

ZPRÁVY LESNICKÉHO VÝZKUMU

Reports of Forestry Research

SVAZEK 53

ČÍSLO 2/2008

Vydává Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., ISSN 0322-9688

Vedoucí redaktorka: Ing. J. Danyšová. Předseda ediční rady: Doc. RNDr. B. Lomský, CSc., Výkonná redaktorka: Mgr. E. Krupičková

Vychází čtvrtletně. Adresa redakce: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady 136, 252 02 Jíloviště, tel. 257 892 222, 257 923 140, fax 257 921 444, e-mail: krupickova@vulhm.cz, <http://www.vulhm.cz>

Redakční rada Zpráv lesnického výzkumu

doc. Ing. Petr Zahradník, CSc. - předseda; doc. RNDr. Bohumír Lomský, CSc. - místopředseda; Ing. Jana Danyšová; RNDr. Jana Malá, CSc.; prom. biol. Zdeňka Procházková, DSc.; doc. RNDr. Marian Slodičák, CSc.; Ing. Vladislav Badalík; prof. Ing. Petr Kantor, CSc.; doc. Ing. Pavel Klíč, Ph.D.; prof. Ing. Jiří Kulhavý, CSc.; prof. RNDr. Michal Marek, DrSc.; prof. Ing. Vilém Podrázský, CSc.; Ing. Miroslav Sloup; doc. Ing. Marek Tučani, CSc.

OBSAH - CONTENT

VILÉM PODRÁZSKÝ - JIŘÍ REMEŠ

Rychlost obnovy charakteru lesních půd na zalesněných lokalitách Orlických hor

Rapidity of forest soil character restoration of afforested localities of the Orlické hory Mts.

89

VÁCLAV LOCHMAN - MILAN BÍBA - ZDENĚK VÍCHA - ZUZANA OCEÁNSKÁ

Dynamika chemismu lesních půd v Moravskoslezských Beskydech

Dynamics of forest soils chemistry in the Moravskoslezské Beskydy Mts.

94

PETR NOVOTNÝ - HELENA CVRČKOVÁ - PAVLÍNA MÁCHOVÁ - JANA MALÁ

Množení tisů červeného (*Taxus baccata* L.) in vitro jako možný příspěvek k záchraně a reprodukci genetických zdrojů této dřeviny v ČR

The in vitro propagation of common yew (*Taxus baccata* L.) as a potential contribution to preservation and reproduction of genetic resources of this species in the Czech Republic

110

JIŘÍ ŠINDELÁŘ - JOSEF FRÝDL

K problematice genetických změn v populacích lesních dřevin v důsledku narušování lesů škodlivými vlivy prostředí

Towards genetic processes in forest tree species populations in consequence of harmful environmental factors affecting forest

116

JARMILA NÁROVCOVÁ - VÁCLAV NÁROVEC

Proměnlivost asimilačního a transpiračního kompartmentu borovice lesní

Variability of Scotch pine assimilation and transpiration compartment

120

JIŘÍ DVOŘÁK - JAROSLAV TOMÁNEK

Obecný model pro odhad finanční ztráty na poškozených dřevinách po těžebně dopravní činnosti

General model for estimation of financial loss on damaged trees after logging and hauling processing

128

VÁCLAV TLAPÁK

Korelační závislost parametrů ptačích vajec na příkladu snášek kachny divoké a bažanta obecného

Correlation of bird egg parameters exemplified by clutches of mallard and ring-necked pheasant

134

EMILIE BEDNÁŘOVÁ

Sledování příčin chřadnutí smrku ztepilého v oblasti Čantoryje

Observing of factors influencing Norway spruce decline in the Čantoryje region

143

ZUZANA SITKOVÁ - VLADIMÍR KUNCA

Mapovanie kritických zátŕaží acidity v lesných ekosystémoch Kysuc a Oravy

Mapping of the acidity critical loads for forest ecosystems in the Kysuce and Orava regions

147

LESNICKÉ AKTUALITY - CURRENT CONTENTS

- Stomatální reakce na zvýšenou zásobu vody v listech lípy malolisté

Effects of enhanced hydraulic supply for foliage on stomatal responses in little-leaf linden

161

- Účinek pokryvu semen a předosevní přípravy na klíčení semen olše lepkavé a břízy pýřité

Effect of seed coverings and seed pretreatments on the germination response of *Alnus glutinosa* and *Betula pubescens* seeds

161

- Vliv různých strategií přeměny lesa na přízemní vegetaci a regeneraci borovice lesní: případová studie ze severovýchodního Německa

Influence of different forest conversion strategies on ground vegetation and tree regeneration in pine stands: a case study in NE Germany

161

- Produkce biomasy, charakteristika olistění a kořenů a akumulace živin v mladém porostu břízy bělokore rostoucí

na bývalé zemědělské půdě

Biomass production, foliar and root characteristics and nutrient accumulation in young silver birch stand growing on abandoned agricultural land

162

- Společenství hub žijících ve dřevě ve vztahu k pěstební intenzitě v bukových lesích jižního Německa

Assemblages of wood-inhabiting fungi related to silvicultural management intensity in beech forests in southern Germany

162

RYCHLOST OBNOVY CHARAKTERU LESNÍCH PŮD NA ZALESNĚNÝCH LOKALITÁCH ORLICKÝCH HOR

RAPIDITY OF FOREST SOIL CHARACTER RESTORATION OF AFFORESTED LOCALITIES OF THE ORLICKÉ HORY MTS.

VILÉM PODRÁZSKÝ – JIŘÍ REMEŠ
FLD ČZU Praha

ABSTRACT

The paper presents results of research that was conducted to evaluate stand species composition and stand structure including their impact upon humus forms state in the Nature Preserve Trčkov (Orlické hory Mts.). Three types of the forest stands which include spruce monoculture, beech monoculture, both on afforested agricultural land, and natural mixed multi-storeyed stand (spruce was the main species and silver fir and European beech were admixed) were selected for this research. Forest soil dynamics evaluation was further part of this project that was achieved by comparing of new data with older ones from the previous research. The results confirm distinct positive effect of beech on soil chemistry properties of the forest floor, as well as relatively rapid forest soil character restoration. On the other hand, pure spruce stand is approved unfavourable from the main soil chemistry characteristics point of view. Soil dynamics development between years 1996 – 2003 indicates continuing unfavourable changes – acidification, losses of the bases content in adsorption complex and decline of the available nutrients content.

Klíčová slova: přírodní rezervace, Orlické hory, lesní ekosystémy, lesní půdy, nelesní půdy, druhové složení porostů, půdní chemismus, degradace, sekvestrace uhlíku

Key words: nature preserve, Orlické hory Mts., forest ecosystems, forest soil, non-forest soil, stand species composition, soil chemistry, degradation, carbon sequestration

ÚVOD

V různých historických obdobích byly značné rozlohy zemědělské půdy ponechány přirozené sukcesi, nebo zde došlo k plánovitému zalesnění. Jednalo se především o marginální zemědělské plochy, kde rychlost a intenzita obnovy lesního charakteru půdní složky ekosystému daných stanovišť je zcela neznámá (HATLAPATKOVÁ et al. 2006). K dispozici jsou prozatím jen vzácné údaje o rychlosti obnovy humusových forem jako základu pro stabilitu lesních ekosystémů (PODRÁZSKÝ, ŠTĚPÁNIK 2002, PODRÁZSKÝ 2006b). Hodnocení rychlosti obnovy dále probíhala i na plochách po tzv. buldozerové přípravě stanovišť (PODRÁZSKÝ 2006a). Význam zalesňování nelesních stanovišť se také široce diskutuje z hlediska zvýšení biodiverzity a stability krajiny.

Pro posouzení rychlosti obnovy lesních ekosystémů je zásadní srovnání s přirozenými či přírodě blízkými lesními porosty v podobných stanovištních podmínkách. Studium přírodních, přirozených a přírodě blízkých lesů je považováno za základ pro přírodě blízké, nebo ekologicky orientované lesnictví a lesní hospodářství. Výsledky jsou významné pro mnohé lesnické a přírodovědné disciplíny, vědce i výchovu veřejnosti. Také v tomto případě je kritický nedostatek údajů o stavu, vývoji, změnách a variabilitě humusových forem. Zachování, ochrana, obnova a studium zbytků přirozených a přírodě blízkých lesů je tak základním úkolem lesnické vědy (PODRÁZSKÝ, VIEWEGH 2005).

Cílem předkládaného příspěvku je proto dokumentovat vývoj humusových forem na zalesněných zemědělských půdách vyšších poloh a rychlost obnovy lesního stanoviště hodnotit na základě

srovnání s přírodě blízkými lesními porosty na sousedních stanovištích stejného nebo maximálně podobného charakteru. Dalším dílčím cílem bylo hodnocení dvou hlavních dřevin, buku a smrku. Konečně je přes stále klesající imisní spád uvažováno o dalším negativním ovlivňování lesních půd kyselou depozicí (PELÍŠEK 1984, VACEK 1994, VACEK, PODRÁZSKÝ, MAREŠ 1994a, b).

MATERIÁL A METODY

Národní přírodní rezervace (NPR) Trčkov je lokalizována SV od nejvyššího vrcholu Orlických hor (Velká Deštná, 1 115 m n. m.), na SV svahu v nadmořské výšce 920 – 780 m n. m. (MAREŠ 1971). V přirozené druhové skladbě dominoval smrk, jedle a buk s příměsí dalších dřevin, jako klen, jilm apod. Plocha rezervace je 65,26 ha, dominantním souborem lesních typů jsou 6S (48,7 %) a 7K (29,5 %). Geologické podloží je tvořeno rulami s vložkami kvarcitu (KACÁLEK 2003). Průměrná roční teplota kolísá kolem 5 °C, střední roční srážky kolem 1 000 mm.

Půdní vzorky byly odebrány ve třech porostech, vždy ve 4 opakováních. K odběrům holorganických vrstev byl využit železný rámeček 25 x 25 cm, vzorky podle jednotlivých genetických horizontů (L + F1, F2, H) byly odebírány kvantitativně, organominerální (humusový) horizont Ah nikoli. Kromě odběru vzorků humusových forem na podzim 2003 byla analyzována dynamika pedochemických charakteristik v jednotlivých pedogenetických horizontech pomocí odběru vzorků ze standardních půdních sond, a to mezi lety 1996

Tab. 1.

Akumulace nadložního humusu ve sledovaných porostech
Accumulation of the hologenic horizons in the particular stands

Horizont/ Horizon	407 C 5a TVP 1 – smrk/spruce g/m ²	407 C 5a TVP 2 – buk/beech g/m ²	407 C 17/5b TVP 3 – přirozený/natural g/m ²
L + F1	413,6 a	118,8 b	155,0 b
F2	1600,8 b	1174,8 b	3235,2 a
H	4326,0 a	5220,4 a	5488,4 a
Celkem/Totally	6340,4 b	6514,0 b	8878,6 a

Pozn.: Různé indexy označují statisticky průkazné rozdíly na 95% stupni významnosti/Various indexes indicate statistically significant differences at 95% level

Tab. 2.

Základní pedochemické vlastnosti humusových forem ve sledovaných porostech
Basic pedochemical characteristics of humus forms in studied stands

Porost/Stand	Horizont/ Horizon	pH/H ₂ O	pH/KCl	S	H	T	V	Humus	N
				mval/100g	mval/100g	mval/100g	mval/100g	%	%
TVP 1 smrk/ spruce	L + F1	4,10	3,14	18,21	13,46	31,67	57,49	46,128	1,206
	F2	3,81	3,18	18,90	28,98	47,88	39,45	47,834	1,437
	H	3,60	2,97	6,37	26,60	32,98	19,02	27,194	0,849
	Ah	3,69	3,12	2,96	14,81	17,76	16,64	9,90	0,40
TVP 2 buk/ beech	L + F1	5,24	4,03	57,64	19,00	76,64	75,21	59,642	1,480
	F2	5,34	4,10	59,54	14,39	73,92	80,34	51,826	1,723
	H	4,42	3,73	23,48	18,95	42,43	53,62	26,713	1,041
	Ah	4,17	3,38	7,27	13,21	20,48	35,49	10,00	0,49
TVP 3 přirozený/ natural	L + F1	4,24	3,44	22,44	31,25	53,69	41,80	57,867	1,350
	F2	3,65	2,81	21,47	31,08	52,54	42,01	61,716	1,716
	H	3,25	2,25	11,40	58,25	69,65	16,76	48,294	1,488
	Ah	3,36	2,29	4,54	30,97	35,51	12,79	26,70	0,88

a 2003. Sonda byla vykopána a posléze obnovena v části porostu 407 C17/5b s přírodě blízkou strukturou. Vzorky byly analyzovány v laboratoři Tomáš se sídlem ve VÚLHM, v. v. i., VS Opočno, pomocí standardních metodik (ŠMÍDOVÁ 1991).

Byly provedeny analýzy:

- množství sušiny jednotlivých hologenických horizontů při 105 °C,
 - obsah celkových živin (N, P, K, Ca, Mg) v těchto horizontech po mineralizaci směsí kyseliny sírové a selenu,
 - obsah přístupných živin ve výluhu 1% kyselinou citronovou,
 - půdní reakce aktivní a potenciální, charakteristiky sorpčního komplexu podle Kappena,
 - obsah celkového uhlíku metodou Springer-Klee a celkového dusíku podle Kjeldahla.
- Jednotlivé porosty:
- 407 C5a – stejnověký smrkový porost na zalesněné zemědělské půdě, věk cca 50 let (TVP 1),
 - 407 C5a – stejnověký listnatý porost s dominancí buku (BK 90 %, JVK 10 %), věk rovněž cca 50 let (TVP 2),

- 407 C17/5b – smíšený nestejnověký porost s přirozenou druhovou skladbou, příměs jedle je snížena, struktura je blízká stadiu dorůstání (PODLASKI 2004) s výraznou akumulací biomasy (TVP 3).

V předloženém příspěvku jsou uvedeny výsledky reprezentativního výběru pedochemických charakteristik. Statistická analýza byla provedena s pomocí standardních postupů analýzy variance na 95% stupni významnosti (software Statistica).

VÝSLEDKY A DISKUSE

Výsledky stanovení úrovně akumulace hologenických horizontů jsou uvedeny v tabulce 1. Množství sušiny povrchového humusu na zalesněné zemědělské půdě představují zhruba 70 % množství přírodě blízkého porostu. Akumulace de novo vytvořených povrchových horizontů se tak jeví jako velice rychlá (v průměru při lineárním průmětu až 1,2 – 1,3 t.ha⁻¹.rok⁻¹) a rychlost obnovy lesního charakteru půd rovněž. Situace je v námi posuzovaném případě velice

podobná v listnatých i jehličnatých porostech. Absolutní množství odpovídá podobným stanovištním podmínkám v jiných regionech, např. na Českomoravské vrchovině (PODRÁZSKÝ, VIEWEGH 2005), rychlost je mnohem větší, než bylo dokumentováno v případě lesních stanovišť skarifikovaných buldozerovou přípravou v Krušných horách (PODRÁZSKÝ 2006 a, b). Příčinou je pravděpodobně vysoce produktivní stanoviště, s vysokou produkcí opadu a jeho dobrou transformací.

Na druhé straně, obsah celkového humusu byl v holorganických vrstvách podstatně nižší na lokalitách na zalesněných zemědělských půdách (tab. 2). Jeho obsah se sice nelišil ve vrstvě opadu, ale hlouběji tvořila minerální příměs vyšší podíl – tj. v horizontech F a H. Na druhé straně příměs organických látek v organominerálním humusovém horizontu Ah na těchto plochách dosud nedosáhla úrovně typické pro lesní půdy. To indikuje dosud méně pokročilý vývoj na zalesněných zemědělských půdách, a to přes podstatně více srovnatelné hmotnosti holorganických horizontů (tab. 1). Velice dobře srovnatelné trendy, indikující stejný proces, byly doloženy pro obsah celkového dusíku (tab. 2).

Půdní reakce, determinovaná jako pH ve vodním výluhu a výluhu 1 N KCl, byla nejnižší v humusové vrstvě přirozeného smíšeného lesa, podstatně vyšší ve smrkové monokultuře a nejvyšší v porostu buku (tab. 2). Na druhé straně hodnota S (obsah výměnných bází) byla nejnižší v čistém smrkovém porostu, vyšší ve smíšeném přirozeném lese a nejpříznivější stav byl doložen v bukovém mladém porostu. Zde byla naopak nejnižší hydrolytická acidita (hodnota H), která pak byla vyšší v porostu smrku a nejvyšší na trvalé lesní půdě. Hodnota T – kationtová výměnná kapacita byla nejvyšší v bukovém, nižší ve smíšeném a nejnižší ve smrkovém porostu. Hodnoty charakteristik půdního sorpčního komplexu byly znatelně ovlivněny obsahem humusu v jednotlivých vrstvách a dřevinnou skladbou porostů. Dosud byl patrný příznivější stav původní zemědělské půdy, dlouhodobě probíhající acidifikace lesních půd i příznivý vliv buku.

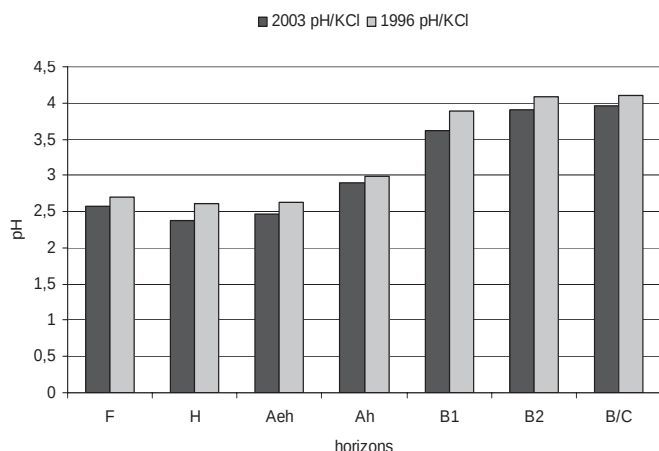
Tyto rozdíly v jednotlivých charakteristikách půdního sorpčního komplexu v jednotlivých vrstvách humusových forem vedly k výrazně odlišnému obrazu syntetické charakteristiky – nasycení sorpčního

komplexu bázemi (hodnota V). Nejvyšší hodnoty, tedy nejpříznivější stav, byly zjištěny v humusových formách bukového porostu, stav pak byl velice podobný v obou zbývajících porostech, se slabě příznivější tendencí ve spodinách sledovaných půdních horizontů smrkového porostu. Trendy acidifikace půd v zájmové oblasti a vliv jednotlivých dřevin v podobných stanovištních podmínkách byly prokázány i dalšími autory (PELÍŠEK 1984, PODRÁZSKÝ, VIEWEGH 2005).

Trendy acidifikace byly prokázány i při analýze půdních vzorků v rámci celého půdního profilu mezi lety 1996 a 2003. Obrázek 1 dokládá dynamiku půdní reakce (pH KCl) a obrázek 2 pak dynamiku nasycení půdního sorpčního komplexu bázemi. Okyselování půd probíhalo přes výrazné snížení úrovně kyselého spadu (VACEK et al. 1994). Tentýž trend byl doložen i v jiných regionech České republiky (PODRÁZSKÝ et al. 2005) a je předpokládán i řadou dalších specialistů. V daném příspěvku je doložena jen část výsledků získaných na lokalitě Trčkov, ale i tento omezený rozsah dovoluje popsat hlavní trendy půdních změn po zalesnění marginálních zemědělských půd, vliv jednotlivých dřevin i vývoj lesních půd v posledním období. Ty jsou popsány ve smíšeném přirozeném porostu, který se jeví jako stabilní a mnozí specialisté i ekologičtí aktivisté předpokládají jeho vyšší rezistenci proti acidifikaci ve srovnání se smrkovými monokulturami. V našem případě se tento předpoklad nepotvrdil, což může být důsledkem nižšího podílu buku (PODRÁZSKÝ, VIEWEGH 2005).

Na druhé straně je ale nutno přepokládat větší posun v acidifikaci porostů právě na lokalitách s původně příznivějším půdním chemismem (např. VACEK, PODRÁZSKÝ 1994), a to pro nižší schopnost pufrace a odolnost vůči další acidifikaci v oborech tzv. výměnné pufrace oproti oborům pufrace železa a hliníku (např. ULRICH 1986).

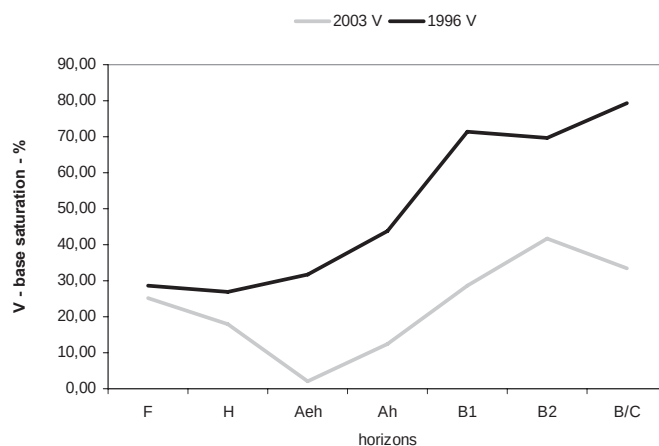
Významnou environmentální funkcí je i schopnost lesních ekosystémů akumulovat do jisté míry uhlík a tak vyrovnávat trend zvyšování obsahu skleníkového plynu CO₂ v atmosféře. Platí to samozřejmě především pro ekosystémy, v nichž dochází k čisté akumulaci bio- i nekromasy; přirozené ekosystémy pak mají vyrovnanou bilanci a v některých vývojových nebo hospodářských stadiích může dojít i k uvolňování oxidu uhličitého do atmosféry, např. při požárech, dekompozici humusu apod. Na sledovaných lokalitách, při zaklá-



Obr. 1.

Rozdíly v pH KCl v rámci studovaného půdního profilu v letech 1996 a 2003

The differences in the pH KCl in studied soil profile in the years 1996 and 2003



Obr. 2.

Rozdíly v nasycení sorpčního komplexu bázemi v rámci studovaného půdního profilu v letech 1996 a 2003

The differences in the base saturation in studied soil profile in the years 1996 and 2003

dání lesních porostů na marginální zemědělské půdě, pak lze předpokládat čistou sekvestraci uhlíku v organické hmotě ekosystému. Tu bylo během prvních 50 let trvání ekosystému při předpokladu lineárního průběhu akumulace možno odhadnout ve výši 247 (SM) a 241 (BK) kg.ha⁻¹ C ročně jen v holorganických vrstvách humusových forem. Jedná se pochopitelně o velice hrubý odhad. Další, ještě vyšší akumulaci je možno předpokládat v biomase porostu, a jelikož obsah humusu v minerálních horizontech na zalesněných zemědělských půdách je dosud nižší ve srovnání s přirozeným porostem, tak i v této složce lesních ekosystémů. V půdách je tak zejména v horských polohách akumulováno i vyšší množství uhlíku než v biomase porostů (PODRÁZSKÝ 1998). Dosažení přirozené akumulace uhlíku, organické hmoty vůbec a tedy i přirozené kvantitativní stránky lesních půd lze na podobných lokalitách (6. a 7. LVS, kyselá a svěží stanoviště) odhadnout velice hrubě na 100 let, tedy zhruba na jednu generaci lesních porostů. To je zhruba dvojnásobek ve srovnání s porosty v nižších nadmořských výškách (4. a 5. LVS – PODRÁZSKÝ, ŠTĚPÁNÍK 2002), na druhé straně naopak zhruba polovina ve srovnání se skutečně horskými podmínkami (PODRÁZSKÝ 2006a). Obnova chemické a biologické stránky lesních půd je podstatně složitější.

ZÁVĚRY

Předkládaná studie dokumentuje změny ve vybraných lesních ekosystémech Orlických hor, důležitých pro lesnické a ekologické hledisko posuzování významu funkce lesních porostů.

V první řadě výsledky potvrdily relativně rychlou akumulaci nadložního humusu na původních zemědělských půdách, dosahující 70 % množství sušiny holorganických horizontů permanentně zalesněné lokality. Podíl fixovaného uhlíku je poměrně nižší díky vyšší příměsi minerálních částic ve vrstvách F a H na zalesněných zemědělských plochách. Na druhé straně je na těchto plochách nižší příměs organické hmoty v organominerálním horizontu Ah, což rovněž indikuje dosud slabší vývin této vrstvy půd. V holorganických vrstvách lze odhadnout intenzitu sekvestrace (fixace, akumulace) uhlíku na množství 247 (SM) a 241 (BK) kg.ha⁻¹ C ročně.

Z obou sledovaných druhů dřevin se jako příznivěji působící jevil buk – kvalita nadložního humusu byla vyšší a půdní chemismus se jevil jako méně extrémní. Kvalita nadložního humusu v mladém smrkovém porostu a v přírodě blízké části lesního komplexu vykazovala vyšší přibuznost, byla srovnatelná, což lze vysvětlit i jasnou dominancí smrku v přirozeném lesním porostu. Postup restituce lesního charakteru půd ve sledovaných porostech je poměrně rychlý, uvážíme-li, že porosty byly na zemědělské půdě založeny před 50 lety. Předpoklad jednoho obmýtí pro obnovu lesního charakteru stanoviště je značně aktuální, alespoň pokud se jedná o kvantitativní stránku. Zejména biologická půdní charakteristika však zůstává dosti neznámou proměnnou.

Půdní acidita ve studovaném časovém úseku 1996 - 2003 dosud roste. Dynamika acidifikace byla studována v přirozeném lesním porostu, příměs jedle a buku na této konkrétní úrovni tedy pravděpodobně nevedla k jejímu účinnému zmírnění. Studium zbytků přirozených lesů je velice důležité, včetně jejich srovnání se situací v sousedních antropogenně podstatně více ovlivněných porostech první generace lesa. Ve sledovaném případě byl prokázán značný potenciál revitalizace lesního prostředí, přes časová a metodická omezení dané studie. Stejně tak byla prokázána postupující acidifikace sledovaných půd.

Poznámka:

Článek vznikl jako součást řešení projektu NAZV č. QG50105 „Obnova lesního prostředí při zalesnění nelesních a devastovaných stanovišť“.

LITERATURA

- HATLAPATKOVÁ, L., PODRÁZSKÝ, V., VACEK, S. Výzkum v lesních porostech na bývalých zemědělských půdách v oblasti Deštného a Neratova v PLO 25 – Orlické hory. In Neuhoferová, P. (ed.): Zalesňování zemědělských půd, výzva pro lesnický sektor. Kostelec nad Černými lesy. 17. 1. 2006. Kostelec nad Černými lesy: ČZU, 2006, s. 185-192.
- KACÁLEK, D. Přirozená obnova a porostní poměry v přírodě blízkých smíšených porostech. Literární přehled ke státní doktorské zkoušce. Opočno: VÚLHM VS, 2003. 39 s.
- MAREŠ, V. Navržená rezervace u Trčkova v Orlických horách. Práce a studie. Ochrana přírody a krajiny. Pardubice, 1971, č. 15, s. 67-178.
- PELIŠEK, J. Změny kyselosti lesních půd Orlických hor působením kyselých dešťů. Lesnictví, 1984, roč. 30, č. 11, s. 955-962.
- PODLASKI, R. A development cycle of the forest with fir (*Abies alba* MILL.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) in its species composition in the Świątokrzyski National Park. Journal of Forest Science, 2004, vol. 50, no. 2, s. 55-66.
- PODRÁZSKÝ, V. Akumulace uhlíku v lesních ekosystémech - příklad smrkového a bukového porostu ve vyšších nadmořských výškách. Lesnictví - Forestry, 1998, roč. 44, č. 9, s. 392-397.
- PODRÁZSKÝ, V. Rychlost spontánní obnovy humusových forem na plochách zbavených nadložního humusu buldozerovou přípravou v Krušných horách. In Meliorace v lesním hospodářství a v krajinném inženýrství. Kostelec nad Černými lesy 26. - 27. 1. 2006. Praha: ČZU, 2006a, s. 221- 226.
- PODRÁZSKÝ, V. Effects of thinning on the formation of humus forms on the afforested agricultural lands. Scientia Agriculturae Bohemica, 2006b, vol. 37, no. 4, s. 157-163.
- PODRÁZSKÝ, V., NOVÁK, J., MOSER, W. K. Vliv výchovných zásahů na množství a charakter nadložního humusu v horském smrkovém porostu. Zprávy lesnického výzkumu, 2005, roč. 50, č. 4, s. 9-12.
- PODRÁZSKÝ, V., REMEŠ, J., KRATOCHVÍL, J. Vývoj půdního chemismu ve smrkových lesních ekosystémech na území ŠLP Kostelec nad Černými lesy. Zprávy lesnického výzkumu, 2005, roč. 50, č. 3, s. 200-203.
- PODRÁZSKÝ, V., ŠTĚPÁNÍK, R. Vývoj půd na zalesněných zemědělských plochách – oblast LS Český Rudolec. Zprávy lesnického výzkumu, 2002, roč. 47, č. 2, s. 53-56.
- PODRÁZSKÝ, V., VIEWEGH, J. Comparison of humus form state in beech and spruce parts of the Žákova hora National Nature Reserve. Journal of Forest Science, 2005, vol. 51, Special Issue, s. 29-37.
- ŠMÍDOVÁ, V. Metody používané při rozbořech na VÚLHM VS Opočno. Opočno: výzkumná stanice Opočno, 1991. Nestr. strojopis.
- ULRICH, B. Factors affecting the stability of temperate forest ecosystem. In 18th IUFRO World Congress. Division 1, 1986, vol. 1. Ljubljana: IUFRO, 1986, s. 121-135.
- VACEK, S. Dynamika poškození smrkových a bukových porostů v CHKO Orlické hory. II. Vegetační změny. Příroda, 1994, č. 1, s. 167-165.

VACEK, S., PODRÁZSKÝ, V. Změny chemismu v lesních půdách Krkonoše. Zprávy lesnického výzkumu, 1994, roč. 34, č. 4, s. 51-52.

VACEK, S., PODRÁZSKÝ, V., MAREŠ, V.: Dynamika poškození smrčových a bukových porostů v CHKO Orlické hory. I. Změny ve stromovém patře. Příroda, Praha, 1994a, č. 1, s. 153-164.

VACEK, S., PODRÁZSKÝ, V., MAREŠ, V. Dynamika poškození smrčových a bukových porostů v CHKO Orlické hory. III. Trendy půdního vývoje. Příroda, Praha, 1994b, č. 1, s. 177-183.

RAPIDITY OF FOREST SOIL CHARACTER RESTORATION OF AFFORESTED LOCALITIES OF THE ORLICKÉ HORY MTS.

SUMMARY

Restoration of forest soil character on the afforested agricultural lands is widely unknown ecological process. In particular periods, relatively large areas of abandoned or marginal farmland or pastures were afforested; it was quite frequent approach to management of these lands in the Central Europe. The aim of the presented paper is the presentation of the research results concerning the comparison of the agricultural land covered with Norway spruce or European beech at the age of 50 years with another stand, assumed as steady forested and of close-to-nature character. The plots are located in the National Nature Preserve Trčkov (Orlické hory Mts.). This is situated to NW of the highest point of the Orlické hory Mts., the Velká Deštná Mt. (1,115 m a. s. l.), at the altitude 920 – 780 m a. s. l. In the natural forest, the mixture of spruce-fir-beech prevails, the site character is given by the forest type groups 6S (medium rich spruce-beech forest - 48.7%) and 7K (acid beech-spruce forest - 29.5%). The total area of the preserve is 65.26 ha, the bedrock is formed by gneisses with quarcite. The average annual temperature is about 5 °C, annual precipitation ca 1,000 mm.

Soils were sampled in three particular stands:

- even-aged spruce stand on former agricultural land, age of 50 years (permanent research plot – PRP 1),
- even-aged broad-leaved stand with dominant beech, age of 50 years (PRP 2),
- uneven-aged mixed close-to-nature forest, in the growing-up stage (PRP 3).

Forest-floor humus forms (L + F1, F2, H) were sampled in 4 replications quantitatively using the iron frame 25 x 25 cm in autumn 2003, the mineral horizon Ah was not sampled quantitatively. The standard profiles were sampled in the close-to-nature stand in years 1996 – 2003. Standard soil chemical analyses were performed (tables 1 and 2): dry matter amount of holorganic (forest-floor humus) horizons, total content of nutrients, plant available nutrients (leaching in citric acid), soil adsorption complex characteristics according to Kappen, pH in water and KCl solution, humus (total carbon) content.

Results documented relatively fast accumulation of new holorganic matter (table 1) representing cca 70 % of the intact state. The total carbon (humus) content was not at values typical for forest soils yet, so the amount of this element fixed was lower (table 2): the mineral admixture in holorganic layers was higher on the afforested plots, on the contrary the C-content in the mineral horizon was still lower there. The carbon sequestration in the holorganic horizons can be estimated as 247 (spruce part) and 241 (beech part) kg.ha⁻¹.year⁻¹. The beech showed more favourable effects on the forest soil from the soil chemistry point of view (table 2). Character of the humus form in the spruce stand was comparable to close-to-nature one, which can be explained by the Norway spruce dominance there. The process of the forest soil restitution seems to be relatively rapid, considering the age of 50 years. It can be assumed complete revitalization during the first rotation, at least from the quantity aspect. However the soil biology characteristics represent rather unknown trend.

The pH, bases content and saturation decrease during the study period. Its dynamics was studied in the close-to-nature stand; its composition did not prevent the undesirable soil dynamics. Perhaps the increased share of beech and fir within the stand composition might be an appropriate measure applied to stop or reduce acidification.

Study of remnants of natural forest represents an important part of the studies in the region of interest. The results document considerable potential for the forest site restoration, as well as the further acidification of soils.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Vilém Podrázský, Fakulta lesnická a dřevařská, Česká zemědělská universita
Kamýcká 1176, 165 21 Praha 6 - Suchbát, Česká republika
tel: 220 920 319; e-mail: podrazsky@fd.czu.cz

DYNAMIKA CHEMISMU LESNÍCH PŮD V MORAVSKOSLEZSKÝCH BESKYDECH

DYNAMICS OF FOREST SOILS CHEMISTRY IN THE MORAVSKOSLEZSKÉ BESKYDY MTS.

VÁCLAV LOCHMAN, MILAN BÍBA, ZDENĚK VÍCHA, ZUZANA OCEÁNSKÁ
Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady

ABSTRACT

In 1981 the samples of forest floor and mineral soil from probes were taken on the fully forested research catchments Červík and Malá Ráztoka in the Moravskoslezské Beskydy Mts. established in 1953 for studying impact of stands felling and replacement of woody species composition on throughfall and runoff regime. Chemical properties of soil were evaluated by leach of 1% citric acid and available nutrients were determined. Since 1989 leaches of 1M NH_4Cl have been used for determination of exchangeable cations. In 1983, 1985 and 1987 application of dolomitic limestone was repeated on the catchment Malá Ráztoka in the amount of 3 t/ha which influences pH increment and content of Ca and Mg in forest floor and surface horizon of mineral soil. On catchment Červík this chemistry of humus and surface horizon of mineral soil was influenced by changes in the status of forest stands (arising of cuttings, canopy of plantings). During investigation contents of available and exchangeable cations decreased in mineral soil of evaluated catchment. Saturation degree of adsorption soil complex (BS) does not reach 5 % on catchment Červík and 10 % on catchment Malá Ráztoka. Content of available P dropped to very low values.

Klíčová slova: chemismus lesních půd, srážkoodtokové poměry, Moravskoslezské Beskydy
Key words: chemistry of forest soils, throughfall, runoff regime, Moravskoslezské Beskydy Mts.

ÚVOD

Výzkumné plochy se sledovanými půdními profily jsou na výzkumných povodích Červíku a Malé Ráztoky spravovaných Výzkumným ústavem lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., pracovištěm ve Frýdku-Místku. Jsou to povodí v Moravskoslezských Beskydech a je na nich dlouhodobě sledován srážkoodtokový proces ve vztahu ke změnám v lesních porostech, především k jejich mýcení a ke změně druhové skladby. Výzkumná povodí byla založena v roce 1953. Po ukončení kalibračního období (1953 - 1965) započaly na dílčím povodí Červíku A urychlené těžby porostů (1966). Povodí Červíku B zůstávalo až do roku 1994 nezasaženo úmyslnými těžbami. Na povodí Malá Ráztoka probíhaly urychlené těžby porostů buku a jejich obnovy smrkem. Bližší informace o vlivu těžeb porostů na změny vodnosti povodí, na četnost a velikost povodňových vln a na erozi půdy podávají CHLEBEK a JAŘABÁČ (1995, 1998) a JAŘABÁČ a CHLEBEK (1984a, b).

V roce 1981 vyvolalo rostoucí poškození porostů v povodích vlivem působení imisních látek potřebu sledování jejich spadu se srážkami, sledování chemismu půdní vody a vody v povrchových zdrojích (JAŘABÁČ, CHLEBEK 1983, LOCHMAN et al. 1986). Uvedené práce skončily zjara roku 1984. Sledování spadu látek se srážkami na volné ploše a chemismu vody povrchových zdrojů (potoků) bylo obnoveno v roce 1991 (BÍBA et al. 2006, LOCHMAN et al. 1999, 2000, 2001) a pokračují až dodnes.

Při zřizování zařízení na zachycování půdní vody byly v roce 1981 (1982) odebrány pro analýzy i vzorky půdy (LOCHMAN et al. 1986). Odběry vzorků půdy pro laboratorní rozborů pokračovaly v nepravidelných intervalech i v dalších letech (LOCHMAN et al. 1994).

To umožnilo hodnocení vývoje přítomnosti výměnných či přístupných kationtů i fosforu a jejich celkové zásoby v humusových horizontech půd na obou povodích (Červíku a Malé Ráztoky), které se vzájemně liší složením matečné horniny a především zatížením spady z ovzduší. Toto hodnocení je předmětem předkládané práce.

PŮDNÍ TYPY A HUMUSOVÉ FORMY
HODNOCENÝCH PROFILŮ

Geologickým podkladem obou povodí Červíku je godulský pískovec s vložkami ístebňanských břidlic a jílovců, na nichž se vytvořily půdy proměnlivé zrnitosti od písčitých po jílovito-hlinité. Na povodí Malá Ráztoka je geologickým podkladem godulský pískovec.

Na povodí Červíku A se na horní ploše vyvinul podzol modální na velmi zrnitém materiálu s humusovou formou morového moderu. Na dolní ploše je kambizem dystrická, slabě oglejená na písčito-hlinitém deluviu, s humusovou formou moderu.

Na horní ploše povodí Červíku B se na hlubokém hlinitopísčitém materiálu vytvořila kambizem dystrická s humusovou formou moru. Na údolní ploše je na balvanitém podkladu vytvořen podzol rankerový, slabě oglejený s humusovou formou mělového moru.

Na povodí Malá Ráztoka je na ploše v horní části (Noříč) kambizem dystrická s humusovou formou typického moru. V dolní části povodí se vyvinula na skeletovém deluviu s 40% sklonem též kambizem dystrická, rankerová s humusovou formou mulového moderu.

METODIKA ROZBORŮ

Odběr vzorků humusu a půd byl prováděn na plochách v povodí Červíku a na vrcholové ploše na Malé Ráztoce v letech 1981, 1989, 1994, 2000 a 2005. Na údolní ploše v povodí Malá Ráztoka se uskutečnil odběr vzorků v roce 1982, 1987, 1994, 2000 a 2005. Humusové formy a typy půd jsou hodnoceny podle taxonomického klasifikačního systému půd České republiky (NĚMEČEK et al. 2001).

Rozbory půdy prováděly Zkušební laboratoře Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., v Jílovišti-Strnadlech.

Celkový oxidovatelný uhlík (C_{ox}) byl stanovován jodometrickou titrací po mineralizaci kyselinou sírovou, celkový dusík (N_t) pomocí kjeldahlizace. Od roku 2005 je celkový obsah C a N měřen ve vzorcích spalovací metodou.

Pro stanovení celkového obsahu dalších prvků v humusu byly do roku 1993 vzorky mineralizovány žiháním a k výluhu popela byla použita koncentrovaná HCl. Od roku 1994 jsou vzorky vyluhovány přímo lučavkou královskou.

Pro zjištění celkového obsahu dalších prvků v pokryvném humusu byla po jeho mineralizaci žiháním do roku 1993 používána koncentrovaná HCl a od roku 1994 lučavka královská. Pro stanovení obsahu přístupných forem prvků v humusu a půdě byl do roku 1989 používán výluh 1% kyselinou citronovou. Od tohoto roku byly stanovovány výměnné kationty výluhem 1 M NH_4Cl .

Měření obsahu kationtů ve výluzích bylo prováděno na spektrofotokolorimetru AAS Varian Techtron. Stanovení těžkých kovů a P je od roku 1994 prováděno na přístroji ICP OES LIBERTY.

VÝSLEDKY

Vývoj chemismu půdy hodnotíme na jednotlivých plochách. Na horní ploše v povodí Červíku A byla v roce 1981 nově zalesněná holá seč, v roce 1994 mlazina před zapojením a od roku 2000 zde existuje zapojený porost smrku s přimíšeným bukem.

Hodnoty aktivního pH (H_2O) a výměnného pH (KCl) narůstaly od roku 1981 do roku 1994. Do hloubky 35 (45) cm měla většina odebraných vzorků půdy pH/ H_2O nižší než 4,2. (tab. 1). Poměr C/N byl v roce 2005 v pokryvném humusu optimální a v minerální půdě vysoký (≥ 20). V pokryvném humusu (H) v letech 1989 až 2005 narůstal obsah výměnného K a poklesl obsah Ca. V minerální půdě se projevil pokles obsahu všech bazických kationtů u Mg a u Ca v půdní spodině jen na < 10 ppm. Poklesl obsah přístupného P na jednotky ppm. Nasycení sorpčního komplexu se současně snížilo na < 5 % v roce 2005 (tab. 10). Mezi roky 1994 a 2005 klesaly i obsahy celkového K, Mg a Ca v pokryvném humusu (tab. 7).

Na dolní ploše u přepadu byla v roce 1981 odrostlá kultura, ze které se v roce 1994 vyvinul zapojený smrkový porost s příměsí listnáčů (buku).

Aktivní a výměnné pH pokryvného humusu se ve sledovaném období (1981 - 2005) s výkyvy snižovalo (nejvyšší hodnoty byly stanoveny v roce 1989) – (tab. 2). V minerální půdě nebyl zjištěn jednoznačný trend, ale nejvyšší hodnoty pH/ H_2O i pH /KCl byly naměřeny u vzorků odebraných v roce 1989. Nižší hodnota pH/ H_2O než 4,2 byla trvale zjišťována v horizontu 0 - 10 cm. V roce 2005 byl poměr C/N vysoký v materiálu pokryvného humusu v půdním profilu do hloubky 40 cm. Obsah výměnných bazických kationtů narůstal v pokryvném humusu a klesal v minerální půdě na 20 - 30 ppm u K, na < 5 ppm Mg, < 10 ppm u Ca a 5,2 ppm

přístupného P v roce 2005. V pokryvném humusu překračovalo nasycení sorpčního komplexu bázemi 50 % a v minerální půdě pokleslo na < 5 % (tab. 10). Obsahy celkového K, Mg a P klesaly, u Ca nebyl zjištěn jednotný trend změn (tab. 7).

Na povodí Červíku B byla horní plocha v roce 1981 umístěna do okraje dospělého uvolněného porostu smrku. Mezi roky 1994 až 2000 byl porost domýcen a zůstal zde řídký porost smrku a buku z náletu.

Od počátku sledování (1981) se zvyšovalo aktivní pH v humusovém horizontu a v půdním profilu do hloubky 25 cm. Výměnné pH se zvýšilo ve vrstvě F a pokleslo v půdě v hloubce nad 25 cm (tab. 3). Hodnoty pH $\leq 4,2$ byly naměřeny ve vrstvě H a do roku 2000 i v horizontu A. Poměr C/N byl v roce 2005 dobrý v materiálu pokryvného humusu a v povrchovém humózním horizontu A. V hlubší části profilu je vyšší než optimum. Obsah výměnného Ca a Mg ve vrstvě F i H pokryvného humusu se zvýšil, v půdním profilu se snížil, v hlubší části u Mg na < 5 a Ca < 10 ppm. Naopak obsah K narůstal. Také přístupný P v minerální půdě profilu poklesl na $< 5,2$ ppm. Současně se snižovalo nasycení sorpčního komplexu půdy V na 5 % (tab. 10). Mezi roky 1994 a 2005 se též zvýšil celkový obsah K, Mg, Ca a P ve vrstvě F a u Ca a P i ve vrstvě H pokryvného humusu (tab. 8).

Dolní plocha na povodí Červíku B byla založena v dospělém smrkovém porostu, který byl vytěžen v roce 1986. Obnova byla provedena smrkem, v roce 2005 byla mlazina zapojena.

Vývoj hodnot pH byl v jednotlivých horizontech nestejný. Ve vrstvě F aktivní i výměnné pH dosáhlo nejvyšších hodnot v roce 2005 ve vrstvě H v roce 1989 (tab. 4). V minerálním půdním profilu bylo stanoveno nejvyšší pH/ H_2O v roce 2000 a pH/KCl v roce 1989, v dalším období pokleslo. Až do hloubky 20 cm bylo pH/ H_2O trvale nižší než 4,2. Poměry C/N v půdě byly na této ploše příznivé. Obsahy výměnných bazických kationtů a přístupného P v pokryvném humusu (H) a v minerálním profilu mezi roky 1989 až 2005 trvale klesaly i v hlubších horizontech u Mg na < 5 ppm, u Ca < 30 ppm a P na $< 5,2$ ppm. Současně klesal stupeň nasycení sorpčního komplexu V, v minerální půdě byl nižší než 5 % (tab. 10). Celkový obsah K, Mg a Ca v humusu od roku 1994 klesal (tab. 8).

Na povodí Malá Ráztoka byla horní plocha založena v dospělém bukovém porostu na Noříči, který byl v sousedství plochy mycen. V letech 1983, 1985 a 1987 na povodí proběhla letecká aplikace dolomitického vápence ($3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$).

V pokryvném humusu (H) se aktivní a výměnné pH mezi roky 1981 až 1989 zvýšilo a po roce 1989 klesalo. V minerální půdě pokračoval růst pH/ H_2O až do roku 2000, pH/KCl klesalo již od roku 1989 (tab. 5). Hodnoty pH vodního výluhu půdy v organominerálním horizontu A se pohybovaly pod 4,2. Poměr C/N byl optimální, v pokryvném humusu se pohyboval v rozmezí 15 až 20 (22) a v minerální půdě byl nižší než 15. V období aplikace dolomitického vápence mezi roky 1981 a 1989 v pokryvném humusu i v minerální půdě narůstal obsah přístupného Ca a Mg a po roce 1989 klesal obsah výměnného Mg a Ca, ve spodní části půdního profilu byl u Mg na < 10 ppm. Obsah K v sorpčním komplexu měl opačný průběh, po poklesu v 80. letech se v dalším období projevil nárůst (na > 30 ppm). V celém sledovaném období byl zjišťován pokles obsahu přístupného P v minerální půdě až na < 10 ppm. Od roku 1989 klesalo i nasycení sorpčního komplexu bazickými kationty. V roce 2005 dosahovalo v pokryvném humusu (H) 65,6 % a v minerální půdě < 10 % (tab. 11). Celkový obsah K, Mg, Ca v pokryvném humusu po roce 1982 narostl a po roce 1994 poklesl (tab. 9).

Dolní plocha na povodí Malé Ráztoky (u potoka) byla založena v roce 1982 na holé seči. Obnovený listnatý porost s příměsí smrku již v roce 2000 dosahoval korunového zápoje. Opakovaná aplikace dolomitického vápence v povodí se projevila ve zvýšení hodnot aktivního a výměnného pH v pokryvném humusu mezi roky 1982 a 1987 (tab. 6). V dalších letech byl patrný pokles hodnot. V minerální půdě narůstalo pH/H₂O do roku 2000. Maximální hodnoty pH/KCl byly v hloubce 0 - 20 cm stanoveny v roce 1994 a ve spodní části profilu v roce 2000. Hodnoty pH $\leq 4,2$ v roce 1982 zasahovaly v minerální půdě až do hloubky 20 - 50 cm. Toto pásmo nízkého pH se během dalších let zúžilo na horizont Ah 0 - 8 cm. Poměr C/N byl v roce 2005 v humusovém horizontu i v minerální půdě optimální (15 - 20 a 10 - 15). Obsahy přístupných bazických kationtů a fosforu v humusu do roku 1987 narůstaly. Po roce 1994 se v celém profilu snižoval obsah výměnného Mg a Ca a přístupného P, u K se v hloubce od 20 cm projevil nárůst.

V půdní spodině byl v roce 2005 obsah Mg < 10 ppm a Ca < 20 ppm a proto pokleslo i nasycení sorpčního komplexu půdy báze V na < 10 % (tab. 11). Celkový obsah Mg a Ca v pokryvném humusu byl největší v roce 1987 a v dalších letech klesal (tab. 9).

SOUHRN A DISKUSE

Změny chemismu půdy, především povrchových horizontů, na povodí Červíku jsou podstatně ovlivňovány vývojem porostů. Na povodí Červíku A se aktivní pH (H₂O) od roku 1981 na horní i dolní ploše zvyšovalo až do zapojení výsadby (do roku 2000, respektive 1989). Podobně se vyvíjelo i výměnné pH (KCl). V hlubší části půdních profilů nebyly změny pH v průběhu sledování jednoznačné. Na povodí Červíku B se na horní ploše zvýšilo pH/H₂O v povrchových horizontech po roce 1994 a pH/KCl spíše klesalo. Na dolní ploše narůstalo aktivní pH v humusovém horizontu do roku 1989 a v minerální půdě do roku 2000, tedy po smýcení porostu do zapojení mlaziny.

