NPR Dobročský prales je 59 % porastových medzier tvorených 3 –7 gapmakermi, najpočetnejšie sú medzery so 4 gapmakermi (17 %) (OLŠAVSKÁ, KLIMAŠ 2007).

Až 70 % medzier tvorených viac ako jedným gapmakerom, má nekromasu v rozdielnom štádiu rozpadu. Z toho možno usudzovať, že v záujmovej časti NPR Skalná Alpa dochádza k sekundárnemu rozširovaniu medzier. Rozbor výsledkov poukazuje na vysokú stabilitu tohto pralesa napriek skutočnosti, že sa prales nachádza na hornej hranici lesa. Tu sa podieľa na tvorbe porastových medzier vietor ako hlavný disturbančný činiteľ, pričom porast sa nedostáva do plošnej dynamiky disturbancie (patch dynamika).

Podakovanie

Táto štúdia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt Centrum excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy, ITMS: 26220120006, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

6 Literatúra

- ALBRECHT, L., 1990: Grundlagen, Ziele und Methodik der waldökologischen Forschung in Naturwaldreservaten. Naturwaldreservate in Bayern. Schriftenr des Bayerischen StMfELF 1 : 1–221.
- BALANDA, M., 2010: Štruktúra, textúra, diverzita a regeneračné procesy zmiešaného prírodného lesa v NPR Hrončecký grůň, Dizertačná práca, TU Zvolen, 118 s.
- BORMANN, F.H., LIKENS, G.E., 1979: Catastrophic disturbance and the steady state in northern hardwood forests. American Scientist, 67: 660–669.

- KORPEL, Š., 1989. Pralesy Slovenska. Bratislava, Veda: 329.
- KORPEL, Š., 1995: Die Urwälder der Westkarpaten. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Germany.
- KUCBEL, S., JALOVÍAR, P., SANIGA, M., VENCURIK, J., KLIMAŠ, V., 2010: Canopy gaps in an old-growth fir-beech forest remnant of Western Carpathians, Eur. J. Forest Res. 129: 249–259.
- LEIBUNDGUT, H., 1987: Gefährden Reservate den Wald? Neue Zürcher Zeitung, 31. 12. 87.
- MCCARTHY, J., 2001: Gap dynamics of forest trees: a review with particular attention to boreal forests. Environmental Reviews 9 (1), p. 1–59.
- NAGEL, T.A., SVOBODA, M., DIACI, J., 2006: Regeneration pattern after intermediate wind disturbance in an old-growth *Fagus-Abies* forest in southeastern Slovenia, Forest Ecology and Management, 226, pp. 268–278.
- NAGEL, T., SVOBODA, M., 2008: Gap disturbance regime in an old-growth *Fagus-Abies* forest in the Dinaric Mountains, Bosnia-Herzegovina, Canadian Journal of Forest Research 38, pp. 2728–2737.
- PAROBEKOVÁ, Z., KLIMAŠ, V., 2007: Veľkosť medzier v korunovej klenbe a frekvencia ich výskytu v Dobročskom pralese, Acta Facultatis Forestalis Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, Vol. 49, č. 2, s. 43–54.
- PICKETT, S.T.A., WHITE, P.S., 1985: The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics., Academic Press, San Diego, 472 pp.
- PRŮŠA, E., 1985: Die böhmischen und mährischen Urwälder – ihre Struktur und Ökologie. Academia, Praha.
- RUNKLE, J.R., 1992. Guidelines and sample protocol for sampling forest gaps. General technical Report PNW-GTR-283. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 44 p.
- SANIGA, M., – SANIGA, M., 2004: Influence of stand structure on the occurrence of bird communities in the National Reserve Skalná Alpa in the Veľká Fatra Mts. Journal of Forest Science 50, 219–234.
- SANIGA, M., 2007: Regeneračné procesy smrekového prírodného lesa na jeho hornej hranici. Beskydy, 20: 161–168.
- VESTENICKÝ, K., VOLOŠČUK, I., 1986. Veľká Fatra chránená krajinná oblasť. Bratislava, s. 378.
- VYSKOT, M. 1981: Československé pralesy, Praha, Academia, 362 s.
-

Adresa autorov:

Prof. Ing. Milan Saniga, DrSc.,
Ing. Jozef Zrak
Katedra pestovania lesa, Lesnícka fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen

Disturbančný režim v smrekovo-bukovom pralese v NPR Skalná Alpa

Abstrakt

Predkladaná práca sa zaoberá hodnotením porastových medzier v smrekovo-bukovom pralese na vápencovom podloží v NPR Skalná Alpa. Výskum bol vykonaný na dvoch TVP o rozmeroch 50×150 m. technológiou Field-Map bolo zameraných 23 porastových medzier zasahujúcich do TVP. Rozlišovali sa otvorené a rozšírené medzery. Pre každý druh sa zisťovala ich výmera, počet a stupeň rozkladu gapmakerov. Plocha otvorených medzier je $2\,485,1\text{ m}^2$, výmera rozšírených medzier je $6\,704,6\text{ m}^2$. Veľkosť otvorených medzier sa pohybuje od $9,5\text{ m}^2$ do $461,1\text{ m}^2$. Výmery rozšírených medzier sa pohybujú od 56 m^2 do $895,2\text{ m}^2$. Na tvorbe medzier sa podieľa 63 gapmakerov. Na tvorbe medzier sa podieľa buk lesný cca 90 %, smrek obyčajný cca 8 %. Najmenší podiel má javor horský so svojou 2 % účasťou.

Kľúčové slová: Skalná Alpa, buk, porastové medzery, prales

ŠTRUKTÚRA, PRODUKČNÉ POMERY, NEKROMASA A REGENERAČNÉ PROCESY V BUKOVOM PRÍRODNOM LESE V NPR ROŽOK

Lenka B U G O Š O V Á – Milan S A N I G A

Bugošová, L., Saniga, M.: Structure, production, deadwood and regeneration processes in a beech primeval forest in the NNR Rožok. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, 53(1): 133–142, 2011.

This paper deals with the results of diameter distribution, basal area, growing stock, deadwood and regeneration processes analysis in NNR Rožok in group of forest types *Fagetum pauper* vst in particular development stages of the virgin forest. The detailed analysis was carried out on the area of 2 ha (100 × 200 m) plot. The average of growing stock on the research plot ranged from 557.48 m³.ha⁻¹ in growing up stage up to 822.68 m³.ha⁻¹ in optimum stage. Stand reached the highest basal area values (53.55 m².ha⁻¹) in optimum stage and the lowest value (38.11 m².ha⁻¹) in the breakdown stage. From the natural regeneration point of view except the beech individuals in height category 0–20 cm there also occurred 79 pc.ha⁻¹ (0.25%) of sycamore maple individuals in growing up stage and 78 ks.ha⁻¹ (0.47%) in breakdown stage, whereas the highest number of beech individuals were detected in optimum stage 40 000 pc.ha⁻¹ (77.63%) from the total amount of natural regeneration in this development stage. There was detected necromass in amount of 93.47 m³.ha⁻¹, from which logs represented 85.50 m³.ha⁻¹ (91.48%) and snags 7.97 m³.ha⁻¹ (8.52%). The highest share of deadwood was in third stage of decomposition (43,03%) from which logs represented the highest share (37.16%) on the total amount of deadwood.

Key words: beech virgin forest, NNR Rožok, deadwood, *Fagetum pauper*

ÚVOD A PROBLEMATIKA

Pralesy predstavujú v stredoeurópskych podmienkach nenahraditeľné objekty základného a aplikovaného výskumu a sú modelom pre štúdium zákonitostí vývoja, stability, produkcie a ďalších vlastností lesných ekosystémov (KORPEL, 1989). Buk lesný (*Fagus sylvatica* L.) je jednou z dominantných drevín temperátnych lesov Európy (JAHN, 1991). Na podklade údajov z mapy potencionálnej prirodzenej vegetácie Európy (BOHN *et al.*, 2004), rovnorodé bukové alebo zmiešané bukové lesy pravdepodobne pokrývali viac ako 92 miliónov ha výmery Európy za posledných 1000 rokov. Podľa súčasných národných inventarizačných údajov porasty s dominantným zastúpením buka (*Fagus sylvatica* L.) stále pokrývajú viac ako 14 miliónov ha (STANDOVÁR, KENDERES, 2003).

Na Slovensku sa sa aj napriek jeho relatívne malej rozlohe, práve vďaka značnému geografickému členeniu, pestrému geologickému podložiu, výrazným rozdielom klimatických pomerov zachovalo viac ako 70 fragmentov prírodných lesov a pralesov, ktoré zaberajú územia od dubového až po smrekový lesný vegetačný stupeň (KORPEL, 1989).

Jednou z hodnotných pralesovitých rezervácií s vysokým stupňom zachovania pôvodnej populácie buka na Slovensku je NPR Rožok, v ktorej prebieha systematický a dlhodobý výskum, od roku 1970 (TERRAY 1971, KORPEL 1989, 1995; SANIGA 2002), Výskumom ekotypu východoslovenského buka v pohorí Popriečny sa zaoberal RÉH (1998). KORPEL (1995) a SANIGA (2002) zistili, že prales Rožok patrí medzi najzachovalejšie v rámci výskumu bukových pralesov Slovenska. Dynamika regeneračných procesov prebieha v kontinuite a jeho produkčný vrchol predstavuje maximálnu hodnotu nameranej biomasy (KORPEL, 1995).

Karpatské bukové pralesy na východnom Slovensku patria k najzachovalejším pralesovitým objektom nielen na Slovensku, ale aj v rámci Európy, čo dokumentuje aj ich zapísanie do zoznamu svetového prírodného dedičstva UNESCO v roku 2007. Nachádzajú sa na ťažko prístupných lokalitách obklopené rozsiahlymi rovnorodými bukovými lesmi s málo narušeným ekotypom v širšom okolí. V 4. lesnom vegetačnom stupni na produkčne slabších, ako aj na produkčne dobrých stanovištiach vytvárajú výrazne rôznoveké porasty s 2–3 vrstvou výstavbou (KORPEL 1989).

Cieľom prieskumu je na výskumnej ploche 2 ha na analyzovaných vývojových štádiách zistiť ich objemovú štruktúru, nekromasu a dynamiku regeneračných procesov jednotlivých drevín. Okrem uvedených úloh bolo cieľom práce analyzovať hrúbkovú štruktúru pralesa bez prihliadnutia na jeho vývojové štádia.

MATERIÁL A METODIKA

NPR Rožok sa rozprestiera na výmere 67,13 ha a orograficky patrí do východných Karpát, pohoria Bukovské vrchy, pod správu LZ Ulič. Nachádza sa na 48°58'30" severnej zemepisnej šírky a 22°28'00" východnej zemepisnej dĺžky (UNEP-WCMC, 2007), v nadmorskej výške 500–790 m n. m., na prevažne severne, čiastočne západne a severozápadne exponovanom svahu so sklonom 40–50 %. Územie patrí do humídnej oblasti s priemerným úhrnom zrážok 780 mm s priemernou ročnou teplotou 7 °C. Za rezerváciu bola vyhlásená z dôvodu ochrany zvyšku typického bukového pralesa rozhodnutím komisie SNR pre školstvo a kultúru č. 26 z 28. 6. 1965 úpravou č. 7282/1965 – osv./10 (VYSKOT *et al.*, 1981).

Geologické podložie na prevažnej časti tvorí pieskovec, na menšej časti územia sú to ílovité bridlice. Dominantným pôdnym typom je mezotrofná hnedá lesná pôda. Na 85 % výmery NPR prevažuje slt *Fagetum pauper* vst, zvyšných 15 %, v súvislom pruhu v najvyššej časti NPR patrí do slt *Fagetum typicum*.

Pre potreby výskumu štrukturálnych charakteristík prírodného lesa bola po dôkladnej rekognoskácii terénu založená trvalá výskumná plocha (ďalej TVP) v 4. bukovom lvs v slt *Fagetum pauper* vst, v časti porastu, ktorý predstavuje homogénnu plochu s typickým pralesovitým charakterom, bez viditeľného antropogénneho vplyvu, na svahu s rovnakým sklonom, expozíciou a pôdnym typom.

TVP má rozmery 200 × 250 m s výmerou 5 ha a kvôli lepšej orientácii bola zahusťená sieťou 80 čiastkových plôch (ďalej len ČP) s rozmermi 25 × 25 m. V rámci TVP bol vytýčený tranzekt o výmere 2 ha (100 × 200 m), dlhšou stranou v smere po vrstevnici tvorený z 32 ČP, v rámci ktorých bola vykonávaná väčšina meraní.

Na tranzekte boli merané nasledovné veličiny:

- hrúbky stromov s $d_{1,3}$ väčšou ako 2,0 cm s presnosťou na 1 mm,
- výšky stromov s presnosťou na 0,5 m,
- výšky nasadenia korún živých stromov s presnosťou na 0,5 m,
- situácia stojacich stromov v súradnicovom systéme x, y ($d_{1,3} \geq 2,0$ cm) a projekcie korún živých stromov ($x_1 - x_n$),
- situácia padnutých stromov a ich objem,
- situácia otvorených a rozšírených medzier, ich výmera a počet vypadnutých stromov,
- štruktúra jedincov prirodzenej obnovy klasifikované podľa KORPELA (1989).

Jednotlivé ČP boli zatriedené do jednotlivých vývojových štádií prírodného lesa podľa KORPELA (1989), pričom do úvahy sa bral polygón hrúbkových početností, početnosť jedincov v jednotlivých vrstvách porastu, existencia porastovej medzery, objem a stupeň rozkladu nekromasy, existencia prirodzenej obnovy a jej výška, resp. hrúbka, pričom pre otestovanie rozdelenia hrúbkových početností bol použitý neparametrický dvojzložkový Kolmogorov-Smirnovov test.

Na zameranie situácie stromov, ich korunových projekcií a na evidenciu nekromasy bol použitý prístroj Field Map. Pozične zameraná bola stojaca nekromasa s výškou minimálne 2,0 m a s hrúbkou $d_{1,3}$ aspoň 8,0 cm, ležiaca nekromasa s dĺžkou väčšou ako 2,0 m a priemerom na hrubšom konci minimálne 20,0 cm. V prípade stojacej nekromasy bola zmeraná hrúbka v $d_{1,3}$, pri zlomoch pomocou Field Mapu sa zistila aj hrúbka kmeňa na hrubšom konci a v mieste zlomu. V prípade ležiaceho kmeňa sa zistil priemer na hrubšom konci (d_0) a tenšom konci (d_n). Ležiaca nekromasa bola evidovaná celým svojim objemom v ČP, z ktorej vypadla.

Stupeň rozkladu odumretých stojacich a ležiacich kmeňov bol klasifikovaný podľa metodiky ALBRECHTA (1990):

- 1) čerstvo odumreté stromy,
- 2) začínajúci rozklad: uvoľnená kôra, po použití sekery drevo ešte pevné, hniloba jadra do 1/3 priemeru,
- 3) pokračujúci rozklad: 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.

Na jednotlivých ČP boli zaznamenávané jedince prirodzenej obnovy s hrúbkou kmeňa vo výške $d_{1,3}$ menšou ako 2,0 cm na šestnástich štvorcových skusných plochách so stranou štvorca 1,5 m ($2,25 \text{ m}^2$) a klasifikované podľa KORPELA (1989) do nasledovných výškových kategórií:

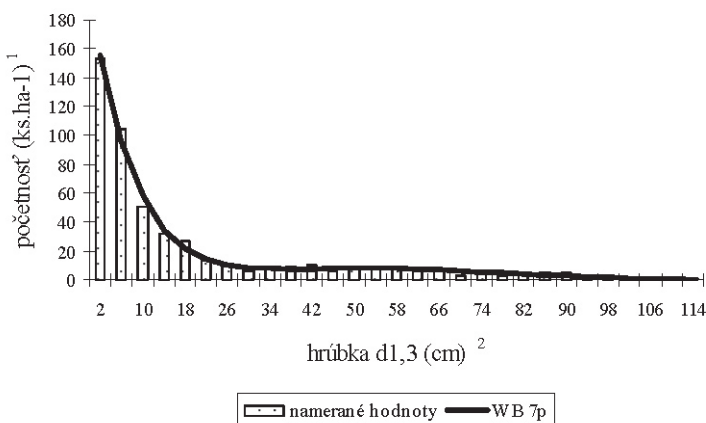
- 1) jedince do výšky 20 cm,
- 2) jedince s výškou 21–50 cm,
- 3) jedince s výškou 51–80 cm,
- 4) jedince s výškou 81–130 cm,
- 5) jedince s výškou 131 cm – jedince s hrúbkou $d_{1,3} < 2,0$ cm.

Objemy živých stromov ako aj objem stojacej nekromasy na jednotlivých ČP boli vypočítané v m^3 bez kôry pomocou objemových rovníc (PETRÁŠ a PAJTIK, 1991), objem

zlomov pomocou Huberovho vzorca a ležiaca nekromasa pomocou Smalianovho vzorca (ŠMELKO, 2007).

VÝSLEDKY

Hrúbková štruktúra jedincov s hrúbkou $d_{1,3}$ viac ako 2 cm bola vyrovnávaná viacerými matematickými funkciami. Analýzou a overením sa ako najvhodnejšia potvrdila bimodálna sedemparametrická Weibullova funkcia (WESTPHAL *et al.*, 2006, ZHANG *et al.*, 2001), ktorá je na obr 1.



Obr. 1 Polygón hrúbkových početností na tranzekte v NPR Rožok vyrovnaný bimodálnou sedemparametrickou Weibullovou funkciou

Fig. 1 Tree diameter distribution on the transect in NNR Rožok with predicted distribution of the bimodal seven-parameter Weibull function

¹ number (pc.ha⁻¹) ²dbh (cm)

Charakteristika porastových veličín v NPR Rožok je uvedená v tabuľke 1. Priemerná zásoba hrubiny na TVP sa pohybovala v rozmedzí od 557,48 m³.ha⁻¹ v štádiu dorastania po 822,68 m³.ha⁻¹ v štádiu optima a v štádiu rozpadu bola evidovaná priemerná zásoba 581,53 m³.ha⁻¹. Testovaním zistených hodnôt pomocou neparametrického Kruskal-Wallis H testu sa zistilo, že rozdiel medzi každou dvojicou vypočítaných mediánov zásob nie je štatisticky významný ($p = 0,1861$). Dôvodom je veľká variabilita hodnôt tohoto dendrometrického ukazovateľa v štádiu rozpadu ale aj v štádiu dorastania, nakoľko každá ČP (25 × 25 m) bola osobitne zatriedovaná do vývojového štádia.

Podobná situácia je aj v prípade kruhovej základne, kedy najvyššiu priemernú hodnotu dosahuje porast v štádiu optima (53,55 m².ha⁻¹), pričom v štádiu rozpadu dosahuje 71,17 % a v štádiu dorastania 66,06 % z hodnoty priemernej kruhovej základne v štádiu optima. Zistená kruhová základňa sa na ČP v štádiu dorastania pohybovala v rozpätí od 24,00 m².ha⁻¹ po 53,04 m².ha⁻¹, v štádiu optima od 48,50 m².ha⁻¹ po 58,59 m².ha⁻¹, a v štádiu rozpadu od 18,95 m².ha⁻¹ po 63,69 m².ha⁻¹. Testovaním zistených hodnôt

pomocou neparametrického Kruskal-Wallis H testu sa zistilo, že rozdiel medzi každou dvojicou vypočítaných mediánov zásob nie je štatisticky významný ($p = 0,2586$). Dôvod nevýznamnosti rozdielov hodnôt je ten istý ako v prípade objemu biomasy.

Tabuľka 1 Štruktúra základných porastových charakteristík hrubiny v jednotlivých vývojových štádiách pralesa v NPR Rožok

Table 1 Structure of the basic dendrometric characteristics in particular development stages in NNR Rožok

vývojové štádium ¹	zásoba ² (m ³ .ha ⁻¹)	G ³ (m ² .ha ⁻¹)	N ⁴ (ks.ha ⁻¹)
dorastanie ⁵	557,48	35,37	256
optimum ⁶	822,68	53,55	224
rozpad ⁷	581,53	38,11	247

¹development stage, ²standing volume, ³ basal area, ⁴number of trees, ⁵grow-up stage, ⁶optimum stage, ⁷breakdown stage

Tabuľka 2 Štruktúra stojacej a ležiacej nekromasy v závislosti od stupňa rozkladu na transekte v NPR Rožok

Table 2 Structure of standing and lying deadwood in relation to the level of decomposition on transect in NNR Rožok

stupeň rozkladu ²	nekromasa ¹					
	stojaca ³		ležiaca ⁴		spolu ⁵	
	m ³ .ha ⁻¹	%	m ³ .ha ⁻¹	%	m ³ .ha ⁻¹	%
1	1,79	1,91	18,68	19,99	20,47	21,90
2	0,70	0,74	9,13	9,77	9,83	10,51
3	5,49	5,87	34,73	37,16	40,22	43,03
4	0,00	0,00	22,95	24,56	22,95	24,56
spolu	7,97	8,52	85,50	91,48	93,47	100,0

¹ necromass, ² level of decomposition, ³ standing, ⁴ lying, ⁵ total

V tabuľke 2 sú uvedené údaje nekromasy diferencovanej na ležiacu a stojacu zistené na TVP bez prihliadnutia na vývojové štádium v NPR Rožok. Najväčší podiel nekromasy (stojaca a ležiaca) pripadá na tretí stupeň rozkladu (43,03 %), pričom najväčšie percento predstavovala ležiaca nekromasa (37,16 %) z celkového objemu nekromasy. Najnižšie hodnoty sumárnej nekromasy boli zistené v druhom stupni rozkladu (10,51 %), pričom aj v tomto prípade najväčšie percento pripadá na ležiacu nekromasu (9,77 %). Informačná hodnota tejto tabuľky poukazuje na skutočnosť, že stabilita pralesa je vysoká a odumieranie stromov resp. ich vyvrátenie je pozvoľné s malým množstvom nekromasy v jednotlivých štádiách rozkladu. Celkovo bolo zistených 93,47 m³.ha⁻¹ nekromasy, z čoho 85,50 m³.ha⁻¹ (91,48 %) pripadá na ležiacu nekromasu a 7,97 m³.ha⁻¹ (8,52 %) na nekromasu stojacu. V prípade štvrtého stupňa rozkladu sa stojaca nekromasa nezistila.

Stav prirodzenej obnovy jednotlivých drevín v jednotlivých výškových kategóriách na transekte NPR Rožok (2 ha) udáva tabuľka 3. Najväčší podiel prirodzenej obnovy bol zistený v štádiu optima vo výškovej kategórii 0–20 cm, pričom pri drevine buk predstavoval 40 000 ks.ha⁻¹ (77,63 %) z celkového počtu jedincov prirodzenej obnovy v tomto vývojovom štádiu. Jedince javora horského sa v tomto štádiu nevyskytovali. Druhý najväčší podiel jedincov prirodzenej obnovy bol zaznamenaný v štádiu dorastania vo výškovej kategórii 0–20 cm, pričom u dreviny buk predstavoval 22 762 ks.ha⁻¹ (71,55 %) z celkového počtu jedincov prirodzenej obnovy v tomto vývojovom štádiu. V tejto výškovej kategórii sa vyskytovali v uvedenom štádiu aj jedince javora horského v počte 79 ks.ha⁻¹ (0,25 %), pričom v ostatných výškových kategóriách v rámci tohoto štádia absentovali. Dôvodom menšieho počtu jedincov obnovy buka je veľmi zahustený priestor v dolnej a strednej vrstve pralesa, čím sú podmienky pre odrastanie buka veľmi nepriaznivé. Jedince javora horského sa vyskytovali aj v štádiu rozpadu v počte 78 ks.ha⁻¹ (0,47 %), pričom v ostatných výškových kategóriách v rámci tohoto štádia absentovali podobne ako v štádiu dorastania, čo je spôsobené silnou kompetičnou schopnosťou buka v skupine lesných typov *Fagetum pauper* vst. Druhá najpočetnejšia kategória prirodzenej obnovy v štádiu optima na transekte v NPR Rožok bola zistená kategória od 21 cm do 50 cm výšky v počte jedincov 8 472 ks.ha⁻¹ (16,44 %), 3,77 % predstavovali jedince v kategórii 51–80 cm (1 944 ks.ha⁻¹). Jednice buka s výškou nad 130 cm predstavovali v tomto vývojovom štádiu pralesa len 1,08 % z celkového počtu jedincov prirodzenej obnovy v rámci štádia optima. Najmenšie percento jedincov prirodzenej obnovy buka sa vyskytovalo vo výškovej kategórii nad 130 cm vo všetkých vývojových štádiách pralesa.

Tabuľka 3 Štruktúra prirodzenej obnovy v jednotlivých vývojových štádiách v NPR Rožok
Table 3 Structure of natural regeneration in particular development stages in NNR Rožok

výv. štádium ¹	výšková kategória ² v cm	početnosť					
		buk ⁴		javor horský ⁵		spolu ³	
		ks.ha ⁻¹	%	ks.ha ⁻¹	%	ks.ha ⁻¹	%
dorast ⁶	0–20	22 762	71,55	79	0,25	22 841	71,80
	21–50	6 216	19,54	0	0,00	6 216	19,54
	51–80	1 657	5,21	0	0,00	1 657	5,21
	81–130	621	1,95	0	0,00	621	1,95
	nad 130	476	1,5	0	0,00	476	1,5
	spolu ³	31 732	99,75	79	0,25	31 811	100,00
optimum ⁷	0–20	40 000	77,63	0	0,00	40 000	77,63
	21–50	8 472	16,44	0	0,00	8 472	16,44
	51–80	1 944	3,77	0	0,00	1 944	3,77
	81–130	556	1,08	0	0,00	556	1,08
	nad 130	556	1,08	0	0,00	556	1,08
	spolu ³	51 528	100,00	0	0,00	51 528	100,00

Tabuľka 3 Pokračovanie
Table 3 Continue

výv. štádium ¹	výšková kategória ² v cm	početnosť					
		buk ⁴		javor horský ⁵		spolu ³	
		ks.ha ⁻¹	%	ks.ha ⁻¹	%	ks.ha ⁻¹	%
rozpad ⁸	0–20	9 354	56,49	78	0,47	9 432	56,96
	21–50	3 940	23,79	0	0,00	3 940	23,79
	51–80	1 319	7,97	0	0,00	1 319	7,97
	81–130	811	4,90	0	0,00	811	4,90
	nad 130	1 057	6,39	0	0,00	1 057	6,39
	spolu ³	16 481	99,53	78	0,47	16 559	100,00

¹development stage ²height category ³total ⁴European beech ⁵Sycamore maple ⁶grow-up stage, ⁷optimum stage, ⁸breakdown stage

DISKUSIA

Autori SANIGA a SCHÜTZ (2001) uvádzajú hodnoty objemu živých stromov v NPR Rožok z opakovaných meraní na troch TVP (jednotlivé vývojové štádiá) od roku 1979, pričom v roku 1999 predstavujú rozpätie od 653,15 m³.ha⁻¹ v pokročilej fáze štádia rozpadu po 1 042,42 m³.ha⁻¹ v pokročilej fáze štádia optima, čo sú vyššie hodnoty oproti zisteniam na tranzekte založenom v roku 2009. Dôvodom môže byť stabilita a trvalosť plochy v štádiu optima, ktorá bola založená v roku 1971 a má známky stúpajúcej produkcie biomasy (SANIGA, 2002). Naše plochy (2) o výmere 25 × 25 m boli na začiatku tohoto štádia, čím sa ich produkčná schopnosť do budúcnosti ešte len prejaví. DRÖSSLER (2006) uvádza v bukovom prírodnom lese Havešová rozpätie zásoby od 450 to 960 m³.ha⁻¹ a priemernú kruhovú základňu 35 m².ha⁻¹. Je potrebné uviesť, že v skúmanom bukovom prírodnom lese NPR Rožok sa typická jednovrstvovitá štruktúra porastu ani v štádiu optima nenachádzala a na ploche boli v tomto štádiu prítomné aj jedince v strednej a dolnej vrstve pralesa. Buk (*Fagus sylvatica* L.) ako drevina znášajúca zatienenie relatívne dlhú dobu dokáže prežívať aj pri relatívne malom osvetlení a určitý počet jedincov buka z prirodzenej obnovy sa nachádza aj v dobre zapojených častiach pralesa (pokročilé štádium optima, počiatočná fáza štádia rozpadu). Tieto jedince využívajú svoj vekový náskok a po zlepšení rastových podmienok sa zvyšuje ich intenzita výškového rastu a presúvajú sa do strednej vrstvy porastu. Len dve ČP patrili do štádia optima, čo potvrdzuje krátke trvanie tohto štádia a jeho nízke plošné zastúpenie. S týmito zisteniami korešponduje aj zistenie SANIGU (1999), ktorý uvádza, že prechod z pokročilého štádia dorastania pralesa do počiatočnej fázy štádia rozpadu bol na niektorých častiach v Badínskom pralesi taký rýchly, že sa za dobu 40 rokov nepodarilo zachytiť štádium optima s typickým horizontálnym zápojom. Rozdielnosť zásoby ani kruhovej základne v jednotlivých štádiách sa nepotvrdila, čo môže súvisieť so skutočnosťou malého počtu výberových súborov, pričom ako je už vyššie spomenuté len 2 predstavujú štádium optima. Problematické je aj ohraničenie štádií na výmeru ČP

plochy 25 × 25 m, keďže pri zvolení akéhokoľvek tvaru a rozmeru ČP, táto nebude presne kopírovať hranicu vývojového štádia, zároveň do jedného vývojového štádia spadajú ČP ktoré sa nachádzajú na začiatku ako aj v pokročilej fáze daného štádia.

Už KORPEL (1979) konšatoval v štádiu optima v Stuzici súvislé plochy bukovej obnovy do výšky 20 cm. Podobná situácia bola zistená aj v NPR Rožok, pričom však najväčší podiel v štádiu optima (nad 75 %) predstavujú jedince do 20 cm, čo znamená, že podiel biologicky zabezpečených jedincov je menej ako 25 %, čo potvrdzujú aj zistenia KORPELA (1989). Zároveň korešponduje so zisteniami SZWAGRZYKA *et al.* (2001), ktorí zistili že hoci klíčené a ujímanie semenáčikov buka v prvých rokoch nie je závislé od množstva dopadajúceho slnečného žiarenia, ich dlhodobé prežívanie je nevyhnutne spojené s vytvorením porastovej medzery v ich blízkosti. To vysvetľuje i existenciu vysokého počtu jedincov prirodzenej obnovy v kategórii do 20 cm v štádiu optima a ich pokles až o 78 % v kategórii 21–50 cm. V prípade štádia rozpadu, kedy sa v korunovom zápoji z dôvodu vypadávaní jedincov hornej vrstvy začínajú tvoriť porastové medzery sa jedná o menší pokles hodnôt počtu jedincov prirodzenej obnovy z výškovej kategórie do 20 cm (9 354 ks.ha⁻¹) na 3 940 ks.ha⁻¹ v kategórii 21–50 cm, čo predstavuje pokles o približne 57 %.

ZÁVER

Rozbor výsledkov vybraných znakov štruktúry, regeneračných procesov a nekromasy v tomto bukovom pralesi potvrdil vyrovnanú produkčnú schopnosť v jednotlivých vývojových štádiách pralesa. Pozvoľný je nárast nekromasy v jednotlivých stupňoch rozkladu, čo svedčí o jeho vysokej ekologickej stabilite. Výskum regeneračných procesov potvrdil, že buk ako základná drevina má veľmi dobré podmienky pre prežívanie aj v štádiu optima. Veľké zahustenie rastového produkčného priestoru v dolnej a strednej vrstve korunami stromov v štádiu dorastania zhoršuje podmienky pre výškový presun buka do výškovej kategórie nad 20 cm.

Podakovanie

Táto štúdia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt Centrum excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy, ITMS: 26220120006, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

- ALBRECHT, L., 1990: Grundlagen, Ziele und Methodik der waldökologischen Forschung in Naturwaldreservaten: Naturwaldreservate in Bayern. Schriftenreihe des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung. München: Landwirtschaft und Forsten gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Landschaftstechnik, Band 1, 221 pp.
- BOHN, U., GOLLUB, G., HETTER, C., NEUHÄUSLOVÁ, Z., RAUS, T., SCHLÜTER, H., WEBER H. 2004: Map of the Natural Vegetation of Europe. Map Scale 1 : 2 500 000. Federal Agency for Nature Conservation, Bonn.
- DRÖSSLER, L. 2006. Struktur und Dynamik von zwei Buchenurwäldern in der Slowakei. Dissertation, Göttingen 2006, 103 pp.
- KORPEL, Š. 1979. Prales Stuzica – štruktúra, vývoj a produkčné pomery. Čsl. Ochrana prírody. 1979, 19, 5–36.

- KORPEL, Š. 1989: Pralesy Slovenska. SAV – Veda, Bratislava, 329 pp.
- KORPEL, Š. 1995: Die Urwälder der Westkarpaten. Parey, 325 pp.
- PETRÁŠ, R., PAJTIK, J., (1991): Sústava česko-slovenských objemových tabuliek drevín. Lesnícky časopis, **37** (1), p. 49–56.
- RÉH, J. 1998: Niektoré biometrické a odvodené znaky súboru stromov prírodného bukového lesa. Lesnícky časopis, **4**, p. 405–422.
- SANIGA, M. 1999: Štruktúra, produkčné pomery a regeneračné procesy Badínskeho pralesa. Journal of Forest Science, **45** (3), p. 121–130.
- SANIGA, M. 2002: Štruktúra, produkčné pomery a regeneračné procesy bukového pralesa Rožok. Ochrana prírody, **21**, p. 207–218.
- 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), p. 513–528.
- SZWAGRZYK, J., J. SZEWCZYK, and J. BODZIARCZYK. 2001. Dynamics of seedling banks in beech forest: result of 10-year study on germination, growth and survival. Forest Ecology and Management, **141**, p. 237–250.
- STANDOVÁR T., KENDERES, K. 2003: A review on natural stand dynamics in beechwoods of East Central Europe. Applied Ecology and Environmental Research, **1**, p. 19–46.
- ŠMELKO, Š. 2007. Dendrometria. Vydanie II-2007, Zvolen : TU Zvolen, 2007. 401 pp.
- TERRAY, J. 1971: Komplexné vyhodnotenie rezervácie Rožok na LZ Ulič. Dizertačná práca, Zvolen, 34 pp.
- UNEP - WCMC. 2007: Primeval beech forests of the Carpathians Slovakia & Ukraine [online]. 2007 [cit. 2009-11-27]. Dostupné na internete: <<http://www.unep-wcmc.org/sites/wh/pdf/CARPATHIAN%20BEECH%20FORESTS.pdf>>
- VYSKOT et al. 1981. Československé pralesy. Praha : ACADEMIA, 1981. 272 pp.
- WESTPHAL, C., TREMER, N., OHEIMB, G., v., HANSEN, J., GADOW, K. v. & HÄRDLE, W. 2006: Is the reverse J-shaped diameter distribution universally applicable in European virgin beech forests? Forest Ecology and Management, **223**, p. 75–83.
- ZHANG, L.J., GOVE J.H., LIU, C.M., LEAK, W.B. 2001: A finite mixture of two Weibull distributions for modeling the diameter distributions of rotated-sigmoid, uneven-aged stands. Canadian Journal of Forest Research. **31** (9), p. 1654–1659.
-

Adresa autorov:

Ing. Lenka Bugošová
Prof. Ing. Milan Saniga, DrSc.
Katedra pestovania lesa
Lesnícka fakulta
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
email: bakosova@vsld.tuzvo.sk
saniga@vsld.tuzvo.sk

Štruktúra, produkčné pomery, nekromasa a regeneračné procesy v bukovom prírodnom lese v NPR Rožok

Abstrakt

Príspevok predkladá výsledky analýzy hrúbkovej štruktúry, kruhovej základne, zásoby, nekromasy a regeneračných procesov v NPR Rožok v skupine lesných typov *Fagetum pauper* vst v jednotlivých vývojových štádiách vývojového cyklu prírodného lesa. Podrobná analýza bola vykonaná na ploche 2 ha (100×200 m). Priemerná hodnota hrubiny na TVP sa pohybovala v rozmedzí od $557,48 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ v štádiu dorastania po $822,68 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ v štádiu optima. V štádiu optima porast dosahoval najvyššiu hodnotu kruhovej základne ($53,55 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$), a najnižšiu v štádiu rozpadu ($38,11 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$). Z pohľadu prirodzenej obnovy sa okrem jedincov buka vo výškovej kategórii 0–20 cm vyskytovali sporadicky jedince javora horského v štádiu dorastania v počte $79 \text{ ks} \cdot \text{ha}^{-1}$ (0,25 %) a v štádiu rozpadu $78 \text{ ks} \cdot \text{ha}^{-1}$ (0,47 %), pričom v štádiu optima sa zaznamenal najväčší podiel buka v počte $40\,000 \text{ ks} \cdot \text{ha}^{-1}$ (77,63 %) z celkového počtu jedincov prirodzenej obnovy v tomto vývojovom štádiu. Na celej skúmanej ploche bolo zistených $93,47 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ nekromasy, z čoho $85,50 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (91,48 %) pripadá na ležiacu nekromasu a $7,97 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (8,52 %) na nekromasu stojacu. Najväčší podiel nekromasy pripadal na tretí stupeň rozkladu (43,03 %) z čoho najväčšie percento predstavovala ležiaca nekromasa (37,16 %) z celkového objemu nekromasy.

