



**ACTA
FACULTATIS
FORESTALIS
ZVOLEN**

**63/1
2021**

TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE

Vedecký redaktor / Executive editor:
prof. Dr. Mgr. Jaroslav Ďurkovič

Výkonný redaktor / Managing editor:
doc. Ing. Martin Lieskovský, PhD.

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

Redakčná rada / Editorial board:
prof. Ing. Marek Fabrika, PhD.
prof. Ing. Peter Garaj, CSc.
prof. Ing. Iveta Hajdúchová, PhD.
prof. Ing. Matúš Jakubis, PhD.
prof. Ing. Valéria Messingerová, CSc.
prof. Ing. Karol Ujházy, PhD.
prof. Ing. Milan Saniga, DrSc.
prof. Ing. Jaroslav Škvarenina, CSc.

ACTA FACULTATIS FORESTALIS ZVOLEN 63 1/2021

Vydala Technická univerzita, T. G. Masaryka 2117/24, 960 01 Zvolen, IČO 00397440
Vydanie I. – jún 2021

Rozsah 105 strán, 7,12 AH, 7,20 VH

Náklad 100 výtlačkov

Tlač a grafická úprava: Vydavateľstvo TU vo Zvolene

Rukopis neprešiel jazykovou úpravou

Vydanie publikácie schválené Edičnou radou TU vo Zvolene dňa 9. 2. 2021, číslo EP
19/2021

Za vedeckú úroveň tejto publikácie zodpovedajú autori a recenzenti.

Periodikum s periodicitou dvakrát ročne.

Evidenčné číslo 3861/09

© Technická univerzita vo Zvolene
ISSN 0231-5785

Všetky práva vyhradené. Nijaká časť textu ani ilustrácie nemôžu byť použité na ďalšie šírenie akoukoľvek formou bez predchádzajúceho súhlasu autorov alebo vydavateľa.

OBSAH – CONTENTS – INHALT

Tomáš Toma, Diana Krajmerová: Genetická diverzita <i>Abies alba</i> v strednej európe	7
Marek Štefanec: Medziročné rozdiely v morfológii ihlíc a prieduchov kontrastných proveniencií jedle bielej (<i>Abies alba</i> Mill.).....	23
Zbyšek Šustek: Bystruškovité (<i>Coleoptera, Carabidae</i>) horských smrekových lesov strednej európy a ich reakcie na vetrové kalamity	37
Dominik Gretsche, Martin Lieskovský: Porovnanie produkcie rýchlorastúcich drevín pri použití alternatívnych hnojív	57
Katarína Michajlová: Meranie a hodnotenie hluku strojov používaných pri prvotnom spracovaní dreva a ich pôsobenie na pracovníkov	75
Jakub Tomes: Phenology modeling of bark beetle development on an altitudinal transect in the High Tatra mountains	93

GENETICKÁ DIVERZITA *ABIES ALBA* V STREDNEJ EURÓPE

Tomáš TOMA, Diana KRAJMEROVÁ

Toma, T., Krajmerová, D.: Genetická diverzita *Abies alba* v strednej európe. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen.

ABSTRAKT

Zastúpenie jedle (*Abies alba* Mill.) vo väčšine európskych krajín za posledných 150 rokov výrazne klesá. Príčinou tohto problému môže byť aj nedostatočná genetická variabilita jedle, ktorá bola predmetom tejto práce. V práci sme pomocou jadrových mikrosatelitov analyzovali 29 populácií z územia strednej Európy. Genetickú variabilitu sme hodnotili na základe počtu alel a heterozygotnosti pomocou 7 lokusov. Genetickú diferenciáciu sme určili pomocou UPGMA a Bayesovskej metódy. Na základe výsledkov sme z pohľadu genetickej diferenciácie populácie rozdelili na 3 genetické skupiny. Jednoznačné oddelenie od ostatných populácií vykazovala najjužnejšia talianska populácia Protomagno. Ostatné populácie nebolo možné na základe výsledkov diferencovať jednoznačne, avšak hranicu ich rozdelenia môžeme predpokladať medzi pohorím Alpy a Karpaty. Lepšie poznanie genetickej variability či genetickej diferenciácie jedle v oblasti strednej Európy môže spolu s vhodným manažmentom jej genofondu dopomôcť k zvýšeniu jej zastúpenia ako perspektívnej dreviny pre lesné hospodárstvo v čase globálnej klimatickej zmeny.

Kľúčové slová: jedľa biela, variabilita, diferenciácia, mikrosatelity

1 ÚVOD A PROBLEMATIKA

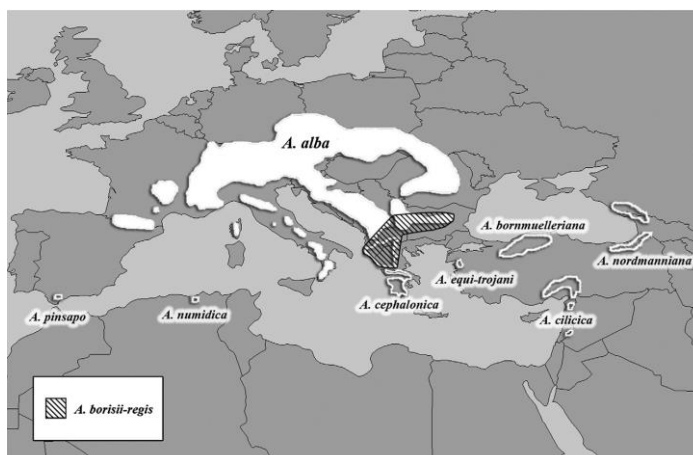
Jedľa biela (*Abies alba* Mill.) sa významnou mierou spolu s bukom lesným a smrekom obyčajným podieľa na stabilite stredoeurópskych podhorských a horských ekosystémov a to najmä v čase aktuálnej hrozby klimatických zmien. V súčasnej situácii pri hrozbe rozpadu horských smrečín môže mať jedľa spolu s bukom nezastupiteľnú úlohu pri zachovaní horských ekosystémov v podobe bukovo-jedľových lesov.

Avšak za posledných 150 rokov jedľa zaznamenala prudký pokles v drevinovej skladbe vo väčšine európskych krajín. Podľa názorov viacerých vedeckých štúdií (Larsen 1986a, 1989) sa na tomto poklese výraznou mierou podieľa nedostatočná genetická variabilita a z nej vyplývajúca znížená schopnosť prispôbiť sa zmenám prostredia.

Dnes je už nepochybné, že jedľa biela v strednej Európe pochádza z viacerých glaciálnych refúgií, z ktorých sa sem rozšírila vplyvom postglaciálneho šírenia. Dokonca je tu predpoklad, že práve oblasť strednej Európy by mohla byť oblasťou stretu týchto postglaciálnych línii šírenia jedle bielej. V súčasnosti sú z provenienčných pokusov v rámci strednej Euró-

py známe výsledky o rôznej miere odolnosti rôznych populácií voči škodlivým činiteľom či zmenám prostredia ako i rôznych fenologických prejavoch.

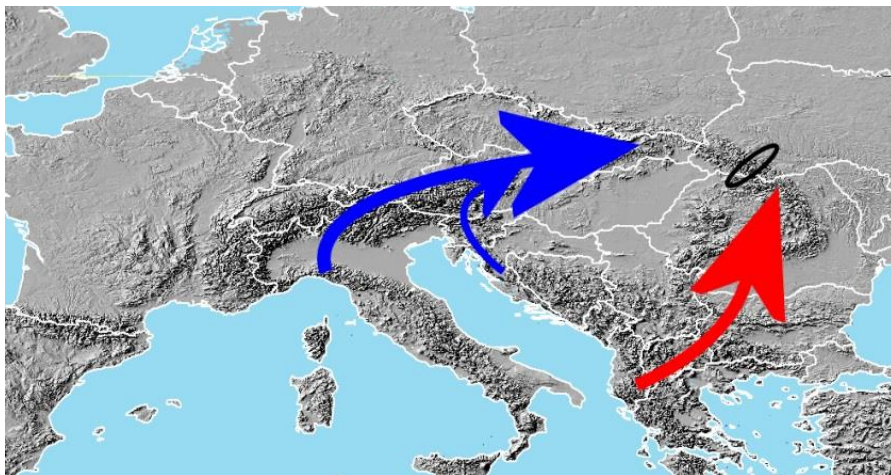
Táto práca prispieva k bližšiemu poznaniu variability jedle bielej v rámci strednej Európy a môže tak pomôcť k jej zachovaniu ako významnej zložky lesných ekosystémov aj v podmienkach klimatickej zmeny.



Obr. 1: Výskyt európskych druhov rodu *Abies* (Liepelt et al. 2009)

Fig. 1: Occurrence of European species of genus *Abies* (Liepelt et al. 2009)

Počas striedania glaciálov sa jedľa presúvala za optimálnymi podmienkami na juh Európy, čo dokazujú analýzy fosílnych nálezov peľu, ktoré uvádzajú refúgiá v Grécku, južnom Taliansku, Pyrenejách, juhovýchodnom Francúzsku a severozápadnom Taliansku (Terhürne-Berson et al. 2004). Hypotéza o refúgiu v juhovýchodnom Francúzsku však bola vyvrátená (Muller et al. 2007) a naznačujú, že predmetné populácie pochádzajú z refúgia v severnej časti pohoria Apeniny. Po príchode interglaciálu v holocéne jedľa migrovala späť z južných refúgií na sever Európy. Liepelt et al. (2009) uvádzajú, že z Balkánskeho polostrova viedli 2 migračné trasy. Prvá, západná vetva smerovala pozdĺž pohoria Dináre a druhá, východná vetva obsadzovala územie Karpát. Ďalej uvádzajú 3 pravdepodobné refúgia postglaciálneho šírenia jedle bielej v Európe. Potvrdzujú hypotézu Mullera et al. (2007) o refúgiu v severnej časti talianskeho pohoria Apeniny. Ďalej uvádzajú dlhodobé refúgium na juhu Balkánskeho polostrova, odkiaľ jedľa expandovala na sever vetvou pozdĺž Karpát na východe a vetvou pozdĺž Dinárskych vrchov na západe. A ako posledné popísali refúgium v severnej, resp. západnej časti Balkánskeho polostrova.



Obr. 2: Postglaciálne šírenie jedle bielej z glaciálnych refúgií (Bošeľa et al. 2016)

Fig. 2: Postglacial spread of *Abies alba* from glacial refugia (Bošeľa et al. 2016)

modrá – šírenie z talianskeho refúgia + západná vetva južného Balkánskeho refúgia,

červená – šírenie z južného balkánskeho refúgia, čierna elipsa – kontaktná zóna

V populáciách jedle bielej v Karpatoch sa podľa Gömöryho et al. (2012) vyskytujú dve mitochondriálne línie. Zdrojom postglaciálneho šírenia genetického materiálu pre tieto populácie je južné Balkánske refúgium.

Genetická variabilita je v rámci európskych populácií druhu pomerne rozmanitá, ale väčšina realizovaných štúdií je zhodná v dosiahnutých výsledkoch. Podľa štúdie Bergmann et al. (1990) majú populácie z juhu Talianska nepomerne najvyššiu mieru genetickej multiplicity. Zodpovedá tomu aj najvyšší podiel alel na lokus. Druhú najvyššiu multiplicitu predstavovali populácie z oblasti Švajčiarska a Nemecka, nasledované populáciami z oblasti talianskych Álp a ostrova Korzika. Nasledujú populácie z bavorských pohorí v Nemecku spolu s rakúskymi populáciami. Nepomerne najnižšiu genetickú multiplicitu vykazovali populácie z oblasti bývalej Juhoslávie a Rumunska.

Vo všetkých talianskych populáciách bol podľa štúdie Parducci et al. (1996) zaznamenaný kladný index fixácie, čo naznačuje nedostatok heterozygotov. To môže byť spôsobené inbrídingom v dôsledku vyššej miery samoopelenia u tejto dreviny. Ďalším faktorom môže byť izolácia populácií a tým obmedzenie toku génov.

2 MATERIÁL A METÓDY

2.1 Zber materiálu

Materiál použitý pri práci bol zozbieraný z celkovo 29 populácii *Abies alba* na území strednej Európy. Z každej populácie bol analyzovaný rôzny počet vzoriek (tab. 1). Samotný materiál tvorili konáriky z dospelých stromov. Materiál bol po zbere vysušený v silikagéli a takto uchovávaný až do procesu izolácie DNA.

Tab. 1: Zoznam skúmaných populácií

Tab. 1: The list of studied populations

UA – Ukrajina, SR – Slovenská republika, PL – Poľsko, CZ – Česká republika, AT – Rakúsko, IT – Taliansko

Číslo populácie	Krajina pôvodu	Názov lokality	Počet vzoriek	Zemepisná šírka	Zemepisná dĺžka
1	UA	Veretskij pereval	10	48° 55′	22° 34′
2	UA	Kostryňa	10	49° 15′	22° 58′
3	UA	Rozluč	10	48° 49′	23° 10′
4	UA	Pidbuž	10	49° 19′	23° 13′
5	SR	Palotské jedliny ŠPR	10	49° 16′	22° 01′
6	SR	Kamenica Milpoš	10	49° 12′	20° 59′
7	PL	Jawornik	11	49° 50′	21° 53′
8	SR	Hranovnica	12	48° 57′	20° 18′
9	SR	Sitno	12	48° 24′	18° 52′
10	CZ	Slavice	12	49° 09′	15° 52′
11	CZ	Planiny	12	49° 36′	13° 40′
12	PL	Blogie	12	51° 23′	19° 59′
13	PL	Ciszek	12	51° 29′	21° 17′
14	PL	Jedlina	12	52° 08′	21° 41′
15	PL	Kaliszak	13	50° 42′	19° 29′
16	PL	Niemirów	11	50° 37′	22° 40′
17	PL	Wieruszów	11	51° 18′	18° 16′
18	CZ	Brumov	12	49° 06′	18° 01′
19	CZ	Malá Morava	12	50° 05′	16° 50′
20	CZ	Mutyneves	12	49° 10′	15° 07′
21	CZ	Jánske Lázně	10	50° 37′	15° 47′
22	AT	Aschbach	12	48° 05′	14° 45′
23	AT	Hochstrass	12	48° 08′	15° 58′
24	AT	Oberwang	11	47° 50′	13° 26′
25	IT	Val Canali Tonadico	12	46° 11′	11° 51′
26	AT	Vorarlberg	10	47° 31′	09° 48′
27	AT	Schleinz	10	47° 42′	16° 15′
28	AT	Ligist	12	46° 57′	15° 12′
29	IT	Protomagno	11	43° 38′	11° 28′

2.2 Laboratórne analýzy

Na izoláciu DNA z rastlinného materiálu sme použili modifikovanú metódu podľa Doylea et Doylea (1987).