Na povápněném povodí Malá Ráztoka byly nejvyšší hodnoty pH/H₂O zjištěny v roce 2000. Nejvyšší hodnoty pH/KCl byly na horní ploše v porostu buku shledány v roce 1989, na dolní ploše v humusovém horizontu v roce 1987, v hloubce 0 - 20 cm v roce 1994 a v hlubší části půdního profilu roku 2000.

Hodnoty pH vodního výluhu půdy ukazují na možnosti pufrace (spotřeby) vodíkových iontů přicházejících z depozice a z interních procesů v půdě, to je procesů spojených s rozkladem odumřelé organické hmoty, s přeměnami forem dusíku a s výživou fytocenózy (porostů). Při pH < 4,2 může probíhat destrukce minerálního sorpčního komplexu, tedy rozpad jílových minerálů a uvolňování Al₃⁺ (ULRICH et al. 1981). Tento stav existuje na všech výzkumných plochách v horizontech A. Na horní ploše Červíku A a dolní ploše Červíku B zasahuje zóna pufrace protonů tímto procesem do větší hloubky (20 cm) a v 80. letech dosahovala ještě hlouběji (45 cm). Na těchto dvou plochách se ve svrchním horizontu A pohybuje pH/H₂O v hodnotách nižších než 3,8, což vytváří předpoklad pro pohyb sloučenin Fe (ULRICH et al. 1981). Proto také půdy uvedených ploch vykazují zřetelné znaky podzolizace. V hlubších horizontech půd na všech plochách probíhá pufrace protonů (H⁺) především výměnou kationtů ze sorpčního komplexu (pH/H₂O > 4,2 až $\leq 5,0$) a to i na vápněných plochách v povodí Malé Ráztoky.

Trend snižování obsahu přístupných kationtů Mg a Ca (ve výluhu 1% kyseliny citronové) v minerálních částech půdních profilů byl mezi

roky 1981 a 1989 zjištěn na všech plochách v povodí Červíku. Na povodí Malá Ráztoka se v tomto období projevilo zvýšení obsahu přístupného Mg a Ca v horizontu pokryvného humusu a v organominerálním horizontu A jako důsledku aplikace dolomitického vápence. Na sečích s obnovovanými porosty v povodí Červíku A a na dolní ploše Červíku B lze nárůst obsahu přístupných kationtů vysvětlit jako následek poklesu kyselé depozice a uvolňování prvků při mineralizaci odumřelé organické hmoty. Obsah přístupného P v minerální půdě se během sledovaného období podstatně snižoval na všech plochách, na povodích Červíku A a Červíku B až na minimální množství (< 5,2 ppm). U tohoto prvku není snížení způsobeno vymytím nebo odčerpáním kořeny porostů, ale především změnou jeho rozpustnosti při změně půdního pH (PAČES 1979).

Obsah výměnných kationtů Mg a Ca v sorpčním komplexu minerální půdy stanovený po roce 1989 (1994) klesal na všech plochách a s výjimkou ploch na Malé Ráztocce a horní plochy na Červíku B klesal i obsah výměnného K. Množství výměnného Ca a Mg v materiálu humifikační vrstvy H pokryvného humusu se snižovalo na plochách v povodí Malé Ráztoky, a po zapojení mlaziny na horní ploše Červíku A a dolní ploše v povodí Červíku B.

Snižování zásoby bazických kationtů v sorpčním komplexu půdy vedlo k poklesu a vyrovnání hodnot V v minerální části profilů na velmi nízké nasycení (< 5 %) na plochách Červíku A i B a k poklesu hodnoty V na < 10 % na plochách v povodí Malé Ráztoky.

Celkový obsah bazických kationtů v materiálu pokryvného humusu na plochách Červíku A s mladými porosty mezi roky 1994 a 2005 klesal. Stejný trend ukazují celkové obsahy K, Mg a Ca na dolní ploše v povodí Červík B. Na horní ploše tohoto povodí nebyly v hodnoceném období změny celkového obsahu těchto kationtů jednoznačné. Na povodí Malá Ráztoka se od roku 1994 na obou plochách v humusovém horizontu snižoval celkový obsah Mg a Ca. Nejvyšší obsahy těžkých kovů a železa byly v pokryvném humusu sledovaných ploch stanoveny v roce 2000, vyšší na Malé Ráztocce než na Červíku a vůbec nejvyšší na ploše Nořiči. Podle metodiky ICP Forests byly u většiny vzorků během sledování celkové obsahy Cd, Cu, Pb a Zn střední. Vysoké obsahy Cu byly stanoveny v humusu ploch na Malé Ráztocce v roce 1981 a 1987. Vysoké obsahy Pb byly zjištěny ve vzorcích odebraných na všech plochách v roce 2000 a na plochách na Malé Ráztocce ještě v roce 2005. Na tomto povodí se projevuje větší exponovanost ploch vůči proudění vzduchu i v depozici těžkých kovů.

Na změny chemismu půdy má vliv vývoj depozice prvků, ta byla na povodích zjišťována pouze ve srážkové vodě zachycované na volné ploše (bulk) v údolní části povodí (BÍBA et al. 2006). Ve sledovaném období od roku 1992 zde ve srážkách klesaly koncentrace aniontů silných kyselin, především SO₄²⁻, ale také kationtů Ca, K, Mg i Na. To způsobilo, že na povodí Červíku po roce 2000 pokleslo průměrné roční pH srážkové vody pod 5,0 a stejně tak i na Malé Ráztocce již od roku 1999. Větší snížení spadu dusíku proběhlo na Malé Ráztocce, ale stále zde zůstávala depozice vyšší než na Červíku.

Bilancování spadu prvků se srážkami a jejich ztráta s odtékající vodou v letech 1982 a 1983 a též v 90. letech pro povodí Červíku a Malé Ráztoky uvádí LOCHMAN et al. (1999). Výsledky ukazují rozdíly v chemismu srážek v závislosti na charakteru porostu a jeho exponovanosti vůči proudění vzduchu. I když depozice protonů (H⁺) se srážkami z volné plochy v letech 2002 až 2005 z výše uvedených důvodů opět narostla, na Červíku na 0,19 kmol.ha⁻¹ a na Malé Ráztocce na 0,21 kmol.ha⁻¹, je nutné při hledání příčin snižování zásoby

bazických kationtů v půdě uvažovat i jejich spotřebu vzrůstavými mladými porosty a také uvolňováním protonů při přeměnách a příjmu sloučenin dusíku vegetací.

Při příjmu iontu NH_4^+ ze spadu je uvolňován jeden proton (H^+), při jeho nitrifikaci na NO_3^- jsou uvolňovány dva protony a jsou-li vzniklé nitrátové ionty vymyty z půdy odtékající vodou, působí celý proces okyselení půdního prostředí (KHANNA, ULRICH, 1985, ULRICH et al. 1981). V období let 2002 až 2005 dosahoval námi zjištěný roční spád N/NH_4^+ na volné ploše na Červíku 4,08 kg na ha ($0,288 \text{ k}_{\text{mol}}$) a ztráty s odtékající vodou byly na Červíku A 0,189 kg ($0,0135 \text{ k}_{\text{mol}}$) a na Červíku B 0,199 kg ($0,0142 \text{ k}_{\text{mol}}$) na ha. U N/NO_3^- byl na Červíku stanoven na volné ploše roční spád 4,42 kg ($0,315 \text{ k}_{\text{mol}}$) na ha. Roční průměrné ztráty s odtékající vodou byly na Červíku A 1,84 kg ($0,133 \text{ k}_{\text{mol}}$) a na Červíku B 3,82 kg ($0,272 \text{ k}_{\text{mol}}$) na ha. Na Malé Ráztokce byl ve srážkách na volné ploše stanoven roční spád N/NH_4^+ 6,47 kg ($0,456 \text{ k}_{\text{mol}}$) a ztráta odtokem 0,231 kg ($0,0162 \text{ k}_{\text{mol}}$) na ha. Roční depozice N/NO_3^- zde dosahovala 5,60 kg ($0,399 \text{ k}_{\text{mol}}$) na ha a ztráta odtokem 11,76 kg ($0,840 \text{ k}_{\text{mol}}$). Je tedy zřejmé, že pravděpodobnost působení zvýšeného spadu dusíku na proces okyselení a ochuzování půdy je větší na povodí Malá Ráztoka.

O rozdílech v koloběhu dusíku na jednotlivých povodích svědčí průměrné roční koncentrace nitrátů (NO_3^-) v odtékající vodě, které se v letech 2002 až 2005 pohybovaly na Červíku A mezi 1,28 – 1,58, na Červíku B 2,45 – 3,50 a na Malé Ráztokce 5,11 – 9,70 mg.l^{-1} .

Výsledky analýz jehličí odebraného v mladých porostech smrku v letech 2003 a 2004 ukazují na dobrou výživu porostů na povodí Malá Ráztoka. Na povodí Červíku A v horní části byl stanoven mírný deficit dusíku a fosforu. U hořčíku byly zjištěny nižší koncentrace v jehličí smrku v dolní části tohoto povodí, které se u dvouletého jehličí pohybovaly v oblasti mírného nedostatku ($< 700 \text{ mg/kg}$) (BÍBA et al. 2006).

ZÁVĚR

Od roku 1992 probíhá na povodí Červíku a Malé Ráztoky pokles depozice látek se srážkami na volné ploše (bulk). Snižování kontaminace srážkové vody vede i k poklesu jejího pH. Na povodí Červíku byl chemismus humusového horizontu a povrchových horizontů minerální půdy ovlivňován vývojem lesních porostů (vznik sečí, zapojování porostů). Na povodí Malá Ráztoka se v povrchových půdních horizontech projevoval vliv aplikace dolomitického vápence ve zvýšení hodnot pH a obsahu Mg a Ca. Snižování obsahu bazických kationtů se projevovalo méně v pokryvném humusu a humózním horizontu A. V minerální půdě obou povodí se dále snižoval obsah přístupných kationtů Na, K, Mg, Ca i K. Stupeň nasycení sorpčního komplexu půdy V nedosahuje na povodích Červíku A a Červíku B 5 % a na povodí Malé Ráztoky 10 %. Obsah přístupného P poklesl na velmi nízké obsahy.

Během let pozorování se zúžila zóna nízkého ($\text{pH}/\text{H}_2\text{O} < 4,2$) s pufrací protonů uvolňováním Al^{3+} jen na povrchové horizonty. V profilech je pH odpovídající pufrací protonů výměnou kationtů ze sorpčního komplexu. Zásoby výměnných živin jsou však v minerálních půdách sledovaných ploch velmi nízké a výživa fytocenóz je zajišťována jejich uvolňováním z humusového horizontu (ze spadu a rozkladu odumřelé organické hmoty) a uvolňováním při (rozkladu) zvětrávání detritátu matečné horniny. Při narušení těchto procesů může dojít k projevům nedostatku některých prvků v asimilačních orgánech a poškození lesních porostů.

Poznámka:

Příspěvek byl zpracován v rámci výzkumného projektu NAZV č. QF3013 „Vývoj hydrického působení lesů malých horských povodí“, řešeného ve Výzkumném ústavu lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.

LITERATURA

- BÍBA, M., JAŘABÁČ, M., LOCHMAN, V., OCEÁNSKÁ, Z., ŠRÁMEK, V., VÍCHA, Z. Vývoj hydrického působení lesů malých horských povodí. Závěrečná zpráva projektu QF 3013. Jiloviště: VÚLHM, v. v. i., 2007. 64 s., 28 tab., 38 grafů.
- CHLEBEK, A., JAŘABÁČ, M. 40 let lesnicko-hydrologického výzkumu v Beskydech 1953 - 1993. Lesn. průvodce, 1995, č. 2, 29 s., 30 tab., 60 grafů, 39 obr.
- CHLEBEK, A., JAŘABÁČ, M. Vliv porostů lesních dřevin a jejich obnovy na vodní režim malých povodí (Červík, Malá Ráztoka, U Vodárny). Závěrečná zpráva. Jiloviště-Strnady: VÚLHM, 1998. 102 s.
- JAŘABÁČ, M., CHLEBEK, A. Vliv lesního hospodářství na kvalitu vody v beskydských experimentálních povodích. Lesnictví, 1983, roč. 29, s. 717-738.
- JAŘABÁČ, M., CHLEBEK, A. Eroze půdy vyvolané technologickými postupy na flyši. Závěrečná zpráva. Jiloviště-Strnady: VÚLHM, 1984a. 16 s., 13 tab., 27 obr.
- JAŘABÁČ, M., CHLEBEK, A. Vliv věku a zakmenění na redukci srážek v Sm Bk a Bk Sm stupni. Etapová závěrečná zpráva. Jiloviště-Strnady: VÚLHM, 1984b. 18 s., 19 tab., 27 obr.
- KHANNA, P. K., ULRICH, B. Processes associated with acidification of soils and their influence on the stability of spruce stands in Solling area. In Proc. Symp. Air Pollution and Stability of Coniferous Forest Ecosystems, Ostravice, October 1 - 5, 1984. Brno: Fac. Forestry, Agric. Univ., 1985. s. 23-26.
- LOCHMAN, V., JAŘABÁČ, M., CHLEBEK, A. Působení lesních porostů a obnovení sečí na chemické složení vody odtékající do vodních zdrojů na výzkumných povodích v Beskydech. Práce VÚLHM, 1986, roč. 68, s. 73-117.
- LOCHMAN, V., CHLEBEK, A., JAŘABÁČ, M. Depozice imisních látek se srážkami a jejich ztráty odtokem vody na povodí Červíku a Malé Ráztoky v Beskydech. In Vliv imisí na lesy a lesní hospodářství Beskyd, 12. Brno: MZLU, 1999. s. 53-58.
- LOCHMAN, V., CHLEBEK, A., JAŘABÁČ, M., ŠEBKOVÁ, V. Působení lesů v povodí Červíku a Malé Ráztoky na chemismus vody povrchových zdrojů. Jour. For. Sci., 2000, vol. 46, s. 305-324.
- LOCHMAN, V., BÍBA, M., ŠEBKOVÁ, V. Vývoj zásoby přístupných živin v půdách výzkumných povodí Červíku A, Červíku B a Malé Ráztoky. Beskydy, 114. Brno: MZLU, 2001. s. 43-50.
- NĚMEČEK, J. et al. Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Praha: ČZU, 2001. 79 s.
- PAČES, T. Geochemický oběh fosforu v exodenní zóně. Věstník Ústředního ústavu geologického, 54. Praha: 1979. s. 365-373.
- UHLÍŘOVÁ, H., HEJDOVÁ, J. Těžké kovy v lesních ekosystémech České republiky. Zprávy lesnického výzkumu, 1999, roč. 44, č. 3, s. 1-10.
- ULRICH, B., MAYER, R., KHANNA, P. K. Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen im Solling. Schriften. Forstl. Univ. Göttingen, 58, 1981, 371 s.

Tab. 1.

Vývoj chemismu půdy na povodí Červíku A - horní plocha. Zásoba přístupných kationtů ve výluhu 1% kyseliny citronové - C a zásoba výměnných prvků ve výluhu 1M NH_4Cl - A
 Development of soil chemistry on catchment Červík A – upper plot. Supply of available cations in leach of 1% citric acid – C and supply of exchangeable elements in leach of 1M NH_4Cl - A

Horizont/Horizon	Rok odběru/Sampling	pH/H ₂ O	pH/KCl	Cox %	Nt %	C : N	mg.kg ⁻¹									
							Na	K	Mg	Ca	Zn	Mn	Fe	Al	P	
L	1982		4,3		0,848		C	26	384	125	1 277	36	150	300	600	124
F	1982	3,8	3	36,48	1,63		C	34	242	100	1 100	32	150	560	1 100	116
H	1982	3,3	2,6	30,98	1,23	25,3	C	50	161	88	751	24	72	500	1 100	87
H	1989	3,9	3,3	21,42	1,10	19,5	C	48	185	109	686	16	66	387	567	69
L	2005	4,81	3,89	49,1	1,97	24,9	A	35,1	882	398	4 177	44,9	1 405	6,39	19,6	235
F	2000	4,73	3,31	33,94	2,09	16,2	A									
F	2005	4,34	3,3	48,4	2,19	22,1	A	30,6	859	302	3 058	43,9	803	21,89	68,4	
H	1989	3,9	3,3	21,42	1,10	19,5	A		279	135	1 021		56,9	41,9	399	69
H	1994	3,8	3	24,81	1,18	21	A	31,6	396	141	1 067	32,6	97,6	145	667	84
H	2000	3,94	2,82	22,67	1,29	17,6	A	24,7	252	120	937		59,8	187	802	33
H	2005	3,82	2,77	29,5	1,56	18,9	A	21,7	474	147	888	20,1	86,1	156	464	85
0-10	1981	3,4	2,6	6,87	0,291	23,3	C	11	50	24	185	8	16	520	1 075	31
0-5	1989	3,6	3,1	11,82	0,56	21,1	C	29	54	29	229	8	6	337	387	37
0-5	1989		3,1				A		93	37	360		3,8	33,9	405	
0-10	1994	3,8	2,72	7,26	0,365	19,9	A	7,1	92	27	116	4,5	23,7	46,3	641	18
0-10	2000	3,95	2,82	5,61	0,163	34,4	A	4,4	36,3	16,8	103		5,1	104	644	5
0-8	2005	3,82	2,8	3,11	0,179	17,4	A	2,2	31,2	14	90,4	2,7	16,1	111	793	26
10-20	1981	3,7	3,2	1,11	0,084	13,2	C	6	22	14	98	10	6	350	365	18
5-15	1989	4		1	0,075	13,2	C	14	30	11	67	3	2	286	288	26
5-15	1989						A		32,1	9,5	63		1,3	54,5	437	
10-25	1994	4,15	3,5	2,12	0,124	17,1	A	5,3	57	13	97	2,2	29,5	45,5	741	114
10-25	2000	4,17	2,99	1,58	0,087	16,2	A	2,9	22,2	8,6	57,5		5,6	89	940	114
8-20	2005	3,98	3,12	2,22	0,111	20	A	2,1	27,8	9,8	45	2	21,8	98,3	915	2,1
20-35	1981	3,6	2,6	1,73	0,094	18,4	C	6	25	10	75	6	65	2 150	1 875	37
20-35	1989	4	3,5	2,6	0,201	12,9	C	22	39	15	83	3	42	2 697	1 060	220
20-35	1989						A		59	14	82		11	70,9	924	
25-45	1994	4,5	3,95	2	0,119	16,8	A	4,3	32,4	6,7	49,1	1,8	4,5	7,7	545	74
25-45	2000	4,3	3,34	2,51	0,164	15,3	A	4,82	42	10,3	66,3		13,8	48,1	941	13
20-45	2005	4,17	3,43	1,73	0,081	21,4	A	2,4	22,6	5,1	22,4	1,5	18,9	31,3	788	2,8
35-55	1981	4,25	4,15	1,53	0,098	15,6	C	6	17	8	70	8	39	1 425	2 025	8
45-60	1994	4,5	4,00	1,24	0,109	11,4	A	4,23	69,2	7,04	50,83	0,6	2,89	4,1	441	108
45-60	2000	4,5	3,64	1,17	0,07	16,7	A	3,5	15,4	3,5	21,6		5,4	5,5	831	10
45-60	2005	4,3	3,67	1,82	0,088	20,7	A	1,9	34,6	4,1	9,4	1,9	13	10,3	699	5,7
60+	2000	4,44	3,5	1,03	0,062	16,6	A	10,5	22,1	3,7	18,5		15,2	189	701	8
0+	2005	4,29	3,72	2,37	0,114	20,8	A	3,3	26,7	4,3	16,4	2,2	3,6	18	710	7,3

Tab. 2.

Vývoj chemismu půdy na povodí Červík A - dolní plocha. Zásoba přístupných prvků ve výluhu 1% kyseliny citronové - C a zásoba výměnných kationtů ve výluhu 1M NH₄Cl - A
Development of soil chemistry on catchment Červík A - lower plot. Supply of available elements in leach of 1% citric acid - C and supply of exchangeable cations in leach of 1M NH₄Cl - A

Horizont/Horizon	Rok odběru/Sampling	pH/H ₂ O	pH/KCl	Cox %	Nt %	C : N	mg.kg ⁻¹									
							Na	K	Mg	Ca	Zn	Mn	Fe	Al	P	
F/H	1982	4,3	3,5	31,7	1,51	21	C	32	631	216	1 550	44	820	550	850	390
H/Ah	1982	3,6	2,8	12,6	0,644	19,6	C	16	112	50	350	16	25	775	1 050	151
H/Ah	1989	4,4	3,7	7,8	0,5	15,6	C	31	170	68	578	18,1	286	990	1 058	64
L	2005	4,2	3,29	50,8	1,34	37,9	A	26,1	842	217	2 532	35,8	614	15,4	33,3	94,6
F/H	2000	4,34	3,31	31,74	2,1	15,2	A									
F/H	2005	4,1	2,89	48,8	1,76	27,7	A	31,2	524	156	1 981	41	309	76,9	218	82
H/Ah	1989	4,4	3,7	7,8	0,5	15,6	A		228	73	648		164	11,9	387	
H	1994	4,1	3,4	26,4	1,24	21,3	A	14,8	334	130	1 145	20	353	26,7	299	28
H	2000	3,81	2,73	26,6	1,5	17,7	A	18,7	327	129	1 305	270	170	436	22	
H	2005	3,87	2,64	45,5	1,69	26,9	A	22,3	474	175	1 929	45,1	225	142	463	62,3
0 - 5 cm	1981	3,8	3,2	6,96	0,316	22	C	9	92	30	280	14	38	1 100	840	111
0 - 5 cm	1989	4,1	3,6	5,46	0,32	17,1	C	24	101	51	370	6,4	101	977	896	38
0 - 5 cm	1989						A	53,2	42	328		24	6,9	537		
0 - 10 cm	1994	3,8	3,1				A	6,6	105	30	123	5,6	10,8	84	570	20
0 - 10 cm	2000	3,92	2,91	3,47	0,184	18,9	A	4,6	61,4	16,3	71,8	10,6	112	745	10	
0 - 10 cm	2005	4	3,14	4,54	0,208	21,8	A	3,6	39,2	12,1	19,3	2,6	4,1	141	923	<5,2
5 - 25 cm	1981	4	3,3	1,9	0,116	16,4	C	6	39	13	100	8	39	1 500	1 025	49
10 - 20 cm	1989	4,5	4	1	0,081	12,1	C	18	24	12	87	3,7	59	866	1 301	16
10 - 20 cm	1989						A	32,4	11	71,9		13,9	3,2	528		
10 - 20 cm	1994	4	3,4				A	4,5	56,1	13	130	3	6,7	62,1	471	11
10 - 25 cm	2000	4,48	3,52	1,37	0,087	15,8	A	4,5	26,4	5	13,2	12,1	7,9	638	10	
10 - 25 cm	2005	4,49	3,98	2,75	0,132	20,8	A	2,3	28,4	4,6	6,5	1,6	14,2	13	493	<5,2
25 - 40 cm	1981	4,7	4,3	0,8	0,059	13,6	C	6	38	6	55	6	38	500	2 450	27
25 - 40 cm	1989	4,6	4,3	0,83	0,06	13,8	C	7,3	19	6,3	55	2,7	56	619	1 781	19
25 - 40 cm	1989						A	22,7	11	58		6,2	0,74	240		
25 - 40 cm	1994	4,6	4	0,94	0,084	11,2	A	6,1	53,4	11	49	0,92	7,1	2,1	309	29
25 - 40 cm	2000	4,7	3,92	0,93	0,077	12,1	A	3,6	16,4	2,6	6,5	7,3	0,77	361	15	
25 - 40 cm	2005	4,72	4,24	2	0,104	19,2	A	2,3	19,3	2,2	3,7	1,62	6,1	1,34	275	<5,2
40 - 60 cm	1981	4,8	4,3	0,8	0,038	21,1	C	5	39	6	50	7	44	540	2 500	23
40 - 60 cm	1989	4,6		0,31	0,048	6,5	C	17	31	8,7	48	1,6	62	362	1 464	14
40 - 60 cm	1989						A	33,6	12	52		5,1	0,19	252		
40 - 60 cm	1994	4,8	4,1	0,62	0,061	10,2	A	2,1	54,8	7,4	49	0,33	5,5	3,3	215	58
40 - 60 cm	2000	4,83	4,12	0,53	0,052	10,2	A	6	16,1	2,1	9,1	2,7	0,93	278	39	
40 - 60 cm	2005	4,64	4,16	0,56	0,038	14,7	A	2,5	27,9	2,3	3,8	1,63	5,9	0,91	361	<5,2
60 - 100 cm	1981	4,8	4,2	0,16	0,024	6,7	C	6	22	8	55	5	23	500	1 225	9
60 +	1989	4,6		0,33	0,027	12,2	C	13	24	8	39	1	36	294	1 043	14
60 - 100 cm	1994	4,8	4,1	0,26			A	2,1	36,2	4,4	32,6	0,31	2,7	1,27	216	103
60 - 100 cm	2000	4,77	4,16	0,3	0,032	9,4	A	4,5	21,5	2	8	1,3	0,7	342	47	
60 - 100 cm	2005	4,62	4,12	0,54	0,039	13,7	A	3,6	26,3	2,8	9,8	1,36	4,3	0,85	345	<5,2

Tab. 3

Vývoj chemismu půdy na povodí Červíku B - horní plocha. Zásoba přístupných prvků ve výluhu 1% kyseliny citronové - C a zásoba výměnných kationtů ve výluhu 1 M NH_4Cl - A

Development of soil chemistry on catchment Červík B – upper plot. Supply of available elements in leach of 1% citric acid – C and supply of exchangeable cations in leach of 1M NH_4Cl - A

Horizont/ Horizon	Rok odběru/ Sampling	pH/ H_2O	pH/ KCl	Cox %	Nt %	C : N	mg.kg ⁻¹								
							Na	K	Mg	Ca	Zn	Mn	Fe	Al	P
L	1982		3,3				C	32	631	262	1 800	50	300	100	262
F	1982	3,9	2,95	36,9	1,63	22,6	C	40	475	139	838	30	404	375	92,3
H	1982	3,55	2,7	25,5	1,18	21,5	C	30	187	86,3	400	25	500	750	65,6
H	1989	3,7	3,1	28,1		19,5	C	37	206	78	538	17	21	554	69
L	2005	4,8	3,73	48,4	1,88	25,7	A								167
F	1994			46,5	1,68	24,9	A	27,9	292	134	1 966	34,1	100	69,3	60
F	2000	4,13	2,91	35	2,19	16	A								
F	2005	4,48	3,22	46,1	2,12	21,8	A	27,6	1 071	289	2 646	49,6	220	37,2	128
H	1989	3,7	3,1	28,1	1,44	19,5	A		396	113	926		19	71,8	710
H	1994	3,8	3	28,2	1,47	19,5	A	16,5	206	70	431	15,7	15,9	145	849
H	2000	3,87	2,8	32,8	1,87	17,5	A	14,3	234	141	1 166		132	29,9	956
H	2005	3,86	2,76	34,6	1,63	21,2	A	20,8	480	139	751	29,6	19,6	242	899
0 - 10	1981	3,6	2,9	6,68	0,389	17,2	C	13,5	67,2	31,7	127	10,5	10,5	1 800	1 350
0 - 5	1989	4,1	3,8	6,66	0,4	16,7	C	20	52	20	82	6	3	2 149	1 318
0 - 5	1989						A		60	32	118		1,1	61,6	597
0 - 10	1994	3,8	3,2	13,5		15,6	A	10,7	115	30	96	4,9	4,3	115	800
0 - 8	2000	3,91	2,79	8,5		16,4	A	6,3	81	24,1	149		1,3	33,9	888
0 - 8	2005	4,26	3,54	3,68	0,208	17,7	A	4,7	51,5	12,2	16,8	2,71	7,7	92,3	<5,2
10 - 25	1981	4	3,5	2,79		16,9	C	9	35	16	70	7	11	3 225	2 025
5 - 20	1989	4,1	3,8	2,28	0,135	16,9	C	20	18	5	42	3	5	2 561	1 453
5 - 20	1989		3,7				A		32,8	11	48		2,2	33,1	1 262
10 - 25	1994	4,1	3,7	2,35		22,4	A	5,3	25,6	7,4	27	1,4	3,5	28,2	1 065
8 - 25	2000	4,61	3,9	2		16,5	A	5,9	32,7	5,7	13,8		4,8	3,6	819
10 - 25	2005	4,40	3,71	2,5	0,121	20,7	A	4,8	38	8,19	14	2,13	5,5	40,6	835
25 - 45	1981	4,5	4,1	1,97		16,6	C	9	23	9	50	9	13	1 025	4 375
20 - 45	1989	4,4	4,2	1,72	0,105	11	C	18	18	4	37	4	9	1397	2 238
20 - 45	1989						A		25,8	8,9	28		1,7	3,9	770
25 - 50	1994	4,4	3,8	2,04		20,8	A	4,7	25,2	3,4	17	1	0,56	1,8	779
25 - 50	2000	4,43	3,63	1,56	0,106	14,7	A	3,5	28,1	4,2	13,3		0,58	3,8	1 207
25 - 50	2005	4,41	3,8	2,09	0,113	18,5	A	4,5	38,9	7,1	8,6	1,33	3,63	32,7	834
45 - 90	1981	4,7	4,3	0,75		16,7	C	6	17	10	63	8	20	440	2 375
45 - 80	1989	4,7		1,15	0,078	14,7	C	6	17	3	35	5	16	354	3 211
45 - 80	1989						A		21	5,8			0,91	0,93	228
50 - 90	1994	4,5	4,1	1,59		18,3	A	5,5	34	4,2	21	1,1	1,15	1,4	301
50 - 90	2000	4,64	4,1	1,82	0,109	16,7	A	5,8	25,7	4,1	21		2,48	1,65	507
50 - 80	2005	4,7	4,22	1,37	0,072	16,9	A	3	28	2	6,7	0,75	0,95	0,8	229
90 - 100	1981	4,7	4,3	1,18		12	C	8	15	6	60	6	13	230	1 350
80 - 95	1989	4,6		0,58		10,7	C	19	18	3	18	3	11	202	2 050
80 - 100	2000	4,76	4,2	0,82	0,05	16,4	A	5,3	23,2	1,7	11,9		0,79	<0,6	241
80 - 100	2005	4,67	4,03	1,22	0,072	16,9	A	3,3	49	2,8	7,8	0,663	1,63	0,73	429

Tab. 4.

Vývoj chemismu půdy na povodí Červíku B - dolní plocha. Zásoba přístupných prvků ve výluhu 1% kyseliny citronové - C a výměnných kationtů ve výluhu 1 M NH₄Cl - A

Development of soil chemistry on catchment Červík B – lower plot. Supply of available elements in leach of 1% citric acid – C and supply of exchangeable cations in leach of 1M NH₄Cl - A

Horizont/ Horizon	Rok odběru/ Sampling	pH/ H ₂ O	pH/ KCl	Cox %	Nt %	C : N	mg.kg ⁻¹								
							Na	K	Mg	Ca	Zn	Mn	Fe	Al	P
L	1982		3,6	40,7		20,2	C	48	1 262	238	1 426	42	450	250	374
F	1982	3,8	2,8	38		22,9	C	46	308	131	751	28	150	300	572
H	1982	3,4	2,7	29,8		20,9	C	26	198	92	531	22	76	520	366
H	1989	4	3,4	30,5		20,6	C	42	367	148	1 122	22	195	374	692
L	2005	4,87	3,86	46,7	2,27	20,6	A	33,4	954	337	3 747	41,6	1 566	5,98	13,2
F	2000	4,29	2,9	37,1	2,08	17,8	A								
F	2005	4,59	3,3	47	2,22	21,2	A	32,4	1 165	307	1 851	31	610	18,8	14,8
H	1989	4	3,4	30,5		20,6	A		436	201	1 643		171	40	369
H	1994	3,7	3	33,2	1,37	24,2	A	27,3	326	158	1 201	26	137	73,9	486
H	2000	3,82	2,72	28	1,65	17	A	11,7	231	101	833		25,4	139	803
H	2005	3,86	2,73	32,3	1,59	20,3	A	15,6	391	125	614	23,3	63,5	189	732
0 - 5 cm	1981	3,5	2,7	4,06	0,218	18,6	C	8	31	16	105	6	9	800	590
0 - 5 cm	1989	3,7	3,1	11,94	0,6	19,9	C	18	118	44	300	6,4	17,1	698	757
0 - 5 cm	1989						A		126	72	591		20	54	740
0 - 5 cm	1994	3,4	2,8	13,11	0,658	19,9	A	11	126	51	420	10,2	28,5	60	437
0 - 5 cm	2000	3,85	2,7	6,15	0,295	20,9	A	6,1	67	22,1	166		2,4	11,6	386
0 - 5 cm	2005	3,71	2,69	4,69	0,255	18,4	A	4,1	71	15,8	41,8	3,21	5,3	97	580
5 - 20 cm	1981	3,8	3	1,71	0,109	15,7	C	8	25	11	87	6	25	13,5	500
5 - 15 cm	1989	3,9	3,2	0,79		10,9	C	21	40	10	67	3,6	5,3	689	337
5 - 15 cm	1989						A		54	18	110		2,6	34	340
5 - 20 cm	1994	3,7	3	1,19	0,112	10,6	A	5,1	37,5	8,6	61	1,5	1,2	47	366
5 - 20 cm	2000	4,16	2,95	0,7	0,062	11,3	A	5,3	34,5	5,8	45		6,2	42,6	561
5 - 20 cm	2005	3,97	2,99	0,89	0,073	12,1	A	3,1	39	5,9	27,6	1,6	6,8	32,7	400
20 - 50 cm	1981	4,2	3,7	1,57	0,119	13,1	C	8	31	11	75	21	28	1725	2 000
15 - 45 cm	1989	4,3	4,1	1,52	0,102	14,9	C	18	59	8,4	62	3,4	30,6	1 685	1 825
15 - 45 cm	1989						A		83	17	90		6,4	6,1	651
20 - 50 cm	1994	3,8	3,2	1,15	0,112	10,3	A	4,2	37	8	58	1,4	4,3	49,2	496
20 - 50 cm	2000	4,59	3,79	1,35	0,11	12,3	A	4,7	36	4,4	37		1,7	<0,6	844
20 - 50 cm	2005	4,33	3,58	2,23	0,14	15,9	A	3,6	64	8,3	33,9	1,9	10,8	39,1	871
50 - 70 cm	1981	4,4	3,9	0,79	0,059	13,4	C	8	26	12	75	6	340	1150	1 800
45 - 65 cm	1989	4,6	4,5	0,98	0,096	10,2	C	16	50	5,7	51	4,3	18,8	581	4 012
45 - 65 cm	1989						A		77	10,6	70		2	0,74	420
50 - 70 cm	1994	4,2	3,6	1,4	0,13	10,8	A	7,1	45	9,3	58	1,1	7,6	22,6	625
50 - 70 cm	2000	4,81	4,05	1,22	0,093	13,1	A	3,7	32	2,5	27		0,78	0,82	572
50 - 70 cm	2005	4,55	3,94	1,6	0,105	15,2	A	3,1	57	4,2	21	1,13	3,4	4,52	617

Tab. 5.

Vývoj chemismu půdy na povodí Malá Ráztoka - plocha Noříč. Zásoba přístupných prvků ve výluhu 1% kyseliny citronové C a zásoba výměnných kationtů ve výluhu 1M NH₄Cl - A

Development of soil chemistry on catchment Malá Ráztoka – plot Noříč. Supply of available elements in leach of 1% citric acid – C and supply of exchangeable cations in leach of 1M NH₄Cl -A

Horizont/ Horizon	Rok odběru/ Sampling	pH/ H ₂ O	pH/ KCl	Cox %	Nt %	C : N		mg.kg ⁻¹								
								Na	K	Mg	Ca	Zn	Mn	Fe	Al	P
H	1981	3,6	3	32,5	1,49	21,5	C	36	445	128	801	44	100	700	1 200	207
H	1989	4,9	4,4	17,6	1	17,6	C	53	196	1 030	2 013	26	101	1 187	1 223	140
L	2005	5,24	4,39	47,1	1,66	28,4	A	27,2	1 182	589	3 483	25,3	725	2,2	< 1,4	294
F	2000	4,78	3,49	24,4	1,6	15,3	A									
F	2005	5,22	4,26	45,2	2,21	20,5	A	36,9	890	675	5 893	40	964	6,5	< 2,9	188
H	1989						A		315		2 549	28,4	54,4	6,1	65	
H	1994	4,2	3,6	25,4	1,12	22,7	A	33,5	231	417	1 723	28,3	74,7	34,7	255	36
H	2000	4,35	3,19	14,9	1,22	12,2	A	18	341	162	913		59,1	74,3	530	46
H	2005	4,25	3,28	21,3	1,24	17,2	A	21,9	400	214	1 602	36,7	300	57	247	38
0 - 8 cm	1981	3,7	2,9	7,72	0,512	15,1	C	19	85	36	155	49	50	1 475	1 075	125
0 - 5 cm	1989	4	3,5	7,89	0,6	13,2	C	8,6	76	136	303	4,6	10,4	1 144	911	83
0 - 5 cm	1989						A		141	177	448		5,9	32,8	565	
0 - 10 cm	1994	3,9	3,3	9,79	0,684	14,3	A	10,1	76	56	154	9,1	13,8	23,6	474	28
0 - 10 cm	2000	4,34	3,24	3,42	0,299	11,4	A	8,8	33,6	77	152		21,4	22,4	637	18
0 - 10 cm	2005	4,11	3,21	5,65	0,385	14,7	A	8,2	99,1	38,4	159	8,1	20	80,1	596	8
8 - 35 cm	1981	4,3	3,8	2,25	0,184	12,2	C	13	36	13	80	5	94	11,4	2 450	68
5 - 30 cm	1989	4,5	4	2,11	0,189	11,2	C	12,3	24	25	73	3,9	59,1	901	1 455	56
5 - 30 cm	1989						A		46	26	136		20,1	1,9	632	
10 - 35 cm	1994	4,4	3,9	1,73	0,151	11,5	A	6,6	45	16	71	1,2	8,1	2,3	601	33
10 - 30 cm	2000	4,83	3,78	1,91	0,193	9,9	A	11,6	35,1	20,8	61,1		8,3	<0,6	569	14
10 - 30 cm	2005	4,46	3,74	2,53	0,198	12,8	A	6,3	53,9	11,3	30,2	2,8	22,3	3,9	522	7,5
35 - 70 cm	1981	4,4	4	1,67	0,144	11,6	C	13	24	9	43	5	60	800	3 000	84
30 - 65 cm	1989	4,6	4,4	1,82	0,17	12,4	C	14,6	19	10,5	58	3,6	37,7	634	2 401	52
30 - 65 cm	1989						A		32	11,4	92		4,2	0,56	398	
35 - 70 cm	1994	4,6	4,1	2,05	0,179	11,5	A	5	38	11,5	96	1,1	6,7	3,26	441	53
35 - 65 cm	2000	4,84	4,01	1,25	0,142	8,8	A	6,5	27,9	11,7	38,9		8	1,23	484	27
35 - 65 cm	2005	4,68	4,05	2,51	0,189	12,3	A	3,9	45	7,7	27,4	0,74	8,8	1,86	395	7,7
70 - 100 cm	1981	4,5	4,1	1,16	0,109	10,6	C	13	18	9	105	5	40	710	3 350	51
65 - 90 cm	1989	4,6		1,44	0,111	13	C	11,9	22	14,4	69	3,5	37,5	475	3 384	59
65 - 90 cm	1989						A		23,8	10	72		2,3	0,93	260	
70 - 100 cm	1994	4,5	4	1,16	0,111	10,5	A	3,6	30	6,8	40,8	0,66	2,8	2,2	280	140
65 - 100 cm	2000	5	4,2	1,19	0,12	9,9	A	6,5	24,3	5,9	26,5		4,7	7,2	300	70
65 - 100 cm	2005	4,8	4,14	0,53	0,053	10	A	3,9	32,6	5,1	18,1	74	2,8	0,63	199	29

Tab. 6.

Vývoj chemismu půdy na povodí Malá Ráztoka - plocha u přepadu. Zásoba přístupných prvků ve výluhu 1% kyseliny citronové C a zásoba výměnných kationtů ve výluhu 1M NH₄Cl - A

Development of soil chemistry on catchment Malá Ráztoka – plot at spillway. Supply of available elements in leach of 1% citric acid – C and supply of exchangeable cations in leach of 1M NH₄Cl –A

Horizont/ Horizon	Rok odběru/ Sampling	pH/ H ₂ O	pH/ KCl	Cox %	Nt %	C : N	mg.kg ⁻¹									
							Na	K	Mg	Ca	Zn	Mn	Fe	Al	P	
H/Ah	1982	3,6	3	13,7	0,952	14,4	C	19	134	63	350	16	30	1 200	1 300	79
H/Ah	1987	4,7	4	13,9	0,82	17	C	57	211	1 077	2 772	37,7	110	1 342	1 635	164
L/F	2005	4,34	3,38	31,5	1,72	18,3	A	18,5	424	240	2 326	44	208	82,7	173	79,5
F	2000	5,2	4,1	22,2	1,63	13,6	A									
F/H	1994	4,7	4,3	29,3	1,32	22,1	A	24,1	332	704	3 455	33,7	185	5	34,4	50
H/Ah	2000	4,86	3,59	13	1,06	12,3	A	12,9	281	418	2 422		175	21,9	187	35
H	2005	4,05	3,17	20,6	1,28	16,1	A	11,9	272	139	1 091	27,6	60,1	147	461	49
0 - 8 cm	1982	3,7	3,2	3,87	0,361	10,7	C	14	48	33	130	18	65	1 450	1 125	57
0 - 8 cm	1987	4	3,3	6,9	0,474	14,7	C	22	52	136	400	7	27,5	1 074	1 280	83
0 - 8 cm	1994	4,2	3,6	11,4	0,67	16,9	A	11,3	110	131	534	6	20,8	37,5	457	20
0 - 8 cm	2000	4,75	3,41	3,74	0,296	12,6	A	6	85,4	105	507		30,5	3,4	587	15
0 - 8 cm	2005	4,07	3,25	8,14	0,511	15,9	A	8,4	101	66,8	261	8,8	9,9	92,2	721	11,2
8 - 20 cm	1982	4	3,4	2,45	0,238	10,3	C	13	62	22	113	10	75	1 200	1 300	48
8 - 20 cm	1987	4,2	3,5	1,7	0,177	9,4	C	25	27	25	94	4,4	33,5	768	1 527	49
8 - 20 cm	1994	4,2	3,7	1,92	0,19	10,1	A	6,5	51	30	114	2,2	14,7	8,3	510	23
8 - 20 cm	2000	4,7	3,62	1,84	0,176	10,5	A	6	40,6	26,3	126		12,1	2,8	635	16
8 - 20 cm	2005	4,42	3,58	2,33	0,2	11,7	A	4,6	48,1	17,3	89,5	2,8	16,5	5,5	593	12,6
20 - 50 cm	1982	4,1	3,7	1,75	0,2	8,8	C	13	50	19	98	7	63	1 025	1 400	46
20 - 50 cm	1987	4,5	4	0,52	0,081	6,4	C	30	20	8	44	2,4	25	392	1 873	21
20 - 50 cm	1994	4,4	3,8	1,71	0,131	13,1	A	4,7	28	12	57	1,3	9	4,6	338	23
20 - 50 cm	2000	4,85	3,99	0,93	0,112	8,3	A	5,1	27,5	7,7	42,6		3,4	0,78	413	39
20 - 50 cm	2005	4,57	3,89	1,27	0,114	11,1	A	3,4	47,1	7,1	39,2	1	7,2	1,26	360	13,2
50 - 80 cm	1982	4,3	4	0,79	0,08	9,9	C	11	31	13	85	4	38	660	1 600	30
50 - 80 cm	1994	4,5	4	1,07	0,098	10,9	A	3	21	6,3	32	0,91	2,8	1,6	278	47
50 - 80 cm	2000	4,88	4,15	0,49	0,051	9,6	A	3,2	22,7	5,1	25,3		2,4	<0,6	269	54
50 - 80 cm	2005	4,7	4,06	0,55	0,05	11	A	2,9	29,1	4,9	19,7	0,79	3,1	0,65	235	23,4
80 - 100 cm	1982	4,4	4,1	0,47	0,052	9	C	14	20	16	130	8	18	425	1 110	38
80 - 100 cm	1994	4,6	4,1	0,68	0,057	11,9	A	1,7	24	5,4	31	0,68	1,3	0,97	182	68
80 - 100 cm	2000	4,94	4,18	0,29	0,034	8,5	A	6,5	24,3	5,9	26,2		4,7	7,2	265	51
80 - 100 cm	2005	4,64	4,04	0,44	0,04	11,1	A	2,8	30	5,9	19	0,67	3,1	1,9	217	32,2

Tab. 7.

Celkový obsah prvků v materiálu pokrývného humusu na plochách v povodí Červíku A stanovený ve výluhu popela koncentrovanou HCl (1994) a v lučavce královské (2000 a 2005); N stanoven v roce 1994 a 2000 kjeldahlizací a v roce 2005 na přístroji CNS

Total content of elements in forest floor on plots in catchment Červík A determined in ash leach of concentrated HCl (1994) and in aqua regia (2000 and 2005); N determined by Kjeldahl method in 1994 and 2000 and by CNS device in 2005

Horizont/Horizon	Rok odběru/ Sampling	mg.kg ⁻¹																
		%																
		Nt	Na	K	Mg	Ca	Zn	Mn	Fe	Al	P	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	
Plocha nahoře/ Upper plot	L	1994	2,04	96,2	1 215	634	1 936	53,3	608	6 833	3 455	1 110	1,082	40,46	14,96		60	
		2005	1,97	32,2	951	516	6 244	77,2	1 586	177	879	1 311	<10	0,6	3,34	9,28	<3	20,58
	F	1994	1,14	69,1	1 248	689	1 284	28,2	914	14 260	5 621	200	0,256	27,74	8,74		18,68	
		2000	2,09	24,3	1 115	662	3 701	79,8	787	9 801	34 17	1 412		9,3	17,9		76,4	
		2005	2,19	38	972	441	3 871	71,5	853	320	1 378	1 358	<10	0,655	4,83	10,35	3,56	40,25
H	1994	1,18	123	1 255	718	1 193	49,9	127	13 360	6 939	1 100		0,727	11,7	17,4		112,7	
	2000	1,29	20,3	882	739	985	71,4	148	17 355	6 460	1 011			16,7	24		172,4	
	2005	1,56	39,9	814	496	973	64,3	148	983	4 631	1 144	18,36	0,547	13,02	14,81	6,8	102,3	
	0 - 10 cm	2005	0,179	13,8	514	435	103	17,6	75,1	1 693	7 008	458	13,76	<0,3	7,42	3,96	2,95	25,95
Plocha dole/Lower plot																		
L	2005	1,34	15	845	264	3 784	40,2	651	67	424	865	<10	<0,5	1,36	6,1	<3	15,27	
	1994	1,81	70,9	1 126	722	7 076	54,6	3 210	2 990	2 300	900		0,526	16,2	10,55		28,78	
	2000	2,1	33,9	1 485	602	4 805	85,2	2 541	4 265	2 672	1 358			6,1	19,7		81,3	
	2005	1,76	29,9	647	290	2 226	55,6	299	397	1 851	905	<10	0,515	5,89	10,49	4,4	57,1	
H	1994	1,24	92,4	1 412	699	1 404	38,3	459	8 100	7 108	700		0,372	8,23	7,26		53	
	2000	1,5	32,4	903	639	1 670	78,4	429	10 709	6 063	890			16	16,1		151,4	
	2005	1,69	26,3	556	348	1 993	75,9	231	577	2 695	785	<10	0,707	9,25	16,9	5,93	104,4	
	0 - 10 cm	2005	0,208	26,6	805	941	128	21,2	92,6	1 459	10 211	263	19,36	<0,3	13,1	8,61	3,37	37,61

Tab. 8.

Celkový obsah prvků v materiálu pokrývného humusu na plochách v povodí Červíku B stanovený ve výluhu popela koncentrovanou HCl (1994) a v lučavce královské (2000 a 2005); N stanoven v roce 1994 a 2000 kjeldahlizací a v roce 2005 na přístroji CNS

Total content of elements in forest floor on plots in catchment Červík B determined in ash leach of concentrated HCl (1994) and in aqua regia (2000 and 2005); N determined by Kjeldahl method in 1994 and 2000 and by CNS device in 2005

Horizont/Horizon	Rok odběru/ Sampling	mg.kg ⁻¹															
		%															
		Nit	Na	K	Mg	Ca	Zn	Mn	Fe	Al	P	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb
Plocha nahoře/Upper plot																	
L/F	1994	1,78	80,3	1 344	454	4 529	50,8	224	3 202	1 781	967		0,763	7,32	12,4		35,28
L/F	2005	1,88	31,8	1 151	583	5 640	76,8	506	167	838	1 097	<10	0,535	2,81	11,58	<0,3	21
F/H	1994	1,68	107,2	1 092	579	1 430	53,5	114	8 875	5 621	667		0,896	14,67	13,62		68,53
F/H	2000	2,19	27,4	742	660	3 116	105,1	172	7 255	3 474	1 198			12,01	25,2		137,2
F/H	2005	2,12	34,3	1 220	528	3 128	78,9	243	447	2 539	1 028	<10	0,881	6,77	13,69	4,61	52,03
H	1994	1,47	129,7	1 510	699	569	36,1	67,6	15 790	12 057	833		0,679	10,43	11,54		67,98
H	2000	1,87	31,8	803	574	1 386	97,6	69,9	10 760	7 605	1 087			18,11	28,61		251,7
H	2005	1,63	38,9	982	678	849	79,7	75,4	1 201	6 709	949	15,47	1,084	17,61	19,26	8,93	133,4
0 - 8 cm	1994	1,04	147	1 881	814	172	18,5	51,5	19 525	14 910	500		0,767	8,75	6,38		27,62
0 - 8 cm	2005	0,208	39,5	1 348	1591	68,8	41,4	93,2	19 412	13 040	375	13,73	<0,3	23,28	8,91	9,29	32,08
Plocha dole/Lower plot																	
L	2005	2,27	38,1	993	544	5 803	90,1	2 059	271	944	1 389	<10	0,854	4,41	12,17	3,64	33,12
L/F	1994	2,2	113	5 167	854	5 746	40,8	1 823	1 836	1 238	1 500		0,354	4,49	5,27		6,47
F	2000	2,08	22	1 574	619	2 622	75,3	315	5 378	2 682	1 463			8,02	18,24		91,22
F	2005	2,22	37,6	1 211	509	2 306	56,5	689	291	1 602	1 342	<10	0,671	4,68	9,92	4,87	33,53
H	1994	1,37	79,3	873	466	1 559	47,9	192	7 638	4 584	1 000		0,354	7,83	15,5		82,9
H	2000	1,65	32,8	843	510	991	69,8	81,7	9 623	5 989	964			17,09	28,31		209,2
H	2005	1,59	35	741	480	705	74,4	125	1 042	5 057	1 022	12,37	0,71	16,86	20,99	7,87	165,4
0 - 5 cm	2005	0,255	39,1	1 160	638	101	16,7	62,5	664	7 656	338	15,26	<0,3	9,76	5,25	2,44	44,48

Tab. 9.