Kľúčové slová: bukový prírodný les, NPR Rožok, nekromasa, *Fagetum pauper*

PRÍSTUPY ŠTRUKTURÁLNEHO MODELOVANIA AKO NÁSTROJ VIZUALIZÁCIE VÝSLEDKOV SIMULÁCIÍ RASTOVÉHO SIMULÁTORA SIBYLA NA ÚROVNI JEDINCA

Martin S C H Ö N – Marek F A B R I K A

Schön, M., Fabrika, M.: Approaches to structural modeling as a tool for visualization of simulation results SIBYLA growth simulator for individual tree level. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, 53(1): 143–154, 2011.

The paper deals with the possibility of visualisation of growth prognosis SIBYLA's simulator using approaches of structural modeling with emphasis on the growth grammars. It is based on the results achieved abroad, but also it is enriched with the possibility of interface to semi-empirical growth simulator SIBYLA. It is worked with the growth grammars of the Norway spruce (*Picea abies* L.), which were introduced by KURTH (1999). There are added algorithms which allow using of growth simulator SIBYLA prognosis like input data. For this purpose it was needed to implement database in the embedded mode into growth grammar's project.

Visualisation is done in GroIMP platform and is divided into two parts. The first part relies on results of Slovak research in field of trunk morphology and shape curves of trunk of different tree species. The second part deals with the tree crown modeling, based mainly on the foreign research. The results showed on the potention of these kind approaches to modeling in response to the further refining of growth prognosis of the SIBYLA simulator. The results can be used in field of trunk quality assessment, its modeling, but also in field of popularization of science of forestry.

Key words: SIBYLA, GroIMP, visualisation, Lindenmayer's systems, spruce, growth grammar

1 ÚVOD A PROBLEMATIKA

Modelovanie rastu má v rámci lesníckej vedy významné postavenie s viac ako 200 ročnou históriou. Začiatky modelovania rastu siahajú do 18. storočia, kedy sa prvýkrát stretávame s pojmom rastové tabuľky a následne je predstavených niekoľko diel v danej oblasti (PAULSEN 1795, HARTIG 1847, PRESSLER 1865), dnes chápaných ako modely prvej generácie (PRETZSCH 2009). Pre toto obdobie je typická nejednotnosť v konštrukcii tabuliek (modelov) spôsobená využívaním špecifických metód jednotlivých autorov a s tým súvisiacia nemožnosť porovnávania jednotlivých rastových tabuliek. Zároveň boli modely prvej generácie viazané na malú dátovú základňu, s čím súvisela ich regionálna obmedzenosť.

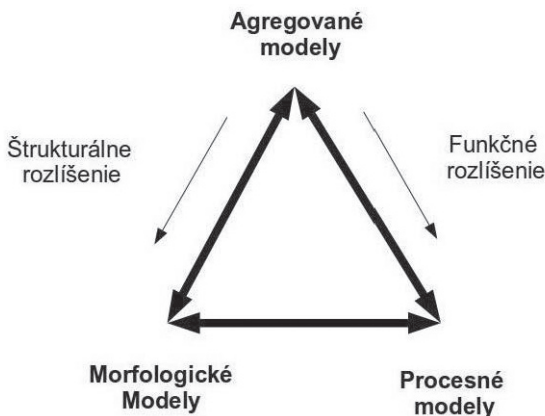
Zjednotenie do prístupov tvorby modelov vniesla snaha Der Deutsche Verband Forstlicher Forschungsanstalten (DVFFA, v slovenskom preklade Asociácia Nemeckých Lesníckych Výskumných Ústavov ANLVÚ) a predstavenie tiež pracovných postupov pri

budúcej konštrukcii rastových tabuliek (GANGHOFER 1881 in PRETZSCH 2009). Tvorba modelov podľa týchto jednotných princípov je medzníkom pre zaradenie k druhej generácii rastových modelov (PRETZSCH 2009), kam patria napríklad práce WEISEHO (1880) alebo SCHWAPPACHA (1893). Rastové modely tejto generácie sa tešili pomerne veľkej obľube v lesníckej praxi a ich upravené verzie sa u nás využívali až do roku 1991 (PETRÁŠ *et al.* 2010).

Pre tretiu generáciu rastových modelov je charakteristické teoretické odôvodnenie a následná biometrická formulácia (FABRIKA 2005), kde je základným prvkom biometrický model v podobe flexibilného systému matematických rovníc. Zavedenie teoretických úvah, biometrických a štatistických metód do vývoja rastových modelov dodal výskumu v tejto oblasti nový impulz (PRETZSCH 2009). Medzi tvorcov tejto generácie rastových modelov možno počítať mená ako ASSMAN a FRANZ (1963) VOUKILA (1966), FABER (1966), SCHMIDT (1971).

Z hľadiska predkladanej práce osobitné miesto zaujímajú modely štvrtej generácie, tiež známe ako rastové simulátory, ktoré sú úzko späté s postupným začleňovaním výpočtovej techniky do vedeckej práce v 60-tych rokoch 20-teho storočia. Porastové rastové simulátory modelujú vývoj porastov v rozličných stanovištných podmienkach, s rozličnou východiskovou hustotou porastu a spôsobom obhospodarovania v podobe počítačového programu. Preddefinovaný systém funkcií a algoritmov je zodpovedný za simuláciu vývoja porastu v korelácii s rastovými podmienkami. Táto generácia rastových modelov sa od predchádzajúcich generácií zásadne líši v tom, že pokiaľ v predchádzajúcich prípadoch boli rastové tabuľky modelom, pri tejto generácii je rastová tabuľka vyprodukovaná simulátorom len jednou z mnohých možných alternatív porastových rastových procesov, ktoré môžu byť simulované (PRETZSCH 2009).

Možnosti, ktoré vniesla do modelovania rastu výpočtová technika obohatili celú oblasť modelovania o nové prístupy. Výsledkom bola konštrukcia značného množstva rastových simulátorov rozličnej koncepcie. O ich rozlíšenie sa pokúšalo niekoľko autorov (BUNNELL 1989, KURT 1994, PRETZSCH 2001) v podobe klasifikácií modelov. Triediace prvky jednotlivých klasifikácií zväčša využívali štruktúru vychádzajúcu z pohľadu konkrétneho autora na chápanie dotknutých úrovní modelovania. KURTH (1994) sa opiera vo svojej klasifikácii o metódy modelovania a na ich základe rozlišuje tri hlavné kategórie modelov, a to modely agregované (empirické), procesné a modely morfológické (štrukturálne). Praktické znázornenie je na obrázku 1. V rámci agregovaných (empirických) modelov je predmetom modelovania zvyčajne celá populácia. Všetky vzťahy sú podložené štatisticky vyhodnotenými údajmi. Ich značnou nevýhodou je obmedzenie ich platnosti len na reprezentovaný základný súbor. V prípade, že je pozornosť venovaná biologickým procesom a funkčným vzťahom, hovoríme o kategórii procesných modelov. Problematikou štrukturálneho modelovania t.j. opisom vývoja morfológie rastlín sa zaoberajú morfológické (štrukturálne) modely. Tieto sa mnohokrát opierajú o vlastnosti L-systémov (LINDENMAYER 1968).



Obrázok 1 Trojuholník rastlinných modelov (KURTH 1994)
 Picture 1 A triangle of plant models (KURTH 1994)

Z hľadiska klasifikácie podľa KURTHA (1994) spadá rastový simulátor SIBYLA (FABRIKA 2005) vyvíjaný na pôde Technickej univerzity vo Zvolene do kategórie semi-empirických modelov. Keďže vývoj modelov podlieha vplyvom požiadaviek, ktoré sú na ne kladené a v poslednom období došlo k zdôrazňovaniu problematiky prírody blízkeho hospodárenia v lesoch, bolo nutné tieto požiadavky zohľadniť do konštrukcie rastových simulátorov. Ďalší vývoj rastového simulátora SIBYLA sleduje tieto európske a svetové trendy a jeho smerovanie načrtol FABRIKA (2010) do niekoľkých bodov nasledovne:

- vývoj modelu pre prirodzenú a umelú obnovu lesa,
- zjemnenie modelovania pomocou procesných a štruktúrnych modelovacích prístupov,
- agregácia údajov z úrovne stromov a porastov na úroveň krajiny a biómov,
- vyčíslenie nedrevných produktov a služieb lesa pre účely funkčne integrovaného trvalého obhospodarovania lesa.

Predkladaná práca rieši zjemnenie modelovania pomocou štruktúrnych prístupov opierajúcich sa o využitie vlastností L-systémov (LINDENMAYER 1968, PRUSINKIEWICZ, LINDENMAYER 1990). Zakomponovanie možnosti využitia priestorovej štruktúry v rámci modelu je jedným z kľúčových z hľadiska potencionálneho budúceho rozvoja. Priestorová štruktúra totiž zohráva výrazný vplyv na mnohé procesy prebiehajúce v rastlinách a len s ich zohľadnením bude možné model výraznejšie oslobodiť od empirických prístupov a zvýšiť tak jeho univerzálnosť. Ako príklad oblasti pre ktorú je nevyhnutné zvládnuť morfológiu jedincov môže poslúžiť problematika tienenia fotosynteticky aktívnych orgánov, ktoré vplýva na priebeh fotosyntézy a následne tak na rast rastlinných organizmov, alebo modelovanie konkurencie, či odumieranie vetiev.

Modelovanie a vizualizácia sa bude riešiť v prostredí modelovacej platformy GroIMP (KNIEMAYER 2008), ktorá sa opiera o jazyk XL postavený na báze programovacieho jazyka Java ako jeho rozšírenie, ktoré umožňuje pomerne jednoduchú implementáciu konceptu

relačných rastových gramatík (RGG – Relation Growth Grammars). Relačné rastové gramatiky predstavujú špeciálny druh grafických gramatík. Okrem funkcií štruktúry a jej dynamiky, RGG jazyk poskytuje univerzálny podjazyk, ktorý je dostatočne silný, aby umožňoval stručné modelovanie i iných ako štrukturálnych aspektov, napríklad procesov (KNIEMEYER *et al.* 2007).

2 MATERIÁL A METODIKA

Ako základ pre riešenie štrukturálneho modelu napojeného na rastový simulátor SIBYLA poslužil model smreka (*Picea abies* L.) publikovaný v práci KURTHA (1999). Samotné riešenie pozostáva z niekoľkých častí a to prenos dát v smere SIBYLA → GroIMP, overenie použiteľnosti existujúcich rastových gramatík a vykonanie zmien nevyhnutných k možnosti využitia vstupných údajov z rastovej prognózy rastového simulátora SIBYLA a vizualizácia rozdelená do dvoch čiastkových úloh. V rámci prvej čiastkovej úlohy bude riešená vizualizácia kmeňa stromov, kým druhá časť sleduje riešenie vizualizácie koruny.

2.1 Prepojenie SIBYLA – GroIMP

Prepojenie rastového simulátora SIBYLA a software GroIMP je riešené s ohľadom na množstvo a štruktúru dát určených k prenosu medzi jednotlivými software. Ako zdrojová databáza slúži databáza rastového simulátora SIBYLA, ktorá je typu MS ACCESS. Predpokladá sa prenos údajov nesúcich informáciu o nasledovných stromových charakteristikách: hrúbka stromu $d_{1,3}$, ročný prírastok hrúbky vo výške 1,3 m, výška stromu, ročný prírastok výšky stromu, priemer koruny a výška nasadenia koruny. Počet importovaných údajov sa môže na základe potrieb upravených rastových gramatík zvýšiť.

Z dôvodu lepšej možnosti manipulácie s dátami importovanými z rastového simulátora SIBYLA je rastová gramatika v prostredí GroIMP doplnená o vnorenú databázu. Za vhodný databázový nástroj bola zvolená databáza H2 (MUELLER 2005). Doplnenie databázy do projektu rastovej gramatiky sa vykoná jednoduchým importom *.jar súboru databázy do projektu. Naplnenie databázy bude prebiehať nasledovným spôsobom. Na základe algoritmu doplneného do rastového simulátora SIBYLA bude vygenerovaný textový súbor nesúci informácie o záujmových stromových charakteristikách. Do GroIMP *.rgg súboru sa importujú potrebné ovládače k správe databázy pomocou nasledovných príkazov:

```
import java.sql.Connection;  
import java.sql.DriverManager;  
import java.sql.ResultSet;  
import java.sql.Statement;
```

Následne sa vytvorí spojenie projektu s databázou a za pomoci sady inštrukcií sa dáta umiestnené v textovom súbore vygenerovanom v rámci rastového simulátora SIBYLA uložia do vnorenej databázy v prostredí platformy GroIMP:

```
Class.forName(„org.h2.Driver“);
```

```

Connection conn =
DriverManager.getConnection(„jdbc:h2:file://home/Database/data“, „sa“, „“);
Statement stmt = conn.createStatement();
stmt.executeUpdate(„DROP TABLE IF EXISTS base“);
stmt.executeUpdate(„CREATE TABLE base( age INT PRIMARY KEY, dbh DOU-
BLE, incrDbh DOUBLE, treeHeight DOUBLE, incrH DOUBLE, cd DOUBLE,
ch DOUBLE ) AS SELECT * FROM CSVREAD(„/home /h2/TEXT.TXT“ ) „).

```

2.2 Modelovanie tvaru kmeňa

Z hľadiska zjednotenia postupu k modelovaniu tvaru kmeňa v rámci rastového simulátora SIBYLA a možnosti vizualizácie tvaru kmeňa v prostredí modelovacej platformy GroIMP bola prvá výrazná zmena do rastovej gramatiky vykonaná v oblasti modelovania tvaru kmeňa. Prístup v pôvodnej rastovej gramatike podľa ktorého segmenty jednotlivých ročných prírastkov boli modelované na základe vitality terminálneho púčika je nahradený nasledovným spôsobom.

Základné údaje potrebné k stanoveniu dĺžky a hrúbky segmentu sú prevzaté z údajov vypočítaných v rastovom simulátore SIBYLA pre konkrétne jedince. Keďže ide o vizualizáciu v 3D prostredí a najjednoduchšou aproximáciou približného tvaru kmeňa by bol útvar pozostávajúci z niekoľkých na seba nadväzujúcich objektov tvaru zrezaného kužeľa, je k vizualizácii kmeňa zvolený tento spôsob a ako základný tvar segmentu pre kmeň stromu je použitý zrezaný kužeľ. K stanoveniu rozmerov základne a vrcholu zrezaného kužeľa sa využívajú rovnice a konštanty stanovené PETRÁŠOM (1986, 1989, 1990) pre morfológický tvar kmeňa.

Filozofia stanovenia základne kužeľa je nasledovná. Pomocou vzťahov pre výpočet koeficientu rovníc pre morfológickú krivku kmeňa a údajov o výške a hrúbke stromu v $d_{1,3}$ sa stanovujú potrebné koeficienty, ktoré následne vstupujú do rovnice definujúcej hrúbku stromu v záujmovej výške (PETRÁŠ 1989):

$$q_3 = h^{p_2} \cdot 1,3^{p_1} - 1,3^{p_2} \cdot h^{p_1} \quad (1)$$

$$q_4 = \frac{-d_{1,3} \cdot h^{p_1}}{q_3} \quad (2)$$

$$q_5 = \frac{h^{p_1} - 1,3^{p_1}}{q_3} \quad (3)$$

$$b_3 = a_1 + a_2 \cdot h^{a_3} \cdot d_{1,3}^{a_4} \quad (4)$$

$$b_2 = q_4 + b_3 \cdot q_5 \quad (5)$$

$$b_1 = \frac{-b_3 - b_2 \cdot 1,3^{p_2} + d_{1,3}}{1,3^{p_1}} \quad (6)$$

Ďalším krokom je samotný výpočet hrúbky stromu v záujmovej výške. Keďže kmeň stromu v rámci vizualizácie bude pozostávať zo sústavy na seba nadväzujúcich kužeľov je v každom kroku stanovený taký počet základní pre kužeľe, ktorý je zhodný s vekom modelovaného stromu. V rámci software GroIMP je možné jednotlivým objektom priradiť doplňujúce informácie. Takéto doplňujúce informácie sú priradované i každému vytváranému kužeľu slúžiacemu k vizualizácii kmeňa a to konkrétne informácia o veku stromu, veku v ktorom bol segment vytvorený, dĺžke segmentu, poradia v ktorom bol segment vytvorený, výške v akej sa segment nachádza a výške stromu. Tieto informácie sa využívajú v rámci modelovania vetvenia. V prípade modelovania základne kužeľa, teda priemeru stromu v určitej výške sa využíva nasledovný vzťah (PETRÁŠ 1989):

$$d_i(h_i) = b_1 \cdot h_i^{p_1} + b_2 \cdot h_i^{p_2} + b_3 \quad (7)$$

Nedostatkom týchto vzťahov je z hľadiska využitia v rámci modelovania segmentov v prostredí GroIMP previazanosť rovníc o hrúbke stromu v prsnej výške. Simulácia procesu rastu sa však v prostredí GroIMP deje zvyčajne od času nula, preto bolo potrebné vytvoriť model umožňujúci simulovať i tvar kmeňa jedincov, ktoré ešte nedosiahli výšku 1,3 metra. Tvarová premenlivosť kmeňa takýchto jedincov nie je vysoká a ide zväčša o relatívne krátke obdobie simulácie. Z tohto dôvodu bol vytvorený iba jednoduchý lineárny model pre jedince nižšie ako 1,3 metra na základe podkladového materiálu využívaného pri riešení problematiky biomasy mladých porastov (PAJTIK *et al.* 2010), získaného od Národného Lesníckeho Centra vo Zvolene:

$$di = ((1,82075463690244 \cdot treeHeight - 0,0260340798192094) - \frac{height - incrH}{treeHeight} \cdot (1,82075463690244 \cdot treeHeight) - 0,0260340798192094) / 100 \quad (8)$$

2.3 Modelovanie tvorby púčikov a vetvenia

Oblasť modelovania tvorby púčikov je pomerne komplikovaná a na úpravu vzťahov by boli potrebné hlbšie analýzy založené na overení vplyvu jednotlivých fyziologických procesov. Preto sa v rámci rastových gramatík zachová princíp modelovania tvorby púčikov predstavený v rámci modelu KURTHA (1999).

Do tejto časti modelu sa zasiahlo iba minimálnym spôsobom a to do algoritmu stanovujúceho výšku nasadenia jednotlivých púčikov. Veľkosť koeficientov ostane zachovaná a zavedie sa len previazanosť s prírastkom na výške stromu (*incrH*) stanoveným v rámci simulácií rastovým simulátorom SIBYLA:

$$Bud(q * (683 * incrH - 351 * incrH * incrH) / bf((int)age), 1, rank, 0.9, age, 0, 0, Math.max(0, age - 1)) \quad (9)$$

S modelom tvorby púčikov úzko súvisí model vetvenia. Pôvodný model neobsahuje previazanosť na údaje, ktoré sú k dispozícii z lesníckej praxe a teda previazanosť na priemer stromu v prsnej výške. Uvažuje sa s implementáciou tejto previazanosti pre vetvy

prvého rádu, t.j. vetvy vyrastajúce priamo z kmeňa. Ako vzorový model pre stanovenie priemeru vetiev prvého rádu v závislosti na výške stromu a hrúbke bude slúžiť práca HEINA *et al.* (2007). Vzťahy pre vetvenie druhého a vyššieho rádu ostanú zachované z pôvodného modelu smreka podľa KURTHA (1999).

Zo vzťahov odvodených HEINOM *et al.* (1997) budú do rastovej gramatiky pre smrek implementované niektoré čiastkové modely a to konkrétne model pre stanovenie najhrubšej vetvy v praslene:

$$\ln(BRDmaxlptw) = c0 + c1 \cdot DBHlpt + c2 \cdot HDlpt + c3 \cdot DIST1lpt + c4 \cdot DIST2lpt + ylptw + ylptwb \quad (10)$$

Uvedený vzťah vyjadruje závislosť priemeru najhrubších vetiev v praslene od priemeru kmeňa vo výške 1,3 m, štihostného koeficienta a pozícii praslenu v rámci živej časti koruny.

Priemer zvyšných vetiev v praslene bude stanovený podľa vzťahu:

$$\ln \left[\frac{\frac{BRDptwb}{BRDmaxptw}}{1 - \frac{BRDptwb}{BRDmaxptw}} \right] = d0 + d1 \cdot HDlpt + d2 \cdot Rlptwb + \delta lpt + \delta lptw + \delta lptwb \quad (11)$$

Dĺžky vetiev prvej úrovne v najširšej časti koruny sú prebraté z výsledkov simulácie rastového simulátora SIBYLA. Pri ich importe do software GroIMP nie je zatiaľ zohľadnený uhol vetvenia. Dĺžky vetiev nasledovných úrovní sú riešené proporcionálne na základe pomerov použitých v pôvodnom modeli KURTHA (1999).

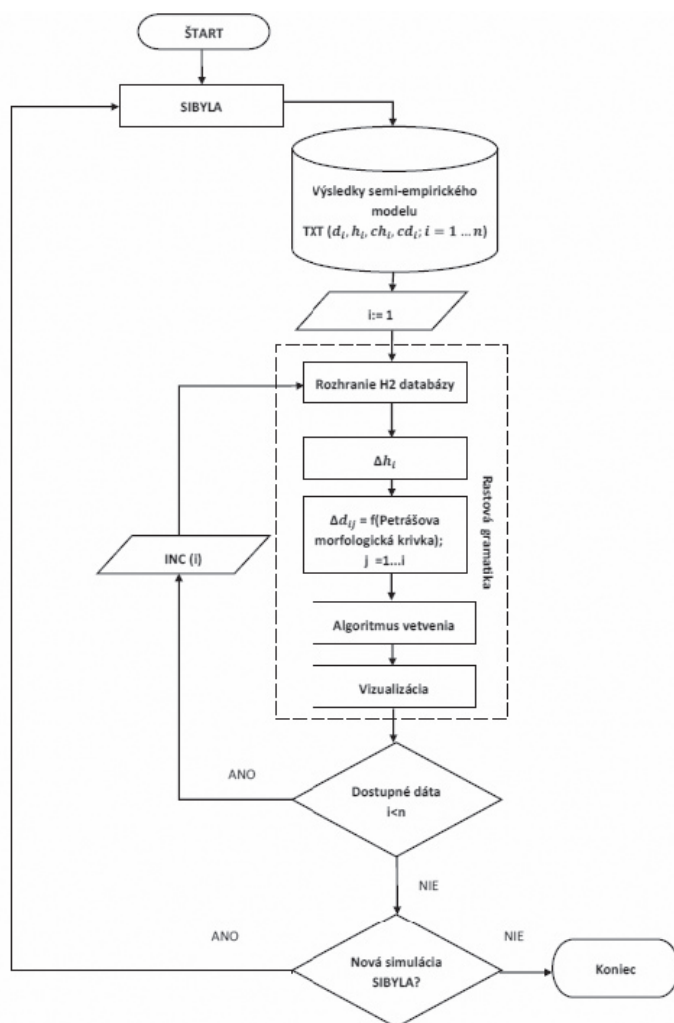
3 VÝSLEDKY

Výsledkom riešenia úlohy je algoritmus slúžiaci na prepojenie simulátora SIBYLA a modelovacej platformy GroIMP a upravená rastová gramatika pre drevinu smrek (*Picea abies* L.) umožňujúca vizualizovať výsledky rastovej prognózy simulátora SIBYLA na úrovni jedinca s využitím prístupov štruktúrneho modelovania. Schematické znázornenie postupu modelovania a vizualizácie v rámci vytvoreného algoritmu je na obrázku 2.

V prvom kroku je vytvorená simulácia v rastovom simulátore SIBYLA, ktorej výsledky sú exportované do textového súboru. Tieto informácie sú importované do vnorenej databázy v rámci vytvoreného projektu rastovej gramatiky pre drevinu smrek do platformy GroIMP. Na základe importovaných údajov sa modeluje dĺžka a hrúbka novovytvorených segmentov a zároveň sa v každom kroku modifikujú údaje o hrúbke segmentov vytvorených v predošliach krokoch. Platí že jeden krok je totožný s dĺžkou rastovej periódy jeden rok.

Na vytvorené segmenty kmeňa nadväzuje algoritmus tvorby púčikov a teda i vetvenia. Uplatňuje sa kombinácia údajov zo simulácie rastového simulátora SIBYLA, vzťahov definovaných HEINOM *et al.* (2007) a pôvodných inštrukcií definovaných v modeli smreka podľa KURTHA (1999). Celý algoritmus je vizualizovaný, pričom sa zobrazuje rast jedinca

za jeden rok až do vyčerpania dát uložených v databáze. Po prekročení doby pre ktorú bol jedinec simulovaný v SIBYLE sa buď pristúpi k novej simulácii a tým vytvoreniu potrebných údajov pre vizualizáciu, alebo dôjde k ukončeniu procesu.



Obrázok 2 Schéma fungovania algoritmu pre vizualizáciu
Picture 2 Overview of the algorithm for visualisation



Obrázok 3 Vizualizácia rastovej prognózy SIBYLY v prostredí GroIMP (mortalita vetiev zatiaľ nie je zahrnutá)

Picture 3 Visualisation of the SIBYLA's growth prognosis in GroIMP environment (branches mortality not included yet) (Age: 4, 8 and 12)

4 DISKUSIA A ZÁVER

Oblasť modelovania lesa má v rámci lesníckej vedy dlhú históriu a prešla ako taká značným vývojom. V súčasnej dobe sa oblasť modelovania rastu lesa sústreďuje na možnosti využitia procesných a štrukturálnych modelov, ktoré by umožnili posunúť lesnícke modelovanie k vyššej presnosti a využiteľnosti v rámci prepojenia na tendencie prírody blízkeho obhospodarovania lesa a prognóz v meniacich sa podmienkach prostredia.

Predkladaná práca sleduje tieto najnovšie trendy a jej cieľom je zakomponovať výsledky získané v posledných rokoch v danej oblasti a priblížiť ich tak lesníckemu modelovaniu na Slovensku. Rastové gramatiky, ktoré slúžili ako základ pre tento príspevok, boli pôvodne vytvorené za účelom zachytenia vývoja morfológie smreka bez aspirácie na modelovanie objemu stromu s väzbou na využitie v oblasti lesníckej praxe. Pôvodná rastová gramatika je založená na empirických prístupoch a dáta slúžiace k jej odvodeniu sa získali podrobným rozborom štruktúr jedincov smreka obyčajného (*Picea abies* (L.) Karst) z troch vzoriek A–C, s rôznym počtom jedincov. Celkovo bolo za účelom odvodenia rastovej gramatiky preskúmaných 11 jedincov vo veku 11–20 rokov. Tento materiál postačoval na odvodenie rastovej gramatiky zachytávajúcu vývoj morfológie, avšak nie je dostatočný k tomu, aby bolo možné stanoviť objem jedincov aspoň na úrovni presnosti, ktoré dosahujú slovenské objemové rovnice založené na rozsiahlejšom dátovom materiáli. Z tohto dôvodu bolo pôvodné riešenie prepracované a boli zakomponované slovenské objemové rovnice. Týmto sa zabezpečila vyššia presnosť modelovania objemu stromu. Predstavené riešenie sa snaží v porovnaní s originálnou rastovou gramatikou o integráciu prvkov zaujímavých prednostne z lesníckeho hľadiska, čo u pôvodného riešenia do určitej miery absentovalo.

Predpokladá sa pokračovanie v rámci ktorého sa plánuje zvládnuť modelovanie asymetrie koruny, senescenciu a upraviť model vetvenia, k čomu by mala napomôcť i plánovaná spolupráca s Fínskym lesníckym výskumným ústavom METLA, presnejšie s kolektívom tvorcov software LIGNUM. V záverečnej fáze bude model doladený a doplnený o textúry, ktoré by mali zlepšiť vizuálny vnem.

Predpoklad využitia jednoduchého jednosmerného prepojenia rastového simulátora SIBYLA na štruktúrne modely, ktoré je riešené v rámci predkladanej práce je v oblasti modelovania kvality kmeňa a následnej sortimentácie. Poslúžiť však má i ako nástroj popularizácie uvedeného druhu prístupov k lesníckemu modelovaniu, či v oblasti lesníckeho vzdelávania.

Podakovanie

Táto štúdia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt Centrum excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy, ITMS: 26220120006, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

- ASSMANN, E., FRANZ, F. (1963): Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. Institut für Ertragskunde der Forstlichen Forschungsanstalt, 1963, München, 104 s.
- BUNNELL, F. L. (1989): Alchemy and uncertainty: What good are models? General Technical Report PNW-GTR-232, 1989, USDA Forest Service.
- FABER, P.J. (1966): The growth of the Red oak in the Netherlands. Ned Bosbouw Tijdschr, 1966, 38: 357–374.
- FABRIKA, M. (2005): Simulátor biodynamiky lesa Sibyla: koncepcia, konštrukcia a programové riešenie (habilitačná práca). Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie, 2005, 238 s.
- FABRIKA, M. (2010): Počítačom podporované modelovanie lesa, súčasný stav a perspektívy, Biometria, informatika, inventarizácia, modelovanie lesa – základ pre precízne lesníctvo, Zborník referátov z vedeckého seminára, Zvolen 2010.
- HARTIG, R. (1868): Die Rentabilität der Fichtennutzholz- und Buchenbrennholzwirtschaft im Harze und im Wesergebirge. Cotta Verlag, Stuttgart, 199 s.
- HEIN, S., MÄKINEN, H., YUE, C. & KOHNLE, U. (2007): Modelling branch characteristics of Norway spruce from wide spacings in Germany. Forest Ecology and Management 242: 155–164.
- KNIEMEYER, O. (2008): Design and Implementation of a Graph Grammar Based Language for Functional-Structural Plant Modelling. Ph.D. thesis, University of Technology at Cottbus, 2008.
- KNIEMEYER, O., BUCK-SORLIN, G., KURTH, W. (2007): GroIMP as a platform for functionalstructural modeling of plants, Vos., J.; Marcelis, L.F.M.; Visser, P.H.B.de; Struik, P.C.; Evers, J.B. (Eds.): Volume 22 Functional-Structural Plant Modelling in Crop Production 2007, X, 269 p., Softcover ISBN: 978-1-4020-6033-5.
- KONÔPKA, B., PAJTIK, J., MORAVČÍK, M., LUKÁČ, M. (2010): Biomass partitioning and growth efficiency in four naturally regenerated forest tree species, Basic and Applied Ecology, Volume 11, Issue 3, May 2010, Pages 234-243, ISSN 1439-1791, DOI: 10.1016/j.baae.2010.02.004.
- KURTH, W. (1994): Morphological models of plant growth: Possibilities and ecological relevance, Ecological Modeling 75/76, 1994 str. 299–308.
- KURTH, W. (1999): Die Simulation der Baumarchitektur mit Wachstumsgrammatiken. Stochastische, sensitive L-Systeme als formale Basis für dynamische, morphologische Modelle der Verzweigungsstruktur von Gehölzen. Habilitationsschrift, Universität Göttingen; Wissenschaftlicher Verlag Berlin 1999. 324 p.
- LINDENMAYER, A. (1968): Mathematical models for cellular interaction in development, Parts I and II. Journal of Theoretical Biology, 1968, 18: 280–315.

- PAULSEN J.C. (1795): Kurze praktische Anleitung zum Forstwesen. Verfaßt von einem Forstmanne. Detmold, 1795, 152 s.
- PETRÁŠ, R. (1986): Matematický model tvaru kmeňa. Lesnícky časopis, 32, 1986, č. 3, s. 223–236.
- PETRÁŠ, R. (1989): Matematický model tvaru kmeňa ihličnatých drevín. Lesnictví, 35, 1989, s. 867–878.
- PETRÁŠ, R. (1990): Matematický model tvaru kmeňa listnatých drevín. Lesnícky časopis, 36, 1990, s. 231–241.
- PETRÁŠ, R., MECKO, J., BONČINA, A. (2010): Minulosť, prítomnosť a budúcnosť rastových tabuliek v lesníctve Slovenska, Biometria, informatika, inventarizácia, modelovanie lesa – základ pre presné lesníctvo, Zborník referátov z vedeckého seminára, Zvolen 2010.
- PRESSLER, M. (1865): Das Gesetz der Stammformbildung. Verlag Arnold, Leipzig, 153 pp.
- PRETZSCH, H. (2001): Modellierung des Waldwachstums. Parey Buchverlag, 2001, Berlin, 341 s.
- PRETZSCH, H. (2009): Forest Dynamics, Growth and Yield: From Measurement to Model, Berlin Heidelberg, Springer-Verlag 2009. 665 s.
- PRUSINKIEWICZ, P., LINDENMAYER, A. (1990): The Algorithmic Beauty of Plants, the electronic version of the book that was published by Springer-Verlag, 1990, New York, 228 s.
- SCHMIDT, A. (1971): Wachstum und Ertrag der Kiefer auf wirtschaftlich wichtigen Standorteinheiten der Oberpfalz. Forstl Forschungsber, 1971, Munchen 1, 187 s.
- SCHWAPPACH, A. (1893): Wachstum und Ertrag normaler Rotbuchenbestände. Verlag Julius Springer, Berlin, 104 s.
- VUOKILA, Y. (1966): Functions for variable density yield tables of pine based on temporary sample plots. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae, 1966, Bd. 60, H. 4, 86 s.
- WEISE, W. (1880): Ertragstafeln für die Kiefer. Verlag Springer, Berlin, 156 s.
-

Adresa autorov:

Ing. Martin Schön
Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie
Lesnícka fakulta
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen

Doc. Ing. Marek Fabrika, PhD.
Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie
Lesnícka fakulta
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen

e-mail: maral2@azet.sk
fabrika@vsl.d.tuzvo.sk

Prístupy štrukturálneho modelovania ako nástroj vizualizácie výsledkov simulácií rastového simulátora SIBYLA na úrovni jedinca

Abstrakt

Práca sa zaoberá možnosťou vizualizácie rastových prognóz simulátora SIBYLA s využitím prístupov štrukturálneho modelovania s dôrazom na rastové gramatiky. Opiera sa o výsledky dosiahnuté v tejto oblasti v zahraničí a obohacuje ich o možnosť prepojenia so semi-empirickým rastovým simulátorom. Pracuje sa s rastovými gramatikami pre drevinu smrek (*Picea abies* L.), ktoré predstavil vo svojej práci KURTH (1999) a dopĺňajú sa o algoritmy umožňujúce využitie vstupných dát z prognóz rastového simulátora SIBYLA. K tomuto kroku je potrebné zahrnutie databázy vo vnorenom móde do projektu rastových gramatik.

Vizualizácia jedincov je rozdelená na dve čiastkové časti a to vizualizáciu kmeňa opierajúcu sa o výsledky slovenských výskumov v oblasti morfológie a tvarových kriviek jednotlivých drevín a oblasť modelovania koruny vychádzajúcu prevažne zo zahraničných poznatkov. Výsledky poukázali na potenciál uvedeného prístupu v nadväznosti na ďalšie spresnenie a zjemnenie rastových prognóz simulátora SIBYLA a využitie v oblasti sortimentácie, modelovania kvality kmeňa, ale i v oblasti popularizácie lesníckej vedy.

Kľúčové slová: SIBYLA, GroIMP, vizualizácia, Lindenmayerove systémy, smrek, rastová gramatika

SUBMODEL ŠTÁDIOVEJ VÝŠKOVEJ KRIVKY PRE KLIMATICKO-STANOVIŠTNÉ STRATÁ PRE MODEL PRIRODZENÉHO ZMLADENIA RASTOVÉHO SIMULÁTORA SIBYLA

Ján MERGANIČ – Marek FABRIKA –
– Katarína MERGANIČOVÁ

Merganič, J., Fabrika, M., Merganičová, K.: Submodel of height-diameter function for climatic-site strata of the model of natural regeneration in the growth simulator SIBYLA. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, 53(1): 155–168, 2011.

The work presents the methodology of the development of mean height-diameter functions based on Wolf's height-diameter model and derived for 45 tree species. The data come from the database of the National Forest Inventory and Monitoring of the Slovak Republic (NIML SR) performed during 2005 and 2006 as a representative sampling method. For tree species *Fagus sylvatica*, 14 mean height-diameter curves were derived for 14 climatic-site strata, which are determined on the base of the two main ecological variables: mean air temperature in vegetation season (from April to September), and mean precipitation sum in vegetation season (from April to September) taken from the rectified climatic rasters. The relationship between parameter *a* of height-diameter curve and site-climatic variables is non-linear and close at a global level. Parameter *a* primarily affects the asymptote of the height-diameter curve and is closely coupled to the influence of climatic and site factors. Its value decreases with increasing temperature until the inflexion point at temperature 15.67 °C, after which it begins to rise again. By implementing the height-diameter model into the growth simulator SIBYLA, its sensitivity to ecological conditions will be maintained and ensured in tree height estimation of new trees generated by the model of natural regeneration.