Izolovaná DNA bola amplifikovaná pomocou polymerázovej reťazovej reakcie modifikovanou metódou. Pri fragmentačnej analýze bolo použitých 7 mikrosatelitných markérov (primerov) (tab. 3). Uvedené primery boli pri polymerázovej reťazovej reakcii kombinované v dvoch zmesiach (multiplexoch) pomenované A a B, a jednej zmesi pre primer ABF18 (tab. 2). Zmesi spolu s extrahovanou DNA boli umiestnené do termocykléru. V prvej fáze boli vzorky denaturované pri teplote 94 °C po dobu 15 minút. Následne prebehlo 35 cyklov pozostávajúcich z 30 sekundovej denaturácie pri teplote 94 °C, 90 sekúnd hybridizácia primerov pri teplote 58 °C a 80 sekundovej predlžovacej fáze pri teplote 72 °C. Na záver PCR prebehla záverečná predlžovacia fáza pri teplote 60 °C po dobu 20 minút.

Tab. 2: Zloženie použitých multiplexov a extrahovanej DNA

Tab. 2: Composition of used multiplexes and extracted DNA

Multiplex A (4 µl : 1 µl DNA = 5 µl zmesi)	
0,10 µM ASF16 ^p	1 x Q-Solution
0,10 µM NFF3 ^p	1 x Qiagen Kit
0,15 µM NFH15 ^p	0,39 µl H ₂
0,20 µM NFH3 ^p	
Zmes pre ABF18^p (4 µl : 1 µl DNA = 5 µl zmesi)	
1,00 µl DNA	0,30 mM zmes deoxyribonukleotidov (dNTPs)
0,20 µM ABF18 ^p	3,00 mM MgCl ₂
0,80 µg/µl hovädzí sérový albumín (BSA)	0,04 U/µl Taq polymeráza
1 x pufoer bez MgCl ₂	2,170 µl H ₂ O
Multiplex B (4 µl : 1 µl DNA = 5 µl zmesi)	
1,00 µl DNA	0,80 µg/µl hovädzí sérový albumín (BSA)
0,08 µM SF333 ^p	1 x Qiagen Kit
0,10 µM SF1 ^p	0,964 µl H ₂ O

^p primer

Tab. 3: Charakteristiky použitých primerov

Tab. 3: Characteristics of used primers

* smer 5' – 3', ** FAM: karboxy-flouresceín, modré farbivo, NED: žlté farbivo, VIC: zelené farbivo
¹(Cremer et al. 2006) ²(Saito et al. 2005) ³(Hansen et al. 2005) ⁴(Josserand et al. 2006)

Názov	Sekvencia priameho primeru* Použitá farbivo**	Sekvencia reverzného primeru*
SF1 ¹	TTGACGTGATTAACAATCCA FAM	AAGAACGACACCATTCTCAC
SF333 ¹	ATTTGTTTCATTTTGGTCCTG NED	ACACAGGAAAAAGTCGGTAA
ASF16 ⁴	CTATGGCTGCATCAATTGCC VIC	ATAATCCACGAGTCGATGCC
ABF18 ²	ACCTCAATTAAAGTGTCCCTAG NED	GTCCATGTTTTTCAGTTGGTATTTGAAG
NFF3 ³	CCAATGGGTTGTCAGAGTGTT FAM	GGCATTGAGATTGCTTGAT
NFH15 ³	CGCCTCCCTCCATTACTTC VIC	TCGTCTAGAGAGGCGAAATTCT
NFH3 ³	TTGCCATCAAATTAATAATGCTT NED	CATCATTCTCTCTATCCCCATCA

Kapilárna elektroforéza prebiehala v automatickom kapilárnom genetickom analyzáto-
re ABI 3130 (Applied Biosystems). Prvá vzorka obsahovala 0,9 µl multiplexu B, 0,1 µl
GeneScan™ – 500 LIZ (Applied Biosystems, Foster City, California) a 9 µl formamidu.
Druhá vzorka pozostávala z 0,6 µl zmesi pre ABF180, 0,8 µl multiplexu A, 0,1 µl Ge-
neScan™ – 500 LIZ (Applied Biosystems, Foster City, California) a 8,5 µl formamidu.
Vzorky sme pred vložením do genetického analyzátora denaturovali pri teplote 94 °C 3
minúty. Výstup z genetického analyzátora bol následne analyzovaný pomocou softvérové-
ho programu GeneMapper 4.0 (Applied Biosystems). Koncovým výstupom boli genotypy
jednotlivých vzoriek v tabuľkovom prevedení.

2.3 Štatistické metódy

Na základe genotypov jedincov v jednotlivých vzorkách sme odvodili charak-
teristiky genetickej variability. Genetickú multiplicitu sme určili na základe pozorovaného
počtu alel. Genetickú diverzitu sme hodnotili pomocou efektívneho počtu alel (Kimura et

Crow 1964) a pomocou očakávanej heterozygotnosti (Nei 1973). Pre tieto výpočty sme používali program PopGene (Yeh et al. 1997) a Genalex (Peakall, Smouse 2012).

Pre určenie genetickej diferenciácie medzi populáciami sme použili Bayesovskú zhukovací metódu (Pritchard et al. 2000). Na samotný výpočet sme použili program Structure 2.3.4., ktorý implementuje uvedené postupy. Program sme spustili na 10 opakovaní (behov), bur-in perióda bola nastavená na 200 000 krokov a MCMC (Markov Chain Monte Carlo) replikácie mali hodnotu 1 000 000. Optimálny počet zhukov sme určili pomocou hodnoty ΔK (Evano et. al 2005) a na základe najvyššej posteriórnej pravdepodobnosti.

3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

3.1 Charakteristiky diverzity

Súhrnné miery genetickej variability je potrebné považovať iba za orientačné, lebo vzhľadom na malé počty analyzovaných vzoriek na populáciu (10-13) a vysokú variabilitu jadrových mikrosatelitných markérov je možné, že výsledky môžu byť výrazne ovplyvnené výberovou vzorkou tak, ako na to poukazuje štúdia Aguirre-Liguori et al. (2020) na príklade divorastúcich druhov kukuríc.

Na účely štatistických analýz bolo použitých 7 lokusov, ktoré spolu obsahovali 107 alel, čo predstavovalo približne 15,3 alely na lokus. Lokus NFH3 obsahoval 30 alel, lokus NFH15 19 alel, lokus ABF18 18 alel, lokus AFS16 14 alel, lokus NFF3 12 alel a lokusy SF1 a SF33 obsahovali najmenej, každý po 7 alel.

Najmenší počet alel sme zaznamenali v populácii číslo 21 na severe Českej republiky. Najväčší počet alel bol v populácii číslo 27 vo východnom Rakúsku. V ostatných populáciách sme nezaznamenali výraznú odlišnosť v počte alel v porovnaní s priemerným počtom alel.

Priemerný počet alel v populáciách pochádzajúcich z Ukrajiny a Slovenska bol podľa Gömöry et al. (2012) 6.133 ± 0.506 . Táto hodnota je podobná priemernému počtu alel v populáciách v našej práci ktorý bol 6,158. Priemerný počet alel v populáciách z Balkánskeho polostrova bol 7.333 ± 0.507 . Podobné analógie vykazujú aj ostatné znaky genetickej variability. Tento fakt potvrdzuje klesajúci trend variability od refúgia pozdĺž migračnej trasy (Hewitt, 2000).

Najvyšší efektívny počet alel na populáciu sme zaznamenali u populácie číslo 28 z juhovýchodného Rakúska. Naopak, najmenší efektívny počet alel na populáciu bol v populácii číslo 21 zo severu Českej republiky.

Najväčšiu očakávanú heterozygotnosť sme zaznamenali v populácii číslo 28 na juhovýchode Rakúska. Najmenšia očakávaná heterozygotnosť bola v populácii číslo 21 na severe Českej republiky. Podobne nízku heterozygotnosť možno pozorovať aj v populácii číslo 15 na juhu Poľska.

Na základe indexu fixácie možno konštatovať, že v populáciách číslo 5 (severovýchod SR), 28 (juhovýchod AT) a 29 (sever IT) je v dôsledku zápornej hodnoty indexu fixácie nadbytok heterozygotov, a to je v rozpore so štúdiou Parducci et al. (1996), ktorá konštatuje u talianskych populácií kladné hodnoty indexu fixácie, a teda deficit heterozygotov. Kladný index fixácie bol zaznamenaný v absolútnej väčšine populácií, a teda možno konštatovať, že vo väčšine populácií je deficit heterozygotov. Pri populácii číslo 5 Palotské jedliny je vykázaný nedostatok heterozygotov pravdepodobne spôsobený skreslenou analýzou v dôsledku nízkeho počtu jedincov.

Opakované glaciálne a následné postglaciálne migrácie z refúgií výrazne formovali genetickú diverzitu u mnohých organizmov (Hewitt, 2000, 2004). Vo všeobecnosti je alelická bohatosť v refugiálnych oblastiach vyššia a pozdĺž migračných koridorov klesá (Hewitt, 2000). Aj v prípade jedle bielej šírenie v období postglaciálu z rôznych refúgií rôznymi migračnými koridormi spôsobilo geografickú premenlivosť v genetickej diverzite. Západné populácie z Apeninského polostrova majú významne nižšiu genetickú diverzitu v porovnaní s východnými populáciami z Balkánu (Bošela et al. 2016). Pri populácii číslo 29 Protomagno z Talianska, ktorú sme na základe genetických vzdialeností jednoznačne diferencovali od ostatných populácií a predpokladáme jej glaciálny pôvod v apeninskom refúgiu, dosiahla genetická diverzita (alelická bohatosť, pozorovaná a očakávaná heterozygotnosť) pomerne nízke hodnoty. Pri predpoklade, že ostatné populácie v našej práci pochádzajú z balkánskeho refúgia, možno vyjadriť pochybnosť o tvrdení Bergmann et al. (1990), že populácie na území Rumunska a štátov bývalej Juhoslávie majú nižšiu genetickú diverzitu v porovnaní s populáciami pochádzajúcimi z Apeninského polostrova. Zároveň je možné potvrdiť štúdiu Bošela et al. (2016), ktorá poukazuje na vyššiu genetickú diverzitu balkánskych populácií a nižšiu diverzitu v populáciách z Apeninského polostrova.

Tab. 4: Charakteristiky genetickej variability jednotlivých populácií**Tab. 4:** Characteristics of genetic variability of individual populations

A – počet alel, Ae – efektívny počet alel, He – očakávaná heterozygotnosť, Ho – pozorovaná heterozygotnosť, F – index fixácie

Populácia	A	Ae	He	Ho	F
1. Veretskij pereval	6,286	4,530	0,740	0,711	0,024
2. Kostryňa	6,286	4,209	0,689	0,639	0,122
3. Rozluč	5,571	4,232	0,731	0,683	0,067
4. Pidbuž	6,000	3,963	0,712	0,576	0,197
5. Palotské jedliny	5,571	3,993	0,711	0,728	-0,040
6. Kamenica Milpoš	6,286	4,007	0,732	0,713	0,036
7. Jawornik	6,571	4,318	0,680	0,610	0,089
8. Hranovnica	6,714	3,684	0,695	0,679	0,006
9. Sitno	6,857	4,939	0,753	0,715	0,046
10. Slavice	5,857	3,865	0,682	0,675	0,005
11. Planiny	6,000	3,829	0,699	0,631	0,065
12. Blogie	6,571	4,229	0,734	0,650	0,133
13. Cizek	6,571	4,397	0,742	0,605	0,162
14. Jedlina	6,429	3,378	0,656	0,607	0,116
15. Kaliszak	5,143	3,307	0,650	0,554	0,125
16. Niemirow	5,714	4,170	0,719	0,678	0,053
17. Wieruszow	6,714	4,867	0,752	0,652	0,118
18. Brumov	7,143	5,080	0,761	0,667	0,104
19. Malá Morava	7,000	4,285	0,727	0,631	0,097
20. Mutyneves	5,286	3,664	0,677	0,574	0,132
21. Jánske Lázně	5,000	3,129	0,648	0,521	0,221
22. Aschbach	5,857	3,677	0,666	0,540	0,212
23. Hochstrass	6,000	4,319	0,725	0,635	0,116
24. Oberwang	5,571	4,056	0,694	0,556	0,205
25. Val Canali Tonadico	6,857	4,709	0,748	0,640	0,138
26. Voralberg	5,429	3,966	0,717	0,632	0,122
27. Schleinz	6,000	4,258	0,730	0,852	0,095
28. Ligest	7,714	5,632	0,789	0,721	-0,095
29. Protomagno	5,571	3,762	0,697	0,651	-0,073
Priemer	6,158	4,154	0,712	0,646	0,090

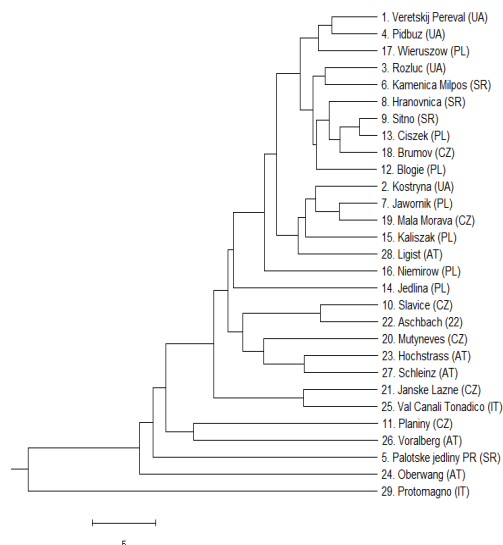
3.2 Genetické vzdialenosti medzi populáciami

Na základe matice genetických vzdialeností (Nei 1972, 1973) a na základe metódy UPGMA sme vytvorili nezakorenený dendrogram (obr. 3). Dendrogram veľmi jednoznačne oddelil taliansku populáciu Protomagno číslo 29. Na základe modelu postglaciálneho šírenia (Liepelt et al. 2009) pravdepodobne pochádza z refúgia na Apeninskom polostrove.