Celkový obsah prvků v materiálu pokravného humusu na plochách v povodí Malé Ráztoky stanovený ve výluhu popela koncentrovanou HCl (1987 a 1994) a v lučavce královské (2000 a 2005). Celkový dusík stanoven v letech 1987 až 1994 kjeldahlizací a v roce 2005 na přístroji CNS.

Total content of elements in forest floor on plots in catchment Malá Ráztoka determined in ash leach of concentrated HCl (1987 and 1994) and in aqua regia (2000 and 2005). Total nitrogen was determined in 1987 and 1994 by Kjeldahl method and by CNS device in 2005.

Horizont/Horizon	Rok odběru/ Sampling	%																mg.kg ⁻¹																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
		Nt	Na	K	Mg	Ca	Zn	Mn	Fe	Al	P	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Nořiči																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
L	1981		70	1 690	547	7 130	100	740	780	370	741			5	40		36																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					</

Tab. 10.
Sorpční poměry půd na povodí Červík
Sorption conditions of soils on catchment Červík

Rok odběru/ Sampling	Červík A horní/upper					Červík A dolní/lower					Červík B horní/upper					Červík B dolní/lower				
	horizont/horizon	Cox %	T mmol	V %	horizont/horizon	Cox %	T mmol	V %	horizont/horizon	Cox %	T mmol	V %	horizont/horizon	Cox %	T mmol	V %	horizont/horizon	Cox %	T mmol	V %
2005	F	48,4	265,9	75,5	F	48,8	203,2	62,2	F	46,1	225,4	81,8	F	47	197,3	75,4				
1989	H	21,4	123,5	57,7	H/Ah	7,8	99,2	45,9	H	28,1	156,8	44	H	30,5	166	67,2				
1994		24,8	168,7	45,3	H	26,4	127,1	60,6		28,2	141,4	23,5		33,2	153	53,9				
2005		29,5	169,7	40,9		45,5	240	51,6		34,6	211,7	29,3		32,3	182,2	28,3				
1989	0 - 5 cm	11,8	72,7	32,5	0 - 5 cm	5,46	91,9	28,8	0 - 5 cm	6,66	81,7	13,4	0 - 5 cm	11,94	127,7	30,9				
1994	0 - 10 cm	7,26	87,7	12,2	0 - 10 cm		82,1	14,1	0 - 10 cm	13,5	107,6	9,9	0 - 5 cm	13,11	83,3	31,2				
2005	0 - 8 cm	3,11	105,6	6,2	0 - 10 cm	4,54	115,4	2,7	0 - 8 cm	3,68	111,3	3	0 - 5 cm	4,69	83	6,5				
1989	5 - 20 cm	1	58,8	9,5	10 - 20 cm	1	70,4	14,9	5 - 20 cm	2,28	146,6	3,4	5 - 15 cm	0,79	50,4	18				
1994	10 - 25 cm	2,12	99,6	7,4	10-20 cm		66,3	13,9	10-25 cm	2,35	123,5	2,3	5 - 20 cm	1,19	50,7	9,7				
2005	8 - 20 cm	2,22	114,1	3,4	10 - 25 cm	2,75	58,1	2,6	8 - 25 cm	2,5	98,4	2,6	5 - 20 cm	0,89	55,5	5,4				
1989	20 - 35 cm	2,6	115,7	6,7	20 - 40 cm	0,83	31,9	14,7	20 - 45 cm	1,72	89,7	4,0	15 - 45 cm	1,52	81,8	10,4				
1994	25 - 45 cm	2,51	65,6	6,1	20 - 40 cm	0,94	42,0	12,4	25 - 50 cm	2,04	92,3	2,2	20 - 50 cm	1,15	64,3	7,3				
2005	20 - 45 cm	1,73	93,5	2,4	25 - 40 cm	2	33,3	2,6	25 - 50 cm	2,09	97,3	2,2	20 - 50 cm	2,23	104,4	4				
1989	35 - 60 cm				40 - 60 cm	0,31	33,6	15,4	45 - 80 cm	1,15	29	12,0	45 - 65 cm	0,98	52,5	12,3				
1994	45 - 60 cm	1,24	56,4	7,3	40 - 60 cm	0,62	29,9	15,6	50 - 90 cm	1,59	36,6	6,9	50 - 70 cm	1,4	80,9	6,7				
2005	45 - 60 cm	1,82	81,4	2,2	40 - 60 cm	0,56	43,6	2,9	50 - 80 cm	1,37	27,1	4,5	50 - 70 cm	1,6	72,3	4,1				
1989																				
1994					60 - 100 cm	0,26	27,5	10,9												
2005	60 cm +	2,37	83,2	2,4	60 - 100 cm	0,54	42,1	3,7	80 - 100 cm	1,22	50,1	13,6								

Tab. 11.

Sorpční poměry půd na povodí Malá Ráztoka

Sorptions conditions of soils on catchment Malá Ráztoka

Rok odběru/ Sampling	Malá Ráztoka - Noříč				Malá Ráztoka - u přepadu/at spillway			
	horizont/ horizon	Cox %	T mmol	V %	horizont/ horizon	Cox %	T mmol	V %
2005	F	45,2	428,7	87,2	L/F	31,5	190,5	77,4
1989	H	17,6	233,0	95,4				
1994		25,4	163,2	78,2	H	29,3	254,29	94,3
2005		21,3	165,7	65,6		20,6	150	48,9
1989	0 - 5 cm	7,89	98,6	41,5				
1994	0 - 10 cm	9,79	80,8	18,2	0 - 8 cm	11,4	96	42,4
2005	0 - 10 cm	5,65	87,3	16	0 - 8 cm	8,14	108,6	19,8
1989	5 - 30cm	2,11	82,4	12,9				
1994	10 - 35 cm	1,73	80	8,0	8 - 20 cm	1,92	62,2	14,3
2005	10 - 30 cm	2,53	74,2	8,3	8 - 20 cm	2,33	75,1	9,8
1989	30 - 65 cm	1,82	51,6	13,5				
1994	35 - 70 cm	2,05	56,7	12,2	20 - 50 cm	1,71	43,5	10,9
2005	30 - 65 cm	2,51	48,1	6,9	20 - 50 cm	1,27	44,7	8,7
1989	65 - 90 cm	1,44	35,2	17,1				
1994	70 - 100 cm	1,16	35,2	10,0	50 - 80 cm	1,07	34,2	8,2
2005	65 - 100 cm	0,53	24,8	9,4	50 - 80 cm	0,55	28,8	7,8
1989								
1994					80 - 100 cm	0,68	23,2	11,5
2005					80 - 100 cm	0,44	27	8,6

DYNAMICS OF FOREST SOILS CHEMISTRY IN THE MORAVSKOSLEZSKÉ BESKYDY MTS.

SUMMARY

Research of throughfall and runoff regime started on catchments Červík and Malá Ráztoka in 1953. In 1966 felling of stands and replacement of woody species (spruce for beech on catchment Malá Ráztoka) began to be realized. In 1981 (1982) for the first time samples of humus and soil were taken for laboratory analysing. Sampling was repeated in the same places in the next years. The sampling plots are situated into the upper part of catchments Červík A, Červík B and Malá Ráztoka and also into the valley part in the vicinity of measuring spillway.

Due to immission load of the Beskydy Mts. 3 t of dolomitic limestone were repeatedly aerially applied on catchment Malá Ráztoka in years 1983, 1985 and 1987. Soil samples from years 1981 (1982) and 1989 (1987) were leached by 1% citric acid for determination of available nutrients; exchangeable cations have been determined in 1M NH_4Cl leach since 1989 and in the lower part of catchment Malá Ráztoka since 1994.

On catchments Červík A and Červík B chemistry of forest floor and surface horizons of mineral soil was highly influenced by changed conditions of forest stands – by cutting of stands, spacing of regenerated stands. Contents of basic cations and pH increased in humus on cuttings or in surface soil horizons. After stands spacing content of exchangeable bases and pH in humus were dropping. Content of exchangeable bases in mineral soil was falling down on all plots. Saturation of adsorption soil complex in mineral profile does not reach 5% (BS) when content of Ca, Mg and K is low. During years soil zone with very low $\text{pH}/\text{H}_2\text{O} \leq 4.2$ was reduced at Ah horizons at Cambisols, at Podzols this zone penetrates into the deeper zone. On plots with growing stands ratio C/N increased in humus and in surface horizons of mineral soil over the optimal values.

On catchment Malá Ráztoka application of dolomitic limestone caused substantial increase of pH and content of Ca and Mg in surface humus and lower increase in surface Ah horizon. In mineral soils contents of exchangeable Mg and Ca decreased during investigation.

Saturation degree of adsorption complex (BS) in mineral soil dropped below 10%. Only organomineral horizons Ah have very low $\text{pH}/\text{H}_2\text{O} \leq 4.2$. Ratio of carbon and nitrogen (C/N) was optimal in year 2005.

Content of available P in mineral soil was falling down, on catchments Červík A and Červík B up to values ≤ 5.2 ppm.

Supplies of exchangeable cations Mg, Ca and available P are very low in mineral part of soil on investigated plots, and in case of reduced decomposition of organic matter of surface horizons lack of these cations can appear in assimilatory tree species organs.

Analyses of needles sampled in young stands in years 2003 and 2004 point to good nutrition of stands in catchment Malá Ráztoka. Mild deficit of nitrogen and phosphorus was found on catchment Červík A in its upper part. Lesser concentrations in spruce needles were observed in the lower part of this catchment for magnesium.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Václav Lochman, CSc., Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.
Strnady 136, 252 02 Jíloviště, Česká republika
tel.: 257 892 206; e-mail: admin@vulhm.cz

MNOŽENÍ TISU ČERVENÉHO (*TAXUS BACCATA* L.) IN VITRO JAKO MOŽNÝ PŘÍSPĚVEK K ZÁCHRANĚ A REPRODUKCI GENETICKÝCH ZDROJŮ TÉTO DŘEVINY V ČR

THE IN VITRO PROPAGATION OF COMMON YEW (*TAXUS BACCATA* L.) AS A POTENTIAL CONTRIBUTION TO PRESERVATION AND REPRODUCTION OF GENETIC RESOURCES OF THIS SPECIES IN THE CZECH REPUBLIC

PETR NOVOTNÝ - HELENA CVRČKOVÁ - PAVLÍNA MÁCHOVÁ - JANA MALÁ

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.

ABSTRACT

This contribution deals with possibility to preserve genetic resources of common yew (*Taxus baccata* L.) based on use of micropropagation methods of organogenesis in the Czech Republic. Methodology and microbiological methods for common yew are described including experimentally determined optimal composition of inductive, multiplied and rooted nutrient medium. Use of raised plant is demonstrated on concrete examples.

Klíčová slova: tis červený (*Taxus baccata* L.), mikropropagace, organogeneze, kultury in vitro, záchrana genetických zdrojů

Key words: common yew (*Taxus baccata* L.), micropropagation, organogenesis, in vitro cultures, genetic resources preservation

ÚVOD A CÍL PRÁCE

Tis červený (*Taxus baccata* L.) patří v České republice mezi chráněné dřeviny (vyhláška MŽP č. 395/1992 Sb.) v kategorii ohrožený druh. Vyskytuje se v několika zbytkových různě početných a navzájem víceméně izolovaných populacích. Zachování tohoto druhu v stanovištně odpovídajících lesních porostech má význam pro udržení druhové diverzity.

V potenciální přirozené vegetaci ČR (NEUHÄUSLOVÁ et al. 1998) je tis uváděn ve svazu suťových lesů (*Tilio-Acerion*). Ten je tvořen trvalými společenstvy listnatých, zřídka smíšených lesů s tisem nebo jedlí na sutích a balvanitých rozpadech s nevyzrálými půdami v kolinním až montánním stupni. MORAVEC et al. (2000) jej uvádějí konkrétně z asociace *Aceri-Carpinetum*, která má centrum rozšíření v Křivoklátské vrchovině a Karlštejnské pahorkatině. Dále postupuje údolím Vltavy do předhoří Šumavy, proniká do údolí Sázavy, Lužnice a Otavy, na západ pak podél Berounky, Střely a jejích přítoků až k Plzni. Souvislejší lokality se nacházejí ještě v pásu amfibolitů Chudenické vrchoviny, malá arela pak na minerálně bohatých vyvělinách Českého středohoří a fragmenty ještě po okraj Lužických hor a do předhoří Orlických hor. Na Moravě jsou hlavní centra v členitých údolích Brněnské vrchoviny (Moravský kras, Adamovská vrchovina). Fragmenty vápnomilného křídla asociace zasahují až do Pavlovských vrchů (MORAVEC et al. l. c.). Tyto oblasti lze tedy považovat za hlavní zájmové území případných repatriačních prací s tisem.

Vedle konzervace existujících populací in situ je cílem záchran genofondu lesních dřevin zajistit generativní i vegetativní reprodukci u těch populací, u nichž z různých důvodů (v případě tisů zejména škody spárkatou zvěří) nedochází k přirozené obnově. Jednou z možností vegetativní reprodukce je stále více se uplatňující využití biotechnologických postupů in vitro, kterými lze rychle a ekonomicky

výhodně namnožit kvalitní sadební materiál z vybraných donorových jedinců a zároveň zakládat explantátové banky, v nichž je původní sadební materiál uchováván pro další účely (klonové archivy, semenné sady, analýzy genetické variability, výsadby do porostů aj.). Další z nepřehlédnutelných výhod mikropropagačních postupů je možnost namnožení vysokého počtu identických jedinců z jediného kvalitního dárce v relativně krátkém časovém období, přičemž množství odebíraného materiálu pro založení primárních kultur (většinou meristematická pletiva zimních pupenů) je minimální a odběr dárcovský strom nepoškozuje. Dostatečná genetická variabilita je zaručena vhodným klonovým složením výchozí in vitro množiteléské populace. Tento způsob množení je u tisů, jakožto dvoudomé dřeviny, navíc výhodný v tom, že lze do rozmnožování zapojit jedince obou pohlaví, kteří „neplodí“ např. z důvodu nízkého věku, izolace, případně vysokého stupně zastínění aj.

Nejúspěšnější metodou, která se osvědčila pro klonové množení zejména listnatých dřevin, je organogeneze. Klonové množení jehličnatých a listnatých dřevin z primárních explantátů je podmíněno vypracováním vhodných technologických postupů umožňujících indukci organogeneze, která musí být následována úspěšnou regenerací v kompletní rostlinu. Základními mechanismy uplatňujícími se při růstových pochodech jsou dereprese meristémů výhonů (axilárních pupenů) a reorganizace meristémů výhonů (adventivních pupenů). Široké využití má tato metoda právě v případech, kdy je nutné získat klony vyselektovaných dílčích populací stromů při nedostatečné fruktifikaci, zničení semen hmyzem, selhání jiných způsobů vegetativní reprodukce (řízkování, roubování) aj. Hlavním předpokladem úspěšné organogeneze je zajištění vhodných kultivačních podmínek. Neméně významně ovlivňují úspěšnost organogeneze i takové faktory, jako je stáří a fyziologický stav dárcovského jedince (MALÁ 2000a).

Systematická práce s druhem tis červený (*Taxus baccata* L.) na útvahu biologie a šlechtění lesních dřevin začala v letech 1996 a 1997, kdy byly společně pro tis červený, hrušň polníčku (*Pyrus pyraeaster* /L./ BURGSDORF) a jeřáb sudetský (*Sorbus sudetica* /TAUSCH/ BLUFF, NEES et SCHAUER) experimentálně stanovovány podmínky pro založení kultur in vitro z dospělých stromů (proces rejuvencizace), které tehdy nebyly v odborné literatuře popsány. Byly vyhledány a zaevidovány populace vhodné k odběru výchozího materiálu pro založení primárních explantátových kultur. Práce byly navíc rozšířeny o další druhy dřevin – jeřáb břek (*Sorbus torminalis* /L./ CRANTZ), jeřáb oskeruš (*Sorbus domestica* L.) a třešň ptačí (*Prunus avium* /L./ L.). Jednotlivé klony byly namnoženy s využitím metodiky indukce organogeneze na zimních pupenech. Předmětem studia bylo zjištění vhodných kultivačních podmínek, zejména chemického složení živného média, teploty, vlhkosti a světla, dále vhodná doba sběru materiálu, skladování, povrchová sterilizace, preparace explantátu z dárce, vliv věku a fyziologického stavu donorového jedince (MALÁ 1997).

Cílem tohoto příspěvku je podat informaci o některých výsledcích, týkajících se tisů červeného, kterých bylo dosaženo v útvahu biologie a šlechtění lesních dřevin Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i. Jde především o výsledky projektu, který se zabýval zakládáním množitelských populací okrajových a ohrožených lesních dřevin in vitro, jejich uchováním a evidencí, včetně vypracování standardních postupů pro dopěstování kompletních rostlin za účelem repatriace a získání reprodukčního materiálu pro další šlechtitelské záměry.

MATERIÁL A METODIKA

Pro *Taxus baccata* L. byl rostlinný materiál (zimní pupeny) sbírán v přírodní lesní oblasti 10 – Středočeská pahorkatina na lokalitách Drbákov a Štěchovice. Na obou lokalitách bylo za účelem zjištění schopnosti mikropropagace dospělých stromů sebráno po deseti klonech, které jsou v evidenci Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i. Pro založení primárních kultur ze zimních pupenů dospělých stromů tisů bylo v březnu 1997 od každého klonu izolováno 30 pupenů, které byly po sterilizaci v roztoku 0,01% HgCl_2 a v 1% roztoku SAVO třikrát promyty sterilizovanou vodou a umístěny na živná média. K indukci organogeneze byla testována modifikovaná média WPM_1 , WPM_2 a MS (tab. 1). Kultivace probíhala v klimatizovaných podmínkách při 24 °C, bílém fluorescenčním světle ($30 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) a 16hodinové fotoperiodě.

Po indukční fázi (3 až 6 týdnů) byly kultury přesazeny na modifikovaná multiplikační média (tab. 2), na kterých byl experimentálně ověřován jejich vliv na velikost množitelského koeficientu výhonů. Po 3 až 4 pasážích se vytvořila vícevrcholová kultura, ze které byl odebrán materiál do explantátové banky a materiál pro dopěstování kompletních rostlin (MALÁ 2000a).

Pro tento účel byla vypracována metodika, kdy pro indukci rhizogeneze adventivních výhonů (obr. 1) byla testována média se zvýšeným obsahem auxinů, sníženým obsahem sacharosy a sníženou koncentrací makro- a mikroelementů (tab. 3). Zakořeňování probíhalo za stejných kultivačních podmínek jako indukce organogeneze a multiplikace. Pro zvýšení procenta zakořeňování probíhala jeho první

Tab. 1.

Složení testovaných modifikovaných médií k indukci organogeneze
Composition of tested modified mediums for induction of organogenesis

Médium/ Medium	BAP [mg.l ⁻¹]	IBA [mg.l ⁻¹]	Glutamin [mg.l ⁻¹]	Glycin [mg.l ⁻¹]	Casein [mg.l ⁻¹]	Agar [g.l ⁻¹]	Sacharosa [g.l ⁻¹]	Úprava/ Adjustment pH
WPM_1	0,2	0,1	0	2	200	6	30	5,8
WPM_2	0,6	0,2	0	2	200	6	30	5,8
MS	0,6	0,2	0	2	200	6	30	5,8

WPM médium (Woody Plant Medium) podle LLOYD, MCCOWN (1981)

MS médium podle MURASHIGE, SKOOG (1962)

BAP 6-benzylaminopurin

IBA kyselina β -indolylmásečná

Tab. 2.

Složení testovaných modifikovaných multiplikačních médií
Composition of tested modified multiplication mediums

Médium/ Medium	BAP [mg . l ⁻¹]	IBA [mg . l ⁻¹]	Glutamin [mg . l ⁻¹]	Glycin [mg . l ⁻¹]	Casein [mg . l ⁻¹]	Agar [g . l ⁻¹]	Sacharosa [g . l ⁻¹]	Úprava/ Adjustment pH
WPM_1	0,2	0,1	200	2	200	6	30	5,8
WPM_2	0,4	0,1	400	2	0	6	30	5,8
WPM_3	0,2	0,1	400	2	400	6	30	5,8

fáze (7 dnů) ve tmě. Následně byly mikrořízky přesazeny na světlo na médium identického složení bez fytohormonu.

Rostliny s vyvinutým kořenovým systémem byly přesazeny do agropertlitu a jednou denně zalévány bazálním médiem MS ředěným 1 : 10 destilovanou vodou. Aklimatizace probíhala ve stejných kultivačních podmínkách jako předchozí fáze, pouze s tou změnou, že výpěstky byly osvětlovány bez přerušování. Po čtrnácti dnech byly rostliny přesazeny do nesterilního substrátu (obr. 2) a poté převezeny do skleníku Experimentální školky Baně, detašovaného pracoviště útvaru biologie a šlechtění lesních dřevin, kde byly postupně adaptovány na 70% relativní vzdušnou vlhkost. Pro dopěstování byly použity obaly BCC Growing trays. Po aklimatizaci byly výpěstky vysazeny na přistíněné venkovní záhony školky (MALÁ 2000a).

VÝSLEDKY

Na základě experimentálního testování chemického složení živných médií pro kultivaci tisu červeného v podmínkách in vitro se nejlépe osvědčilo indukční médium WPM₁, pro namnožení adventivních výhonů pak multiplikační médium WPM₁. Růstové médium MS se pro indukční fázi růstu neosvědčilo (MALÁ 2000a). Pro rhizogenezi rostlin *Taxus baccata* L. se experimentálně osvědčilo zakořeňovací médium MS₂.

Při ověřování vypracovaného postupu na konkrétních klonech ve spolupráci se zainteresovanými organizacemi ochrany přírody a krajiny se podařilo z lokality Štěchovice stabilizovat explantátové kultury u 8 klonů, z Drbákova u 5 klonů, tj. 65 % z celkového počtu sebraných klonů. Za stabilizované kultury se považují ty, které rostly a vytvářely další adventivní výhony. V případě tisu je růst výhonů pomalý (průměrně 2 cm za 6 týdnů) a počet nových adventivních výhonů představuje 2 až 3 výhony na kulturu. Rychlost růstu i počet výhonů na kulturu je ve srovnání s jinými druhy nízký, zřejmě souvisí s fyziologickými vlastnostmi této dřeviny (MALÁ 1997). Průměrný počet výhonů ve fázi multiplikace pro postupně rozšířený počet klonů tisu byl ještě nižší (1,5), šlo o nejnižší počet ze všech sledovaných dřevin (MALÁ 2000a).

Celkově byl odebrán explantátový materiál z 59 jedinců *Taxus baccata*, z nichž rostlo v explantátové bance ve Strnadlech 32 klonů, tj. 54 % (MALÁ 2000a). Úspěšnost zakořeňování a aklimatizace se pohybovala mezi 80 až 90 %. Na zvýšení počtu zakořeněných rostlin (téměř o 20 %) se kladně podílela iniciace kořenění ve tmě. Aklimatizace probíhala bez komplikací, úhyn nepřesahoval 2 %. Veliká pozornost byla věnována vhodným typům sadbovačů pro dopěstování

kválení kvalitního kořenového systému. Osvědčily se sadbovače firmy BCC Growing trays, které nebrání rozvoji kořenů. Jejich předností je zejména to, že nemají pevné dno a kořeny rostlin se mohou řádně vyvíjet. Dalšími výhodami jsou rozměr a kónický tvar sadbovačů, které jsou ideální pro růst kosterních kořenů a dále rozmístění podélných nálitků na vnitřních stěnách sadbovačů, které rovněž napomáhají správnému vývoji kořenového systému.

V roce 2000 byl podle požadavků správy CHKO Slavkovský les připraven materiál pro repatriační účely. Byly vybrány klony uchovávané v explantátové bance Výzkumného ústavu ve Strnadlech, jejichž donorovi jedinci pocházeli ze Středočeské pahorkatiny (lokalita Štěchovice – Bojovský potok). Započalo se s přípravou materiálu z kultur in vitro těchto klonů, tj. s jejich zakořeňováním, aklimatizací a výsadbou na venkovní záhony (MALÁ 2000b, 2001). V roce 2003 bylo předáno 40 ks výpěstků in vitro (10 klonů po 4 exemplářích) k repatriaci na lokalitu dřívějšího předpokládaného výskytu, kde měly být individuálně chráněny (MALÁ 2003).

Pro rozšíření množitelské populace tisu na lokalitě v CHKO Slavkovský les (zvýšení genetické variability repatriované populace) byly v březnu 2004 odebrány dormantní pupeny z 10 tisů z Krivoklátska. Proběhlo rovněž šetření na lokalitě Štěchovice – Bojovský potok s ohledem na zjištění poměru pohlaví. Bylo sledováno ca 50 náhodně zvolených stromů, u kterých byl zjištěn poměr samčích a samičích rostlin přibližně 1 : 1. Cílem projektů na repatriaci vegetativně namnoženého materiálu by mělo být i zachování tohoto poměru v syntetické populaci. Z nově odebraných stromů byly založeny primární kultury. Po sterilizaci materiálu se extirpované pupeny umístily na indukční médium. Po 8 týdnech byly prorostlé vzrostlé vrcholy přesazeny na multiplikační médium. Na venkovních záhonech byly současně dopěstovávány sazenice generativního původu z Krivoklátska v počtu ca 100 ks (MALÁ 2004). Část tohoto materiálu byla předána pracovníkům ochrany přírody.

DISKUSE

Mikropropagační technologie lze s úspěchem využít u řady druhů listnatých dřevin (LIBBY, AHUJA 1993). Od zahájení intenzivního výzkumu mikropropagačních technologií lesních dřevin bylo o vývoji výpěstků in vitro ve venkovních podmínkách dosaženo významných poznatků a bylo prokázáno, že rychlost a jiné parametry růstu jsou srovnatelné se sazenicemi generativního původu (BOULAY, FRANCLÉ 1977, CORNU, CHAIX 1981, HAMMATT 1999, JURÁSEK, MALÁ 2000). V laboratoři Výzkumného ústavu lesního

Tab. 3.
Složení testovaných modifikovaných zakořeňovacích médií
Composition of tested modified rooting mediums

Médium/Medium	IBA [mg.l ⁻¹]	Agar [g.l ⁻¹]	Sacharosa [g.l ⁻¹]	Úprava/Adjustment pH
MS ₁ (1/3 koncentrace)	0,5	6	10	5,8
MS ₂ (1/4 koncentrace)	0,5	6	10	5,8
MS ₃ (1/4 koncentrace)	5,5	6	10	5,8
WPM ₁ (1/4 koncentrace)	3,0	6	10	5,8
WPM ₂ (1/4 koncentrace)	5,5	6	10	5,8

hospodářství a myslivosti, v. v. i., se podařila indukce organogeneze z meristému zimních pupenů u všech v úvodu zmíněných druhů dřevin, přičemž pro endemité druhy jeřábů *S. bohemica*, *S. sudeutica*, *S. eximia* a pro břízu trpasličí *Betula nana* byly vypracovány původní postupy. Úspěšnost při zakládání primárních kultur, rychlost multiplikace a zakořeňování se u jednotlivých druhů i klonů lišily, avšak u všech druhů se podařilo dopěstovat kompletní rostliny, které úspěšně pokračují v růstu na venkovních záhonech nebo již na demonstračních objektech. Úspěšnost při zakládání primárních kultur je závislá vedle vitality pupenů, stáří donorového jedince, doby odběru apod. i na možnostech sterilizace primárních explantátů. Nedostatečná sterilizace rostlinného materiálu je nejčastější příčinou odumření explantátu. Ztráty při zakládání primárních kultur mohou však být způsobeny i poškozením odebíraného výchozího materiálu suchem, mrazem nebo sekundárními parazitickými houbami.

V roce 1998 byla uzavřena dohoda s LČR, s. p., o vypěstování sazenic tisů červeného ze semene dodaného lesní správou Křivoklát v počtu ca 2 000 ks s předpokládaným množstvím 400 ks vypěstovaných sazenic. Semena tisů byla vyseta, avšak během zimy došlo k totálnímu zničení výsevu myšovitými hlodavci.

Rovněž na základě požadavků CHKO Beskydy bylo započato s přípravnými pracemi zamýšleného projektu záchran beskydského tisů s využitím biotechnologických postupů. Šlo o návrh opatření k zajištění uchování genofondu tisů přezívajících na předeměných lokalitách. Návrh měl zahrnovat asanaci stávajících lokalit, využití vegetativních metod při reprodukci zachovaných jedinců a návrh na založení klonového archivu a semenného sadu (MALÁ 2001). Na tento projekt se však bohužel nepodařilo zajistit finanční prostředky.

V roce 2005 byla metodika reprodukce tisů in vitro ověřena na biologickém materiálu pocházejícího se severních Čech, kde v současné době probíhá spolupráce Výzkumného ústavu se správou CHKO Lužické hory při výzkumu tamní populace a jejím posilování repatriačními výsadbami (NOVOTNÝ et al. 2007).

ZÁVĚR

Zárukami genetické kvality mikropropagovaných výpěstků je sběr zdrojového rostlinného materiálu z kvalitních dárců, což nelze u zbytkových populací tisů červeného vždy dodržet. V každém případě je však nutno snažit se o dodržení vhodného počtu klonů při vytváření syntetické populace. Za situace, kdy někteří jedinci zbytkové populace neplodí a rovněž v případě samčích exemplářů, je možno počet klonů syntetické populace pro repatriační účely o tento zdrojový materiál navýšit pouze jeho vegetativním rozmnožením. Výhodou sazenic in vitro původu oproti řízkovancům je jejich normální morfologický vývoj a tudíž i správné plnění ekologického postavení v lesním porostu. Morfologická kvalita výpěstků je zaručena dodržováním technologických postupů při dopěstování sazenic, včetně volby vhodné obalové techniky. Vzhledem k nadějným výsledkům by další experimenty měly být směřovány na rozšíření počtu stabilizovaných klonů a optimalizaci multiplikační fáze.

Poznámka:

Problematika byla postupně řešena v rámci trvalého pověření MZe, výzkumného projektu NAZV č. QC1277, a výzkumného záměru MZe č. 0002070202.



Obr. 1.

Explantát tisů červeného s primárními kořínky vyvinutými v agarovém médiu

Explant of common yew with primary roots developed in agar medium



Obr. 2.

Tis červený in vitro původu s již plně funkčním kořenovým systémem po přesazení do nesterilního substrátu

Common yew of in vitro origin with already fully function rooting system after transferring into non-sterile substrate

LITERATURA

- BOULAY, M., FRANCLLET, A. Recherches sur la propagation vegetative de Douglas (*Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) FRANCO. Possibilités d'obtention de plante viables a partir de la culture in vitro de bourgeons de pieds – meres juveniles. CR Acad. Sci., 1977, vol. 284, s. 1405-1407.
- CORNU, D., CHAIX, C. Multiplication par culture in vitro de merisiers adultes (*Prunus avium*). In Proc. IUFRO Sect S2 01. 5th Int. Workshop „In vitro“ Cultivation for Tree Species, Fontainebleu, France, 1981. s. 71-79.
- HAMMATT, T. Delayed flowering and reduced branching in micropropagated mature wild cherry (*Prunus avium* L.) compared with rooted cuttings and seedlings. Plant Cell Rep., 1999, vol. 18, s. 478-484.
- JURÁSEK, A., MALÁ, J. Zkušenosti s kvalitou sadebního materiálu z autovegetativního množení při pěstování ve školce a při obnově lesa. In Kontrola kvality reprodukčního materiálu lesních dřevin. Sborník, Opočno 7. – 8. 3. 2000. s. 81-90.
- LIBBY, W. J., AHUJA, M. R. Micropropagation and clonal options in forestry. In Ahuja, M. R. (ed.): Micropropagation of Woody Plants. Kluwer Acad. Publishers, 1993. s. 425-442.
- LLOYD, G., MCCOWN, H. B. Commercially feasible micropropagation of mountain laurel *Kalmia latifolia* by use of shoot tip culture. Proc. Intern. Plant. Propag. Soc., 1981, vol. 30, s. 421-427.
- MALÁ, J. Zachování a reprodukce genových zdrojů okrajových a ohrožených lesních dřevin s využitím moderních biotechnologických metod. Výroční zpráva projektu NAZV QC1277. Jíloviště-Strnady: VÚLHM, 1997. 14 s.
- MALÁ, J. Zachování a reprodukce genových zdrojů okrajových a ohrožených lesních dřevin s využitím postupů moderních biotechnologických metod. Výroční zpráva projektu NAZV QC1277. Jíloviště-Strnady: VÚLHM, 1999. 14 s.
- MALÁ, J. Zachování a reprodukce genových zdrojů okrajových a ohrožených lesních dřevin s využitím moderních biotechnologických metod. Závěrečná zpráva projektu NAZV QC1277. Jíloviště-Strnady: VÚLHM, 2000a. 19 s.
- MALÁ, J. Expertní a poradenská činnost pro vlastníky lesa v oboru biotechnologií. Výroční zpráva trvalého pověření MZe. Jíloviště-Strnady: VÚLHM, 2000b. 7 s., přílohy.
- MALÁ, J. Expertní a poradenská činnost pro vlastníky lesa v oboru biotechnologií. Výroční zpráva trvalého pověření MZe. Jíloviště-Strnady: VÚLHM, 2001. 8 s., přílohy.
- MALÁ, J. Expertní a poradenská činnost pro vlastníky v oboru biotechnologií. Výroční zpráva trvalého pověření MZe. Jíloviště-Strnady: VÚLHM, 2003. 15 s., přílohy.
- MALÁ, J. Expertní a poradenská činnost pro vlastníky v oboru biotechnologií. Výroční zpráva trvalého pověření MZe. Jíloviště-Strnady: VÚLHM, 2004. 11 s., přílohy.
- MORAVEC, J., HUSOVÁ, M., NEUHÄUSLOVÁ, Z. Hygrofilní, mezofilní a xerofilní opadavé lesy. In Moravec, J.: Přehled vegetace České republiky. Svazek 2. Praha: Academia, 2000. 319 s.
- MURASHIGE, T., SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. Physiol. Plants., 1962, vol. 15, s. 473-479.
- NEUHÄUSLOVÁ, Z., BLÁŽKOVÁ, D., GRULICH, V., CHYTRÝ, M., JENÍK, J., JIRÁSEK, J., KOLBEK, J., KROPÁČ, Z., LOŽEK, V., MORAVEC, J., PRACH, K., RYBNÍČEK, K., RYBNÍČKOVÁ, E., SÁDLO, J. Mapa potenciální přirozené vegetace České republiky. Textová část. Praha: Academia, 1998. 341 s.
- NOVOTNÝ, P., HROZEK, A., IVANEK, O., HLAVÁČEK, J., FRÝDL, J. Opatření k záchraně a reprodukci genetických zdrojů tisů červeného (*Taxus baccata* L.) na území CHKO Lužické hory. Dílčí závěrečná zpráva výzkumného záměru č. MZe 0002070202. Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., 2007. 96 s., přílohy.
- Vyhláška č. 395/1992 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona České národní rady č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny. Sbírka zákonů Česká republika, 1992, č. 80, s. 2212-2246.

THE IN VITRO PROPAGATION OF COMMON YEW (*TAXUS BACCATA* L.) AS A POTENTIAL CONTRIBUTION TO PRESERVATION AND REPRODUCTION OF GENETIC RESOURCES OF THIS SPECIES IN THE CZECH REPUBLIC

SUMMARY

In the Czech Republic common yew (*Taxus baccata* L.) belongs to the preserved tree species (Decree no. 395/1992 Coll.) classified into the category endangered tree species. It occurs in a few residual populations varying in number of individuals and isolated more or less one from another. Preservation of this species in forest stands with sites suitable for common yew is important for maintenance of species diversity.

Besides conservation of existed populations in situ the preservation of forest trees species gene pool is aimed at ensuring the generative and vegetative reproduction for the populations in which, from many reasons, the natural regeneration fails. Biotechnological method in vitro is one of the possibilities of vegetative reproduction still more applied. The most successful method is organogenesis proving its suitability for clonal regeneration above all of deciduous tree species. Ensuring of suitable conditions for cultivation is principal for successful organogenesis.

This work focuses on development of methodology for successful cultivation of common yew in vitro, i. e. induction of organogenesis, multiplication, induction of rhizogenesis finished by cultivation of plantable material corresponding with repatriation demands.

Chemical composition of nutrient media for in vitro common yew cultivation was tested proving that the most suitable is modified induction medium WPM₁; for reproduction of adventitious shoots it is modified induction medium WPM₁. Rhizogenesis of *Taxus baccata* L. plants is the best with modified rooted medium MS₂.

These results were verified on the concrete clones on some localities in the Czech Republic in cooperation with concerned organizations dealing with protected nature and landscape. Establishment of primary common yew culture was successful in 54 %; rooting and acclimatization were ranging between 80 to 90 %. In 2003, 40 cultivars were given for repatriation in the Protected Landscape Area Slavkovský les. In 2005 methodology for common yew in vitro reproduction was verified on biological material originated from the northern Bohemia (Protected Landscape Area Lužické hory Mts.).

When a synthetic population is bred, it is necessary to ensure a certain minimal amount of clones. In case that some individuals within the residual population do not produce or in case of male specimens, number of clones within the synthetic population can be enhanced only by its vegetative regeneration. Unlike the cuttings advantage of plants of in vitro origin is their normal morphological development and thus the appropriate fulfilling of ecological position in forest stand. Morphological quality of cultivars is ensured by keeping technological processes during finishing of plants breeding including option of suitable container technique. With regard to good results further experiments should be oriented onto extension of stabilized clones and optimization of multiplication phase.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Petr Novotný, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.
Strnady 136, 252 02 Jíloviště, Česká republika
tel.: 257 892 228; e-mail: pnovotny@vulhm.cz

K PROBLEMATICE GENETICKÝCH ZMĚN V POPULACÍCH LESNÍCH DŘEVIN V DŮSLEDKU NARUŠOVÁNÍ LESŮ ŠKODLIVÝMI VLIVY PROSTŘEDÍ

TOWARDS GENETIC PROCESSES IN FOREST TREE SPECIES POPULATIONS IN CONSEQUENCE OF HARMFUL ENVIRONMENTAL FACTORS AFFECTING FOREST

JIŘÍ ŠINDELÁŘ - JOSEF FRÝDL

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady

ABSTRACT

Forest ecosystems condition and course of inner processes, in addition to their composition, are partly influenced by ecological and site conditions, together with management interventions. Harmful factors and their sets affecting forest are of specific character and importance impacting structural and ecological processes, including genetic changes in forest tree species populations. Regarding general current deteriorated health condition of forest, especially in Central Europe, caused to a great extent by human factor, genetic changes in forest tree species populations are registered, as well. This paper presents synthetically summarized disposable research results having been received in populations of Norway spruce, Scots pine, silver fir, European beech, including populations of sessile and pedunculate oaks. These research results have become a base for recommended treatments aimed at preservation and reproduction of threatened forest tree species populations. Research of forest stands regeneration and reforestation also comprises principles ensuring adequate variability inside populations of individual species.

Klíčová slova: populace lesních dřevin, škodlivé vlivy prostředí, genetické změny, adaptace

Key words: populations of forest tree species, harmful influences of environment, genetic processes, adaptation.

ÚVOD

Stav lesních ekosystémů a procesy v nich probíhající jsou, vedle jejich složení, do značné míry ovlivňovány ekologickými podmínkami, proměnlivými vlivy prostředí a hospodářskými zásahy do porostů. Specifický charakter a význam mají škodlivé faktory a jejich soubory působící na les.

Lesy jako soubory specifických organismů a prostředí jsou obecně v menší či větší míře narušovány, poškozovány a v extrémních případech, pokud jde o lesní porosty a jejich soubory, dočasně likvidovány škodlivými vlivy prostředí. Jde především o řadu faktorů abiotické povahy, zejména o činitele vyplývající z proměnlivosti povětrnostních a klimatických vlivů a faktory biotické povahy původu rostlinného i živočišného. V současné době se výrazně, v řadě oblastí převažujícím způsobem, na zhoršení zdravotního stavu podílejí vlivy antropogenní, zejména znečištění ovzduší průmyslovými imisemi, depozice škodlivých látek v povrchových půdních vrstvách, aj. Stav lesů v České republice je v současné době významně narušen a ve srovnání se situací v dalších evropských zemích, mimo jiné i v zemích sousedících s Českou republikou, patří k nejméně uspokojivým.

Vedle registrace škod působených jednotlivými škodlivými činiteli se v ČR realizuje v rámci mezinárodní spolupráce (program Evropské hospodářské komise při OSN označovaný jako ICP Forests) monitoring zdravotního stavu lesů. Uskutečňuje se jednak cestou pozemního šetření na monitoračních plochách a dálkovým průzkumem na základě družicových snímků (UHLÍŘOVÁ 2000, aj.).

Zdravotní stav lesů je v rámci pozemního šetření charakterizován především stupněm defoliace jako relativní ztrátou asimilačního aparátu v koruně stromů, která je porovnávána se zdravým stromem rostoucím ve stejných stanovištních a porostních podmínkách.

Jde vesměs o poškození, které je zejména důsledkem dlouhodobého a nadměrného znečištění ovzduší různými škodlivými látkami (SO_2 , NO_2 , F, Cl, O_3 , těžké kovy, prachové částice, aj.). Kromě defoliace se na některých plochách sledují i změny zbarvení asimilačního aparátu, dále se vyhodnocují listové analýzy, sledují se depozice v půdě, tloušťkový přírůst dřevin analýzou letokruhů, změny vegetačního krytu a procesy probíhající v lesních půdách (FABIÁNEK 2003, UHLÍŘOVÁ 2000, aj.).

METODIKA

Na monitorační práce navazují ve specifických případech aktivity, které sledují genetické důsledky stresu vyvolávaného komplexem faktorů působících v interakci, především však průmyslovými a dalšími imisemi.

Metody ekologicko-genetického výzkumu spočívají na základech genetiky populací. Analytickou metodu představují v současnosti isoenzymy, jejichž využitím lze po genetické stránce charakterizovat důsledky stresových situací působících na populace lesních dřevin. Jako kritérium pro analýzu se používá zejména posouzení variability alelických a genotypových frekvencí, genetické diverzity, stupně heterozygotnosti v populacích, zastoupení vzácněji se vysky-

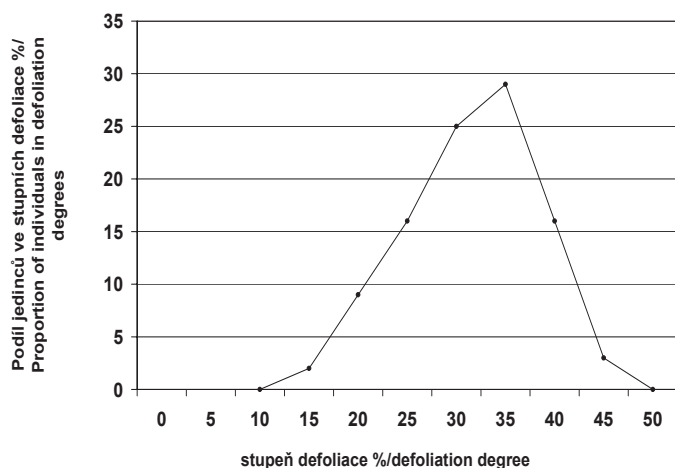
tujících alel, aj. V menší míře a rozsahu se pro výzkum předmětné problematiky geneticky podmíněné proměnlivosti dílčích populací lesních dřevin s různými projevy stresu použila analýza DNA (DEGAN, SCHOLZ 2001). Pokud jde o rozsah prací, jde zejména o Spolkovou republiku Německo, kde se analýzy z hlediska zátěže stresovými faktory uskutečnily až dosud na více než 10 000 jedincích. Nemalý rozsah prací se realizuje i v České republice a na Slovensku (IVANEK 2001, aj.). Práce se až dosud orientovaly zejména na tuto konkrétní problematiku:

- Posouzení genetické skladby různých dílčích populací lesních dřevin s diferencovanými stupni zátěže (silněji ovlivňované populace a populace méně poškozené)
- Analýza geneticky podmíněné skladby mezi senzitivními soubory a jedinci v rámci populace a tolerantními soubory a jedinci téže populace
- Sledování a posouzení různých ontogenetických stadií téže populace (např. adultní jedinci, semenáčky, sazenice, nálety, nárosty, aj.)
- V rámci některých prací byla věnována pozornost posouzení skutečného stavu dílčí populace pod vlivem stresu s teoretickou genetickou strukturou (např. posouzení četnosti jedinců genotypů a četností při teoretickém náhodném sprašování/křížení)
- Další specifickou metodickou kategorií výzkumu představují práce na rostlinách rostoucích v kontrolovaných podmínkách. Jedná se zejména o analýzy rostlin vystavených v komorách působení SO_2 , O_3 , HF, aj. Mimo jiné se zkoumá vliv těchto látek na pyl, na jeho životaschopnost a další charakteristiky. V rámci těchto prací mohou být sledovány i případné kombinace jednotlivých faktorů.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Disponibilní výsledky prací, realizovaných až dosud pouze na některých druzích lesních dřevin (smrk ztepilý, jedle bělokorá, borovice lesní, buk lesní, dub letní a zimní), lze velmi stručně zobecnit takto:

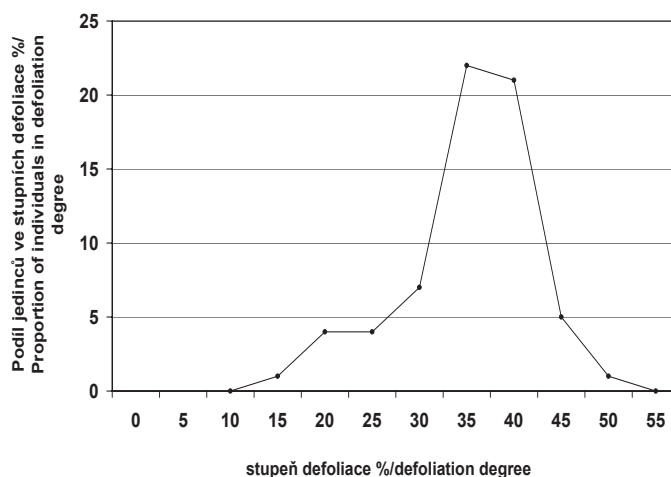
- Proměnlivost u lesních dřevin je spojena s různými formami fyziologických reakcí na měnící se podmínky prostředí. Větší či menší citlivost či tolerance ke stresu vyvolávaného souborným vlivem škodlivých faktorů prostředí je podmíněna geneticky.
- Stres vede v extrémních případech ke stupňování mortality v populacích. V případech, kdy tím dochází k silné redukci populace, může nastat zřetelná genová eroze jako důsledek genetického driftu.
- V porostech, které se v důsledku stresové situace prosvětlují, může docházet k postupné reprodukční izolaci jednotlivých stromů. Podíl samoopylení stoupá a tím se zvyšuje nebezpečí produkce osiva se značným podílem projevů příbuzenského křížení (inbreedingu). V případech, kdy je stresová zátěž prostorově proměnlivá, může v populacích docházet k různým adaptacím. V nepříznivých podmínkách mohou tyto situace vést k reprodukčním izolacím jednotlivých porostů (DEGEN, SCHOLZ 2001). V souvislosti s tím může docházet k redukci toků genů mezi jednotlivými porosty v rámci omezení přenosů pylu a osiva.
- Stres, zejména znečištění ovzduší, mění intenzitu fruktifikace v lesních porostech. Snížení celkového počtu partnerů a zejména intenzity plodnosti vede k redukci velikosti populace, která je efektivní z hlediska reprodukce. Čím menší je populace z hlediska reprodukční efektivnosti, tím bývá větší, pokud jde o gene-



Obr. 1.

Distribuce kategorií stupňů defoliace. Monitorační plocha B 150 - Harrachov. KRNP, por. 524 A8, PLO 22 - Krkonoše, VLS 8, nadm. výška 1 030 m, SLT 8 S1. Smrk ztepilý, věk 82 let

Categories distribution of defoliation degrees. Monitoring plot B 150 - Harrachov. KRNP, stand 524 A8, PLO 22 - Krkonoše Mts., vegetation forest zone 8, elevation 1,030 m, SLT 8 S1. Norway spruce, age 82 years



Obr. 2.