Key words: non-linear regression, stratification, growth simulator, SIBYLA, natural regeneration model

1 ÚVOD A ROZBOR PROBLEMATIKY

Výškový rast je jednou z najcharakteristickejších biologických vlastností drevín. Pod týmto pojmom rozumieme zväčšovanie výšky stromu resp. porastu s vekom (HALAJ 1978). Rastovú krivku, ktorá určuje výšku stromu alebo porastu v závislosti od veku, nazývame veková výšková krivka. Špeciálnym typom výškových kriviek sú štádiové výškové krivky. Štádiové výškové krivky sú modely predikcie výšky stromu v závislosti od jeho hrúbky v 1,3 m výške. V rovnovekých porastoch mení štádiová výšková krivka s rastom výšky a hrúbky svoju polohu i tvar. V nerovnevkých porastoch má táto krivka tvar S-krivky a je stacionárna, t.j. nedochádza k jej postupnému presunu ako je to

v rovnovekých porastoch (ŠMELKO *et al.* 1992). Kým hrúbka stromu sa dá ľahko a presne určiť, meranie výšky je časovo náročnejšie (ŠMELKO 2000, COLBERT *et al.* 2002). Preto sa výšky často určujú pomocou štádiových výškových kriviek, ktoré môžu byť buď lokálne alebo všeobecné (KERSHAW *et al.* 2008). Presné určenie výšky stromu je rozhodujúce pri stanovovaní objemu stromu, produkcie i štruktúry porastu (ŠMELKO 2000, YUANCAI a PARRESOL 2001, KERSHAW *et al.* 2008). V minulosti sa tieto modely vytvárali najmä pre tzv. „zrelé“ stromy (XIANGDONG *et al.* 2009), t.j. stromy s hrúbkou väčšou ako je hraničná hrúbka, napr. 7 cm. V súčasnosti existuje v literatúre veľké množstvo výškových kriviek navrhnutých pre rôzne dreviny a rôzne regióny. Viacero prác sa zaoberalo porovnaním existujúcich kriviek (BURGAN 1980, ŠMELKO 1981, HUANG *et al.* 1992, FANG a BAILEY 1998, SANCHEZ *et al.* 2003, TEMESGEN a GADOW 2004, SONMEZ 2009, XIANGDONG *et al.* 2009). Avšak len niekoľko z modelov bolo kalibrovaných pre mladé porasty (XIANGDONG *et al.* 2009). Niektoré práce prezentovali, že modely navrhnuté pre stromy väčších rozmerov nedokážu dobre popísať mladú generáciu (YUANCAI a PARRESOL 2001). Podľa KERSHAW *et al.* (2008) tieto modely nereagujú na dynamický vzťah medzi hrúbkou a výškou v mladých porastoch.

Výška porastu, resp. jej potenciál, závisí od viacerých faktorov, avšak značný vplyv má akosť stanovišťa. V lesníckej terminológii sa pre určovanie produkčnej schopnosti stanovišťa zaužíval pojem bonita. Bonitu stanovišťa určujú vlastnosti pôdy (štruktúra, prevzdušnosť, hĺbka pôdy, chemické zloženie, obsah vody, obsah živín, humifikácia a pod.), reliéf a poloha terénu, ako aj klimatické faktory (teplota, zrážky a pod.) bez ohľadu na to, aká drevina (stanovištne vhodná alebo nevhodná) a aký porast (tvárny alebo netvárny) momentálne na danom stanovišti rastie (HALAJ 1978). Výška porastu sa stala veľmi často používaným nepriamym ukazovateľom kvality stanovišťa a je použitá pri tvorbe viacerých rastových tabuliek (HALAJ 1978, ŠMELKO *et al.* 1992). Vytvorením modelu štádiovej výškovej krivky v rámci strát gradientu klíma – stanovište (MERGANIČ a FABRIKA 2009) sledujeme zachovanie senzitivity stromového rastového simulátora SIBYLA (FABRIKA 2005) na ekologické podmienky pri určovaní výšky nových stromov generovaných v rámci modelu prirodzeného zmladenia, ktorý sa vyvíja ako jedna z piatich riešených úloh v rámci aktivity 1.3 „Modelovanie rastových procesov lesných ekosystémov“ projektu Centrum excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy.

2 MATERIÁL

Konštrukcia modelu štádiovej výškovej krivky vychádza z databázy údajov Národnej inventarizácie a monitoringu lesov SR (NIML SR). NIML SR bola realizovaná v rokoch 2005–2006 ako výberová reprezentatívna metóda s komplexným zisťovaním informácií na pravidelnej sieti trvalých inventarizačných plôch (IP) v spone 4×4 km na celom území SR (ŠMELKO *et al.* 2006). Celkový počet IP bol 3071 a z toho na 1419 IP sa nachádzal les.

Pre účely tejto práce sa využili prevažne údaje o stromoch, obnove lesa, poraste a stanovišti zisťované v zmysle pracovných postupov pre NIML SR (ŠMELKO *et al.* 2006). Tieto údaje boli zisťované na troch druhoch inventarizačných plôch: A – základná

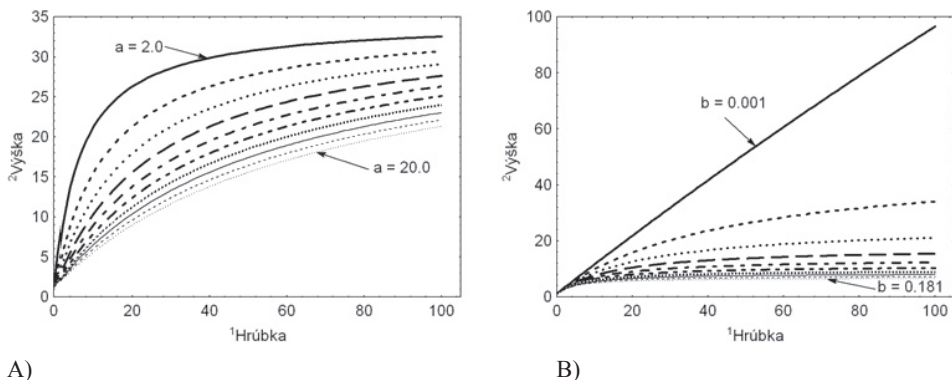
inventarizačná plocha (konštantný kruh o výmere $p = 500 \text{ m}^2$ s polomerom $r = 12,62 \text{ m}$) slúžila pre zisťovanie stanovištných, porastových a ekologických charakteristík a pre inventarizáciu mŕtveho ležiaceho dreva a pňov, B – dva konštantné kruhy pre inventarizáciu stromov s hrúbkou $d_{1,3} \geq 7 \text{ cm}$ (s kôrou), a to B_1 – veľký kruh pre stromy s $d_{1,3} \geq 12 \text{ cm}$ s polomerom $r = 12,62 \text{ m}$ ($p = 500 \text{ m}^2$), ktorý je totožný s kruhom A a B_2 – malý kruh pre stromy s $d_{1,3} \geq 7 \text{ cm}$ a $< 12 \text{ cm}$ s polomerom $r = 3 \text{ m}$ ($p = 28,26 \text{ m}^2$) a napokon C – variabilný obnovný kruh pre inventarizáciu náletu, nárastov, kultúr a mladín s výškou od 0,1 m a hrúbkou $d_{1,3} < 7 \text{ cm}$ (vrátane kôry), ktorého „optimálna“ veľkosť (výmera p a polomer r) sa zvolila individuálne na každom stanovisku podľa konkrétnej hustoty (sponu) jedincov. V prípade silnej heterogenity IP spôsobenej napr. hranicou les/neles, les/bezlesie, rozdielnym rastovým stupňom v rámci IP a podobne, sa IP rozčlenila na menšie homogénnejšie časti – subplochy (ŠMELKO *et al.* 2006). Pre účely konštrukcie modelu sa použili údaje z 36 328 stromov 45 druhov drevín.

3 METODIKA

Pri tvorbe štádiovej výškovej krivky boli preverené viaceré rastové a výškové funkcie autorov ASSMANN (1943), MICHAJLOV (1952), WOLF (1957), NÄSLUND (1936), PETERSON (1955), KORSUŇ (1935) a KORF (1939). Z uvedených funkcií mala najpriaznivejší logický priebeh krivky najmä pri mladých jedincoch funkcia podľa WOLFA (1957). Model výškovej krivky pre určitú drevinu je parametrizovaný na súbore všetkých živých stromov, pričom sa použila „modelová výška“. „Modelová výška“ je výška stromu pri konkrétnej hrúbke stromu vo výške 1,3 m, ktorá bola stromu pridelená v rámci logickej kontroly výšok stromov v databáze NIML SR 2005–2006. V prípade, že výška stromu nevykazovala signifikantnú odchýlku od štádiovej výškovej krivky zo súboru stromov patriacich napr. k jednej skusnej ploche alebo rovnakému stanovištiu, „modelovej výške“ bola priradená skutočná, reálne nameraná výška v teréne. V opačnom prípade bola „modelovej výške“ priradená výška z príslušnej štádiovej výškovej krivky. Takýmto spôsobom boli „modelové výšky“ určené najmä pri suchároch, stromoch poškodených zlomami a pod.

Funkcia modelu výškovej krivky podľa WOLFA (1957) je dvojparametrová, kde parameter a ovplyvňuje prevažne asymptotu výškovej krivky (Obr. 1) a parameter b jej tvar.

$$h = 1.3 + \frac{d_{1,3}}{a + b \times d_{1,3}} \quad (1)$$



Obr. 1 Pribeh štádiovej výškovej krivky podľa modelu WOLFA (1957) pri zmene parametra a a fixovaní parametra $b = 0.03$ (A) a zmene parametra b a fixovaní parametra $a = 9.5$ (B)
 Fig. 1 Performance of height-diameter curve of Wolf's model (1957) in case of changing values of parameter a and fixed parameter $b = 0.03$ (A) and changing values of parameter b and fixed parameter $a = 9.5$ (B). Legend: 1 – Diameter, 2 – Height

V prvom kroku bola funkcia parametrizovaná pre konkrétnu drevinu na celom empirickom materiáli. Uvedený postup zodpovedá princípu tvorby štádiovej výškovej krivky pre nerovnovážne porasty, ktorá je v čase stacionárna a vyjadruje priemernú polohu krivky vzťahu výšky na hrúbke. Tvar tejto krivky je kontrolovaný parametrom b , ktorý bol v ďalšom postupe fixovaný. Úpravou rovnice (1) je potom možné odvodiť rovnicu pre výpočet parametra a , ktorý závisí najmä na klimaticko-stanovištných podmienkach. Jeho výpočet je nasledovný:

$$a = -d_{1.3} \times \frac{h \times b - 1.3 \times b - 1}{h - 1.3} \quad (2)$$

Zmenou parametra a je možné definovať polohu výškových kriviek a vytvoriť tak vejár podobný vejáru výškových bonitných kriviek (HALAJ 1978). Podľa rovnice (2) sa parameter a vypočítal pre každý strom. Pre výpočet reprezentatívnej hodnoty tohto parametra pre konkrétnu drevinu a klimaticko-stanovištné podmienky boli použité klimaticko-stanovištné stratá podľa autorov MERGANIČ a FABRIKA (2009). Tvorba týchto klimaticko-stanovištných strát je založená na dvoch základných priamych ekologických faktoroch a to na priemernej teplote vzduchu počas vegetačného obdobia (apríl až september) a priemernom úhrne zrážok počas vegetačného obdobia. Aj keď stratifikačnými veličinami sú iba klimatické údaje, z citovanej práce vyplýva, že tieto veličiny majú vplyv aj na stanovištné veličiny, preto sa použil súborný pojem klimaticko-stanovištné stratá (MERGANIČ a FABRIKA 2009). Reprezentatívna hodnota parametra a pre drevinu a klimaticko-stanovištné stratum zodpovedá aritmetickému priemeru parametra a zo súboru stromov, ktoré dané stratum tvoria.

4 VÝSLEDKY

V tabuľke 1 uvádzame výsledky parametrov priemernej štádiovej výškovej krivky pre 45 druhov drevín. Parameter a Wolfovej funkcie sa pohybuje v rozpätí od 2,7 do 23,8. Najnižšiu hodnotu vykazuje drevina *Populus x euroamericana* (I-214') a najvyššiu hodnotu drevina *Pinus mugo* a veľmi blízko je aj *Pinus cembra*. Parameter b použitej funkcie sa pohybuje v rozpätí od 0,012 do 0,212. Najnižšie hodnoty vykazujú drevinu *Picea abies* a *Ulmus laevis* a naopak najvyššiu hodnotu sme zistili pri drevine *Pinus mugo*. Hodnoty uvedených drevín v zmysle obrázka 1 vcelku dobre korešpondujú s ich biologickým rastovým potenciálom. Variabilita hodnôt okolo vyrovnanej štádiovej výškovej krivky vyjadrenej na báze relatívnej strednej chyby je pri drevinách rôzna. Najnižšiu hodnotu variability pri viac stromových údajoch sme zaznamenali pri drevine *Populus x euroamericana* (I-214') s hodnotou 9,1 %. Pri drevine *Sorbus aucuparia* sme naopak zistili najvyššiu hodnotu na úrovni 34,4 %. Na obrázku 2 uvádzame priebeh výškových kriviek všetkých 45 druhov drevín. Z obrázku vyplýva, že odvodené parametre nevykazujú nelogické správanie sa v skúmanom vzťahu.

Tab. 1 Parametre priemernej štádiovej výškovej krivky pre 45 druhov drevín

Tab. 1 Parameters of mean height-diameter curves of 45 tree species

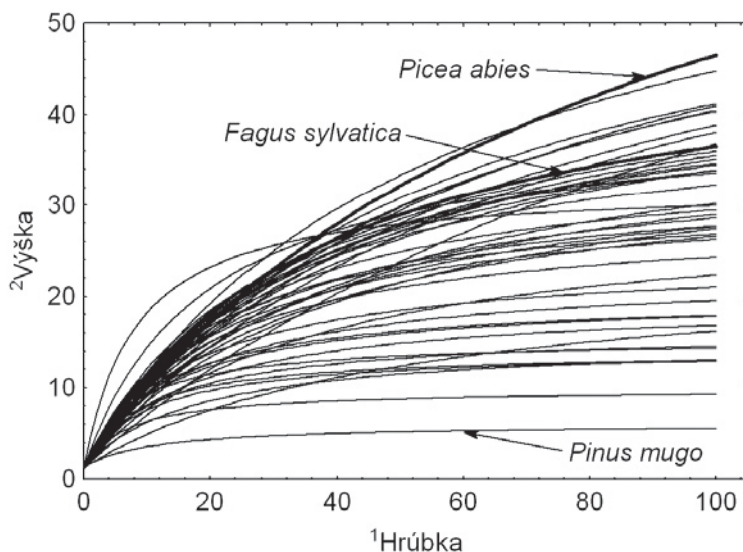
P. č. ¹	Druh dreviny ²	n^3	Par. a^4	Par. b^5	SE % ⁶
1	<i>Abies alba</i>	914	10,34	0,015	18,3
2	<i>Acer campestre</i>	376	9,81	0,030	23,2
3	<i>Acer negundo</i>	42	6,92	0,029	24,0
4	<i>Acer platanoides</i>	105	7,98	0,021	21,2
5	<i>Acer pseudoplatanus</i>	900	8,04	0,022	19,8
6	<i>Alnus glutinosa</i>	659	8,62	0,021	22,8
7	<i>Alnus incana</i>	155	7,35	0,036	24,5
8	<i>Betula pendula</i>	761	7,03	0,031	23,7
9	<i>Carpinus betulus</i>	3 117	6,36	0,033	18,1
10	<i>Castanea sativa</i>	8	7,44	0,033	19,5
11	<i>Fagus sylvatica</i>	9 661	7,74	0,021	20,5
12	<i>Fraxinus excelsior</i>	552	6,90	0,024	21,9
13	<i>Fraxinus ornus</i>	11	8,32	0,067	20,3
14	<i>Juglans regia</i>	6	9,26	0,055	18,0
15	<i>Larix decidua</i>	562	9,58	0,016	18,1
16	<i>Malus sylvestris</i>	38	8,13	0,078	22,0
17	<i>Morus alba</i>	9	13,08	0,072	16,9
18	<i>Padus racemosa</i>	31	5,41	0,071	23,8
19	<i>Picea abies</i>	7 887	10,26	0,012	19,5

Tab. 1 Pokračovanie

Tab. 1 Continue

P. č. ¹	Druh drevin ²	<i>n</i> ³	Par. <i>a</i> ⁴	Par. <i>b</i> ⁵	SE % ⁶
21	<i>Pinus mugo</i>	14	23,08	0,212	16,8
22	<i>Pinus nigra</i>	144	10,74	0,016	16,8
23	<i>Pinus sylvestris</i>	2 217	9,33	0,021	19,7
24	<i>Populus alba</i> , <i>P. canescens</i>	32	8,20	0,015	14,4
25	<i>Populus nigra</i>	40	9,90	0,026	22,6
26	<i>Populus tremula</i>	280	9,36	0,016	20,5
27	<i>Populus</i> × <i>euroamericana</i> (,1-214')	38	2,70	0,032	9,1
28	<i>Prunus avium</i>	159	10,44	0,024	28,2
29	<i>Prunus domestica</i>	10	8,16	0,117	23,8
30	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	9	9,16	0,020	5,9
31	<i>Pyrus pyraister</i>	51	6,71	0,079	28,7
32	<i>Quercus cerris</i>	877	7,95	0,022	18,4
33	<i>Quercus petraea</i>	2 704	7,23	0,025	18,3
34	<i>Quercus robur</i>	117	8,14	0,023	16,1
35	<i>Quercus rubra</i>	46	5,03	0,026	12,0
36	<i>Robinia pseudoacacia</i>	683	8,81	0,029	19,1
37	<i>Salix alba</i>	145	7,42	0,043	26,7
38	<i>Salix caprea</i>	363	8,24	0,047	24,3
39	<i>Salix fragilis</i>	17	12,27	0,035	15,9
40	<i>Sorbus aria</i>	125	7,57	0,053	28,8
41	<i>Sorbus aucuparia</i>	138	11,14	0,027	34,4
42	<i>Tilia cordata</i>	262	8,04	0,029	21,6
43	<i>Ulmus laevis</i>	15	16,27	0,012	21,0
44	<i>Ulmus minor</i>	47	12,18	0,015	20,3
45	<i>Ulmus montana</i>	46	8,83	0,016	19,1

1 – running number, 2 – tree species, 3 – rozsah súboru (amount of data), 4 – parameter *a* Wolfovej výškovej krivky (parameter *a* of Wolf's height-diameter curve), 5 – parameter *b* Wolfovej výškovej krivky (parameter *b* of Wolf's height-diameter curve), 6 – relatívna stredná chyba výškovej krivky (relative standard error of height-diameter curve)



Obr. 2 Priebeh štádiovej výškovej krivky pri 45 druhoch drevín
 Fig. 2 Performance of mean height-diameter curves of 45 tree species
 Legend: 1 – Diameter, 2 – Height

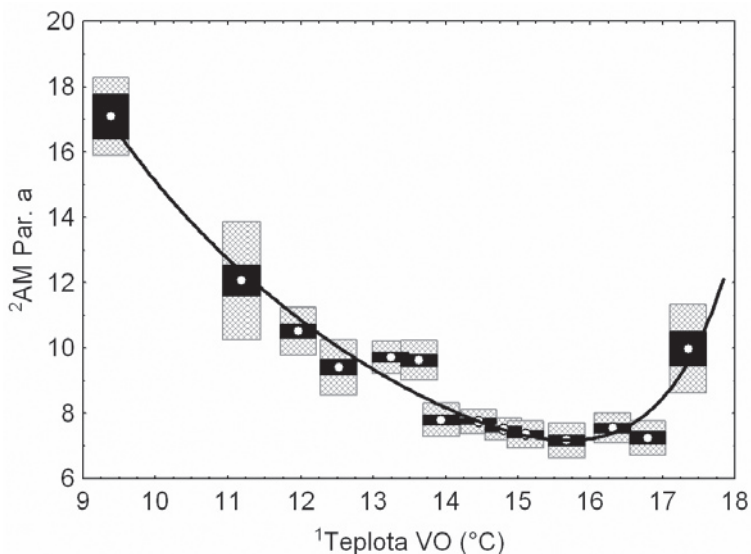
Vplyv klimaticko-stanovištných strát na parameter a štádiovej výškovej krivky Wolfovej funkcie je dokumentovaný na najzastúpenejšej drevine na Slovensku, t.j. buku (*Fagus sylvatica*). Uvedená drevina sa vyskytla v 14 z 15 KSS. Jej absenciu sme zistili v KSS, ktoré reprezentuje najnižšie polohy (nadmorská výška okolo 165 m n. m., priemerná teplota vo vegetačnom období 17,84 °C, priemerný úhrn zrážok vo vegetačnom období 325 mm). Priemerné hodnoty parametra a sú uvedené v tabuľke 2. Ako vyplýva z tabuľky 2 a obrázka 3, s rastúcou teplotou klesá hodnota parametra a z hodnoty 17,09 po bod obratu, ktorý nastáva pri teplote 15,67 °C a v ktorom je jeho hodnota rovná 7,18. Od tohto bodu dochádza opäť k vzostupu hodnôt parametra a Wolfovej funkcie. Vzťah medzi generalizovanými hodnotami priemernej teploty vo vegetačnom období a priemernou hodnotou parametra a Wolfovej funkcie je pomerne tesný (Obr. 3). Na popísanie uvedeného vzťahu bola použitá funkcia $Y = a + b \times \exp(x) + c/x^{1,5}$, v ktorej parameter a má hodnotu -2,7855, b hodnotu 1,31742880427412E-07 a parameter c hodnotu 565,698. Pomocou uvedenej funkcie je objasnených 96,6 % informácií v skúmanom vzťahu. Musíme mať však na pamäti, že ide o vzťah medzi silne generalizovanými hodnotami, v ktorom nie je zohľadnená mikroporastová variabilita. Na globálnej úrovni je to však veľmi pozitívna informácia.

Tab. 2 Priemerné hodnoty parametra a Wolfovej výškovej funkcie v jednotlivých klimaticko-stanovištných stratách pri drevine *Fagus sylvatica*

Tab. 2 Mean values of parameter a of Wolf's height-diameter function in individual climatic-site strata

KSS ¹	Nadmorská ² výška (m n. m.)	Teplota ³ VO (°C)	Zrážky ⁴ VO (mm)	AM ⁵ Par. a	SD ⁶ Par. a	CV ⁷ Par. a	n ⁸	m ⁹
1	702	13,63	556	9,62	5,2	53,9	802	72
2	655	13,94	529	7,80	3,9	49,6	640	57
3	576	14,46	505	7,74	3,4	43,6	1 371	85
4	765	13,24	588	9,71	4,3	44,0	768	71
5	898	12,52	629	9,41	6,0	63,8	635	50
6	519	14,80	480	7,51	2,6	34,9	915	60
7	488	15,10	459	7,35	3,3	45,3	917	64
8	425	15,67	436	7,18	3,7	51,5	489	48
9	998	11,96	685	10,52	4,7	45,1	528	43
10	346	16,31	414	7,55	2,4	31,3	275	27
11	1 140	11,19	770	12,06	8,8	73,1	365	25
12	1 490	9,39	953	17,09	1,2	6,9	4	1
13	280	16,80	390	7,24	2,3	31,1	125	20
14	225	17,36	363	9,98	2,3	23,5	21	4
15	165	17,84	325	—	—	—	—	—

1 – Klimaticko-stanovištné stratum (climatic-site stratum), 2 – altitude, 3 – priemerná teplota vo vegetačnom období (mean air temperature in vegetation season), 4 – priemer zrážok vo vegetačnom období (mean precipitation sum in vegetation season), 5 – aritmetický priemer parametra a (mean of parameter a), 6 – smerodajná odchýlka parametra a (standard deviation of parameter a), 7 – variačný koeficient parametra a (coefficient of variation of parameter a), 8 – počet stromov (number of trees), 9 – počet subplôch (number of subplots)



Obr. 3 Vzťah medzi ²priemernými hodnotami parametra *a* Wolfovej výškovej funkcie a ¹priemerom teploty vo vegetačnom období pri drevine *Fagus sylvatica*

Fig. 3 Relationship between ²mean values of parameter *a* of Wolf's height-diameter function and ¹mean temperature in vegetation season in case of *Fagus sylvatica*

Legend: ○ mean, ■ mean ± standard error for trees, ▨ mean ± standard error for subplots

5 DISKUSIA

Výskum ekologických vzťahov medzi vegetáciou a prostredím je veľmi zložitý. Ekologické faktory ovplyvňujú mnohé rastové zákonitosti v lesných ekosystémoch, ich existenciu i produkciu. Výška stromu alebo porastu je jednou z veličín, ktoré sú v značnej miere ovplyvnené kvalitou stanovištných podmienok. Ako uvádza ŠMELKO *et al.* (1992) a HALAJ (1978), výška porastu, v poslednom období najmä horná výška, predstavuje jeden z najlepších bonitačných ukazovateľov. Odvodenie parametrov výškovej funkcie v rámci klimaticko-stanovištných strát je preto opodstatnené a ako vyplýva z tab. 2 a obr. 3, vzťah k parametrom prostredia sa potvrdil aj v našej analýze. Určovanie bonity stanovišťa na báze informácií o klimatických a stanovištných veličinách je typické pre obdobie počiatočných pokusov o klasifikáciu bonity už z pred viac ako 200 rokmi. Ide o tzv. geocentrický prístup, pretože je založený na poznatkoch o zemi (SKOVSGAARD a VANCLAY 2008). V lesníctve sa však častejšie využíva už spomínaný tzv. dendrocentrický prístup (SKOVSGAARD a VANCLAY 2008), v rámci ktorého je bonitácia stanovišťa vykonávaná prevažne cez porastové charakteristiky (PRESSLER 1870, EICHORN 1904, GERHARD 1921, WIEDEMAN 1951, ASSMAN a FRANZ 1963, HALAJ a ŘEHÁK 1979) ako sú horná výška porastu, stredná výška porastu, prírastok a pod. V poslednom období sa však opäť začínajú presadzovať trendy

priamej bonitácie cez prírodné a ekologické charakteristiky (BOTKIN *et al.* 1972, SHUGART a WEST 1977). Z pohľadu týchto veličín sú teplota a zrážky rozhodujúce klimatické činitele, ktoré ohraničujú maximálne výšky a ovplyvňujú ich tempo rastu a vývoja (ŠMELKO *et al.* 1992, GÓMÖRYOVÁ 2004). Použité klimaticko-stanovištné stratá (MERGANIČ a FABRIKA 2009) sú založené na pre rast rozhodujúcich činiteľoch. Pre klimaticko-stanovištnú stratifikáciu by bolo možné využiť aj informácie o stanovišti vyjadrené prostredníctvom typologických jednotiek, ktoré boli určované na inventarizačných plochách v rámci NIML 2005–2006. Na jednej strane ide o jednotky, ktoré by mali zohľadňovať aj parametre mikroreliéfu, čo je v porovnaní s generalizovanými údajmi priemernej teploty vzduchu a priemerného úhrnu zrážok výhodou, na strane druhej je určovanie typologických jednotiek na inventarizačných plochách silne zaťažené subjektom hodnotenia a jeho praktickými skúsenosťami. Správne určenie typologickej jednotky je obtiažne najmä v človekom pozmenených lesných ekosystémoch. Doposiaľ nebol vytvorený model, ktorý by uspokojivo kategorizoval územie z pohľadu lesníckej typológie. Praktická skúsenosť zo spracovania údajov s ohľadom na typologické jednotky prináša množstvo problémov i kontroverzných výsledkov. Nakoniec aj typologické jednotky by mali úzko korešpondovať s vplyvom priamych veličín, ktoré rozhodujúcim spôsobom determinujú výskyt, šírenie a biomasu životných foriem. Pri štúdiu vzťahu medzi klimatickými veličinami a rastovými veličinami stromov a lesných porastov sa najčastejšie uplatňujú priemerná ročná teplota, priemerná teplota vo vegetačnom období, počet dní s určitým teplotným minimom, dĺžka vegetačného obdobia, ročný úhrn zrážok a zrážky vo vegetačnom období (KÖHLER 1984, FERRAZ 1985, KAHN 1994, HERZBERGER 1996, KARLSSON 2000, SCHADAUER 2003). Vzťah medzi klimaticko-stanovištnými veličinami a rastovými veličinami zvyčajne nie je lineárny (GÓMÖRYOVÁ 2004). Lineárny model použili v prácach napr. MOOSMAYER a SCHÖEPFER (1972) a NEBE (1968). NEBE (1968) vyjadril vzťah medzi hornou výškou smrekových porastov vo veku 80 rokov a klimatickými veličinami pomocou lineárnej mnohonásobnej regresie. Zistil, že pre rast smreka je dôležitý úhrn zrážok od mája do augusta. Obdobné výsledky uvádza aj GÓMÖRYOVÁ (2004), ktorá na objasnenie vzťahu použila nelineárnu regresiu v podobe polynómov 1. až 3. stupňa, pričom najsilnejším faktorom bola priemerná ročná teplota. V našej práci sme pri drevine *Fagus sylvatica* zistili pomerne tesnú nelineárnu závislosť na oboch priamych klimatických veličinách (teplota a zrážky) i nepriamej veličine v podobe nadmorskej výšky, z ktorých je prezentovaný vzťah k priemernej teplote vo vegetačnom období (Obr. 3). Ide však o pohľad na globálnej úrovni, kde nie je zohľadnená mikroporastová variabilita.

6 ZÁVER

Predkladaná práca prezentuje metodiku tvorby priemerných štádiových výškových kriviek pre 45 druhov drevín na báze Wolfovej výškovej krivky. Pri drevine *Fagus sylvatica* sa prezentuje stanovenie parametra a použitej výškovej funkcie, ktorý determinuje asymptotu výškovej krivky a je v úzkom prepojení na vplyv klimaticko-stanovištných činiteľov v rôznych klimaticko-stanovištných stratách. Vzťah medzi parametrom a výškovej krivky a stanovištno-klimatickými veličinami má nelineárnu podobu a na glo-

bálnej úrovni je pomerne tesný. S rastúcou teplotou klesá hodnota parametra a po bod obratu, t.j. asymptota výškovej krivky stúpa, ktorý nastáva pri teplote 15,67 °C. Od tohto bodu nastáva opäť vzostup hodnôt parametra a Wolfovej funkcie teda pokles asymptoty výšky stromu.

Podakovanie

Táto štúdia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt Centrum excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy, ITMS: 26220120006, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

- ASSMANN, E., 1943: Untersuchungen über die Höhenkurven von Fichten Beständen. Allg. Forst- und Jagdztg., 119, p. 77–88, 105–123, 133–151.
- ASSMANN, E., FRANZ, F. 1963: Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. Institut für Ertragskunde der Forstlichen Forschungsanstalt, München, 104 s.
- BOTKIN, D.B., JANAK, J.F., WALLIS, J.R. 1972: Some ecological consequences of a computer model of forest growth. Journal of Ecology, 60, s. 849–872.
- BURGAN K. 1980: Allgemeine Gesetzmäßigkeiten der Höhenkurvenform und derer mathematische Formulierung. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, XXII, 189–203.
- COLBERT, K.A., LARSEN D.R., LOOTENS J.R. 2002: Height-Diameter Equations for Thirteen Midwestern Bottomland Hardwood Species. Northern Journal of Applied Forestry. 19(4): 171–176.
- EICHHORN, F. 1904: Bezirhungen zwischen Bestandshöhe und Bestandsmasse. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 80, p. 45–49.
- FABRIKA, M. 2005: Simulátor biodynamiky lesa SIBYLA. Koncepcia, konštrukcia a programové riešenie. Habilitačná práca. Technická univerzita vo Zvolene, 238 s.
- FANG, Z.X., BAILEY R.L. 1998: Height-diameter models for tropical forests on Hainan Island in southern China. For. Ecol. Manage. 110: 315–327.
- FERRAZ, J.B.S. 1985: Standortbedingungen, Bioelementversorgung und Wuchsleistung von Fichtenbeständen (*Picea abies* KARST.) des Südschwarzwaldes. Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen, 14, 225 pp.
- GEHRHARDT, E. 1921: Eine neue Kiefern-Ertragstafel. Allg. Forst. Jagdztg. 97, 145–156.
- GÓMORYOVÁ, E. 2004: Vplyv klimaticko-topografických faktorov na výšku smrekových porastov. Bioklimatologické pracovné dni 2004, Zmeny podnebia – Extrémy počasia – Organizmy a ekosystémy, Medzinárodná vedecká konferencia, 23.–26. august 2004, Viničky, Slovensko, 11p.
- HALAJ, J. 1978: Výškový rast a štruktúra porastov, Slovenská akadémia vied v Bratislave, 284 s.
- HALAJ, J., ŘEHÁK, J. 1979: Rastové tabuľky hlavných drevín ČSSR. Bratislava, Príroda, 352 s.
- HERZBERGER, E. 1996: Standortseinflüsse auf die Bonität von Fichtenbeständen in Österreich. Eine Analyse mittels linearer Regressionen. FBVA-Berichte, 93: 65–68.
- HUANG, S.M., TITUS S.J., WIENS D.P. 1992: Comparison of nonlinear height-diameter functions for major Alberta tree species. Can. J. For. Res. 22: 1297–1304.
- KAHN, M. 1994: Modellierung der Hohenentwicklung ausgewählter Baumarten in Abhängigkeit vom Standort. Forstliche Forschungsberichte, München, 141, 204 pp.
- KARLSSON, K. 2000: Height growth patterns of Scots pine and Norway spruce in the coastal areas of western Finland. Forest Ecology and Management, 135 (1–3): 205–216.
- KERSHAW J.A. JR., MORRISSEY R.C., JACOBS D.F., SEIFERT J.R., MCCARTER J.B. 2008: Dominant Height-based Height-diameter Equations for Trees in Southern Indiana. Proceedings 16th Central Hardwood Forest Conference, West Lafayette, IN, April 8–9, 2008, 341–355.
- KÖHLER, H. 1984: Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Standortfaktoren, Ernährungszustand und Wachstum von Fichten (*Picea abies* KARST.) der Herkunft Westerhof auf verschiedenen Standorten Niedersachsens. Dissertation, Göttingen, 250 pp.

- KORF, V., 1939: Příspěvek k matematické definici vzrůstového zákona hmot lesních porostů. Lesnická práce, XVIII: s. 339–379.
- KORSUŇ, F., 1935: Život normálního porostu ve vzorcích. Lesnická práce (XIV): s. 289–300.
- MERGANIČ, J., FABRIKA, M. 2009: Tvorba klimaticko-stanovištných strát pre účely tvorby modelu hustoty prirodzeného zmladenia. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, 51(3):113–124.
- MICHAJLOV, J., 1952: Mathematische Formulierung des Gesetzes für Wachstum und Zuwachs der Waldbäume und Bestände. Schweiz. Z. Forstw., 103, 9/10, p. 368–380.
- MOOSMAYER, H.U., SCHOEPPER, W. 1972: Beziehungen zwischen Standortsfaktoren und Wuchsleistung der Fichte. Allg. Forst- u. J.-Ztg., 143, 10: 203–215.
- NÄSLUND, M., 1936: Skogsförsöksanstaltens gallringsförsök i tallskog. Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt 29. 169 p.
- NEBE, W. 1968: Über Beziehungen zwischen Klima und Wachstum der Fichte (*Picea abies* L.) in ihrem europäischen Verbreitungsgebiet. Archiv für Forstwesen, 17: 1219–1238.
- PETERSON, H., 1955: Barrskogens volymproduktion. Die Massenproduktion des Nadelwaldes.. Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut, Stockholm, Band 45, I, p. 45.
- PRESSLER, M. 1870: Forstliche Ertrags- u. BonitirungsTafeln nach Cubicmeter pro Hectar. Baumgärtner'sche Buchhandlung, Leipzig.
- SANCHEZ, C.A.L., VARELA J.G., DORADO F.C., ALBORECA A.R., SOALLEIRO R.R., GONZALEZ J.G.A., RODRIGUEZ F.S. 2003: A height-diameter model for *Pinus radiata* D. Don in Galicia (Northwest Spain). Ann. For. Sci. 60: 237–245.
- SHUGART, H.H., WEST, D.C. 1977: Development of an Appalachian deciduous forest succession model and its application to assessment of the impact of the chestnut blight. Journ. Environ. Manag., Vol. 5, s. 161–179.
- SCHADAUER, K. 1999: Oberhöhenbonität und Standort der Fichte nach Daten der Österreichischen Forstinventur. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien, 171, 135 pp.
- SKOVSGAARD, J.P., VANCLAY, J.K. 2008: Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. Forestry, 81, 1, 13–31.
- SONMEZ, T. 2009: Generalized height-diameter models for *Picea orientalis* L. Journal of Environmental Biology, 30(5), 767–772.
- ŠMELKO, Š. 1981: Spojitý systém jednotných výškových kriviek rovnovekých smrekových porastov SSR. Acta Facultatis Forestalis Zvolen 23, 165–179.
- ŠMELKO, Š. 2000: Dendrometria. Technická univerzita Zvolen, 399 s.
- ŠMELKO, Š., MERGANIČ J., ŠEBEŇ V., RAŠI R., JANKOVIČ J. 2006: Národná inventarizácia a monitoring lesov Slovenskej republiky 2005–2006. Metodika terénneho zberu údajov (Pracovné postupy – 3. Doplnená verzia). Národné lesnícke centrum Zvolen, s. 129 s., ISBN: 80-88852-98-2.
- ŠMELKO, Š., WENK G., ANTANAITIS V. 1992: Rast, štruktúra a produkcia lesa. Príroda a.s. Bratislava, 342 s.
- TEMESGEN, H., GADOW K.V. 2004: Generalized Height-Diameter Models. Eur. J. For. Res., 123, 45–51.
- WIEDEMANN, E. 1951: Ertragskundliche und waldbauliche Grundlagen der Forstwirtschaft. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main.
- WOLF, J., 1957: Časové a bezčasové smerové pole vývoje. Sborník VŠZL Brno, řada C, č. 1., p. 1–10.
- XIANGDONG, L., CHANGHUI P., HAIYAN W., XIAOLU Z. 2009: Individual height-diameter models for young black spruce (*Picea mariana*) and jack pine (*Pinus banksiana*) plantations in New Brunswick, Canada. The Forestry Chronicle, 85(1): 43–56.
- YUANCAI, L., PARRESOL B.R. 2001: Remarks on Height-Diameter Modeling. USDA Forest Service, Southern Research Station, Research Note SRS-IO, 8 s.