Medzi ostatnými populáciami neexistuje veľmi výrazná diferenciácia, ale je možné identifikovať skupinu poľských, ukrajinských, slovenských a niektorých českých populácií a ďalšiu skupinu, kam patria alpské populácie a väčšina českých populácií. Ich pôvod na základe postglaciálneho šírenia je pravdepodobne v severnom balkánskom refúgiu z dôvodu, že hranica stretu populácií z južného balkánskeho refúgia a populácií z refúgia na Apeninskom poloostrove a populáciami zo severného balkánskeho refúgia je podľa Gömöry et al. (2004) v pohorí Karpaty na Ukrajine výrazne južnejšie od poslednej nami skúmanej populácie na Ukrajine.

Populáciu číslo 5 Palotské jedliny dendrogram priradzuje k alpským populáciám, čo však nezapadá do ideálnej geografickej štruktúry. Podobne geograficky nesedí populácia Ligist, ktorá je pripojená v dendrograme s poľskými, ukrajinskými a slovenskými populáciami. Tento jav možno odôvodniť nízkym počtom vzoriek v danej populácii, čoho dôsledkom je nižšia miera objektivity posudzovania.

Vo všeobecnosti možno konštatovať, že dendrogram odhalil geografickú štruktúru, ktorá približne zodpovedá štruktúre zistenej na základe analýzy Structure.



Obr. 3: UPGMA dendrogram

Fig. 3: UPGMA dendrogram

3.3 Populačná štruktúra

Na základe analýzy z programu Structure (tab. 5) možno konštatovať, že najvyššiu posteriornu pravdepodobnosť pri zohľadnení pravdepodobností nižších počtov zhlukov v porovnaní so všetkými ostatnými počtami mal počet zhlukov 3, a je teda najpravdepodobnejšia existencia 3 zhlukov.

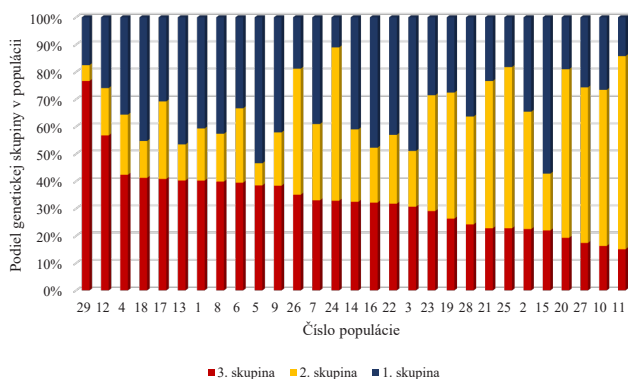
Tab. 5: Evannova tabuľka pre počty zhlukov z programu Structure (Evanno et al. 2005)

Tab. 5: The second order rate of change of the likelihood distribution according to Evanno et al. (2005)

K – počet geneticky homogénnych zhlukov, ln P – priemer prirodzených logaritmov posteriorných pravdepodobností

K	Počet behov	ln P	ΔK
1	10	-8167,96	–
2	10	-8235,17	7,108736
3	10	-8092,85	35,422543
4	10	-8077,00	4,409819
5	9	-8096,17	1,613001
6	10	-8127,09	0,54599
7	19	-8153,44	3,312778
8	11	-8280,55	0,611858
9	12	-8347,71	1,585896
10	4	-8504,43	–

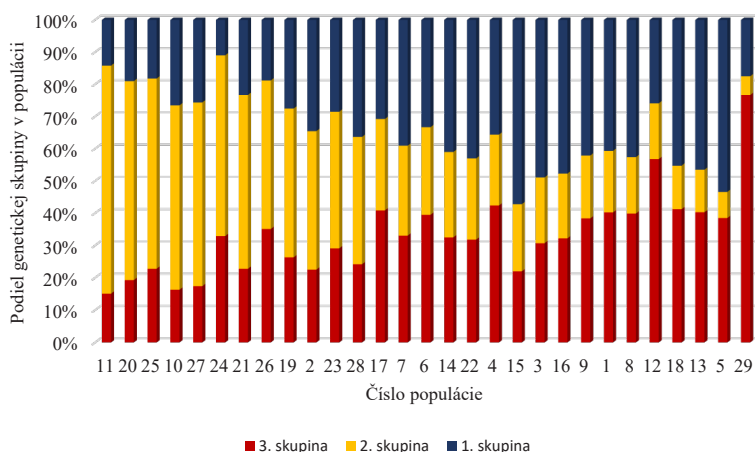
V prípade výskytu troch geneticky homogénnych zhlukov (obr. 4) sa jasne oddelila skupina, v ktorej má zastúpenie populácia číslo 29 Protomagno z Talianska, čo plne korešponduje s výsledkom z UPGMA dendrogramu.



Obr. 4: Podiel pôvodu skúmaných populácií pre 3 genetické zhluky zoradený podľa podielu 3. skupiny

Fig. 4: Proportion of origin of the studied populations for 3 genetic clusters sorted by the proportion of third genetic group

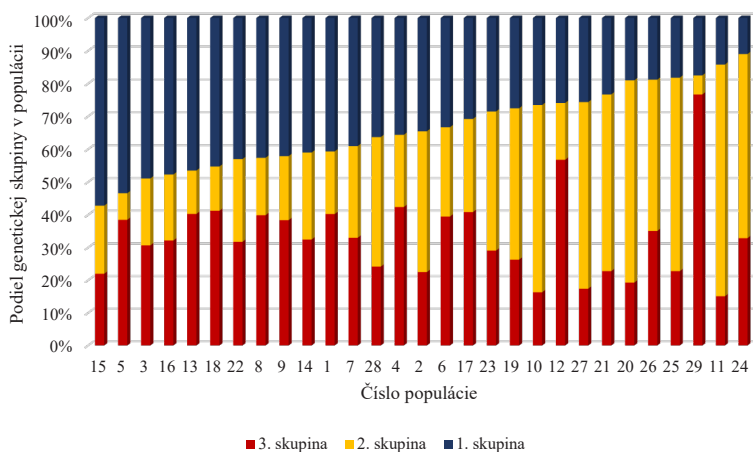
Najväčší podiel 2. genetickej skupiny má populácia číslo 11 Planiny z Českej republiky. Vysoký podiel tejto skupiny majú aj populácie číslo 20 (juh ČR), 25 (sever IT), 10 (juh ČR), 27 (severovýchod AT), 24 (sever AT) a 21 (sever ČR) usporiadané zostupne podľa výšky podielu. UPGMA dendrogram jasne nediferencoval predmetné populácie, ktoré majú podiel 2. genetickej skupiny na základe analýzy Structure do jednej vetvy, ale čiastočne je možné vysloviť takýto predpoklad. Za zmienku stojí porovnanie analýzy z dendrogramu a analýzy zo Structure pri populácii číslo 5 Palotské jedliny. Na základe analýzy Structure je podiel 2. genetickej skupiny v populácii najvyšší. V porovnaní s ostatnými populáciami, ktoré majú podiel 2. genetickej skupiny najvyšší, táto analýza zodpovedá ideálnejšiemu geografickému rozmiestneniu.



Obr. 5: Podiel pôvodu skúmaných populácií pre 3 genetické zhluky zoradený podľa podielu 2. skupiny

Fig. 5: Proportion of origin of the studied populations for 3 genetic clusters sorted by the proportion of second genetic group

Najväčší podiel 3. genetickej skupiny sme zaznamenali v populácii číslo 15 Kaliszak z Poľska. Vysoké podiely na tejto genetickej skupine majú tiež populácie číslo 5 (sever SR), 3 (juhozápad UA), 16 (juhovýchod PL), 13 (juhovýchod PL), 18 (juhovýchod ČR), 22 (severovýchod AT), 8 (sever SR), 9 (západ SR), 14 (východ PL) a 1 (východ UA) usporiadané zostupne podľa výšky podielu.



Obr. 6: Podiel pôvodu skúmaných populácií pre 3 genetické zhluky zoradený podľa podielu 1. skupiny

Fig. 6: Proportion of origin of the studied populations for 3 genetic clusters sorted by the proportion of first genetic group

4 ZÁVER

Z hľadiska genetickej variability možno konštatovať, že populácie z našej práce vykazujú nižšie hodnoty jednotlivých charakteristík genetickej variability v porovnaní s populáciami, ktoré sú bližšie k jednotlivým refúgiám. Je teda možné vysloviť predpoklad, že genetická variabilita klesá so vzdialenosťou populácie od jej refúgia, čo však jednoznačne nie je možné preukázať v dôsledku absencie analýzy refugiálnych populácií. Nadbytok heterozygotov bol zaznamenaný len v populácii Protomagno a v populácii Ligist, ktoré sú najbližšie k refúgiu na Apeninskom polostrove.

Znížená genetická variabilita jedle bielej na území strednej Európy je pravdepodobne spoluzodpovedná za klesajúci trend jej zastúpenia v strednej Európe. Jej bližšie poznanie však môže minimálne dopomôcť k správne manažmentu jej genofondu. Otázkou zostáva ako je možné tento stav zvrátiť a dopomôcť tak minimálne k zastaveniu klesajúceho trendu zastúpenia jedle bielej v strednej Európe.

Výsledky našej práce spoľahlivo diferencovali od ostatných populácií taliansku populáciu Protomagno a je možné vysloviť predpoklad, že táto populácia pochádza z refúgia na Apeninskom polostrove. Ostatné populácie sme jednoznačne nediferencovali a môžeme predpokladať, že pochádzajú zo severozápadného balkánskeho refúgia.

Použitá literatura

- AGUIRRE-LIGUORI, J.A., LUNA-SÁNCHEZ, J.A., GASCA-PINEDA, J. & EGUIARTE, L.E., 2020. Evaluation of the minimum sampling design for population genomic and microsatellite studies: an analysis based on wild maize. *Front. Genet.* 11:870. doi: 10.3389/fgene.2020.00870
- BERGMANN, F., GREGORIUS, H. R., & LARSEN, J. B. 1990. Levels of genetic variation in European silver fir (*Abies alba*). *Genetica*, 82(1), 1-10.
- BOŠEĽA, M., POPA I., GÖMÖRY, D., LONGAUER, R., TOBIN, B., KYNCL, J., ... & ŠEBEŇ, V. 2016. Effects of post-glacial phylogeny and genetic diversity on the growth variability and climate sensitivity of European silver fir. *Journal of Ecology*, 104(3), 716-724.
- CREMER E., LIEPELT S., SEBASTIANI F., BUONAMICI A., MICHALCZYK I.M., ZIEGENHAGEN B., 2006. Identification and characterization of nuclear microsatellite loci in *Abies alba* Mill. *Molecular Ecology Notes* 6: 374–376.
- DOYLE, J.J. & DOYLE, J.L., 1987: A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemical Bulletin* 19: 11–15.
- EVANNO, G., REGNAUT S., GOUDET J., 2005. Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. *Molecular Ecology* 14:2611–2620.
- GÖMÖRY, D., LONGAUER, R., LIEPELT, S., BALLIAN, D., BRUS, R., KRAIGHER, H., PARPAN, V.I., PARPAN, T. V., PAULE, L., STUPAR, V.I. & ZIEGENHAGEN, B. 2004 Variation patterns of mitochondrial DNA of *Abies alba* mill. in suture zones of postglacial migration in Europe. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 73, 203–206.
- GÖMÖRY, D., PAULE, L., KRAJEROVÁ, D., ROMŠÁKOVÁ, I., & LONGAUER, R. 2012. Admixture of genetic lineages of different glacial origin: a case study of *Abies alba* Mill. in the Carpathians. *Plant Systematics and Evolution*, 298(4), 703-712.
- HANSEN, O.K., VENDRAMIN G.G., SEBASTIANI F., & EDWARDS, K.J., 2005. Development of microsatellite markers in *Abies nordmanniana* (Stev.) Spach and cross-species amplification in the *Abies*. *Molecular Ecology Notes*, 5, 784–787.
- HEWITT, G. 2000 The genetic legacy of the Quaternary ice ages. *Nature*, 405, 907– 913.
- HEWITT, G.M. 2004 Genetic consequences of climatic oscillations in the Quaternary. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 359, 183– 195.
- JOSSERAND, S.A., POTTER, K.M., JOHNSON, G., BOWEN, J.A., FRAMPTON, J., & Nelson, C.D., 2006. Isolation and characterization of microsatellite markers in Fraser fir (*Abies fraseri*). *Molecular Ecology Notes*, 6, 65–68.
- KIMURA, M., CROW, J. F. 1964. The number of alleles that can be maintained in a finite population. In: *Genetics* 49: 725-738.
- LARSEN, J.B., 1986a. Das Tannensterben: Eine neue Hypothese zur Klärung des Hintergrundes dieser reitselhaften Komplexkrankheit der Weißtanne (*Abies alba* Mill.). *Forstw. Zentbl.* 105: 381-396.
- LARSEN, J.B. 1989. Waldbauliche Probleme und Genökologie der Weißtanne (*Abies alba* Mill.). *Allgemeine Forst-und Jagdzeitung*, 160, 39-43.
- LIEPELT, S., CHEDDADI, R., DE BEAULIEU, J. L., FADY, B., GÖMÖRY, D., HUSSENDÖRFER, E., ... & ZIEGENHAGEN, B. 2009. Postglacial range expansion and its genetic imprints in *Abies alba* (Mill.)—a synthesis from palaeobotanic and genetic data. *Review of Palaeobotany and palynology*, 153(1-2), 139-149.
- MULLER, S.D., NAKAGAWA, T., DE BEAULIEU, J.L., COURT-PICON, M., CARCAILLET, C., MIRAMONT, C., BOUTTERIN, C., ALI, A.A., BRUNETON, H., 2007. Post-glacial migration of silver fir (*Abies alba* Mill.) in the south-western Alps. *J. Biogeogr.* 34, 876–899 .
- NEI, M., 1972: Genetic distance between populations. *American Naturalist* 106: 283–292.
- NEI, M., 1973: Analysis of gene diversity in subdivided populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 70: 3321–3323.
- PARDUCCI, L., SZMIDT, A. E., VILLANI, F., WANG, X. R., & CHERUBINI, M. 1996. Genetic variation of *Abies alba* in Italy. *Hereditas*, 125(1), 11-18.
- PEAKALL, R. and SMOUSE P.E. 2012 GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. *Population genetic software for teaching and research-an update. Bioinformatics* 28, 2537-2539.