Distribuce kategorií stupňů defoliace. Monitorační plocha B 160 - Pec pod Sněžkou. KRNP, por. 220 B11, PLO 22 - Krkonoše, VLS 7, nadm. výška 900 m, SLT 7 N4. Smrk ztepilý, věk 120 let, bonita 22, zakmenění 10

Categories distribution of defoliation degrees. Monitoring plot B 160 - Pec pod Sněžkou. KRNP, stand 220 B11, PLO 22 - Krkonoše Mts., vegetation forest zone 7, elevation 900 m, SLT 7 N4. Norway spruce, age 120 years, yield class 22, stand density 10

tické složení, diferenciace mezi mateřskými stromy a osivem. Zvyšuje se tak riziko ztrát genetických informací o populacích.

- Znečištění ovzduší, specificky imisemi, může indukovat mutace. Tím se sice zvyšuje geneticky podmíněná proměnlivost, avšak ve značném podílu obvykle vznikají letální nebo semiletální mutanti, kteří představují genetickou zátěž.
- Určitý podíl redukce v populaci během vývoje porostu je vyvoláván biotickými faktory (hmyz, houby, zvěř, aj.). Na základě těchto vlivů mohou probíhat, podobně jako v souvislosti se zmíněnými obecnými stresovými situacemi, selekční pochody, které vedou k změnám genetického složení populací. Práce tohoto zaměření jsou ve výzkumu zatím zcela ojedinělé. Jako příklad lze uvést důkaz geneticky podmíněné diferenciace u buků napadených červcem bukovým (*Cryptococcus fagisuga*) prokázané na základě analýzy isoenzymových lokusů (GORE et al. 1994). Výzkum tohoto zaměření, orientovaný na vlivy abiotické (vitr, sníh, mráz, aj.) a biotické povahy, je se zřetelem na poznání genetické podmíněnosti škod a jejich důsledků aktuální a tyto vlivy by měly být ve výzkumných programech brány v úvahu.

SOUHRN A ZÁVĚR

Zcela obecně lze, jako výsledek dosavadního výzkumu, konstatovat, že stresové situace jsou spojeny s negativními genetickými důsledky pro populace lesních dřevin. Dochází především k zužování geneticky podmíněné proměnlivosti a tím k snižování adaptační schopnosti lesních dřevin. Tyto skutečnosti by měly být respektovány v adekvátních formách v lesnické praxi (např. při volbě reprodukčního materiálu) a v lesnickém výzkumu. Jako opatření mohou přicházet v úvahu zejména tyto náměty:

- Postupné redukce zátěže prostředí, vyvolávané antropogenními faktory
- Se zřetelem na současný stav lesů patří k základním opatřením zachrana a reprodukce genových zdrojů lesních dřevin. Známé postupy směřující k tomuto cíli se postupně realizují. Specifickou pozornost je třeba věnovat identifikaci, charakteristice, udržení a reprodukci porostů autochtonních, u nichž lze předpokládat, vedle obvykle pozitivních hodnotových ukazatelů, žádoucí adaptační schopnost na podmínky prostředí.
- Je žádoucí, aby známé nebo předpokládané morfologické adaptace a jiné variabilní charakteristiky (např. tvar kmene, tvar koruny, doba rašení, aj.) dosud sledované jen na fenotypové úrovni, významné mimo jiné i z hlediska stability lesních ekosystémů, byly v rámci geneticko-šlechtitelského výzkumu ověřovány. Jde zejména o využívání vhodných genetických markerů. V souladu s výsledky výzkumu by pak měly být vhodné varianty se žádoucími geneticky podmíněnými charakteristikami využívány v rámci pěstebního výběru a ve šlechtitelských programech.

Poděkování:

Příspěvek byl zpracován v rámci řešení výzkumného záměru č. MZE0002070202.

LITERATURA

- DEGAN, B., SCHOLZ, F. Wirkungen auf die genetische Struktur von Arten. Handbuch der Umweltveränderungen und Ökotoxikologie. Band 2A. Berlin: Heidelberg, Springer Verlag, 2001, s. 317-330.
- FABIÁNEK, P. Vybrané informační podklady z evidence monitoračních ploch. Rukopis. Jíloviště-Strnady: VÚLHM, 2003. 22 s.
- FABIÁNEK, P., UHLÍŘOVÁ, H. (ed.) Monitoring zdravotního stavu lesů v České republice. Jíloviště-Strnady: VÚLHM, 2000. 92 s.
- GORE, V., STARKE, B., ZIEHE, M., KÖNIG, J., MÜLLER-STARCK, G., LUNDERSTADT, J. Influence of genetic structures and silvicultural treatments in a beech stand (*Fagus sylvatica*) on the population dynamics of beech scale (*Cryptococcus fagisuga*). For. Gen., 1994, vol. 1, no. 3, s. 157-164.
- IVÁNEK, O. Výsledky isoenzymových analýz porostů smrku a jilmu v Krušných horách. In Sborník ze semináře Výsledky lesnického výzkumu v Krušných horách, Teplice 2001. Jíloviště-Strnady: VÚLHM, 2001, s. 11-14.
- MÜLLER-STARCK, G. Genetic differences between "tolerant" and "sensitive" beeches *Fagus sylvatica* L. in an environmentally stressed forest stand. Silvae Genetica, 1985, vol. 34, no. 6, s. 241-247.
- ZAHRADNÍK, P. et al. Výskyt lesních škodlivých činitelů v roce 1999 a jejich očekávaný stav v roce 2000. Jíloviště-Strnady: VÚLHM-Lesní ochranná služba, 2000. 45 s., přílohy.

TOWARDS GENETIC PROCESSES IN FOREST TREE SPECIES POPULATIONS IN CONSEQUENCE OF HARMFUL ENVIRONMENTAL FACTORS AFFECTING FOREST

SUMMARY

As results of current research indicate, stressful situation used to be connected with negative genetic consequences for populations of forest tree species. Especially, it concludes in narrowing of genetically conditioned variability together with following decreasing of adaptability of forest tree species. These matters of fact should be respected in adequate forms both in forestry practice (e. g. in cases of reproductive material selection) and in forestry research, too. Practical treatments could be taken into account, as following themes, especially:

- Sequential reductions of environmental stress having been inducted by anthropogenic factors
- Preservation and reproduction of forest tree species gene resources, as basic treatments regarding to current state of forests. Necessary treatments used to already be realized progressively. It is necessary to pay especial attention to identification, characterization, preservation and reproduction of autochthonous forest stands, where it is possible to assume, among other positive characteristics, desirable adaptability towards environment conditions.
- Known or assumed morphological adaptations (e. g. stem form, crown shape, phenology characteristics, etc.), which also are considerable from viewpoint of forest ecosystems stability and having been for a while investigated just on phenotype level, need to be further verified, in frame of genetic improvement research. Especially, methods of molecular biology (isozymes and DNA analyses), should be used. Conformable with results of research, convenient variants with genetically conditioned desirable characteristics should be used in frame both of silvicultural treatments and of breeding programs.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Josef Frýdl, CSc., Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.
Strnady 136, 252 02 Jíloviště, Česká republika
tel.: 257 892 271; e-mail: frydl@vulhm.cz

PROMĚNLIVOST ASIMILAČNÍHO A TRANSPIRAČNÍHO KOMPARTMENTU BOROVICE LESNÍ

VARIABILITY OF SCOTCH PINE ASSIMILATION AND TRANSPIRATION COMPARTMENT

JARMILA NÁROVCOVÁ - VÁCLAV NÁROVEC

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., VS Opočno

ABSTRACT

This study investigated the variability of needles, like Scotch pine terminal macroblast from juvenile to virginal stage. Plantation groups originated from seeds of various populations of presented species were compared.

Klíčová slova: borovice lesní, terminální makroblast

Key words: Scotch pine, terminal macroblast

ÚVOD

I když je území ČR svou rozlohou, ve vztahu k areálu původního rozšíření borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.), velmi malé, je i v tomto prostoru uvedený druh značně proměnlivý. Se zřetelem na rozmanité ekologické podmínky rozlišujeme řadu regionálních populací druhu (ŠINDELÁŘ 1989, 2004), lišících se produkcí, habitem, morfologickými znaky kmene, koruny, aj. K těmto regionálním (s velkou pravděpodobností původním) populacím patří např. borovice šumavská se subpopulací borovice stožeké (LZ Prachatice, VLS Horní Planá) nebo např. borovice východočeská (lesní závod [LZ] Vysoké Chvojno, LZ Opočno, LZ Rychnov nad Kněžnou). Proměnlivost borovice lesní na území ČR naznačuje, že se v určitých ohledech nelze orientovat pouze na borovici lesní jako druh, ale je třeba respektovat její významné regionální populace.

Široká genetická proměnlivost umožňuje dílčí populaci druhu adekvátně reagovat na typické změny prostředí a přispět ke stabilitě daného ekosystému. Pro borovici lesní je v každé dílčí populaci charakteristické zastoupení genotypů klimaxových, přechodových i pionýrských (ŠINDELÁŘ 1981). Borovice hercynská, *Pinus sylvestris hercynica* MÜNCH., je souborem typů rozšířených v pahorkatinách až podhůřích střední Evropy. Typy vyšších poloh se vyznačují štíhlým rovným kmenem, úzkou kuželovitou a pravidelnou korunou a krátkými, většinou v ostrém úhlu nasazenými větvemi. V nižších polohách přecházejí v typy širokokorunné se silnějšími větvemi, méně přímými kmeny a nižší dosažitelnou výškou.

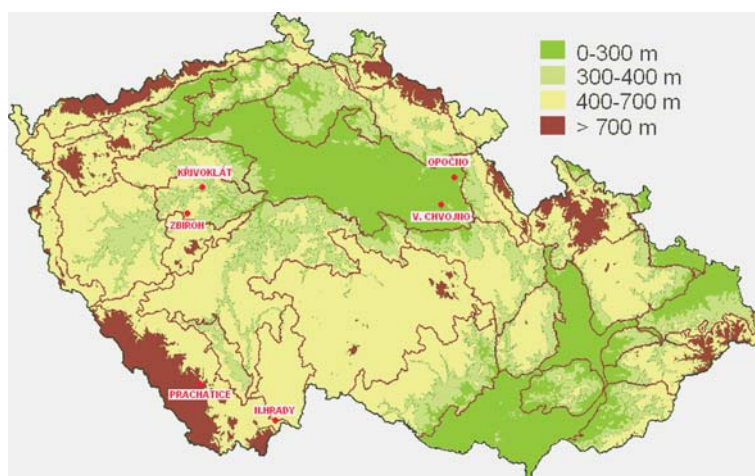
MEZERA (1952) uvádí, že tvar a délka jehlic borovice lesní jsou velice proměnlivé. Podle délky jehlic a jejich zbarvení se rozeznávají rovněž četné formy jmenovaného druhu. Jsou to většinou formy bez většího významu, závislé na podmínkách prostředí, především na stavu a vlastnostech půdy. HILITZER (1932) poukazuje na některé zvláštnosti, které nasvědčují tomu, že borovice na Šumavě vytváří místní, růstem přizpůsobené formy, označované jako *abbreviata* a *elongata*. *F. elongata* má jehlice dlouhé 5 cm, husté, přímo odstávající a vystoupavé větve (zejména v apikální části koruny), korunu rozložitější, hustší a širší.

F. abbreviata má jehlice kratší, o délce 2 – 4 cm, kolmo odstálé, dosti často řídké. Větve bývají většinou horizontálně rozložené (plagiotropní), koruna řídká.

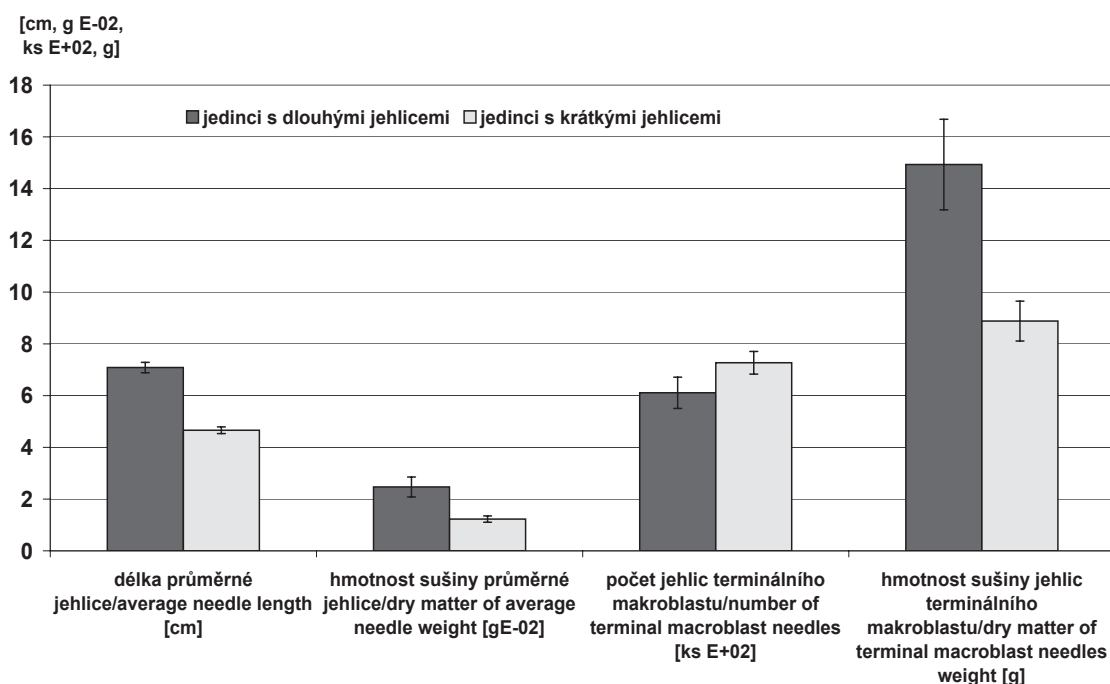
Z předchozího popisu vyplývá, že proměnlivostí borovice lesní se zabývala řada prací, avšak většinou byla pozornost autorů zaměřena na dospělé stromy. Předložená studie se týká proměnlivosti jehličí, resp. terminálních makroblastů borovice lesní v juvenilní až virginální životní fázi. Porovnávány byly soubory výsadby pocházejících ze semen různých populací uvedeného druhu.

METODA

Šetření byla prováděna na trvalé pokusné ploše u Týniště nad Orlicí. Sadební materiál šesti různých proveniencí borovice lesní pocházel z různých oblastí České republiky. Jednalo se o populace z oblastí nížinné (tato je zastoupena populacemi Opočno, Vysoké Chvojno), pahorkatinné (populace Krivoklát, Zbiroh) a horské (populace



Obr. 1.
Mapa České republiky s vyznačením místa původu populací
Map of the Czech Republic with places of population origins marked



Obr. 2.

Parametry asimilačního aparátu terminálního výhonu podle typu olistění

Parameters of terminal shoot assimilation apparatus by foliage variant

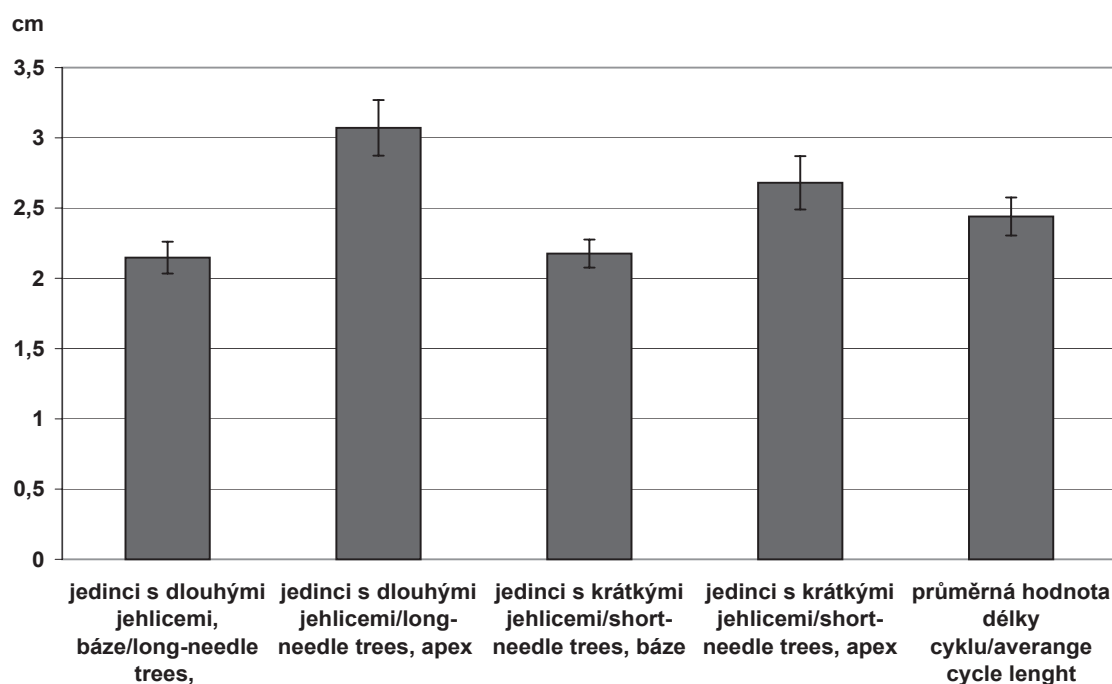
Pozn: Znárodněny jsou chybové úsečky (konfidence)./Note: Whiskers are included.

Tab. 1.

Výběr ekologických charakteristik stanovišť populací

Selection of ecological characteristics of population sites

Ekologické charakteristiky/ Ecological characteristics	Populace/Population					
	Opočno	Vysoké Chvojno	Křivoklát	Zbiroh	Prachatice	Nové Hradky
průměrná roční teplota vzduchu/ average annual air temperature [°C]	8	8	8	7	6	7
průměrný roční úhrn srážek/ average annual precipitation total [mm]	650	600	550	550	700	650
hodnota Langova dešťového faktoru/ Lang's rain factor [hodnota LDF/LRF value]	80	60	60	70	100	100
průměrný sezonní počet dní se sněžením/average seasonal number of days with snowfall [počet dní/number of days]	60	50	50	60	70	60
průměrný roční úhrn globálního záření/ average annual total of global radiation [MJ*m ⁻²]	3 600	3 700	3 700	3 700	3 700	3 700
průměrné datum počátku kvetení třešně ptačí/average date of beginning of wild cherry flowering [datum/date]	20. 4.	15. 4.	20. 4.	20. 4.	20. 4.	20. 4.



Obr. 3.

Průměrná délka cyklu na bázi a apexu terminálního makroblastu podle typu olistění

Average cycle length on the terminal macroblast base and apex by foliage variant

Pozn: Znáznorněny jsou chybové úsečky (confidence)./Note: Whiskers are included.

Prachatice, Nové Hradky). V tabulce 1 je uveden výběr ekologických charakteristik stanovišť (Atlas podnebí ČR). Na mapě České republiky (obr. 1.) jsou vyznačena místa původu sledovaných populací.

Podle morfologické charakteristiky jehlic byli jedinci juvenilní borovice lesní rozděleni do dvou typů asimilačního a transpiračního kompartmentu: jedinci s dlouhými jehlicemi a jedinci s krátkými jehlicemi. Typ jedinců borovice lesní s dlouhými jehlicemi označuje rostliny s delšími, mohutnými jehlicemi, které jsou postaveny na prýtu téměř kolmo, jehlice se mohou po délce stáčet. Zbarvení jehlic je tmavě zelené s šedivým nádechem. Naproti tomu typ jedinců s krátkými jehlicemi je charakterizován kratšími, drobnějšími jehlicemi, které jsou postaveny v ostrém úhlu vůči prýtu, jehlice jsou rovné, nestáčí se. Zbarvení jehlic je tmavě zelené.

Pro posílení variability asimilačního a transpiračního aparátu (tj. jehlic) byly hodnoceny tyto znaky: délkový růst jehlic a terminálních makroblastů v průběhu vegetačního období, morfologické charakteristiky jehlic a terminálního makroblastu, postavení brachyblastů na terminálním výhonu.

Analýzovány byly terminální makroblasty 5 jedinců borovice lesní pět let po zalesnění pro každý typ asimilačního a transpiračního kompartmentu. Na terminálních makroblastech byly stanoveny tyto znaky: délka a plocha povrchu makroblastu, délka jehlic, hmotnost sušiny jehlice, celková hmotnost sušiny jehlic, počet jehlic a počet brachyblastů. Dále bylo určováno postavení a hustota brachyblastů se svazky jehlic u obou typů asimilačního aparátu podle matematického vyjádření (VELENOVSKÝ 1907) zlomku m/n (m je počet otáček genetické šroubovice a n je počet svazků jehlic), počet cyklů (vzdálenost dvou svazků ortostichu, tj. svazků jehlic stojících nad sebou ve svislé rovině - mediáně), délka cyklů na apexu a bázi výhonu a také byly určeny parastichy

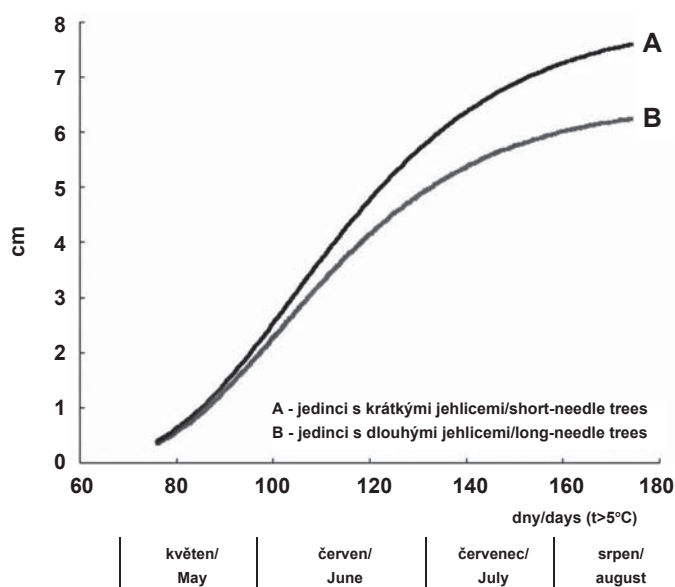
(strmější šroubovice vedoucí od každého svazku jehlic napravo i nalevo k dalším brachyblastům a jejich svazkům jehlic).

V týdenních intervalech během vegetačního období byly na části pokusné plochy (u 350 vybraných jedinců, zahrnujících studované populace borovice lesní) průběžně měřeny délky jehlic a délky terminálních makroblastů. Pro zjištění délky jehlic byly vybrány vždy 3 ks jehlic vyrůstajících z brachyblastů umístěných přibližně v polovině terminálního makroblastu.

V pokusném porostu borovice lesní sledovaných populací (cca 4 300 ks) bylo jednorázově, opakovaně ve dvou letech, stanoveno procentické zastoupení jedinců s dlouhými a krátkými asimilačními orgány. Výsledky byly zpracovány v programu Microsoft Excel, QC Expert a ADSTAT.

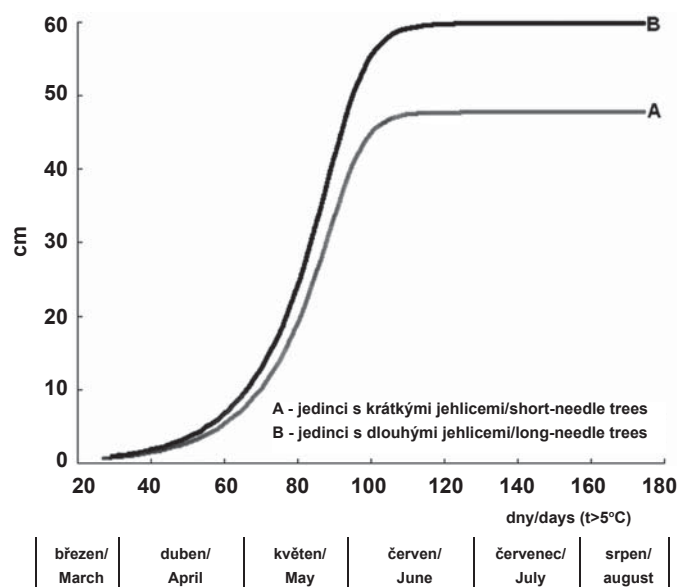
VÝSLEDKY

Průměrná délka jehlic charakterizující typy olistění je statisticky významně odlišná. Průměrná hodnota délky jehlic typu asimilačních orgánů s dlouhými jehlicemi je 7,1 cm, pro typ s krátkými jehlicemi 4,7 cm. Hmotnost sušiny jehlice typu s dlouhými jehlicemi je dvojnásobná oproti hmotnosti jehlice typu s jehlicemi krátkými. Také hmotnost sušiny jehlic terminálního makroblastu pro typ krátkých jehlic dosahuje pouze 59 % hmotnosti sušiny pro typ s jehlicemi dlouhými. Naopak průměrný počet jehlic terminálního makroblastu je u typu s dlouhými jehlicemi nižší, na úrovni 84 % typu s jehlicemi krátkými. Průměrné hodnoty délky jehlic, hmotnosti sušiny jehlice, hmotnosti sušiny jehlic terminálního makroblastu a průměrného počtu jehlic terminálního makroblastu udává obrázek 2. Průměrná hodnota délky terminálního makroblastu pro typ



Obr. 4.

Změna délky jehlic v průběhu vegetace
Needle length change during vegetative period



Obr. 5.

Změna terminálního makroblastu v průběhu vegetace
Terminal macroblast change during vegetative period

s dlouhými jehlicemi je 64 cm, průměrná plocha povrchu makroblastu je 210 cm². Pro typ s krátkými jehlicemi nabývají tyto parametry průměrných hodnot 61 cm, 243 cm².

Obrázek 3 udává průměrnou délku cyklu (vzdálenost dvou svazků jehlic ortostichu) na bázi a apexu terminálního makroblastu pro sledované typy olistění borovice lesní. Délka cyklu na bázi prýtu je u obou typů délky jehlic borovice statisticky shodná (porovnání výběrů, test shody rozptylů, test shody průměrů), průměrná hodnota je 2,2 cm. Na apexu prýtu se délka cyklu prodlužuje, u typu s dlouhými jehlicemi až na 3,1 cm, to je prodloužení vůči bázi o 40 % (u typu s krátkými jehlicemi se délka cyklu prodlužuje o 15 %). Průměrná délka a plocha cyklu pro jedince s dlouhými jehlicemi je 2,5 cm, resp. 10,1 cm², pro jedince s krátkými jehlicemi je 2,3 cm, resp. 7,5 cm². Průměrná délka cyklu na terminálních makroblastech borovice lesní je 2,4 cm. Jedinci s dlouhými jehlicemi měli průměrnou délku terminálního makroblastu 60,6 cm (resp. průměrnou plochu povrchu prýtu 243 cm²) s 24 cykly, jedinci s krátkými jehlicemi měli průměrnou délku terminálních makroblastů 64 cm (resp. průměrnou plochu 210 cm²) s 28 cykly.

Délkový růst jehlic a terminálního makroblastu v průběhu vegetace je znázorněn růstovými křivkami v programu Adstat pro typy olistění borovice lesní (obr. 4, 5). Osa x růstové křivky tvoří počet dnů s průměrnou denní teplotou vyšší než 5 °C, tedy počet dnů teplotně vhodných pro růstovou aktivitu rostlin. Pro orientaci je osa x doplněna odpovídajícími měsíci v roce.

Délkový růst jehlic vyjádříme Gompertzovým modelem růstové křivky (MELOUN, MILITKÝ 2002), který vykazuje nejlepší statistické parametry (RSC = 99,8). Matematická formulace křivky je shodná, křivky pro oba typy asimilačních orgánů se liší vypočítanými parametry $p(1) - p(3)$:

Gompertzův model pro jedince s dlouhými jehlicemi (B):

$$y = 8,088 * \exp(-\exp(-0,0396 * (x - 103)))$$

Gompertzův model pro jedince s krátkými jehlicemi (A):

$$y = 6,54 * \exp(-\exp(-0,042 * (x - 101)))$$

Délkový růst terminálních makroblastů můžeme vyjádřit pro oba typy asimilačních orgánů borovice lesní modelem růstové křivky podle Shutteho, RSC = 99,8 (MELOUN, MILITKÝ 2002). Model růstových křivek růstu délky terminálního makroblastu v průběhu vegetační sezony pro oba typy probíhá také v linii stejné matematické funkce, liší se parametry $p(1) - p(4)$:

Shutteho model pro jedince s dlouhými jehlicemi (B):

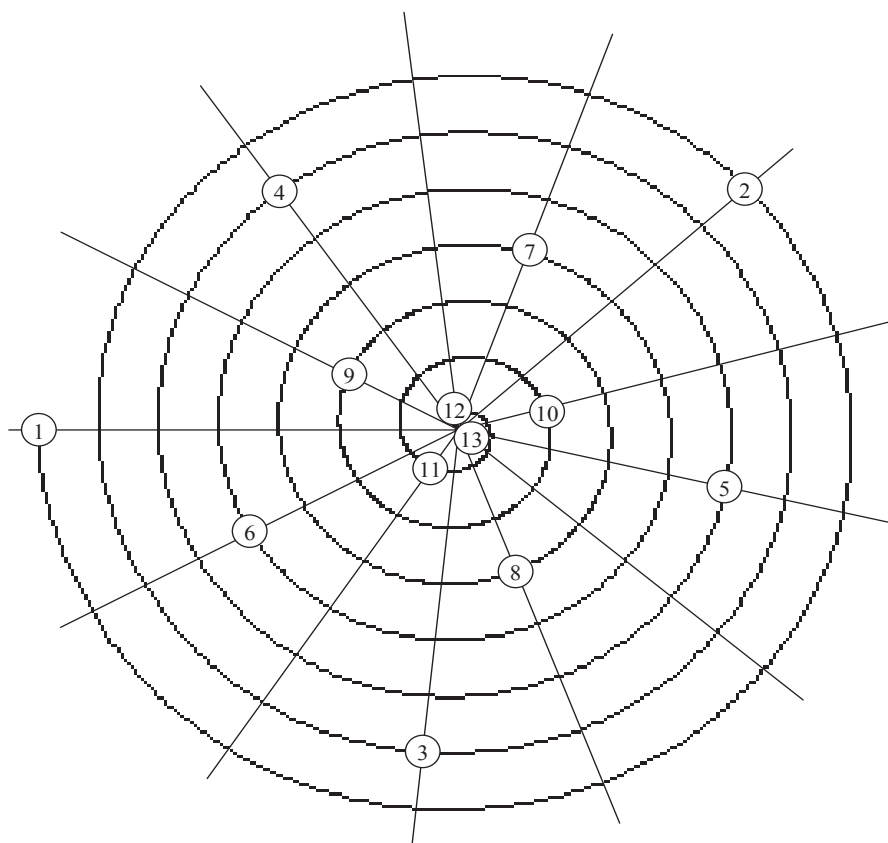
$$y = 59,83 * [1 + 3,13 * \exp(-0,20 * (x - 88))]^{(-1/3,13)},$$

Shutteho model pro jedince s krátkými jehlicemi (A):

$$y = 44,74 * [1 + 3,7 * \exp(-0,23 * (x - 88,64))]^{(-1/3,7)}.$$

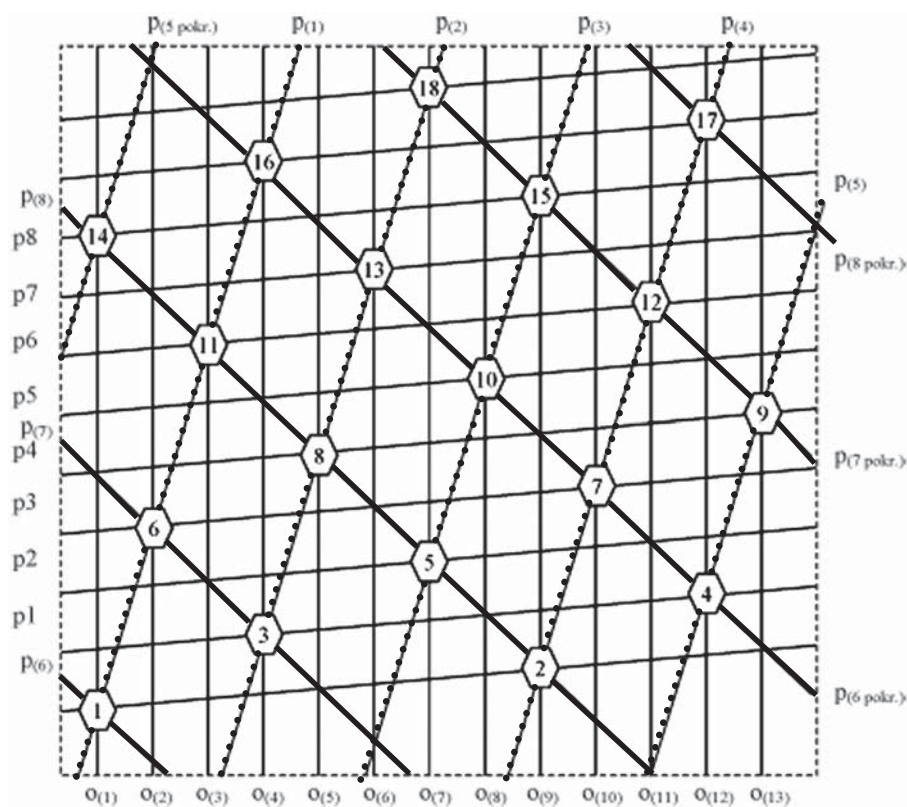
Procentické zastoupení typů olistění v rámci populací borovice lesní vykazuje rozdíly. Průměrná hodnota procentického zastoupení jedinců s dlouhými jehlicemi u horských populací je 34, u pahorkatinných populací 39 a u populací nížinných 58. Statistickým porovnáním výběrů programem QC Expert je statisticky shodné (na hladině významnosti 95 %) procentické zastoupení jedinců s dlouhými jehlicemi pro horské a pahorkatinné populace. Místní nížinné populace se od horských a pahorkatinných populací statisticky významně odlišují ve vyšším procentickém zastoupení typu s dlouhými jehlicemi.

Svazky jehlic vyrůstajících na brachyblastech jsou na prýtu střídavě (ve šroubovici) rozestavěny ve vzestupném (akropetálním) pořádku. Genetická šroubovice spojující svazky listů po sobě jdoucí se točí nalevo (laetotropní spirála). Počet svazků, který zahrnuje cyklus, je konstantní pro obě formy borovic po celé délce ter-



Obr. 6.

Schematické znázornění postavení svazků jehlic na ose podle 8/13 znázorněné v horizontální projekci v diagramu
Schematic illustration of needle fascicles position by 8/13 demonstrated in horizontal projection in the diagram



Obr. 7.

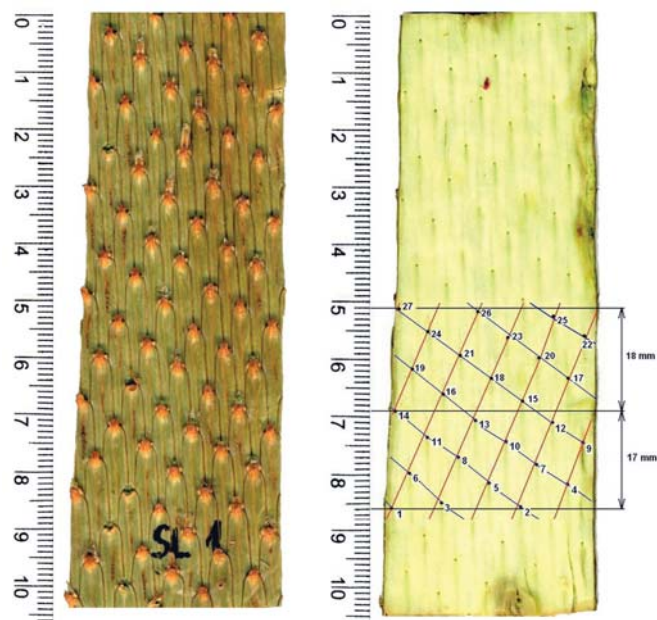
Schematické znázornění postavení svazků jehlic na plášti osním (plošně rozloženém), schematické znázornění ortostichů (o) a parastichů (p)
Schematic illustration of needle fascicles position (planarly spaced), schematic illustration of ortostichs (o) and parastichs (p)



Obr. 8.

Příprava částí terminálního makroblastu pro stanovení postavení svazků jehlic

Preparation of terminal macroblast parts for determination of needle fascicles position



Obr. 9.

Příklady postavení svazků jehlic podle 8/13 na plášti osním (plošně rozloženo)

Examples of needle fascicles position by 8/13 (planarly spaced)

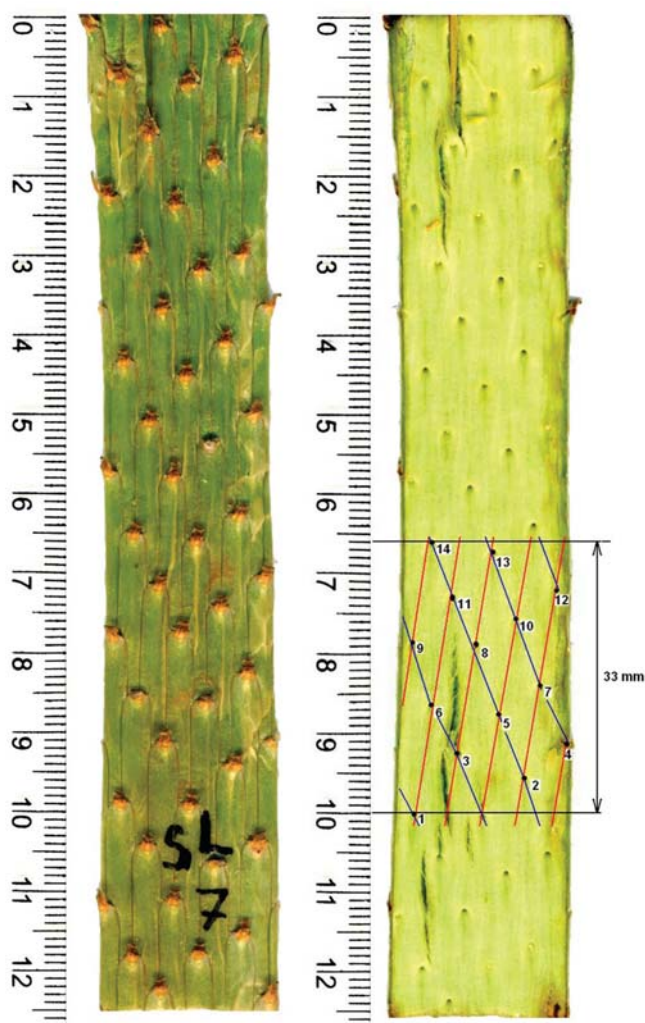
minálního výhonu, počet svazků jehlic (n) je 13, přitom otoček na prýtu bylo 8 (m). Ortostich je tedy tvořen svazky jehlic 1 - 14 ($(n + 1, 13 + 1) - 27 - 40$, atd. Postavení brachyblastů tedy vyjadřuje zlomek 8/13, divergence je $221,5^\circ$. Postavení svazků jehlic podle 8/13 je schematicky znázorněno v diagramu (obr. 6) a na osním válci (obr. 7). Ke znázornění uspořádání svazků jehlic na osním válci byly z části terminálních výhonů odstraněny svazky jehlic, prýty byly preparovány na dřevní a nedřevní část (lýková část a kůra), nedřevní část byla skenována z obou stran (obr. 8). Obrázky 9 - 11 znázorňují genetickou šroubovici cyklu forem olistění na bázi i apexu prýtů.

Od svazku jehlic s označením 1 pozorujeme dva parastichy: vpravo vybihající 1 - 6 - 11 - 16 - 21 - 26, s divergencí 5 a vlevo vybihající 1 - 4 - 7 - 10 - 13 - 16 - 19, s divergencí 3. Divergenční čísla udávají i počet souběžných parastichů. Souběžnými pravoběžnému parastichu jsou parastichy 3 - 8 - 13 - 18 - 23, 5 - 10 - 15 - 20 - 25, 2 - 7 - 12 - 17 - 22, 4 - 9 - 14 - 19 - 24, celkem je 5 pravoběžných parastichů, souběžných levoběžnému parastichu jsou parastichy 3 - 6 - 9 - 12 - 15 - 18 - 21 - 24 - 27, 2 - 5 - 8 - 11 - 14 - 17 - 20 - 23 - 26, tedy celkem 3 levoběžné parastichy.

DISKUSE

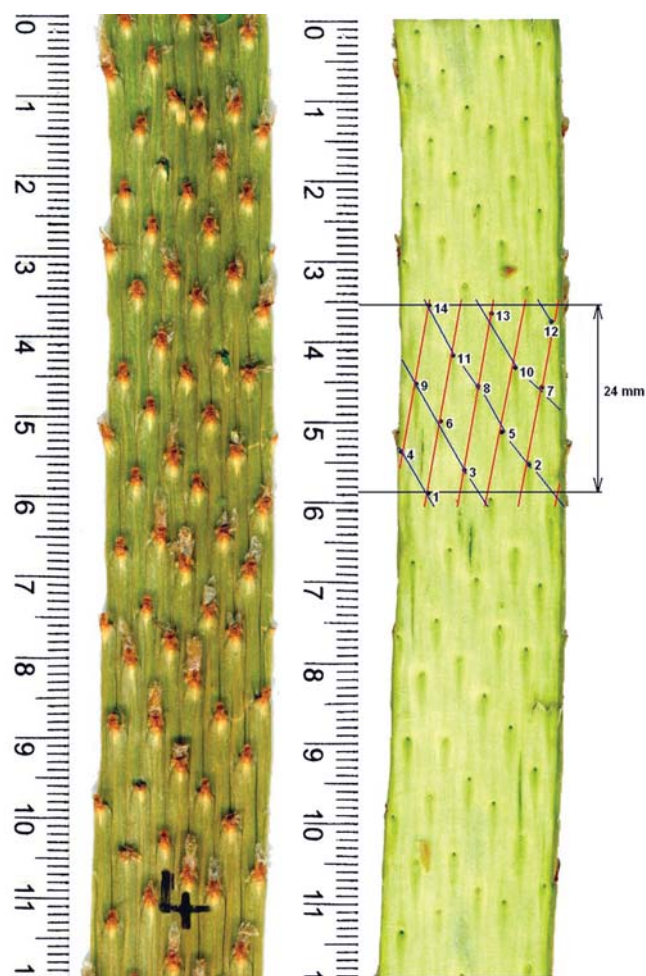
Zastoupení jedinců borovice lesní podle charakteristik asimilačního a transpiračního aparátu (jehličí) postihujících jedince s dlouhými a krátkými jehlicemi potvrzuje širokou genetickou proměnlivost dílčích populací. Jedinci s dlouhými jehlicemi mají průkazně delší jehlice, hmotnost sušiny jehlic terminálního makroblastu je dvojnásobná oproti jedincům s krátkými jehlicemi. Mohutnější růst jehlic a terminálního makroblastu typu olistění s dlouhými jehlicemi vede k výškové diferenciaci porostů juvenilní borovice lesní. Využití viditelné složky světelného spektra k výkonu asimilace je závislé na množství, struktuře a fyziologických vlastnostech listů. Z výsledků vyplývá, že růstové křivky prodloužení jehlic probíhají pro oba typy listů podle stejných matematických funkcí, pouze hodnoty parametrů rovnic jsou odlišné. Elongační růst jehlic je mohutnější u formy s dlouhými jehlicemi. Totéž platí i pro elongační růst terminálního makroblastu. Dosažená délka terminálních makroblastů je u formy borovice lesní s delšími jehlicemi vyšší. Podle údajů CHROUSTA (1993) mají největší plochu listů stromy předrůstavé, třikrát menší je plocha listů u stromů úroveňných a u stromů podúroveňných je zanedbatelná. V uvedených podmínkách lze předpokládat, že by jedinci borovice lesní s delšími jehlicemi a s vyšším růstem terminálních makroblastů mohli mít lepší předpoklady dosáhnout úrovně až nadúrovně v budoucím porostu oproti borovicím s kratšími jehlicemi a pomalejším růstem. Ty by zřejmě tvořily podúroveň. Na druhé straně by bylo třeba prověřit, zda se nalezene, průkazné rozdíly mezi horskými formami a formami nižších poloh v juvenilní až virginální fázi ontogenie udrží i ve vyšším věku stromů.

Asimilační orgány zaujímají (pomocí resupinací) určité postavení na prýtu tak, aby se pokud možno málo zastíňovaly a přitom dobře vzájemně chránily. Asimilační a transpirační orgány borovice lesní generují brachyblasty. Tyto zkrácené, zakrnělé prýty vykonávají funkci složených listů a také se morfologicky jako listy utvářejí a chovají. Jehlice vyrůstají z brachyblastů ve svazcích po dvou. Postavení svazků jehlic na prýtech je dáno rozestavením brachyblastů. Pro typy s dlouhými i krátkými jehlicemi je postavení listů shodně vyjádřeno zlomkem 8/13. Délka jednotlivých cyklů na bázi terminálního výhonu je shodná pro oba typy olistění. Na apexu terminálu dochází u typu s dlouhými jehlicemi k prodloužení délky cyklů, celkově mají na terminálním makroblastu nižší počet cyklů než jedinci s krátkými jehlicemi.

**Obr. 10.**

Příklady postavení svazků jehlic podle 8/13 na plášti osním (plošně rozloženo)

Examples of needle fascicles position by 8/13 (planarly spaced)

**Obr. 11.**

Příklady postavení svazků jehlic podle 8/13 na plášti osním (plošně rozloženo)

Examples of needle fascicles position by 8/13 (planarly spaced)

ZÁVĚR

Mezi vybranými populacemi borovice lesní jsme v určitých parametrech zaznamenali zřetelný posun; u populací místního, nížinného typu se statisticky průkazně ukázalo vyšší procentické zastoupení jedinců s dlouhými jehlicemi, vyšší akumulaci sušiny a intenzivnějším elongačním růstem terminálního makroblastu oproti populacím z pahorkatinných a horských oblastí. Populace nížinného typu obsahovaly více než polovinu (58 %) jedinců s dlouhými jehlicemi. Tyto populace jsou nejlépe přizpůsobeny místním zeměpisným podmínkám. Populace horských a pahorkatinných poloh jsou naopak přizpůsobeny prostředí předchozích generací a v nových podmínkách si do věku cca 10 let zachovaly původní růstovou strategii, tj. nižší zastoupení jedinců s dlouhými jehlicemi.

Byla tak prokázána možnost diferenciace borovice lesní v mladších fázích ontogenie podle délky jehlic, délky terminálních makroblastů, procentického zastoupení jedinců forem olistění pro skupiny populací v rámci ČR.

Poděkování:

Příspěvek byl zpracován v rámci řešení výzkumného záměru „Stabilizace funkcí lesa v biotopech narušených antropogenní činností v měnících se podmínkách prostředí“. (MZE 0002070201).

LITERATURA

Atlas podnebí ČR

HILITZER, A. Rozšíření borovice na Šumavě. Lesnická práce, 1932, č. 11, s. 9-25.

CHROUST, L. Světelný režim porostů borovice lesní (*Pinus sylvestris*) a jejich asimilační biomasa. Lesnictví, 1993, roč. 39, č. 12, s. 487-496.

MELOUN, M., MILITKÝ, J. Kompendium statistického zpracování dat. Praha: Academia, 2002. 764 s. ISBN 80-200-1008-4.

MEZERA, A. Biologie a pěstování borovice obecné *Pinus sylvestris*. In Pěstování borových porostů. Praha: Nakladatelství Brázda, 1952, s. 52-82.

ŠINDELÁŘ, J. Přírozená obnova borovice lesní. Lesnická práce, 2004, č. 8, s. 5-7.

ŠINDELÁŘ, J. K otázce geneticky podmíněné proměnlivosti populace borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) na území ČSSR. Lesnictví, 1981, roč. 27, č. 5, s. 385-408.

ŠINDELÁŘ, J. Opatření k záchraně a reprodukci genových zdrojů borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) v ČR. Zprávy lesnického výzkumu, 1989, roč. 34, č. 2, s. 1-5.

VELENOVSKÝ, J. Všeobecná botanika: srovnávací morfologie. Díl II. Praha: Česká akademie císaře Františka Josefa pro vědy, slovesnost a umění, 1907. s. 235-612.

VARIABILITY OF SCOTCH PINE ASSIMILATION AND TRANSPIRATION COMPARTMENT

SUMMARY

The present study was carried out in a permanent research plot at Týniště nad Orlicí. Planting stock of six different Scotch pine provenances originated from various regions of the Czech Republic. Juvenile Scotch pine individuals were divided into two assimilation and transpiration compartment sorts by their morphological characteristic: (1) individual trees with long needles and (2) individual trees with short needles. In order to determine the variability of assimilation and transpiration apparatus (i. e. needles), these characteristics were evaluated: longitudinal growth of needles and terminal macroblast during growing season, morphological characteristic of needles and terminal macroblast, and brachyblast position on terminal shoot. Percentage of short- and long-needle individual trees was determined both once and repeatedly at the age of two years in Scotch pine experimental stand of six populations (approximately 4,300 trees).