Adresa autorov:

Doc. Ing. Ján Merganič, PhD.
Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie
Lesnícka fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
e-mail: merganic@vsld.tuzvo.sk

Doc. Ing. Marek Fabrika, PhD.
Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie
Lesnícka fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
e-mail: fabrika@vsld.tuzvo.sk

Dr. nat. techn. Ing. Katarína Merganičová
FORIM
Výskum, inventarizácia a monitoring lesných ekosystémov
Huta 14
962 34 Železná Breznica
www.forim.sk,
e-mail: k.merganicova@forim.sk

Submodel štádiovej výškovej krivky pre klimaticko-stanovištné stratá pre model prirodzeného zmladenia rastového simulátora SIBYLA

Abstrakt

Práca prezentuje metodiku tvorby priemerných štádiových výškových kriviek pre 45 druhov drevín na báze Wolfovej výškovej krivky. Podkladom boli údaje z databázy Národnej inventarizácie a monitoringu lesov SR (NIML SR), ktorá bola realizovaná v rokoch 2005–2006 ako výberová reprezentatívna metóda. Pri drevine *Fagus sylvatica* sa odvodili priemerné štádiové výškové krivky v rámci 14 klimaticko-stanovištných strat, ktoré sú vytvorené na podklade dvoch hlavných priamych ekologických veličín a to na priemernej teplote vzduchu počas vegetačného obdobia (apríl až september) a priemernom úhrne zrážok počas vegetačného obdobia (apríl až september) z podkladov rastrovo reprezentovaných modelov. Vzťah medzi parametrom a výškovej krivky a stanovištno-klimatickými veličinami má pri tejto drevine nelineárnu podobu a na globálnej úrovni je pomerne tesný. Parameter a použitej výškovej funkcie determinuje asymptotu výškovej krivky a je v úzkom prepojení na vplyv klimaticko-stanovištných činiteľov. S rastúcou teplotou jeho hodnota klesá po bod obratu pri teplote 15,67 °C, odkiaľ opäť stúpa. Implementáciou modelu výškovej krivky sledujeme zachovanie senzitivity stromového rastového simulátora SIBYLA na ekologické podmienky pri určovaní výšky nových stromov generovaných v rámci modelu prirodzeného zmladenia.

Kľúčové slová: nelineárna regresia, stratifikácia, rastový simulátor, SIBYLA, model prirodzeného zmladenia, štádiové výškové krivky porastu

VYUŽITIE METÓDY MATEMATICKÝCH MODELOV NA REGULÁCIU VEKOVEJ ŠTRUKTÚRY LESA

Anton Ž Í H L A V N Í K – Jozef D Ó C Z Y

Žihlavník, A., Dóczy, J.: Utilization of mathematic models method for age structure regulation of forest. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, 53(1): 169–184, 2011.

The article deals with logging regulation using the mathematical models with selected forest management units. Using specific criteria several groups of forest management units were chosen from 30 forest management units. To solve the problem of logging regulation, the first group of four forest management units was selected. The age structure of these units is characterized by the representation of different age levels. An assessment of irregular age structures of these units was done using the coefficients of variation and variability decrease indexes. The analysis of variability decrease indexes in individual units showed that it is possible to achieve a balanced age structure by the progressive age regulation. In the first reference unit the coefficient of variation of the initial age structure with $x\% p = 75.39\%$ decreased at the value of 38.79% in the second unit with $x\% p = 49.25\%$ to 18.26% . A similar process of coefficients of variation can be observed also in other units.

Keywords: logging regulation, age structure, logging index

1 PROBLEMATIKA CIEĽ PRÁCE

V priestorovej úprave lesa dochádza za posledné desaťročie k výrazným zmenám základných jednotiek pre ťažbovú úpravu lesa a to vplyvom obnovených vlastníckych a užívateľských vzťahov k lesu.

Aj legislatíva rieši túto problematiku tak, že do priestorovej úpravy lesa zavádza nové základné jednotky pre ťažbovú úpravu lesa, ktoré sú odlišné od doteraz používaných jednotiek (ŽÍHLAVNÍK 2008). V minulosti dlhodobo používanú hospodársku skupinu môžeme charakterizovať ako súbor porastov lesného hospodárskeho celku rovnakého hospodárskeho určenia, rovnakého hospodárskeho tvaru a hospodárskeho spôsobu a rovnakej rubnej doby.

Vzhľadom na ich veľkosť sa vyskytovali hospodárske skupiny s rôznym zastúpením vekových stupňov oproti normálnemu zastúpeniu. Hospodársky súbor, ktorý nahradil hospodársku skupinu môžeme definovať ako časť lesa s jednotnými prírodnými podmienkami, porastovými pomermi a rovnakým funkčným zameraním. Tiež veľkosť a zastúpenie vekových stupňov bolo veľmi rôznorodé. Aby sa zohľadnili už spomínané vlastnícke a užívateľské vzťahy k lesu, zavádza sa do priestorovej jednotky lesný užívateľský celok, ktorý môžeme definovať ako súbor lesných pozemkov vymedzený podľa užívateľov, resp.

vlastníkov týchto pozemkov. Pre zaradenie lesných pozemkov do tejto jednotky je rozhodujúce právo užívania týchto pozemkov na základe uplatnenia vlastníckych práv, správcovstva k lesným pozemkom vo vlastníctve štátu a prenájmu lesných pozemkov.

Nový lesný zákon č. 326/2005 Z. z. v znení neskorších predpisov a vyhláška č. 453/2006 Z. z. o hospodárskej úprave lesa a ochrane lesa zavádza novú jednotku do priestorovej úpravy lesov a to okrem lesnej oblasti aj lesné celky a vlastnícke celky.

Čiže ťažbová úprava lesa sa v súčasnosti rieši v odlišných základných jednotkách ako v minulosti, čo vyplýva z ich charakteristiky a spôsobu vzniku.

Ak chceme dlhodobo sledovať vplyv ťažbovej úpravy lesa na stav a vývoj lesa, je vhodné použiť pre výskumné účely jednotku, ktorá sa používa dlhšie obdobie ako jedno desaťročie.

V súčasnosti lesný zákon definuje lesné hospodárske celky ako jednotky, ktoré sa využívajú na účely sledovania stavu a vývoja lesov, súvislého lesníckeho mapovania a hospodárskej úpravy lesov. Preto sme použili k riešeniu tejto problematiky lesné hospodárske celky (LHC). Na základe vhodne stanovených kritérií a podmienok môžeme dosiahnuté výsledky aplikovať aj v lesných celkoch, ktorých v súčasnosti, keďže boli zavedené len od roku 2006, je pomerne málo a nie je ukončené hospodárenie v nich ani po jednom desaťročí.

V priebehu vývoja hospodárskej úpravy lesov vznikol celý rad metód ťažbovej úpravy lesa (GREGUŠ 1976, 2008; HERICH 1994; POZNAŇSKI 2001a, 2001 b, 2004; ŽÍHLAVNÍK, A. 2004, 2005, 2008, 2009; ŽÍHLAVNÍK, BAHÝE 2009).

Vzhľadom na nepravidelnosť zastúpenia vekových stupňov je potrebné počas prognózovania a regulácie vekovej štruktúry dodržiavať presnosť určenia výmer a jednoznačného stanovenia vlastníckych hraníc (ŽÍHLAVNÍK, Š. 2004a, 2004b).

Vytýčenie a presnosť hraníc jednotiek priestorového rozdelenia lesa veľmi úzko súvisí s racionalizáciou mapovacích prác. V súčasnosti sa už väčšina lesníckeho mapovania vykonáva fotogrametrickými metódami. Neznačená to však, že terestrické geodetické metódy budú úplne nahradené fotogrametrickým vyhodnotením leteckých meračských snímok (ŽÍHLAVNÍK, Š., TUNÁK 2010). Potrebné je preto pri novovytvorených jednotkách dodržať pri vytyčovaní ich hraníc predpísanú presnosť, aby nedochádzalo počas riešenia problematiky ťažbovej úpravy lesa k zmene výmer. Keďže lesné hospodárske plány (LHP) obsahujú podklady pre cieľavedomé vypracovanie obhospodarovania lesa, je potrebné pre zladenie záujmov vlastníka s celospoločenskými záujmami zvýšenie náročnosti pri vypracovaní LHP. I napriek tomu, že od 1. 5. 2010 platí zákon č. 117/2010, ktorý zavádza miesto „lesného hospodárskeho plánu“ nový výraz a to „program starostlivosti o lesy“, používame v práci označenie LHP, lebo podkladový materiál sa čerpal z obdobia, kedy tento výraz platil.

Cieľom práce je poukázať na možnosť využitia metódy matematických modelov pri regulácii vekovej štruktúry LHC. Práca je pokračovaním dlhodobého riešenia problematiky ťažbovej úpravy lesa v rôznych jednotkách priestorového rozdelenia lesa.

Uvedená práca je výsledkom riešenia v rámci projektu „Centrum excelentnosti“: „Adaptívne lesné ekosystémy“, aktivita – Ekologicky vhodné využívanie lesných ekosystémov (z. č. 262201200006).

2 PODKLADOVÝ MATERIÁL A METODICKÝ POSTUP PRÁČ

Pre overenie správnosti riešenej problematiky sme použili údaje o výmerách a zásobách hospodárskych lesov z lesných hospodárskych plánov (LHP) zo všetkých lesných hospodárskych celkov (LHC), ktoré boli obnovované na Slovensku v roku 1988 pre LHP s platnosťou na roky 1989–1998. Spracovávaný súbor tak celkovo predstavuje 30 LHC. Dôvodom pre takýto postup je predovšetkým možnosť využitia praktických výsledkov z týchto LHC aj v nasledujúcich dvoch desaťročiach, ktoré tieto LHC už majú za sebou a ich využitie pre porovnanie zmien v zastúpení vekových stupňov podľa LHP platných na roky 1999–2008 a 2009–2018.

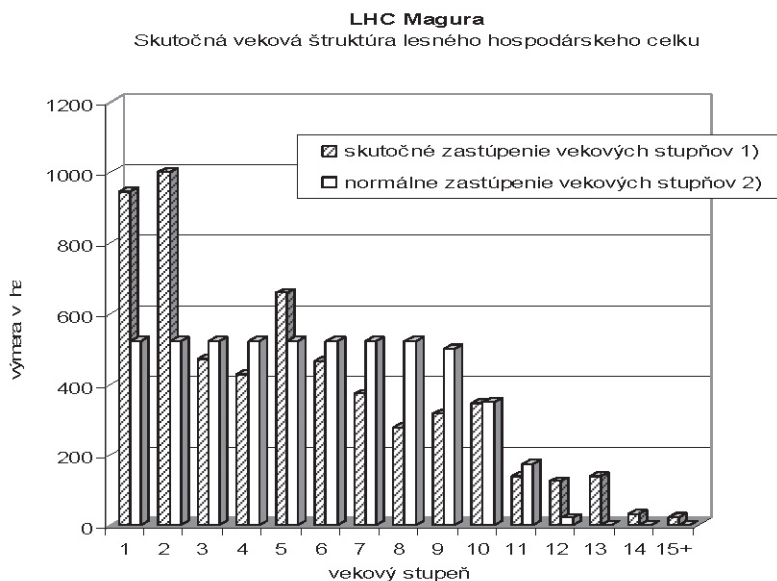
Zo súboru tridsiatich LHC boli vybraté 4 LHC, ktoré majú značne rozdielny charakter priebehu zastúpenia vekových stupňov, aby bolo možné čo najobjektívnejšie zhodnotiť získané výsledky. Ide o LHC Magura, Modra, Píla a Michalová.

Výber sa vykonal na základe určitých kritérií, zameraných na rovnomernosť zastúpenia vekových stupňov. Vytvorilo sa viac skupín LHC s rozdielnym zastúpením vekových stupňov, z ktorých sme vybrali prvú skupinu. V ďalších skupinách sa rieši problematika ťažbovej úpravy lesa s určitou zmenou a úpravou metódy matematických modelov s cieľom zabezpečiť čo najvhodnejšiu reguláciu vekových štruktúr LHC. Pre veľký rozsah uvádzame dosiahnuté výsledky v prvej skupine sledovaných štyroch LHC.

K zhodnoteniu zastúpenia vekových stupňov sa použilo vypočítané normálne zastúpenie vekových stupňov podľa plochových percent pre určenie normálnych vekových stupňov pre rubnú dobu 100 rokov a obnovnú dobu 30 rokov. Na obrázkoch 1–4 je znázornené porovnanie skutočnej a normálnej vekovej štruktúry vybratých štyroch LHC.

LHC Magura

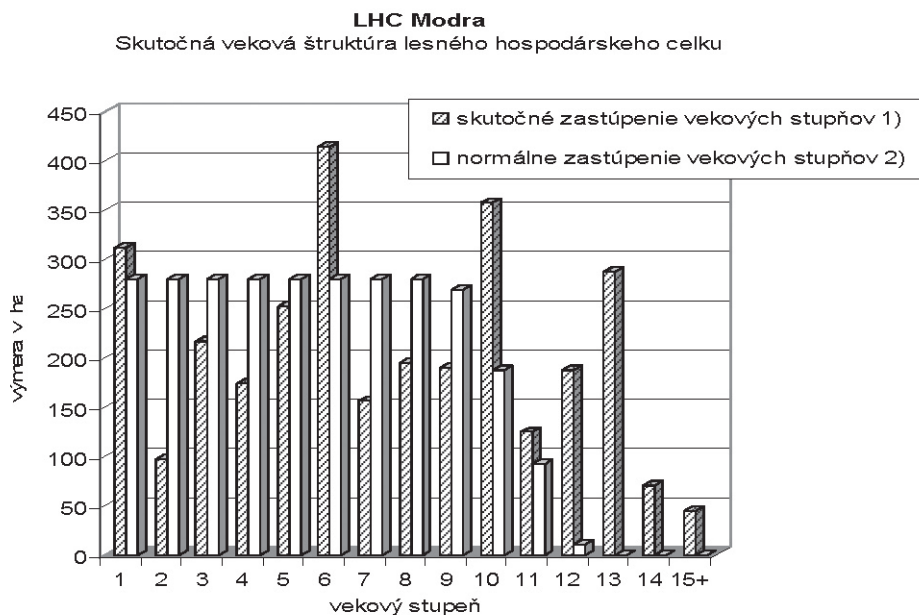
Výmera lesných porastov LHC Magura je 5 735,60 ha. Veková štruktúra je nerovnomerná, s výrazným zastúpením najmä prvých dvoch vekových stupňov a 5. vekového stupňa. V porovnaní s normálnym zastúpením vekových stupňov sú v nadbytku i vekové stupne od 12. vekového stupňa vyššie. Len 10. vekový stupeň má výmeru prakticky rovnakú ako normálny vekový stupeň, ostatné vekové stupne majú podnormálnu výmeru.



Obr. 1 Porovnanie skutočnej a normálnej vekovej štruktúry na LHC Magura (stav k 1. 1. 1989)
Fig1. Comparison of actual and normal age structure at forest management unit Magura
(as of 1. 1. 1989)

LHC Modra

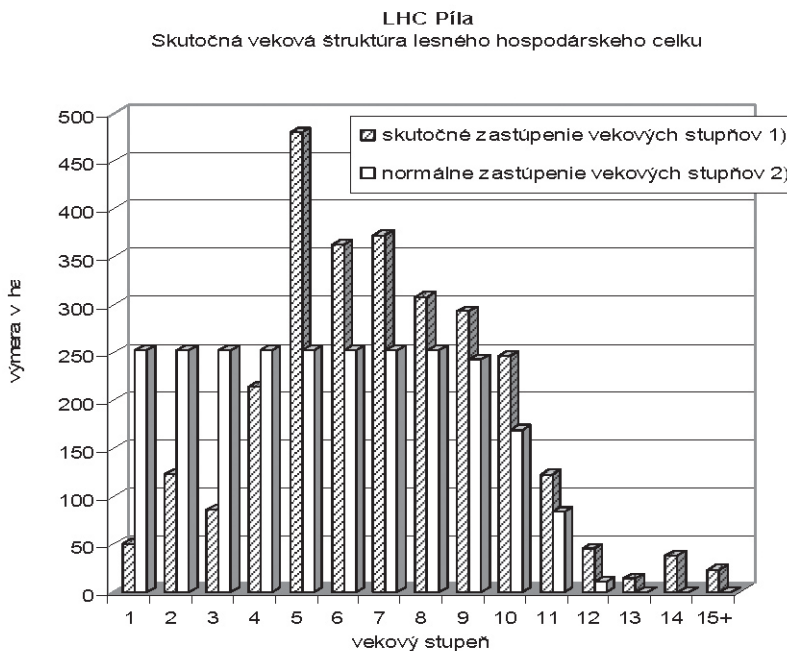
Výmera lesných porastov LHC Modra je 3 075,98 ha. I na tomto LHC je veková štruktúra nerovnomerná, s výrazným zastúpením 6., 10., 12. až 15. vekového stupňa. Menej výrazne sú v nadbytku 1. a 11. vekový stupeň. Zostávajúce vekové stupne sú nedostatočne zastúpené. Výrazný nedostatok výmery, ktorá nedosahuje ani polovicu výmery normálneho zastúpenia má 2. vekový stupeň.



Obr. 2 Porovnanie skutočnej a normálnej vekovej štruktúry na LHC Modra (stav k 1. 1. 1989)
Fig. 2. Comparison of actual and normal age structure at forest management unit Modra
(as of 1. 1. 1989)

LHC Píla

Výmera lesných porastov LHC Píla je 2 777,61 ha. Veková štruktúra tohto LHC je nerovnomerná, s nadbytkom výmery v 5. až 10. vekovom stupni. Oproti normálnemu zastúpeniu majú prebytok výmery aj vekové stupne 11. až 15. Vekové stupne 1. až 4. majú nedostatočné zastúpenie výmery.



Obr. 3 Porovnanie skutočnej a normálnej vekovej štruktúry na LHC Píla (stav k 1. 1. 1989)
Fig. 3. Comparison of actual and normal age structure at forest management unit Píla
(as of 1. 1. 1989)

LHC Michalová

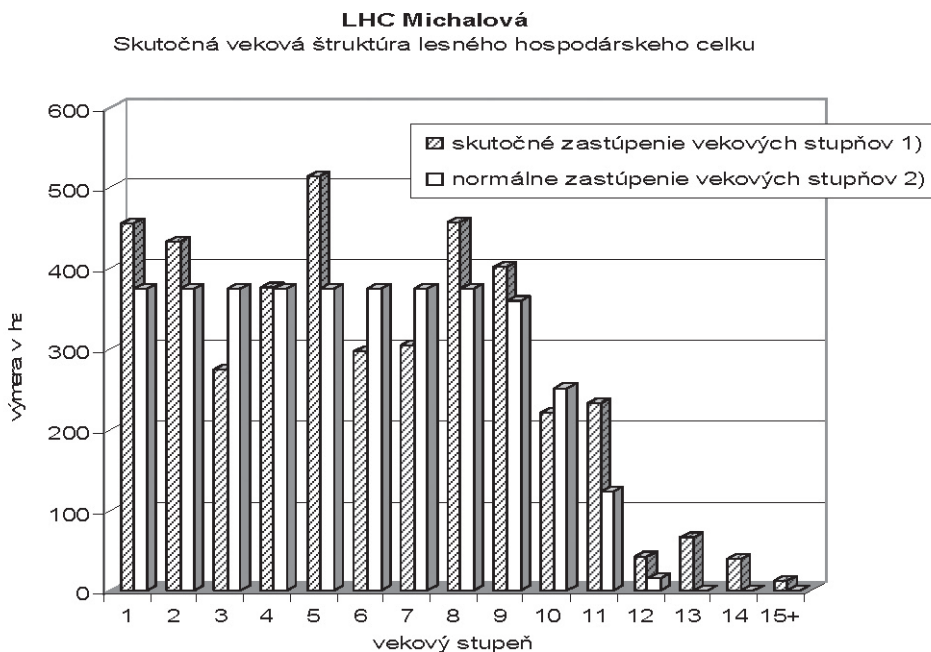
Výmera lesných porastov LHC Michalová je 4 126,88 ha. Veková štruktúra tohto LHC je nerovnomerná, avšak v porovnaní s predchádzajúcimi LHC najviac vyrovnaná, s osciláciou okolo normálneho zastúpenia príslušných vekových stupňov. V nadbytku sú vekové stupne 1., 2., 5., 8., 9., 11. a vekové stupne 12. až 15. Vekové stupne 3., 6., 7. a 10. majú nedostatočné zastúpenie výmery. Takmer identická s výmerou normálneho vekového stupňa je výmera 4. vekového stupňa.

Po zhodnotení a rozbere jednotlivých LHC sme pristúpili k samotnej regulácii vekovej štruktúry použitím metodiky výpočtu ťažbových percent do výšky 1,3 násobku normálnej výmery vekového stupňa.

Po ukončení výpočtu v prvom desaťročí sa pokračovalo vo výpočte podobným spôsobom modelovo až do 12 desaťročia.

Vyjadrenie variability vekovej štruktúry sa hodnotilo použitím vypočítaného variačného koeficienta. Tento sa použil ako veličina vyjadrujúca približenie sa skutočného stavu vekovej štruktúry k vekovej štruktúre normálnej. Pritom platí, že čím je hodnota variačného koeficienta nižšia, tým viac sa približuje skutočná veková štruktúra súboru porastov

k normálnemu stavu. Ďalej sme hodnotu variačného koeficientu pôvodného stavu vekovej štruktúry porovnali s variačným koeficientom vekových štruktúr v desaťročiach a ich hodnoty sme vyhodnotili pomocou indexu poklesu variability.



¹⁾real representation of age classes, ²⁾ normal representation of age classes

Obr. 4 Porovnanie skutočnej a normálnej vekovej štruktúry na LHC Michalová (stav k 1. 1. 1989)

Fig. 4. Comparison of actual and normal age structure at forest management unit Michalova (as of 1. 1. 1989)

Vzhľadom k tomu, že sa jedná o určité modelové riešenie, kde sme rubnú dobu stanovili na 100 rokov a obnovnú dobu na 30 rokov, pričom reálna rubná a obnovná doba nie je jednotná pre všetky prevádzkové súbory na daných LHC, získané indexy variability nevyjadrujú vždy možnosť z hľadiska dosiahnutia pravidelnej štruktúry.

Výpočet plochového ťažbového ukazovateľa sa vykonalo určitou úpravou metódy matematických modelov (ŽIHĽAVNÍK, A. 2000, 2004, 2005; ŽIHĽAVNÍK, A., BAHYE 2009).

Metodika výpočtu spočíva v uplatnení kombinovaných ťažbových percent a 1,3-násobku normálnej výmery vekového stupňa. Vytvorili sa 3 skupiny vekových stupňov a to:

- vekové stupne, ktoré sa nachádzajú pred prvým vekovým stupňom, ktorý ide do obnovy,
- vekové stupne, ktoré sa nachádzajú už v obnove v rozpätí „ $u \pm \frac{1}{2}$ obnovnej doby“,
- vekové stupne staršie ako „ $u +$ obnovná doba“.

Pri výpočte sa použila rubná doba $u = 100$ rokov a obnovná doba 30 rokov.

Najskôr sme vypočítali podľa navrhnutých plošných ťažbových percent výmeru vekových stupňov, ktorá z každého vekového stupňa pôjde do obnovy. V prípade ak výmera vekových stupňov v obnove prevyšovala 30 % normálnej výmery vekového stupňa, sme výmeru vybratých vekových stupňov redukovali tak, aby výmera vekových stupňov v obnove bola spolu najviac vo výmere 1,3-násobku normálnej výmery vekového stupňa. Tým sme sledovali účel, aby sa ťažbou v jednotlivých desaťročiach, aj pri vysokom zastúpení výmer vekových stupňoch v obnove, regulovala celková výmera plochy ťažieb a tým, aby sa postupne prechádzalo na vekovú štruktúru LHC, v ktorom sa dosiahne postupné vyrovnanie nepravidelného zastúpenia vekovej štruktúry, s posunom k rovnomernému zastúpeniu vekových stupňov.

Zistil sa celkový rozdiel (CRĤ) medzi súčtom už vypočítaných výmer ťažieb jednotlivých vekových stupňoch $P_{n-3,i} + \dots + P_{n+5,i}$ a 1,3 násobkom normálnej výmery vekového stupňa pre jedno desaťročie A_n podľa vzťahu:

$$CR\check{T} = 1,3 A_n - \Sigma (\check{T}p_{n-3,i} + \check{T}p_{n-2,i} + \dots + \check{T}p_{n+5,i})$$

kde: CRĤ – celkový rozdiel medzi súčtom ťažieb vekových stupňov v rozpätí $P_{n-3,i} + \dots + P_{n+5,i}$ a 1,3-násobkom normálnej výmery vekového stupňa pre jedno desaťročie,

A_n – normálna výmera vekového stupňa pre jedno desaťročie,

$\check{T}p_{n,i}$ – výmera ťažby v n-tom (poslednom) vekovom stupni v i-tom desaťročí.

Z celkového rozdielu medzi súčtom vypočítaných ťažieb na základe ťažbového percenta a výmer prvých troch vekových stupňov v obnove a prvých troch vekových stupňov v skupine c sa vypočítal redukčný koeficient, ktorým sa potom upravila výmera ťažby vypočítaná pomocou ťažbových percent pre vekové stupne $P_{n+2,i}$, $P_{n+1,i}$ a $P_{n,i}$. Použil sa nasledovný vzťah:

$$Kr = [CR\check{T} - (\check{T}p_{n-3,i\%} + \check{T}p_{n+1,i\%} + \check{T}p_{n+5,i\%})] - 1,3 A_n / \Sigma(\check{T}p_{n-2,i\%} + \check{T}p_{n-1,i\%} + \check{T}p_{n,i\%})$$

kde: Kr – redukčný koeficient ťažby pre prepočet výšky ťažby vypočítanej prvé tri vekové stupne v obnove (okrem posledného vekového stupňa),

CRĤ – celkový rozdiel výmery ťažieb medzi súčtom výmer ťažieb vekových stupňov v rozpätí $P_{n-3,i} + \dots + P_{n+1,i} + P_{n+5,i}$ a 1,3 násobkom normálnej výmery vekového stupňa pre jedno desaťročie,

$\check{T}p_{n,i\%}$ – výmera ťažby v n-tom vekovom stupni v i-tom desaťročí, vypočítaná na základe ťažbového percenta.

Výmera ťažby pre vekové stupne v obnove $P_{n-2,i}$, $P_{n-1,i}$ a $P_{n,i}$ sa vypočítala zo vzťahu

$$\check{T}p_{n-2,i} = Kr \cdot \check{T}p_{n-2,i\%}$$

$$\check{T}p_{n-1,i} = Kr \cdot \check{T}p_{n-1,i\%}$$

$$\check{T}p_{n,i} = Kr \cdot \check{T}p_{n,i\%}$$

pričom platí, že $\check{T}p_{n+1,i} = \check{T}p_{n+1,i\%} = P_{n+1,i}$

kde: $\check{P}_{n,i}$ – výmera ťažby v príslušnom n-tom vekovom stupni v i-tom desaťročí,
 Kr – redukčný koeficient ťažby pre vekové stupne v obnove,
 $\check{P}_{n,i\%}$ – výmera ťažby v príslušnom n-tom vekovom stupni v i-tom desaťročí vypočítaná na základe ťažbového percenta.

Ak hodnota $Kr > 1,00$ výmera ťažby pre vekové stupne v obnove $P_{n-2,i}$, $P_{n-1,i}$ a $P_{n,i}$ sa potom rovná výmere príslušného vekového stupňa vypočítaného pomocou ťažbového percenta, t.j.:

$$\check{P}_{n-2,i} = \check{P}_{n-2,i\%}$$

$$\check{P}_{n-1,i} = \check{P}_{n-1,i\%}$$

$$\check{P}_{n,i} = \check{P}_{n,i\%}$$

Vzhľadom na dlhodobosť produkčného cyklu v lese, úpravu vekovej štruktúry sme modelovo odskúšali na obdobie celej rubnej doby.

3 DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY A DISKUSIA

Navrhovanú metódu sme v tejto práci modelovo vyhodnotili na štyroch LHC podľa skutočnej vekovej štruktúry z roku 1988.

Veková štruktúra LHC Magura po jednotlivých desaťročiach je uvedená v tabuľke 1. Nerovnomernosť zastúpenia vekových stupňov podľa jednotlivých desaťročí sme vyhodnotili pomocou variačných koeficientov ($s_x\%$). Zo zhodnotenia variačných koeficientov vyplynulo, že ich hodnoty v prvých troch desaťročiach sú vyrovnané, výraznejšie klesá hodnota priemerného variačného koeficientu v 4. desaťročí a následne v ďalších desaťročiach, a to až do konca 10. desaťročia, v ktorom dosahuje 30 % hodnoty variačného koeficienta zo začiatku sledovaného obdobia (29,26 %). Táto skutočnosť vychádza z jednej zo základných podmienok overovaného postupu výpočtu, aby maximálna hodnota výmery na ťažbu v ktoromkoľvek desaťročí sa odchyľovala od normálnej výmery vekového stupňa najviac o 30 %. V 11. a 12. desaťročí sledované hodnoty priemerných variačných koeficientov znovu stúpajú a na konci sledovaného obdobia priemerný variačný koeficient pôvodnej vekovej štruktúry $s_x\%p = 75,39\%$ so smerodajnou odchýlkou $s_x = 288,26\%$ sa v dvanástom desaťročí znížil na hodnotu $s_x\%p = 38,79\%$ so smerodajnou odchýlkou $s_x = 202,28\%$.

Dôvod, pre ktorý sa v prvých štyroch desaťročiach podstatne nezmenila hodnota variačného koeficienta vypočítaného zo zastúpenia jednotlivých vekových stupňov, ako i stúpanie hodnoty priemerných variačných koeficientov v 11. a 12. desaťročí je v tom, že výpočet vychádzal z reálnych údajov zastúpenia vekových stupňov pre tento LHC v ktorom hospodárenie vychádza z inej než nami priemerne stanovenej modelovej rubnej a obnovnej doby, čím dochádza k tomu, že v skutočnej vekovej štruktúre sa premieňa zastúpenie vekových stupňov starších, ako je vek, v ktorom by mala byť obnova už ukončená (115 rokov, t.j. 12. a starších vekových stupňov). Naopak, po doťažení vekových stupňov nad 12. vekový stupeň, dochádza prakticky k prejavu sa použiteľnosti navrhovaného ťažbového ukazovateľa. Tento problém použitej metódy je riešený tak, že do skupiny vekových stupňov v ktorých sa vykonáva redukcia hodnoty vypočítanej pomocou ťažbových percent

sa zahrnú aj vekové stupne staršie ako je vek ukončenia obnovy. Takýto výrazný prípad zastúpenia starších vekových stupňov by nemal nastať tam, kde obhospodarovanie lesov je vykonávané systematicky s ohľadom na rubnú a obnovnú dobu. Tieto dôvody, pre ktoré sa v prvých štyroch desaťročiach podstatne nezmenila hodnota variačného koeficienta vypočítaného zo zastúpenia jednotlivých vekových stupňov sú prakticky totožné na všetkých sledovaných LHC.

Tabuľka 1 Veková štruktúra lesného hospodárskeho celku Magura (LHC 9)

Table 1 Age structure of the forest management unit Magura (LHC 9)

Vek. st. ¹⁾	Desaťročie ²⁾											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Výmera v ha ³⁾											
1	945,82	709,06	467,97	432,65	433,29	485,04	564,59	612,94	699,36	797,91	773,37	621,37
2	1000,14	945,82	709,06	467,97	432,65	433,29	485,04	564,59	612,94	699,36	797,91	773,37
3	471,45	1000,14	945,82	709,06	467,97	432,65	433,29	485,04	564,59	612,94	699,36	797,91
4	427,14	471,45	1000,14	945,82	709,06	467,97	432,65	433,29	485,04	564,59	612,94	699,36
5	658,17	427,14	471,45	1000,14	945,82	709,06	467,97	432,65	433,29	485,04	564,59	612,94
6	465,18	658,17	427,14	471,45	1000,14	945,82	709,06	467,97	432,65	433,29	485,04	564,59
7	372,52	465,18	658,17	427,14	471,45	1000,14	945,82	709,06	467,97	432,65	433,29	485,04
8	276,56	372,52	465,18	625,26	427,14	471,45	950,13	898,53	673,61	467,97	432,65	433,29
9	316,09	229,54	309,19	386,10	518,97	354,53	391,30	788,61	746,74	559,92	389,25	359,10
10	345,98	211,78	153,80	207,16	258,69	347,71	237,53	262,17	529,33	501,14	375,98	260,80
11	139,45	117,63	72,01	52,29	70,43	87,95	118,22	80,76	90,10	180,80	171,22	127,83
12	124,36											
13	138,17	42,28										
14	31,59	69,09	21,14									
15+	22,98	15,80	34,54	10,57								
$\bar{x}$	382,37	408,56	441,20	477,97	521,42	521,42	521,42	521,42	521,42	521,42	521,42	521,42
s_x	288,26	311,57	312,12	296,21	260,56	254,55	248,80	221,62	171,03	152,58	180,92	202,28
$s_x \% p$	75,39	76,26	70,74	61,97	49,97	48,82	47,72	42,50	32,80	29,26	34,70	38,79

¹⁾age level, ²⁾decade, ³⁾area in ha

Veková štruktúra LHC Modra po jednotlivých desaťročiach je uvedená v tabuľke 2. Zo zhodnotenia variačných koeficientov ($s_x \%$) vyplynulo, že ich hodnoty prvé tri desaťročia stúpajú, v nasledujúcich desaťročiach klesajú pomalšie až po 10. desaťročie. Až v 11. a 12. desaťročí sledované hodnoty priemerných variačných koeficientov výrazne klesajú. Na konci sledovaného obdobia priemerný variačný koeficient pôvodnej vekovej štruktúry $s_x \% p = 49,25 \%$ so smerodajnou odchýlkou $s_x = 100,99 \%$ sa v dvanástom desaťročí znížil na hodnotu $s_x \% p = 18,26 \%$ so smerodajnou odchýlkou $s_x = 51,05 \%$.

Tabuľka 2 Veková štruktúra lesného hospodárskeho celku Modra (LHC 13)

Table 2 Age structure of the forest management unit Modra (LHC 13)

Vek. st. ¹⁾	Desaťročie ²⁾											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Výmera v ha ³⁾											
1	311,61	710,67	502,14	339,81	266,47	272,94	251,02	202,78	224,90	297,66	363,52	363,52
2	97,32	311,61	710,67	502,14	339,81	266,47	272,94	251,02	202,78	224,90	297,66	363,52
3	216,72	97,32	311,61	710,67	502,14	339,81	266,47	272,94	251,02	202,78	224,90	297,66
4	173,69	216,72	97,32	311,61	710,67	502,14	339,81	266,47	272,94	251,02	202,78	224,90
5	251,48	173,69	216,72	97,32	311,61	710,67	502,14	339,81	266,47	272,94	251,02	202,78
6	413,66	251,48	173,69	216,72	97,32	311,61	710,67	502,14	339,81	266,47	272,94	251,02
7	156,19	413,66	251,48	173,69	216,72	97,32	311,61	710,67	502,14	339,81	266,47	272,94
8	194,92	156,19	392,98	251,48	173,69	216,72	97,32	296,03	675,13	477,03	322,82	266,47
9	189,35	171,02	132,99	326,17	208,73	144,16	179,88	80,78	245,70	560,36	406,01	287,10
10	357,18	144,28	121,71	89,11	218,53	139,85	96,59	120,52	54,12	164,62	398,41	318,81
11	124,52	187,15	61,09	41,38	30,30	74,30	47,55	32,84	40,98	18,40	69,47	227,27
12	186,89											
13	287,24	63,54										
14	70,07	143,62	31,77									
15+	45,14	35,04	71,81	15,89								
x	205,07	217,21	236,61	256,33	279,63	279,63	279,63	279,63	279,63	279,63	279,63	279,63
s_x	100,99	165,33	190,78	193,10	180,77	180,26	183,78	183,87	172,80	139,20	92,15	51,05
$s_x\%$	49,25	76,11	80,63	75,33	64,65	64,46	65,72	65,75	61,79	49,78	32,96	18,26

¹⁾age level, ²⁾decade, ³⁾area in ha

Veková štruktúra LHC Píla po jednotlivých desaťročiach je uvedená v tabuľke 3. Zo zhodnotenia variačných koeficientov ($s_x\%$) vyplynulo, že ich hodnoty od druhého desaťročia klesajú až po 7 desaťročie, v nasledujúcich desaťročiach klesajú pomalšie až po 10. desaťročie. Až v 11. a 12. desaťročí sledované hodnoty priemerných variačných koeficientov výrazne klesajú. Na konci sledovaného obdobia priemerný variačný koeficient pôvodnej vekovej štruktúry $s_x\%p = 78,55\%$ so smerodajnou odchýlkou $s_x = 145,45\%$ sa v dvanástom desaťročí znížil na hodnotu $s_x\%p = 31,36\%$ so smerodajnou odchýlkou $s_x = 79,19\%$.