- PRITCHARD, J.K., STEPHENS M., DONNELLY P., 2000. Inference of population structure from multilocus genotype data. *Genetics* 155:945–959.
- SAITO, Y., LIAN C.L., HOGETSU T., & IDE Y., 2005. Development and characterization of microsatellite markers in *Abies* firma and interspecific amplification in other Japanese *Abies* species. *Molecular Ecology Notes*, 5, 234–235.
- TERHÜRNE-BERSON, R., LITT, T., & CHEDDADI, R. 2004. The spread of *Abies* throughout Europe since the last glacial period: combined macrofossil and pollen data. *Vegetation history and Archaeobotany*, 13(4), 257-268.
- YEH, F. C., YANG, R. C., BOYLE, T. B. J., YE, Z. H., MAO, J. X., YANG, R. C., ... & YE, Z. H. 1997. POP-GENE, the user-friendly shareware for population genetic analysis.

PodĎakovanie

Táto práca vznikla s finančnou podporou projektu Vedeckej grantovej agentúry MŠVVaŠ SR a SAV VEGA-0029-20.

Kontaktné údaje:

Tomáš Toma, Diana Krajmerová
Katedra fytológie
Lesnícka fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 01 Zvolen
e-mail: tomalike@gmail.com

Genetic Diversity of the *Abies alba* in Central Europe

Summary

We evaluated the genetic variability and differentiation of silver fir in 29 populations using 7 nuclear microsatellite DNA loci. Populations in our study generally have lower values of genetic variability than populations in refugial areas. Excess of heterozygotes was recorded only in Protomagno population and in Ligist population which is closest to the refugium in the Apennine Peninsula. The results of our study reliably differentiated the Italian population Protomagno from the other populations. There was a low differentiation between remaining populations with origin in the Balkan refugium. The presented work is a contribution to the information on genetic variability of populations as a basis to the management of genetic resources of silver fir as one of the main forest forming species in Central Europe.

MEDZIROČNÉ ROZDIELY V MORFOLÓGII IHLÍC A PRIEDUCHOV KONTRASTNÝCH PROVENIEN- CIÍ JEDLE BIELEJ (*ABIES ALBA* MILL.)

Marek ŠTEFANEC

Štefanec, M.: Medziročné rozdiely v morfológii ihlíc a prieduchov kontrastných proveniencií jedle bielej. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen.

Abstrakt

V dobe klimatických zmien, v dôsledku ktorých dochádza k posunu vegetačných stupňov, je dôležité zistiť, či niektoré populácie drevín môžu byť vďaka odlišným prieduchovým charakteristikám odolnejšie voči suchu. Pri prieduchoch je najdôležitejšia funkcia regulácie prestupu vodných pár medzi rastlinou a ovzduším a tiež regulácia toku CO_2 . Cieľom práce bolo zistiť rozdiely vo veľkosti ihlíc, v počte prieduchov a ich veľkosti prieduchov, keďže tieto môžu ovplyvniť regulácie vody pri pôsobení stresu zo sucha. Hodnotených bolo spolu 960 ihlíc z piatich proveniencií (jedna rakúska, dve slovenské a dve poľské) jedle bielej (*Abies Alba* Mill.) s pôvodom v rôznych nadmorských výškach. Hodnotili sme tri ročníky ihlíc a ich prieduchové charakteristiky. Pre všetky hodnotené parametre sa potvrdili významné rozdiely medzi provenienciami a pre väčšinu (okrem dĺžky prieduchov) aj rozdiely medzi ročníkmi ihlíc. Interakciu medzi provenienciou a rokom sme taktiež potvrdili pre všetky hodnotené parametre. Najviac kolísali okolo celkového priemeru ihlice 3. ročníka a proveniencie s pôvodom zo zrážkovo extrémnych lokalít vykazovali nepatrné zmeny v porovnaní s ostatnými. To poukazovalo na ich najmenej výraznú reakciu počas zrážkovo chudobného roka

Kľúčové slová: prieduchové charakteristiky, morfológia ihlíc, medziročné zmeny, adaptácia

ÚVOD A ROZBOR PROBLEMATIKY

V posledných rokoch sa významnou témou stáva sucho v dôsledku klimatických zmien. Zvyšujúce sa teploty, nepravidelné zrážky a ďalšie faktory nepriaznivo ovplyvňujú životaschopnosť niektorých drevín a tvorbu biomasy. Sucho a nadväzujúce stresové faktory môžu výrazne ovplyvniť životaschopnosť drevín alebo ich ďalšie poškodenie po oslabení inými abiotickými aj biotickými faktormi. Znášať sucho dokážu najmä vďaka regulácii straty vodných pár cez prieduchy, kadiaľ rastlina odparuje veľké množstvo vody. Z tohto dôvodu je dôležité chápať, čo ovplyvňuje prieduchové charakteristiky, ktoré sú významné pri tomto procese.

Prieduchy sú štrbiny, otvory obličkovitého tvaru, ktoré sa zvierajú a cez ktoré dochádza k výmene plynov (vodných pár alebo CO_2). V závislosti od rôznych signálov pri-

chádzajúcich z prostredia sú schopné reagovať rýchlo v priebehu niekoľkých minút (BARÁNYIOVÁ 2011). Prieduchy môžu podľa potrieb rastlín ľubovoľne regulovať tok plynov a vodných pár tak, že sa prieduchy otvoria alebo zatvoria. Podstata zatvárania a otvárania prieduchov spočíva v regulácii a zmene turgorového tlaku v bunkách. Znížením tlaku v bunke sa prieduch začne zatvárať a tým zabráni vstupu plynov do rastliny, naopak zvýšením tlaku sa bunka prehne a tým štrbinu prieduchu otvorí. Zatvorený prieduch takmer úplne bráni výmene plynov. Prienik plynov je minimálny, len okolo 1 až 5% (ŠETLÍK A KOL. 2004). Ako udáva LARCHER (1995) pri ihličnanoch tvoria prieduchy časť povrchu ihlíc len 0,1 – 0,3%. Počet prieduchov na 1 mm² je medzi 15 až 1300.

Za posledné obdobie nastalo výrazné odumieranie smreka v našich porastoch (MIHÁL A CÍČÁK, 2006). Jedľa biela je odolná voči abiotickým faktorom, veľmi suché letá s dlhotrvajúcimi horúčavami sú pre ňu nevhodné (LAUGNEROVÁ 2007), avšak v niektorých oblastiach má potenciál nahradiť smrek. Je vhodná aj do zmiešaných porastov a v dnešnej dobe, keď sa na Slovensku snažíme v čo najväčšej miere uplatňovať prírodu blízke pestovanie lesa, je táto drevina veľmi vhodná vďaka tomu, že je tieňomilná. Významná je aj priaznivá reakcia jedle na mierny nárast teplôt v neskorých zimných mesiacoch poprípade na začiatku leta, čo jej z pohľadu prebiehajúcej klimatickej zmeny môže poskytnúť výhodu oproti smreku, ktorý je veľmi citlivý na extrémne suchu (Kurjak a kol. 2012). Preto sa predpokladá, že jedľa má v najbližších desaťročiach veľký potenciál pre zachovanie vysokej produkcie a udržanie zásob uhlíka v európskych porastoch (TINNER A KOL. 2013, ZANG A KOL. 2014).

Pre našu prácu sme vybrali viacero proveniencií jedle. Snažili sme sa definovať správanie sa jedincov s rôznym pôvodom, ktoré rástli v rovnakých podmienkach, so zameraním na morfológiu ihlíc a prieduchov. Prieduchy vnímame ako jeden z hlavných faktorov ovplyvňujúci reakcie rastliny na intenzitu transpirácie a stres suchom. Pri každom druhu a dokonca jedincovi sú veľkosti a množstvo prieduchov veľmi variabilné a veľkosť prieduchov ovplyvňuje aj ich hustotu. Od celkovej plochy ihlice, ako aj od hustoty a veľkosti prieduchov bude závisieť efektívnosť fungovania stromov najmä v nepriaznivých podmienkach.

Merali sme viacero ročníkov kvôli vzájomnému porovnaniu ihlíc a prieduchov v rámci dvoch až troch rokov pri každom jedincovi. Predpokladané zmeny vo veľkostiach či počtoch môžu byť súčasťou reakcie na rôzne klimatické podmienky v daných rokoch.

Ďalším cieľom tejto práce bolo zistiť, či existujú nejaké rozdiely v morfológii ihlíc a prieduchov medzi provenienciami jedle bielej. Potvrdenie takýchto rozdielov by naznačovalo vplyv adaptačných mechanizmov vytvorených v rámci dlhodobého prispôbovania sa podmienkam v mieste pôvodu. Určenie odolnejších proveniencií, ktoré by boli schopné lepšie odolávať klimatickým zmenám do budúcnosti, dáva možnosť vytvárať stabilnejšie porasty.

MATERIÁL A METÓDY

Popis pokusu, výskumnej plochy a odoberaného materiálu

Z pokusnej plochy Hertník (bližšie informácie sú uvedené v Tab. 1) sme odobrali ihlice z piatich proveniencií (rakúska, 2 poľské a 2 slovenské). Provenienčná plocha bola založená v roku 2005 výsadbou 5-ročných sadeníc. Vzorky sme odobrali z troch blokov, pričom z každého bloku sa zbierali ihlice zo šiestich jedincov. Z každého jedinca sme odobrali 5 ihlíc prvého a druhého ročníka a ak bolo možné ich jednoznačne odlíšiť, tak aj ihlice tretieho ročníka (teda ihlice vytvorené v rokoch 2020, 2019 a 2018).

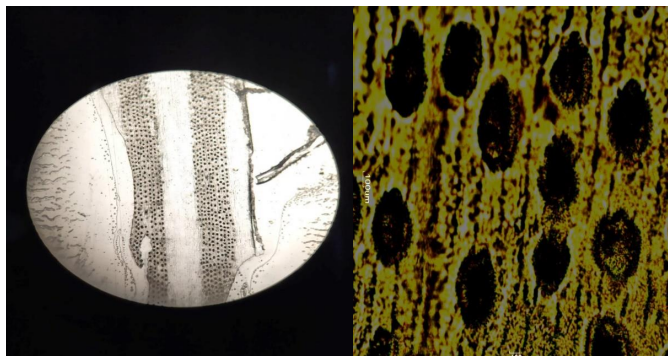
Po zbere boli odobrané otláčky prieduchov z každého bloku a jedinca koloidovou metódou (Wolf, 1950). Ihlice boli potreté lakom a na bola nalepená transparentná páska. Po zaschnutí sa páska stiahla dole, pričom na jej povrchu zostali zachytené otláčky povrchu ihlice ako aj prieduchov.

Tab. 1 Zoznam proveniencií jedle bielej, ktoré boli vysadené na testovacej ploche Hertník. Zoznam zahŕňa základné geografické a klimatické charakteristiky miesta odberu a miesta pôvodu.

<i>PV</i>	<i>Krajina pôvodu</i>	<i>Miesto pôvodu</i>	<i>Z. dĺžka</i>	<i>Z. šírka</i>	<i>Nadm. v.</i>	<i>Priem. Tep.</i>	<i>T₅₉</i>	<i>Zrážky</i>	<i>P₅₉</i>
<i>Plocha výsadby</i>									
TP_H	Slovensko	Hertník	49,217	21.271	390	7.2	15	737	424
<i>Testované proveniencie</i>									
PL 41	Poľsko	Kadlubiska	50,300	13,183	250	7,6	15,9	591	354
SK 01	Slovensko	Staré Hory	48,750	21,250	500	6,6	14,2	781	447
PL 21	Poľsko	Berest -1	49,550	20,950	690	6,2	13,9	836	486
SK 02	Slovensko	Bardejov	49,417	21,250	900	5,6	13,2	849	482
AT	Rakúsku	Koetschnach	47,100	13,183	1300	1,8	8,3	1327	692

PV proveniencie, T₅₉ priemerná teplota vo vegetačnom období (máj–september), P₅₉ priemerný úhrn zrážok vo vegetačnom období (máj–september)

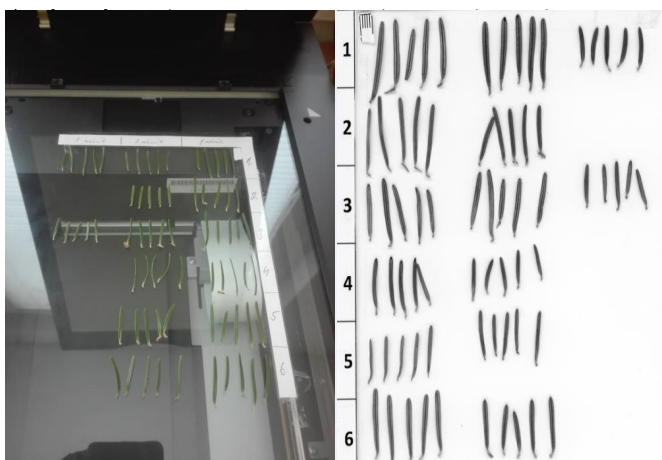
Všetky odobrané otláčky sme fotili pomocou mikroskopu pri 40-násobnom zväčšení (Obr. 1). Tie sa následne merali pomocou programu ImageJ (National Institute of Health, Bethesda, MD, USA). Meraných bolo 10 prieduchov z každej vzorky. Merania sme zapisovali na tisícinu milimetra.