Among chosen Scotch pine populations we registered significant progress in certain parameters; higher percentage of long-needle individual trees was statistically proved with local lowland populations. Lowland populations also had higher dry matter accumulation and more intensive longitudinal growth of terminal macroblast in comparison with upland and mountain populations. The possibility of Scotch pine differentiation in earlier ontogeny stages by needle length, terminal macroblast length, and by percentage of individual trees foliage variant was proved for population groups within the Czech Republic.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Jarmila Nárovcová, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., VS Opočno
Strnady 136, 252 02 Jíloviště, Česká republika
tel.: 494 668 391; e-mail: narovcova@vulhmop.cz

OBEČNÝ MODEL PRO ODHAD FINANČNÍ ZTRÁTY NA POŠKOZENÝCH DŘEVINÁCH PO TĚŽEBNĚ DOPRAVNÍ ČINNOSTI

GENERAL MODEL FOR ESTIMATION OF FINANCIAL LOSS ON DAMAGED TREES AFTER LOGGING AND HAULING PROCESSING

JIŘÍ DVOŘÁK - JAROSLAV TOMÁNEK
FLD ČZU Praha

ABSTRACT

Damages to trees are negative income from operations that are connected with the logging and the arch skidding in the forest. The financial evaluation of the secondary damage to trees, which comes after a dosing interval depending on the expansive trunk rot and the falling tree increment, is neglected. The high probability is the fungal attack causing. It is dependent on the amount of injuries and tree sanitation. The minimal risk is for injuries to 10 cm² (0 %) and maximal for tree injuries over 200 cm² (100 %). Analytical results have demonstrated that 15 – 63 % of tree-wood can be qualitatively damaged after ten years. The significant factor is more damages up the one tree. 10 – 40 % of trees were damaged with double and more injuries depending on the 3rd – 5th age class. The injuries are cumulating so on small number of trees. The increments of damaged trees decrease by about 1 – 2 %.

Klíčová slova: těžební technologie, poškozené stromy, finanční ztráty
Key words: harvester technologies, damaged trees, financial loss

ÚVOD

Poškození lesních dřevin je stále zdůrazňovaným nedostatkem vázaným na těžební a dopravní činnost v lesním hospodářství, tj. v našich experimentálních měřeních na nasazení harvesterových technologií. Přestože počet škod v lesních porostech je při nasazení harvesterů a forwardérů nejnižší ve srovnání s klasickými technologiemi, ani zde nelze dosáhnout čistoty práce s nulovými škodami (DVOŘÁK 2005, ULRICH et al. 2002). Analýza škod na lesních porostech je prováděna od počátku 90. let (DVOŘÁK, UHLÍŘ 2006, DVOŘÁK 2005, JANEČEK et al. 2000 atd.). Ve všech studiích je opomíjeno finanční vyčíslení sekundárních škod na dřevinách, které mohou vznikat s časovým odstupem v závislosti na šířící se hnilobě poškozeným stromem, snižujícím se přírůstu a dalších faktorech.

Cílem práce je tak vytvoření obecného modelu pro odhad finanční ztráty, která může na poškozené surovině vzniknout v časovém období, nejčastěji do doby dalšího těžebního zásahu. Zohledňovány jsou vybrané faktory, které se na degradaci dříví mohou podílet. Dílčím cílem je i verifikace škod na lesních porostech vznikajících s nasazením druhé nejrozšířenější harvesterové technologie při těžební a dopravní činnosti.

MATERIÁL A METODIKA

Měření škod v lesních porostech ŠLP bylo prováděno na zkušných plochách o plošné velikosti 400 m² (20 x 20 m) za účelem verifikace vztahu pro odhad škod na dřevinách. Středem zkušné plochy prochází vyvážecí linka. Na ploše 7,5 ha bylo rovnoměrně rozloženo a vytyčeno 12 zkušných ploch, na kterých byla prováděna experi-

mentální měření. Podmínkou pro umístění zkušné plochy byla vzdálenost minimálně 10 metrů od okraje lesního porostu a vzdálenost ploch více jak 20 m od sebe. Pro kontrolní metodiku byla použita metoda zkušných pásů. Pásky o šíři 2 metry byly vytyčeny 20 m od sebe kolmo na přibližovací linky.

Experimentální měření probíhala v lesních porostech se zastoupením smrku 75 - 95 % se střední hmotností 0,51 m³. Další minoritní podíl tvoří borovice, modřín, dub a bříza. Věk porostů se pohybuje v intervalu 73 – 76 let a zakmenění je 8. Terénní podmínky můžeme označit terénním typem 11 (sklonitost do 8 %, terén průjezdný a bez překážek). Vyráběnými sortimenty byla vlákna o délce výřezů do 2 m, agregátní kulatina a kulatina o délce 4 – 6 m.

Na zkušných plochách byly zaznamenávány škody na lesních dřevinách s rozdělením do tříd podle stromové partie (kořen, náběh, kmen) a velikosti poranění (0 – 10 cm², 11 – 50 cm², 51 – 200 cm², 201 – 500 cm² a 501 – 1 000 cm²). Škody na kořenech byly evidovány do vzdálenosti 1,5 m od kmene stromu. Zaregistrovány byly ošetřené a neošetřené oděry.

V lesním porostu byl prováděn těžebně-dopravní zásah harvesterem Timberjack 1070 a vyvážecím traktorem Valmet 840.1.

VÝSLEDKY A DISKUSE

V posledním účetním roce 2006 bylo na Školním lesním podniku zpracováno harvestory 21,1 % z objemu těžebního dříví. Sledování potvrzuje, že počet poškozených stromů při těžebně-dopravní činnosti je závislý především na druhu těžby, přírodních a výrobních podmínkách, těžební metodě, těžební technologii, strojovým osazením technologie, výkonnosti strojů, lidské faktorů a dalších.

$$P_S = f(D_P, P_T, T_M, T_{PS}, S, W, L),$$

kde

- P_S počet poškozených stromů (ks/ha)
 D_T druh těžby – mýtní úmyslná, předmýtní úmyslná nebo nahodilá
 P_T přírodní a terénní podmínky
 T_M těžební metoda – sortimentní, kmenová nebo stromová
 T těžební technologie – harvesterová, klasická
 T_P technické parametry strojů v závislosti na strojovém osazení
 W výkonnost (m³/Mth)
 L lidský faktor – specifikovaný vzděláním a délkou praxe operátora stroje

- c_D průměrná finanční výtěžnost ze zdravého kmene (Kč/m³)
 c_P průměrná finanční výtěžnost z hnilobou poškozeného kmene (Kč/m³)

- Předpokládaná hmotnatost středního kmene v době následujícího zásahu (V_p)

Hodnota je specifikována z růstových tabulek, které jsou součástí vyhlášky Ministerstva zemědělství o lesním hospodářském plánování č. 84/1996 Sb. Předpokládaná hmotnatost závisí na absolutní bonitě a věku porostu (graf 1).

- Koefficient rizika napadení stromů hnilobou (k_n)

Koefficient je specifikovaný velikostí poranění a nebezpečím vstupu infekce do dřeva. GRAMMEL (1988) uvádí riziko napadení stromu infekcí od 0 do 44 % s ohledem na plošnou velikost rány. Podle ISOMÄKIHO (1979) (in HOREK 1991) sloupnutí kůry smrku o ploše přes 100 cm² představuje 40% riziko napadení červenou hnilobou. Poškození o ploše 200 cm², zasahující již do dřeva, znamená 100% jistotu infekce.

- Koefficient vícečetného poranění stromu (k_{vp})

Koefficient je definován počtem ran na jedné dřevině. S vyšším počtem poranění na jednom stromě narůstá riziko jeho infikování, na druhou stranu se snižuje škoda na porostu jako celku. Koefficient je specifikován na základě experimentálních měření a je definovaný pro věkové třídy, kde byly středně výkonové harvesterové technologie nasazeny (tab. 1).

- Koefficient kvalitativní ztráty po napadení dřeviny hnilobou (k_h)

Dřevo stromu napadené hnilobou ztrácí na kvalitě. Rychlost šíření hniloby nelze jednoznačně definovat. Koefficient specifikuje rychlost šíření hniloby dřevem. S ohledem na rychlost pronikání hniloby se hodnota koeficientu mění s časem od těžebního zásahu, při kterém byl strom poškozen (tab. 2).

- Koefficient redukce přírůstu (k_p)

Koefficient specifikuje kvantitativní ztrátu objemu způsobenou poškozením stromu. Největším rizikem pro redukci přírůstů je amputace hlavního kořene pojezdem, a to až o 50 % (KALLIO 1974). Koefficient nezahrnuje riziko snižování přírůstů tlakem stroje na půdní povrch a s ním i na kořeny lesní dřeviny.

Teorie odhadu finanční ztráty na poškozených dřevinách

Finanční ztráty, které vzniknou vlastníkově lesa z poškozených lesních dřevin po nastávajícím těžebním zásahu, tak lze odhadnout ze vztahu (1):

$$Z_D = (Z_1 + Z_2) \cdot V_s \cdot \left(1 + \frac{\Delta V_p}{V_s}\right) \cdot (1 + k_n) \cdot (1 - k_{vp}) \cdot k_h \cdot k_p \cdot c_D \cdot \left(1 - \frac{c_P}{c_D}\right) \quad (\text{Kč/ha}), \quad (1)$$

kde

- Z_1 počet poranění na stávajících stromech způsobené kácením a zpracováním stromu (ks/ha)
 Z_2 počet poranění na stávajících stromech způsobené vyvážáním dříví (ks/ha)
 V_s hmotnatost středního kmene stávajícího porostu (m³/kmen)
 ΔV_p rozdíl mezi předpokládanou hmotností středního stromu v době následujícího zásahu a současnou hmotností středního stromu, tzn. $\Delta V_p = V_p - V_s$
 V_p předpokládaná hmotnatost středního kmene v době následujícího zásahu – viz graf 1 (m³/kmen)
 k_n koefficient rizika napadení stromu hnilobou (-)
 $k_n \in < 0,1 - 1 >$
 k_{vp} koefficient vícečetného poranění stromu – viz tabulka 2 (-)
 k_h koefficient kvalitativní ztráty po napadení dřeviny hnilobou – viz tabulka 3 (-)
 k_p koefficient redukce přírůstu (-)
 $k_p \in < 0,5 - 0,99 >$

Tab. 1.

Koefficient vícečetného poranění stromu (k_{vp})
 Coefficient of multipath damage to tree (k_{vp})

Věková třída/Age class	3	4	5
k_{vp}	0,1 – 0,4	0,1 – 0,3	0,1 – 0,2

Tab. 2.

Koefficient kvalitativní ztráty po napadení hnilobou (k_h)
 Coefficient of qualitatively loss after fungal attack (k_h)

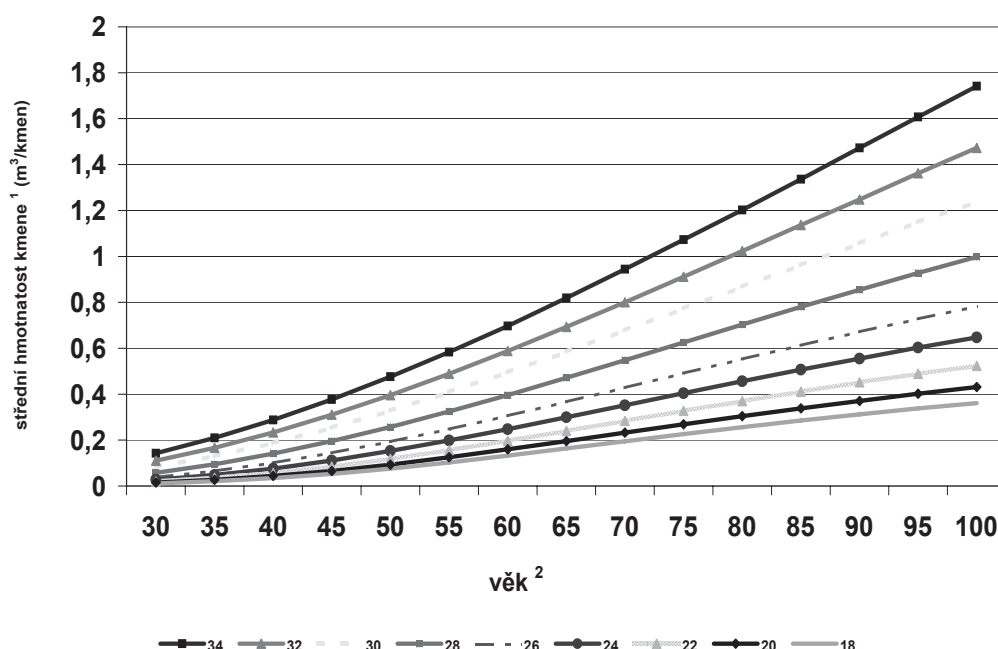
Rok od těžebního zásahu/Logging cut period	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
k_h	0,01-0,08	0,02-0,15	0,04-0,26	0,06-0,29	0,07-0,35	0,10-0,41	0,11-0,47	0,12-0,53	0,13-0,58	0,15-0,63

Tab. 3.

Technické parametry strojů

Engineering characteristic of machines

Vybrané parametry/Characteristics	Timberjack 1070	Valmet 840.1
Hmotnost/Weight (kg)	13 800	15 560
Délka/Length (mm)	6 600	9 040
Šířka/Width (mm)	2 780	2 630
Výška/Height (mm)	3 620	3 830
Světlost/Lightness (mm)	575	630
Dosah jeřábu/Crane radius (mm)	10 000	8 700
Výkon/Performance (kW)	123 kW při 2 200 ot./min.	94 kW při 2 000 ot./min.
Přední pneu/Front pneu	700 x 22,5	600/55 x 26,5/16
Zadní pneu/Back pneu ⁰	600 x 30,5	
Rychlost/Velocity (km/h)	0 - 25	0 - 20

**Graf 1.**Předpokládaná hmotnatost středního kmene (V_p) v závislosti na věku a bonitě lesního porostuExpected mean volume (V_p) depending on age and site quality of stands.¹⁾ mean volume ($m^3/tree$), ²⁾ age**Verifikace škod na lesních dřevinách**

Kontrolní měření byla prováděna v lesních porostech ŠLP v Kostelci nad Černými lesy. Nasazeny byly harvester Timberjack 1070 a vyvážecí traktor Valmet 840.1. Technické parametry shrnuje tabulka 3.

Podíl poškozených stromů při nasazení harvesterové technologie ve vybraných porostech je až o 10 % vyšší, než potvrzuje běžný výzkum (tab. 4). Rozpětí škod na zkusných čtvercích se pohybuje v intervalu od 5,0 % do 28,6 %. Průměr ze 12 zkusných ploch je 14,6 %. Z celkového počtu bylo 36 % oděrů na stromech asanováno. Kontrolní metoda zkusných pruhů vykazuje podíl poško-

zených zůstávajících stromů 12,8 % z celkového počtu a výsledky nepotvrzují statisticky významný rozdíl škod s ohledem na použitou metodiku.

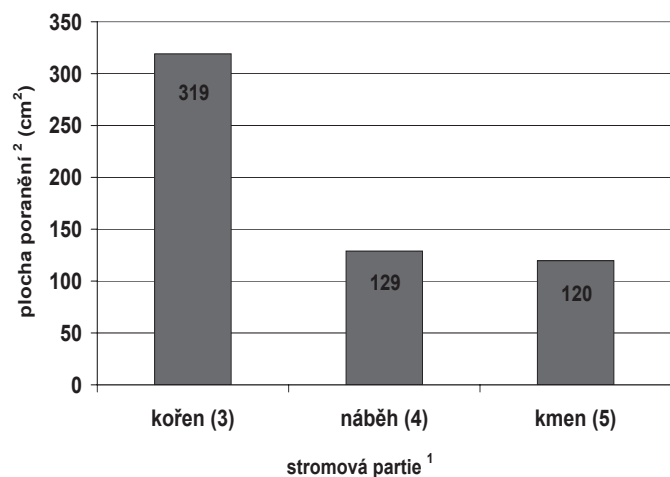
Rozložení poranění na stromech se pohybuje v intervalech od 0 do 1 000 cm^2 (tab. 5). Nevětší počet škod je zahrnut v intervalu 51 – 200 cm^2 , který bez ohledu na poraněnou partii obsahuje 31,3 škod/ha (37 % poranění). Nejmenší počet škod je v intervalu od 501 do 1 000 cm^2 s počtem 8,3 škod/ha. Tento počet činí 10 % všech škod v lesním porostu.

Průměrná velikost poranění na stromových partiích se pohybuje od 120 do 319 cm^2 (graf 2). Největší průměrná plošná velikost odě-

Tab. 4.

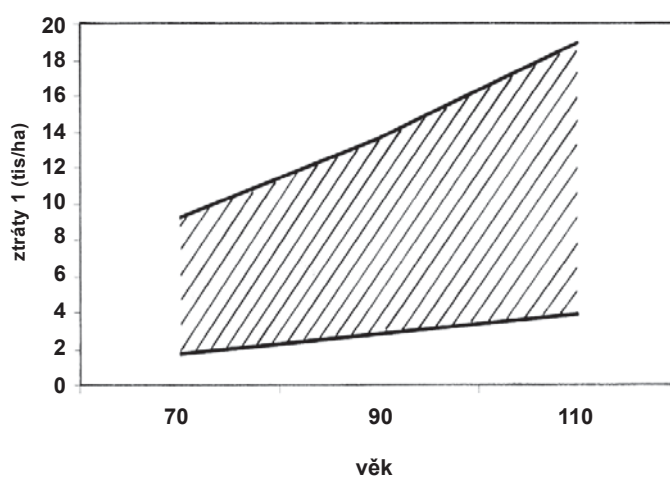
Počet a podíl poškozených stromů na zkusných plochách
Number and share of damaged trees on sample plots

Č. zkusné plochy/ Sample plot	Počet stromů/ Number of trees	Počet poraněných stromů/Number of damaged trees			Podíl poškozených stromů/ Share of damaged trees
		celkem na zkusné ploše/ sum on the sample plot	z toho vícenásobně/ multiple	celkem na 1 ha/ total per ha	
	(ks/400 m ²)	(ks/400 m ²)	(ks/400 m ²)	(ks/ha)	(%)
1	39	6	0	150	15,4
2	20	3	1	75	15,0
3	15	4	0	100	26,7
4	14	4	0	100	28,6
5	18	4	0	100	22,2
6	23	3	0	75	13,0
7	18	1	1	25	5,6
8	24	3	1	75	12,5
9	25	3	1	75	12,0
10	34	0	0	0	0,0
11	20	1	0	25	5,0
12	17	3	0	75	17,6
Průměrné poškození/Average damage				73	14,5

**Graf 2.**

Průměrná velikost poranění na stromových partiích
Average damage dimension of tree parts

¹⁾ tree part, ²⁾ damage dimension (cm²), ³⁾ root, ⁴⁾ buttress, ⁵⁾ trunk

**Graf 3.**

Finanční ztráty na smrkovém porostu s věkovým vývojem při zakme-
nění 8

Financial loss of the spruce stand in dependence on the age and in
the stocking 8

¹⁾ losses (th. crowns/hectar), ²⁾ age

rů je na kořenech. Příčinou poranění je interakce trakčního ústrojí harvestoru či forwarderu s kořeny. Nadměrná velikost rány je způsobena přejezdem harvestoru a opakovaným přejezdem forwarderů při vyvážení dříví, při kterém dochází k narušení mělkého půdního povrchu a talířového kořenového systému smrků. Frekventovanou jízdu stroje přes již způsobené oděry se jejich plocha navíc dále rozšiřovala. Plošná velikost škody na náběžích nepřekračuje hranici 130 cm². Nejčastější příčinou je opět poškození trakčním ústrojím harvestorem nebo vyvážecím traktorem na úzkých vyvážecích linkách, popř. vyklizování stromu před jeho zpracováním, v neposlední řadě poškození nesprávným uložením sortimentů a nezodpovědnosti při jejich nakládání do ložného prostoru forwarderu. Škody na kmenech o průměrné velikosti 120 cm² jsou nejčastěji z nedbalosti danou špatným nasměrováním stromu před kácením a následným pádem káceného stromu na stojící. Kmen je často poškozen i komponenty strojů, např. hydraulickým jeřábem, klanicemi apod., při manipulaci s kmenem nebo vyrobenými sortimenty.

Výpočet předpokládané současné a budoucí finanční ztráty na jeden hektar sledovaného porostu je ilustrován v grafu 3. Největší riziko ztráty představuje součinitel objemové napadení stromu hnilobou. S mírou rizika a pravděpodobností rozšíření hniloby stromem může být po 10 letech, tj. v době dalšího zásahu, kvalitativně poškozeno 15 – 63 % veškeré hmoty z poškozených stromů.

Poměrně malým nebezpečím, které ohrožuje kvantitativní ztráty, je součinitel přírůstu. Největší riziko pro přírůst hrozí s amputací hlavního kořene, které je málo pravděpodobné. K největšímu snižování přírůstu dochází u poškozených stromů, které jsou především podél linek. U těchto stromů nedochází k přímému poškození kořenů stromů, ale ke zvýšenému tlaku na ně. Riziko snižování přírůstu je kompenzováno světlostním přírůstem, který se zvyšuje při prosvětlení porostu podél vyvážecích linek.

Z dalších součinitelů, které se na kvalitativních nebo kvantitativních ztrátách mohou odrazit, je vícečetnost poranění na jednom stromu.

V neposlední řadě hraje velký vliv cena sortimentů a zhodnocení hnilobou nepoškozeného a poškozeného kmene. Někteří autoři uvádí s poškozeným a hnilobou napadeným dřevem stoprocentní ztrátu hodnoty. Důležité je počítat i s částečnou návratností hodnoty v podobě vlákniny nebo palivového dříví, které představuje 25 – 48 % tržní návratnost. Ztráta, která tak vzniká, tvoří cca 52 – 75 % hodnoty kulatiny hnilobou napadené části stromu. Z grafu 3 je patrné, že s věkovým odstupem od předchozího zásahu se nůžky možných finančních ztrát stále více rozevírají. Toto je dáno předpokládanou hmotností středního kmene v době následného zásahu, rizikem napade-

ní tohoto objemu hnilobou a předpokládanou cenou sortimentů. Po současném zásahu tak můžeme předpokládat ztrátu při těžebním zásahu v dalším decenniu 2,8 – 13,5 tis. Kč/ha a to i po zpeněžení hnilobou napadeného dříví z poškozených stromů. Tyto výsledky potvrzují i analýzy z výzkumu (MALÍK, DVOŘÁK 2007), které vykazují škody 2,1 – 6,5 tis. Kč/ha při průměrné hmotnosti vzorníků 0,33 m³ a 8,5 % poškozených stromů v porostu.

ZÁVĚR

Těžebně-dopravní činnost jakéhokoli technologického postupu způsobuje určitou míru škod, která se odráží na produkčních funkcích lesního ekosystému a tím i na finanční stránce hospodaření. Aby bylo možné předcházet těmto důsledkům, je nutné znát jejich rozsah a zvažovat případná lesotechnická opatření pro prevenci popř. nápravu škod, která může být ve svém důsledku ekonomicky nákladnější než ponechání škod přirozené regeneraci.

Po analýze experimentálních měření v oblasti poškozování lesních dřevin a nárůstů lze předpokládat možné systémové vyčíslování případných materiálních ztrát vznikajících s těžbou stromů a přirozenou obnovou lesních porostů.

Hlavními fázemi úkolu tak je:

- experimentální měření v lesních porostech po těžebně-dopravní činnosti,
- analýza majoritních faktorů odrážejících se po poškození lesního porostu (dřevin a nárůstů) v maximální míře na ztrátách v lesních porostech,
- navržení matematického vztahu, z kterého je možné odhadnout kvantitativní škody způsobené poškozením lesních dřevin a přirozeného nárůstu.

Analýzy ukázaly, že ztráty na lesních dřevinách po jejich poranění ovlivňuje riziko napadení poškozeného stromu hnilobou, šíření hniloby dřevinou do doby dalšího těžebního zásahu, mnohačetnost poranění dřeviny a omezování přírůstu v závislosti na počtu poraněných dřevin a jejich hmotnosti, která udává možnost finanční výtěžnosti z odtěženého stromu.

Výsledky matematické analýzy ukázaly největší vliv na finanční ztrátě dříví s rizikem šíření hniloby. Po období 5 let může být kvalitativně poškozeno 7 – 35 % z objemu poškozeného stromu a po deseti letech 15 – 63 % z objemu. Důležitá je samozřejmě pravděpodobnost samotného napadení stromu hnilobou, která je v závislosti na velikosti poranění a jeho asanaci u stromů s nejnižší oděrem do 10 cm² (0 %) a maximální s poraněním na 200 cm² (100 %). Co se týká mnohačet-

Tab. 5.

Rozložení oděrů v závislosti na velikosti a umístění
Damage separation in dependence on dimension and location

Plocha/ Dimension (cm ²)	Kořen/ Root (ks/ha)	Náběh/ Buttress (ks/ha)	Kmen/Trunk (ks/ha)
0 - 10	0,0	4,2	14,6
11 - 50	4,2	8,3	2,1
51 - 200	8,3	10,4	12,5
201 - 500	4,2	6,3	2,1
501 - 1 000	6,3	0,0	2,1

nosti poranění stromů, zde je vliv nižší. S ohledem na 3. – 5. věkový stupeň bylo poraněno 10 – 40 % stromů dvěma a více poraněními a riziko poranění stromů se tak kumuluje na menším počtu dřevin. Změna škod s rizikem snížení přírůstu je s poraněním stromu velice nízká, 1 – 2 %. Extrémní případem je narušení hlavního kořene, kdy je nebezpečí snížení přírůstu až 50 %, nebo nepřímé poškození kořenů pojezdem (utužování), kde dochází ke snižování přírůstu za decennium až o 4,8 – 11,6 % (RONAY 1982).

Tyto závěry jsou dále používány pro obecné vyčíslování ztrát škod ve smrkových lesních porostech, které zastupují 53 % z celkové plochy porostní půdy.

LITERATURA

- DVOŘÁK, J. Estimation of injuries caused by harvester technologies in the mountain regions. *Zeszyty Naukowe*, svazek, 2005, vol. 419, s. 127-134.
- DVOŘÁK, J. Predikce škod po nasazení harvesterové technologie v horských oblastech. In *Mobilné energetické prostriedky - Hydroaulika - Životné prostredie - Ergonómia mobilných strojov*. Zvolen: FLE, 2005, s. 44-50.
- DVOŘÁK, J., UHLÍŘ, Z. Ekologické dopady harvesterové a klasické technologie na dřeviny v předmýtních těžbách. In *Trendy lesníckej, drevárskej a environmentálnej techniky a jej aplikácie vo výrobnom procese*. Zvolen: FEVT, 2006, s. 64-71.
- GRAMMEL, R. *Holzernte und Holztransport*. Freiburg: Albert-Ludwigs-Universität, 1988. 242 s.
- HOREK, P. Následky poškození probírkových porostů těžební a dopravní technikou. *Lesnická práce*, 1991, roč. 91, č. 11, s. 329-331.
- JANEČEK, A. et al. Výchozí předpoklady optimalizace technických a technologických parametrů těžebně dopravních systémů nasazených v pracovních procesech. Praha: ČZU, 2000. 82 s.
- KALLIO, T. Consequences of injury caused by timber harvesting machines on the growth and decay of spruce (*Picea abies*). Helsinki: Suomen metsätieteellinen seura, 1974. 24 s.
- MALÍK, V., DVOŘÁK, J. Harvesterové technologie – Vliv na lesní porosty. Kostelec n. Č. l.: *Lesnická práce*, 2007. 82 s.
- RÓNAY, E. *Doprava dřeva*. Bratislava: Nakladatelství Příroda, 1982. 320 s.
- ULRICH, R. et al. Použití harvesterové technologie v probírkách. Brno: MZLU, 2002. 98 s.

GENERAL MODEL FOR ESTIMATION OF FINANCIAL LOSS ON DAMAGED TREES AFTER LOGGING AND HAULING PROCESSING

SUMMARY

Damage to forest-tree species is reaffirmed trouble, which is connected with logging and hauling processing in the forest management. Control experimental measurements were realized in stands with spruce representation (75 – 95 %) and mean volume 0.51 m³/tree. Minority share of forest trees is constituted by pine, larch, oak and birch. Stand age lies within interval from 73 to 76 years and the stocking is 8. Terrain conditions are classified as the terrain type 11 (slope from 0 to 8 %, snag free and rideable). The logging and hauling processing were carried out with the harvester technology (tab. 3).

The financial losses, which will spring out of tree damages, can be calculated from the new formula: (1) Basic factors that influence financial losses are number of tree injuries, mean volume of the tree at present and tree-volume in the course of following felling (graph 1), risk of the fungal attack, probability of the multipath tree injuries (tab. 1), qualitative wood losses (tab. 2), the increment reduction and the pecuniary income of the healthy trunk and of the damaged timber.

Average number of damaged trees represented 14.5 % (calculated from trees standing after performed felling). Injuries were classified by size and by tree parts to 15 classes (tab. 4). Average size of injured area is dependent on the location on a tree part (graph 2). Total financial losses, which will spring up on the background of these damages and in stated production conditions during 10 years can be estimated at 2.8 – 13.5 th. crowns/ha (graph 3).

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Jiří Dvořák, Ph.D., Fakulta lesnická a dřevařská, Česká zemědělská universita
Kamýcká 1176, 165 21, Praha 6 - Suchbátka, Česká republika
tel.: 728 538 024; e-mail: dvorakj@fd.czu.cz

KORELAČNÍ ZÁVISLOST PARAMETRŮ PTAČÍCH VAJEC NA PŘÍKLADU SNÁŠEK KACHNY DIVOKÉ A BAŽANTA OBEČNÉHO

CORRELATION OF BIRD EGG PARAMETERS EXAMPLIFIED BY CLUTCHES OF MALLARD AND RING-NECKED PHEASANT

VÁCLAV TLAPÁK
MZLU Brno

ABSTRACT

This article presents determination of oomorphological parameters necessary for better understanding of developmental regularities of the microevolutionary process in natural populations of birds. Except the introductory review of literature a photographic method, used by the author, is described for measuring and reporting of measured data and their complex application. Eggs of mallard and ring-necked pheasant were investigated and values gained investigated. Further research related to computer processing is recommended.

Klíčová slova: morfologické parametry, měření, ptačí populace, sběr dat

Keywords: morphological parameters, measurement, bird population, data storage

ÚVOD

Pro účely myslivosti se ptačí vejce jeví jako vhodný model pro výzkum závislosti morfologických rozdílů u vyšších obratlovců – ptáků. Dosud bylo shromážděno různými autory velké množství dat. Hodnoty měření byly použity pro různé charakteristiky morfologických parametrů ptačích vajec. Některé důležité údaje byly také zpracovány a výsledky dále publikovány. Mnohé, dosud běžně používané způsoby získávání vzorků a materiálů k výzkumu jsou ve srovnání s možnostmi moderní techniky již zastaralé a je třeba kriticky přiznat, že byly jedinečné ve své době, ale nyní je třeba navázat na jejich principy a s využitím kvalitnějších metod zefektivnit získávání a zpracování dat. A navíc chybí v současnosti v oomorfologii jednoznačné metody a standardní způsoby prezentování údajů. Proto je také velmi složité porovnávat výsledky různých autorů.

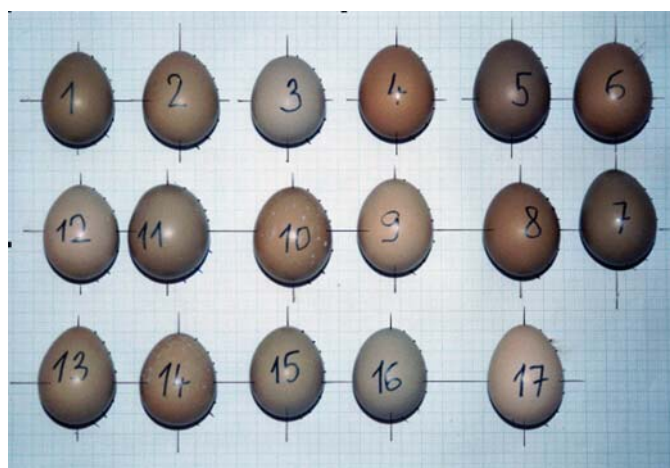
CÍL PRÁCE

Cílem práce je vytvořit metodiku měření ptačích vajec a matematické vyjádření tvarové závislosti ptačích vajec na příkladu kachny divoké a bažanta obecného. Hledání matematického modelu pro jednoznačné určení tvarů ptačích vajec a prokázání takovéto zákonitosti může přinést zásadní posun při určování ptačích druhů na základě vyhodnocení jejich vajec ve snůškách.

Některé ptačí rody a druhy mají vizuálně odlišné tvary vajec. Správná metodika měření hodnocení morfologických znaků ptačích vajec je nezbytným předpokladem pro následná porovnání tvarů

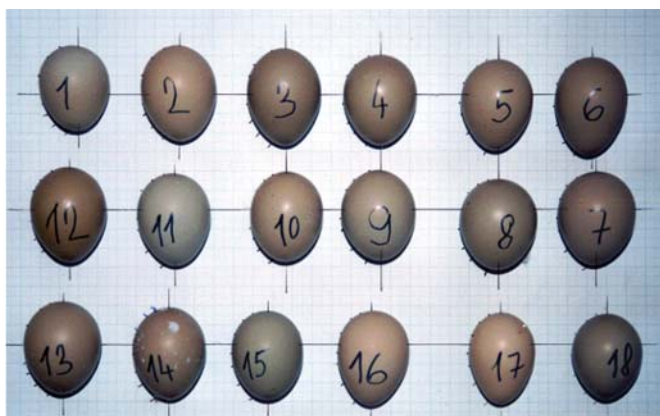
vajec a vyhodnocení jejich případné tvarové odlišnosti. Na základě takto zjištěných morfologických odlišností lze některé ptačí rody oologicky setřídít.

Z pohledu myslivecké praxe je požadavek dále využít těchto poznatků ke kontrole snůšek vajec a získávání hodnot měření vaječných násad u populací volně žijících ptáků, a to zejména druhů ohrožených, při minimálním narušení zkoumaných vzorků.

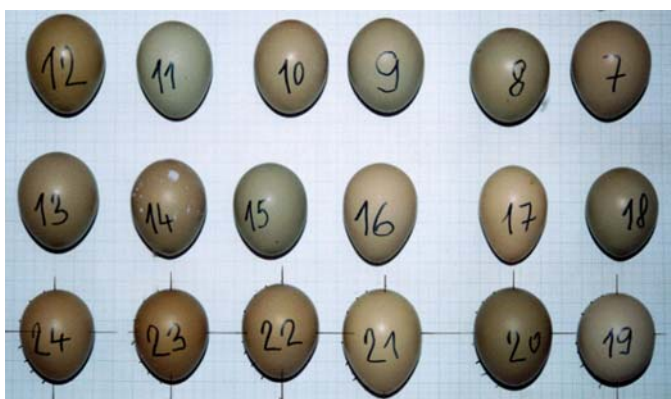


Obr. 1a.

Snáška bažanta obecného na podkladě milimetrového papíru
Ring-necked pheasant clutch on bottom of standardized measurement net

**Obr. 1b.**

Snáška bažanta obecného na podkladě milimetrového papíru
Ring-necked pheasant clutch on bottom of standardized measurement net

**Obr. 1c.**

Snáška bažanta obecného na podkladě milimetrového papíru
Ring-necked pheasant clutch on bottom of standardized measurement net

LITERÁRNÍ PŘEHLED

Poměr mezi velikostí vajec a těla kolísá u většiny ptáků mezi 1 : 9 až 1 : 15, Existují však značné odchylky od této normy. Uvnitř čeledí a rodů platí zhruba zákonitost, že formy větší mají poměrně menší vejce (HUDEC et al. 1972, 1977, 1983, TARASOV 1977).

HARRISON (1987) uvádí, že oologická měření jsou po dlouhá léta uváděna v milimetrech. Nejprve je uváděna délka vajíčka a jako druhá největší šířka vajíčka. Veškerá měření jsou shrnuta do průměrné hodnoty měření charakterizující daný druh. Autor se dále zmiňuje o tom, že tvar vajec se neliší pouze druh od druhu, ale že se velice často vyskytují rozdíly v tvaru u jednotlivců daného druhu a dokonce mohou být navíc rozdílné v té samé snášce!

Podle MAKATSCHÉ (1976) a SERGEJEVA a SERGEJEVOVÉ (1966) nejsou důvody rozdílnosti křivek ptačích vajec vždy jasné, ale dedukcí pravděpodobnosti to může mít mnoho příčin. Mošští ptáci snášejí své jedno vejce hruškovitého tvaru na skalnatých útesech. Tento tvar jim dozajista zabezpečuje, aby se vejce neskutálelo. Naproti tomu

sovy kladou svá vejce do chráněných dutin stromů, kde vejce nepotřebují takovou ochranu. To je pravděpodobně důvod, proč sovy snášejí víceméně kulatá vajíčka.

Tvar vajec může být kulovitě oválný (dravci, holubi, aj.), protáhlé oválný (potáplice) nebo hruškovitý (bahňáci). Kuželovitý tvar vajec se vyskytuje u některých ptáků hnízdících na skalních římsách. Tento tvar má svůj význam, neboť vejce takto uvedená do pohybu nárazem ptáka se nekutálejí přímočaře, nýbrž se točí kolem špičatého konce víceméně na místě (HANZÁK, HUDEC 1974).

Ptačí vejce mají i u různých skupin rozdílný tvar. Sovy, ledňáčky a turakové kladou vejce kulovitě oválného tvaru, rychle létající ptáci, jako jsou rořýsi, vlaštovky a kolibříci, mají vejce protáhlá, eliptická. Pozoruhodný kuželovitý tvar vajec mají alkouni, kteří hnízdí na úzkých skalních římsách. Tento tvar způsobuje, že se vejce při nárazu kutálí jen kolem své osy a nezřítí se dolů. Velmi štíhlá a protáhlá vejce mají potápky a potáplice. Největší část ptáků snášejí vejce typicky vejčitého tvaru (VESELOVSKÝ 2001).

Za rozměrově nejmenší vajíčka jsou považována vajíčka kolibříků – *Calypte costae* (průměr 12,1 x 8,3 mm) a *Stellula calliope*. (průměr 12,4 x 8,2 mm); naproti tomu největší vajíčka z létavých ptáků snášejí labuť – *Olor buccinator* (průměr 110,9 x 72,4 mm) a kalifornský kondor – *Gymnogyps californianus* (průměr. 110,2 x 66,7 mm) (HARRISON 1978).

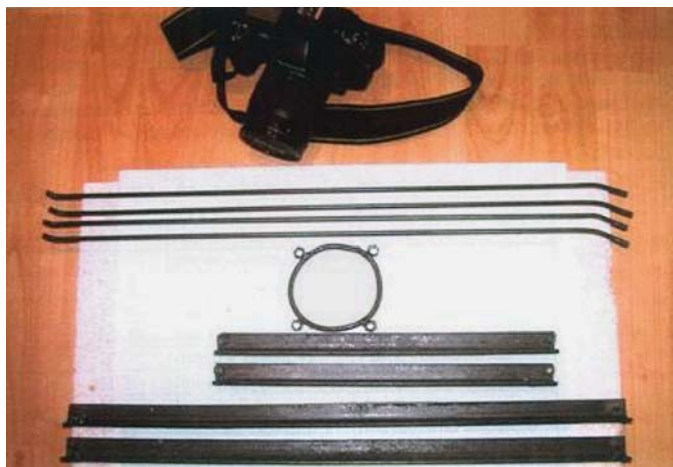
Za účelem bezprostředního měření objemu vajec sestavili různá zařízení HANSON (1954). Hlavním nedostatkem používaných přístrojů se jeví jejich neforemnost a špatná manipulovatelnost vzhledem k malým vajíčkům. Také jejich instalace v polních podmínkách je poměrně časově náročná.

Americký pozorovatel PRESTON (1953, 1968) již v 50. letech 20. století vytvořil geometrické osnovy všestranného popisu tvaru vajec a sestavil zařízení na stabilizaci vajec na podkladovém papíře. Toto zařízení lze nazvat „profile-copying machine“. Bohužel jím předložené metody nenašly praktické uplatnění v ornitologii. Příčina je v tom, že ruční měření zobrazení vejce tímto způsobem se vyznačuje přílišnou pomalostí a nepřesností, přičemž je tato procedura nevyhovující pro výzkum vnitrodruhové proměnlivosti tvaru, nazývaného profile-transfer. Kromě toho je „profile-transfer“ nevhodný k získávání prvotních údajů o malých vejcích.

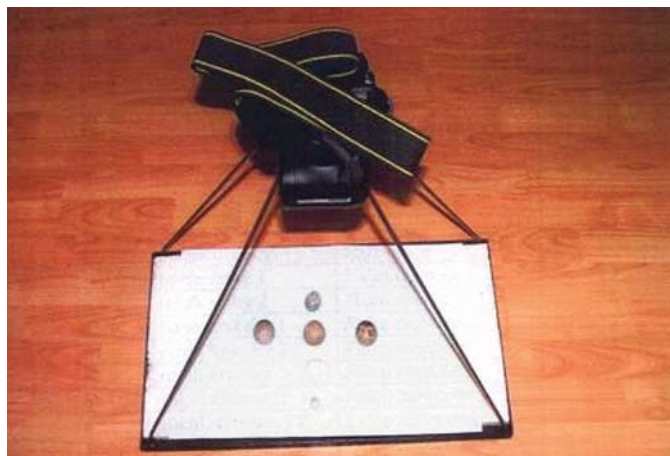
Ve věci unifikace oomorfologických měření a při jedinečnosti popisu tvaru vajec učinil některé kroky i KOSTIN (1977). Ale ani jeho návrhy nenašly široké uplatnění při výzkumu vnitrodruhové proměnlivosti vajec, pravděpodobně kvůli technickým příčinám.

MATERIÁL A METODY

Odběr vzorků způsobem měření přímo v terénu je vzhledem k dostupnosti ptačích hnízd ve volné přírodě značně problematický a náročný a to z důvodu nedostupnosti hnízd, nezbytnosti minimalizace rušivých vlivů při hníždění, roztroušenosti hnízdních lokalit a ojedinělého výskytu hnízd vzhledem k vzácným nebo chráněným druhům ptáků a také proto, že některé druhy ptáků snášející tvarově zajímavá vejce se na našem území buď vůbec nevyskytují nebo u nás nehnízdí. Proto jsem zvolil za základ pro odběr vzorků vejce bažanta obecného a kachny divoké, jejichž vejce lze získat k měření i z voliérových chovů. K měření jsem použil posuvného měřidla s etalonem měření s přesností na mm. Tímto způsobem je tedy možné sledovat snůšky běžných, ptačích druhů, navíc lehce dostupných i tím, že někteří hnízdí na zemi.



v demontovaném stavu/splitted in the pieces



sestavený v pracovní pozici/assembled

Obr. 2.

Přenosný stativ s fotoaparátem

Portable copy-profile machine with camcorder

Metod zaznamenávání a zpracování dat v moderním pojetí, za účelem měření a hodnocení morfologických znaků nejenom ptáků myslivecky obhospodařovaných, lze využít pro zjištění parametrů, k nimž patří:

1. Lineární rozměry, tj. maximální délka vejce (L) a maximální výška vejce (V). Tyto veličiny jsem měřil za pomoci posuvného měřítka se stupnicí s přesností měření na 1 mm.
2. Objem (P) se vypočítá podle rovnice: $P = 0,51 \times L \times V^2$, kde délka i průměr jsou dány v mm a objem v mm^3 . Použitá konstanta je převzata z výpočtu CHJUTSONA (1971), který nepripouští větší odchylku než 20 % ani u jednoho rodu ptáků.
3. Hmotnost (m). Zjišťuje se hmotnost čerstvého vajíčka. Pro analýzu bylo použito údajů z měření snášky čejky obecné. Pro vyjádření hmotnosti bylo použito empirického vztahu: $m = 0,843L + 2,4V - 98,5$, kde délka a průměr jsou dány v mm a hmotnost v gramech; 98,5 je konstanta, jíž lze použít pro sledování populace čejky obecné (MJAND 1985).
4. Index tvaru (It). Pro stanovení vlastností indexu tvaru jsem využil vztahu mezi maximálním průměrem a maximální délkou. V následujícím vyjádření jsem index tvaru (It) vyjádřil vztahem: $It = V_{\max} : L_{\max} \times 100$.
5. Tloušťka skořápky. Pro měření tloušťky skořápky u čejky obecné v roce 1979 bylo vyšetřeno celkem 309 vajec. Skořápky byly pečlivě omyty od blanitých zbytků a následně vysušeny. Poté byl ze skořápek oddělen zkoumaný vzorek, podle možnosti co nejmenší, jehož tloušťka byla změřena pomocí speciálně upraveného mikrometru se stupnicí s přesností měření na 0,01 mm. Veškerá měření byla provedena na equatoriální části skořápky. Každá skořápka byla měřena na několika místech, aby se vyloučily negativní vlivy některých faktorů, jako jsou zlomky a vaječné zbytky, znečištěná místa po nedostatečném omytí skořápek, aj. (MJAND 1983).
6. Kresba skořápky. Např. u čejky obecné byla určena v letech 1979 – 1980 vizuálně. Za základní kresbu skořápek jejich vajec byl zvolen následující popis: a) normální, b) čárkovaná, c) prstencovitá, d) čárkovaně-prstencovitá (MJAND 1988). Kresbu čárkova-

nou, prstencovitou a čárkovaně-prstencovitou můžeme označit za „úchylku v kresbě“ oproti normálu. Analogickou klasifikaci použili JABLOKOV a VALECKIJ (1972).

7. Odstín skořápky. Ten byl stanoven podobně jako u kresby skořápek, tzn. vizuálně a pro porovnání barevných odstínů byly určeny dva typy vajec: a) normální a b) tmavé (MANNING 1978).

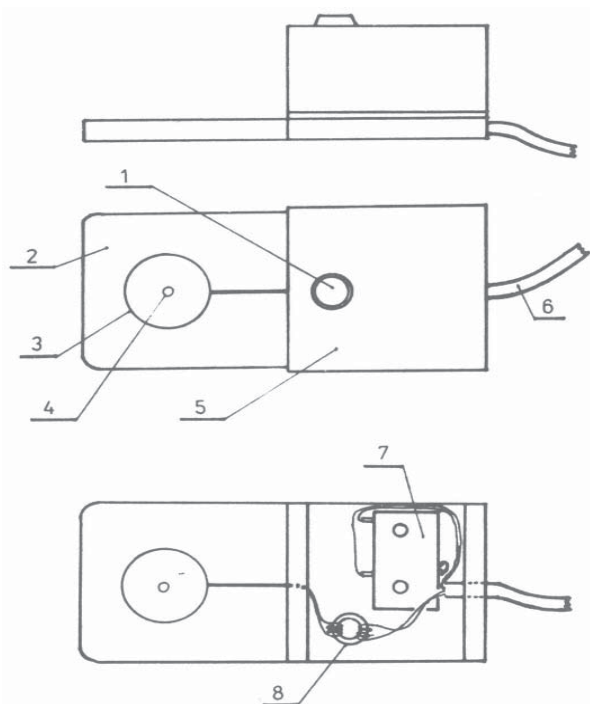
Bez ohledu na skutečnost, že výše popsaných metod využívá praktická ornitologie, mají řadu vážných nedostatků, z nichž vynikají zejména následující:

- a) nepřesnost měření v případě zjišťování rozměrů malých vajec
- b) nepřesnost při vyčíslování objemu a hmotnosti na základě lineárních rozměrů, nakolik se zde bere v úvahu souvislost tvaru každého jednotlivého vejce spolu s jeho objemem
- c) při stanoveném tvaru vejce není možné podle základních lineárních rozměrů popsat odpovídajícím způsobem zbývající aspekty tvaru, těchto rozměrů lze použít jen jako doplňkového parametru
- d) subjektivita vizuálních hodnocení kresby a barevných odstínů na skořápce; při takovémto hodnocení je zanedbáno sledované množství vzorků

Předchozí pozorovatelé se na tyto nedostatky zaměřili a učinili některé kroky k jejich odstranění. Já jsem se v této práci zaměřil na způsob měření vajec a vyhodnocení lineárních rozměrů.

Sestavením nové metodiky jsem vytvořil principiálně novou metodu prostou nedostatků, s nimiž se setkáváme v dřívějších metodikách. Nový princip spočívá ve fotografování vajec a následném měření získaných zobrazení vajec pomocí posuvného měřítka, případně mikrometru. Při měření vajec se osvědčilo využívat odpičovadlo nebo posuvné měřidlo. Vhodným nástrojem k měření je také milimetrové pravítko, stejně tak i přepočtové měřidlo. Přesnost při měření je nutností, zejména při měření malých vajec, u nichž jsou velikostní rozdíly minimální. Uchování prvotních dat ve fotografii poskytuje řadu předností:

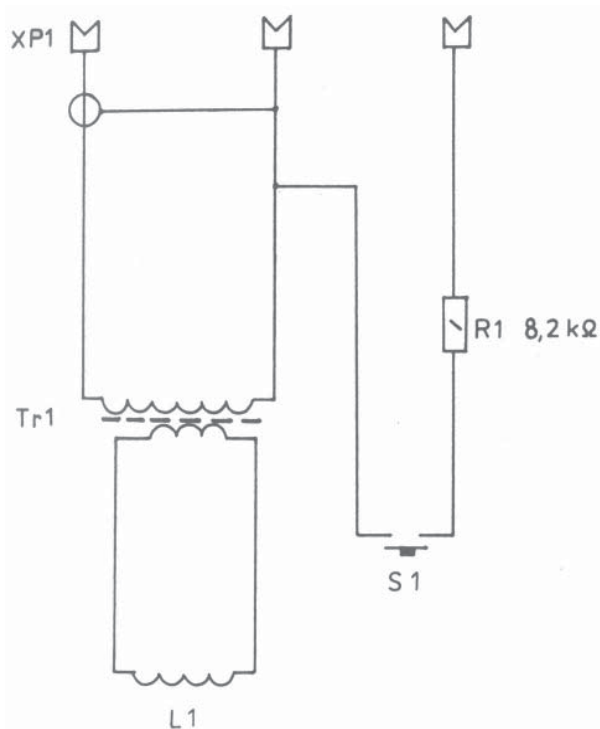
- a) podstatně zkracuje čas nezbytně potřebný k rozlišení vajec mimo hnízdo. Spolu s tím se do jisté míry eliminuje rušivý vliv, což je velmi důležité v případě ptačích druhů citlivých na bezprostřední přítomnost člověka.