Tabuľka 3 Veková štruktúra lesného hospodárskeho celku Píla (LHC 19)

Table 3 Age structure of the forest management unit Píla (LHC 19)

Vek. st. ¹⁾	Desaťročie ²⁾											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Výmera v ha ³⁾											
1	50,54	407,00	358,39	335,56	332,08	328,26	328,26	328,26	238,03	171,56	225,21	315,52
2	123,04	50,54	407,00	358,39	335,56	332,08	328,26	328,26	328,26	238,03	171,56	225,21
3	85,55	123,04	50,54	407,00	358,39	335,56	332,08	328,26	328,26	328,26	238,03	171,56
4	214,00	85,55	123,04	50,54	407,00	358,39	335,56	332,08	328,26	328,26	328,26	238,03
5	479,50	214,00	85,55	123,04	50,54	407,00	358,39	335,56	332,08	328,26	328,26	328,26
6	362,63	479,50	214,00	85,55	123,04	50,54	407,00	358,39	335,56	332,08	328,26	328,26
7	372,79	362,63	479,50	214,00	85,55	123,04	50,54	407,00	358,39	335,56	332,08	328,26
8	308,11	354,15	344,50	455,53	214,00	85,55	123,04	50,54	386,65	340,47	318,78	315,47
9	292,70	276,64	322,42	316,45	418,64	199,25	79,50	114,55	41,95	320,92	282,59	264,59
10	246,34	234,66	228,52	271,46	266,70	362,61	171,90	68,85	76,75	28,11	215,02	189,33
11	122,43	148,65	153,03	156,28	186,11	195,32	263,07	125,85	23,41	26,09	9,56	73,11
12	44,88											
13	13,94	15,26										
14	38,02	6,97	7,63									
15+	23,14	19,01	3,49	3,81								
x	185,17	197,04	213,66	231,47	252,51	252,51	252,51	252,51	252,51	252,51	252,51	252,51
s _x	145,45	152,73	151,83	141,52	123,37	119,74	118,28	126,17	130,58	117,26	93,80	79,19
s _x %	78,55	77,51	71,06	61,14	48,86	47,42	46,84	49,97	51,71	46,44	37,15	31,36

¹⁾age level, ²⁾decade, ³⁾area in ha

Veková štruktúra LHC Michalová po jednotlivých desaťročiach je uvedená v tabuľke 4. Zo zhodnotenia variačných koeficientov ($s_x\%$) vyplynulo, že ich hodnoty od druhého desaťročia klesajú až po koniec sledovaného obdobia. Na konci sledovaného obdobia priemerný variačný koeficient pôvodnej vekovej štruktúry $s_x\%p = 59,55\%$ so smerodajnou odchýlkou $s_x = 163,84\%$ sa v dvanástom desaťročí znížil na hodnotu $s_x\%p = 25,75\%$ so smerodajnou odchýlkou $s_x = 96,60\%$.

Tabuľka 4 Veková štruktúra lesného hospodárskeho celku Michalová (LHC 11)

Table 4 Age structure of the forest management unit Michalova (LHC 11)

Vek. st. ¹⁾	Desaťročie ²⁾											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Výmera v ha ³⁾											
1	454,97	580,46	531,35	488,25	368,59	357,03	382,52	379,61	397,22	456,13	487,72	487,72
2	433,90	454,97	580,46	531,35	488,25	368,59	357,03	382,52	379,61	397,22	456,13	487,72
3	274,76	433,90	454,97	580,46	531,35	488,25	368,59	357,03	382,52	379,61	397,22	456,13
4	376,35	274,76	433,90	454,97	580,46	531,35	488,25	368,59	357,03	382,52	379,61	397,22
5	514,74	376,35	274,76	433,90	454,97	580,46	531,35	488,25	368,59	357,03	382,52	379,61
6	296,48	514,74	376,35	274,76	433,90	454,97	580,46	531,35	488,25	368,59	357,03	382,52
7	304,20	296,48	514,74	376,35	274,76	433,90	454,97	580,46	531,35	488,25	368,59	357,03
8	456,54	288,99	281,66	489,00	376,35	274,76	433,90	454,97	551,44	504,78	463,84	368,59
9	401,29	404,24	244,69	233,77	405,87	312,37	228,05	360,14	377,63	457,69	423,77	391,33
10	220,87	312,04	283,96	163,94	156,63	271,93	209,29	152,79	241,29	253,01	315,10	295,16
11	232,72	122,63	126,35	96,55	55,74	53,25	92,46	71,16	51,95	82,04	95,35	123,85
12	41,94											
13	66,24	14,26										
14	39,88	33,12	7,13									
15+	12,00	19,94	16,56	3,56								
$\bar{x}$	275,13	293,35	317,45	343,91	375,17	375,17	375,17	375,17	375,17	375,17	375,17	375,17
s_x	163,84	178,63	180,31	178,14	150,76	140,72	140,99	144,05	131,97	114,71	101,03	96,60
$s_x \%$	59,55	60,89	56,80	51,80	40,18	37,51	37,58	38,39	35,18	30,57	26,93	25,75

¹⁾age level, ²⁾decade, ³⁾area in ha

Zo zhodnotenia skutočných vekových štruktúr LHC vyplynulo, že hodnoty variačných koeficientov sa v priebehu jednotlivých desaťročí menia vzhľadom na zastúpenie jednotlivých vekových stupňov.

Rozdiely medzi jednotlivými desaťročiami sa vyskytujú v tých LHC, ktoré majú vekové stupne extrémne zastúpené. Uvedený postup regulácie zabezpečuje reguláciu vekovej štruktúry a to postupným odstránením nepravidelností vekovej štruktúry. V porovnaní s niektorými prácami (BAHÝĽ 2008, POZNAŇSKI 2001, 2004; ŽÍHLAVNÍK, A. 2004, 2009; BAHÝĽ, ŽÍHLAVNÍK 2008). Je možné potvrdiť, že aj táto úprava metódy vedie k zdokonaleniu metódy matematických modelov a dáva možnosť regulácie vekovej štruktúry lesa, ktorá je v súčasnosti veľmi potrebná k zabezpečeniu ekologickej stability.

Z vykonaného rozboru indexov poklesu variability v jednotlivých LHC vyplynulo, že postupnou reguláciou vekovej štruktúry je možné aj za takýchto skutočných nepriaznivých podmienok vo väzbe na pravidelnosť zastúpenia vekových stupňov dosiahnuť vyrovnanosť vekovej štruktúry. Ako príklad sú v tabuľke 5 uvedené variačné koeficienty ($s_x \%$) a indexy poklesu variability (i) vekových štruktúr v jednotlivých desaťročiach pre LHC Magura. Hodnota indexov poklesu variability postupne stúpa od druhého až po desiate desaťročie, avšak aj v 11. desaťročí dosahuje hodnotu nad 2,0 a ani v 12. desaťročí neklesá pod hodnotu dosiahnutú pred 9. desaťročím, v ktorom hodnota indexu prešla nad

2,0. Pritom ide o LHC s extrémnym zastúpením 1., 2., 5. a 12. vekového stupňa a vekových stupňov starších.

Podobné zhodnotenie indexov poklesu variability sa vykonalo aj v ďalších sledovaných LHC.

Tabuľka 5 Variačné koeficienty ($s_x\%$) a indexy poklesu variability (i) vekových štruktúr v desaťročiach LHC Magura (LHC 9)

Table 5 Coefficients of variation ($s_x\%$) and variability indices decline (i) age structures in decades LHC Magura (LHC 9)

	Desaťročie ⁴⁾											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	$s_x\%od^{2)}$											
$s_x\%p^{1)}$	75,39	76,26	70,74	61,97	49,97	48,82	47,72	42,50	32,80	29,26	34,70	38,79
$i^{3)}$		0,99	1,07	1,22	1,51	1,54	1,58	1,77	2,30	2,58	2,17	1,94

¹⁾coefficients of variation, ²⁾coefficients of variation, ³⁾variability indices decline, ⁴⁾decade

4 ZÁVER

V práci je riešená problematika ťažbovej úpravy lesa použitím metódy matematických modelov vo vybratých lesných hospodárskych celkoch. Z celkového počtu 30 lesných hospodárskych celkov bolo vytvorených viac skupín na základe stanovených kritérií. Pre riešenie problematiky ťažbovej úpravy lesa bola vybratá prvá skupina so štyrmi lesnými hospodárskymi celkami. Veková štruktúra týchto celkov je charakteristická rozdielnym zastúpením vekových stupňov. Vykonalo sa zhodnotenie nepravidelnosti vekových štruktúr týchto celkov použitím variačných koeficientov a indexov poklesu variability. Z vykonaného rozboru indexov poklesu variability v jednotlivých celkoch vyplynulo, že postupnou reguláciou vekovej štruktúry je možné dosiahnuť vyrovnanú vekovú štruktúru. V prvom sledovanom celku sa variačný koeficient pôvodnej vekovej štruktúry $s_x\%p = 75,39\%$ znížil na hodnotu $38,79\%$, v druhom celku $s_x\%p = 49,25\%$ na hodnotu $18,26\%$. Podobný priebeh variačných koeficientov možno pozorovať aj v ostatných sledovaných celkoch.

Podakovanie

Táto štúdia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt Centrum excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy, ITMS: 26220120006, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

- BAHÝL, J., 2008: Ťažbová úprava vo väzbe na reguláciu vekovej štruktúry lesa. Dizertačná práca, TU Zvolen, 117 s.
- GREGUŠ, C., 1976: Hospodárska úprava maloplošného rúbaňového lesa. Bratislava, 304 s.
- GREGUŠ, C., 2008: Komplexná ťažbová úprava v dlhodobom rozvoji lesného hospodárstva na Slovensku. NLC Zvolen, 134 s.
- HERICH, I., 1994: Model regulácie obnovnej ťažby – uplatnenie princípu ťažbovej vyrovnanosti. Lesnícky časopis, 40, č. 5, s. 317–333.
- POZNAŇSKI, R., 2004a: Nowe metody regulacji w urządzaniu lasu. Katedra Urządzania Lasu Akademii Rolniczej, Kraków, 195 s.
- POZNAŇSKI, R., 2001a: A new method of regulation in uneven-aged forests. In: Medzinárodné sympózium „Súčasnosc' a nové smery rozvoja HÚL“, TU Zvolen, s. 25–29.
- POZNAŇSKI, R., 2001b: Metoda optymalnego porządku cięć w przerębowozrębowym sposobie zagospodarowania z rębnią częściową. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu. CCCXXXI, Leśnictwo, 39: 203–208.
- ŽIHĽAVNÍK, A., 2008: Riešenie praktickej ťažbovej úpravy lesa s použitím jemnejších spôsobov obhospodarovania podrastového lesa. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, L, č.2, s. 103–113.
- ŽIHĽAVNÍK, A., BAHÝL, J., 2009: Možnosti využitia metód ťažbovej úpravy lesa. Vedecké štúdie 2/2009A, TU Zvolen, 58 s.
- ŽIHĽAVNÍK, A., 2004: Regulácia vekovej štruktúry podrastového lesa počas rubnej doby. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, XLVI, s. 185–195.
- ŽIHĽAVNÍK, A., 2008: Hospodárska úprava lesov. TU Zvolen, 389 s.
- ŽIHĽAVNÍK, A., 2009: Možnosti regulácie ťažieb metódou matematických modelov v lesných užívateľských celkoch s nepravidelnými vekovými štruktúrami. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, 51(3), s. 139–151.
- ŽIHĽAVNÍK, Š., TUNÁK, D., 2010: Racionalizácia mapovacích prác využitím metódy polygónových ťahov. Vedecké štúdie 2010, TU Zvolen, 84 s.
- ŽIHĽAVNÍK, Š., 2004a: Geodézia, fotogrametria a mapovanie v leśníctve. VŠ učebnica, TU Zvolen, 388 s.
- ŽIHĽAVNÍK, Š., 2004b: Problematika vytyčovania hraníc pri reprivatizácii lesných pozemkov. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, XLVI, s. 235–245.
- Vyhľadška MP SR č. 453/2006 Z. z. o hospodárskej úprave lesov a ochrane lesa.
- Zákon NR SR č. 117/2010 Z. z., ktorým sa mení a dopĺňa zákon č. 543/2002 Z. z. o ochrane prírody a krajiny v znení neskorších predpisov.
- Zákon NR SR č. 326/2005 Z. z. o lesoch v znení neskorších predpisov (č. 360/2007 Z. z.).
-

Adresa autorov:

Prof. Ing. Anton Žihlavník, CSc.,
Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie
Lesnícka fakulta TU vo Zvolene
T. G. Masaryka 24, 960 53 ZVOLEN
Slovakia
e-mail: azihlav@vsl.d.tuzvo.sk

Ing. Jozef Dóczy
Sekcia lesného hospodárstva a spracovania dreva
Ministerstvo pôdohospodárstva, životného prostredia
a regionálneho rozvoja Slovenskej republiky
Dobrovičova 12, 812 66 Bratislava
Slovakia
e-mail: jozef.doczy@land.gov.sk

Využitie metódy matematických modelov na reguláciu vekovej štruktúry lesa

Abstrakt

V práci je riešená problematika ťažbovej úpravy lesa použitím metódy matematických modelov vo vybratých lesných hospodárskych celkoch. Z celkového počtu 30 lesných hospodárskych celkov bolo vytvorených viac skupín na základe stanovených kritérií. Pre riešenie problematiky ťažbovej úpravy lesa bola vybratá prvá skupina so štyrmi lesnými hospodárskymi celkami. Veková štruktúra týchto celkov je charakteristická rozdielnym zastúpením vekových stupňov. Vykonalo sa zhodnotenie nepravidelnosti vekových štruktúr týchto celkov použitím variačných koeficientov a indexov poklesu variability. Z vykonaného rozboru indexov poklesu variability v jednotlivých celkoch vyplynulo, že postupnou reguláciou vekovej štruktúry je možné dosiahnuť vyrovnanú vekovú štruktúru. V prvom sledovanom celku sa variačný koeficient pôvodnej vekovej štruktúry $s_x\%p = 75,39\%$ znížil na hodnotu $38,79\%$, v druhom celku $s_x\%p = 49,25\%$ na hodnotu $18,26\%$. Podobný priebeh variačných koeficientov možno pozorovať aj v ostatných sledovaných celkoch.

Kľúčové slová: ťažbová úprava lesa, veková štruktúra, ťažbový ukazovateľ

TECHNOLOGICKÁ PRÍPRAVA PRACOVÍSK V LANOVKOVÝCH TERÉNOCH PRE PODRASTOVÝ HOSPODÁRSKY SPÔSOB

Valéria MESSINGEROVÁ – Peter KOVÁČIK

Messingerová, V., Kováčik, P.: Technological workplace planning in steep terrains for shelterwood system. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, 53(1): 185–200, 2011.

The short-term technological planning deals with a short-term workplace technological models construction as a result of silvicultural and timber logging requirements harmonization. The purpose of the model, in the initial young growth stages, is to correctly design the workplace (stand) shape, width and length appropriate for different slopes, downhill and uphill cableway skidding methods, to fit the individual tree species cultivation techniques during the whole existence of forest. In this paper, there are compared the short-term workplace technological preparation (commonly used in the practice) with the designed models.

Keywords: cableway skidding, workplace technological preparation, shelterwood system

1 ÚVOD A PROBLEMATIKA

Rozmanité podmienky lesov Slovenska, ako z hľadiska drevinového zloženia tak i z pohľadu pestovných spôsobov, vytvárajú veľkú variabilitu pracovných podmienok pre zabezpečenie výchovných a obnovných zásahov. Nároky jednotlivých drevín na rastové optimum sa odrážajú na odlišných spôsoboch ich pestovania. Prepojenie plánovania ťažbovo-dopravného procesu na pestovné ciele by preto malo byť samozrejmosťou. Už pri definovaní cieľov pestovania lesa by mali byť rozpracované vhodné postupy, ktoré umožnia jeho technické i technologické zabezpečenie. Priestorové rozdelenie pracoviska by malo vyhovovať jednak rastovému optimu konkrétnej dreviny (drevín), no musí umožňovať čo najšetrnejšie vykonanie ťažby a sústred'ovania dreva.

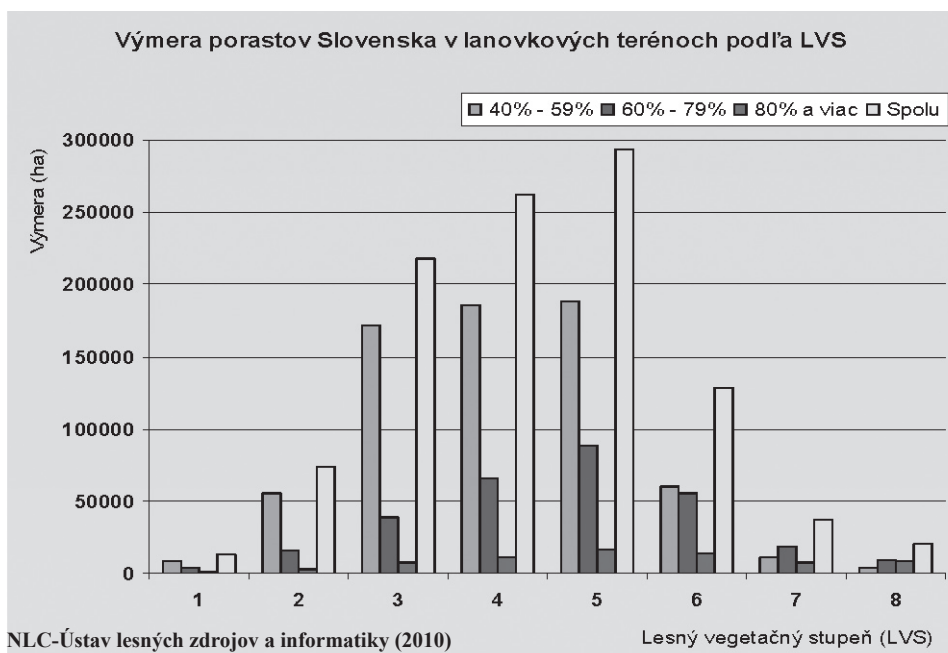
Technologická príprava pracoviska ako prostriedok prepojenia lesného porastu a ťažbovo-dopravných technológií je základným procesom, ktorý následne ovplyvňuje obe spomínané oblasti lesníckej praxe. Komplex procesov technologickej prípravy pracoviska rozdeľujeme z časového hľadiska na dlhodobé a krátkodobé. Z dlhodobého hľadiska sa jedná o procesy, ktoré vychádzajú najmä z relatívne nemenných podmienok (terénne podmienky, lesná cestná sieť, drevinové zloženie). Konkrétne sa jedná o typizáciu lesných porastov (čo umožňuje klasifikovanie techniky a technológie pre vykonanie

ťažbovo-dopravného procesu) a navrhnutie dopravného sprístupnenia porastov pri optimalizácii ekonomických, ekologických a spoločenských cieľov.

Krátkodobé hľadisko naopak ovplyvňujú možnosti (resp. limity) vytvorené ľudským faktorom (ťažbovo-dopravné možnosti, rastové štádium porastu, súčasné ekonomické podmienky) a teda ide o zabezpečenie realizovania samotného ťažbovo-dopravného procesu po technickej a technologickej stránke v nadväznosti na typizáciu porastov a pri sledovaní už spomínaných cieľov.

Vo svetovej literatúre sa technologická príprava chápe ako proces interdisciplinárneho myslenia (DEVLIN 1985, TESCH 1985, MANN 1985). Už TESCH (1985) uvádza, že manažment podrastového hospodárskeho systému vyžaduje interdisciplinárnu spoluprácu, nie len pre jeho mnoho účelné použitie, ale najmä kvôli dosiahnutiu úspechu prirodzenej obnovy. Odhliadnuc od toho, či je plánovanie vykonané skupinou odborníkov alebo jednou osobou, manažovanie hospodárenia pomocou podrastového hospodárskeho spôsobu obsahuje množstvo fáz s možnými príčinami na zlyhanie.

Potenciál lanovkového sústreďovania na Slovensku je značný. Najnovšie poznatky o výmere lesov v lanovkových terénoch uvádzajú výmeru 1 046 936 ha (NLC-ÚLZI, 2010), čo predstavuje 52 % z celkovej výmery lesov Slovenska. Obrázok 1 uvádza rozdelenie výmery lesov Slovenska v lanovkových terénoch podľa lesných vegetačných stupňov (LVS), ktoré reprezentujú ako nadmorskú výšku, tak aj drevinové zloženie porastov.



Obr. 1 Výmera porastov SR v lanovkových terénoch podľa LVS (NLC-ÚLZI, 2010)

Fig. 1 Forest area in cableway terrain (Slovakia) by LVS (NLC-ÚLZI, 2010)

Konkrétne podmienky daného stanovišťa (porastu) ovplyvňujú použitie určitých technológií a technologických postupov, na základe čoho vzniká potreba stanovenia základných typov prevádzkových podmienok, ktoré sa odrážajú do terénnej a technologickej typizácie porastov. Týmto problémom sa zaoberalo mnoho autorov, medzi prvými SAMSET (1952), ktorý vypracoval systém terénnej klasifikácie v Nórsku. Medzi ďalšími SEGEBA-DEN (1964), ŠTAUD (1963). V Rakúsku, v ktorom sú porovnateľné podmienky, vypracoval terénnu klasifikáciu Szeless (1964) a na 14. kongrese IUFRO v Montreale bol pod jeho vedením vypracovaný Medzinárodný systém terénnej klasifikácie (SZELES, 1964). Na Slovensku bola vypracovaná terénna a technologická typizácia (ROŠKO, HALÁTH 1965). Je tvorená na základe sklonu terénu (štyri kategórie sklonov) a jeho priechodnosti, z ktorých vyplýva terénny typ (1–10).

V sedemdesiatych rokoch bol „boom“ v rozvoji terénnych klasifikácií vo svete [SARILAHTI, 2002]. Jedná sa o práce ERIKSSON *et al.* (1978), GOLOB (1978). Úplná terénna klasifikácia bola navrhnutá pre severské štáty (ERIKSSON *et al.*, 1978), no bola ťažko adaptovateľná na rozsiahle použitie. V Nórsku a Švédsku bol zjednodušený základný systém prevzatý pre prevádzkové použitie od Terrängtypsschema... (1982). Vo Veľkej Británii „Forestry Commission“ prevzala terénnu klasifikáciu, ktorej základom bol škandinávsky systém (SUTTON 1978). „Švédska klasifikácia“ sa rozšírila aj do Kanady a ten istý typ klasifikácie používa aj „the Canadian Forest Service (TSAY, 1979). ROWAN A. A. *et al* (1996) v Technical Note 16/95 uvádza, že Škandinávsky systém, ktorý prevzala Britská „Forestry Commision“, je postavený na troch základných faktoroch terénu:

- stav pôdy,
- terénne prekážky,
- sklon.

V Čechách bola vypracovaná terénna a technologická typizácia zohľadňujúca environmentálne limity kolektívom autorov SIMANOV, MACKŮ, POPELKA (1992). V českej republike bola dlho používaná terénna klasifikácia LESPROJEKTU (1980), ktorej nedostatkom je, že je založená iba na technických predpokladoch prejazdu strojov terénom a neuvažuje pritom s ekologickou podmienenosťou pohybu strojov na únosnosť pôdy a nebezpečenstvo ťažbovo-dopravnej erózie.

1.1 Krátkodobá technologická príprava pracoviska

LUKÁČ [1996] uvádza, že spôsob ťažby a dopravy dreva treba voliť podľa fyto-techniky, no treba voliť takú techniku pestovania, aby bolo možné vyťahovanie dreva z porastu. To znamená, že ku každému porastu (trase lanovky) treba pristupovať individuálne a dokonale podchytiť pestovateľský zámer i ťažbovo-dopravnú technológiu, čo by sa malo odraziť v adekvátnej technologickej príprave pracoviska.

Z uvedeného vyplýva, že z pohľadu krátkodobej technologickej prípravy pracoviska je potrebné naplánovať ťažbovo-dopravný proces tak, aby bolo možné pokračovať v pestovateľskom zámere v akejkoľvek rastovej fáze konkrétneho porastu.

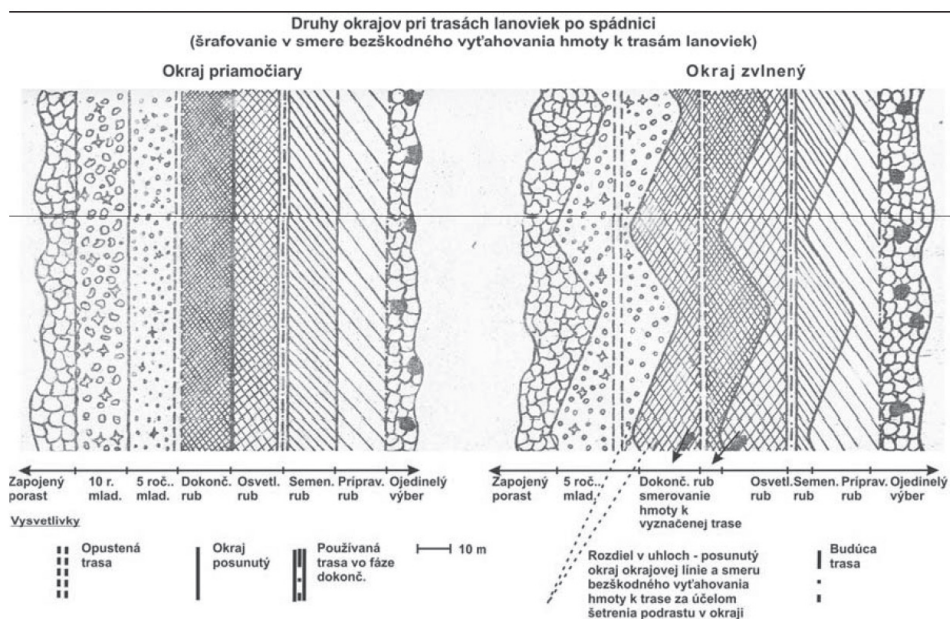
Po vykonaní terénnej a technologickej typizácie, pomocou ktorej vyselektujeme vhodné ťažbovo-dopravné prostriedky pre podmienky konkrétneho pracoviska, je nutné

rozdeliť pracovisko na pracovné polia, ak sa tak nestalo už v počiatočných rastových fázach porastu. Tvar, šírka, dĺžka a orientácia pracovných polí ovplyvňujú environmentálnu i ekonomickú stránku ťažbovo-dopravného procesu. Ich správne navrhnutie je preto kľúčovou otázkou pri krátkodobej technologickej príprave pracoviska.

Správne situované a navrhnuté približovacie linky sú nevyhnutné pre bezpečnú a efektívnu prácu. Návrh rozmiestnenia liniek nie je jednoduchý, zvlášť v štádiu prvých prebierok. Ak sú linky nesprávne umiestnené, odráža sa to na zvýšených nákladoch a znížení výnosov počas celej doby existencie porastu (SAUNDERS 2006).

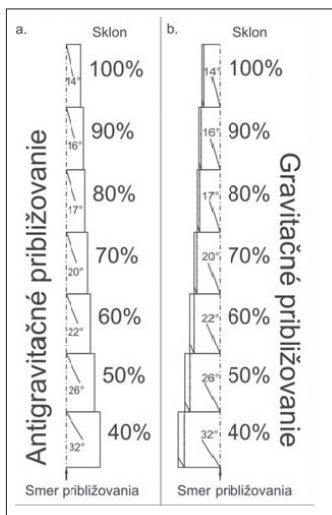
Už pred štyridsiatimi rokmi ŠEBŮK a ŠEDÍK (1968) navrhli obnovné postupy pre lanovkové terény podľa rôznych spôsobov pestovania lesa. Jednalo sa o aditívne (súbežné aj následné) i substitutívne kombinácie základných obnovných rubov v rámci jedného i viacerých lanovkových polí pre trasy orientované ako po spádnici tak aj šikmo (Obr. 2).

SANIGA (2002, 2007) uvádza, že použitie novej techniky približovania dreva (proti svahu) pomocou lanoviek umožňuje aj v ťažkých terénoch (so sklonom do 70 %) použiť biologicky vyhovujúce a ťažbovo náročnejšie maloplošné clonné ruby. Z praktického hľadiska je však nutné dodať, že antigravitačné približovanie sa v prevádzke v skutočnosti používa iba zriedkavo. Jednak z dôvodu absencie hrebeňových ciest (náročnosť výstavby) a vyššej ekonomickej náročnosti v porovnaní s gravitačným približovaním dreva.



Obr. 2 Príklad clonnej obnovy z práce ŠEBŮKA a ŠEDÍKA (1968)

Fig. 2 Example of regeneration under shelterwood, by ŠEBŮK and ŠEDÍK (1968)



Obr. 3 Vplyv sklonu terénu na šírku pracovného poľa
Fig. 3 Effect of terrain slope to the width of the working field

2 METODIKA PRÁCE

2.1 Modely krátkodobej technologickej prípravy pracoviska pre podrastový hospodársky spôsob v lanovkových terénoch

Tvar pracovného poľa

Tvar pracovného poľa lesníckych lanoviek vychádza z technických a technologických možností lanovkového sústredovania. Sústredovanie dreva je rozdelené na dve fázy, a to vyťahovanie a približovanie. V prípade lesníckych lanoviek úkon vyťahovania reprezentuje vyťahovanie nákladu pod lano a fázu približovania jazda vozíka s nákladom na miesto prvotného zloženia nákladu. Podľa technických možností lanovky potom nastáva buď priamo odvoz dreva, alebo sa náklad ešte odťahuje od miesta zloženia lanovkou na odvozné miesto iným prostriedkom. Prvé dve fázy sústredovania však spolu vytvárajú idealizovaný tvar obdĺžnika.

Aby bolo možné sklbenie pestovateľských a ťažbovo-dopravných požiadaviek pri technologickom plánovaní, bolo potrebné identifikovať také pestovné spôsoby, ktoré by vyhovovali uvedenému tvaru pracovného poľa.

Výchova porastov

V rastovej fáze mladiny sa porast rozčleňuje sieťou rovnobežných liniek z dôvodu výchovných zásahov. Vytvorené linky v rastovej fáze mladiny neslúžia dopravnému účelu (sústredovaniu dreva), pretože vytážené stromy zostávajú v poraste, no schéma rovnobežného rozmiestňovania liniek sa tvarovo zhoduje s obdĺžnikovým

tvarom lanovkového poľa. Vynechávaním určitého počtu liniek v neskorších rastových fázach porastu sa tento tvar nemení, iba sa prispôsobuje šírka pracovného poľa vzhľadom ku ekonomicky efektívnemu ťažbovo-dopravnému zásahu.

V rastovej fáze žrdkoviny a žrdoviny je výchovným zásahom prebierka, ktorej úlohou je podľa JALOVIARA, KUCBELA (2005) ovplyvňovanie kvality drevnej produkcie porastu a mechanickej stability porastu, pričom sa vykonáva tak, že sa na základe vopred zvolených kritérií výchovným rubom odstraňuje určitý počet stromov z vychovávaného porastu. Pre rastový typ buka sú vhodné úrovňové prebierky s pozitívnym výberom a pre pestovanie ihličnatých žrdkovín a žrdovín sú vhodné silnejšie podúrovňové prebierky.

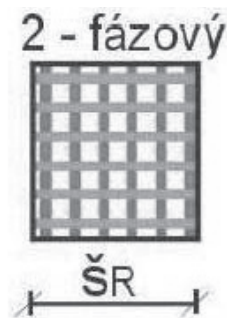
Pretože výchovný zásah (prebierka) je vykonávaný na celej ploche porastu, rozstup liniek, a teda šírka pracovného poľa vzniknutá vynechaním určitého počtu liniek vytvorených v rastovej fáze mladiny, závisia na spôsobe vykonania ťažbovo-dopravného zásahu.

Obnova porastov

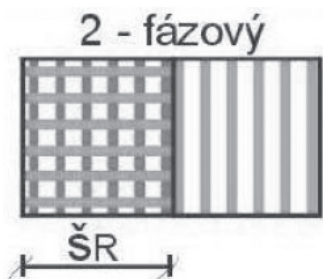
Pre obnovu porastov je situácia obdobná ako pri predchádzajúcich rastových fázach, a to v zmysle dodržania obdĺžnikového tvaru pracovného poľa lanovkových technológií. Preto bolo potrebné pre obnovu porastov vybrať také obnovné postupy, ktorých tvar obnovného prvku je tvaru obdĺžnika.

Pre rastový typ buka je týmto pestovným spôsobom maloplošný clonný rub v pásoch (Obr. 4), kde šírka rubu (ŠR) je maximálne na 2 výšky porastu, plocha rubu je maximálne 3 ha. Vzdialenosť rubov je minimálne na 1 šírku rubu a ruby sa nerozširujú. Pre zmiešanie drevín je to okrajový clonný rub v pásoch (Obr. 5), kde šírka rubu je maximálne na 2 výšky porastu, plocha rubu je maximálne 3 ha a vzdialenosť rubov je minimálne na 3 výšky porastu. Z ekonomického hľadiska lanovkového sústreďovania boli z časového hľadiska vybrané dvojfázové ruby.

Pre rastový typ smrek je vhodným pestovným spôsobom tvaru obdĺžnika okrajový odrub v pásoch (Obr. 6), kde šírka rubu je maximálne na 2 výšky porastu, plocha rubu je maximálne 3 ha. Odclonenie na dosiahnutie prirodzeného zmladenia vedľa obnovovaného lesného porastu maximálne do vzdialenosti 1 výšky porastu, vzdialenosť rubov je minimálne na 1 šírku rubu.

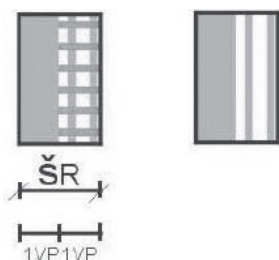


Obr. 4 Dvojfázový maloplošný clonný rub v pásoch (PP HÚL č. 36)
Fig. 4 Two-phases small area shelterwood cutting



Obr. 5 Dvojfázový okrajový clonný rub v pásoch (PP HÚL č. 36)

Fig. 5 Two phases marginal shelterwood cutting in stripes (PP HÚL č. 36)



Obr. 6 Okrajový odруб v pásoch (PP HÚL č. 36)

Fig. 6 Marginal cutting in strips (PP HÚL No. 36)

Prispôsobením výchovných a obnovných spôsobov pestovania lesa tvaru pracovného poľa lanovkových technológií, dosiahneme používanie liniek, vytvorených vo fáze mladiny, počas celej existencie porastu, čo znamená značný prínos ako z ekonomického tak i environmentálneho hľadiska.

Šírka pracovného poľa podľa zásad pestovania lesov

Už v rastovej fáze mladiny určuje rozstup liniek z hľadiska pestovateľských zásad počet cieľových stromov (CS) na hektár plochy podľa konkrétnej dreviny. Pre každú drevinu je určený počet cieľových stromov na hektár tak, aby vyhovoval ich nárokom z hľadiska optimálneho rastu i stability.

Autori JALOVIAK, KUCBEL (2005) uvádzajú spôsob výpočtu rozstupu liniek, ktorý je možné aplikovať pre všetky dreviny, pre potrebný počet cieľových stromov na hektár: pri plánovaní rozčlenenia porastu na systém pracovných polí sa vychádza z poznatku o počte cieľových stromov pri rôznych drevinách. Pre bukové porasty sa uvažuje s počtom 200 ks cieľových stromov na 1 hektár, pre dubové porasty s počtom 100–150 kusov. Z týchto počtov sa vypočíta úživná plocha pre jeden strom a následne idealizovaný štvorcový rozstup stromov podľa rovnice 1. Rozstup sa vypočíta ako druhá odmocnina z hodnoty úživnej plochy.

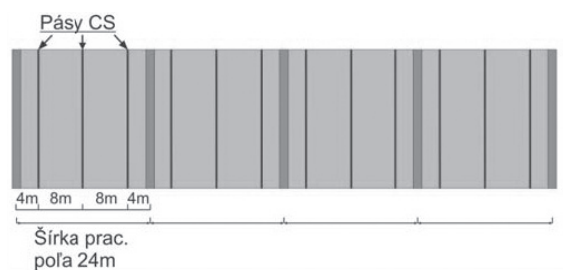
$$\text{Úživná plocha} = 10\,000 \text{ m}^2 / \text{počet cieľových stromov} \quad (1)$$

- pre buk je to 50 m²,
- pre dub je to 66–100 m² (v závislosti od stanoveného počtu CS).

V prípade buka sa počíta s rozstupom CS 7 m a pracovné pole má šírku dvoj- alebo trojnásobku rozstupu, teda 14 alebo 21 m. Linka v prípade mladiny nemá dopravnú funkciu, preto postačuje šírka 1–1,5 m.

Spôsoby rozčlenenia pracovných polí ostatných drevín, príp. zmiešania drevín, ich spôsoby výchovy, uvádzajú JALOVÍAR, KUCBEL (2005) a SANIGA (2002).

Ďalším parametrom, ktorým je možné ovplyvniť rozstup liniek už v rastovej fáze mladiny je počet pásov cieľových stromov medzi jednotlivými linkami, ktorý značným spôsobom ovplyvňuje variabilitu rozstupu liniek pre jednotlivé dreviny (Obr. 7).



Obr. 7 Príklad rozčlenenia porastu linkami pri troch pásoch cieľových stromov

Fig. 7 Example of the working field with lines segmentation with 3 strips of target trees

Na základe konkrétnych podmienok porastu, dostávame značný počet rozstupov liniek a teda širok pracovných polí. Tieto sa v neskorších rastových fázach porastu (žrdovina, kmeňovina) rozširujú vynechávaním určitého počtu liniek. Tým dostaneme širšie pracovné polia, ktoré by mali vyhovovať konkrétnej ťažbovo-dopravnej technológii. Počet variácií šírky pracovného poľa sa tak ešte zväčšuje, pretože v rámci rozširovania pracovného poľa v neskorších rastových fázach môžeme vynechať 1, 2, alebo až 3 linky, čím dostávame dvoj-, troj- a štvornásobok pôvodnej šírky pracovného poľa v mladine.