Obr. 1 Vľavo fotka mobilom cez okulár mikroskopu. Vpravo fotka z mikroskopu pri 40-násobnom zväčšení.

Všetky ihlice sme pre ďalšie merania oskenovali. Tieto snímky sme využívali pre meranie dĺžok a širok ihlíc (Obr. 2). Tiež sme na nich merali plochy ihlíc a počty prieduchov. Pri ukladaní ihlíc sme sa snažili všetky otáčať prieduchmi smerom dole.

Pre meranie plochy ihlíc sme použili tie isté snímky. Pre dve kontrastné proveniencie (AT a PL41) sme zmerali plochy ihlíc, ako aj ich dĺžku a šírku. Z dĺžky a šírky sme následne odvodiili plochu ihlice (šírka $\times$ dĺžka). Namerané a vypočítané hodnoty plochy sme dali do korelácie, kde nám vyšiel lineárny vzťah, podľa ktorého sme vyrátali plochy ostatných ihlíc ($R^2 = 0.923$; Plocha = $0.8567 * (\text{dĺžka} * \text{šírka}) + 1.4108$).

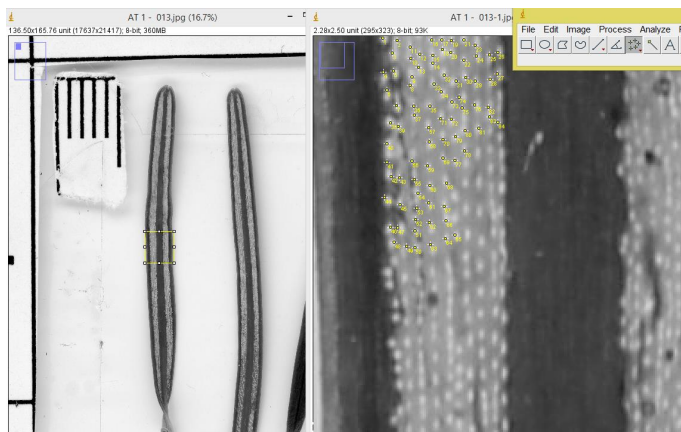


Obr. 2 Ukážka ihlíc pred a po skenovaní, ihlice sú triedené podľa jedincov a ročníkov.

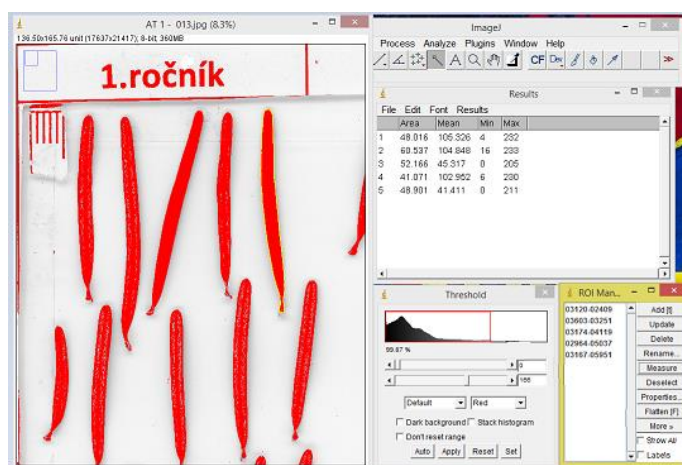
Popis merania

Merania počtov prieduchov, plochy ihlíc, dĺžky a šírky ihlíc, ako aj dĺžky prieduchov sme robili pomocou programu ImageJ. Zmeraných bolo 960 ihlíc. Dĺžku sme zmerali pre 1720 prieduchov (10 prieduchov na každej použiteľnej vzorke).

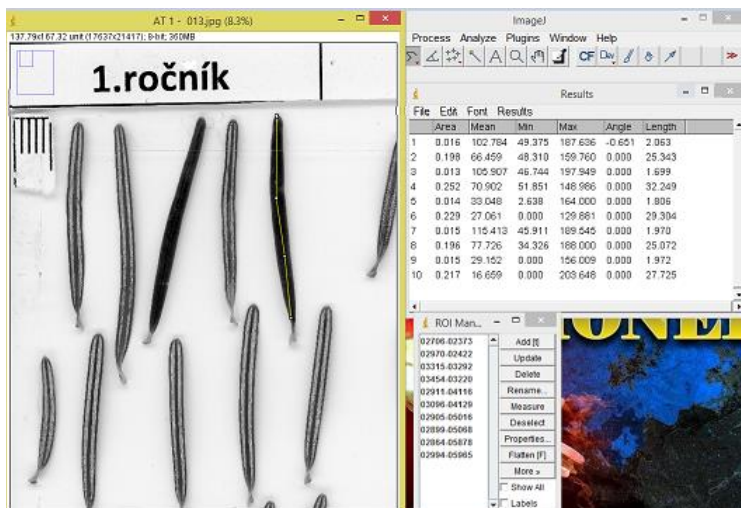
Počty prieduchov sme ráтали manuálne kvôli vyššej presnosti. Pri každej ihlici sa vyskytovali rôzne usporiadané prieduchy viditeľnejšie aj menej zreteľné a pri automatickom sčítavaní by mohli vzniknúť veľké chyby. Prieduchy sme ráтали na úseku 2,5 mm na pravej aj ľavej strane ihlice v jej strednej časti (Obr. 3-6).



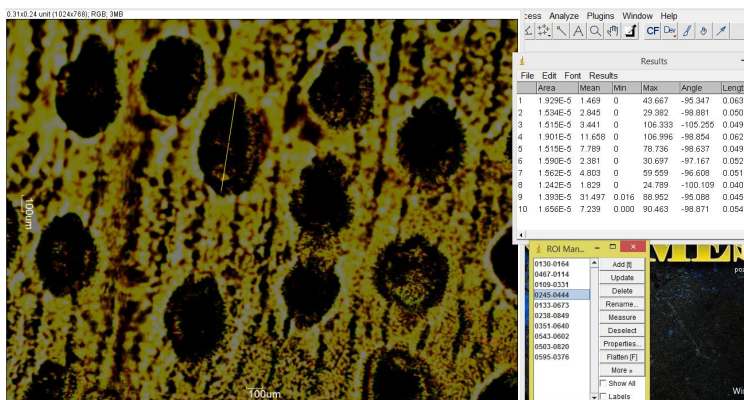
Obr. 3 Na ľavej strane si môžeme všimnúť vybraný štvorec, ktorý sme vystrihli a zväčšili. Na pravej strane snímky zobrazený zväčšený segment a značené rátanie prieduchov.



Obr. 4 Pri správnom nastavení ihlice ostanú červené. Následne je plocha každej ihlice meraná zvlášť.



Obr. 5 Šírky a dĺžky ihlíc meráme pomocou funkcie „segment line“ a snažíme sa čo najlepšie kopírovať tvar ihlice. Šírku ihlice meriame v strede ihlice.



Obr. 6 Merania dĺžky prieduchov.

ŠTATISTICKÁ ANALÝZA

Štatistické analýzy boli robené v programe RStudio 1.2. a Statistica 12. Pomocou dvojfaktorovej analýzy variancie sme hodnotili významnosť vplyvu faktorov: proveniencia, ročník ihlíc a interakcia proveniencia $\times$ ročník. Pred použitím analýzy variancie bola otestovaná normalita rozdelenia údajov Shapiro-Wilkovým testom a zhoda rozptylov pomocou Levenovho testu, pričom pre niektoré parametre bola nevyhnutná transformácia dát. Následne sme na jednoduché porovnanie proveniencií (celého datasetu bez rozdelenia

podľa ročníkov) sme použili Tukeyove párové testy. Pomocou kvadratickej regresie sme vyrovnali bodové pole jednotlivých parametrov pre hodnotené parametre a ročníky v závislosti od klímy v mieste pôvodu.

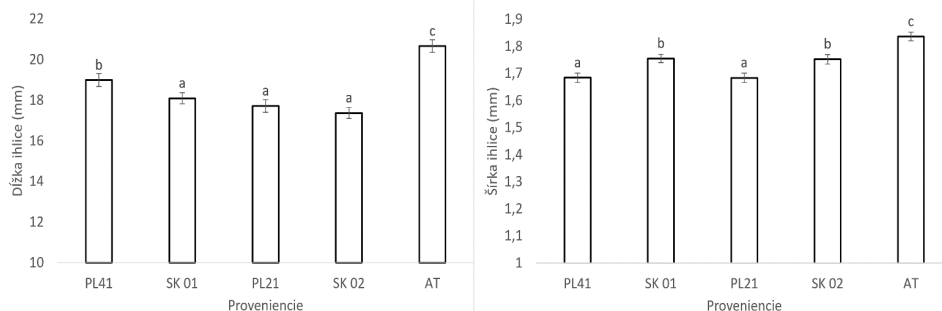
VÝSLEDKY A DISKUSIA

Tab. 2 Štatistická významnosť rozdielov pre dĺžky a šírky ihlíc.

	Dĺžka ihlice					Šírka ihlice			
	Df	F-hodnota	P			Df	F-hodnota	P	
PV	4	15,257	4,27E-12	***		4	15,6	2,28E-12	***
rok	2	26,232	8,18E-12	***		2	12,34	5,14E-06	***
PV × rok	8	3,606	0,0004	***		8	3,46	0,0006	***
Reziduály	945					945			

*** štatistická významnosť na hladine $\alpha < 0,001$; ** štatistická významnosť na hladine $\alpha < 0,01$; * štatistická významnosť na hladine $\alpha < 0,05$

V prípade dĺžky ihlíc sa potvrdili štatisticky významné rozdiely medzi jednotlivými provenienciami, rokmi a potvrdili sme významnú interakciu proveniencia × rok (Tab. 2). V prípade šírky sa potvrdili signifikantné rozdiely medzi provenienciami, rokmi, a interakcia proveniencia × rok bola tiež štatisticky významná (Tab. 2).



Obr. 7 Dĺžka a šírka ihlíc porovnávaných proveniencií za všetky odobraté ročníky. Chybové úsečky zobrazujú strednú chybu priemeru. Odlišné písmená označujú významnosť rozdielov na hladine $\alpha = 0,05$.

Na grafe (obr. 7) môžeme vidieť, že rakúska proveniencia (AT) z najvyššej nadmorskej výšky, a tiež z najvlhkejšej a najchladnejšej lokality, mala v priemere najširšie a najdlhšie ihlice, pričom rozmery sa významne líšili od všetkých ostatných proveniencií. Provenencie z najvyššie a najnižšie položennej lokality mali významne dlhšie ihlice (AT v priemere 20,7 mm; PL41 v priemere 19,0 mm) v porovnaní s ostatnými troma provenienciami. Tie dosahovali dĺžky v rozmedzí od 17,4 do 18,1 mm, avšak rozdiely neboli štatisticky významné.

Pri šírke ihlíc si na grafe môžeme všimnúť rozdelenie na 3 skupiny, kde sa v skupine „a“ (s najnižšími hodnotami) nachádzajú 2 proveniencie PL41 a PL21. Väčšiu šírku dosahujú slovenské proveniencie SK01 a SK02. Najväčšiu odlišnosť opäť zaznamenávame u proveniencie AT, ktorá dosahuje najväčšiu šírku ihlice zo všetkých piatich proveniencií.

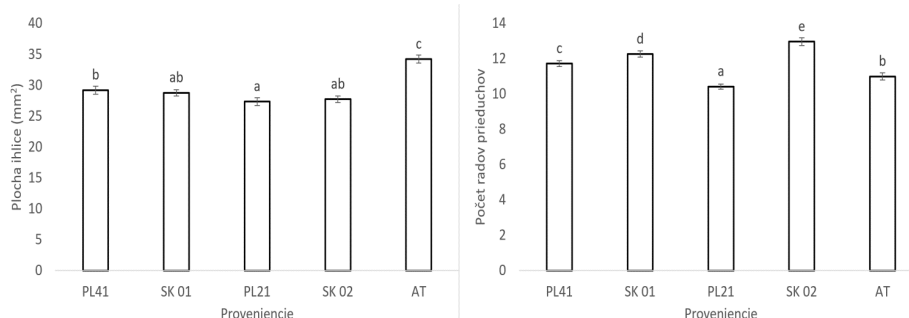
Tab. 3 Štatistická významnosť rozdielov pre plochu ihlíc a počty radov prieduchov.

	Plocha ihlice (odmocninová transf.)				Počet radov			
	Df	F-hodnota	P		Df	F-hodnota	P	
PV	4	22,98	<2.00E-16	***	4	32,96	<2.00E-16	***
rok	2	35,43	1,46E-15	***	2	21,2	1,01E-09	***
PV × rok	8	4,36	3,49E-05	***	8	1,961	0,0484	*
Reziduály	945				903			

*** štatistická významnosť na hladine $\alpha < 0,001$; ** štatistická významnosť na hladine $\alpha < 0,01$; * štatistická významnosť na hladine $\alpha < 0,05$

Pre plochu ihlíc sme potvrdili významné rozdiely medzi provenienciami, rokmi a tiež pre interakciu proveniencia × rok. Pre všetky bola potvrdená štatistická významnosť na hladine $\alpha < 0,001$.

Pre počty radov sme potvrdili významné rozdiely najmä medzi provenienciami a tiež medzi rokmi a to na hladine významnosti $\alpha < 0,001$. Pre interakciu proveniencia × rok sme pri počte radov potvrdili tiež štatistickú významnosť ale na hladine významnosti $\alpha < 0,05$ (Tab. 3).



Obr. 8 Plocha ihlíc a počet radov prieduchov porovnávaných proveniencií za všetky odobraté ročníky. Chybové úsečky zobrazujú strednú chybu priemeru. Odlišné písmená označujú významnosť rozdielov na hladine $\alpha = 0,05$.

Graf vľavo (obr. 8) nám poukazuje na veľmi podobné priemerné plochy ihlíc medzi provenienciami PL41, SK01, PL21 a SK02, kde sa hodnoty pohybovali v úzkom rozpätí, pričom najnižšiu priemernú hodnotu z uvedených štyroch proveniencií sme pozorovali pri

proveniencii PL21 a najvyššiu pri proveniencii PL41. Najväčší rozdiel môžeme vidieť pri proveniencii AT, ktorá sa líšila od všetkých ostatných proveniencií.