**Obr. 3.**

Mechanické schéma číslicového převodníku

Mechanical scheme of numeral transferer

Legenda/Legend: 1 - knoflík spínače/circuit button, 2 - rám/frame, 3 - cívka/spool, 4 - průzor/levelling diopter, 5 - kryt přístroje/apparatus housing, 6 - kabel/cable, 7 - spínač/button, 8 - transformátor/transformer

**Obr. 4.**

Elektrické schéma číslicového převodníku

Electrical scheme of numeral transferer

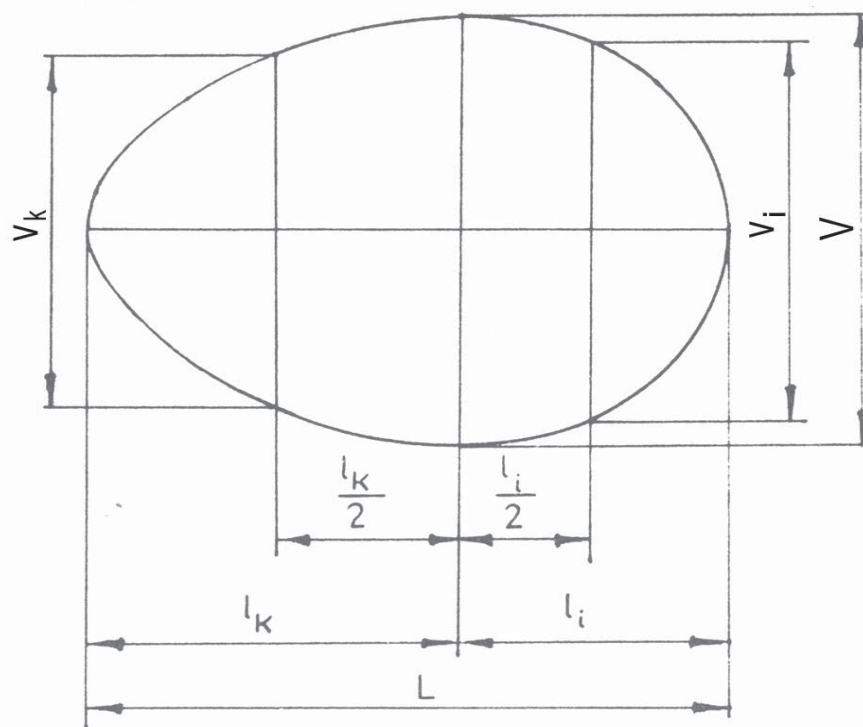
- b) umožňuje posbírat za srovnatelně stejnou dobu mnohem více prvotních informací. Navíc je možno na jeden snímek umístit celou snášku najednou. Je to výhoda zejména u těch druhů ptáků, kteří kladou objemné snášky, viz obr. 1.
- c) fotografie umožnily libovolně zvětšit zobrazení sledovaného objektu, v tomto případě ptačího vejce. Tím tato metoda získává nesporný význam pro sledování a zkoumání malých vajíček.
- d) fotografie poskytuje možnost v případě potřeby měřit později nové parametry, případně přehodnocovat a kontrolovat již dříve provedená měření

Za účelem fotografování jsem využil stojánku sestavenou na principu stativu, který je i jeho součástí. Jednotlivé díly stojánku tvoří speciální podstavec, fotoaparát a vlastní stativ, přizpůsobený danému účelu. Podle dostupnosti je možné použít buď klasický fotoaparát nebo fotoaparát digitální. Podstavec jsem vyrobil z pěnového polystyrenu ohraničeného lemem. Tento lem zabraňuje skutálení vajíček z podložky podstavce. Uprostřed podložky jsem vytvořil 17 důlků pro vajíčka. Zvláštní počet důlků a jejich rozmístění po podložce vytváří podmínky pro rovnoměrné uložení celé snášky (pro uložení celé snášky je většinou dostačující počet důlků do 20) na co nejmenší ploše tak, aby se vajíčka vzájemně nedotýkala. To umožnilo snížit na minimum chybu měření, způsobenou z rozložení vajec pod různým úhlem od osy objektivu. Hloubka důlku byla 1,5 mm. Kalibrované měřítko představoval milimetrový papír, který jsem umístil na polystyrenovou podložku o tloušťce cca 5 mm. Tím byla osa měřítka přibližně ve stejné ose jako osa vajec. Důležité je boční nasvícení ze všech stran tak, aby se vyloučil podružný světelný efekt při odrazu paprsků blesku. Tím lze také eliminovat stín, který by vytvořilo samo vajíčko.

K podstavci jsem dále připevnil bílou clonu, která ve chvíli fotografování odclonila fotografovaná vejce od slunečních paprsků a způsobila roztroušené světlo. Použití clony při každém jednotlivém snímkování záviselo na konkrétních světelných podmínkách. Použití clony je nezbytné při zvýšeném požadavku na kontrastní stíny, které by zvýraznily zobrazení pro výslednou analýzu.

Vlastní fotoaparát byl osazen v sedle vytvářeném pro daný typ přístroje. Tímto sedlem byly protaženy čtyři rohové kovové tyčky. Sedlo jsem zaaretoval tak, aby vzdálenost objektivu fotoaparátu od snášky byla co nejbližší a mohl jsem zachytit celou snášku v co největším detailu. Viz obr. 2.

Výše popsaná konstrukce je velmi lehká a skladná. Lze ji lehce a rychle rozebrat a sbalit do malého balíčku. Tyto výhody jsou velkým přínosem zejména při fotografování vajec lesních ptáků, a to zejména tehdy, když je potřeba projít mnoho kilometrů v terénu. Na fotografování jedné snášky je potřeba kalkulovat s dobou od 5 do 8 min. Tím je možno v průběhu dne úspěšně zaznamenat až 40 ptačích snášek. Z kinofilmu 35 mm, který je nejčastěji používaným médiem pro záznam, lze provést dostatečně velké a upotřebitelné zvětšeniny. Použití digitálního fotoaparátu a jeho technické možnosti poskytují oproti klasickému fotoaparátu mnoho dalších výhod a proto jej doporučuji využívat pro takovýto odběr materiálu. Využití této konstrukce je jedna z možností a přitom je velmi vhodná pro záznam snášek malých ptáků, zejména pěvců. V závislosti na nezbytnosti pozorování lze využít jakýkoliv jiný fotografický stativ nebo Prestonův „profile-copying machine“. Bez pořízení vstupních dat tímto způsobem by nebylo možno provést následnou analýzu zobrazení vajec.

**Obr. 5.**

Osy vejce pro odečet lineárních a morfologických parametrů
Egg axes for counting linear and morphological parameters

Legenda/Legend: V – výška vejce/egg height, L – délka vejce/egg length, l_k – dílčí délka vejce od užšího konce po největší výšku/partial length of egg from the narrower end up to the upper height, l_i – dílčí délka vejce od největší výšky po širší konec vejce/partial length of egg from the upper height to the widest end of egg, v_k – dílčí výška v polovině l_k /partial height in half of l_k , v_i – dílčí výška v polovině l_i /partial height in half of l_i

Při analýze zobrazení vajec lze použít mikrometr EVM „APPLE II“ společně s analogickým grafickým měřidlem „APPLE GRAPHICS TABLE“. K tomuto účelu bylo (MANNING 1978) sestaveno zvláštní programové schéma nazvané „OMELLETE“. Program pracuje pod operačním systémem „SR/M“. Způsob práce při analýze jedné konkrétní snášky vajec je vcelku jednoduchý:

- snímek se připevní ke grafickému měřítku pomocí sponek
- kalibrace je určena výše popsanou stupnicí
- obrys vejce se označí pomocí speciálního číslcového převodníku, který zkonstruoval Sejn (MJAND 1988).

Schéma principu číslcového převodníku je na obrázcích 3 a 4. Dále je třeba podotknout, že pečlivost při kalibraci obrysu vajec má prvořadý význam. V dalším kroku program vybírá body obrysu (pravidlem bývá 130 – 150 bodů na jeden obrys) a vykreslí jej na papír, současně umožňuje kontrolu správnosti kalibrace. Získané výsledky jsou zaznamenávány na záznamové médium.

Další zlepšení vyobrazení a vyčíslení parametrů se provádí na EVM automaticky. Podle toho se nejdříve zobrazuje hlavní podélná osa vejce. Potom následuje aproximace náležitých obrysových křivek druhého řádu, která se stanoví pomocí metody nejmenších čtverců s parametry L, V, l_k, l_i, v_k a v_i – viz obr. 5. Objem i povrch vejce se vyčíslí způsobem lichoběžníkového integrování.

Po výběru reprezentativních vzorků se vypočítává střední aritmetický průměr, střední kvadratická chyba, průkazný interval podle naměřeného průměru, standardní odklon a koeficient variance:

$$c. v. = 100 \times 6 \times X_{stf}$$

c. v. – koeficient variance

6 – standardní odchylka

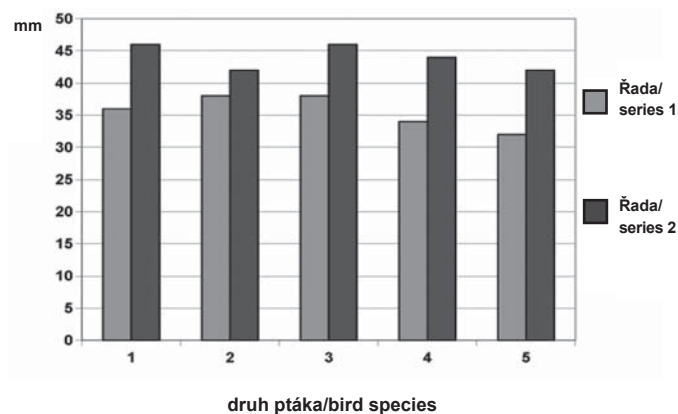
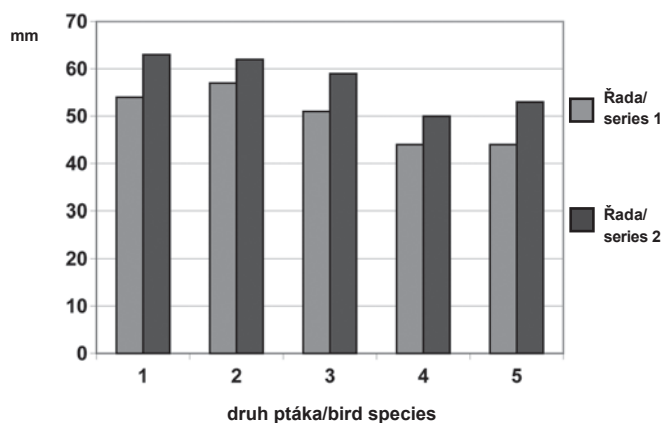
X_{stf} – střední aritmetický průměr

Pro sledování vzájemných vztahů mezi proměnnými se využívá dvousměrných lineárních metod (koeficient lineární korelace, koeficient četnosti korelace, koeficient lineární regrese). Pro charakteristiku vazeb mezi křivkami bylo využito seskupování významů argumentů a vyčísleny střední ukazatelé skupin. Při sledování a výzkumu změny morfologických příznaků ptačích vajec byly vzaty za výchozí údaje ze středních aritmetických průměrů různých snášek, přičemž při vyčíslování středního aritmetického průměru z každé snášky nebyly brány v potaz vejce s největší extrémní makrostrukturou, tzv. „monstra“. Výběr „monster“ byl určen z fotodokumentace zobrazeném na rastr měřítka na plexiskle.

S cílem zhodnocení vlivu každého konkrétního ekologického faktoru na variabilitu strukturních parametrů vajec byla provedena jednofaktorová disperzní analýza (CHJUTSON 1971).

Na snášku, která sestává z 10 vajec, jsem potřeboval na zpracování dobu okolo 10 min. Osy, využívané při vyčíslování lineárních a tvarových parametrů vejce, jsou zobrazeny na obrázku 4. V dalších bodech sledování jsem použil následující parametry:

- Objem (P)
- Lineární rozměry
 - délku vejce (L)
 - výšku vejce (V)

**Graf 1.**

Korelační závislost minimální a maximální délky vajec kachny (1 - 3) a bažanta (4 - 5)

Correlation dependence of minimal and maximal egg length of mallard eggs (1 - 3) and ring-necked pheasant eggs (4 - 5)

Legenda/Legend: řada 1 (modrá barva) – minimální délky a šířky vajec/row 1 (blue colour – minimal length and width of eggs, řada 2 (červená barva) – maximální délky a šířky vajec/ row 2 (red colour) maximal length and width of eggs

Graf 2.

Korelační závislost minimální a maximální šířky vajec kachny (1 - 3) a bažanta (4 - 5)

Correlation dependence of minimal and maximal egg width of mallard eggs (1 - 3) and ring-necked pheasant eggs (4 - 5)

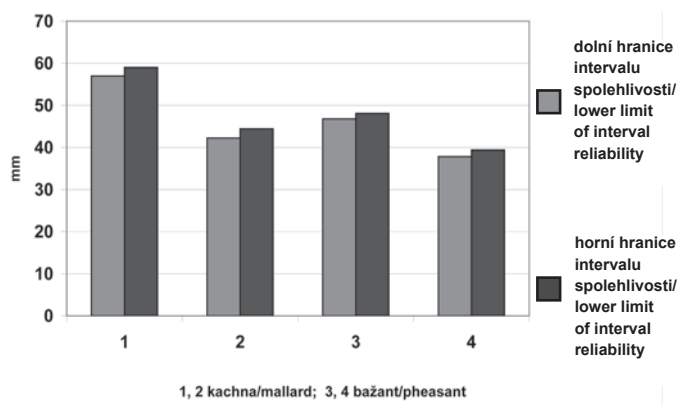
Legenda/Legend: řada 1 (modrá barva) – minimální délky a šířky vajec/row 1 (blue colour – minimal length and width of eggs, řada 2 (červená barva) – maximální délky a šířky vajec/ row 2 (red colour) maximal length and width of eggs

Tab. 1.

Statistické vyhodnocení výsledků měření

Measurement of statistical results

	Délka vejce kachny/ Egg length of mallard	Výška vejce kachny/ Egg height of mallard	Délka vejce bažanta/ Egg length of pheasant	Výška vejce bažanta/ Egg height of pheasant
Střední hodnota/ Mean value	58	43,35	47,46	38,63
Chyba střední hodnoty/ Error of mean value	0,49	0,53	0,32	0,39
Směrodatná odchylka/ Standard deviation	2,78	2,98	2,07	2,54
Rozptyl výběru/ Selection distribution	7,73	8,9	4,3	6,48
Počet/Number	31	31	41	41
Hladina spolehlivosti/ Level of reliability (95.0%)	1,02	1,09	0,65	0,8
Dolní hranice intervalu spolehlivosti/Lower limit of interval reliability	56,98	42,26	46,81	37,83
Horní hranice intervalu spolehlivosti/Upper limit of interval reliability	59,02	44,44	48,11	39,43



Graf 3.

Horní a spodní hranice intervalu spolehlivosti délky a šířky vajec kachny (1 - 2) a bažanta (3 - 4)

Egg size length and width of tolerance field of Mallard eggs (1, 2) and ring-necked pheasant (3, 4)

III. Parametry tvarů:

- index tvaru (I_t) $I_t = V_{\max} : L_{\max} \times 100$
- index ovality (OV) $OV = (L - l) : l$
- index hruškovitosti (Psh) $Psh = 100 \times (V_i - V_k) : V_i$

Za parametry tvarů byly převzaty indexy předložené LOFTINEM a BOWMANEM (1978) a THOMASEM a LUMSDENEM (1981).

VÝSLEDKY

Měřil jsem vejce kachny divoké (*Anas platyrhynchos*) a bažanta obecného (*Phasianus colchicus*). U kachny divoké jsem měřil tři rozdílné snášky, v nichž bylo postupně měřeno 11 vajec v první snášce, 8 vajec ve druhé snášce a 12 vajec ve třetí snášce. U bažanta obecného jsem měřil dvě rozdílné snášky s počtem 17 vajec v první snášce a 24 vajec ve druhé snášce.

Získané údaje jsem uložil na záznamové médium a zařadil do souboru dat, které je dále možné využít prostřednictvím systému řízení uložených parametrů. Toto zálohování dat umožní kdykoliv v budoucnosti kombinovat získané údaje o vejcích s mnohými jinými stávajícími nebo nově zjištěnými parametry (například s ukazateli hnízdní biologie populace, s morfologickými příznaky dospělých ptáků a ptácat atd.) a k provedení statistické analýzy. Z provedených měření jsem odvodil, že při zvýšeném počtu měření musí pozorovatel dodržet následující pravidla:

- podélná osa vejce musí být paralelní s plochou podkladového rastru
- zobrazení vajec na fotografii musí být co nejvíce kontrastní
- chyba měření je tím menší, čím větší je stupeň zvětšení objektu (vajec) na fotografii
- je velmi důležité správně nasvítit fotografovaný objekt, aby nedošlo k nežádoucímu vystínování objektu
- přenesení naměřených hodnot obrysu vejce na záznamové médium musí být provedeno velmi pečlivě. Při manipulaci s vejci je nezbytné si počínat zvlášť opatrně, aby nedošlo k jejich mechanickému poškození a současně jejich analýzu omezit na nezbytně nutnou dobu, aby bylo hnízdění narušeno co nejméně.

ZÁVĚR

Ze statistického vyhodnocení výsledků měření lze konstatovat, že maximální délka vejce bažanta obecného (graf 1, sloupec 5) přesahuje minimální délku vejce kachny divoké (graf 1, sloupec 3). Obdobná situace nastala také při porovnání šířky vejce, kdy maximální šířka vejce bažanta obecného (graf 2, sloupec 4 a 5) přesahuje minimální šířku vejce kachny divoké (graf 2, sloupec 1, 2 a 3). Korelační závislosti vajec kachny divoké a bažanta obecného byly stanoveny tak, že nelze jednoznačně určit rozdíl velikostí vajec vyšetřovaných druhů ptáků v závislosti na jejich délce a šířce.

Cílem předkládané práce bylo vytvořit metodiku měření ptačích vajec a matematické vyjádření závislosti v tvarech ptačích vajec u bažanta obecného a kachny divoké. V obou vyšetřovaných případech, ať již mezidruhově nebo uvnitř druhu vlastního, je výsledkem matematického řešení překrývání křivek zjištěných tvarů vajec v oblasti geometrického průběhu ooidu a tím dochází ke shodnosti tvarů vajec u vyšetřovaných druhů ptáků i přesto, že je u nich tvarová odlišnost předpokládána.

Metodika fotografování vajec na podkladovém milimetrovém papíru za účelem získání výchozích údajů o jejich rozměrech má minimální negativní dopad na snášku, odstraňuje odchylky od reálných hodnot popisované v metodice získávání vzorků z obrazových publikací a monografií s vyobrazením ptačích vajec a umožňuje pracovat se zvětšeným obrazem při současném zachování skutečných rozměrů.

Avšak i výše zmíněná metoda předpokládá nedostatky a je nutné některé kroky přehodnotit. Je třeba dále propracovat překrytí pravoúhlého měřidla (milimetrového papíru) vajíčkem tak, aby se imaginární osy vejce překrývaly s hlavními osami měřidla. Také výběr samotného etalonu nabízí pouze rozměr stupnice v milimetrech, což pro přesnější měření malých vajec je nedostačující a bylo by zapotřebí zvolit jemnější měřítka stupnice. K určitému zkrácení skutečné velikosti vejce dochází také díky úhlu pohledu čočky fotoaparátu. I přes tento nedostatek je však stále zachován poměr velikosti vejce a charakteristika tvaru vejce není ovlivněna. Následné přehodnocování stupnice měření vede k nárůstu chyby měření a nepřesnostem v závěrečném hodnocení. Jednoznačně však vede tento způsob k přesnějšímu, jednoduššímu a rychlejšímu procesu vyhodnocování získaných údajů.

Vedle dalších používaných postupů pro získávání rozměrů ptačích vajec hodnotím metodu fotografování průmětu obrysu vejce na etalon jako jednoznačně výhodnější. Výrazný rozdíl je v použití přístrojů, které jsou dnes výkonnější, citlivější a přesnější. Je předpoklad, že kvalitativní trend se bude neustále stupňovat. Předpokládám, že kvalifikace měřících metod a přístrojů bude záviset přímo úměrně na finančních vstupech investovaných do další výzkumné činnosti.

Vzhledem k náročnosti na moderní technické vybavení použitelné k oologickým měřením je třeba zvážit jeho další efektivní využití s ohledem na ekonomickou stránku. Finanční dostupnost byla také důvodem, proč jsem podobného zařízení nevyužil. Nelze vyloučit, že by se dalo použít i některého již existujícího měřícího přístroje s přímým propojením na počítač a následným vyhodnocením přes programové vybavení. Během tohoto výzkumu jsem se však s podobným, v praxi používaným zařízením, nesetkal. Z toho usuzuji, že je v této oblasti i nadále prostor pro hledání dalších technologických řešení.

DISKUSE

Dlouhodobě jsem hodnotil využití metody fotografování vajec na podklad milimetrového papíru a měření vajec ptáků různých druhů. PRESTON (1968) sice sestavil zařízení na stabilizaci vajec při fotografování, které se nazývá „profile-copying machine“, ale tyto metody v ornitologii nenašly praktické uplatnění. Mnou použitá metoda, založená na principu fotografování vajec na podkladu milimetrového papíru, vykazuje na rozdíl od Prestonovy metody mnohem vyšší přesnost. Pozorováním libovolně velkého souboru jsem dosáhl při použití této metody ve skupině dat dostatečně dobrých výsledků při sledování biologické změny parametrů tvaru vajec. Zkoumal jsem také možné zdroje chyb. Obdobných metod použili i další vědci, např. KOSTIN (1977), ale ani jeho návrhy nenašly širší uplatnění.

Pro analýzu obrysu vajíčka doporučuji využít pravoúhlé síť milimetrového papíru. Bylo důležité, aby byl rastr hladký a těsně přiléhá k podložce, jinak dochází ke zkreslení obrysu vejce a následnému zvýšení směrodatné odchylky a chyby měření.

Analogový převodník nebyl k dispozici, ale je předpoklad nahrazení digitálním měřicím zařízením, kterým by bylo možné získané měření provádět s větší přesností. Při použití digitálního fotoaparátu lze se získaným obrazem pracovat přímo přes počítač a dalším propracováním metodiky porovnávat obrysy vajec ať již v rámci snášky jednoho druhu nebo snášky mezi jinými druhy ptáků (mezidruhově). Při tomto porovnávání je nutné setříděná vejce porovnávat v relativní velikosti jednotkového systému.

MATTAS (1999, 2001) se zabýval výpočtem objemu vajec a plochy povrchu skořápky z rozměrů vajec a dále určováním tvarů ptačích vajec. Na rozdíl od jeho posledně zmiňované práce, kde MATTAS odkazuje na dostatečnost slovního popisu tvaru vejce podle HOECKERA (1973), hodnotím ve své práci matematický vztah regresní závislosti tvaru ptačího vejce v jeho grafickém průběhu. Použitým matematicko-statistickým metodám náleží určitá hodnota spolehlivosti. Tím na rozdíl od MATTASE a HOECKERA popisují tvar vejce matematickou metodou.

Předcházející autoři, např. JIRSÍK (1944) a dále BEKLOVÁ, HANÁK a PIKULA (1987) se při svých měřeních a při hodnocení tvaru vajec zabývali faktickým konstatováním o zjištěných rozměrech parametru délky a šířky sledovaných vajec různých druhů ptáků. Lze jen stěží srovnávat jejich závěry měření se závěry, ke kterým dospívám ve své práci, protože ve svých pracích většinou vyhodnocují dosud nejednodušší metodiku měření vyhodnocováním poměru délky a šířky. Při stanovení matematického tvaru vejce jsem metodiku poměru délky a šířky vejce vyhodnocoval jen jako doplňkové měření a není tedy žádného ekvivalentního výsledku, který by bylo možné srovnat s jejich výsledky. Metodika porovnání délky a šířky, na rozdíl od náročnějšího stanovení matematické rovnice tvaru vejce, umožňuje jednoduchým způsobem získat srovnávací veličinu pro stanovení velikosti mezi jednotlivými vejci.

Americký badatel F. PRESTON již v 50. letech 20. století vytvořil geometrické osnovy všestranného popisu tvaru vejce a sestavil zařízení na stabilizaci vejce na podkladovém papíře. Toto zařízení lze nazvat „profile-copying machine“ (PRESTON 1953, 1968). Bohužel jím předložené metody nenašly praktické uplatnění v ornitologii. Příčina je v tom, že ruční měření zobrazeného vejce tímto způsobem se vyznačuje přílišnou pomalostí a nepřesností, přičemž je tato procedura nevhodující pro výzkum vnitrodruhové proměnlivosti tvaru (Profile-transfer). Kromě toho je „Profile-transfer“ nevhodný k získávání prvotních údajů o malých vejcích.

Mé vlastní měření bylo prováděno po vyvolání filmových záběrů planimetrováním z rastru milimetrového papíru v ose x (délka vajíčka) a v ose y (tloušťka vajíčka). Podobnou metodu odběru vzorků použil pro své zkoumání i estonský autor MJAND (1982), který navázal na předcházející autory LOFTINA a BOWMANNA (1978). Předpokládám, že použitím přístrojů a zařízení o vyšší technologické kvalitě umožnilo získat přesnější údaje o měřených vejcích.

Zjištěné a zaznamenané údaje byly zpracovány s využitím výpočetní techniky statistickou metodou ANOVA a programem Matlab a Maple. Grafy byly zpracovávány statistickým programem Statistika 6. K obdobnému způsobu zpracování získaných pokladů pro vyhodnocení měření dospěl i MJAND (1985).

Pozorováním libovolně velkého souboru lze dosáhnout při použití metody fotografování vajec na podklad milimetrového papíru ve skupině dat dostatečně dobrých výsledků při sledování změny parametrů tvaru vajec. Zkoumal jsem také možné zdroje chyb. Zjistil jsem, podobně jako MJAND (1988), že při zvýšeném počtu měření musí pozorovatel dodržet následující pravidla:

- podélná osa vejce musí být podle možnosti paralelně s plochou
- fotografování vajec musí být co nejvíce kontrastní s důrazem na dobré nasvícení s eliminováním bočních stínů
- chyba je tím menší, čím větší je stupeň zvětšení obrazu na fotografii
- vložení údajů o obrysu vejce do počítače musí být provedeno velmi přesně

Navíc pro analýzu obrysu vajíčka bylo využito pravoúhlé síť milimetrového papíru. Zjistil jsem, že je důležité, aby byl rastr hladký a těsně přiléhá k podložce. Jinak dochází ke zkreslení obrysu vejce a následnému zvýšení směrodatné odchylky a chyby měření.

Doporučuji pokračovat v řešení započatého výzkumu a zejména zvážit vypsání grantu, který by umožnil pořídit finančně náročnou technologii na oologická měření. Současně navrhuji použít i některých ze stávajících měřicích přístrojů, ovšem s přímým napojením na počítač a následným vyhodnocením přes programový software, který je třeba nejdříve vytvořit. V současné výzkumné praxi žádné podobné zařízení dosud neexistuje, a proto je i v této oblasti nadále prostor pro hledání technologického řešení využitelného ke kvantitativnímu vyhodnocování morfologických znaků ptačích vajec a k jeho dalšímu využití například v systematice.

LITERATURA

- BEKLOVÁ, M., HANÁK, V., PIKULA, J. The body weight of individuals of a breeding stock of *Phasianus colchicus*. Folia Zool., 1987, vol. 36, no. 2, s. 121-136.
- HANSON, H. C. Apparatus for the study of incubated bird eggs. J. Wildl. Manage, 1954, vol. 18, s. 191-198.
- HANZÁK, J., HUDEC, K. Světem zvířat II. Ptáci 1 + 2. Praha: Albatros, 1974. 900 s.
- HARRISON, C. A. Field Guide to the Nests, Eggs and Nestlings of North American Birds. Glasgow, Great Britain, William Collins Sons & Co. Ltd., 1978.
- HARRISON, H. H. Western Bird's Nest. XXVII. New York, Library of Congress Publishing, 1987, s. 279-282.
- HOECKER, G. Birds of the world. Leipzig 1973.
- HUDEC, K., ČERNÝ, W. et al. Ptáci 1, 2, 3/I, 3/II. Praha: Academia, 1972, 1977, 1983.
- CHJUTSON, A. Disperzní analýza. – M. England, 1971. 221 s.

- JABLOKOV, A. V., VALECKIJ, A. V. Izmenčivost' struktur pera i okraski jajc u nekotorych ptic. 2. vydání. Zoologický život, 1972, 324 s.
- JIRŠÍK, J. Naše sovy. Praha: Česká grafická unie, a. s., 1944.
- KOSTIN, J. V. O metodike oomorfologičeskich isledovanij i unifikacii opisaniu oologiičeskich parametrov. In Metodiki isledovanija produktivnosti i strukturi vidov ptic v predělach ich arealov. Vilnius: 1977. 166 s.
- LOFTIN, R. W., BOWMAN, R. D. A device for measuring egg volumes. Aukland, 1978, vol. 95, s. 190-192.
- MAKATSCH, W. Die Eier der Vogel Europas. Band 1-2. Leipzig – Radebeul, GDR, Neumann Verlag, 1976.
- MANNING, T. H. Measurements and weights of eggs of the Canada goose, *Branta Canadensis*, analysed and compared with those of other species. Can. J. Zool., 1978, vol. 56, s. 676-687.
- MATTAS, M. Výpočet objemu vajec a plochy povrchu skořápky z rozměrů. Sylvia, 1999, vol. 35, s. 83-91.
- MJAND, R. A. Svaz risunka skorlupy jajc s ich pazmerami i porjadkom otkladivaniya u čajkovich. In Ekologiičeskije isledovanija i ochrana ptic Pribaltiskich republik. Tez. Dokl. Pribalt. Konf. Molodych ornitologov. Kaunas, 1982, s. 92-94.
- MJAND, R. A.: Svjaz rosta i viživaemosti ptencov s razmerami jajc u nekotorych čajkovich. AN SSR Biologie, Estonsko, 1985, vol. 34, no. 1, 182 s.
- MJAND, R. A. Vnutri-populjacionnaja izmenčivost' ptičnych jajc. Tallinn: Valgus, 1988. 193 s.
- PRESTON, F. W. The shapes of birds' eggs. Aukland, 1953, vol. 70, s. 160-182.
- PRESTON, F. W. The shapes of birds' eggs: mathematical aspects. Aukland, 1968, vol. 85, s. 182.
- SERGEJEV, V., SERGEJEVOVÁ, V. Edinica hafa – odin iz osnovnyh pokazatělej kačestva jajc. Pticevodstvo, 1966, no. 12, 60 s.
- TARASOV, V. A. Primenenije pokazatělej objema i plotnosti jajc kak morfofiziologiičeskich indikatorov dlja izučeniya ekologii gnězdovaniya koloniálnych ptic. In VII, Vsesojuzn. Ornitol. Konf.: Tez. Dokl. – Kiev, 1977, no. 1, s. 170-171.
- THOMAS, V. G., LUMSDEN, H. G. An apparatus for determining the volume of eggs. Ibis, 1981, vol. 123, s. 333-336.
- VESELOVSKÝ, Z. Obecná ornitologie. Praha: Academia, 2001. 357 s.

CORRELATION OF BIRD EGG PARAMETERS EXAMPLIFIED BY CLUTCHES OF MALLARD AND RING-NECKED PHEASANT

SUMMARY

To improve the understanding of regularities of development of the microevolutionary process in natural populations, it is absolutely necessary to observe and investigate them. To determine the oomorphological parameters, it is necessary – with regard to further research in the area of oology – to establish uniform methods and standard ways of measuring and reporting of measured data and their complex application. Advanced devices and computer technology including software applications should be employed for sampling and rating.

Obviously, mutual invariable regularities apply between morphological parameters of eggs of individual bird species. Environmental factors, which may affect the morphological parameters of not only the eggs within single bird species, but also the eggs across bird species, are very important as well. In this respect, closer cooperation between ecology and morphology as scientific disciplines is missing. Bird eggs are the most suitable model for research of relations of morphologically different correlations in higher order animal populations.

The objective of the method of egg measurement and morphological parameter description is to bring forward the impact of various environmental factors upon bird populations, interspecific variance of morphotype parameters of bird eggs and egg formation manners in populations of single species. Ornithology can be subject to detailed testing based on results of study of several methodological aspects in observation of population-morphological parameters.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Václav Tlapák, Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova zemědělská a lesnická universita
Zemědělská 3, 613 00 Brno, Česká republika
tel.: 777 852 721; e-mail: vtlapak@preparace.cz

SLEDOVÁNÍ PŘÍČIN CHŘADNUTÍ SMRKU ZTEPILÉHO V OBLASTI ČANTORYJE

OBSERVING OF FACTORS INFLUENCING NORWAY SPRUCE DECLINE IN THE ČANTORYJE REGION

EMILIE BEDNÁŘOVÁ

Ústav ekologie lesa, LDF MZLU Brno

ABSTRACT

Forest decline of Norway spruce stands still represents a problem, especially in areas that were exposed to the air pollution in the past. The assimilatory apparatus of the Norway spruce (*Picea abies* /L./ KARST.) has been petting yellow and the stands have been gradually drying up in the region Slezské Beskydy Mts. since the year 2004. The reason of this phenomenon has not been explained yet. The study of epicuticular waxes changes can reveal or exclude some of the possible causes. The results of this study proved that the assimilatory apparatus was not primarily damaged by anthropogenic factors.

Klíčová slova: smrk ztepilý, jehlice, epikutikulární vosky, odumírání, porost, imise

Key words: Norway spruce, needles, epicuticular waxes, damage, stand, pollution

ÚVOD

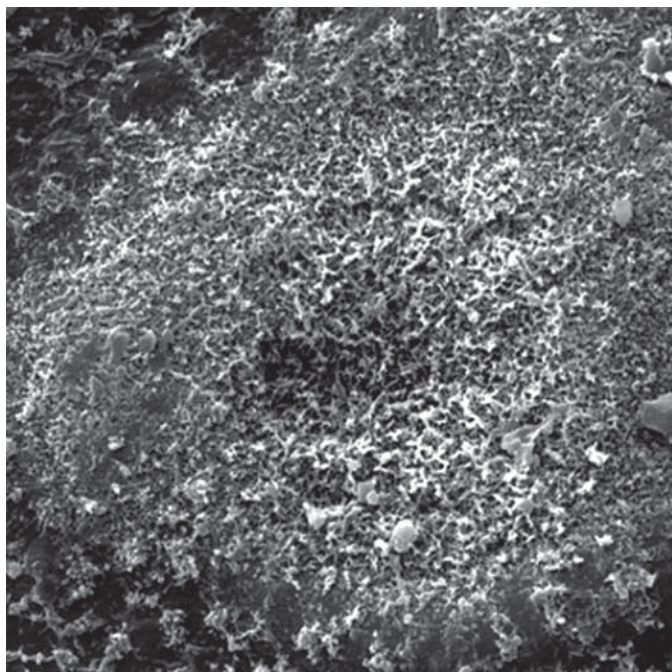
Chřadnutí porostů smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ KARST.) není stále vyřešeným problémem. Od roku 2004 se v porostech smrku ztepilého, na LS Jablunkov, polesí Nýdek (lokalita pod Čantoryjí) počal objevovat nový fenomén - akutní žloutnutí jehlic, které vyúsťuje v odumírání stromů.

Cílem studie bylo hledat příčiny rychlého žloutnutí asimilačního aparátu u smrkových porostů. Jako jedna z metod pro objasnění tohoto jevu byla zvolena metoda sledování zdravotního stavu asimilačního aparátu pomocí analýzy změn u epikutikulárních vosků. Epikutikulární vosky, které tvoří rozhraní mezi rostlinnými buňkami a prostředím, jsou vystaveny tlaku přírodních a antropogenních vlivů (TURUNEN, HUTTUNEN 1990). Změny ve struktuře a množství vosků na povrchu jehlic charakterizují poškození asimilačního aparátu, i když není dosud vizuálně patrné. Rostlinná kutikula s epikutikulárním voskem se jako vnější vrstva obvykle považuje za ochranu povrchu jehlic proti vysychání, znečištění, fyzikální abrazi, radiacním poškozením a patogenům. Je však jako první poškožována antropogenními vlivy. Eroze epikutikulárních vosků je fenoménem s velkou geografickou distribucí a je relevantním faktorem syndromu chřadnutí lesů (KARNOSKY et al. 2003). Epikutikulární vosky mohou být použity jako bioindikátor změn prostředí, které lesní porosty obklopuje (TUOMISTO, NEUVONEN 1993, BEDNÁŘOVÁ 2001, WIESNER et al. 2002, BEDNÁŘOVÁ, MERKLOVÁ 2006).

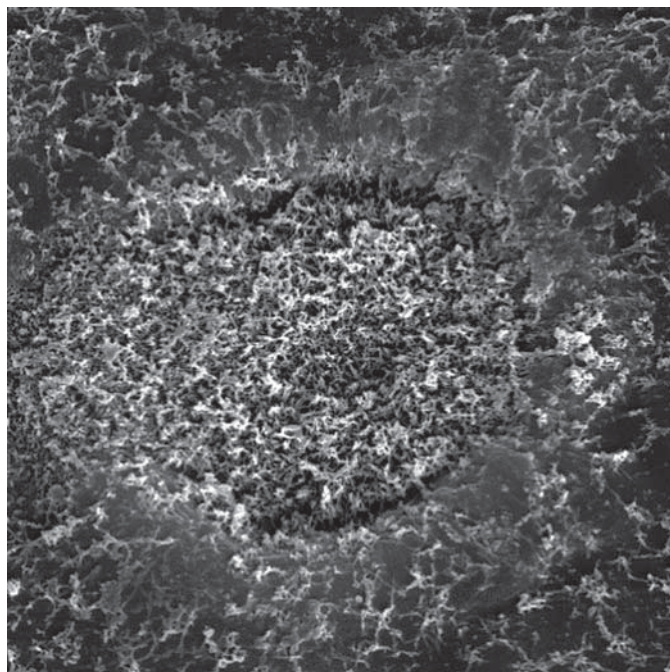
MATERIÁL A METODY

Po dobu dvou let byl sledován zdravotní stav asimilačního aparátu smrku ztepilého v oblasti Čantoryje na polesí Nýdek (LS Jablunkov). Hodnocený porost se nachází v nadmořské výšce 600 až 680 m, ohraničený souřadnicemi N 49° 39,532' E 18° 47,493' a N 49° 39,575' E 18° 48,037'. Srážkový průměr sledované oblasti

činil za poslední čtyři roky 991 mm, průměrná roční teplota je 5,8 °C. Sledovaný porost smrku ztepilého je druhé věkové třídy. Tato oblast byla v 80. letech minulého století pod vlivem dlouhodobé imisní zátěže. Jako porovnávací plochy byly zvoleny dvě plochy ve Žďárských vrších o stejném stáří porostu a podobné nadmořské výšce (580 m n. m. a 790 m n. m.), další plocha se nachází na Dražanské vrchovině (Němčice). Sledovaná plocha Žďárské vrchy (580 m n. m.) nejeví známky poškození porostu. Plocha Žďárské vrchy (790 m n. m.) ukazuje mírné žloutnutí starších ročníků jehličí, ale tento jev nemá postupující tendenci a nedochází k odumírání porostu. Lokalita na Dražanské vrchovině (Němčice) je ve výborném zdravotním stavu a nikdy nebyla ovlivněna imisemi. Dlouhodobý úhrn ročních srážek ve Žďárských vrších je 761 mm a průměrná roční teplota 5,7 °C. Na sledované ploše - Dražanská vrchovina 625 m n. m. je úhrn srážek 640 mm a průměrná roční teplota vzduchu 6,7 °C. Ve všech sledovaných porostech smrku ztepilého bylo vybráno šest vzorků uprostřed porostu, které nejlépe charakterizují stav asimilačního aparátu. Vzorky pro analýzy byly odebírány ze čtvrtého (pátého) přeslenu, vždy dvě protilehlé větve a ve vodě transportovány do laboratoře pro další zpracování. Struktura epikutikulárních vosků byla hodnocena z elektrogramů s využitím rastrovacího mikroskopu Vega z čerstvého materiálu. Množství epikutikulárních vosků bylo stanoveno laboratorně podle ověřené metodiky (GÜENTHARDT et al. 1994) ze vzorků sušených při pokojové teplotě. Množství epikutikulárních vosků na jehlicích je vyjádřeno jako procento z celkové hmotnosti jehlic v sušině. Do sledování na LS Jablunkov mohly být zařazeny pouze jehlice ve stáří 6 a 12 měsíců od vyrašení, starší jehlice byly zcela suché, nebo opadaly. Dále bylo hodnocení doplněno o sledování množství celkové síry v jehlicích za použití jednotných pracovních postupů - Státní kontrolní a zkušební ústav zemědělský Brno (ZBÍRAL 1994). Toto šetření prováděla dodavatelství firma Ekola Bruzovice.



Obr. 1.
Nepoškozená struktura epikutikulárních vosků u smrku ztepilého – Čantoryje
Undamaged structure of epicuticular waxes in Norway spruce - Čantoryje



Obr. 2.
Nepoškozená struktura epikutikulárních vosků smrku ztepilého – Žďárské vrchy
Undamaged structure of epicuticular waxes in Norway spruce – Žďárské vrchy

VÝSLEDKY A DISKUSE

Žloutnutí jehlic u smrku ztepilého a jejich následný opad se liší od situace, která nastala v minulém století v Beskydech, kdy byla tato oblast vystavena mimořádnému imisnímu tlaku. V tomto období byl poškozován asimilační aparát již během vývoje nejmladšího ročníku jehličí s degradací epikutikulárních vosků, způsobenou imisemi. Současnou situaci charakterizuje tabulka 1. U žádného vzorníku ze sledovaných ploch nedošlo k mimořádnému úbytku epikutikulárních vosků během prvních dvanácti měsíců. Na polesí Nýdek se hodnoty množství epikutikulárních vosků v roce 2005 a 2006 u 6 měsíců starého jehličí pohybovaly v rozmezí 1,78 - 1,88 % g sušiny jehlic⁻¹. U vzorníků z oblasti Žďárských vrchů bylo množství epikutikulárních vosků na jehlicích 1,78 - 1,90 % a v oblasti Dražanská vrchovina 2,00 % ve stejném období. Při analýze jehličí ve stáří 12 měsíců po vyrašení bylo zjištěno, že množství epikutikulárních vosků z porostů Nýdek se pohybuje v roce 2005 – 2006 od 1,62 do 1,65 % g sušiny jehlic⁻¹, u vzorků ze Žďárských vrchů 1,65 až 1,71 % a z oblasti Dražanská vrchovina 1,86 %.

Z uvedených výsledků je patrné, že množství epikutikulárních vosků na povrchu jehlic smrku ztepilého z lokality pod Čantoryjí (polesí Nýdek) se výrazně neliší od vzorníků z kontrolních oblastí, které nevykazují žloutnutí asimilačního aparátu a jeho následné odumírání. V minulém století, kdy docházelo k poškozování asimilačního aparátu smrku ztepilého imisemi, bylo množství epikutikulárních vosků na jehlicích výrazně nižší (BEDNÁŘOVÁ 1996, 1999, 2000). Současný zdravotní stav asimilačního aparátu porostu smrku pod Čantoryjí není v souladu s množstvím epikutikulárních vosků na jehlicích. Zežloutnutí jehlic a jejich následný opad způsobený imisními látkami v ovzduší, nebo vysokými koncentracemi přezemního ozonu je vždy provázen značným úbytkem epikutikulárních vosků.

Úbytek epikutikulárních vosků na povrchu jehlic a listů je provázen i destrukcí epikutikulárních vosků. Tento stav se u vzorků získaných z polesí Nýdek nepotvrzuje (obr. 1). Epikutikulární vosky patrně z elektrogramu neukazují na jejich úbytek ani destrukci. Jsou ve stejném množství i struktuře jako z referenčních ploch, kde není asimilační aparát narušen (obr. 2). Při primárním poškozování porostů imisními látkami v ovzduší a vysokými koncentracemi přezemního ozonu se již v prvním roce vývoje jehlic projevuje značná degradace epikutikulárních vosků. Jako další charakteristika pro zhodnocení příčin poškozování asimilačního aparátu smrku ztepilého na LS Jablunkov (polesí Nýdek) byla zvolena analýza stanovení celkové síry v jehličí, která slouží jako nepřímý ukazatel působení oxidů síry (tab. 2). Celkové množství síry v jehličí bylo u vzorků z lokality Nýdek jen o málo vyšší než na kontrolních plochách. U jehličí ve stáří 6 měsíců tvořilo 0,58 g.kg⁻¹ v sušině a u jehlic ve stáří 12 měsíců - 0,60 g.kg⁻¹. U referenčních ploch byly hodnoty jen nepatrně nižší.

Ze získaných výsledků vyplývá, že žloutnutí jehličí, transparentnost korun a rychlé odumírání smrku ztepilého na polesí Nýdek nemůže být primárně způsobeno imisními látkami v ovzduší. Nízká nadmořská výška, v níž se porost nachází, vylučuje i nepříznivý vliv ozonu. Změnami v jehličí u smrku v souvislosti s nadmořskou výškou se zabývali BERMADINGER et al. (1989). Poškození v nižších nadmořských výškách (700) odpovídalo účinku kyselých polutantů (nižší obsah kyseliny askorbové, zvýšený obsah thiolů, zřetelné poškození epikutikulárních vosků), zatímco nemocné smrky ve vyšších nadmořských výškách (1 000 m) jeví v jarních měsících spíše známky ovlivnění ozonem a ostatními fotooxidanty, vysoký obsah kyseliny askorbové, nízký obsah pigmentů (UHLÍŘOVÁ et al. 1997). Tento literární údaj je v souladu i s výsledky uváděnými v předkládaném příspěvku.

Tab. 1.

Množství epikutikulárních vosků u smrku ztepilého (% g. sušina jehlic⁻¹)
The quantity of epicuticular waxes in Norway spruce (% DM weight of needles . g⁻¹)

Plocha/Plot	Nadmořská výška/ Altitude	Stáří jehlic/ Age of needles 6 months/2005	Stáří jehlic/ Age of needles 6 months/2006	Stáří jehlic/ Age of needles 12 months/2005	Stáří jehlic/ Age of needles 12 months/2006
Čantoryje	600 - 680 m	1,78 %	1,88 %	1,62 %	1,65 %
Žďárské vrchy	580 m	1,80 %	1,90 %	1,68 %	1,71 %
Žďárské vrchy	790 m	1,78 %	1,88 %	1,65 %	1,66 %
Němčice	625 m	2,00 %	2,00 %	1,86 %	1,86 %

Tab. 2.

Množství celkové síry v jehličí smrku ztepilého (g.kg⁻¹)
The quantity of total sulphur in needles of Norway spruce (g.kg⁻¹)

Plocha/Plot	Nadmořská výška/ Altitude	Stáří jehlic/ Age of needles 6 months/2005	Stáří jehlic/ Age of needles 6 months/2006	Stáří jehlic/ Age of needles 12 months/2005	Stáří jehlic/ Age of needles 12 months/2006
Čantoryje	600 - 680 m	0,58	0,60	0,58	0,60
Žďárské vrchy	580 m	0,59	0,70	0,50	0,57
Žďárské vrchy	790 m	0,59	0,52	0,60	0,58
Němčice	625 m	0,52	0,60	0,52	0,57

ZÁVĚR

Hodnocením zdravotního stavu asimilačního aparátu metodou sledování změn u epikutikulárních vosků lze odhalit jeho poškození, i když je teprve v latentní fázi. Touto metodou lze rovněž potvrdit, nebo vyloučit poškození antropogenními činiteli. Průběh žloutnutí jehličí smrku ztepilého a jeho následné rychlé odumírání na polesí Nýdek má odlišný charakter než v minulém století, kdy došlo v této oblasti k poškození asimilačního aparátu smrku ztepilého a odumírání porostů následkem imisního tlaku převážně oxidů síry. Již v prvním roce rozvoje jehlic docházelo k úbytku epikutikulárních vosků na jehlicích a projevovала se destrukce epikutikulárních vosků, čímž byla snížena obranyschopnost asimilačního aparátu, která vyústila v závažné fyziologické poruchy.

V současnosti nelze hovořit o patrné degradaci epikutikulárních vosků na povrchu smrkových jehlic u porostů z polesí Nýdek (Čantoryje). Rovněž množství celkové síry v jehličí se neliší od výsledků sledování vzorků z oblasti, které nebyly v minulosti ovlivněny imisemi, v první řadě oxidy síry. Avšak celkový zdravotní stav asimilačního aparátu smrku ztepilého z oblasti Čantoryje tomuto neodpovídá. S největší pravděpodobností bude nutné hledat příčiny ve značném poruše výživy porostů a detailně se zaměřit na půdní analýzy. Sekundární vlivy dlouhodobé imisní zátěže v minulých letech mohou vyvolávat okyselování půd a nevyrovnanost v sorpčním komplexu. Nižší srážkové úhrny pak mohou způsobit i zhoršenou dostupnost živin pro smrk ztepilý, který je v této oblasti již v druhé generaci. Na základě získaných výsledků lze vyloučit poškození

asimilačního aparátu smrku ztepilého na polesí Nýdek (oblast pod Čantoryjí) přítomností imisních látek v ovzduší a působením přízemního ozonu.