Šírka pracovného poľa podľa ťažbovo-dopravných zásad

Výpočet šírky prac poľa podľa diagramu syntézy

Diagram syntézy pre výpočet šírky pracovného poľa vyjadruje priebeh narastajúcej spotreby času na vyťahovanie nákladu od pňa pod trasu lanovky so zväčšujúcou sa vzdialenosťou samotného vyťahovania a priebeh klesajúcej spotreby času na montáž a demontáž trasy lanovky v konkrétnom poraste. Priebeh kriviek týchto hodnôt závisí od viacerých faktorov. Časové náklady na vyťahovanie rastú lineárne so zväčšujúcou sa vzdialenosťou, zatiaľ čo väčšia vzdialenosť vyťahovania (a teda širšie pracovné pole lesníckej lanovky) znižuje počet prestavieb trasy lanovky pre konkrétnu šírku porastu, a tým časové náklady na stavbu trasy lanovky klesajú podľa mocninatej funkcie.

Výpočet šírky pracovného poľa na základe sklonu terénu a smeru približovania

Šírku pracovného poľa ovplyvňuje sklon terénu. Pre konkrétny výpočet šírky pracovného poľa podľa sklonu terénu boli prevzaté uhly vyťahovania podľa ROŠKA (1984).

Základom pre výpočet šírky pracovného poľa podľa sklonu terénu je optimálna šírka pracovného poľa pre sklon terénu 40 % a najdlhšia vzdialenosť vyťahovania dreva pri uhli vyťahovania pre tento sklon (uhol vyťahovania pre sklon terénu 40 % udáva tabuľka (Tab. 1).

Tab. 1 Uhly vyťahovania nákladu podľa sklonu terénu [ROŠKO, 1984]

Tab. 1 Angles of load yarding by terrain slope [ROŠKO, 1984]

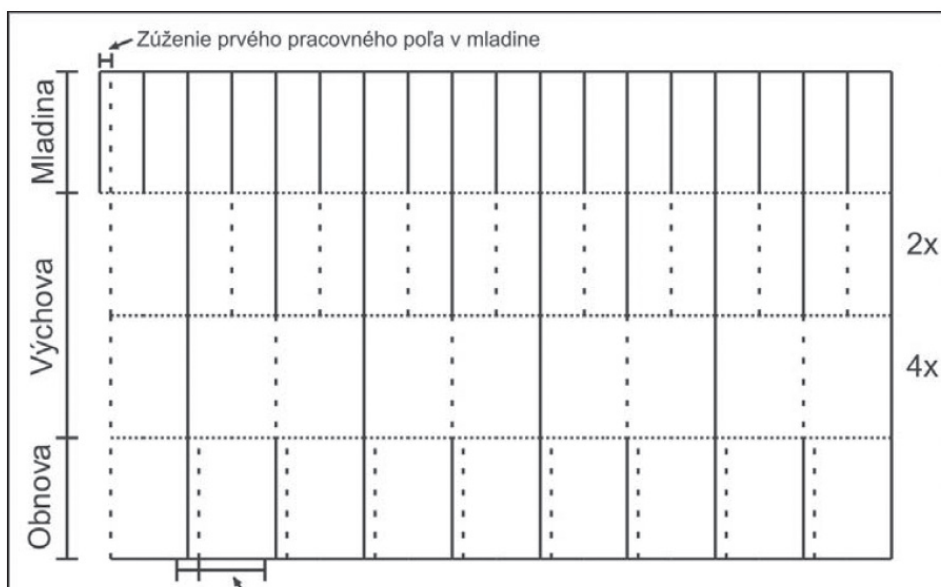
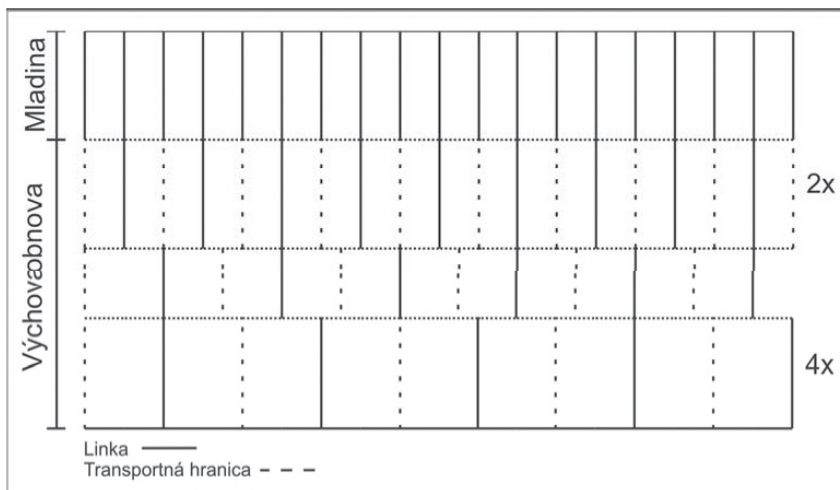
Sklon terénu (%)						
40	50	60	70	80	90	100
32	26	22	20	17	16	14
Uhol vyťahovania (° – stupne)						

3 VÝSLEDKY PRÁCE A DISKUSIA

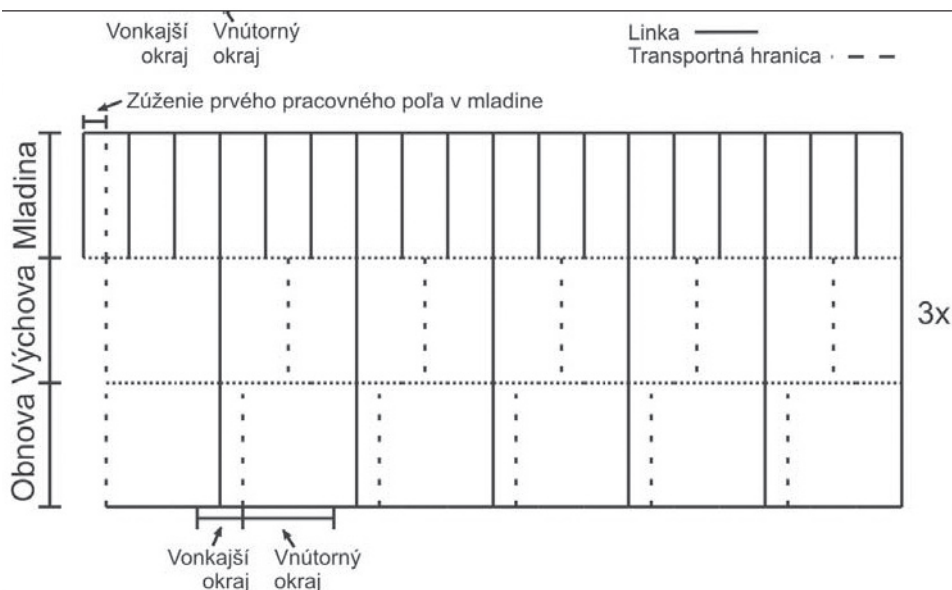
Modely krátkodobej technologickej prípravy pracoviska pre podrastový hospodársky spôsob v lanovkových terénoch

Množstvo požiadaviek na šírku pracovného poľa, ktorá zásadne ovplyvňuje ekonomiku sústreďovania lesníckymi lanovkami je z hľadiska pestovateľského i ťažbovo-dopravného značné množstvo. Preto boli vytvorené modely krátkodobej technologickej prípravy pracoviska v zmysle rozčlenenia porastu pracovnými linkami na pracovné polia tak, aby vyhovovali požiadavkám oboch spomínaných lesníckych oblastí počas celej existencie porastu.

Modely sú rozdelené do dvoch hlavných skupín, a to podľa drevín na **modely pre rastový typ buka a rastový typ smreka**. Pre rastový typ buka sa po rozčlenení porastu linkami v rastovej fáze mladiny postupuje spôsobom vynechania určitého počtu liniek (1–3), čím sa vytvorí pracovné pole o dvoj-, troj- alebo štvornásobku šírky pracovného poľa v mladine, tak aby bolo možné trvale využívať linky vytvorené rozčlenením v rastovej fáze mladiny počas celej existencie porastu (Obr. 8). Schému je možné použiť pri maloplošnej clonnej obnove v pásach a okrajovej clonnej obnove v pásach.



Obr. 8 Schéma tvorenia rôznej šírky pracovného poľa vynechávaním liniek pre RT BUK
 Fig. 8 Scheme of varying working fields by skipping lines formation, for beech growing type



Obr. 9 Schéma tvorenia rôznej šírky pracovného poľa vynechávaním liniek pre RT SMREK
 Fig. 9 Scheme of varying working fields by skipping lines formation, for beech growing type

Keďže pre dreviny rastového typu smrek uvažujeme v obnove použitie okrajového odrubného obnovného spôsobu, je potrebné šírku pracovného poľa naplánovať podľa obnovy z ohľadom na parametre šírky obnovného prvku, čo je 1 výška porastu. Takáto šírka pracovného poľa však nemusí vyhovovať ekonomicky efektívnej práci lanovkového sústreďovania v predchádzajúcich rastových fázach (výchove porastu) a tak opäť uvažujeme s násobkami šírky pracovného poľa samozrejme s ohľadom na rozčleňovanie porastu linkami v rastovej fáze mladiny.

Vzhľadom na posun porastovej steny pri použití okrajového odrubného obnovného spôsobu o polovicu šírky vonkajšieho okraja voči trase lanovky (Obr. 9), je nutné túto odchýlku opraviť už pri rozčleňovaní porastu v rastovej fáze mladiny. Vzniká tak výhoda postavenia trasy lanovky ešte v neobnovenej časti obnovného prvku, čo má priaznivý vplyv na poškodenie prirodzeného zmladenia. V prvej fáze obnovy porastu okrajovým odrubným obnovným spôsobom je vytvorená porastová stena. Do realizovania druhej fázy obnovy vzniká vzhľadom k vytvoreniu prvej porastovej steny vonkajší a vnútorný okraj prirodzeného zmladenia. Vnútný okraj zasahuje do 2/3 šírky obnovného prvku (SANIGA, 2002). Zostávajúca 1/3 bude tvoriť vonkajší okraj po vytvorení druhej porastovej steny. Výhodou je teda postavenie trasy lanovky v strede budúceho vonkajšieho okraja prirodzeného zmladenia, ktorý vzniká až po ťažbovo-dopravnom zásahu a teda v čase sústreďovania sa žiadne prirodzené zmladenie na trase nenachádza.

Pre značný počet kombinácií širok pracovného poľa vyplývajúceho z pestovateľských i ťažbovo-dopravných požiadaviek boli vytvorené v programe Microsoft Excel súbory na

výpočet šírky pracovného poľa pre rastový typ buk a smrek. Súborý sú zložené z troch častí, ktorými sú bunky pre zadávanie vstupných údajov, tabuľka šírky pracovného poľa podľa ťažbovo-dopravných požiadaviek rozdelená v kategóriách sklonov od 40 do 100 % a tabuľka šírky pracovného poľa podľa pestovateľských požiadaviek rozdelená podľa jednotlivých rastových fáz porastu a počtu pásov cieľových stromov medzi linkami pri rozdeľovaní porastu v rastovej fáze mladiny. V prípade RT SMREK sa v súbore nachádza aj bunka zúženia prvého pracovného poľa v mladine.

Postup zistenia šírky pracovného poľa je nasledovný:

Vstupnými hodnotami sú:

1. Náklady na vyťahovanie pre priemernú kolmú vzdialenosť 10 m (N_h):
 - Náklady na montáž a demontáž jednej trasy lanovky v konkrétnych podmienkach (N_h).
 - Šírka porastu v smere kolmom na os trasy lanovky (m).
 - Zásoba porastu (m).
 - Stredná výška združeného porastu v rubnom veku s ohľadom na bonitu (m).
 - Počet cieľových stromov na hektár (ks).
2. Následne je vypočítaná šírka pracovného poľa pre gravitačný i antigravitačný spôsob sústreďovania dreva s ohľadom na ťažbovo-dopravné požiadavky v rubnej dobe podľa jednotlivých sklonov.
3. Na základe počtu cieľových stromov na hektár a počtu pásov cieľových stromov medzi dvoma linkami je vypočítaná šírka pracovného poľa, vzhľadom na pestovateľské požiadavky pre jednotlivé rastové fázy porastu.
4. V ďalšom kroku stačí porovnať šírku pracovného poľa podľa ťažbovo-dopravných požiadaviek a pestovateľských požiadaviek a nájsť najbližšiu zhodu šírky pracovného poľa, čím táto bude vyhovovať požiadavke oboch lesníckych odvetví.

Šírka pracovného poľa podľa ťažbovo-dopravných požiadaviek je vypočítaná podľa nasledovného postupu:

1. Na základe hodnoty nákladov na montáž a demontáž jednej trasy lanovky v konkrétnych podmienkach (N_{SD}) a šírky porastu v smere kolmom na os trasy lanovky ($\check{S}_{POR}$) sú vypočítané náklady na montáž a demontáž trasy lanovky (pre šírku celého porastu – N_{CELKOM}) pre rôzne šírky pracovného poľa, a to v rozsahu od šírky pracovného poľa 5 m až po šírku pracovného poľa 100 m v intervale 1 m ($\check{S}_{PP}$) (2)

$$N_{CELKOM} = \frac{\check{S}_{POR}}{\check{S}_{PP}} \cdot N_{SD} \quad (2)$$

2. Na základe hodnoty nákladov na vyťahovanie pre priemernú kolmú vyťahovaciu vzdialenosť 10 m (N_{10}) a zásoby porastu (V_{POR}) sú vypočítané náklady na vyťahovanie pre rôzne šírky pracovného (N_X) poľa opäť v rozsahu 5 m až 100 m a intervale 1 m. Šírku pracovného poľa v tomto prípade reprezentuje priemerná kolmá vyťahovacia vzdialenosť, ktorá je štvornásobne menšia ako šírka pracovného poľa (l_X) (3)

$$N_x = \frac{N_{10}}{10} \cdot l_x \cdot V_{POR} \quad (3)$$

3. Hodnoty nákladov na montáž a demontáž trasy lanovky (N_{CELKOM}) a nákladov na vyťahovanie (N_x) pre jednotlivé šírky pracovného poľa (rozsah 5 až 100 m) sú sčítané. Následne je vybraná najmenšia hodnota súčtu, ktorá udáva optimálnu šírku pracovného poľa pre sklon terénu 40 % bez smerového spiľovania.
4. Optimálna hodnota pre sklon 40 % bez smerového spiľovania je následne upravená podľa sklonu terénu. Je vypočítaná najdlhšia šikmá vzdialenosť vyťahovania nákladu (uhol vyťahovania 32°) pri optimálnej šírke pracovného poľa v sklone terénu 40 % (L_{s40}) (4)

$$L_{s40} = \frac{\check{S}_{40}}{\sin 32^\circ} \quad (4)$$

5. Na základe L_{s40} je podľa vyťahovacích uhlov (α) pre jednotlivé sklony (rozsah od 40 do 100 %) (Tab. 7) v intervale 5 % vypočítaná šírka pracovného poľa pre daný sklon ($\check{S}_x$) (5)

$$\check{S}_x = \sin \alpha \cdot L_{s40} = \frac{\sin \alpha \cdot \check{S}_{40}}{32^\circ} \quad (5)$$

6. V prípade gravitačného smeru približovania nákladu je táto šírka pracovného poľa ($\check{S}_x$) upravená o vzdialenosť vyplývajúcu so smeru pádu stromu voči trase lanovky, a to podľa vzorca pre obojstranné vyťahovanie (6), alebo vzorca pre jednostranné vyťahovanie (7).

$$l_K = 2 \cdot (\sin \alpha \cdot \frac{h}{2}) = \sin \alpha \cdot h \quad (6)$$

$$l_K = \sin \alpha \cdot \frac{h}{2} \quad (7)$$

Výpočet šírky pracovného poľa, podľa požiadaviek pestovateľských, je vykonaný na základe vzorca 1. Šírka pracovného poľa je súčin daného počtu pásov cieľových stromov medzi dvoma linkami a rozstupu cieľových stromov.

ZÁVER

Navrhnuté modely krátkodobej technologickej prípravy pracoviska riešia parametre pracovného poľa pre lanovkové technológie, tak aby vyhovovali z hľadiska pestovania lesov a ťažbovo-dopravného. Interdisciplinárna spolupráca týchto dvoch lesníckych odvetví pri plánovaní starostlivosti o les je zrejmá. Aby však bolo možné vytvorenie pracovných polí s parametrami popísanými v práci, je nutné zapojiť do procesu nielen krátkodobej technologickej prípravy aj hospodársku úpravu lesov. Vzhľadom na navrhovanie pracovného poľa využiteľného počas celej existencie porastu sa táto časť technologickej

prípravy pracoviska (návrh parametrov pracovného poľa) prelína s dlhodobým hľadiskom. Úlohou hospodárskej úpravy lesov by podľa uvedeného malo byť vytvorenie takých porastov a porastových celkov, ktoré by minimálne tvarovo vyhovovali použitiu konkrétnych technológií (v tomto prípade lanovkových technológií).

Počas navrhovania a vypracovávaní modelov krátkodobej technologickej prípravy pracoviska bola zistená absencia sústredovacích prostriedkov v praxi lesného hospodárstva na Slovensku, ktoré by boli schopné efektívneho sústredovania dreva malého objemu (prebierkové zásahy), prípadne malých koncentrácií v lanovkových terénoch. Parametrami takéhoto prostriedku na báze lanovkových technológií by mala byť jednoduchá montáž (približne polovica pracovnej zmeny) a zachovanie výhod modernej lanovky podľa HOREKA (2007).

Podakovanie

Táto štúdia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt Centrum excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy, ITMS: 26220120006, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

- BURKE, D. 1974: Skyline logging profiles from a digital terrain model. Proceedings of the 1974 skyline logging symposium, 1974 January 23-24, Seattle, WA: University of Washington, College of Engineering, p. 52–55.
- DEVLIN, J. R. 1985: Shelterwood cutting in modern multiple-use management, Proceedings of a Workshop on the Shelterwood management system, The Southwest Oregon Forestry Intensified Research (FIR) Program, Forest Research Laboratory – Oregon State University, 1985, 116.
- EPSTAIN, *et al.* 2001: PLANEX: A System to Identify Landing Locations and Access. The International Mountain Logging and 11 Pacific Northwest Skyline Symposium 2001 – A Forest Engineering Odyssey, University of Washington, 2001, pp. 190–193.
- HOREK, P. 2007: Lesní lanovky. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2007, 101 s. ISBN 978-80-87154-10-6.
- JALOVÍAR, P., KUCBEL, S. 2005: Pestovanie lesa, Návod na cvičenia. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, Vydavateľstvo TU vo Zvolene, 2005, 64 s. ISBN 80-228-1436-9.
- LINDER, W. 2006. Digital photogrammetry and practical course. Springer, 2006, 214 s.
- LIU, K., SESSIONS, J. 1993: Preliminary planning of road systems using digital terrain models. J. For. Eng., 4(2):27-32, 1993.
- LUKÁČ, T. 1996. Lesné dopravníctvo. Zvolen, 1996, 228 s. ISBN 80-228-0563-7.
- LUKÁČ, T. *et al.* 2001: Lanovky v lesníctve. Ústav pre výchovu a vzdelávanie pracovníkov LVH SR, Zvolen, 2001, 167 s. ISBN 80-88677-82-3.
- MANN, W. J. 1985: Logging planning to achieve shelterwood management objectives, Proceedings of a Workshop on the Shelterwood management system. The Southwest Oregon Forestry Intensified Research (FIR) Program, Forest Research Laboratory – Oregon State University, 1985, 116 s.
- MESSINGEROVÁ, V. 2004: Teoretické princípy sprístupňovania a technologickej prípravy pracovísk v horských lesoch. AFF XLVI, TU Zvolen, 2004, s. 275–283.
- MILLER, C. L. 1957: Digital terrain model approach to highway earthwork analysis. Massachusetts Institute of Technology, Photogrammetry Laboratory, Cambridge, 1957, 17 p.
- NEWNHAM, M. R. 1995: A Tool for Designing Forest Road Networks. International Journal of.
- REUTEBUCH, S. 1988: ROUTES: A computer program for preliminary route location. USDA Gen. Tech. Publication. PNW-GTR-216, Portland, OR, 1988, 18 p.

- ROŠKO, P. 1984: Teoretické základy približovania dreva a sprístupňovania lesov v horských terénoch, Veda, Bratislava, 1984, 285 s.
- SAARILAHTI, M. 2002: Soil Interaction Model, Dynamic Terrain Classification, Modeling of the Seasonal Variation of the Trefficability on Forest sites, Development of a Protocol for Ecoefficient Wood Harvesting on Sensitive sites (ECOWOOD), 2002, s. 22.
- SAMSET, I. 1952: Driftsteknisk klassifisering av skigforholdene i Telemark fylke, Tagsering av Norges skoger utført av Landsakograseringen, Telemark fylke, 1952, s. 80–87.
- SANIGA, M. 2002: Pestovanie lesa. TU Zvolen, Zvolen, 2002, 246 s. ISBN 80-228-1113-0.
- SANIGA, M. 2007: Pestovanie lesa. TU Zvolen, Zvolen, 2007, 310 s. ISBN 978-80-228-2102-5.
- SAUNDERS, C. 2006. Cableway extraction. Forest Research, Forest Management Division, Technical Development, 2006, 57 p.
- SEGEBADEN, G. 1964: Studier över terrängtransportens längd och vägnätets utbyggnad. Rapp. a Upps. Inst. Skogstekn. Skogshögsk., 1964, č. 23, s. 149.
- SIMANOV, V., *et. al.* 1992: Terénní klasifikace z pohledu ekologizace výrobních procesů v lesním hospodářství. Progresivne trendy ťažbovo-dopravného obhospodarovania lesov, Zborník medzinárodné vedecké konferencie, Technická univerzita, Zvolen, 1992, s. 156–161.
- STEINLIN, H. 1967: Anforderungen der modernen Technik and die Wald und Bestanderschlissung. Wiss. Z.-Techn. Hochsch. Dresden, 16, zošit 2, 1967, s. 485–489.
- SUTTON, A. R. 1980: Terrain classification in Great Britain. Proceedings of the Symposium on stand establishment techniques and technology in Moscow and Riga, 3rd-8th September 1979. IUFRO Subject Group S 3.02-00. Operational methods in the establishment and treatment of stands. Moscow 1980. 1978, I: 358–407.
- SZELESS, S. 1964: Terrainklassifikation für die Holzernte. XIV. IUFRO-Kongress, Sec. 32, Montreal, 1964, s. 321–326.
- ŠEBŮK, V., ŠEDIK, A. 1968: Sprístupňovanie a obnova lesov v horách. 1968, 150 s.
- ŠTAUD, V. 1963. Technologická typizace a příprava pracovišť na úseku sousťedňování dříví. Praha, SZN 1963, 68 s.
- TESCH, D. S. 1985: Planning for shelterwood management in southwest Oregon, Proceedings of a Workshop on the Shelterwood management system, The Southwest Oregon Forestry Intensified Research (FIR) Program, Forest Research Laboratory – Oregon State University, 1985, 116 s.
- TSAY, T. B. 1979: An approach to terrain classification for forestry in Canada. Proceedings of the Symposium on stand establishment techniques and technology in Moscow and Riga, 3rd-8th September 1979. IUFRO Subject Group S 3.02-00. Operational methods in the establishment and treatment of stands. Moscow 1980. 1979, I: 350–377.
- TWITTO *et.al.* 1987: Preliminary logging analysis system (PLANS): overview. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-1999. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1987, 24 p.
- YOUNG, G., LEMKOW, D. 1976: Digital terrain simulators and their application to forest development planning. Proc: 1976 Skyline Logging Symposium, December 8-10, Vancouver, B.C. Univ. of B.C., 1976, pp. 81–89.

Adresa autorov:

Prof. Ing. Valéria Messingerová, CSc.
Katedra lesnej ťažby a mechanizácie
Lesnícka fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen

Ing. Peter Kováčik, PhD.
Nám. Slobody 1404/48
02001 Púchov

Technologická príprava pracovísk v lanovkových terénoch pre podrastový hospodársky spôsob

Abstrakt

V rámci krátkodobej technologickej prípravy je riešené vypracovanie modelov krátkodobej technologickej prípravy pracoviska, ktoré sú výsledkom skĺbenia ako pestovateľských, tak aj ťažbovo-dopravných požiadaviek priestorového rozdelenia porastu na pracovné polia. Úlohou modelov je v rastovej fáze mladiny správne navrhnuť tvar, šírku a dĺžku pracovných polí v rôznych sklonoch pre gravitačný i antigravitačný spôsob sústreďovania dreva lesníckymi lanovkami tak, aby vyhovovali fytotechnike pestovania jednotlivých drevín vo všetkých rastových fázach porastu.

Kľúčové slová: lanovkové sústreďovanie dreva, technologická príprava pracoviska, podrastový hospodársky spôsob

INFORMÁCIE A INTEGRÁCIA VEREJNOPROSPEŠNÝCH FUNKCIÍ LESA DO TRHOVÉHO MECHANIZMU

Miroslav KOVALČÍK – Zuzana SARVAŠOVÁ – Jozef TUTKA

Kovalčík, M., Sarvašová, Z., Tutka, J.: Information and integration of public goods into the market mechanism. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, 53(1): 201–211, 2011.

The paper presents results of empirical study conducted in 2006, 2007 and 2008 in relation to information level and sources of information on forests and forestry. A total of 4 668 questionnaires were completed. The main aim of this paper is an analysis of relation between information level and sources of information on the one hand and some aspects of recreational use of forests (recreational value by Contingent Valuation Method and Travel Cost Method, visit rate, visit time and other) on the other hand. The results have shown, that one half of the respondents assess their information level as good and two third of respondents receive the information from media such as TV, radio or internet. The analysis leads to the following conclusions:

- Information level has influenced the recreational value by both the Contingent Valuation Method and the Travel Cost Method, and also on the other valued factors of recreational use of forests,
- If the information level was higher, respondents visit forest more frequently and the visit time is longer,
- Information sources have lower impact on the valued factors and the trend was ambiguous as well.

Key words: information level, information sources, public goods and services,

1 ÚVOD

Les je pre verejnosť atraktívnym a výnimočným prostredím, ktoré je zároveň zdrojom poznania a prostriedkom relaxu. Dopyt po relaxácii v prírode sa v poslednom období neustále zvyšuje (KRISTRÖM, 2010). Pozitívny vzťah obyvateľstva k lesu, lesnému hospodárstvu a lesníkom pomáha budovať systematickú prácu s verejnosťou prostredníctvom médií, propagačno-náučných materiálov a rôznych podujatí. Svoju úlohu tu zohrávajú i niektoré mimovládne organizácie a združenia. Niektoré ovplyvňujú verejnosť veľmi pozitívne vrátane práce s mládežou, iné, ktoré často získavajú celkom ľahký prístup k informačným prostriedkom, skresľovaním či zamlčováním niektorých objektívnych skutočností vytvárajú nepravdivý obraz o lesníctve a lesnom prostredí. Dôležitá je i skutočnosť, že pre väčšinu spoločnosti je les iba miestom pre relaxáciu a iba pre malú časť spoločnosti je i prostriedkom obživy (NLP, 2007).

Jedným z dôležitých aktuálnych lesníckych problémov je nedostatočné ekonomické krytie spoločenskej objednávky na zabezpečovanie verejnoprospešných funkcií lesa,

ktoré lesné hospodárstvo (LH) poskytuje spoločnosti. Problém súvisí s nedostatočne rozvinutými a spoločnosťou neakceptovanými nástrojmi a mechanizmami na oceňovanie, kompenzáciu a obchodovanie s využívaním uvedených funkcií. Takisto existujú nepriaznivé predpoklady pre rozvoj a marketing nových produktov a služieb súvisiacich s lesom. Toto je sčasti kvôli štruktúre vlastníctva: dominuje vlastníctvo malých výmer lesa. Okrem toho inštitucionálny systém aktérov, ktorí by mali podporovať inovačné aktivity v sektore je skôr vláčný: existuje nedostatok explicitných inovačných politík v sektore a je nedostatok interakcií medzi lesníctvom a ostatnými sektormi, ktoré sú relevantné pre budúci rozvoj lesníctva (MAVSAR *a kol.*, 2008).

Možnosťou ako ekonomicky pokryť spoločenskú požiadavku na verejnoprospešné funkcie lesa je implementácia jednotlivých platobných mechanizmov. Platobné mechanizmy za netrhové statky a služby (verejnoprospešné funkcie lesa) sú väčšinou ekonomické nástroje, ktoré majú za cieľ internalizovať environmentálne náklady prostredníctvom finančných iniciatív. Mali by umožniť poskytovateľovi služieb (vlastníkovi lesa), obhospodarovať les bez nákladov, ktoré sú neprimerané získaným benefitom (Report to the Standing Forestry Committee, 2008).

Nepochopenie tohto stavu a postoj verejnosti k platbám za netrhové statky a služby je zapríčinený aj nedostatkom relevantných informácií, resp. zdrojmi z ktorých získava obyvateľstvo podstatné informácie o ekologických a sociálnych funkciách lesa. Hlavné problémy práce s verejnosťou a PR v lesníctve sú najmä (NLP, 2007):

- Chýbajúca koncepcia a stratégia komunikácie s verejnosťou,
- Komunikácia s verejnosťou bola dlho zanedbávaná a podceňovaná, čo spôsobuje slabú informovanosť verejnosti o dianí v lesníctve,
- Prevládajúce názory verejnosti o zlom stave a nevhodných spôsoboch hospodárenia v lesoch,
- Nevyriešené personálne zabezpečenie práce s verejnosťou, nedostatok profesionálnych skúseností v tejto oblasti,
- Chýbajúca koordinácia práce s verejnosťou; nedostatočná komunikácia a spolupráca medzi lesníckymi organizáciami,
- Nedostatočná komunikácia a kooperácia s organizáciami pôsobiacimi v oblasti životného prostredia, ochrany prírody a krajiny a mimovládnyimi organizáciami,
- Nedostatok finančných prostriedkov na prácu s verejnosťou, osvetu a propagáciu LH.

Z uvedených dôvodov sú informácie a zdroje informácií, ktoré dostáva široká verejnosť, veľmi podstatné a dôležité a môžu vo výraznej miere ovplyvňovať integráciu verejnoprospešných funkcií lesa do trhového mechanizmu. Bez pochopenia u širokej verejnosti integrácia verejnoprospešných funkcií lesa do trhového mechanizmu nebude jednoduchá a môže zlyhať.

2 PROBLEMATIKA

Lesy poskytujú úžitky, ktoré sú nevyhnutné pre prežitie ľudí, resp. ich blahobyt. V súčasnosti väčšina verejnoprospešných funkcií lesa nie je súčasťou trhu a sú bezplatné (KEMKES – FARLEY – KOLIBA, 2010). Integrácia verejnoprospešných funkcií lesa

do trhového mechanizmu závisí do značnej miery od preferencií ľudí, resp. či je konkrétna funkcia pre obyvateľstvo atraktívna a či by bolo aj ochotné ju akceptovať ako trhový statok alebo službu. Vo všeobecnosti možno konštatovať, že preferencie ľudí závisia od poznatkov a informácií o posudzovanej veci (LEWAN – SÖDERQVIST, 2002). Kvantitatívnu a kvalitatívnu analýzu monitoringu médií ako je televízia, rozhlas a tlačové médiá v roku 2010 sa dokázalo, že lesnícke témy nie sú verejnosti vhodne prezentované a účasť aktérov z radov lesníkov nie je adekvátne, alebo efektívna. (SARVAŠOVÁ – KOLLÁRIKOVÁ, 2010). Asi štvrtina lesníkov považuje informovanosť o lesníckych témach vo verejnosti za uspokojivú, ale až 66 % za nedostatočnú (SARVAŠOVÁ, 2009).

Takisto dôležitou oblasťou sú informácie, ktoré sa dostávajú k politikom a osobám, ktoré majú vplyv na prijímanie rozhodnutí vo vzťahu k lesníctvu. TURNER *a kol.* (2003) uvádza, že odborné informácie a zdroje informácií, ktoré sú k dispozícii pre politikov a manažérov (napr. aj pre obhospodarovateľov lesa) vzrástli a zlepšili sa hlavne za posledných 30 rokov, najmä z dôvodu, že environmentálna ekonomika dosiahla výrazný progres v metódach hodnotenia environmentálnych zdrojov.

Cieľom tohto príspevku je na príklade analyzovať vzťah medzi zdrojmi informácií a stupňom informovanosti obyvateľstva o lese a hodnotením, či využívaním verejnoprospešných funkcií lesa. Pri určení závislosti medzi informovanosťou obyvateľstva, resp. zdrojmi informácií a hodnotou rekreačnej funkcie lesov sa využili výsledky hodnotenia zo Slovenska podľa Contingent Valuation Method (pozri napr. MITCHELL – CARSON, 1989) a Travel Cost Method (pozri napr. LÖWENSTEIN, 1994), návštevnosťou lesov, dĺžkou návštevy lesa a ďalšími charakteristikami rekreačného využívania lesov obyvateľstvom.

3 MATERIÁL A METODIKA

3.1 Zdroj údajov

Ako zdroj údajov slúžil anketový prieskum. Predmetom prieskumu bolo zistiť údaje o návštevnosti lesa za účelom rekreácie. Jednalo sa o ukazovatele ako: počet návštev za predchádzajúci rok, dĺžka návštevy lesa, trvanie cesty z miesta bydliska do lesa a socio-ekonomické údaje ako je vek, príjem respondenta, príp. veľkosť obce, v ktorej respondent žije. Takisto sa zisťovali údaje pre stanovenie rekreačnej hodnoty lesov SR prostredníctvom Contingent Valuation Method (WTP) a Travel Cost Method (dopravný prostriedok, cestovné a ostatné náklady). Cieľová skupina bola výberová vzorka obyvateľstva Slovenska. Jednotlivé ankety boli realizované v roku 2006 (1. séria), v roku 2007 (2. séria) a v roku 2008 (3. séria) metódou osobného interview (face-to-face) na reprezentatívnej vzorke obyvateľstva celého územia SR nad 14 rokov mediálnou agentúrou a vyskolenými študentmi a bývalými pracovníkmi Lesníckeho výskumného ústavu Zvolen. Celkovo sa zozbieralo **4 668 dotazníkov**.

Pre dosiahnutie reprezentatívnosti realizovaného dotazníkového prieskumu sa na základe konzultácií s mediálnou agentúrou stanovili tri hlavné kritéria: vek respondentov, pohlavie respondentov a pokiaľ možno rovnomerné rozmiestnenie po celom Slovensku (KOVALČÍK, TUTKA, 2009).

Podľa veku sa respondenti rozdelili do troch kategórií: 14–30 rokov, 31–50 rokov a nad 51 rokov. Priemerný vek respondentov bol 39 rokov, čo je v porovnaní s priemer-ným vekom obyvateľstva SR 38 rokov v roku 2007 skoro zhodné, resp. sa podarilo dodr-žať tento ukazovateľ (tabuľka 1).

Tabuľka 1 Veková štruktúra respondentov

Table 1 Age structure of respondents

Vek	Dotazníkový prieskum 2006		Dotazníkový prieskum 2007		Dotazníkový prieskum 2008		Slovensko (≥14 r.) 2007	
	n	%	n	%	n	%	n	%
14–30	564	39,89	622	36,27	508	36,78	1 458 324	31,55
31–50	444	31,40	589	34,34	469	33,96	1 581 311	34,21
nad 51	406	28,71	504	29,34	404	29,26	1 582 565	34,24
Spolu	1 414	100	1 715	100	1 381	100	4 622 200	100

Čo sa týka pohlavia, vo vzorke mierne prevládali ženy nad mužmi vo všetkých ro-koch, čo ale korešponduje s priemerom za celé Slovensko a rozdiely sú minimálne (ta-buľka 2).

Tabuľka 2 Štruktúra respondentov podľa pohlavia

Table 2 Structure of respondents according to gender

Pohlavie	Dotazníkový prieskum 2006		Dotazníkový prieskum 2007		Dotazníkový prieskum 2008		Slovensko (≥14 r.) 2007	
	n	%	n	%	n	%	n	%
ženy	725	50,98	931	53,78	700	50,03	2 398 201	51,88
muži	697	49,02	800	46,22	699	49,97	2 223 999	48,12
Spolu	1 422	100	1 731	100	1 399	100	4 622 200	100

V štruktúre respondentov podľa jednotlivých regiónov Slovenska prevládajú respon-denti zo Stredného Slovenska (viac ako 50 %), avšak respondenti pochádzali zo 72 okre-sov Slovenska (tabuľka 3).