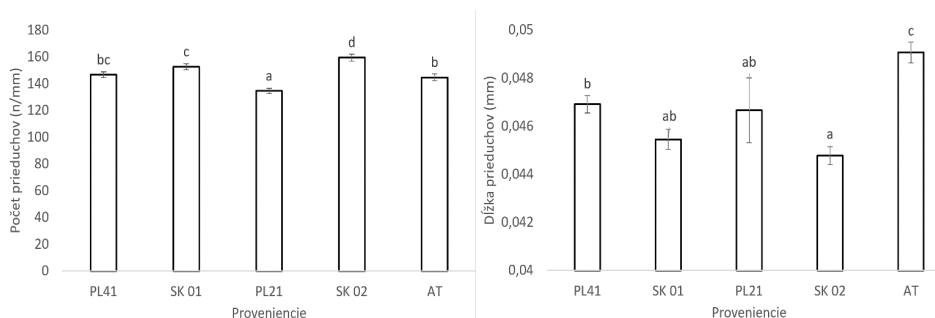
Počty radov prieduchov sa taktiež medzi provenienciami významne líšili (obr. 8). Najnižšiu hodnotu sme zaznamenali pri poľskej proveniencii PL21 a to priemernú hodnotu 10,4. Ďalej nasledovala rakúska proveniencia AT s hodnotou 11,0 a poľská proveniencia PL41 s hodnotou 11,7. Najväčšie hodnoty v počte radov prieduchov dosahovali slovenské proveniencie SK01 s hodnotou 12,3 a SK02 dosahujúca hodnotu 13,0.

Tab. 4 Štatistická významnosť rozdielov pre počty prieduchov a dĺžky prieduchov.

	Počet prieduchov				Dĺžka prieduchov			
	Df	F-hodnota	P		Df	F-hodnota	P	
PV	4	20,261	5,35E-16	***	4	6,274	0,000052	***
rok	2	80,368	<2.00E-16	***	2	0,807	0,44619	
PV × rok	8	2,393	0,0148	*	8	2,845	0,0039	**
Reziduály	903				1705			

*** štatistická významnosť na hladine $\alpha < 0,001$; ** štatistická významnosť na hladine $\alpha < 0,01$; * štatistická významnosť na hladine $\alpha < 0,05$

Medzi počtami prieduchov sa nám podarilo potvrdiť významné rozdiely medzi provenienciami a tiež medzi jednotlivými rokmi na úrovni významnosti až $\alpha < 0,001$. Pre interakciu proveniencia × rok sa nám potvrdila tiež štatistická významnosť (Tab. 4). V prípade dĺžky prieduchov sa významné štatistické rozdiely potvrdili medzi provenienciami a tiež interakciou proveniencia × rok.



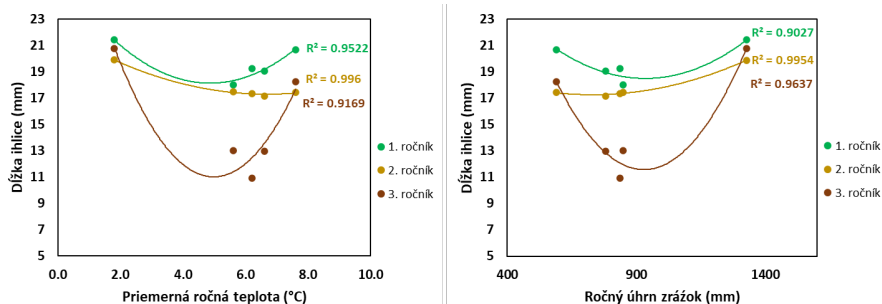
Obr. 9 Počet prieduchov a dĺžka prieduchov porovnávaných proveniencií za všetky odobraté ročníky. Chybové úsečky zobrazujú strednú chybu priemeru. Odlišné písmená označujú významnosť rozdielov na hladine $\alpha = 0,05$.

Veľmi blízke hodnoty v počte prieduchov sme zistili pri provenienciách PL41, SK01 a AT (obr. 9). Pre AT sme namerali v priemere 144,6 prieduchov na mm ihlice a pre SK01

152,6 prieduchov. Na ich rozhraní sa nachádza proveniencia PL41 s hodnotou 146,6. Najodlišnejšie proveniencie sú PL21 a SK02. Zatiaľ čo poľská proveniencia PL21 dosahuje najnižšie počty a to v hodnote 134,5, pri slovenskej proveniencii SK02 sme zistili najvyššie počty v hodnote 159,5.

V prípade dĺžky prieduchov sa nám ukazujú najnižšie hodnoty pri proveniencii SK02 s veľkosťou 0,0448 mm. Táto proveniencia pri počte prieduchov dosahovala najvyššie hodnoty. Tento fakt nám môže poukazovať na istý kompromis: jedinec vytvára väčšie množstvo prieduchov avšak s menšou veľkosťou.

Proveniencie SK01 a PL21 tvoria jednu skupinu s veľmi podobnými hodnotami, pre provenienciu SK01 je to 0,045 mm a pre provenienciu PL21 0,0467 mm. Mierne väčšie prieduchy dosahuje proveniencia PL41 s hodnotou 0,0469 mm. Výrazne najdlhšie prieduchy sme namerali pre provenienciu AT (až 0,049 mm), pričom dosahovala hodnoty štatisticky významne odlišné od ostatných. Môže byť za tým evolučne podmienená snaha populácií z vysokých nadmorských výšok využiť krátku vegetačnú sezónu pre čo najintenzívnejšiu asimiláciu CO₂.



Obr. 10 Závislosť dĺžky ihlíc od priemernej ročnej teploty vzduchu (vľavo) a od ročného úhrnu zrážok (vpravo) v mieste pôvodu piatich testovaných proveniencií. Osobitne boli hodnotené tri ročníky ihlíc (vytvorené v rokoch 2020, 2019, 2018).

Grafy týkajúce sa charakteristík ihlíc (obr. 10) nám poukazujú na zmeny v dĺžke ihlíc v závislosti od pôvodu. Najväčšie rozdiely sme zaznamenali pri ročníku 3, ktorý je z roku 2018. Tento rok bol teplejší a s menším množstvom zrážok počas vegetačnej sezóny (k dispozícii zatiaľ máme len meteorologické dáta pre stredné Slovensko) než ostatné sledované roky. Podľa STOJNICA A KOL. (2015) je kľúčovým faktorom pre tvorbu prieduchov počasie v predchádzajúcom roku. Z toho hľadiska by mohli byť pozorované zmeny v anatómii prieduchov v ďalšom roku, čo sa nám však pri jedli nepotvrdilo. Ako sme predpokladali, niektoré proveniencie na suchu výrazne zareagovali a výsledky sa prejavili najmä na dĺžke ihlíc. Rakúska proveniencia (AT) z prostredia s priemernou nižšou ročnou teplotou v priemere 1,8 °C na túto zmenu zareagovala najmenej. Najväčšie zmeny v dĺžke ihlíc v roku 2018 sme zaznamenali pri provenienciách SK02, PL21 a SK01. Tieto

proveniencie reagovali pomerne výrazne. Veľmi slabú reakciu sme zaznamenali aj pri proveniencii PL41 pôvodom z najnižšej nadmorskej výšky.

Pri porovnaní reakcie dĺžky ihlíc na zrážok v miest pôvodu si môžeme opäť všimnúť veľkú zmenu ročníku 3 (z roku 2018). Predpokladáme, že táto odozva nasledovala v reakcii na suchší rok z menším množstvom zrážok. Najväčšia reakcia je badateľná u proveniencií, ktoré sú z prostredia s podobným množstvom zrážok vo vegetačnom období v rozmedzí od 441 mm po 486 mm. Pri proveniencii PL41, ktorá je z prostredia z najnižším množstvom zrážok vo vegetačnom období, vidíme lepšie znášanie deficitu zrážok. Napriek tomu, že proveniencia AT pochádza z prostredia z najvyšším množstvom zrážok zo skúmaných proveniencií (s hodnou vo vegetačnom období až 692 mm), reagovala na suchý rok najmenej. Napriek veľkému množstvu zrážok môžeme predpokladať, že plocha odkiaľ proveniencia pochádza, môže byť na viac kamenitej pôde s menšou alebo veľmi slabou schopnosťou vodu zadržať a preto je odolnejšia voči možnému suchu. Ďalšou možnosťou je, že prispôbiť sa podmienkam sucha nie je schopná, ak dlhodobo rástla v podmienkach dostatku vlhky. Bez ďalších informácií o prostredí v uvedenej lokalite nie je možné na túto otázku odpovedať. Zdá sa však, že populácie z lokalít s väčšími rozdielmi medzi rokmi reagujú na zmeny podmienok prostredia citlivejšie, než populácie s pôvodom z extrémnejších lokalít. Podobne jednoznačný vzťah, ako pri veľkosti ihlíc, sa nám však nepodarilo potvrdiť pre prieduchové charakteristiky.

Na rovnakej ploche boli v minulosti hodnotené vnútroduhové rozdiely vo vzťahu k znášaniu deficitu vody počas vegetačnej sezóny, resp. po prekonaní celkovo suboptimálnych podmienok (suché obdobie sprevádzané vysokými teplotami) počas vegetačnej sezóny (KONÔPKOVÁ A KOL. 2020A, 2020B). Proveniencie sa hodnotili na úrovni fotochémiie PSII a asimilácie CO₂ a boli potvrdené boli významné vnútroduhové rozdiely. Fotosyntetický výkon sa pred obdobím vystavenia rastliny stresu a následne aj po ňom zväčšoval u proveniencií s pôvodom vo vyššej nadmorskej výške a zrážkami v mieste pôvodu proveniencií. Bolo preukázané, že jedince z proveniencií pochádzajúcich z väčších nadmorských výšok sú lepšie prispôbené zvládať mierny stres zo sucha ako aj celkovo suboptimálne rastové podmienky.

Pri výskume bukových porastov na odolnosť voči suchu sa preukázalo, že jedince po strese suchom znižujú hustotu prieduchov v snahe ochrániť rastlinu proti možným budúcim deficitom vody. V prípade zníženia hustoty prieduchov na liste a indexu vodivosti bola preukázaná spojitosť s pôvodom jedincov. Tieto faktory boli úmerne ovplyvňované v závislosti od rozdielu medzi pôvodnou klímou a klímou na súčasnom stanovišti (PETRÍK A KOL. 2020). Rovnako KUČEROVÁ A KOL. (2018) popisuje, že prieduchové charakteristiky a celková fotosyntetická výkonnosť rôznych stredoeurópskych proveniencií buka lesného sú ovplyvňované klímou v mieste pôvodu, pričom proveniencie pochádzajúce z najvyššie položených lokalít, teda z najchladnejších a najvlhších stanovišť, sú z pohľadu uvedených charakteristík najvýkonnejšie.

Pri problematike týkajúcej sa stresu suchom u ihličnatých drevín sa vynárajú časté pokusy s hybridizáciou jedincov jedle bielej. Pri pokuse o hybridizáciu rôznych druhov jedlí bolo použitých 11 rôznych kombinácií. Potvrdené najnižšie počty prieduchov a radov prieduchov boli pri kombinácii *A. alba* x *A. numidica*, kde počty radov v priemere dosahovali číslo 11,32 a počty prieduchov na meranom segmente dlhom 3 mm dosahoval počet 288,70 KS (GALGÓCI A KORMUŤÁK 2008). V našom prípade bol najnižší počet radov prieduchov 10,4 a najnižší počet prieduchov v prepočte na 3 mm bol 404.

Pri jedli bielej bola zistená vhodnosť medzidruhovej aj vnútrodruhovej hybridizácie pri pokuse s hybridmi jedle gréckej, kde bola preukázaná hrubšia vrstva kutikuly, v dôsledku čoho sa jedince stávali odolnejšie voči stresu suchom a vyšším teplotám. Taktiež sa tieto jedince na výskumnej ploche, intenzívne zaťaženej imisnými látkami z blízkej tepelnej elektrárne, preukázali ako odolnejšie. V miestach kde sú jedince jedle bielej na ústupe, sa preukázali jedince daných hybridov ako odolné, nemajú problém s odrastaním a sú v dobrom zdravotnom stave (GALGÓCI A KOL. 2009). Z tohto hľadiska by v budúcnosti bolo zaujímavé zistiť hrúbku kutikuly u jednotlivých proveniencií.

ZÁVER

Podarilo sa nám preukázať, že vnútrodruhové rozdiely vo fyziologických parametroch sa prejavujú v závislosti od pôvodu jedinca. Výrazne najväčšie prieduchy aj ihlice tvorila proveniencia z najvyšších polôh. Ako významný faktor pri veľkosti ihlíc sa tak javí nadmorská výška, z ktorej jedinec pochádza, ale tiež množstvo zrážok a teplota vzduchu v danej oblasti počas vegetačného obdobia. Preukázali sme, že v závislosti na zrážkovej činnosti a teplote sa u niektorých proveniencií prejavila zmena celkového počtu prieduchov, ktorá je zrejme snahou o reguláciu strát vody. Tieto zmeny však boli dosiahnuté skôr zmenou v šírke a dĺžke ihlíc, než zmenou hustoty prieduchov. Najväčšie rozdiely medzi ročníkmi ihlíc sa preukázali pri tretom ročníku v rámci troch proveniencií. Proveniencie z extrémnych polôh (z najnižšej a najvyššej nadmorskej výšky) dosahovali najvyššiu dĺžku ihlíc.