Poděkování:

Poznatky byly získány v souvislosti s řešením HS MZeČR č. 471/1004/8 SZ 06 a Výzkumného záměru LDF MZLU v Brně č. MSM 6215648902.

LITERATURA

- BEDNÁŘOVÁ, E. Včasná diagnóza poškození hlavních hospodářských dřevin v Beskydech. Zpravodaj Beskydy „Vliv imisí na lesy a lesní hospodářství Beskyd“, 1996, č. 8, s. 61-66.
- BEDNÁŘOVÁ, E. Epicuticular waxes of spruce *Picea abies* /L./ KARST. needles as indicators of air pollution in the Ore Mts. Journal of Forest Science, 1999, vol. 45, no. 4, s. 186-192.
- BEDNÁŘOVÁ, E. Changes in epicuticular waxes of Norway spruce (*Picea abies* /L./ KARST.) due to air pollution stress. Ekológia (Bratislava), 2000, roč. 19, Supplement 1, s. 104-112.
- BEDNÁŘOVÁ, E. Epicuticular waxes at Norway spruce (*Picea abies* /L./ KARST.) characterize the extent of air pollution. Journal of Forest Science, 2001, vol. 47, Special Issue, s. 21-25.
- BEDNÁŘOVÁ, E., MERKLOVÁ, L. Reakce epikutikulárních vosků u smrku ztepilého na snížení imisí. Beskydy, 2006, č. 19, s. 155-162.

- GÜENTHARDT, M., KELLER, T., MATYSSEK, R., SCHEIDGER, C. Environmental effects on Norway spruce needle wax. *Eur. J. For. Path.*, 1994, vol. 224, s. 92-111.
- KARNOSKY, D. F., ZAK, D. R., PREGITZER, K. S., AWMACK, C. S. Tropospheric O₃ moderates response of temperate hardwood forests to elevated CO₂. *FAO PROJECT, Funct. Exil.*, 2003, vol. 17, 289 s.
- TUOMISTO, H., NEUVONEN, S. How to quantify differences in epicuticular wax morphology of *Picea abies* /L./ KARST. needles. *New. Phytol.*, 1993, vol. 123, s. 787-799.
- TURUNEN, N., HUTTUNEN, S. A review of the response of epicuticular wax of conifer needles to air pollution. *J. Environ. Quality*, 1990, vol. 19, s. 35-45.
- UHLÍŘOVÁ, H., ŠRÁMEK, V., PASUTHOVÁ, J. Znečištěné ovzduší a lesy. IV. Oxidy dusíku a ozon. *Zprávy lesnického výzkumu*, 1997, roč. 42, č. 2, s. 28-32.
- WISNER, R., TEGISCHER, K., TAUSZ, M. Age effects on Norway spruce (*Picea abies* /L./ KARST.) susceptibility to ozone uptake: a novel approach to relative stress avoidance to defense. *Tree-Physiology*, 2002, vol. 18, s. 583-590.
- ZBÍRAL, J. Analýza rostlinného materiálu - Jednotné pracovní postupy. Brno: JPP SKZÚZ, 1994. kap. 3.25.

OBSERVING OF FACTORS INFLUENCING NORWAY SPRUCE DECLINE IN THE ČANTORYJE REGION

SUMMARY

Norway spruce (*Picea abies* /L./ KARST.) decline in the Beskydy Mountains still represents an unsolved problem. A new phenomenon of needle yellowing and gradual forest decline started to appear in the Jablunkov (Nýdek) forest district since 2004. A two-year study was performed to explain the cause of rapid needle yellowing in the Norway spruce in the Čantoryje region. The health condition of the assimilatory apparatus was studied by analysing the epicuticular waxes changes, since epicuticular waxes indicate the damage of the assimilatory apparatus even in the latent phase. Epicuticular waxes which form the interface between plant cells and environment can serve as a bioindicator of environment influence on the needle and leaf health condition.

The observed Norway spruce stand is situated in the altitude 600 – 680 m, the age of the stand conforms to second year class. The structure of epicuticular waxes was evaluated with the help of scanning electron microscope, the amount of epicuticular waxes on the needle surface was determined by approved laboratory method. The total amount of sulphur in needles was examined by Leco method. A control stand of the same age without any signs of assimilatory apparatus damage was situated in the Žďárské vrchy in approximately the same altitude.

Needle yellowing in the Norway spruce in the Jablunkov (Nýdek) forest district does not show typical signs of assimilatory apparatus damage caused by anthropogenic factors. Needle yellowing becomes visible 12 months after needle flush and is followed by needle cast. The amount of epicuticular waxes on needle surface is higher compared to the health condition of assimilatory apparatus due to air pollution impact. The structure of epicuticular waxes also does not correspond with the assimilatory apparatus damage caused by air pollution. The condition of epicuticular waxes structure in green needles is consistent with the analysis of Norway spruce in a locality without assimilatory apparatus damage. The amount of total sulphur in needles is equivalent to samples from control stands without any damage.

The obtained results indicate that Norway spruce decline in the Čantoryje region in the Jablunkov (Nýdek) forest district is not caused by actual primary immission influence. The influence of increased ozone concentrations can be excluded due to low altitude. The area was under long-term immission load in the past century thanks to its geographic location and we can expect secondary immission influence leading to disturbances in adsorption soil complex due to soil acidification. Long-term immission load and lower rainfall amount in the past years may cause impaired nutrient uptake for the second generation of Norway spruce in these localities.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Emilie Bednářová, CSc., Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova zemědělská a lesnická universita
Zemědělská 3, 613 00 Brno, Česká republika
tel.: 545 134 185; e-mail: bednarova@mendelu.cz

MAPOVANIE KRITICKÝCH ZÁŤAŽÍ ACIDITY V LESNÝCH EKOSYSTÉMOCH KYSUC A ORAVY

MAPPING OF THE ACIDITY CRITICAL LOADS FOR FOREST ECOSYSTEMS IN THE KYSUCE AND ORAVA REGIONS

ZUZANA SITKOVÁ¹⁾ - VLADIMÍR KUNCA²⁾

¹⁾Odbor ekológie a biodiverzity lesných ekosystémov, NLC-LVÚ, Zvolen; ²⁾Katedra aplikovanej ekológie, FEE TU Zvolen

ABSTRACT

The aim of our research was mapping the critical loads of acidity (CL) for forest ecosystems in the Kysuce and Orava region, where the problem of non-native forest decline became really actual in the last years. The widespread Steady State Mass Balance (SSMB) approach was applied for spatial mapping of CLs. The maps and histograms of critical loads of sulphur and nitrogen for the most prevailing tree species in the subject region (spruce, beech, fir and pine) are presented. Spatial distribution of critical load exceedance was obtained by comparison of the calculated critical limits with the values of sulphur and nitrogen depositions modelled for time span of 2000 – 2005. The evaluation of maps calculated by SSMB proved total exceedance of acidity CL at 13,7% within the whole Kysuce and Orava area. The highest values of exceedance are related to the soils with low potential of the basic cations weathering (podzol, acid and pseudogley soils). Local calculation for the research plot Šadibolovci (901 m a. s. l.) was realized by multi-layer steady-state PROFILE model. It was found that critical load calculated by PROFILE model is a little enhanced at research plot Šadibolovci, which means that acid input from the atmosphere is higher than the buffering ability of forest soils against acidification. Based on that fact between 10 to 20 percent of the trees at this locality could be weakened or even seriously damaged as a result of some chemical changes within the forest ecosystems.

Kľúčové slová: kyslá depozícia, kritické záťaže acidity, prekračovanie kritických záťaží, metóda stacionárnej hmotovej bilancie, model PROFILE, lesné ekosystémy

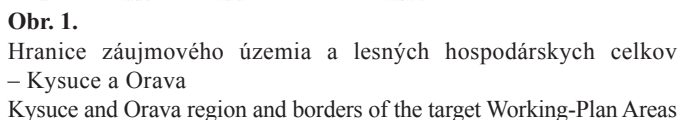
Key words: acid deposition, critical loads of acidity, exceedances CL, SSMB method, PROFILE, forest ecosystems

ÚVOD DO PROBLEMATIKY

V súvislosti s dlhodobou nepriaznivým stavom nepôvodných (najmä smrekových) lesných porastov na Slovensku je často diskutovanou otázkou, akú úlohu zohráva pri ich rozpade imisná záťaž. V rámci výskumnej úlohy MP SR „Rekonštrukcie nepôvodných lesných spoločenstiev ohrozených zmenou prírodných podmienok (najmä klímy) na ekologicky stabilnejšie ekosystémy“, ktorá je od roku 2005 riešená v Národnom lešníckom centre vo Zvolene, zarezonovala potreba preskúmať a priestorovo zdefinovať kritické limity tlmivého potenciálu lesných pôd a prekračovanie kyslej imisnej záťaže lesných ekosystémov oblasti Kysuc a Oravy. Cieľom nášho výskumu bolo preto zmapovať kritické záťaže (KZ) acidity pre lesné ekosystémy Kysuc a Oravy a zároveň posúdiť, nakoľko sú aktuálne depozície zakysľujúcich látok ohrozením pre lesnú zložku prostredia v danej oblasti.

Definícia kritickej záťaže kyslosti síry a dusíka pre ekosystémy bola ustanovená na pracovnej konferencii o kritických záťažoch v Skoklostery v roku 1988 (NILSSON, GRENNFELT 1989) ako „najvyššia depozícia zakysľujúcich zložiek, ktorá nespôsobuje chemické zmeny vedúce k dlhodobým škodlivým účinkom na štruktúru a funkciu ekosystémov“. Rozvoj koncepcie a hodnotenie kritických záťaží má aj na Slovensku už vyše desaťročnú históriu, ktorá sa intenzívnejšie naštartovala v roku 1994, kedy sa Stacionárnou hmotovou bilanciou zhodnotilo približne 20 % územia Slovenska (ZÁVODSKÝ et al. 1995). Odvtedy sa postupy v súlade s najnovšími vedeckými poznatkami neustále prehľadnocojú a korigujú.

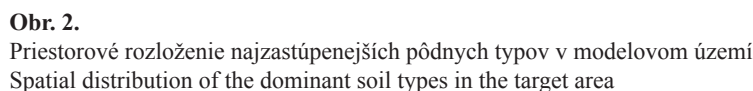
Najnovšie odborné poznatky a postupy z problematiky stanovovania kritických záťaží sú zhrnuté v manuáli z roku 2004 (ICP Modeling and Mapping, 2004). Jedným z aktuálnych trendov je okrem celkového spresňovania národných databáz a realizácie najmä snaha o aplikáciu dynamických modelov pre výpočet kritických záťaží, ako aj realizácia výpočtov kritických hodnôt pre ťažké kovy. Potreba zahrnutia časového aspektu do výpočtu kritických záťaží vznikla na základe zistení, že reakcia (odozva) pôd na atmosférické vstupy je časovo zdržaná (konečnými) tlmivými procesmi, ako je napr. kationová výmenná kapacita vzhľadom na zmeny v atmosférickej depozícii. Tieto procesy môžu oddialiť okamžité dosiahnutie kritického chemického parametra, takže môže trvať dekády alebo dokonca až storočia, kým sa v ekosystéme dosiahne rovnováha (POSCH et al. 2001). Potvrdzujú to aj výsledky prezentované v drafte najnovšej správy ICP Forests (LORENZ et al. 2007), ktorá na základe výsledkov celoeurópskeho mapovania prekračovania kritických záťaží upozorňuje na fakt, že v dôsledku už naakumulovaných zakysľujúcich látok v pôdach naďalej pretrvávajú riziko environmentálnych škôd na neakceptovateľnej úrovni a v nastávajúcej dekáde možno očakávať pokračovanie ekologických problémov ako na lesných pôdach, tak aj v iných prírodných ekosystémoch. Výsledky dynamického modelovania ukázali, že zotavovanie z imisného stresu bude naďalej veľmi pozvoľné a môže si vyžadovať v niektorých prípadoch až stovku rokov. Zatiaľ však bolo dynamické modelovanie v rámci Európy viac riadené dostupnosťou všetkých požadovaných vstupov ako reprezentatívnosťou zahrnutých plôch, preto výsledky nemožno zatiaľ považovať za finálne. V budúcnosti sa plánuje tvorba modelu



Vymedzenie a charakteristika skúmaného regiónu

Záujmový región je vymedzený hranicami vybraných lesných hospodárskych celkov (12 LHC v oblasti Kysúc a 12 LHC v oblasti Oravy), a to z praktického dôvodu získavania údajov z lesných hospodárskych plánov. Hranice lesných hospodárskych celkov a celého modelového územia, ktoré bolo predmetom mapovania kritických záťaží, vidíme na obrázku 1. Z geologického hľadiska patrí celé modelové územie do flyšového pásma, čo znamená, že dominantnou materskou horninou je pieskovec, miestami sa vyskytujúci v kombinácii s bridlicou, fľovcami, sprašovou hlinou, slieňmi alebo prímiesami iných hornín. Vyšší podiel kemitého pieskovca v severnom pohraničí Kysúc sa odráža aj na výskyte odlišného pôdneho typu (podzolové pôdy) ako na väčšine územia. V zmysle Morfogenetického klasifikačného systému pôd Slovenska (MKSP, Kolektív 2000) prevládajú na modelovom území kambizeme modálne (Kysuce), v oravskej časti je mozaika pôd pestrejšia, v zastúpení sa viac vyskytuje kambizem pseudoglejová až glejová a v južnej časti tiež kambizemné a modálne rendziny (obr. 2). V drevinovom zložení prezentovaného modelového územia dominuje smrek (okolo 60 – 70 %), ďalej buk, jedľa, borovica, smrekovec a ostatné dreviny.

Princípom metód stanovenia kritických záťaží je výpočet neutralizačnej kapacity prírodného prostredia (hornín, pôd a vôd) a jeho schopnosti pohlcovať vodíkové ióny uvoľnené pri atmosférickej



Tab. 1.

Prehľad parametrov vstupujúcich do výpočtu kritických záťaží metódou SSMB, ich charakteristika a spôsob odvodenia
 Input parameters required for critical loads calculation by SSMB method, their characteristic and way of their acquisition

Skupina vstupov/ Group of entries	Vstupný parameter/ Entrance parameter	Jednotky/ Units	Charakteristika/ Characteristic	Spôsob odvodenia, resp. výpočtu/ Calculation
Klimatické a hydrologické/ Climatic and hydrologic	RR	[mm]	Dlhodobý priemer zrážkových úhrnov 1950 – 1981/ Long-term average of precipitation sums 1950 - 1981	Priestorový model zrážok vytvorený na základe údajov zo staničnej siete SHMÚ (n = 654), rozlíšenie 30 m/ Space model for precipitation based on data from station network SHMÚ (n = 654), differentiation 30 m
	T	[°C]	Dlhodobý priemer ročnej teploty vzduchu 1950 – 1981/Long-term average of annual air temperature 1950 - 1981	Model teplôt vzduchu odvodený z údajov SHMÚ (n = 169)/ Model air temperatures derived from data of SHMÚ (n = 169)
	Q	[m ³ .ha ⁻¹ .rok ⁻¹]/ [m ³ .ha ⁻¹ .year ⁻¹]	Množstvo vody otekajúcej do podložia/ Water volume running into parent rock	Ovodené z rozdielu modelu zrážok a výparu z lesa (TOMLAIN 1991)/ Derived from difference of precipitation model and evaporation from forest (TOMLAIN 1991)
Imisné/Pollution	BC _{dep} , C _{dep} , N _{dep} , S _{dep}	[ekv.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]/ [eq.ha ⁻¹ .year ⁻¹]	Celková depozícia základných prvkov, síry, dusíka a chloridov/Total deposition of basic elements, sulphur, nitrogen and chlorides	Hodnoty odvodené z priestorového modelu depozície 2000 – 2005 vypočítanej podľa vzťahov v tabuľke 2/ Values derived from space deposition model 2000 – 2005 calculated according to relationships in table 2
Porastové/Stand	BC _u = B _{cu}	[ekv.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]/ [eq.ha ⁻¹ .year ⁻¹]	Príjem základných kationov drevinami/ BC uptake	Výpočet osobitne pre jednotlivé dreviny na základe obsahu základných prvkov v kôre a dreve, hustoty dreva a kôry, prírastku v rubnom veku, priemernej hodnoty zakmenenia a korigované faktorom prepočtu jednotiek adekvátnym pre Mg, Ca, K/ Calculation for individual tree species based on content of basic elements in bark and wood, density of wood and bark, increment in cutting age, average value of stand density and revised by factor of units calculation adequate for Mg, Ca, K
	N _u	[ekv.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]/ [eq.ha ⁻¹ .year ⁻¹]	Príjem dusíka drevinami/ N uptake	Výpočet osobitne pre jednotlivé dreviny na základe obsahu dusíka v kôre a dreve, zodpovedajúcej hustoty dreva a kôry, prírastku v rubnom veku, priemernej hodnoty zakmenenia a korigované faktorom prepočtu jednotiek pre N/Calculation for individual tree species based on nitrogen content in bark and wood corresponding to density of wood and bark, increment in cutting age, average value of stand density and revised by factor of units calculation for N
	(B _c /Al) _{crit}		Kritický pomer vyluhovania BC vo vzťahu k hliníku/ Critical ratio of BC leaching related to aluminum	Tabuľková hodnota rôzna pre jednotlivé druhy drevín: 1,2 pre smrek a borovicu, 1,4 pre jedľu a pomer 0,6 pre buk (podľa SVERDRUPA, WARFVINGA 1993)/Table value different for particular tree species: 1.2 for spruce and pine, 1.4 for fir and 0.6 for beech (according to SVERDRUP, WARFVINGE 1993)
	K _{gibb}	[m ⁶ . ekv ⁻²]	Koeficient „Gibbsite“ vyjadruje rovnováhu medzi H a Al/ Coefficient “Gibbsite” expresses balance between H and Al “Gibbsite” _Al(OH) ₃ je sekundárny minerál, ktorý sa vo významnej miere vyskytuje najmä v pôdach s vysokou intenzitou zvetrávania minerálnej zložky/“Gibbsite” _Al(OH) ₃ is secondary mineral occurring above all in soils with high intensity of weathering of mineral component	Tabuľková hodnota rôzna podľa ekosystému: 200 m ⁶ .ekv ⁻² horná hranica lesa a kosodrevina, 300 m ⁶ .ekv ⁻² horské smrekové lesy, 500 m ⁶ .ekv ⁻² podhorské zmiešané lesy a teplomilné opadavé lesy (SVERDRUP, WARFVING 1993)/ Table value different according to ecosystem: 200 m ⁶ .eq ⁻² upper forest border and mountain pine, 300 m ⁶ .eq ⁻² mountain spruce forests, 500 m ⁶ .eq ⁻² piedmont mixed forest and thermophilic deciduous forests (SVERDRUP, WARFVINGE 1993)
	(B _c /Al) _{crit}		Kritický pomer vyluhovania BC vo vzťahu k hliníku/ Critical ratio of BC leaching related to aluminum	Tabuľková hodnota rôzna podľa ekosystému: 200 m ⁶ .ekv ⁻² horná hranica lesa a kosodrevina, 300 m ⁶ .ekv ⁻² horské smrekové lesy, 500 m ⁶ .ekv ⁻² podhorské zmiešané lesy a teplomilné opadavé lesy (SVERDRUP, WARFVING 1993)/ Table value different according to ecosystem: 200 m ⁶ .eq ⁻² upper forest border and mountain pine, 300 m ⁶ .eq ⁻² mountain spruce forests, 500 m ⁶ .eq ⁻² piedmont mixed forest and thermophilic deciduous forests (SVERDRUP, WARFVINGE 1993)
Pôdne/Soil	BC _w	[ekv.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]/ [eq.ha ⁻¹ .year ⁻¹]	Koeficient zvetrávania základných kationov v koreňovej zóne/ Weathering coefficient of basic cations in root zone	Tabuľková hodnota daná pôdnym typom a hĺbkou prekorenenia (Tabuľka 5, upravená podľa kolektívu DE VRIES et al. 1997)/ Table value based on soil type and depth of roots (Table 5 adapted according to DE VRIES et al. 1997)
	f _{dc}		Denitrifikačná frakcia/ Denitrification fraction	Tabuľková hodnota daná pôdnym typom: f _{dc} = 0,1; 0,5; 0,7; 0,8 (Tabuľka 5, upravená podľa kolektívu DE VRIES et al. 1997)/ Table value based on soil type f _{dc} = 0,1; 0,5; 0,7; 0,8 (Table 5 adapted according to DE VRIES et al. 1997):
	N _i	[ekv.ha ⁻¹]	Množstvo imobilizovaného dusíka v pôde/ Amount of immobilized nitrogen in soil	Modelované podľa vzťahu s priemernou ročnou teplotou vzduchu/ Modelled according to relationship with average annual air tempe- rature
	N _(crit)	[ekv.m ⁻³]	Kritická koncentrácia dusíka/ Critical nitrogen concentration	Tabuľková hodnota: 0,0143 pre ihličnaté porasty a 0,0215 pre listnaté porasty/Table value: 0.0143 for coniferous stands and 0.0215 for deciduous stands
	N _{le(crit)}	[ekv.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]/ [eq.ha ⁻¹ .year ⁻¹]	Kritické množstvo vyluhovania dusíka/ Critical amount of nitrogen leaching	Výpočet podľa vzťahu: N _{le(crit)} = Q x N _{crit} / Calculation according to relationship: N _{le(crit)} = Q x N _{crit}

Tab. 2.

Vzťahy pre výpočet celkovej depozície
Relations used for calculation of total deposition

Depozícia elementu/Deposition 2000 – 2005	Mokrú depozícia/Wet deposition		F _{de}
S _{dep}	RR	x 0,457	1.5 (beech, fir, pine) – 2.0 (spruce)
N·NH ₄ _{dep}	RR	x 0,336	1.5
N·NO ₃ _{dep}	RR	x 0,282	
Cl _{dep}	RR	x 0,109	1
Na _{dep}	RR	x 0,105	1.3
K _{dep}	RR	x 0,053	
Mg _{dep}	RR	x 0,049	
Ca _{dep}	RR	x 0,195	

Tab. 3.

Priemerné obsahy dusíka (N) a základných prvkov (BC) v dreve a kôre jednotlivých drevín (podľa analýz vzoriek na TMP Slovenska v sieti 16 x 16 km, vybrané boli len monitorovacie plochy v rámci Oravy a Kysuc)

Average contents of nitrogen (N) and basic cations (BC) in the wood and bark of the selected tree species (according to sample analysis at Slovak monitoring plots in 16 x 16 km grid; only adequate data from Kysuce and Orava region were used)

Drevina/ Tree species	Drevo/Wood				Kôra/Bark			
	N hm.% suš.	Mg mg.kg ⁻¹ suš.	Ca mg.kg ⁻¹ suš.	K mg.kg ⁻¹ suš.	N hm.% suš.	Mg mg.kg ⁻¹ suš.	Ca mg.kg ⁻¹ suš.	K mg.kg ⁻¹ suš.
smrek/spruce	0,05	249	1 060	516	0,36	628	11 068	1 637
buk/beech	0,05	370	1 350	1 438	0,58	774	24 629	3 334
jedľa/fir	0,02	233	1 170	702	0,42	687	16 700	1 320
borovica/pine	0,05	429	1 560	719	0,43	246	4 800	488

Tab. 4.

Hodnoty hustoty dreva a kôry použité pre výpočet príjmu N a BC drevinami (POŽGAY et al. 1993)

Values of the wood and bark density used for calculation of N and BC uptakes (POŽGAY et al. 1993)

Hustota/Density [kg. m ⁻³]		
Drevina/Tree species	Drevo/Wood	Kôra/Bark
smrek/spruce	380	650
jedľa/fir	370	650
borovica/pine	430	550
buk/beech	561	775

depozícii zlúčenín síry a dusíka tak, aby nedochádzalo k acidifikácii prostredia a poškodzovaniu ekosystémov. Pri zlúčeninách dusíka je potrebné stanovovať aj kritické zátŕaže pre nutričnú úroveň ako maximálny prípustný limit, pri dodržaní ktorého ešte nedochádza k eutrofizácii prírodného prostredia (MINĐÁŠ et al. 1999).

Na plošné mapovanie kritických zátŕaží v Kysucko-oravskom regióne bol použitý jednovrstvový stacionárny model SSMB (Steady State Mass Balance) podľa metodiky DE VRIESA (1991), ktorá bola neskôr

upravená v správe Koordinačného centra pre dopady (POSCH et al. 1999). Hodnoty kritickej zátŕaže pre výskumnú lokalitu Šadibolovci (Kysuce – 901 m n. m.) boli kalkulované pomocou modelu PROFILE (SVERDRUP et al. 1990). Obidva modely sú verifikované na základe množstva experimentálnych podkladov z intenzívnych štúdií lesných ekosystémov a sú v súčasnosti považované za najprogressívnejšie metódy pre hodnotenie acidifikačných procesov prebiehajúcich v pôde (KUNCA 2003).

Vstupné parametre pre výpočet CL metódou SSMB

Na úrovni jednotiek priestorového rozdelenia lesa (JPRL) bol vypracovaný rozsiahly súbor vstupných informácií o klíme, pôdnom prostredí, rastových pomeroch drevín, a depozícii síry, dusíka a bázických prvkov. Na základe vstupných parametrov, podrobne popísaných v tabuľke 1, boli pre vybranú modelovú oblasť Kysuc a Oravy stacionárnou metódou SSMB stanovené nasledovné parametre kritických záťaží v lesných ekosystémoch (podľa POSCHA et al. 1995, MINĐÁŠA et al. 1999 a KUNCU 2003):

- Maximálna kritická záťaž pre síru ($CL_{\max} S$) je najvyššou depozíciou síry, ktorá za predpokladu nulovej depozície dusíka prispieva v ekosystéme k škodlivým efektom a je determinovaná najmä bilanciou bázických kationov v pôde.

$$CL_{\max} S = BC_{\text{dep}} - C_{\text{ldep}} + BC_w - BC_u + 1,5 \cdot ((B_{\text{cdep}} + B_{\text{cw}} - B_{\text{cu}}) / (B_c / Al)_{\text{crit}}) + Q^{2/3} \cdot (1,5 \cdot (B_{\text{cdep}} + B_{\text{cw}} - B_{\text{cu}}) / (B_c / Al)_{\text{crit}} \cdot K_{\text{gibb}})^{1/3}$$

- Maximálna kritická záťaž (prípustná depozícia) acidifikačného dusíka ($CL_{\max} N$), je v prípade nulovej depozície síry súčtom viazaného dusíka a depozíčne závislej denitrifikácie.

$$CL_{\max} N = CL_{\min} N + CL_{\max} S / 1 - f_{\text{de}}$$

- Minimálna kritická záťaž pre dusík ($CL_{\min} N$) je súčtom celkovej depozície dusíka zadržanej procesmi imobilizácie a odberom vegetácie s následným vyťažením.

$$CL_{\min} N = N_i + N_u$$

- Kritická záťaž nutričného dusíka ($CL_{\text{nut}} N$) predstavuje maximálny podiel dusíka, ktorý je ekosystém schopný využiť bez vyvolania procesu eutrofizácie pôd a povrchových vôd. Zahŕňa úbytky dusíka z ekosystému a prípustné vymývanie dusíka a denitrifikáciu

$$CL_{\text{nut}} t(N) = N_i + N_u + N_{\text{le(crit)}} / 1 - f_{\text{de}}$$

Výpočtom uvedených parametrov kritických záťaží pre všetky jednotky priestorového rozdelenia lesa sme získali podklady k tvorbe máp osobitne pre vybrané štyri dreviny s najvyšším zastúpením v modelovom území (smrek, buk, jedľa a borovica). Z dôvodu obmedzeného rozsahu príspevku nie je možné prezentovať všetky mapové výstupy, preto vo vyhodnotení prednostne venujeme pozornosť drevinám smrek a buk, a parametrom kritických záťaží $CL_{\max} S$ a $CL_{\text{nut}} N$. Pre kompletnosť uvádzame pre dreviny jedľu a borovicu aspoň histogramy a tabuľkové spracovanie hodnôt kritických záťaží síry a dusíka.

Príprava klimatických vstupov a modelovanie depozície

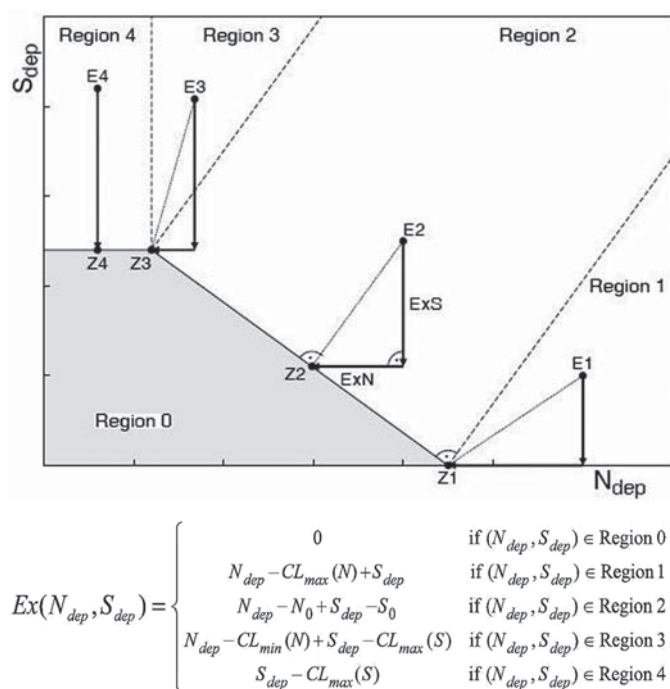
Stacionárne modely uvažujú s predpokladom, že kritická záťaž je „prírodná vlastnosť lesného ekosystému“, ktorá sa v čase nemení, preto ako vstupy, tak aj výsledné hodnoty sú dlhodobé priemery a je potrebné ich posudzovať z hľadiska dlhodobých efektov. Na základe uvedeného faktu vstupovali do výpočtu kritických záťaží práve dlhodobé priemery úhrnov zrážok a teplôt vzduchu, vytvorené na báze

Tab. 5.

Koeficienty zvetrávania bázických kationov v zóne prekorenienia a hodnoty denitrifikačnej frakcie podľa rôznych pôdnych typov (DE VRIES et al. 1997)

Values of the weathering rates in the root zone and denitrification fraction according to soil types (DE VRIES et al. 1997)

Pôdny typ/ Soil type	Mapový kód/ Map code	Zvetrávanie BC/ Weathering rate [eq. ha ⁻¹ . yr ⁻¹ . m ⁻¹]	Hĺbka prekorenienia/ Root depth [m]	Zvetrávanie BC v koreňovej zóne/ Weathering rate in root zone [eq. ha ⁻¹ . yr ⁻¹]	f _{de} / Denitrification factor
Rendziny/ Rendzinas	21, 22, 2324, 25, 26	10 000	0,3	3 000	0,1
Hnedozem/ Brown soils	44	2 000	0,6	1 200	0,1
Luvizem/ Luvisols	51	1 500	0,4	600	0,1
	54	2 000	0,4	800	0,1
Kambizem/ Cambisols	61	2 000	0,5	1 000	0,1
	62, 63, 66	1 500	0,5	750	0,1
	160	500	0,5	250	0,1
Podzol/Podzols	71, 72, 73	500	0,3	150	0,1
Pseudogley/ Pseudogley	81	1 000	0,3	300	0,7
	82	1 500	0,3	450	0,7
Fluvizem/ Fluvisols	91	1 000	0,4	400	0,1
	93	10 000	0,4	4 000	0,1
	94	2 500	0,4	1 000	0,1
	96	2 000	0,4	800	0,1
Organozem/ Histosols	111, 112	200	0,4	80	0,8
Antropozem/ Anthropic soils	121	1 000	0,2	200	0,1
Ranker/Rankers	122	500	0,1	50	0,1



Obr. 3.

Rôzne prípady prekračovania kritických zátŕaží pre konkrétnu funkciu kritickej zátŕaže (podľa metodiky POSCHA et al. 1995)

Illustration of different cases of the exceedance for a given critical load function (according to POSCHA et al. 1995)

údajov z celoslovenskej staničnej siete SHMÚ (raster s rozlíšením 30 m). Celková depozícia síry, dusíka, chlôru a bázických prvkov bola modelovaná podľa modelu dlhodobých priemerov ročných úhrnov zrážok, prepočítavacích koeficientov mokrej depozície a faktorov obohatenia porastových zrážok (tab. 2, upravené podľa MINDÁŠA, ŠKVARENINU 1998). Prepočítavacie koeficienty sú aktualizované na obdobie rokov 2000 - 2005 podľa meraní kvantity a kvality zrážok (wet-only) na EMEP stanici Liesek v uvedených rokoch (Správy o kvalite ovzdušia, 2000 - 2005).

Príjem dusíka a bázických prvkov

Výpočet príjmu dusíka (N) a bázických prvkov (BC) prebiehal individuálne pre každú zo štyroch záujmových drevín a osobitne pre drevo a kôru. Príjmy dreva a kôry boli následne po jednotlivých prvkoch sčítané, pričom celkový príjem bázických prvkov je tvorený sumou príjmu horčíka, vápnika a draslíka. Príjem sodíka drevinami možno považovať v našich podmienkach za zanedbateľný, preto je Bc_d rovné Bc_k a odlišné označenie je v tomto prípade len formálne. Podľa tabuľky 1 je zřejmý výpočet príjmu dusíka a bázických prvkov.

Jedným z dôležitých vstupov pre výpočet príjmov sú obsahy dusíka a bázických prvkov v kôre a dreve jednotlivých drevín. Pre výpočet boli použité výsledky analýz obsahov N a BC zo siete trvalých monitorovacích plôch Slovenska (16 x 16 km), ktoré boli interpolované geoštatistickými metódami do priestoru (v prípade nepotvrdennej priestorovej závislosti boli použité priemerné hodnoty z plôch spadajúcich do záujmového regiónu). V tabuľke 3 sú uvedené priemerné obsahy dusíka a bázických prvkov jednotlivých drevín použité vo výpočte.

Ako ďalší prvok ovplyvňujúci hodnotu celkového príjmu dusíka a bázických prvkov drevinami je hustota dreva a kôry. Pre vybrané dreviny boli použité hodnoty uvedené v tabuľke 4 (POŽGAY et al. 1993).

Rubný prírastok drevín bol vykalkulovaný pre každú jednotku priestorového rozdelenia lesa na základe bonity dreviny a rubného veku uvedených v rastových tabuľkách (HALAJ et al. 1987 – celkový priemerný prírastok CPP v m³ hrubiny bez kôry, pre zásobovú úroveň 2 a združený porast). Pomocou opravných koeficientov (+10 %) bol prírastok prepočítaný na hrubinu s kôrou, z čoho boli následne odvodené prírastky kôry osobitne.

Hodnoty celkového príjmu dusíka a bázických katiónov drevinami boli v jednotlivých porastoch (JPRL) ešte redukované priemerným zakmenením v záujmovej oblasti (0,9).

Pôdne parametre

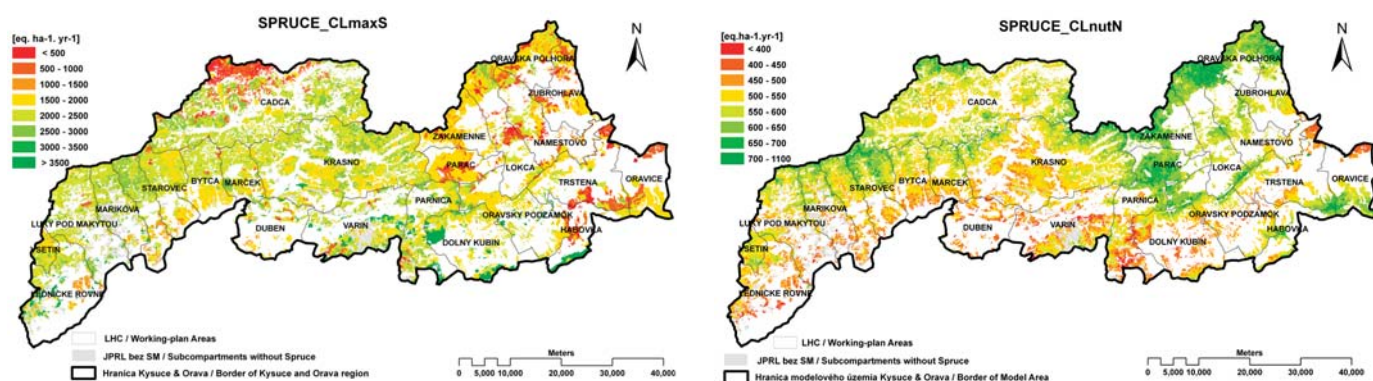
Kľúčovými vo výpočte kritických zátŕaží sú parametre pôdných procesov, najmä zvetrávanie bázických katiónov. Intenzita zvetrávania však ovplyvňuje veľké množstvo faktorov prostredia a jeho kvantifikácia je preto veľmi komplikovaná. Stanovenie miery zvetrávania materskej horniny je tak považované za jeden z najslabších článkov aj vo výpočte kritických zátŕaží lesných pôd. Pre naše účely boli ako podklad použité lesnícke pôdne mapy a na základe ich transformácie do mapových kódov pôdnej mapy Slovenska boli v zmysle práce DE VRIESA et al. (1997) každému pôdnemu typu priradené zodpovedajúce hodnoty koeficienta zvetrávania bázických katiónov a denitrifikačnej frakcie (tab. 5). Hĺbka koreňovej zóny bola pre každý pôdny typ stanovená podľa empirických zistení z daného regiónu (10 - 60 cm).

Prekračovanie kritických zátŕaží

Na posúdenie ohrozenosti lesných ekosystémov v predmetnom území bolo potrebné konfrontovať imisné vstupy (depozíčné modely) s výsledkami mapovania kritických zátŕaží a tak zistiť, o koľko a na ktorých miestach sú limitné hodnoty prekročené, resp. neprekročené. Prekračovanie kritických zátŕaží bolo vypočítané pre každú drevinu osobitne podľa algoritmov uvedených v manuáli Mapping Manual (2004, Chapter VII). Každý porast (JPRL) bol v zmysle metodiky POSCHA et al. (1995), prezentovanej na obrázku 3, zaradený podľa vlastných parametrov do jedného z piatich regiónov (región 0 až región 4). Keďže v rámci jedného porastu je možné a bežné zmiešanie viacerých druhov drevín, boli v konfliktných prípadoch brané do úvahy dreviny s vyššími hodnotami prekračovania kritickej zátŕaže (z dôvodu zohľadnenia najvyššieho rizika ohrozenia lesného ekosystému).

Metodika výpočtu CL modelom PROFILE

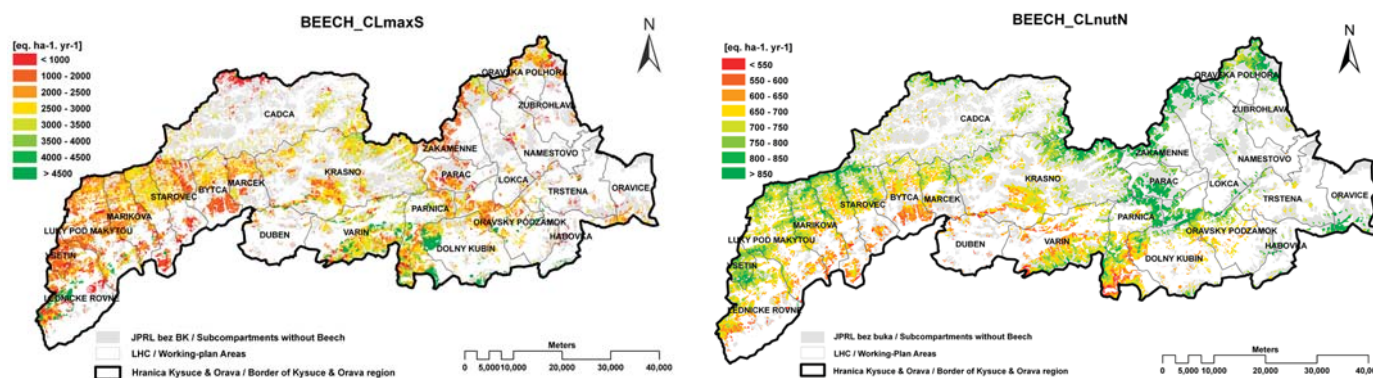
Pre zhodnotenie protiacidifikačného potenciálu lesných pôd a kalkuláciu hodnôt kritických zátŕaží v predmetnej oblasti bol paralelne zvolený aj druhý (lokálny) prístup, a to výpočet kritických zátŕaží pomocou modelu PROFILE (SVERDRUP et al. 1990). Výpočet prebiehal v rámci výskumnej plochy na lokalite Šadibolovci (901 m n. m., Kysuce, LHC Krásno). Na tejto ploche sme sa v lesnom poraste horskej polohy sústredili na dominantnú drevinu smrek. Pôdnym predstaviteľom je na uvedenej lokalite kambizem modálna, t.j. najzastúpenejší pôdny typ v skúmanom regióne. Z uvedenej lokality boli z 5 rôznych hĺbok pôdnej sondy odobraté vzorky pôd (do 80 cm), v ktorých bol rtg difrakčnou práškovou analýzou vyhodnotený kvantitatívny podiel ílových a neílových minerálov (%).



Obr. 4.

Priestorové rozloženie hodnôt maximálnej kritickej záťaže síry (vľavo) a nutričného dusíka (vpravo) pre drevinu smrek v lesných porastoch Kysuc a Oravy

Spatial distribution of the maximum critical loads for sulphur (left map) and critical loads of nutrient nitrogen (right map) for spruce in the Kysuce and Orava regions



Obr. 5.

Priestorové rozloženie hodnôt maximálnej kritickej záťaže síry (vľavo) a nutričného dusíka (vpravo) pre drevinu buk v lesných porastoch Kysuc a Oravy

Spatial distribution of the maximum critical loads for sulphur (left map) and critical loads of nutrient nitrogen (right map) for beech stands in the Kysuce and Orava regions

Hodnoty vstupov látok z atmosférickej depozície boli prebrané z priamych depozičných meraní na monitorovacej ploche Grónik (875 m n. m., plocha II. úrovne ICP Forests) počas obdobia rokov 2001 - 2004. Pre mierne korekcie depozície boli depozičné dáta konfrontované tiež s celoslovenským modelom atmosférickej depozície vypočítaným podľa koeficienta mokrej depozície na základe množstva zrážok a depozičného faktora.

Ako chemické kritérium bol vo výpočte použitý pomer Bc/Al (pomer koncentrácií bázičných kationov vápnika, draslíka, horčíka a voľného hliníka v pôdnom roztoku) a kritickými hodnotami boli na úrovni konkrétnych drevín údaje pre 10 a 20% riziko, keď kritickými sú hodnoty 2,8 a 1,2. Podrobnejšie je metodika modelu Profile uvedená v práci KUNCU (2003).

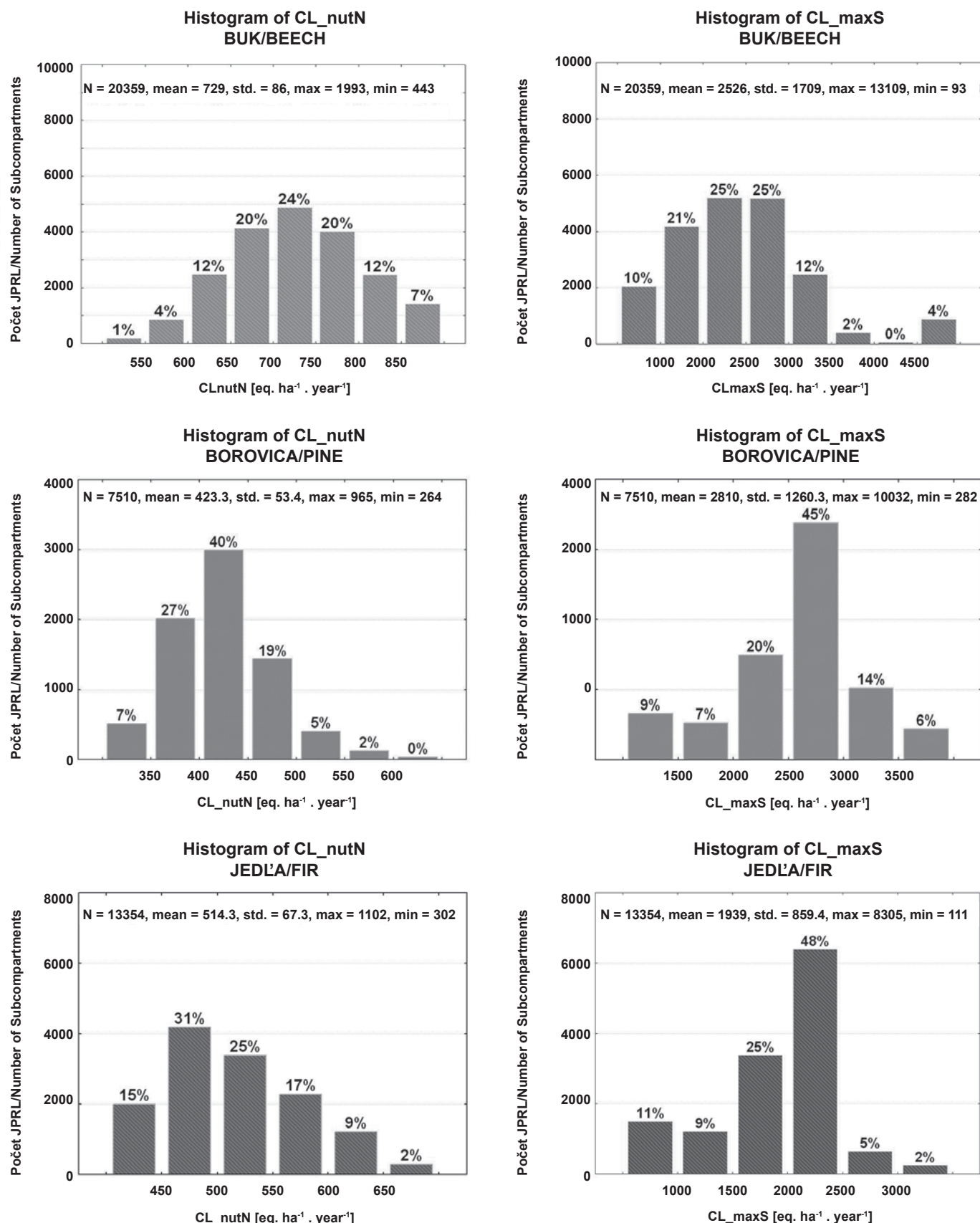
VÝSLEDKY A DISKUSIA

Mapovanie kritických záťaží metódou SSMB

V rámci mapovania kritických záťaží v regióne Kysuc a Oravy bolo celkovo spolu zhodnotených 41 877 porastových jednotiek (JPRL). Vyše 90 % zo všetkých jednotiek tvorili porasty so smre-

kom, v 49 % bol v drevinovom zložení zastúpený buk, v 32 % zo všetkých porastov sa vyskytla jedľa a takmer 18 % lesných porastov bolo vyhodnocovaných ako borovicových. Výsledky mapovania kritických záťaží pre dreviny smrek a buk v predmetnom regióne Kysuc a Oravy vidíme na obrázkoch 4 a 5. Maximálna kritická záťaž síry dosahuje najnižšie hodnoty v severnom pohraničí Kysuc a na viacerých miestach Oravského regiónu. Z analýzy histogramu všetkých hodnôt (obr. 6) je zjavné, že pomerne vysoké percento smrekových porastov (15 %) vykazuje hodnoty kritických záťaží do 1 500 ekv.ha⁻¹.rok⁻¹, ktoré signalizujú pomerne vysokú citlivosť lesných pôd voči zakysľujúcim vstupom. Plošne najvýznamnejší podiel smrekových ekosystémov sa však nachádza v rozpätí hodnôt kritických záťaží síry od 1 500 – 3 000 ekv.ha⁻¹.rok⁻¹. Naopak najvyššie hodnoty $Cl_{max}S$ (najvyššia odolnosť) sa vyskytujú v južných partiách Oravského regiónu, kde sa vo vyššej miere objavujú pôdy s priaznivejšími možnosťami zvetrávania bázičných kationov (rendziny).