Tabuľka 3 Štruktúra respondentov podľa regiónov Slovenska

Table 3 Structure of respondents according to region of Slovakia

Región	Dotazníkový prieskum 2006		Dotazníkový prieskum 2007		Dotazníkový prieskum 2008		Slovensko 2007	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Západné Slovensko	250	17,60	284	17,58	304	21,71	1 866 000	34,61
Stredné Slovensko	819	57,68	1 047	57,80	716	51,14	1 953 000	36,20
Východné Slovensko	351	24,72	397	24,68	380	27,15	1 575 000	29,20
Spolu	1 420	100	1 728	100	1 400	100	5 394 000	100

3.2 Metodika hodnotenia vplyvu informácií na hodnotu rekreačnej funkcie lesov

Z databázy údajov z dotazníkového prieskumu sa spracovali údaje o informovanosti obyvateľstva o lese a lesnom hospodárstve, zdrojoch informácií, hodnote rekreačnej funkcie podľa Contingent Valuation Method (CVM) a Travel Cost Method (TCM), výške podielu z 2 % poukázanej dane na osobitné účely pre LH, návštevnosti lesov, dĺžke návštevy lesa, trvaní cesty pri návšteve lesa. Takisto sa spracovali socio-ekonomické údaje ako je vek respondenta, pohlavie, príjem, vzdelanie, bydlisko a pod. Vybrané štatistické charakteristiky sú uvedené v tabuľke 4.

Tabuľka 4 Štatistické charakteristiky vybraných ukazovateľov
Table 4 Statistical characteristics of the selected indicators

Ukazovateľ	Jednotka	n	$\bar{x}$	Sm. odchýlka	Var. koeficient
Hodnota podľa CVM	Sk/rok/resp.	3 211	668	1 209	181 %
Hodnota podľa TCM	Sk/rok/resp.	4 170	1 126	5 960	529 %
Odvedené 2 % dane	%/resp.	3 948	1,16	0,81	70 %
Návštevnosť	Počet	4 663	32	69	216 %
Dĺžka návštevy	Min.	4 621	167	152	91 %
Trvanie cesty	Min.	4 588	56	66	118 %

Na základe týchto informácií sa následne vyhodnotil vzťah, resp. závislosť medzi informovanosťou obyvateľstva, resp. zdrojmi týchto informácií a hodnotou rekreačnej funkcie lesov podľa CVM a TCM, návštevnosťou lesov, dĺžkou návštevy lesa a inými charakteristikami. Zdroje informácií sa rozdelili do skupín podľa ich charakteru: odborné lesnícke (respondenti získavajú podstatné informácie o lese od lesníka, lesníckych alebo poľovníckych organizácií), všeobecné (informácie pochádzajú z novín, časopisov, televízie, rozhlasu a internetu) a odborné ochranárske (respondenti získavajú podstatné informácie o lese od ochranárskych organizácií). Vzhľadom na fakt, že respondenti mohli uviesť viac zdrojov informácií, sa vytvorili aj prechodné kategórie, resp. špeciálna kategória ak respondent uviedol všetky skupiny zdrojov informácií. Pre kvantitatívnu analýzu sa použila jednofaktorová analýza variancie (ANOVA).

4 VÝSLEDKY

4.1 Informovanosť

Takmer polovica opýtaných (45 %) hodnotí svoju *informovanosť o problematike lesa* za **priemernú** a štvrtina respondentov za slabú. Len necelé 4 % respondentov pokladá úroveň svojej informovanosti o lese za vynikajúcu a naproti tomu okolo 8 % ju pokladá za nedostatočnú. Zo všetkých respondentov, ktorí majú vynikajúcu informovanosť predstavujú takmer tri štvrtiny muži, takmer polovica z nich je vo veku do 30 rokov a má stredoškolské vzdelanie s maturitou.

Tabuľka 5 Informovanosť obyvateľstva o lese a LH

Table 5 Information level of population on forests and forestry

Informovanosť	2006		2007		2008		Spolu 2006–2008	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Vynikajúca	56	3,68	65	3,79	52	3,74	173	3,74
Dostatočná	276	18,12	303	17,67	260	18,72	839	18,13
Priemerná	667	43,80	792	46,18	653	47,01	2 112	45,65
Slabá	374	24,56	432	25,19	333	23,97	1 139	24,62
Nedostatočná	150	9,84	123	7,17	91	6,55	364	7,87
Spolu	1 523	100	1 715	100	1 389	100	4 627	100

4.2 Zdroje informácií

Dve tretiny zo všetkých respondentov uvádzajú, že podstatné *informácie o problematike lesov* dostávajú **zo všeobecných médií** ako je televízia, rozhlas, noviny, časopisy a internet. Viac ako pätina dostáva relevantné informácie o lese rovnako z odborných lesníckych prípadne poľovníckych zdrojov (ako aj zo všeobecných médií). Odborné ochrannárske zdroje informácií, prípadne v kombinácii so všeobecnými médiami boli zastúpené pomerne slabo (tabuľka 6).

Viac ako dve tretiny respondentov (69 %) využilo možnosť navrhnúť spôsoby zlepšenia informovanosti o lese. Spomedzi veľmi rôznorodých riešení najvýraznejšie zarezonovala medializácia lesnej problematiky v masmédiách, predovšetkým v televízii, ďalej systematická výchova v rodine i škole, celospoločenská osвета, vyššia angažovanosť obcí, podpora lesníckych a ochrannárskych organizácií i praktické umiestnenie informačných tabulí pri vstupe do lesa, či organizovanie vedomostných súťaží o tejto problematike.

Tabuľka 6 Zdroje informácií obyvateľstva o lese a LH
Table 6 Information sources on forests and forestry

Zdroje informácií	2006		2007		2008		Spolu 2006–2008	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Odborné lesnícke	126	8,51	52	3,13	45	3,35	223	4,97
Odb.lesn/Všeobecné	309	20,88	357	21,49	278	20,70	944	21,05
Všeobecné	799	53,99	1 074	64,66	908	67,61	2 781	62,02
Všeobecné/Odb. ochran.	101	6,82	76	4,58	7	0,52	184	4,10
Odborné ochrannárske	21	1,42	4	0,24	38	2,83	63	1,40
Rôzne zdroje	124	8,38	98	5,90	67	4,99	289	6,45
Spolu	1 480	100	1 611	100	1 343	100	4 484	100

4.3 Závislosť vybraných ukazovateľov rekreačnej funkcie a informovanosti

Ako sme mohli vidieť pri analýze informovanosti obyvateľstva o lese a LH, väčšina respondentov uviedla, že je priemerná a okolo 30 % respondentov, že je slabá, resp. nedostatočná. Ako táto skutočnosť vplýva na návštevnosť lesa a vybrané ukazovatele hodnotenia rekreačnej funkcie lesov Slovenska sa analyzovalo prostredníctvom závislosti stupňa informovanosti a priemernej hodnoty týchto vybraných ukazovateľov na základe analýzy variancie (tabuľka 7).

Informovanosť mala významný vplyv na hodnotu rekreačnej funkcie lesov podľa CVM a podľa TCM. Ak bola informovanosť respondentov vyššia, boli ochotní poukázať aj vyšší podiel z odvodených 2 % zaplatených daní. Viac informovaní respondenti navštevujú častejšie les a aj dĺžka návštevy je vyššia. Naproti tomu informovanosť nemala vplyv na trvanie cesty do lesa za účelom jeho návštevy (tabuľka 7).

Tabuľka 7 Závislosť vybraných ukazovateľov a informovanosti
Table 7 Dependence between selected indicators and information level

Ukazovateľ	Vynikajúca	Dostatočná	Priemerná	Slabá	Nedostatočná	F	p
Hodnota podľa CVM	1 222	913	623	528	540	14,97	0,00
Hodnota podľa TCM	3 208	1 274	902	1 136	1 135	5,31	0,00
Odvedené 2 % dane	1,43	1,32	1,15	1,05	0,99	19,33	0,00
Návštevnosť	84	50	28	21	23	51,87	0,00
Dĺžka návštevy	219	184	164	155	156	10,16	0,00
Trvanie cesty	49	55	55	57	57	0,53	0,71

4.4 Závislosť zdroja informácií a vybraných ukazovateľov rekreačnej funkcie

V ďalšom kroku sa analyzoval zdroj informácií a jeho vplyv na tie isté ukazovatele rekreačnej funkcie lesov Slovenska. Ako môžeme vidieť v tabuľke 8, zdroj informácií mal významný vplyv na hodnotené ukazovatele. Na základe toho sa dá konštatovať, že hodnota rekreačnej funkcie lesov podľa CVM a TCM bola najvyššia u respondentov, ktorí získavajú informácie najmä z odborných lesníckych, resp. poľovníckych zdrojov. U ostatných zdrojov informácií sú rozdiely výrazne, avšak trend nie je jednoznačný. To isté platí aj u odvodených 2 % daní, návštevnosti lesa a dĺžke návštevy. Najmenšie rozdiely boli pri ukazovateli trvanie cesty do lesa (tabuľka 8).

Tabuľka 8 Závislosť vybraných ukazovateľov a zdroja informácií
Table 8 Dependence between selected indicators and information source

Ukazovateľ	Odborné lesnícke	Odb. lesn / Všeobecné	Všeobecné	Všeobecné / Odb. ochran	Odborné ochrannárske	F	p
Hodnota podľa CVM	1 098	675	583	736	634	6,57	0,00
Hodnota podľa TCM	3 469	1 442	802	1 245	814	10,99	0,00
Ovodené 2 % dane	1,28	1,18	1,12	1,30	1,10	3,45	0,01
Návštevnosť	70	41	23	38	12	38,69	0,00
Dĺžka návštevy	221	165	156	225	134	19,24	0,00
Trvanie cesty	58	50	58	54	57	2,97	0,02

5 DISKUSIA A ZÁVER

Doposiaľ sa na Slovensku, ale ani v ďalších európskych krajinách nevytvoril systém trhovej realizácie väčšiny nedrevných lesných produktov, lesníckych služieb a verejnoprospešných funkcií lesa. Týka sa to najmä využívania klimatických, hydrických, rekreačných a prírodno-ochranných funkcií, ktorých udržiavanie a posilňovanie spôsobuje majetkovú ujmu alebo zvýšené náklady vlastníkov a obhospodarovateľov lesov (MORAVČÍK *a kol.*, 2008). Funkcie lesa, hmotného i nehmotného charakteru, okrem dreva a poľovnej zveri, sa väčšinou považujú iba za súbežné efekty drevoprodukčnej funkcie lesa, resp. pozitívne externality lesnej výroby, ktoré nie sú predmetom trhu a nezohľadňujú sa ani v cenách drevných a nedrevných tovarov. Preto osвета, práca s verejnosťou a komunikácia môže zmeniť preferencie a chápanie problematiky integrácie verejnoprospešných funkcií lesa do trhového mechanizmu. Respondenti vo všeobecnosti nemajú poznatky o ekosystémových službách a majú problém vyjadriť preferencie, resp. dôležitosť jednotlivých funkcií z ich vlastného pohľadu. Skôr naopak, berú prírodu ako celok a tak ju aj posudzujú (LEWAN – SÖDERQVIST, 2002).

Na základe analýzy informovanosti a zdrojov informácií návštevníkov lesa možno konštatovať tieto závery:

- Takmer polovica respondentov hodnotí svoju **informovanosť o problematike lesa** za **priemernú** a štvrtina respondentov za slabú. Len necelé 4 % respondentov pokladá úroveň svojej informovanosti o lese za vynikajúcu a naproti tomu okolo 8 % ju pokladá za nedostatočnú.
- Dve tretiny zo všetkých respondentov uvádza, že podstatné **informácie o problematike lesov** dostáva **zo všeobecných médií** ako je televízia, rozhlas, noviny, časopisy a internet.
- Viac ako pätina dostáva relevantné informácie o lese rovnako z odborných zdrojov (lesnícke prípadne poľovnícke organizácie a združenia) ako aj zo všeobecných médií (televízia, rozhlas, noviny, časopisy a internet).
- Informovanosť mala významný vplyv na hodnotu rekreačnej funkcie lesov podľa Contingent Valuation Method a podľa Travel Cost Method.
- Ak bola informovanosť respondentov vyššia, boli ochotní poukázať aj vyšší podiel z odvodených 2 % zaplatených daní.
- Viac informovaní respondenti navštevujú častejšie les a aj dĺžka návštevy je vyššia. Naproti tomu informovanosť nemala vplyv na trvanie cesty do lesa za účelom jeho návštevy.
- Zdroj informácií mal významný vplyv na hodnotené ukazovatele, ale nepreukázal sa jednoznačný trend ako pri informovanosti.
- Hodnota rekreačnej funkcie lesov podľa CVM a TCM ako aj ostatných ukazovateľov bola najvyššia u respondentov, ktorí získavajú informácie najmä z odborných lesníckych, resp. poľovníckych zdrojov.

Tieto závery potvrdili potrebu realizáciu opatrení, ktoré sú navrhnuté v Stratégia rozvoja lesníctva, kde sa uvádza, že na dosiahnutie trhovej realizácie verejnoprospešných funkcií lesa bude treba v oblasti práce s verejnosťou, informovanosti a osvetu (MORAVČÍK a kol., 2008):

- Vypracovať postupy a argumentačnú bázu pre propagáciu významu funkcií lesov pre laickú a odbornú verejnosť a politikov.
- Zabezpečovať osvetu, a s tým súvisiace zvyšovanie povedomia spoločnosti o celom rozsahu funkcií, ktoré les plní a spoločnosť využíva.
- Lepšou komunikáciou a kooperáciou zlepšovať obraz lesníctva na verejnosti a vytvárať tak priaznivú klímu pre akceptáciu oprávnených lesníckych požiadaviek verejnosťou – a následne ich legislatívne presadenie.
- Vypracovať a realizovať komplexnú stratégiu a vytvorenie zodpovedajúcich inštitucionálnych podmienok na zabezpečenie systematickej práce s verejnosťou s cieľom zvýšenia povedomia o prínosoch trvalo udržateľného hospodárenia v lesoch pre spoločnosť a dosiahnutia pozitívneho vzťahu obyvateľstva k lesu, lesnému hospodárstvu a lesníkom.
- Zlepšiť koordináciu a spoluprácu pri práci s verejnosťou medzi lesníckymi i nelesníckymi mienkotvornými organizáciami v oblasti lesníctva.

- Zlepšiť finančné a organizačné zabezpečenie práce s verejnosťou so zameraním na jej profesionalizáciu a častejšie prezentovať prácu lesníkov prostredníctvom masovoko-munikačných prostriedkov.

Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Centrum excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy, aktivita 4.3: Integrácia verejnoprospešných funkcií lesa do trhového mechanizmu ITMS: 26220120006, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

- KEMKES, J.R., FARLEY, J., KOLIBA, CH.J., 2010: Determining when payments are an effective policy approach to ecosystem service provision, *Ecological Economics* 69, p. 2069–2074.
- KOVALČÍK, M., TUTKA, J., 2009: Hodnotenie rekreačnej funkcie lesov SR preferenčnými metódami. In: Aktuálne otázky ekonomiky lesného hospodárstva SR: Recenzovaný zborník z odborného seminára, Zvolen 21.–22. október 2009, Zvolen: Národné lesnícke centrum, s. 115–128. ISBN 978-80-8093-102-5.
- KRISTRÖM, B., 2010: CBA and forest economics, *Journal of Forest Economics*, doi: 10.1016/j.jfe.2010.11.001, v tlači.
- LEWAN, L., SÖDERQVIST, T., 2002: Knowledge and recognition of ecosystem services among the general public in a drainage basin in Scania, Southern Sweden, *Ecological Economics* 42, p. 459–467.
- LÖWENSTEIN W., 1994: Reisekostenmethode und bedingte Bewertungsmethode, Ein ökonomischer und ökonometrischer Vergleich, *Schriften zur Forstökonomie*, J.D. Sauerländer's Verlag Frankfurt/Main, 206 s., ISBN 3-7939-7006-X.
- MAVSAR, R. *et al.*, 2008: Study on the Development and Marketing of Non-Market Products and Services, DG AGRI, Study Contract N: 30-CE-0162979/00-21, Study report, November 2008, 127 s.
- MITCHELL, R.C., CARSON, R.T., 1989: Using Surveys to Value Public Goods: The Contingent Valuation Method. *Resources for the Future*, Washington D.C., 463 s.
- MORAVČÍK, M., *a kol.*, 2008: Stratégia rozvoja lesníctva: Správa za úlohu riešenú v roku 2008 v rámci Kontraktu, ktorý bol uzavretý medzi MP SR a NLC., NLC-LVÚ Zvolen, 2008, 85 s.
- NLP SR, 2007: Národný lesnícky program Slovenskej republiky: Prístupné na <http://www.nlcsk.sk/files/1279.pdf> (28. 02. 2011)
- REPORT TO THE STANDING FORESTRY COMMITTEE, 2008: Valuation and Compensation Methods for Non-wood Forest Goods and Services, Report of the Standing Forestry Committee ad hoc Working Group on Valuation nad Compensation Methods for Non-wood Forest Goods and Services, November 2008, 41 s.
- SARVAŠOVÁ, Z., 2009: Využitie informačných nástrojov v problematike rekonštrukcií nepôvodných lesných spoločenstiev, In: ŠEBEŇ, V., HLÁSNY, T., LEONTOVÝČ, R., KULLA, L. *et al.*: Rekonštrukcie nepôvodných lesných spoločenstiev ohrozených zmenou prírodných podmienok (najmä klímy) na ekologicky stabilnejšie ekosystémy. Zvolen : NLC-LVÚ, 2009, 235 s. + prílohy.
- SARVAŠOVÁ, Z., KOLLÁRIKOVÁ, Z., 2010: Aký si vytvára verejný obraz o lesníctve?. In: *Les & Letokruhy*, 11-12/2010, s. 35–36.
- TURNER, R.K., PAAVOLA, J., COOPERA, P., FARBER, S., JESSAMA, V., GEORGIU, S., 2003: Valuing nature: lessons and future research directions, *Ecological economics* 46, s. 493–510.

Adresa autorov:

Ing. Miroslav Kovalčík, PhD.

Ing. Zuzana Sarvašová, PhD.

Ing. Jozef Tutka, CSc.

Národné lesnícke centrum

Lesnícky výskumný ústav Zvolen

T. G. Masaryka 22

960 92 Zvolen

e-mail: mkovalcik@nlcsk.org

sarvasova@nlcsk.org

tutka@nlcsk.org

Informácie a integrácia verejnoprospešných funkcií lesa do trhového mechanizmu

Abstrakt

Príspevok prezentuje výsledky empirickej štúdie realizovanej v rokoch 2006, 2007 a 2008 o stupni informovanosti a zdrojoch informácií o lesoch a lesníctve. Celkovo bolo vyplnených 4 668 dotazníkov. Hlavným cieľom tejto štúdie bola analýza vzťahu stupňa informovanosti a zdrojov informácií na jednej strane a vybraných aspektov rekreačného využívania lesov (hodnota rekreácie podľa Contingent Valuation Method a Travel Cost Method, návštevnosť, dĺžka návštevy a iné) na strane druhej. Výsledky ukázali, že poväčšinou respondenti hodnotia svoju informovanosť ako dobrú a dve tretiny respondentov získava informácie z médií ako je televízia, rádio alebo internet. Analýza viedla k nasledujúcim záverom:

- stupeň informovanosti významne vplýva na hodnotu rekreačného využívania lesov stanovenú podľa Contingent Valuation Method a Travel Cost Method, a takisto aj na ostatné hodnotené faktory rekreačného využívania lesov,
- ak bol stupeň informovanosti vyšší, respondenti navštevovali les častejšie a dĺžka návštevy bola dlhšia,
- zdroje informácií mali nižší vplyv na hodnotené faktory a aj trend bol nejednoznačný.

Kľúčové slová: stupeň informovanosti, zdroje informácií, verejné statky a služby

STRATÉGIE PRE POSILNENIE MEDZISEKTOROVÝCH VZŤAHOV LESNÍCTVA A DREVÁRSTVA

Martin M O R A V Č Í K – Zuzana S A R V A Š O V Á –
– Miroslav K O V A L Č Í K – Marián R A D O C H A

Moravčík, M., Sarvašová, Z., Kovalčík, M., Radocha, M.: Strategies of strengthening the intersectoral collaboration of forestry and wood processing industry. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, 53(1): 213–231, 2011.

Strengthening intersectoral collaboration is one of the most important issue for improving the competitiveness and economic viability of forestry. Experience in cross-sectoral cooperation reveal numerous problems: low cohesion of forest policy with related policies, lack of cooperation, coordination and communication as well as the low level of knowledge goals, values and causes of behaviour of related entities. Current status of cross-sectoral relations of forestry and wood processing industry is evaluated through a SWOT analysis and different strategies in the area of timber production, logistics and innovation were proposed, which should improve cross-sectoral cooperation of forestry and wood processing industry.

Demand for wood as a renewable raw material is increasing worldwide. Based on the general development trends can be said that its importance as well as the demand will grow in future, particularly because of increasing world population and living standards in developing countries, support the use of wood for energy purposes and due to other factors. Therefore development of forest monitoring, adaptation of forests to impacts of climate change and wood mobilization will be important strategies to meet the growing demand and maintain good relations to wood processing industry.

The current globalization is constantly pushing to reduce costs and increase efficiency of all production activities. The same is essential for forestry sector as well as wood processing industry. Efficiency of supply chain management can be improved by using modern software technologies. Modern logistics computer applications have already found their way into forestry. As an example Scandinavian countries could be mentioned (CARLSSON, RÖNNQUIST, 2005). These sophisticated techniques have cost saving potential and thus to increase efficiency of logistics (TRONCOSO, Garrido, 2005; FRISK, GÖTHE-LUNDGREN, JORNSTEN, RÖNNQVIST, 2010; SARAC, ABSI, DAUZERE-PÉRES, 2010).

Important part of improving competitiveness of forestry is innovation and its implementation in wood flow chain. To support research and technological development of new products and services, development markets for these products as well as education on innovation activities is needed in this area.

All proposed strategies are involved in current forest documents such as Agricultural Development Policy for 2007–2013 – part Forestry, National Forest Programme of the Slovak Republic (MORAVČÍK, NOVOTNÝ, TOMA (eds.), 2007), Strategy of forestry development (MORAVČÍK *et al.*, 2008) and others.

Key words: forestry, wood processing industry, intersectoral cooperation

1 ÚVOD A PROBLEMATIKA

Posilňovanie medzisektorovej spolupráce je jedným z najdôležitejších predpokladov zvyšovania konkurencieschopnosti a ekonomickej životaschopnosti lesníctva. Činnosti a opatrenia realizované inými sektormi, odvetviami, či záujmovými skupinami často ovplyvňujú schopnosť a možnosti lesov a lesníctva plniť svoje základné funkcie a ciele. Taktiež implementácia lesníckej politiky ovplyvňuje súvisiace odvetvia a rezorty. Doterajšie skúsenosti z medzisektorovej spolupráce poukazujú na množstvo problémov. Sú to najmä: súčasná nepreviazanosť lesníckej politiky so súvisiacimi politikami, nedostatočná kooperácia, koordinácia a komunikácia rezortov a odvetví a ďalších skupín zainteresovaných v lesníctve, ako aj nízka úroveň poznania cieľov, hodnôt a príčin správania sa súvisiacich subjektov. Z uvedených dôvodov vyplýva nevyhnutnosť prioritného riešenia tejto problematiky aj v rámci medzisektorových vzťahov lesníctva a drevospracujúceho priemyslu (DSP).

Produkcia dreva

Lesné hospodárstvo disponuje vysokým potenciálom kvalitných výrobkov a služieb. Záujem spoločnosti o ich poskytovanie sa neustále zvyšuje. Okrem nedrevných tovarov a služieb možno pozorovať aj zvyšovanie spotreby dreva. Produkcia dreva je najvýznamnejším ekonomickým zdrojom lesníctva. Zabezpečuje pre lesné hospodárstvo približne 80 % tržieb a výnosov. Aj v budúcnosti sa predpokladá využívanie predovšetkým obnoviteľných zdrojov, preto drevo a výrobky z neho majú veľkú perspektívu. Pri rešpektovaní zásad trvalo udržateľného hospodárenia v lesoch je to obnoviteľná surovina, bez nebezpečenstva jej vyčerpania.

V súčasnosti možno na Slovensku sledovať mierne zvyšovanie výmery lesných pozemkov. Okrem toho sa na výmere 275 tis. ha ($\pm 3,7\%$) poľnohospodárskych a ostatných pozemkov vyskytujú lesné dreviny (tzv. *biele plochy*) (NIML SR, 2007), čo je niekoľkonásobne viac v porovnaní s doteraz uvádzanými odhadmi.

Zásoba dreva v lesoch SR sa tiež zvyšuje a v roku 2009 dosiahla 456,4 mil. m³ hrubiny bez kôry (hr. b. k.), čo je v porovnaní s rokom 1990 viac o 31 %, resp. s rokom 2000 viac o 11,3 %. Priemerná zásoba na ha je 237 m³. Podľa údajov NIML SR (2007) je zásoba hr. b. k. ešte vyššia, a to: 574,4 $\pm$ 12,1 mil. m³. Zvyšovanie zásob dreva súvisí najmä s aktuálnym vekovým zložením lesov (vyššie než normálne zastúpenie predrubných porastov 50 až 100-ročných), uplatňovaním nových rastových tabuliek od roku 1993, čím sa spresnili zásoby dreva na Slovensku, ako aj vplyvom celkových zmien prostredia (MORAVČÍK, 2003).

Celkový bežný prírastok (CBP) dreva je v súčasnosti 12 mil. m³ ročne. Je vyšší než ťažba dreva, ktorá predstavuje okolo 60–65 % objemu prírastku. Súvisí to tiež s vekovým zložením lesov (vyššie plošné zastúpenie lesov v predrubnom a nižšie zastúpenie v rubnom veku). V spojení s predpokladanými rastúcimi ťažbovými možnosťami sa bude podiel ťažby na prírastku zvyšovať (MORAVČÍK *et al.*, 2010). Vývoj vekového zloženia lesov,

CBP, ťažbových možností a skutočnej ťažby dreva bude v značnej miere ovplyvňovať rozsah kalamít, náhodných ťažieb a spôsob regulácie ťažby dreva.

Pri uspokojovaní rastúcej požiadavky spoločnosti po dreve treba väčšiu pozornosť venovať jeho efektívnemu využívaniu. V lesoch na Slovensku je vysoký objem odumretého dreva. Jeho celková zásoba (sucháre, pne, ležanina a tenké odumreté drevo) je 81,9 mil. m³. V prepočte na ha to je 37,7 m³ (NIML SR, 2007). K zintenzívneniu produkcie môže prispieť tiež lepšie využívanie zvyškov po ťažbe (tenké drevo, vetvy, pne, poškodené stromy). Menej kvalitnú drevnú biomasu z týchto zdrojov možno využiť najmä na energetické účely. Týka sa to tiež zásoby dreva na *bielych plochách*, ktorá dosahuje objem okolo 36,5 mil. m³ hr. b. k. (NIML SR, 2007). Doposiaľ na Slovensku chýbajú informácie o zásobách dreva jednotlivo, skupinovo, či v radoch vyskytujúcich sa stromov a krov.

Logistika

Do roku 1990 štát obhospodaroval všetky lesy. Vlastnil drevospracujúce a dopravné spoločnosti a centrálné plánoval dodávky dreva od producentov k spotrebiteľom. Viac ako 70 % sortimentov surového dreva a výrobkov z dreva sa dopravovalo po železnici. Logistika sa plánovala podľa štátnych záujmov. Po roku 1990 sa v dôsledku spoločensko-ekonomických zmien lesné hospodárstvo, drevospracujúci priemysel a dopravné spoločnosti rozdrobili; zvýšil sa počet vlastníkov lesa. S týmto súvisí aj decentralizácia výrobných aktivít.

Tieto skutočnosti ovplyvnili podstatným spôsobom logistiku a viac ako 85 % dreva a výrobkov z neho sa v súčasnosti dopravuje cestnou dopravnou sieťou. Hustota lesných ciest na Slovensku je 10,6 m/ha, resp. 18,5 m/ha vrátane zväžnic. Hlavne v horských oblastiach je ich hustota nedostatočná, čo zhoršuje dopravnú dostupnosť dreva a zvyšuje náklady. Priemerné náklady ťažbových činností na m³ dreva sú 21,8 €/m³, čo je 64 % z priemernej ceny surového dreva (ZELENÁ SPRÁVA, 2010). Nedostatočná hustota a kvalita lesných ciest vedie k zvyšovaniu vzdialenosti približovania dreva z miesta ťažby na miesto odvozu. Preto prevláda kmeňová metóda a približovanie dreva traktorom na odvozné miesto (MORAVČÍK, NOVOTNÝ, TOMA (eds.), 2007). Kombinované približovanie dreva traktorom a lanovkou má podiel okolo 5 %. Objem dodávateľských prác v ťažbe a približovaní dreva sa zvyšuje v štátnom i neštátnom sektore. V roku 2009 to bolo skoro 100 %. Súčasná strojno-technologická vybavenie prevažne nezodpovedá potrebám rozvoja moderných ekologických technológií. Veľká časť používanej techniky je fyzicky a morálne zastaraná. Hlavnými príčinami tohto stavu sú najmä: reštitúcie a z toho vyplývajúca rozdrobenosť lesných majetkov, nedostatok vlastných finančných zdrojov na nákup modernej techniky a odkázanosť na dovozy strojov a zariadení zo zahraničia (MORAVČÍK, NOVOTNÝ, TOMA (eds.), 2007).

DSP je dominantný aktér, ktorý spracuje približne 65 % vyprodukovaného dreva. Jeho ročný export je okolo 35 % z dodávok dreva s klesajúcim trendom v poslednom období. Import dreva je pomerne nízky, okolo 2 % z objemu domácich dodávok dreva. Ročný export reziva je v rozpätí od 23 % až do 68 % a tiež klesá. Import reziva je relatívne nízky,

2 až 4 %. Drevo dopravujú zvyčajne lesné podniky na sklady drevospracujúcich firiem. V tejto oblasti je nedostatočná kooperácia a výmena informácií medzi lesníckym sektorom a DSP, a tiež nedostatočná spolupráca medzi drevospracujúcimi podnikmi v zmysle možnosti synergii, vzájomnej spolupráce a spoločných investícií. Dôsledky tohto stavu sa prejavili počas súčasnej ekonomickej a finančnej krízy, keď rapídne padli ceny a bol nízky dopyt po dreve. Tento stav zapríčinil existenčné problémy mnohých lesných podnikov. Takisto kooperácia medzi dopravnými spoločnosťami nie je dostatočná (len niektoré spoločnosti sú členovia Únie dopravcov Slovenska). Väčšie DSP a väčší dopravcovia využívajú moderné technológie na organizáciu a manažment logistiky. Malé podniky a individuálni dopravcovia nevyužívajú GIS za účelom optimalizácie dopravy, ale často využívajú priamu komunikáciu.

V súčasnosti sa nerobia analýzy pohybu dreva, ktoré by identifikovali miesta, kde je dostatok drevnej hmoty a lokality, kde je vysoká koncentrácia DSP a aj vysoký dopyt po drevnej hmote. K dispozícii sú hlavne údaje o pohybe drevnej hmoty od producentov surového dreva k spracovateľom. Chýbajú ale údaje o produktoch z dreva. Z tohto dôvodu je možné spraviť len hrubý odhad pohybu produktov z dreva.

Inovácie

Pre hospodársky rast a rozvoj sú zásadné inovácie. Za technické inovácie v tradičnom chápaní sa označuje prvé použitie vedeckých alebo technických znalostí, ktoré má komerčný úspech. Lesníctvo sa často považuje za tzv. „*low-tech*“ priemysel, ktorý investuje pomerne málo do výskumu, vývoja a inovácií a je predovšetkým ich užívateľom. Má však podstatný význam ako zdroj príjmov pre vlastníkov lesov a pre obyvateľov vidieckych oblastí.

Reštrukturalizácia lesníctva a vývoj cien dreva majú tendenciu negatívne ovplyvňovať najmä zamestnanosť. Na kompenzáciu týchto negatívnych vplyvov je potrebné efektívne využívanie inovácií produktov a služieb, založené na multifunkčnom využívaní lesov. Prostredníctvom inovácií sa zavádzajú na trh nové výrobky a služby, implementované nové výrobné procesy a organizačné zmeny.

Slovensko je v hodnotení inovatívnosti v rámci všetkých krajín EÚ jednou z krajín patriacich do skupiny tzv. miernych inovátorov s inovačnou výkonnosťou pod priemerom EÚ 27. Relatívne silné sú oblasti ľudských zdrojov a výstupov. Relatívne nedostatky sú v ukazovateľoch výskumných systémov, financiách a podpore, firemných investíciách a pod. (EIS, 2010). Napriek tomu môžeme konštatovať, že v posledných rokoch inovačné aktivity lesných podnikov na Slovensku vzrástli a k pozitívnemu trendu došlo ako v počte úspešných inovácií, tak aj v posune od technologicko-organizačných inovácií k novým výrobkom a službám (DOBŠINSKÁ, SARVAŠOVÁ, ŠÁLKA, 2010).

2 METODIKA

Aktuálny stav medzisektorových vzťahov lesníctva a DSP sa zhodnotil prostredníctvom SWOT analýzy. Jej vykonaniu predchádzal opis súčasného stavu v troch oblastiach, ktoré sa identifikovali ako rozhodujúce pre hodnotenie úrovne vzťahov medzi lesníctvom a DSP. Sú to *produkcia dreva, logistika a inovácie*. V nadväznosti na *status quo* sa popísali najdôležitejšie trendy v uvedených oblastiach vzťahov, pričom sa zohľadnilo široké spektrum trendov: ekonomických, politických, sociálnych, ekologických, klimatických, a to na globálnej i regionálnej úrovni. Rozlišovali sme medzi dlho- a krátkodobými trendmi. Veľká pozornosť sa venovala najmä tým trendom, ktoré predstavujú osobitné príležitosti, resp. ohrozenia na národnej, regionálnej, prípadne organizačnej úrovni.

V nasledujúcom kroku sa vypracovala SWOT analýza a navrhli sa jednotlivé stratégie v uvedených oblastiach produkcie dreva, logistiky a inovácií, ktoré by mali zlepšiť medzisektorovú spoluprácu lesného hospodárstva a DSP. Pri formulovaní stratégií sa postupovalo podľa metodiky od RAUCHA (2007).

Dobrá stratégia maximalizuje silné stránky a príležitosti a minimalizuje ohrozenia a slabé stránky analyzovaných skutočností (KOHLEFFEL, 2000). Pre formuláciu stratégie musí byť SWOT tabuľka logicky usporiadaná tak, aby odpovedala na nasledujúce otázky (LOBRISER, ABPLANALP, 1998): (1) Ktoré silné stránky a príležitosti sa hodia k sebe (SO-kombinácia)? (2) Ktoré silné stránky a ktoré ohrozenia sa k sebe hodia (ST-kombinácia)? (3) Ktoré slabé stránky a príležitosti sa hodia k sebe (WO-kombinácia)? (4) Ktoré slabé stránky a ohrozenia sa hodia k sebe (WT-kombinácia)? Formulácia stratégie začala s nájdením týchto kombinácií, pričom sa uvažovali tieto štyri typy stratégií:

- (1) SO-stratégie: vnútorné silné stránky možno využiť na realizáciu vonkajších príležitostí (ideálny prípad).
- (2) WO-stratégie: znižovanie vnútorných slabých stránok alebo rozvoj chýbajúcich silných stránok k realizácii vonkajších príležitostí.
- (3) ST-stratégie: vnútorné silné stránky sa využívajú na minimalizovanie vonkajších ohrození.
- (4) WT-stratégie: znižovanie vnútorných slabých stránok s cieľom zabráneniu / uniknutiu vonkajším ohrozeniam (defenzívna stratégia, najhorší scenár).

Cieľom formulovania stratégie je vyprodukovať možných a atraktívnych stratégií. Pri výbere strategických možností by mali byť preferované ofenzívne stratégie využívajúce silné stránky a príležitosti pred defenzívnymi možnosťami minimalizovania rizík a slabých stránok (LOBRISER, ABPLANALP, 1998).

Navrhovaná metodológia riešenia medzisektorových vzťahov je v súlade s postupmi uplatňovanými v medzinárodnom lesníckom výskume najmä v súvislosti s národnými lesníckymi programami a pri vypracúvaní rôznych nadnárodných štúdií zameraných na koordináciu, resp. integráciu politických dokumentov. Riešením aktivity sa významne prispeje ku konkurencieschopnosti a ekonomickej životaschopnosti lesného hospodárstva na Slovensku, pretože správne nastavené medzisektorové vzťahy sú jedným zo základných predpokladov na ich zlepšovanie, ako aj na zlepšovanie kvality života na vidieku.