PodĎakovanie

Uvedená práca vznikla s finančnou podporou projektov VEGA č. 1/0535/20

Literatúra

- BARÁNYIOVÁ, I., 2001, Účinok vodného a teplotného stresu na produkčné vlastnosti obilnín, SPU Nitra, Dizertačná práca.
- GALGÓCI, M., KORMUŽÁK, A., 2008, Niektoré morfológické charakteristiky ihlič vybraných druhov jedlí a ich medzidruhových hybridov. Mladí vedci 2008.
- Dostupné na: http://www.arboretum.sav.sk/files/file/Publications/Galgoci_Kormutak1.pdf
- GALGÓCI, M., KORMUŽÁK, A., KUNA, R., 2009, Anatomická štruktúra ihlič hybridov jedle gréckej (*Abies cephalonica* Loud.). 5. Biologické dni / 5th Biological Days; Nitra 8. - 9. 10. 2009
- KONÔPKOVÁ, A., PŠIDOVÁ, E., KURJAK, D., STOJNÍČ, S., PETRÍK, P., FLEISCHER, P., KUČEROVÁ, J., JEŽÍK, M., PETEK, A., GÖMÖRY, D., KMEJ, J., LONGAUER, R., DITMAROVÁ, E., Photosynthetic performance of silver fir (*Abies alba*) of different origins under suboptimal growing conditions. Functional plant biology. 2020. č. no. 11, s. 1007–1018
- KONÔPKOVÁ, A., HÚDOKOVÁ, H., JEŽÍK, M., KURJAK, D., JAMNICKÁ, G., DITMAROVÁ, E., GÖMÖRY, D., LONGAUER, R., TOGNETTI, R., PŠIDOVÁ, E., 2020, Origin rather than mild drought stress influenced chlorophyll α fluorescence in contrasting silver fir (*Abies alba* Mill.) provenances. Photosynthetica: international journal for photosynthesis research. 2020. s. 549–559.
- KUČEROVÁ, J., KONÔPKOVÁ, A., PŠIDOVÁ, E., KURJAK, D., JAMNICKÁ, G., SLUGEŇOVÁ, K., GÖMÖRY, D., DITMAROVÁ, E., 2018, Adaptive variation in physiological traits of beech provenances in Central Europe. iForest - biogeosciences and forestry no. 1, s. 24–31.
- KURJAK, D., STŘELCOVÁ, K., DITMAROVÁ, E., PRIWITZER, T., HOMOLÁK, M., PICHLER, V., 2012, Physiological response of irrigated and non-irrigated Norway spruce trees as a consequence of drought in field conditions. European Journal of Forest Research 131(6), 1737–1746.
- LARCHER, W., 1995, Physiological Plant Ecology. Springer-Verlag, Berlin, 506 pp.
- LAUGNEROVÁ, G., 2007, *Abies alba* Mill. – jedle bělokora. Dostupné na: <https://botany.cz/cs/abies-alba/>
- MIHÁL, I., CÍČÁK, A., 2006, Zdravotný stav a mykoflóra smrekových porastov v imisnej oblasti stredného Spiša. Naturae Tutela, 10, 129–134.
- PETRÍK, P., PETEK, A., KONÔPKOVÁ, A., BOŠELA, M., FLEISCHER, P., FRÝDL, J., KURJAK, D., 2020, Stomatal and leaf morphology response of European beech (*Fagus sylvatica* L.) provenances transferred to contrasting climatic conditions. Forests.
- ŠETLÍK, I., SEIDLOVÁ, S., ŠANTRŮČEK, Š., 2004, Fyziologie rostlin. Jihočeská Univerzita, České Budejovice. Dostupné na: <https://web.natur.cuni.cz/biochem/kucera/rostliny/is/fyzros.html>
- STOJNÍČ, S., ORLOVIČ, S., TRUDIČ, B., ŽIVKOVIČ, U., VON WUEHLISCH, G., AND MILJKOVIČ, D., 2015, Phenotypic plasticity of European beech (*Fagus sylvatica* L.) stomatal features under water deficit assessed in provenance trial. Dendrobiology 73, 163–173.
- TINNER W., COLOMBAROLI D., HEIRI O., HENNE P.D., STEINACHER M., UNTENECKER J., et al., 2013, The past ecology of *Abies alba* provides new perspectives on future responses of silver fir forests to global warming. Ecological Monographs, 83, 419–439.
- WOLF, L., 1950, Mikroskopická Technika, National Health Publishing: Praha, Czech Republic.
- ZANG C., HARTL-MEIER C., DITTMAR C., ROTHE A., MENZEL A., 2014, Patterns of drought tolerance in major European temperate forest trees: climatic drivers and levels of variability. Global Change Biology, 20, 3767–3779.

Adresa autora:

Bc. Marek Štefanec,

Technická Univerzita vo Zvolen, Lesnícka fakulta, Katedra integrovanej ochrany lesa a krajiny

T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen

e-mail: marek.agbar@gmail.com

SUMMARY

INTERANNUAL DIFFERENCES IN MORPHOLOGY OF NEEDLES AND STOMATA OF CONTRASTING SILVER FIR PROVENANCES (*ABIES ALBA* MILL.)

Climate has been changing rapidly in the last decades, causing shifts in plant distribution. Thus, it is essential to reveal if some populations of woody plants might be more drought-resistant thanks to differing stomatal characteristics. The most crucial function of stomata is the regulation of water losses from a plant and the inflow of CO₂. The objective of this work is to assess differences in the size of needles and stomata and in the stomatal density. The size of stomata can affect the speed of the response during the drought stress event. We measured 960 needles sampled from five provenances (Austrian, two Slovak and two Polish ones) originating from different altitudes. We assessed three needle-year-classes and their stomatal traits. We found significant differences among provenances for all tested features and also, we found significant differences among years (except for the stomal length). The interaction provenance × year was statistically significant for all assessed parameters. Three-year-old needles differed from overall average values and populations originating from the most extreme localities showed minimal response to the drought occurring within that particular year.

BYSTRUŠKOVITÉ (COLEOPTERA, CARABIDAE) HORSKÝCH SMREKOVÝCH LESOV STREDNEJ EURÓPY A ICH REAKCIE NA VETROVÉ KALAMITY

Zbyšek ŠUSTEK

Šustek, Z.: Bystruškovité (Coleoptera, Carabidae) horských smrekových lesov strednej Európy a ich reakcie na vetrové kalamity. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen

Abstrakt

Bystruškovité (Coleoptera, Carabidae) sú vďaka svojej bohatej ekologickej diferencovanosti ideálnou modelovou skupinou na posudzovanie bezprostredného dopadu vetrových kalamít na stredoeurópske horské smrečiny a priebehu ich spontánnej alebo umelo riadenej obnovy. Približne 30 druhov, ktoré potenciálne vytvárajú spoločenstvá v týchto ekosystémoch, predstavuje približne 5% druhového bohatstva bystruškovitých v strednej Európe. Počet druhov, abundancia a štruktúra spoločenstiev bystruškovitých v prirodzených alebo poloprirodzených smrečinách sa značne menia v závislosti na geologickom substráte, expozícii, charaktere opadanky a fluktuáciách klímy. Preto predpokladom spoľahlivej bioindikácie stavu a zmien smrečín pomocou bystruškovitých je znalosť variability ich spoločenstiev. Jej charakteristika je cieľom tohto článku. Časť bystruškovitých obývajúcich smrečiny sú stredoeurópske alebo karpatské endemity, ktoré predstavujú citlivejšiu zložku spoločenstiev. Naopak druhy s väčším geografickým rozšírením sa javia ako tolerantnejšie. Na bázičských substrátoch je výrazne vyššia kumulatívna abundancia a druhová bohatosť bystruškovitých ako na kyslých. Husté machové porasty vedú k poklesu abundancie bystruškovitých a k miznutiu veľkých druhov. Na samotný polom reagujú bystruškovité len poklesom abundancie. Až vývoz dreva z postihnutých plôch alebo následný požiar spôsobuje hlboké štrukturálne zmeny spoločenstiev a ich diferenciáciu podľa stupňa narušenia. V prvých rokoch po požiari dochádza k výrazným inváziám bystruškovitých obývajúcich poľné ekosystémy. Podstatne hlbšie zmeny na zhoreniškách sa vyrovnávajú na úroveň ostatných vytváraných plôch až po šiestich až siedmich rokoch. V intaktných i narušených smrečinách sa parametre spoločenstiev bystruškovitých menia približne s 1- až 2-ročným oneskorením po výkyvoch klímy charakterizovaných štandardizovaným indexom zrážok a evapotranspirácie (SPEI). Výskyty sucha majú negatívny dopad na stav spoločenstiev a brzdia ich obnovu na plochách postihnutých kalamitami. Vo Vysokých Tatrách sa smerom do vyšších polôh začínajú do obnovujúcich sa porastov šíriť druhy bystruškovitých s optimom výskytu v nízkych polohách ako možný dôsledok otepľovania klímy.

Kľúčové slová: bystruškovité, Carabidae, smrečiny, vetrové kalamity, ekológia, bioindikácia, klíma, ochrana prírody, Stredná Európa

ÚVOD

Smrekové porasty v strednej Európe sa v ostatných rokoch stali obeťou rozsiahlych deštrukcií spôsobených vetrovými kalamitami a gradáciami podkôrníkov. Jednou

z ideálnych modelových skupín na posúdenie bezprostredného dopadu týchto katastrof i priebehu spontánnej alebo umelo usmerňovanej obnovy smrečín sú chrobáky z čeľade bystruškovitých (Coleoptera, Carabidae). Ich bioindikačné využitie na tento účel však naráža na značnú variabilitu ich spoločenstiev v prirodzených i poloprirodzených smrečínach. To môže sťažovať hodnotenie momentálneho stavu i priebehu sukcesie ich spoločenstiev. Cieľom tejto štúdie je pokus o vyplnenie tejto medzery syntézou publikovaných i nepublikovaných poznatkov získaných na rôznych lokalitách počas zhruba za 60 rokov.

Všeobecná charakteristika bystruškovitých

Ide o ekologicky veľmi diferencovanú skupinu chrobákov viazanú prevažne na povrch pôdy a tvoriacu početne významnú súčasť pôdnej fauny v rôznych typoch terestrických ekosystémov (DESENDER 1986a-c; ŠAROVÁ 1981; THIELE 1977). Fylogeneticky pôvodné potravné vzťahy bystruškovitých, indikované tvarom ústnych orgánov a existenciou mimotelového trávenia, predstavuje predácia iných drobných živočíchov. Tá u zástupcov niektorých rodov bystruškovitých vyústila do výrazných morfológických špecializácií iba na niektoré druhy koristi. Príkladom sú tzv. cychroidné formy s úzkou predĺženou hlavou a štítom, čo umožňuje hlboko prenikať do schránok ulitníkov a maximálne využívať biomasu ich tela stiahnutého do ulity. Takáto adaptácia je príznačná nielen pre rod *Cychrus*, ale aj niektoré východoázijské podrody rodu *Carabus*. Druhy rodu *Notiophilus* sú adaptované na lov chvostoskov počas dňa. Pomerne hojne sa vyskytujú aj vo svetlejších smrečínach s povrchom pôdy krytým iba vrstvou ihličia.

Značná časť druhov bystruškovitých je schopná žiť sa aj telami uhynutých živočíchov a do určitej miery prijímať aj rastlinnú potravu, najmä zo zrelých mäkkých plodov alebo mäkkých nezdrevnatených častí bylín. Preto mnohé druhy sú v rôznej miere skôr všežravce (omnivory) ako mäsožravce v užšom zmysle. Niektorí autori ich preto z hľadiska funkcie v ekosystémoch považujú za „upratovačov“ (scavengers) (De VAULT et al. 2004). Ojedinelo boli zaznamenané aj ako škodcovia poľnohospodárskych plodín i semenáčikov lesných drevín (BURMEISTER 1939; SORAUER 1933). Časť bystruškovitých je prevažne alebo úplne semenožravá (v strednej Európe rody *Amara* a *Ophonus*, v stredozemí rody *Ditomis*, *Carterus*, a vysoko špecializovaný rod *Machozetus*).

V holarktickej oblasti je pomerne tesný vzťah medzi potravnou orientáciou bystruškovitých a ich prostredím. Pre lesné a mokradné ekosystémy je charakteristická jednoznačná prevaha mäsožravých druhov. V nelesných ekosystémoch sa významne zvyšuje zastúpenie všežravých alebo rastlinožravých druhov. Táto zákonitosť sa prejavuje aj v horských smrečínach. V zapojených smrečínach rastlinožravé druhy chýbajú alebo sa objavujú len zriedka. Naopak, na prirodzených subalpínskych lúkach alebo holinách vzniknutých v dôsledku ťažby dreva môžu rastlinožravé druhy rodu *Amara* v spoločenstvách bystruškovitých dosahovať významné zastúpenie. Zastúpenie typicky lesných dru-