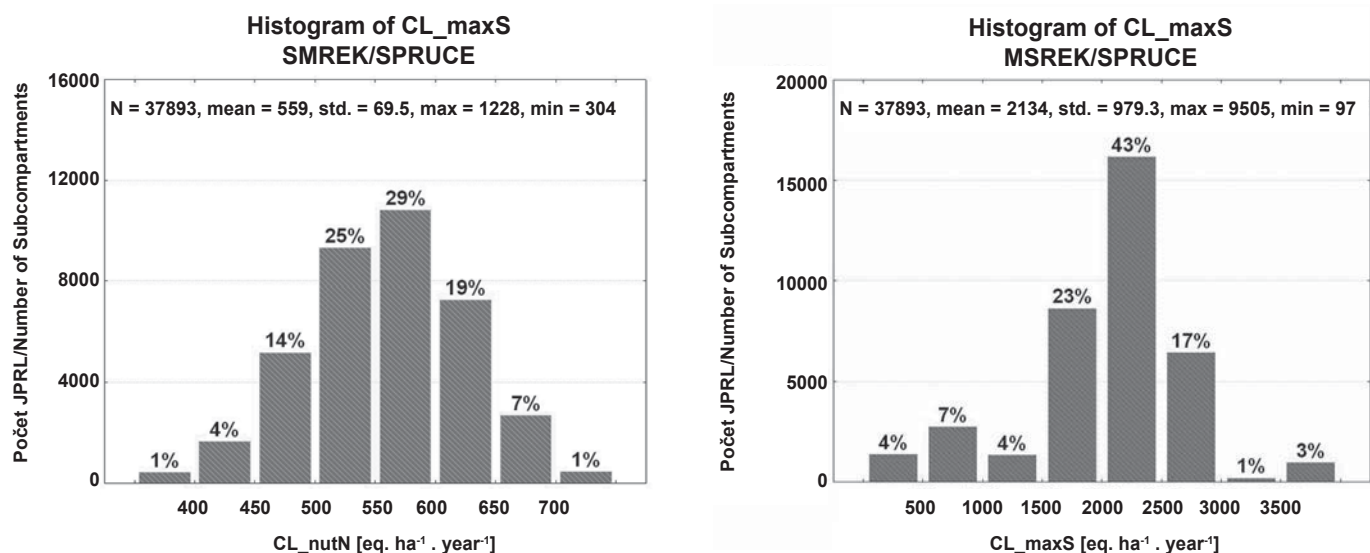
Hodnoty kritických záťaží nutričného dusíka dosahujú v smrekových porastoch pomerne nízke hodnoty, vyše 95 % zo všetkých vyhodnotených porastov sa nachádza do hodnoty kritickej záťaže 700 ekv.ha⁻¹.rok⁻¹, čo predstavuje riziko eutrofizácie takmer na celom



Obr. 6.

Histogramy hodnôt maximálnej kritickej záťaže síry (vľavo) a kritickej záťaže nutričného dusíka (vpravo) pre drevinu smrek, buk, jedľa a borovica v mapovanom území

Histograms of maximum critical loads of sulphur (left) and critical loads of nutrient nitrogen (right) for spruce, beech, fir and pine in the Kysuce and Orava regions



Obr. 6. (pokračování)

Histogramy hodnôt maximálnej kritickej záťaže síry (vľavo) a kritickej záťaže nutričného dusíka (vpravo) pre drevniny smrek, buk, jedľa a borovica v mapovanom území

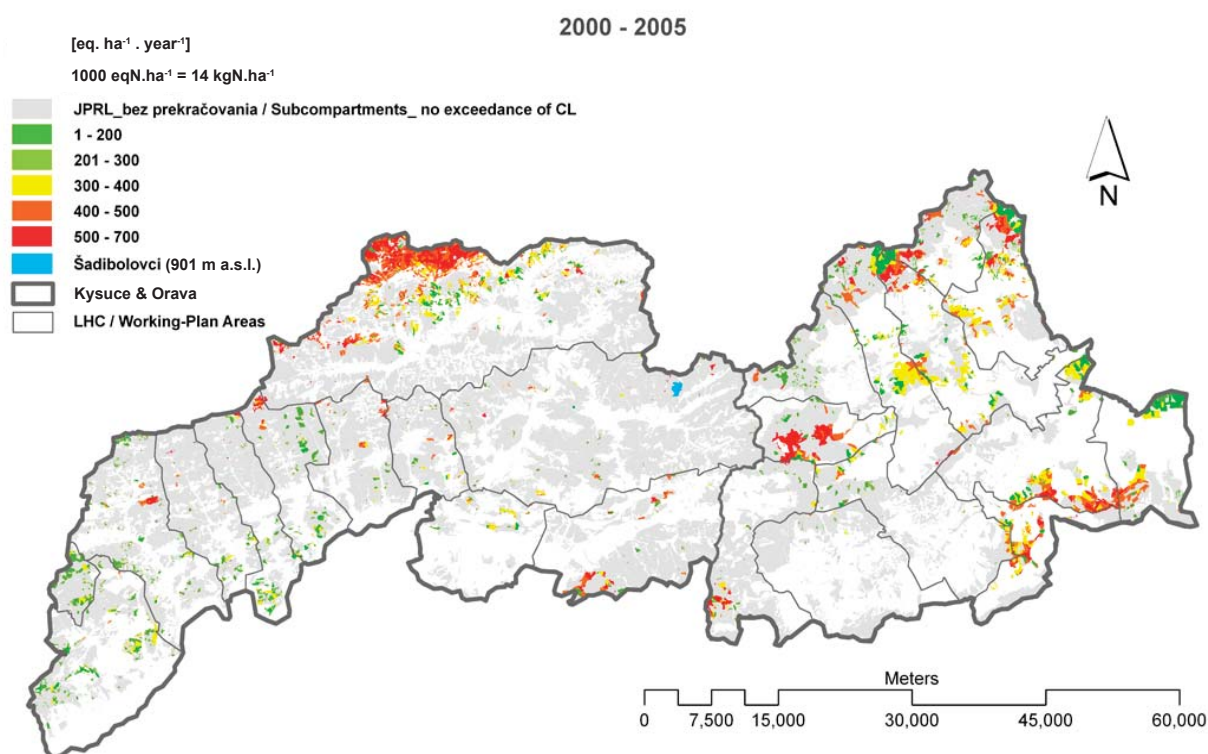
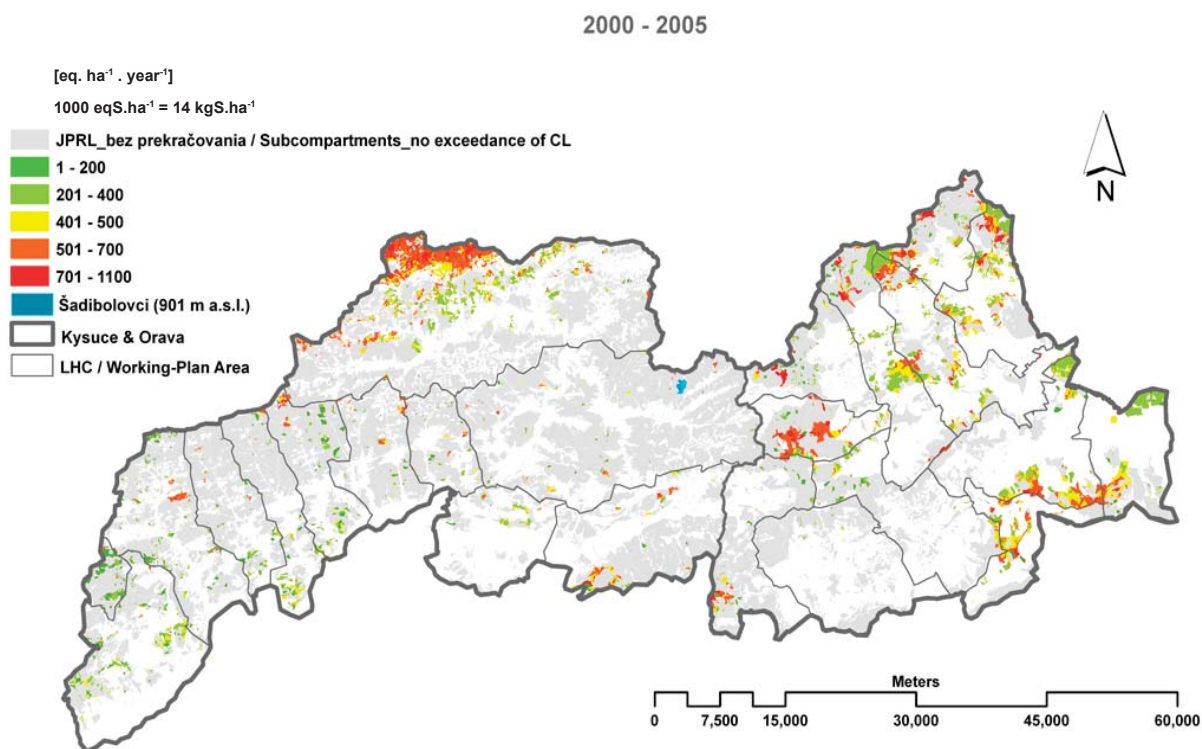
Histograms of maximum critical loads of sulphur (left) and critical loads of nutrient nitrogen (right) for spruce, beech, fir and pine in the Kysuce and Orava regions

Tab. 6.

Hodnoty 5, 50 a 95 percentilov maximálnej kritickej záťaže síry (CL_{maxS}), minimálnej kritickej záťaže dusíka (CL_{minN}) a kritickej záťaže nutričného dusíka (CL_{nutN}) vypočítané pre región Kysuc a Oravy, v porovnaní s publikovanými údajmi pre lesy Slovenska, lesnú oblasť Poľany a Nízkyh Tatier

Percentile values of critical loads (in $eq \cdot ha^{-1} \cdot yr^{-1}$) for nitrogen and sulphur calculated for four dominating forest trees species within the Kysuce and Orava region in comparison with data published for forest ecosystems in Slovakia, in forest region Poľana and Low Tatras Mts.

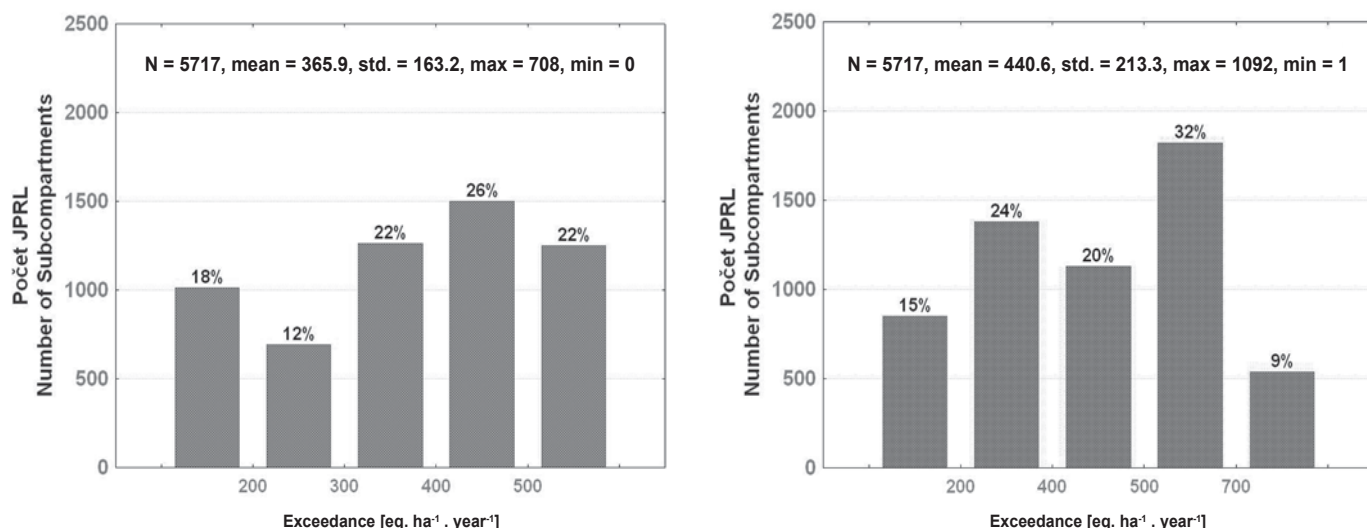
Kritické záťaže acidity pre lesné ekosystémy regiónu Kysuc a Oravy/Critical loads of acidity for forest ecosystems in Kysuce and Orava regions									
	CL_{minN}			CL_{nutN}			CL_{maxS}		
[$eq \cdot ha^{-1} \cdot yr^{-1}$]	5 %	50 %	95 %	5 %	50 %	95 %	5 %	50 %	95 %
Smrek/Spruce	337	435	527	446	560	665	574	2 243	2 781
Jedľa/Fir	305	376	490	420	506	627	413	1 961	2 439
Borovica/Pine	244	307	393	344	420	516	1 156	2 812	7 128
Buk/Beech	348	438	543	600	726	862	321	2 367	3 677
Kritické záťaže acidity pre lesné ekosystémy Slovenska/Critical loads of acidity for forest ecosystems in Slovakia (according to ZÁVODSKÝ et al. 2001)									
	CL_{minN}			CL_{nutN}			CL_{maxS}		
[$eq \cdot ha^{-1} \cdot yr^{-1}$]	5 %	50 %	95 %	5 %	50 %	95 %	5 %	50 %	95 %
Lesné porasty/Forest stand	239	463	581	317	607	789	435	2 487	11 039
Ihličnaté/Conifers	268	454	561	357	611	761	1 253	2 724	8 402
Listnaté/Broadleaves	228	469	588	300	604	801	356	2 178	12 142
Kritické záťaže síry a dusíka pre lesnú oblasť Poľany/Critical loads of sulphur and nitrogen for forest region Poľana (according to ŠKVARENINA, MINĐÁŠ 2002)									
	CL_{minN}			CL_{nutN}			CL_{maxS}		
[$eq \cdot ha^{-1} \cdot yr^{-1}$]	5 %	50 %	95 %	5 %	50 %	95 %	5 %	50 %	95 %
Lesné porasty Poľany/Poľana forest stands	442	640	724	512	739	878	1469	3242	4218
Kritické záťaže síry a dusíka pre lesnú oblasť Nízke Tatry/Critical loads of sulphur and nitrogen for forest region Low Tatras Mts. (according to MINĐÁŠ, PAVLENDÁ 2000)									
	CL_{minN}			CL_{nutN}			CL_{maxS}		
[$eq \cdot ha^{-1} \cdot yr^{-1}$]	5 %	50 %	95 %	5 %	50 %	95 %	5 %	50 %	95 %
Smrek/Spruce	557	647	711	665	774	839	1 994	2 464	3 692
Jedľa/Fir	569	734	824	668	826	941	1 518	2 010	1 8151
Buk/Beech	621	750	816	801	927	1 001	463	833	2 747



Obr. 7.

Mapové zobrazenie prekročovania kritických zátŕaží síry (hore) a dusíka (dole) v lesných ekosystémoch Kysuc a Oravy

Map presentation of CL exceedance of sulphur and nitrogen for forest ecosystems in Kysuce and Orava region (top map for sulphur, bottom map for nitrogen)



Obr. 8.

Histogramy hodnôt maximálnej kritickej záťaže nutričného dusíka (vľavo) a kritickej záťaže síry (vpravo) pre dreveniny smrek, buk, jedľa a borovica v mapovanom území Kysuce a Oravy

Histograms of maximum critical loads of nutrient nitrogen (left) and critical loads of sulphur (right) for spruce, beech, fir and pine in the Kysuce and Orava regions

území. V niektorých častiach územia je tak možné narušenie živinovej rovnováhy práve z aspektu nadmerného prekračovania limitov pre nutričný dusík.

V porovnaní so smrekom dosahujú hodnoty maximálnej kritickej záťaže síry pri buku širšie variačné rozpätie, maximálna hodnota $Cl_{max} S$ dosahuje v skúmanom území 13 109 ekv.ha⁻¹.rok⁻¹ (obr. 6), pričom 50 % všetkých hodnotených bukových porastov sa nachádza v rozpätí $Cl_{max} S$ od 2 000 – 3 000 ekv.ha⁻¹.rok⁻¹. Výsledky mapovania kritických záťaží nutričného dusíka preukázali pri buku celkovo vyššie hodnoty, a teda mierne nižšiu ohrozenosť bukových porastov eutrofizáciou prostredia, no celkovo nemožno zistený stav považovať za uspokojivý. Vzhľadom na rozdielny priestorový výskyt jednotlivých druhov drevín je samozrejme možné zrovnávať len frekvenciu výskytu hodnôt (histogramy) kritických záťaží síry a dusíka a nie ich priestorové rozloženie v modelovom území. Z ostatných mapovaných drevín sa ešte vyššou citlivosťou voči acidifikácii prostredia ako smrek ukazuje byť jedľa. Až 20 % hodnôt $Cl_{max} S$ sa pri porastoch s jedľou nachádza do hodnoty 1 500 ekv.ha⁻¹.rok⁻¹. Potvrdzuje to aj staršie výsledky laboratórnych pokusov, podľa ktorých je jedľa citlivejšia na chemické zmeny v pôde vyvolané kyslou depozíciou (SVERDRUP, WARVINGE 1993). Podobne aj kritické záťaže nutričného dusíka dosahujú pri jedli a borovici ešte nižšie hodnoty maximálne prístupného limitu pre eutrofizáciu pôd ako pri smreku.

Všetky výsledné hodnoty 5., 50. a 95. percentilov kritických záťaží síry a dusíka sú zosumarizované v tabuľke 6, ktorá zároveň umožňuje porovnanie našich výsledkov s inými publikovanými údajmi v rámci oblastí Slovenska. Rozdiely medzi jednotlivými regiónmi sú zrejme najmä v 5 percentiloch maximálnej kritickej záťaže síry. Nami mapovaný Kysucko-oravský región vykazuje pomerne výrazne nižšie hodnoty $Cl_{max} S$ u ihličnatých aj listnatých druhov v porovnaní napr. s Poľanou alebo Nízkymi Tatrami. Uvedené zistenie je možné interpretovať z rôznych aspektov. Významný rozdiel, ktorý môže celkovo ovplyvňovať výsledné hodnoty kritickej záťaže

síry, je odlišné geologické podložie a zastúpenie pôdnych predstaviteľov v porovnávaných oblastiach (vulkanity v oblasti Poľany, horniny kryštalinika v Nízkych Tatrách a flyš Kysuc a Oravy), s čím úzko súvisia procesy zvetrávania, pôdna mineralógia a celková bilancia základných kationov v pôde. Ďalej netreba zabúdať na relatívne zjednodušené stanovovanie depozície základných prvkov v porovnaní s reálnou komplikovanosťou ich vnútorných procesov v rámci lesných ekosystémov. Významný vplyv má tiež pravdepodobne parameter príjmu základných kationov drevinami, ktorého kalkulácia na základe malého počtu analýz obsahu horčíka, draslíka a vápnika v kôre a dreve drevín nie je vzhľadom na priestorovú premenlivosť týchto obsahov postačujúca.

Variabilita horných hodnôt 95 percentilov maximálnej kritickej záťaže síry v rámci porovnávaných regiónov je logická a viaže sa predovšetkým na plošný výskyt rendzín alebo pararendzín v konkrétnej oblasti.

Prekračovanie kritických záťaží síry a dusíka

Konfrontáciou vypočítaných kritických limitov s hodnotami depozície síry a dusíka modelovanými pre obdobie rokov 2000 - 2005 sme získali priestorové rozloženie prekračovania kritických záťaží (obr. 7). Vyhodnotenie ukázalo celkové prekračovanie kritických záťaží acidity na 13,7 % územia Kysuc a Oravy. Najvyššie hodnoty prekračovania sa viažu k pôdam s nízkym potenciálom zvetrávania základných kationov (podzoly, kyslé a oglejené hnedé lesné pôdy). Z obrázku 7 je navyše zrejme, že prekračovanie kritických záťaží kalkulovaných metódou SSMB sa na lokalite Šadibolovci na Kysuciach nepreukázalo (modrý polygón). V rámci Slovenska boli kritické záťaže acidity prekračované v roku 1990 v priemere na 50 %, v roku 1995 na 31 % z celkovej výmery lesných plôch (MINDÁŠ et al. 1999). Znižovanie miery prekračovania je v zhode s celkovým trendom poklesu síranov v atmosférických zrážkach. Výskum v oblasti Spiša v roku 2005 preukázal prekračovanie KZ až na 49 % územia lesných

Tab. 7.

Hodnoty kritických záťaží pre lokalitu Šadibolovci vypočítané modelom PROFILE a príslušná kyslá záťaž (v $\text{kekv.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$)
Critical load values of acidity for spruce stand at Šadibolovci locality calculated by the PROFILE model (in $\text{keq.ha}^{-1}.\text{yr}^{-1}$)

Smrek/Spruce [$\text{keq.ha}^{-1}.\text{yr}^{-1}$]	Kritická záťaž acidity/Critical load of acidity		kyslá záťaž/ acid load
	10% - risk	20% - risk	
Šadibolovci (901 m a. s. l.)	3,178	4,673	6,512

pôd (KUNCA et al. 2006). Porovnanie s výsledkami zo Spišského regiónu nemožno však vzhľadom na pretrvávajúce lokálne znečisťovanie ovzdušia v tejto oblasti odporúčať.

Mieru prekračovania kritických záťaží síry a dusíka je možné posúdiť nielen na základe mapovej legendy na obrázku 7, ale aj podľa frekvencie výskytu hodnôt prekračovania kritických záťaží. Z histogramov na obrázku 8 je zrejme absolútne aj relatívne vyjadrenie početností jednotiek priestorového rozdelenia lesa a kategórie miery prekračovania kritických záťaží v nich, ktoré sú v súlade s mapovými výstupmi. Čo sa týka prekračovania kritických záťaží síry, v 32 % prípadoch zo všetkých dotknutých JPRL boli limitné hodnoty prekročené kyslými vstupmi o 500 až 700 $\text{ekv.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$ (t.j. cca 8 – 11 $\text{kg.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$). V prípade dusíka bolo prekračovanie kritických záťaží zistené vo väčšine prípadov (78 %) do hodnoty 500 $\text{ekv.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$ (t.j. 7 $\text{kg.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$), vo zvyšných 22 % JPRL bola miera prekračovania vyššia ako uvedených 500 $\text{ekv.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$. V zmysle relatívnej stupnice hodnotenia prekročenia kritických záťaží síry a dusíka podľa MINĐÁŠA a PAVLENDU (2000) môžeme skonštatovať, že prekračovanie kritických hodnôt v mapovanom regióne Kysuc a Oravy môže mať na lesné ekosystémy mierny vplyv v prípade vstupov dusíka a mierny až stredne silný vplyv v prípade depozície síry.

Kritické záťaž podľa modelu PROFILE

Hodnoty kritických záťaží vypočítané modelom PROFILE a príslušná kyslá záťaž pre výskumnú lokalitu Šadibolovci (v $\text{kekv.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$) sú uvedené v tabuľke 7.

K tzv. prekročeniu kritickej záťaže dochádza pri obidvoch rizikách, teda kyslá záťaž vstupujúca z atmosféry je vyššia ako tlmiť schopnosť smrekového lesného ekosystému voči acidifikácii. 10, príp. až 20 % jedincov smreka môže byť poškodených alebo dokonca môže uhynúť vzhľadom na zmenu chemickej bilancie prostredia týchto lesných ekosystémov, prípadne vplyvom tohto fenoménu môžu byť tieto stromy vážne oslabené.

Tieto výpočty naznačili niektoré zaujímavé zistenia. Hodnoty kritických záťaží sú na slovenské pomery pomerne vysoké. Je to zapríčinené hlavne vysokým podielom uvoľnených bázičských kationov v procese pôdneho zvetrávania, čo je jeden zo základných parametrov pri výpočte kritických záťaží. Ročné hodnoty predstavujú až 2 941 $\text{ekv.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$ Ca, Mg, K a Na, čo je spôsobené hlavne pomerne vysokým zastúpením albitu (zhruba 12 %) v každom pôdnom horizonte, príp. ílových minerálov ako chlorit. Albit sa pri procese zvetrávania rozpadáva a okrem iného sa tak uvoľňujú vysoké množstvá sodíka. Pri celkovom zhodnotení atmosférickej depozície je navyše zrejme, že zvlášť vstupy zakysľujúcich zložiek síranov a dusičnanov sú výrazne vysoké na slovenské pomery, zatiaľ čo atmosférické vstupy báz sú v tomto ohľade relatívne nízke.

SÚHRN A ZÁVER

Z mapovania kritických záťaží v Kysucko-oravskom regióne vyplynulo niekoľko poznatkov:

- Zistené hodnoty kritických záťaží síry a dusíka sa pohybujú v rozpätí približne porovnateľnom s publikovanými výsledkami z iných výskumov, v niektorých prípadoch sú hodnoty kritických záťaží výrazne nižšie ako slovenský priemer alebo hodnoty zistené v iných regiónoch, čo môže indikovať nižší potenciál mapovaných lesných ekosystémov voči acidifikácii.
- Na druhej strane i maximálny prípustný limit pre nutričný dusík je podľa nášho mapovania na mnohých miestach prekračovaný a lesné porasty sú tak vystavené aj zvýšenému riziku eutrofizácie a spustenia výživovej nerovnováhy.
- Porovnanie priestorového výsledku metódy SSMB s bodovým výpočtom kritických záťaží acidity modelom PROFILE prinieslo protichodný výsledok. Hodnoty kritickej záťaže acidity vypočítané podľa modelu PROFILE sú na lokalite Šadibolovci (901 m n. m.) prekročené, podľa výsledku SSMB sa na uvedenej lokalite prekračovanie KZ acidity nepreukázalo, čo len potvrdzuje niektoré nevýhody aplikácie celoplošných modelov v menších regiónoch a potrebu získavať podrobnejšie vstupné informácie napr. o pôdnom prostredí a najmä procesoch zvetrávania.
- Prekračovanie kritických záťaží síry a dusíka sa preukázalo na relatívne malej výmere z celového mapovaného územia (13,6 %), čo možno pripísať klesajúcim depozičným vstupom v rokoch 2000 - 2005, no na druhej strane je diskutabilný depozičný model, ktorý by bolo vhodné pri regionálnych aplikáciách podporiť viacerými vlastnými meraniami.

Náš výskum o možnom významnom vplyve zakysľujúcej atmosférickej depozície posledných niekoľkých rokov, ale aj aktuálnej situácie, v podmienkach typických lesných ekosystémov Kysuc a Oravy len potvrdil, že v uplynulom období niekoľkých rokov ako aj v súčasnosti, dochádza k prekročeniu kritickeho depozičného limitu (tzv. kritickej záťaže), a tak fenomén znečisteného ovzdušia zostáva naďalej jedným z rozhodujúcich činiteľov, ktoré oslabujú alebo až poškodzujú lesné ekosystémy v niektorých regiónoch Slovenska. S ohľadom na odumierajúce porasty v oblasti severného Slovenska nemožno tiež opomenúť už v úvode spomenutý fakt „imisnej pamäte“ ekosystémov prejavujúcej sa formou oneskorenej reakcie na antropogénnu záťaž v minulosti.

Podakovanie:

Príspevok vznikol ako súčasť riešenia Výskumnej úlohy MP SR „Rekonštrukcia nepôvodných lesných spoločenstiev ohrozených zmenou prírodných podmienok (najmä klímy) na ekologicky stabilnejšie ekosystémy“ (08V0301, úloha č. 12) a vedeckého grantového projektu VEGA č. 1/3283/06.

LITERATÚRA

- DE VRIES, W. Methodologies for assessment and mapping of critical loads and of the impact of abatement strategies on forest soils. The Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water research, Report 46, Wageningen, 1991. 109 s.
- DE VRIES, W., REINDS, G. J., Klap, J., VANMECHELN, L., VAN RANST, E. Calculation of model input to derive critical deposition levels. Annex B 4.2. Base cation weathering. In Mueller-Edzards, Ch., de Vries, W., Erisman, J. W. (eds.): Ten Years of Monitoring Forest Condition in Europe. Studies on Temporal Development, Spatial Distribution and Impacts of Natural and Anthropogenic Stress Factors. Technical Report, BFH, Germany, 1997, s. 343-344.
- HALAJ, J., GRÉK., J., PÁNEK, F., PETRÁŠ, R., ŘEHÁK, J. Rastové tabuľky hlavných drevín ČSSR. Bratislava: Príroda, 1987. 361 s.
- ICP Modelling and Mapping (2004): Manual on methodologies and criteria for mapping critical levels/loads and geographical areas where they are exceeded. UBA-Texte 52/04
- KUNCA, V. Kritické záťaže vo vybraných lesných ekosystémoch biosférickej rezervácie Poľana. Vedecké štúdie 4/2003/A. Zvolen: Technická univerzita, 2003. 71 s.
- KUNCA, V., MINĐÁŠ, J., ŠKVARENINA, J., BELÁČEK, B. Stanovenie kritických záťaží acidity pre lesné pôdy v oblasti stredného Spiša metódou SMB. Záverečná správa APVT. Ed. Jakuš, R. 2006. 196 s.
- LORENZ, M., FISCHER, R., BECHER, G., GRANKE, O., RIEDEL TH., ROSKAMS, P., NAGEL, H.-D., KRAFT, PH. Forest conditions in Europe. Technical Report of ICP Forests. 2nd Draft. 2007, 92 s.
- MINĐÁŠ, J., PAVLENDÁ, P. Hodnotenie kritických záťaží síry a dusíka lesných pôd v modelovom území Nízkyh Tatier. Lesnícky časopis, 2000, roč. 46, s. 173-186.
- MINĐÁŠ, J., PAVLENDÁ, P., ŠKVARENINA, J., KREMLER, M., PUKANČÍKOVÁ, K., ZÁVODSKÝ, D. Critical loads of acidity for Slovak forest ecosystems. Meteorologický časopis – Meteorological Journal, 1999, č. 2, s. 15-24.
- MINĐÁŠ, J., ŠKVARENINA, J. Stanovenie depozície elementov ako podklad pre výpočet kritických záťaží lesných pôd. In Lesy a lesnícky výskum pre tretie tisícročie. Medzinárodná vedecká konferencia, 11. - 14. 10. 1998. Zvolen: LVÚ, 1998, s. 341-345.
- NILSSON, J., GRENNFELT, P. Critical loads for sulphur and nitrogen. Acidification research in Sweden. Sept. 1989, National Swedish Environmental Protection Board, 1989, s. 1-2.
- POSCH, M., DE SMET, P. A. M., HETTELINGH, J.-P., DOWNING, R. J. Calculation and mapping of critical thresholds in Europe. CCE Status Report 1995. RIVM, Bilthoven, 1995.
- POSCH, M., DE SMET, P. A. M., HETTELINGH, J.-P., DOWNING, R. J. Modelling and mapping of critical thresholds in Europe. CCE Status Report 2001, RIVM, Bilthoven, 2001, 188 s.
- POŽGAY, A., CHOVANEC, D., KURIATKO, S., BABIAK, M. Štruktúra a vlastnosti dreva. Bratislava: Príroda, 1993. 159 s.
- Správy o kvalite ovzdušia a podiele jednotlivých zdrojov na jeho znečisťovaní v SR. 2000–2005. Zdroj: www.shmu.sk
- ŠKVARENINA, J., MINĐÁŠ, J. Imisná záťaž horských lesov biosférickej rezervácie Poľana. Acta Facultatis Forestalis, 2002, vol. 44, s. 29-44.
- SVERDRUP, H.-U., DE VRIES, W., HENRIKSEN, A. Mapping critical loads. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 1990. 124 s.
- SVERDRUP, H.-U., WARFVINGE, P. The effect of soil acidification on the growth of trees, grass and herbs as expressed by the (Ca + Mg + K)/Al ratio. Report 2. Lund University, 1993. 177 s.
- TOMLAIN, J. Waldevaporation auf dem Gebiet der Slowakei. Acta Meteorologica Univ. Comen. Bratislava, 1991, vol. XX, s. 3-19.
- ZÁVODSKÝ, D., MINĐÁŠ, J., PAVLENDÁ, P., ŠKVARENINA, J., KREMLER, M. National Focal Center Report - Slovakia. In Posch, M., de Smet, P. A. M., Hettelingh, J.-P., Downing, R. J. (eds.): Modelling and Mapping of Critical Thresholds in Europe, Status Report 2001. CCE, RIVM, Bilthoven, 2001, s. 165-167.
- ZÁVODSKÝ, D., BABIAKOVÁ, G., MITOŠINKOVÁ, M., PUKANČÍKOVÁ, K., RONČÁK, P., BODIŠ, D., RAPANT, S., MINĐÁŠ, J., ŠKVARENINA, J., CAMBEL, B., REHÁK, Š., WATHNE, B. M., HENRIKSEN, A., SVERDRUP, H., TORSETH, K., SEMB, A., AAMLID, D. Mapping critical levels/loads for the Slovak Republic. Report 37/1995. Oslo: NIVA, 1995. 74 s.

MAPPING OF THE ACIDITY CRITICAL LOADS FOR FOREST ECOSYSTEMS IN THE KYSUCE AND ORAVA REGION

SUMMARY

Unfavourable state of non-original forest stands in northern regions of Slovakia has stimulated more intensive research of factors which should be potentially responsible for this situation. In scientific works the question of air pollution impact on health state of forests is often discussed. The aim of our research is to map critical load values of acidity (CL) for forest ecosystems over the Kysuce and Orava regions and simultaneously to judge to what extent present deposition loads of acidifying compounds are the threat for forest part of the environment. The principle of the CL calculation methods is the determination of environment neutralising capacity (rocks, soils and waters) and its capability to absorb hydrogen ions released during atmospheric deposition of sulphur and nitrogen in the way to avoid environmental acidification and deterioration of ecosystems. For spatial mapping of CLs one-layer SSMB (Steady State Mass Balance) model was applied. Point (local) calculation was realized by multi-layer PROFILE model at research plot Šadibolovci (the Kysuce region).

Extensive set of input information on climate, soil, woody plants growing conditions and atmospheric depositions (S, N, base cations) was elaborated at the level of basic forest management units. On this database the following parameters for the Kysuce and Orava regions were determined by SSMB method: $CL_{max}(S)$ – maximum critical load for sulphur, $CL_{min}(N)$ – minimum critical load for nitrogen, $CL_{max}(N)$ – maximum critical load for nitrogen, $CL_{nut}(N)$ – critical load of nutrient nitrogen. In this way we obtained spatial distribution of individual CL outputs for four most occurred tree species (spruce, beech, fir, pine). By comparison of calculated critical limits with values of sulphur and nitrogen depositions modelled for time span of 2000 - 2005 we obtained spatial distribution critical load exceedances. The evaluation of maps proved total exceedance of acidity CL at 13,7% within the whole Kysuce and Orava area. The highest values of exceedance are logically related to the soils with low potential of the basic cations weathering (podzol, acid and pseudogley soils). According to published data critical values of acidity were exceeded by the acid deposition amount in 1990 averaging at 50% and in 1995 at 31% of the total forested area within the Slovak Republic. The decreasing percentage of CL exceedances corresponds well to sulphate trends in precipitation.

Also interesting is a comparison of SSMB spatial result with the point calculation critical load by the multi-layer PROFILE model. It was found that critical load calculated by PROFILE model is a little exceeded at research plot Šadibolovci (altitude 901 m a. s. l.), which means that acid input from the atmosphere is higher than the buffering ability of forest soils against acidification. Based on that fact between 10 to 20 percent of the trees could be weakened or even seriously damaged as a result of some chemical changes within the forest ecosystems. According to SSMB-method no CL exceedances were proved, which confirmed some disadvantages of spatial models and also the requirement to obtain more detailed input data on soil environment, especially on the weathering processes. In relation to forest decline in the regions of the northern part of the Slovak Republic, it is necessary to look at the well-known fact of an "immission memory" of the forest ecosystem, which can be shown by the delayed reaction of the trees to the anthropogenic influences in the past.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Zuzana Sitková, Ph.D., Národné lesnícké centrum, Lesnícky výskumný ústav
T. G. Masaryka 22, 960 92 Zvolen, Slovenská republika
tel.: 455 314 158; e-mail: sitkova@nlcsk.org

STOMATÁLNÍ REAKCE NA ZVÝŠENOU ZÁSObU VODY V LISTECH LÍPY MALOLISTÉ

Pro rostliny je životně důležitá schopnost regulace vody. Rostliny musí zajistit transport vody od kořenů do listů v průběhu jejich celého svého života a to za měnících se stanovištních podmínek i růstu samotného stromu. Během růstu stromů se právě stanovištní podmínky mění v závislosti na stupni zápoje, prodlužuje se vzdálenost mezi kořeny stromů a jejich korunami. Větve v korunách stromů jsou vystavovány díky své různé pozici různým klimatickým vlivům.

Vodivost listů a hydraulické faktory byly studovány na výmladcích lípy malolisté (*Tilia cordata* MILL.) na experimentálních plochách východního Estonska v období červen až září roku 2003. Na ploše se nachází smíšený les s vyšším zápojem topolu osiky a břízy bělokore a s lípou malolistou v dolním patře. Průměrné roční srážky na ploše jsou 650 mm, průměrná teplota v červenci je 17 °C a -6,7 °C v lednu. Vegetační sezona trvá 175 – 180 dní od poloviny dubna do října.

Pro podrobnější výzkum byly z těchto ploch vybrány tři navzájem sousedící lípy malolisté o výšce 17,1 – 17,6 m a výčetní tloušťce 13,1 – 14,3 cm. Kromě listů z nižších a horních pater koruny byly též do výzkumu zařazeny výmladky ze dvou zápojových pater o délce 25 cm s 8 až 12 listy, které byly řezány pod vodou. Analýza získaných dat byla provedena v počítačovém programu Statistica, verze 6.0 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA). Byly hodnoceny konduktivita listů ve vztahu k ozáření, vztah atmosférické evapotranspirace, teploty listů a stavu vody, reakce na změny ve vodní bilanci a dostupnost světla, průběh hydraulické konduktivity v korunách.

Stomatální vodivost v nižší části koruny uzavřeného zápoje je omezená nejenom díky menší dostupnosti světla, ale také obtížnější možností transportu vody. Přístup vody k listům v nižším zápojovém patru je omezenější než ve vyšším zápojovém patru. Výsledky hodnocení jsou shodné s parametry pro jiné dřeviny.

Eur. J. For. Res., 2007, vol. 126, no. 2, s. 241-251.

Kp

ÚČINEK POKRYVU SEMEN A PŘEDOSEVNÍ PŘÍPRAVY NA KLÍČENÍ SEMEN OLŠE LEPKAVÉ A BŘÍZY PÝŘITÉ

Olše lepkavá (*Alnus glutinosa* L.) a bříza pýřitá (*Betula pubescens* EHRH.), které se pěstují v Irsku ve formě prostokořenných sazenic, špatně klíčí. Proto byl na universitě v Dublinu iniciován výzkum, který se zaměřil na dvě možné příčiny této špatné klíčivosti: složení vrstvy, kterou se semena zakrývají, a průběh předosevní přípravy.

První pokus zahrnoval čtyři typy vrstev pokryvu semen: kamenou drť, štěrk, kamennou drť s pískem a štěrk s pískem. Celková hloubka pokryvné vrstvy byla 4 mm, písek byl 2 cm vysoký a byl vždy podkládán pod štěrk nebo kamennou drť. Pro hodnocení účinku písku samotného na klíčení byly přidány 2 mm a 3 mm vrstvy písku.

Pokus probíhal v místnosti, která byla rozdělena do 4 náhodných bloků, v každém bloku bylo po jedné variantě pokryvu semen. Teplota v pokusné místnosti byla 20 ± 1 °C, relativní vlhkost 35 %, osvětlení 16 hodin. Semena byla zavlažována hned po překrytí a potom v 4 - 8denních intervalech po dobu 6 týdnů. Sazenice byly spočítány, jakmile se objevily děložní listy.

Kombinace kamenné drti s pískem se ukázala jako nejlepší varianta pokryvu semen. Písek je schopen zadržet více vody a ovlivnit pozitivně růst hlavně olši. Břízy, které mají menší semena, je třeba přikrývat slabší vrstvou pokryvu.

Druhý pokus probíhal ve školce a zaměřil se na předosevní přípravu. Pro předosevní přípravu bylo použito čtyř kombinací ošetření máčením a chlazením, semenáčky se začaly objevovat po 4 až 7 dnech a byly spočítány, jakmile se objevily první listy. Semena byla vyseta na záhony pokryté 3 - 4mm vrstvou kamenné drti. Olše lepkavá byla vyseta v dubnu, bříza pýřitá díky větrnému počasí až koncem května.

Semena předklíčená ve vlhkém prostředí rostla lépe ve srovnání se semeny ošetřenými máčením. Pravděpodobnou příčinou je, že máčená semena začnou klíčit ještě dříve, než jsou vyseta.

Eur. J. For. Res., 2007, vol. 126, no. 2, s. 271-278.

Kp

VLIV RŮZNÝCH STRATEGIÍ PŘEMĚNY LESA NA PŘÍZEMNÍ VEGETACI A REGENERACI BOROVICE LESNÍ: PŘÍPADOVÁ STUDIE ZE SEVEROVÝCHODNÍHO NĚMECKA

Přeměna monokulturního lesa na přírodě blízký a přirozenější typ lesa se stala zvláště v Evropě hlavním cílem lesního hospodářství. V severovýchodním Německu, kde se díky hospodaření s lesy v minulosti vyskytují hlavně borovicové lesy, byl pozorován průběh různých způsobů přeměny monokulturního porostu borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.). Zvláštní pozornost byla věnována i dalším druhům listnatých dřevin, které lze najít v přirozeně se regenerujícím porostu.

Borovicový porost, kde pokus probíhal, se nachází v severovýchodním Německu asi 40 km od Berlína. Leží v zátopové oblasti, jejíž klima je kontinentální s průměrnými ročními teplotami 8,7 °C a 585 mm srážek v ročním průměru. Borovicové lesy, na které se studie zaměřila, rostou na písčitých půdách chudých na živiny a nedostatkem spodní vody, což dokazuje i bylinný pokryv. Podle historických map bylo celé sledované území zalesněno v roce 1780, do roku 1860 zcela odlesněno a v roce 1900 zde byly vysazeny borovicové porosty.

Byly řešeny problémy vztahu různých způsobů hospodaření při přeměně lesa a vývoje vegetace v čistém borovicovém porostu, průběh regenerace jedince i celé populace. Na pokusné ploše byly po dobu 6 let vyhodnocovány následující čtyři strategie přeměny 100letého čistého borovicového lesa:

- žádné zásahy na ploše, pouze oplocení (plocha 1)
- žádné zásahy na ploše ani oplocení (plocha 2)
- redukce borovicového zápoje bez dalších zásahů a oplocení (plocha 3)

- redukce borovicového zápoje a oplocení s dodatečným vysazením dubu letního a zimního, javoru mléčného, habru obecného, lípy malolisté a jilmu horského v řadách 4 m vzdálených jedna od druhé a hustotě 5 000 stromů na hektar (plocha 4)

Ze čtyřech pokusných trvalých ploch o rozměrech 20 x 20 m byla shromažďována data o výskytu veškeré vegetace, tj. lišejníků, trav, keřů, nižšího a vyššího stromového porostu. První sběr proběhl v roce 1998, druhý v roce 2003. Byla zaznamenána jejich míra výskytu a vyhodnocena.

Na všech čtyřech pokusných plochách dominovala v bylinném patře *Deschampsia flexuosa* a z lišejníků *Pleurozium schreberi* a *Hypnum cupressiforme* s. l. Plochy 1, 2 a 4 vykazovaly nejvyšší průměrný počet borovic všech výškových tříd. Většina z nich byly semenáčky nebo odrostky, které během pozorování uhynuly, takže z počtu 77 400 stromků v roce 1998 zbylo 12 400 v roce 2004. Na neoplocené ploše 2 během období výzkumu všechny semenáčky a odrostky zmizely. Poměrně vysoký počet jeřábu ptačího se nacházel na ploše 3, na plochách 1 a 4 dosáhly během 6letého habru obecný a borovice lesní výšky nad 100 cm.

Pro pozorování výškového růstu jednotlivých druhů dřevin bylo vybráno 80 stromů, z nichž zbylo pouze 34, ostatní uhynuly. Z celkového množství vybraných stromů ze všech ploch nejvyšší výškový přírůst vykazovaly krušina olšová a jeřáb ptačí v oploceném porostu s probírkou (plocha 4), následovala borovice lesní. Na neoplocených plochách 2 a 3 nebyl zaznamenán žádný růst. Pozorovaný jediný exemplář buku lesního přirůstal v průběhu celého pozorování a nevykazoval žádné známky poškození, dokonce ani po suchém roku 2003.

Výzkum potvrdil, že na neoplocených plochách dochází k okusu zvěří v takové míře, že stromy nemohou přerůst výšku 100 cm, výjimkou je jeřáb ptačí. Z pozorování plyne, že strategie aktivního hospodářství, jako je probírka, vysazování stromů a oplocení, má pozitivní účinek na druhovou rozmanitost.

Eur. J. For. Res., 2007, vol. 126, no. 2, s. 291-301.

Kp

PRODUKCE BIOMASY, CHARAKTERISTIKA OLISTĚNÍ A KOŘENŮ A AKUMULACE ŽIVIN V MLADÉM POROSTU BŘÍZY BĚLOKORÉ ROSTOUCÍ NA BÝVALÉ ZEMĚDĚLSKÉ PŮDĚ

V posledních desetiletích se zvyšuje podíl neobhospodařované zemědělské půdy, která je postupně zalesňována. Tento trend, který se objevil v Estonsku již po druhé světové válce, byl s nastupujícími politickými a ekonomickými změnami ve východní Evropě po roce 1990 oživen. V současné době se v Estonsku zalesňují opuštěné zemědělské pozemky většinou břízou bělokorou (*Betula pendula* ROTH.), přestože je ve velké míře poškozována zvěří. Přírodní regenerace této dřeviny je však tak vysoká, že je schopná dorůst do dospělého věku. Březové dřevo se pak zpracovává na pilách, v nábytkářském a papírenském průmyslu.

V jihovýchodní části Estonska byla vybrána pokusná plocha, kde se vyhodnocovala nadzemní a podzemní struktura a produkce biomasy a akumulace živin v mladém březovém porostu rostoucím na bývalé zemědělské půdě. V porostu obnoveném z náletu se sledovalo rozmístění nadzemní a podzemní biomasy, transport dusíku a fosforu do půdy z opadu a vztah produktivity porostu a jeho využití živin z olistění a kořenů.

Pokusná plocha o rozloze 15 x 20 m byla založena v roce 2004 na bývalé zemědělské půdě ve vzdálenosti 20 m od lesa. Plocha byla zalesněna náletem s dominancí břízy bělokoré. Kromě ní zde rostou v malém počtu olše šedá a vrby. Hustota porostu byla 11 600 stromů na hektar, střední výška $6,6 \pm 0,2$ cm, střední výčetní tloušťka $3,2 \pm 0,1$ cm a výčetní základna $8,3 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$. Pro sledování byly vybrány modelové stromy ve věku 7 – 8 let,

Produkce biomasy na experimentální ploše významně překračovala průměrné hodnoty březových porostů stejného věku v Estonsku a potvrdila správný trend při zalesňování opuštěných zemědělských pozemků jak z hlediska ekologického, tak ekonomického. Vysoká produktivita byla zajištěna vyhovujícím zápojem a kořenovým systémem, účinným využitím živin včetně relokace dusíku a fosforu.

Tento výzkum studie bude pokračovat dalším pozorováním vývoje přirozeně se zmlazujících březových porostů různé hustoty a na různých půdních typech.

Eur. J. For. Res., 2007, vol. 126, no. 4, s. 495-506.

Kp

SPOLEČENSTVÍ HUB ŽIJÍCÍCH VE DŘEVĚ VE VZTAHU K PĚSTEBNÍ INTENZITĚ V BUKOVÝCH LESÍCH JIŽNÍHO NĚMECKA

Bukové lesy představují v jižním Německu nejdůležitější zachovalé přírodní porosty. Původní rozloha (55 %) byla však v průběhu let redukována, takže se rozsáhlé bukové porosty staly raritou. V současné době se v lesním hospodářství prosazují jak ekonomické, tak ekologické principy hospodaření, jako je vytvoření typického bukového porostu a časná intenzivní probírka s cílem získat kvalitní bukové dřevo v průběhu 100 let. S ohledem na požadavky biodiverzity lesa je však třeba ponechávat v porostech mrtvé dřevo i polomy, na kterých rostou houby živící se dřevem a které jsou nutné pro vývoj dalších druhů hub důležitých pro růst jiných druhů hub.

Pokusná plocha v Bavorsku s převahou přírodního bukového porostu zabírající rozlohu 1 000 km² leží v teplém mírném pásu v nadmořské výšce 325 – 520 m n. m., kde roční průměrná teplota je 7 – 8 °C, teplota vyšší než 10 °C 160 dní v roce a dešťové srážky 850 mm. V porostu převažuje buk s 20% příměsí dubu.

Plocha byla rozdělena podle způsobu hospodaření na tři celky, na kterých byl zkoumán vliv tří druhů pěstebních zásahů na houby žijící ve dřevě. V porostu lze vyzorovat tři úrovně pěstování:

- intenzivní probírku a intenzivní těžbu. Intenzivní probírka byla prováděna asi po dobu 70 let, na ploše se nacházejí velmi kvalitní stromy, ale velmi málo mrtvého dřeva. Teprve v posledních 5 až 10 letech byly ponechávány stromové zbytky na ploše.
- slabší probírka a těžba; v porostu se nachází jak mrtvé dřevo, tak polámané stromy. Bukové lesy jsou zbytky rozsáhlých bukových porostů, které byly během posledních 50 let zmýceny. Zbytek porostu byl obhospodařován méně intenzivně.

- přísná přírodní rezervace; zahrnuje tři staré bukové porosty, kde rostou buky ve stáří kolem 300 až 350 let. V lese je nejen velké množství mrtvého dřeva, ale také fauna (ptáci), takže lze tento porost přirovnat k pralesu.

Na všech pokusných plochách byly v roce 2004 na jaře, v létě a na podzim za stejných vlhkostních podmínek po dobu 2 týdnů sbírány houby a poté byla statisticky hodnocena hustota výskytu různých druhů hub, změna výskytu společenstev hub v jednotlivých typech porostů a vztah typu a struktury porostu k výskytu různých druhů hub.

Spolehlivým indikátorem přírodě blízkého hospodaření v bukových porostech byl výskyt houby *F. fomentarius*. Tato houba zcela chybí v bukových lesích obhospodařovaných metodou intenzivní probírky, což je způsobeno nedostatkem hrubého dřevního odpadu, který zabraňuje nejen jejímu vývoji, ale i růstu širšího spektra ostatních hub. Proto je třeba zanechávat i v lese, kde se hospodář metodou intenzivní probírky, dostatečné množství hrubého dřevěného odpadu, který by umožnil vývoj hub.

Eur. J. For. Res., 2007, vol. 126, no. 4, s. 513-527.

Kp