3 VÝSLEDKY

3.1 Globálne a regionálne trendy

V zmysle stanovenej metodiky sa identifikovali tieto globálne a regionálne trendy v uvažovaných oblastiach produkcie dreva, logistiky a inovácií v rozvoji lesníctva a DSP:

Globálne trendy (ich dopady sa plne prejavajú aj na regionálnej úrovni)

- Presadzovanie konceptu „zelenej ekonomiky“ (model, zameraný na podporu udržateľného ekonomického rastu, prevenciu ekologického znečistenia, globálneho otepľovania, vyčerpania zdrojov, nízko uhlíkovú výrobu a šetrenie energie).
- Zásoby ropy a fosílnych palív sú obmedzené a v budúcnosti budú ich ceny stúpať.
- Akceptácia pôsobenia lesov proti klimatickej zmene (vo svojej biomase zachytávajú viac ako polovicu svetových zásob oxidu uhličitého).
- Presadzovanie trvalo udržateľného polyfunkčného lesníctva, obmedzovanie odlesňovania a degradácie lesov.
- Zvyšovanie výskytu katastrofických udalostí v porovnaní s predošlými desaťročiami
- Posuny v geografickom rozmiestnení drevín a strata biodiverzity v doposiaľ nebývalom rozsahu a rýchlosti.
- Podpora využívania dreva pochádzajúceho z lesov spravovaných v súlade s princípmi trvalo udržateľného obhospodarovania lesov.
- Zvyšovanie využitia obnoviteľných zdrojov energie vrátane drevnej biomasy na lokálnej úrovni.
- Zvyšovanie výmery plantáží rýchlorastúcich drevín na produkciu biomasy, najmä na nevyužívanej poľnohospodárskej pôde.
- Podpora vedy a výskumu v oblasti genetických modifikácií zameraných na zvyšovanie prírastku drevnej biomasy.
- Posudzovanie dopadov produkcie a využívania biomasy na energetické účely na životné prostredie tak, aby nedochádzalo k vyčerpaniu pôdy (analýzy pôdnej a živinovej bilancie).
- Progresívny trend vo využívaní dreva v stavebníctve a nábytkárskom priemysle.
- Zvyšovanie významu manažmentu celého výrobo-dodávateľského reťazca pri rešpektovaní ekologických a ekonomických zásad TUOL.
- Tlak na znižovanie nákladov a zvyšovanie efektívnosti všetkých výrobných činností vrátane lesného hospodárstva a DSP.
- Zvyšovanie efektívnosti dodávateľsko-odberateľského reťazca využívaním moderných IT technológií.
- Posun k prioritnému zabezpečeniu nedrevnej lesníckej produkcie a ekologických a sociálnych služieb – potreba optimalizácie vzájomnej koexistencie využívania lesov (na produkciu dreva a poskytovanie nedrevných tovarov a služieb).
- Rozvoj a zdokonaľovanie informačných systémov poskytujúcich harmonizované, spoľahlivé a ucelené informácie o lesoch.

Regionálne trendy

- Trend zvyšovania výmery lesov, ich prirodzeným šírením a zalesňovaním nelesných pôd.
- Vlastníctvo a využívanie lesov je a malo by byť naďalej stabilizované.
- Zvyšovanie agresivity škodlivých činiteľov, invázie nových druhov, zmeny biodiverzity, znižovanie stability až rozpad lesných ekosystémov.
- Zdynamizovanie hynutia lesa presadzovaním pasívnej ochrany v chránených územiach.
- Predpokladané zastavenie zvyšovania zásob dreva v lesoch SR (približne v rokoch 2015–2020) z dôvodu postupnej zmeny ich vekového zloženia.
- Zvyšovanie ťažbových možností i ťažby dreva z dôvodu aktuálnej vekovej štruktúry lesov a jej predpokladaného vývoja.
- Zvyšovanie podielu ťažby dreva z celkového bežného prírastku.
- Nárast podielu ťažby dreva vykonávanej harvestermi; znižovanie poškodzovania lesnej pôdy a stojacich stromov; znižovanie podielu sústreďovania kmeňov v celých dĺžkach traktormi; zvyšovanie sústreďovania dreva lesníkymi lanovkami.
- Čoraz širšie využívanie moderných technológií pre organizáciu a manažment logistiky vrátane IT technológií.
- Zintenzívňovanie využitia menejhodnotného dreva najmä na energetické účely (odumreté drevo, tenčina po ťažbe).
- Postupná zmena budúceho drevinového zloženia lesov z dôvodu zvyšovania podielu prirodzenej obnovy, najmä listnatých drevín.
- Orientácia spoločnosti na zvyšovanie dopytu po ekologických a sociálnych službách lesov vrátane ochrany biodiverzity v chránených územiach – koexistencia využívania lesov na produkciu dreva a poskytovanie nedrevných tovarov a služieb.
- Najväčší vplyv na inovácie v lesníctve budú mať: ekonomický rast, zamestnanosť na vidieku a trvalo udržateľné obhospodarovanie lesov; mali by sa rozvíjať inovačné programy a príprava inovačných projektov, napriek súčasnému vysokému riziku inovátorov, slabšej podpory zo strany štátu a poddimenzovanému výskumu.

3.2 SWOT analýzy, stratégie a opatrenia pre rozvoj produkcie dreva, logistiky a inovácií

V zmysle uvedenej metodiky sa vypracovali SWOT analýzy a identifikovali nasledujúce stratégie a opatrenia v rámci produkcie dreva, logistiky a inovácií.

3.2.1 Produkcia dreva

Informácie o lesných zdrojoch

Silné stránky – Strengths	Slabé stránky – Weaknesses
• S1 Existencia dvoch systémov zisťovania stavu lesa: NIML SR a SLHP. • S2 Existencia informácií potrebných na hodnotenie TUOL vrátane údajov o stave a vývoji zásob dreva na lesných i na nelesných pozemkoch. • S3 Vykonávanie pravidelného hodnotenia stavu a vývoja lesníctva na Slovensku SLHP, zelené správy. • S4 Účasť vo významných medzinárodných projektoch v oblasti inventarizácií a monitoringu lesov (ICP Forests, COST Actions E 43, FP 1001).	• W1 Nedostatočné využívanie aktuálneho metodického, dátového a technického vybavenia na systematické sledovanie, hodnotenie a prognózovanie stavu a vývoja lesov. • W2 Nesystematické (príležitostné) vypracovávanie prognóz vývoja ukazovateľov trvalo udržateľného obhospodarovania lesov vrátane lesných zdrojov.
Príležitosti – Opportunities	Ohrozenia – Threats
• O1 Rastúca potreba kvalitných informácií o lesných zdrojoch pre strategické rozhodovanie v LH a súvisiacich odvetviach. • O2 Vytváranie európskeho systému na monitorovanie lesov (Key objective 8, EU Forest Action Plan).	• T1 Nedostatok (každoročné znížovanie) finančných prostriedkov zo zdrojov zriaďovateľa pre odbornú organizáciu na získavanie a správu informácií o lesných zdrojoch, ako aj úlohy výskumu a vývoja (NLC).

Vysvetlivky: NIML – Národná inventarizácia a monitoring lesov, SLHP – súhrnný lesný hospodársky plán

Typ stratégie: SO/WO – „Rozvoj monitoringu lesov a zlepšovanie informácií o lesných zdrojoch a prognóze ich vývoja“

Bude sa realizovať prostredníctvom týchto typov opatrení: inventarizácia a monitoring lesov, prenos poznatkov a aplikovaný výskum; vysoká priorita.

Opatrenia

- Vykonať druhý cyklus Národnej inventarizácie a monitoringu lesov SR v rokoch 2015–2016 (S1/S2/O1/O2).
- Zachovať každoročné zisťovanie stavu lesa v rámci vyhotovovania LHP v 10-ročnom cykle vo všetkých lesoch na území Slovenska (S1/S2/O1/O2).
- Zabezpečiť systematické sledovanie a hodnotenie stavu lesných zdrojov a prognózovania ich vývoja (W1/W2/O1/O2).

- Zabezpečiť systematickú reguláciu ťažieb dreva s využitím moderného metodického aparátu matematického modelovania (W1/W2/O1/O2).
- Pokračovať vo vývoji metód inventarizácie a monitoringu lesov v súlade s postupmi, technológiami, potrebami a požiadavkami prebiehajúceho procesu harmonizácie a integrácie na paneurópskej úrovni.

Prispôsobenie lesov účinkom klimatickej zmeny

Silné stránky – Strengths	Slabé stránky – Weaknesses
• S1 Prijaté rámcové dokumenty lesníckej politiky s prioritou na zmierňovanie dosahov zmeny klímy (NLP SR, AP NLP SR). • S2 Lesy na lesných pozemkoch sa obhospodarujú podľa LHP (PSoL). • S3 Zvyšovanie ťažbových možností pre najbližšie decéniá. • S4 Relatívne vhodné drevinové zloženie na národnej úrovni. • S5 Zvyšovanie rozsahu prirodzenej obnovy.	• W1 Neriešenie problematiky klimatickej zmeny v HÚL. • W2 Relatívne vysoký podiel nestabilných lesov (smrečín). • W3 Masívny rozpad smrekových lesov. • W4 Časté kalamity najmä v smrekových lesoch – vysoký objem náhodných ťažieb. • W5 Znižovanie výkonov umelej obnovy a výchovy lesov. • W6 Nízky podiel hospodársky najvýznamnejších drevín v prirodzenej obnove.
Príležitosti – Opportunities	Ohrozenia – Threats
• O1 Politická podpora trvalo udržateľnému polyfunkčnému lesníctvu ako nástroja na zmierňovanie dopadov klimatickej zmeny. • O2 Progresívne trendy vo využívaní a spotrebe dreva ako obnoviteľnej a ekologickejšej suroviny na materiálové i energetické účely. • O3 Využitie možností podpory z Programu rozvoja vidieka SR na realizáciu projektov ozdravných opatrení, výstavbu a rekonštrukciu lesných ciest, posilňovanie biodiverzity, ekologickej stability lesov a zlepšovanie verejnoprospešných funkcií.	• T1 Potvrdenie pesimistických scenárov vývoja zmeny klímy s oveľa silnejšími negatívnymi dopadmi na lesy než sa doposiaľ predpokladá. • T2 Nedostatok finančných prostriedkov na zadanie niektorých navrhovaných opatrení / akcií odbornej organizácii.

Vysvetlivky: LHP – lesný hospodársky plán, PSoL – plán starostlivosti o lesy, HÚL – hospodárska úprava lesov, NLP SR – národný lesnícky program Slovenskej republiky, AP – akčný plán

Typ stratégie: SO/WO – „Prispôsobovanie lesov účinkom klimatickej zmeny pri súčasnej podpore využívania dreva pochádzajúceho z lesov obhospodarovaných trvalo udržateľným spôsobom“

Bude sa realizovať týmito typmi opatrení: aplikovaný výskum, prenos poznatkov a budovanie kapacít. Ich naliehavosť je vysoká.

Opatrenia

- Vypracovať a prijať spoločné medzirezortné dokumenty zamerané na podporu využívania dreva, s ohľadom na zmierňovanie dopadov klimatickej zmeny (S1/O1).
- Realizovať opatrenia na viazanie uhlíka a zintenzívňovanie produkcie dreva v rámci tradičného lesného hospodárstva (klasická koncepcia pestovania lesov): upraviť modely hospodárenia na adaptáciu lesov dopadom klimatickej zmeny; vypracovať a uplatňovať *stratégiu prírode blízkeho a ekonomicky efektívneho pestovania lesov*; riešiť problematiku stanovenia rubnej zrelosti hlavných drevín; vypracovať *zásady rekonštrukcie máloproduktívnych lesov a kritériá ich klasifikácie* (W1/W2/W3/W4/O2/O3).
- Efektívne využiť súčasné a budúce zvýšené ťažbové možnosti na produkciu kvalitných sortimentov dreva: zmodernizovať ťažbovú úpravu lesa; zabezpečiť systematické objektívne sledovanie stavu a vývoja produkčných ukazovateľov a cieľavedomú reguláciu ťažby dreva na jeho trvalú a vyrovnanú produkciu (S2/S3/S4/S5/O2/O3).

Nové možnosti získavania (mobilizácie) doplnkových zdrojov dreva

Silné stránky – Strengths	Slabé stránky – Weaknesses
• S1 Existujúci potenciál na získavanie ďalších – doplnkových zdrojov dreva: – lesy na nelesných pozemkoch (biele plochy), je ich 58±9 tis. ha, – vysoké zásoby odumretého dreva, – zvyšky tenkého dreva, kôry, vetiev a pňov v lesoch po ťažbe, – časti lesov nedostatočne sprístupnené lesnou cestnou sieťou, – rubné lesné porasty doposiaľ neobnovované.	• W1 Chýbajú údaje o stave a lokalizácii – konkrétnych bielych plôch. • W2 Biele plochy sa neobhospodarujú podľa LHP a nevyžaduje sa vedenie LHE. • W3 Chýbajú štúdie o získavaní odumretého dreva z lesov a jeho hospodárskom využití. • W4 Nevykonávajú sa analýzy pôdnej a živinovej bilancie s ohľadom na intenzívnejšie využívanie vytŕaženého a odumretého dreva – stromovej hmoty. • W5 Chýbajú údaje o zdrojoch dreva jednotlivu a skupinovo vyskytujúcich sa stromov a krov a radových výsadiieb.

Príležitosti – Opportunities	Ohrozenia – Threats
• O1 Podpora využívania lesnej biomasy na výrobu energie (Key Objective 4 EU FOREST Action Plan) vo všetkých globálnych i paneurópskych lesnícko-politických dokumentoch.	
• O2 Podpora producentov drevnej biomasy v rámci PRV SR; „Pridávanie hodnoty do produktov lesného hospodárstva“.	

Vysvetlivky: PRV SR – Program rozvoja vidieka Slovenskej republiky, EU – Európska únia, LHE – lesná hospodárska evidencia

Typ stratégie: SO/WO – „Identifikácia možností a vytvorenie podmienok na využitie nových možností získavania (mobilizácie) ďalších/doplňkových zdrojov dreva“

Bude sa realizovať týmito typmi opatrení: aplikovaný výskum prenos poznatkov, budovanie kapacít; priorita: stredná až vysoká.

Opatrenia

- Identifikovať nové možnosti, stratégie a opatrenia na mobilizáciu (získavanie) ďalších zdrojov dreva pre potreby DSP a na energetické využitie (S1/O1/O2).
- Analyzovať príčiny a preskúmať možnosti vykonávania ťažby dreva v tých častiach lesov, v ktorých sa existujúce ťažbové možnosti nevyužívajú dostatočne (S1/O1/O2).
- Vypracovať stratégie a diferencované postupy k problematike využitia odumretého dreva v lesoch (W3/W4/O1/O2).
- Vytvorenie podmienok na využitie stromov a inej drevnej biomasy rastúcej na nelesných pozemkoch (poľnohospodárskych a ostatných) (W1/W2/W5/O1/O2).

Zakladanie porastov rýchlorastúcich drevín na energetické využitie

Silné stránky – Strengths	Slabé stránky – Weaknesses
• S1 Existujúci potenciál nevyužívaných nelesných – poľnohospodárskych pozemkov na zakladanie porastov lesných drevín.	• W1 Chýbajúce programy, štúdie a analýzy možností zakladania lesných plantáží na nelesných pozemkoch.
• S2 Možnosti využívania lesných pozemkov líniových stavieb a produktovodov na produkciu energetického dreva.	• W2 Chýbajúce údaje o novozaložených plantážach rýchlorastúcich drevín na nelesných pozemkoch.

Príležitosti – Opportunities	Ohrozenia – Threats
• O1 Podpora využívania lesnej biomasy na výrobu energie (Key Objective 4 EU Forest Action Plan) vo všetkých najvýznamnejších globálnych i paneurópskych lesnícko-politických dokumentoch.	• T1 Z dôvodu vysokej lesnatosti Slovenska i banskobystrického regiónu nie je zalesňovanie nelesných pozemkov prioritou.
• O2 Rastúci dopyt po drevnej surovine.	

Typ stratégie: SO/WO – „Zalesňovanie pôd nevhodných na poľnohospodárske využitie“

Bude sa realizovať týmito typmi opatrení: aplikovaný výskum, prenos poznatkov, budovanie kapacít; priorita: stredná

Opatrenia

- Vypracovať a presadiť prijatie *Programu zalesňovania pôd nevhodných na poľnohospodársku výrobu*. Stanoviť cieľ, rozsah, lokalizáciu, spôsob a harmonogram realizácie zalesňovania na úrovni národnej a regionálnej (W1/O1/O2).
- Prednostne riešiť problematiku zalesňovania poľnohospodársky nevhodných a nevyužívaných pozemkov, ktoré už sú čiastočne (v ojedinelých prípadoch aj úplne) porastené stromami – *biele plochy* (S1/O1/O2).
- V zmysle aktuálnej poľnohospodárskej politiky štátu následne riešiť pozemky s najhoršími trávnatými porastmi; po zohľadnení viacerých kritérií (ekonomická a finančná výnosovosť, ekologická stabilita územia, využívanie funkcií lesov) (W1/O1).
- Zamerať sa najmä na zakladanie týchto druhov porastov, ktoré sú vhodné v produkčných podmienkach Slovenska: priemyselné plantáže smreka a duglasky, intenzívne porasty topoľov a vrb, intenzívne porasty s okrasnou textúrou dreva (S1/S2/O1/O2).

3.2.2 Logistika

Logistika dodávateľsko-spracovateľského reťazca a jeho optimalizácia má v súčasnosti rastúci význam v lesnom hospodárstve a drevárskom priemysle. Vzniká mnoho problémov v rámci plánovania celého reťazca, ktoré sú v rôznych časových horizontoch. Preto dobrá stratégia v oblasti logistiky je veľmi dôležitá (CARLSSON, RÖNNQUIST, 2005).

Silné stránky – Strengths	Slabé stránky – Weaknesses
• S1 Geografické umiestnenie v blízkosti súčasných a potenciálnych odbyísk produkcie. • S2 Dostatočné prepravné kapacity na dopravu dreva a výrobkov z dreva a vybudovaná sieť verejných ciest a železnice vhodné pre transport dreva. • S3 Prepracovaný informačný systém a možnosti využívania informácií v lesníctve na národnej a regionálnej úrovni s využitím výskumno-vývojových kapacít. • S4 Vysoký podiel lesov certifikovaných podľa PEFC alebo FSC schémy.	• W1 Značná časť strojov a technologického vybavenia je zastaraná a nezodpovedá potrebám moderných environmentálnych technológií. • W2 Nedostatočná hustota lesnej cestnej siete najmä v horských oblastiach. • W3 Nedostatok vlastných finančných zdrojov na nákup modernej techniky a budovanie lesných ciest. • W4 Obmedzené možnosti využitia harvestorových technológií. • W5 Nedostatočná spolupráca a výmena informácií medzi LH a spracovateľmi dreva.
Príležitosti – Opportunities	Ohrozenia – Threats
• O1 Zvýšenie hustoty lesných ciest, najmä v horských oblastiach, a zvýšenie podielu moderných strojov a technológií kvôli možnostiam získania podpory z PRV 2007–2013. • O2 Zlepšenie spolupráce medzi lesníckym sektorom a drevospracujúcim priemyslom, vrátane vývoja a implementácie efektívnych stratégií. • O3 Optimalizácia pohybu drevnej hmoty medzi producentmi a spracovateľmi pri využití moderných informačných technológií.	• T1 Nedostatok financií na investície v oblasti logistiky. • T2 Vysoký podiel kalamít a z toho vyplývajúce nepravidelné dodávky dreva a zníženie príjmov z predaja dreva. • T3 Nedostatočná implementácia spoločných stratégií producentov a spracovateľov dreva. • T4 Pokračujúca ekonomická nestabilita drevospracujúceho priemyslu.

Typ stratégie: SO – „Rozvoj efektívneho drevospracujúceho reťazca”

SO-stratégia reflektuje vnútorné silné stránky regiónu a využíva externé príležitosti. V rámci tejto stratégie bude potrebné realizovať tieto opatrenia:

- Integrovať jednotlivé subjekty dodávateľsko-spracovateľského reťazca dreva (S1/ S4/ O2/O3).
- Zvýšiť efektívnosť logistiky používaním moderných sofistikovaných IT aplikácií (S2/ S3/O1).
- Zvýšenie využitia dreva a produkčných kapacít (S1/S4/O3).

Typ stratégie: ST – „Zachovanie súčasného stavu (neintegrovanej reťazec)”

Táto stratégia identifikuje spôsoby, kedy interné silné stránky môžu byť použité za účelom redukcie citlivosti na externé ohrozenia. V rámci tejto stratégie je potrebné očakávať oddelený rozvoj lesného hospodárstva na jednej strane a drevospracujúceho priemyslu na strane druhej. Pri zohľadnení súčasnej situácie a vplyvom globálnej finančnej a ekonomickej krízy, prípadne globalizácie, existujú pesimistické predpoklady o úspešnosti tejto stratégie. Táto stratégia predpokladá implementáciu týchto opatrení:

- Zabezpečiť vyrovnanú produkciu dreva (S3/S4/T2/T3).
- Orientácia na lokálnych dodávateľov a spracovateľov dreva za účelom minimalizácie investícií do logistiky (S1/S2/T1/T4).

Typ stratégie: WO – „Environmentálne prijateľné a konkurencieschopné LH”

WO-stratégia prekonáva interné slabé stránky implementáciou externých príležitostí. Hlavná myšlienka tejto stratégie je posilnenie konkurencieschopnosti lesného hospodárstva prostredníctvom:

- zvýšenia technickej a technologickej úrovne (W1/W3/W4/O1).
- zabezpečenia primeranej dopravnej dostupnosti lesov (W2/W3/O1).
- zavádzania moderných systémov identifikácie dreva a výrobkov z dreva (W3/O2).
- identifikácie potrieb trhu s drevom prostredníctvom vypracovávaní mass flux analýz (W5/O2/O3).

Typ stratégie: WT – „Defenzívna stratégia pre dodávateľsko-odberateľský reťazec”

WT-stratégia implementuje defenzívny plán za účelom minimalizácie interných slabých stránok a predchádza externým ohrozeniam. Hlavným cieľom tejto stratégie bude zvýšenie objemu produkcie a príjmov prostredníctvom:

- zlepšenia štruktúry dodávok dreva (W3/W4/T1/T2).
- exportu surového dreva (W5/T3/T4).

3.2.3 Inovácie

Silné stránky – Strengths	Slabé stránky – Weaknesses
• S1 Existencia regionálnych inovačných stratégií a vedecko-výskumnej (VaV) základne. • S2 Vzdelaná pracovná sila.	• W1 Lesné podniky a vedecko-výskumné inštitúcie nemajú vypracovanú dlhodobú inovačnú stratégiu ani dlhodobú víziu rozvoja, chýba previazanosť VaV s podnikateľskou sférou. • W2 Obmedzené finančné a ľudské zdroje pre inovácie v MSP.

Silné stránky – Strengths	Slabé stránky – Weaknesses
• S3 Početné podporné a poradné centrá pre podnikanie, pripravený koncept pre inovačné centrum. • S4 Tradícia a potenciál v priemysle. • S5 Prírodné zdroje pre všetky druhy turistiky a rekreácie. • S6 Rozvíjajúca sa kooperácia v lesníckom sektore v rámci výrobného reťazca, vrátane bioenergie. • S7 Záujem LES-ov SR š. p. o inovačné systémy a inovácie celkom, či už v oblasti technických prostriedkov, alebo technológie lesníckych a ostatných doplnkových činností.	• W3 Nízke povedomie o potrebe spolupráce, vrátane spolupráce podnikov s VaV organizáciami. • W4 Orientácia firiem na dosiahnutie krátkodobého zisku. • W5 Absencia národnej a regionálnej agendy vedy a výskumu pre lesnícky sektor. • W6 Finančné a morálne podhodnotenie vedy a výskumu, inovácií. • W7 Neexistencia podporných vedecko-technických služieb ako sú VTI, normy, EHK predpisy, marketing, ochrana duševného vlastníctva pre MSP.
Príležitosti – Opportunities	Ohrozenia – Threats
• O1 Medzinárodná spolupráca. • O2 Smerovanie politiky EU na podporu vedy, výskumu, inovácií. • O3 Možnosti využívania obnoviteľných zdrojov energie. • O4 Štrukturálne a ďalšie fondy EU 2007–2013. • O5 Potenciál vidieckej turistiky. • O6 Zapojenie sa regionálnej samosprávy do koordinácie inovačných aktivít. • O7 Zosilňujúci sa dopyt po riešení platieb za ekosystémové služby. • O8 Rozvoj inovačnej stratégie zameranej na využitie drevných zdrojov pre drevospracujúci priemysel a energetiku na národnej a regionálnej úrovni. • O9 Možnosť riešiť naliehavé sociálne otázky v regiónoch ako je nezamestnanosť, diverzifikácia a zvýšenie príjmov.	• T1 Nedostatok financií a záujmu o ďalší rozvoj a disemináciu inovácií v lesníckom sektore. • T2 Export domácej drevnej suroviny namiesto produktov s vyššou pridanou hodnotou. • T3 Pretrvávajúce tradičné myslenie. • T4 Transfer zastaralých výrobných technológií zo zahraničia. • T5 Signifikantná nestabilita na európskom a svetovom trhu s drevom odzrkadľujúca sa v cenách výrobkov na báze dreva. • T6 Nepochopenie podpory združovania sa a kooperácie podnikov. • T7 Chýbajúca legislatíva.

Typ stratégie: SO – „Podporiť výskum a vývoj v nových lesných produktoch a službách“

Cieľom je využitie vedecko-výskumných kapacít, ľudského potenciálu a existencie záujmu VUC a Lesov SR š. p. o zavádzanie inovácií v oblasti služieb spätých s lešom (turistika, nedrevné produkty lesa, využitie obnoviteľných zdrojov energie a pod.).

Opatrenie

- Prostredníctvom medzinárodných projektov alebo projektov financovaných z EU vypracovať analýzy trhu a analýzu rizík pre inovatívne produkty a systémy (napr. Rekreačia a ďalšie Ekosystémové služby), poskytnúť transfer dobrej praxe pri platbách za environmentálne služby a tovary (S1/S2/O1/O2/O4).

Typ stratégie: WO – „Rozvoj trhu s inovatívnymi produktmi a službami“

Cieľom je využiť finančné zdroje z EU a štátneho rozpočtu na podporu výskumu a vývoja a kombinovať ich s privátnymi alebo regionálnymi pre zavádzanie inovácií do praxe a ich zdokonalenie.

Opatrenie

- Vybudovať infraštruktúrny rámec pre inovácie (W1/W2/W5/W7/O1/O2/O6/O8).

Typ stratégie: ST – „Vzdelávanie pre inovačné aktivity“

Cieľom je podporiť záujem o inovácie a podporu ďalšieho vzdelávania s cieľom využiť ľudský potenciál pre rozvoj služieb a podporu produktov poskytovaných lesom ako doplnku k tradičným drevným produktom.

Opatrenia

- Podporiť inovačné myslenie samosprávnych orgánov a obyvateľstva pre využívanie produktov a služieb poskytovaných lesom (S1/S4/S5/S6/S7/T1/T2/T5).
- Rekvalifikácia pracovníkov pre inovačné aktivity (S2/S6/S7/T3/T4/T6).

Typ stratégie: WT – „Združovanie a tvorba klastrov“

Cieľom je spolupracovať pri podpore miestnych kapacít a orientovať R&D na potreby praxe cez budovanie dôvery a spolupráce a cez akceptáciu a ocenenie výskumu a vývoja. Pomocou podpory R&D inicializovať zmeny v legislatíve a politických nástrojoch a vybudovať infraštruktúrny rámec pre inovácie.

Opatrenia

- Vytvorenie klastra na výrobu energie z biomasy pre konkrétny región (W1/W3/W4/T3/T4/T6).
- Vytvorenie klastra pre využívanie a zlepšovanie environmentálnych služieb poskytovaných lesom, najmä rekreácie (W1/W3/W4/T3/T4/T6).

5 DISKUSIA A ZÁVER

Jedným z rozhodujúcich opatrení na posilnenie konkurencieschopnosti LH a DSP bude vypracovanie spoločných medzirezortných koncepcií a politických dokumentov zameraných na podporu využívania dreva ako obnoviteľnej suroviny, najmä s ústrednými orgánmi štátnej správy, v ktorých kompetencii je drevospracovateľský priemysel, ochrana prírody a krajiny a využitie dreva na energetické účely.

Na základe vývojových trendov možno konštatovať, že dopyt po drevnej hmote ako obnoviteľnej surovine celosvetovo rastie a jej význam ako aj dopyt bude rásť aj v budúcnosti, najmä kvôli zvyšovaniu svetovej populácie, zvyšovania životnej úrovne značnej časti obyvateľstva, podpore využívania dreva na energetické účely a ďalším faktorom. Z týchto dôvodov pri rešpektovaní ekologických a ekonomických zásad trvaloudržateľného lesného hospodárstva bude rásť význam manažmentu celého výrobnododávateľského reťazca. Tento reťazec začína ťažbou dreva, pokračuje jeho približovaním, sortimentáciou, dopravou k spracovateľovi, premenou na produkty a končí u spotrebiteľa. Dôležitými stratégiami v oblasti produkcie dreva bude najmä rozvoj monitoringu lesov, prispôbovanie lesov účinkom klimatických zmien a nové možnosti získania dodatočných zdrojov drevnej hmoty, aby bolo možné uspokojovať rastúci dopyt a zachovať vzťahy medzi LH a DSP na štandardnej úrovni.

Súčasná globalizácia neustále tlačí na znižovanie nákladov a zvyšovanie efektívnosti všetkých výrobných činností. To isté platí aj pre lesné hospodárstvo a drevospracujúci priemysel. Efektívnosť dodávateľsko-odberateľského reťazca sa môže zvýšiť používaním moderných IT technológií v rámci logistiky dreva a výrobkov z dreva. Moderné PC aplikácie v oblasti logistiky našli svoje uplatnenie v lesnom hospodárstve. Ako príklad možno spomenúť škandinávске krajiny (CARLSSON, RÖNNQUIST, 2005). Tieto sofistikované technológie majú potenciál znižovať náklady a tak prispieť k efektívnosti logistiky (TRONCOSO, GARRIDO, 2005; FRISK, GÖTHE-LUNDGREN, JÖRNSTEN, RÖNNQVIST, 2010; SARAC, ABSI, DAUZERE-PÉRES, 2010).

Nevyhnutnou súčasťou zvyšovania konkurencieschopnosti sú aj inovácie a ich uplatňovanie v lesnícko-drevárskom komplexe. V tejto oblasti podporiť výskum a vývoj nových produktov a služieb ako aj rozvoj trhov pre ich realizáciu. Takisto je potrebné rozvíjať vzdelávanie o rôznych inovačných aktivitách. Nevyhnutné bude aj združovanie a vytváranie spoločných klastrov.

Všetky navrhnuté stratégie a opatrenia v rámci nich sú zapracované v súčasných lesníckych dokumentoch ako je Koncepcia rozvoja pôdohospodárstva na roky 2007–2013 – časť lesné hospodárstvo, Národný lesnícky program (MORAVČÍK, NOVOTNÝ, TOMA (eds.), 2007), Stratégia rozvoja lesného hospodárstva (MORAVČÍK a kol., 2008) a v ďalších.

PodĎakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Centrum excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy, aktivita 4.4: Optimalizácia medzisektorových vzťahov lesníctva – inovácia lesníckej politiky, ITMS: 26220120006, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

- CARLSSON D., RÖNNQVIST M., 2005: Supply chain management in forestry – case studies at Södra Cell AB, *European Journal of Operational Research* 163 (2005): 589–616.
- DOBŠINSKÁ, Z., SARVAŠOVÁ, Z., ŠÁLKA, J., 2010: Changes of innovation behaviour in Slovakian forestry. In: *The Annals of The „Ștefan cel Mare“ University of Suceava. Fascicle of The Faculty of Economics and Public Administration*, Vol. 10, No. 2(12), s. 71–80.
- EIS, 2010: available at <http://www.proinno-europe.eu/metrics>
- FRISK, M., GÖTHE-LUNDGREN, M., JÖRNSTEN, K., RÖNNQVIST, M., 2010: Cost allocation in collaborative forest transportation, In: *European Journal of Operational Research* 205: p. 448–458.
- KOHLÖFFEL, K. M., 2000: *Strategisches management*. Carl Hanser Verlag, München, pp 262.
- LOBRISER, R., ABPLANALP, P. A., 1998: *Strategisches management. Visionen entwickeln. Strategien umsetzen. Erfolgspotentiale aufbauen*. Versus, Zürich, p 468.
- MORAVČÍK, M., 2003: Príčiny pozorovaného zvyšovania zásob dreva v lesoch SR. *Lesnícky časopis – Forestry Journal*, Ročník 49, číslo 2/2003, s. 189–200.
- MORAVČÍK, M., NOVOTNÝ, J., TOMA, P (eds.). 2007: *Národný lesnícky program Slovenskej republiky*. 1. vyd. Bratislava, Zvolen : Ministerstvo pôdohospodárstva SR, Národné lesnícke centrum - Lesnícky výskumný ústav Zvolen. 63 s. ISBN 978-80-8093-036-3.
- MORAVČÍK, M., *a kol.*, 2008: *Stratégia rozvoja lesníctva (Strategy of forestry development): Správa za úlohu riešenú v roku 2008 v rámci Kontraktu, ktorý bol uzavretý medzi MP SR a NLC., NLC-LVÚ Zvolen*, 2008, 85 s.
- MORAVČÍK, M. *et al.*, 2010: Vízia, prognóza a stratégia rozvoja lesníctva na Slovensku. *Lesnícke štúdie* č. 61/2009. vyd. Národné lesnícke centrum, 2010, 172 s. ISBN 978-80-8093-105-6.
- RAUCH, P., 2007: SWOT analyses and SWOT strategy formulation for forest owner cooperations in Austria, *European Journal of Forest Resources*, Vol. 126: p. 413–420.
- SARAC, A., ABSI, N., DAUZERE-PÉRES, S., 2010: A literature review on the impact of RFID Technologies on supply chain management, In: *International Journal of Production Economics* 128: p. 77–95.
- ŠMELKO, Š., ŠEBEŇ, V., BOŠEĽA, M., MERGANIČ, J., JANKOVIČ, J.: Národná inventarizácia a monitoring lesov Slovenskej republiky 2005-2006. Základná koncepcia a výber zo súhrnných informácií. In: *Les/Lesokruhy*, roč. 64, č. 5–6, 2008, 16 s.
- TRONCOSO, J. J., Garrido, R. A., 2005: Forestry production and logistics planning: an analysis using mixed-integer programming, In: *Forest Policy and Economics* 7: p. 625–633.
- Zelená správa 2010: *Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike za rok 2009*, Zelená správa. 1. vyd. Bratislava, Zvolen: Ministerstvo pôdohospodárstva SR, Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 102 s. ISBN 978-80-8093-122-3.
-

Adresa autorov:

Ing. Martin Moravčík, CSc.

Ing. Zuzana Sarvašová, PhD.

Ing. Miroslav Kovalčík, PhD.

Ing. Marián Radocha, CSc.

Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen

T. G. Masaryka 22

960 92 Zvolen

e-mail: moravcik@nlcsk.org

sarvasova@nlcsk.org

mkovalcik@nlcsk.org

radocha@nlcsk.org

Stratégie pre posilnenie medzisektorových vzťahov lesníctva a drevárstva

Abstrakt

Posilňovanie medzisektorovej spolupráce je jedným z najdôležitejších predpokladov zvyšovania konkurencieschopnosti s ekonomickej životaschopnosti lesníctva. Doterajšie skúsenosti z medzisektorovej spolupráce poukazujú na množstvo problémov. Sú to najmä: súčasná slabá previazanosť lesníckej politiky so súvisiacimi politikami, nedostatočná kooperácia, koordinácia a komunikácia rezortov a odvetví a ďalších skupín zainteresovaných v lesníctve, ako aj nízka úroveň poznania cieľov, hodnôt a príčin správania sa súvisiacich subjektov. Aktuálny stav medzisektorových vzťahov lesníctva a drevospracujúceho priemyslu (DSP) sa zhodnotil pomocou SWOT analýzy. Navrhli sa jednotlivé stratégie v oblasti produkcie dreva, logistiky a inovácií, ktoré by mali zlepšiť medzisektorovú spoluprácu lesného hospodárstva s DSP.

Dopyt po dreve ako obnoviteľnej surovine celosvetovo rastie a jej význam bude rásť aj v budúcnosti, najmä kvôli zvyšovaniu svetovej populácie, zvyšovaniu životnej úrovne v rozvojových krajinách, podpore využívania dreva na energetické účely a ďalším faktorom. Dôležitými stratégiami v oblasti produkcie dreva bude najmä rozvoj monitoringu lesov, prispôbovanie lesov účinkom klimatických zmien s nové možnosti získania dodatočných zdrojov drevnej hmoty, aby bolo možné uspokojiť rastúci dopyt a zachovanie štandardných vzťahov medzi lesným hospodárstvom a DSP.

Súčasná globalizácia tlačí na znižovanie nákladov a zvyšovanie efektívnosti všetkých výrobných činností. To je rovnako dôležité pre lesné hospodárstvo a drevospracujúci priemysel. Efektívnosť dodávateľsko-odberateľského reťazca sa môže zvýšiť používaním moderných IT technológií. Moderné PC aplikácie v oblasti logistiky našli svoje uplatnenie v lesnom hospodárstve. Ako príklad možno spomenúť škandinávске krajiny (CARLSSON, RÖNNQVIST, 2005). Tieto sofistikované technológie majú potenciál znižovať náklady a tak prispieť k efektívnosti logistiky (TRONCOSA, GARRIDO, 2005; FRISK, GÖTHE-LUNDGREN, JÖRSTEN, RÖNNQVIST, 2010; SARAC, ABBI, DAUZERE-PÉRES, 2010).

Nevyhnutnou súčasťou zvyšovania konkurencieschopnosti sú inovácie a ich uplatňovanie v lesnícko-drevárskom reťazci. V tejto oblasti treba podporiť výskum a vývoj nových produktov a služieb, ako aj rozvoj trhov s nimi. Rovnako je potrebné rozvíjať vzdelávanie o rôznych inovačných aktivitách.

Všetky navrhnuté stratégie sú zapracované v súčasných lesníckych dokumentoch ako je Koncepcia rozvoja pôdohospodárstva na roky 2007–2013 – časť lesné hospodárstvo, Národný lesnícky program Slovenskej republiky (MORAVČÍK, NOVOTNÝ, TOMA (eds.), 2007), Stratégia rozvoje lesného hospodárstva (MORAVČÍK a kol., 2008) a v ďalších.

Kľúčové slová: lesné hospodárstvo, drevospracujúci priemysel, medzisektorová spolupráca