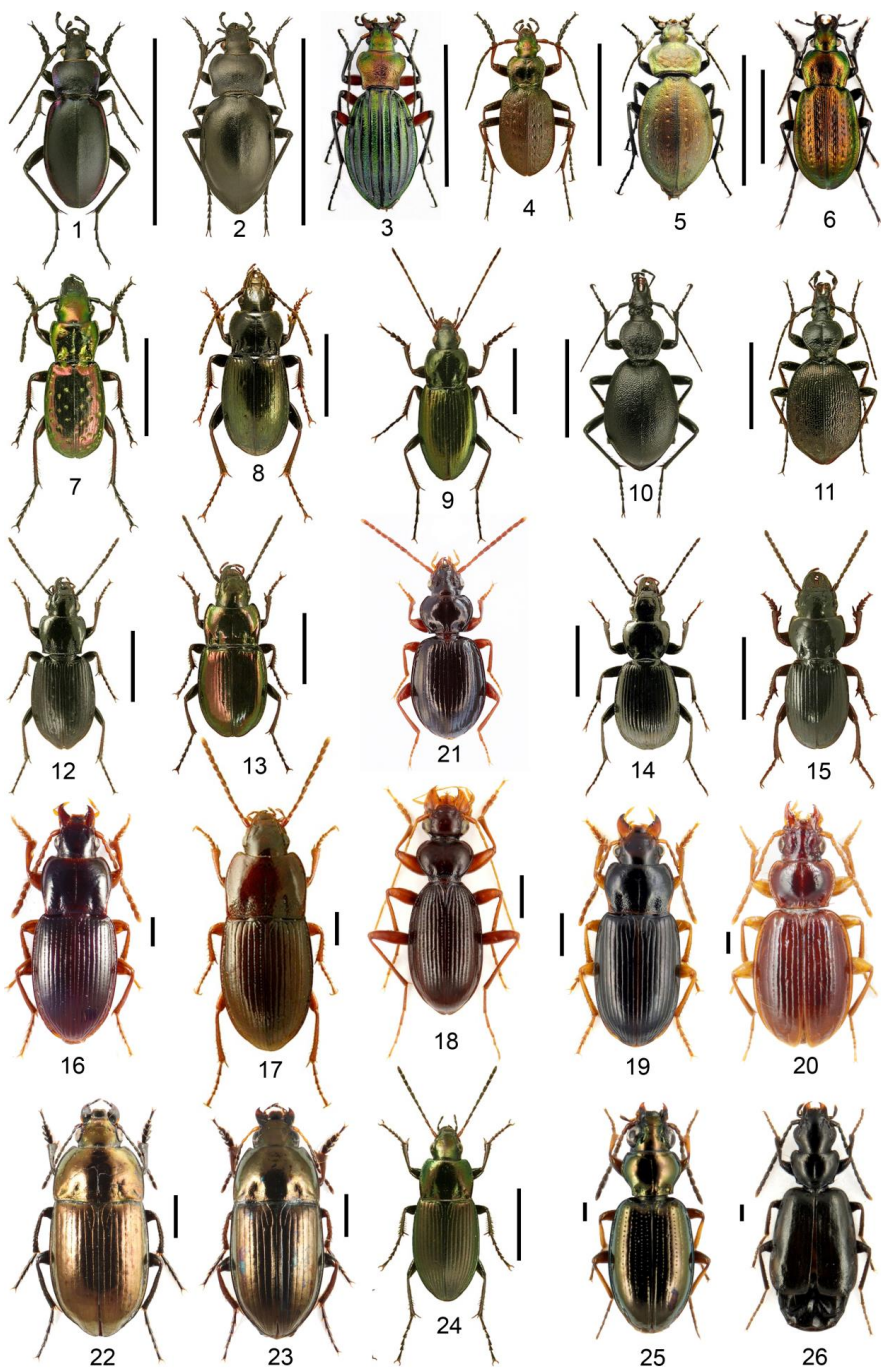
hových na týchto lúkach silne závisí aj na klimatickej vodnej bilancii týchto lokalít (ŠKVARČINOVÁ et al. 2002). Kladná bilancia umožňuje na týchto plochách výskyt a dennú aktivitu aj druhom, ktoré sú v nižších polohách typicky lesné a nočné.

Bystruškovité vykazujú aj charakteristické tvarové adaptácie na prostredie, ktoré bezprostredne obývajú a kde sa ukrývajú, definované ako zložitý hierarchický systém životných foriem (ŠAROVÁ 1981). Pre ekosystémy listnatých lesov sú charakteristické tzv. abacetoidné formy (podľa rodu *Abax*) so širokým plochým telom (THIELE 1977).

Charakteristika spoločenstiev bystruškovitých v smrečinách

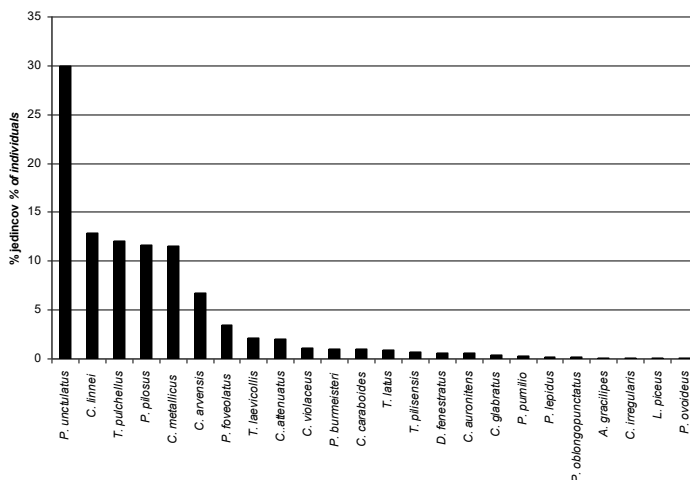
Spoločenstvá bystruškovitých v horských lesných ekosystémoch s výskytom smrekov (MARTINEK 1960; ŠUSTEK 1981a, 1982a, 2000, 2006, 2007a, 2007b, 2007c, 2009a, 2009b, 2015, 2017, 2018, ŠUSTEK, ŽUFFA 1986, 1988; ŠUSTEK, VIDO 2013, 2015; ŠUSTEK et al. 2017) možno pokladať za prirodzené alebo aspoň prírode blízke iba v prírodných podmienkach smrekového, smrekovo-jedľovo-bukového a čiastočne aj jedľovo-bukového vegetačného stupňa (RAUŠER a ZLATNÍK 1966). Smrek má tendenciu okysľovať prostredie oproti prirodzenej chemickej reakcii jeho geologického podložia a pôdy. Tým sa zhoršujú podmienky pre existenciu iných živočíchov a rastlín, na ktorých bystruškovité potravne závisia. Smrekové monokultúry majú sklon k hromadeniu vrstvy nerozloženého ihličia a surového humusu, ktorý zhoršuje podmienky pre iné živé organizmy. Preto sú spoločenstvá bystruškovitých v neprirodzených smrekových monokultúrach vždy chudobnejšie ako v prirodzených geobiocenózach v analogických stanovištných podmienkach.

Potenciálne sa prirodzené spoločenstvá bystruškovitých v stredoeurópskych smrečinách v jedľovo-bukovo-smrekovom až smrekovom vegetačnom formujú približne z 30 druhov (tab. 1, obr. 1, 2), ktoré predstavujú len 5% počtu druhov bystruškovitých zistených na Slovensku (HŮRKA 1996). Najcharakteristickejšie z nich majú optimum rozšírenia v jedľovo-bukovom až kosodrevinnom vegetačnom stupni. Zoogeograficky sem patrí predovšetkým 15 stenotopných lesných druhov (*Carabus linnei*, *Cychrus caraboides*, *Cychrus attenuatus*, *Leistus piceus*, *Trechus latus*, *Trechus pulchellus*, *Trechus pilisensis*, *Trechus striatulus*, *Pterostichus burmeisteri*, *Pterostichus unctulatus*, *Pterostichus pumilio*, *Pterostichus cordatus*, *Pterostichus angustatus*, *Calathus ambiguus*, *Trichotichus laevicollis*) pomerne široko rozšírených vo všetkých stredoeurópskych pohoriach. Zatiaľ čo väčšina z nich podľa miestnych podmienok dosahuje v spoločenstvách väčšinou subdominantné až eudominantné postavenie (SR<0.5%, R 1-5%, SD 1-5%, D 5-10%, ED>10%, SCHWERDFEGER 1975), druhy *Pterostichus cordatus* a *Pterostichus angustatus* sú vždy ojedinelou, hoci charakteristickou zložkou spoločenstva.



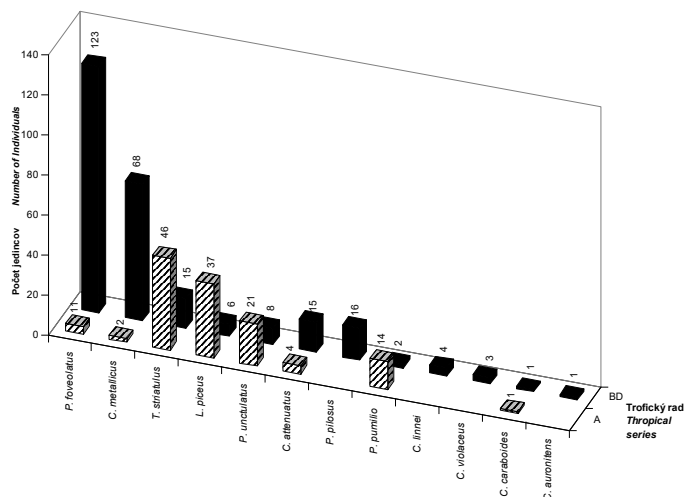
Farebná tabuľa 1. Hlavní predstavitelia spoločenstiev bystruškovitých v stredoeurópskych horských smrečinách (1 – 21) a na polomových plochách vo Vysokých Tatrách (22 – 26) a ich veľkosť v mm. Colour plate 1. Main representatives of carabid communities in the Central European mountain spruce forests (1 – 21) and in wind-affected forests in Tatra Mountains (22 – 26) and their body size in mm.

1 *Carabus violaceus*, 2 *Carabus glabratus*, 3 *Carabus auronitens escheri*, 4 *Carabus linnei*, 5 *Carabus sylvestris*, 6 *Carabus arvensis*, 7 *Pterostichus pilosus*, 8 *Pterostichus foveolatus*, 9 *Calathus metallicus*, 10 *Cychrus caraboides*, 11 *Cychrus attenuatus*, 12 *Pterostichus oblongopunctatus*, 13 *Pterostichus burmeisteri*, 14 *Pterostichus cordatus*, 15 *Molops piceus*, 16 *Pterostichus pumilio*, 17 *Pterostichus unctulatus*, 18 *Leistus piceus*, 19 *Trichotichnus laevicollis*, 20 *Trechus pillisensis*, 21 *Trechus latus*, 22 *Amara erratica*, 23 *Amara aenea*, 24 *Poecilus cupreus*, 25 *Bembidion lampros*, 26 *Microlestes minutulus*.



Obr. 1. Relatívna abundancia 24 druhov bystruškovitých (N = 1 018 jedincov) v jedľovej smrečine (*Piceeta abietina*) v Prírodnej rezervácii Šrámková v Malej Fatre (Šustek a Žuffa 1986)

Fig. 1. Relative abundance of 24 Carabid species (N = 1,018 individuals) in a fir-beech forest (*Piceeta abietina*) in the Nature Reserve Šrámková in Malá Fatra Mountains (Šustek and Žuffa 1986)



Obr. 2. Abundancia druhov bystruškovitých v spoločenstvách jarabinových smrečín (skupina geobiocénov *Sorbi Pieceeta*) v kyslom (A) a prechodnom neutrálne kalcifilnom (BD) trofickom rade v Belianských Tatrách (Šustek 2006).

Fig. 2. Abundance of Carabid species in assemblages in ash-spruce forests (group of geobiocoens *Sorbi Pieceeta*) in acidophilous (A) and transitional neutral-calciphilous (BD) trophical series in the Belianske Tatry Mountains (Šustek 2006)

V Karpatských pohoriach k týmto druhom pristupujú endemické druhy *Pterostichus foveolatus* a *Pterostichus pillosus* s výškovým rozšírením v jedľovo-bukovom až kosodrevinovom vegetačnom stupni. Miestami sa k nim pridružuje karpatobalkánsky druh *Calathus metallicus* s optimom rozšírenia v kosodrevinovom vegetačnom stupni, ktorý zostupuje do smrekových porastov v nižších vegetačných stupňoch. Uprednostňuje najmä rozvoľnené lesné porasty. V súvislých porastoch má len recedentné až subdominantné zastúpenie.

V horských smrečinách sa ďalej uplatňujú druhy *Carabus auronitens*, *Carabus glabratus*, *Molops piceus* a *Carabus violaceus* (tab. 1/1-3 a 15), rozšírené vo väčšej časti Európy. Prvé tri sú prevažne stenotopné lesné druhy, s rozšírením od dubovo-bukového do kosodrevinového vegetačného stupňa. *Molops piceus* pritom nikdy nemá v spoločenstvách na väčšine územia vyššie ako subdominantné zastúpenie. Jeho prítomnosť je znakom vysokého stupňa prirodzenosti spoločenstva. *C. violaceus* má v strednej Európe prirodzené optimum rozšírenia v jedľovo-bukovom až smrekovom vegetačnom stupni, ale zároveň má mimoriadne širokú amplitúdu výškového rozšírenia od nížin až po hranicu kosodrevinového a alpskeho vegetačného stupňa. Jeho výskyt je na konkrétnych lokalitách ovplyvnený mierne zvýšenými nárokmi na vlhkosť a zároveň menšími nárokmi k zatieneniu. To mu umožňuje využívať rôzne typy narušeného prostredia (napríklad vysušenie lužných lesov, vo vyšších polohách dočasné odlesnenie) spojené s potlačením

kompetičného tlaku iných druhov a dosahovať v takýchto podmienkach mimoriadne vysoké kvantitatívne zastúpenie. Do určitej miery tieto vlastnosti na polomových plochách v Vysokých Tatrách vykazuje aj *C. glabratus*, ktorý v týchto podmienkach vytvára s *C. violaceus* dvojicu dominantných vzájomne sa alternujúcich druhov. Podobne sa vo Vysokých Tatrách správa aj *M. piceus*, ktorý tu na rozdiel od iných lokalít dosahuje práve na narušených plochách dominantné postavenie.

Miestami v smrečinách smrekovo-jedlovo-bukového a smrekového vegetačného stupňa vyznieva výskyt *Pterostichus oblongopunctatus* a *Pterostichus melanarius*. Ide o eurosibírske druhy s optimom rozšírenia v nižších polohách. Oba majú mierne zvýšené nároky na vlhkosť. *P. oblongopunctatus* je pomerne stenotopný lesný druh, *P. melanarius* je naopak mimoriadne eurytopný a vo veľkých množstvách obýva aj polia alebo niektoré typy lužných lesov. Vďaka zachovanej schopnosti lietať je aj značne expanzívny a veľmi pohotovo dokáže meniť biotopy podľa momentálnych výkyvov pôdnej vlhkosti (ŠUSTEK 1995). V smrečinách, resp. v miestach ich rozpadu, je podobne lokalizovaný aj výskyt *Carabus arvensis*. Ide tiež o druh so širokou amplitúdou vertikálneho rozšírenia od nížin po kosodrevinový vegetačný stupeň. Uprednostňuje svetlé lesné porasty na ľahkých piesčitých substrátoch a je značne tolerantný k neprítomnosti zatienenia. Vyskytuje sa aj na porastoch postihnutých vysokou záťažou ťažkými kovmi (okolie Krompach, nepublikované). V Západných Karpatoch (Malá Fatra, Belianske Tatry) ho v smrečinách často sprevádza *C. metallicus*.

Naopak, iba v hercýnskej oblasti do smrečín v smrekovom a smrekovo-jedľovo-bukovom vegetačnom stupni zostupuje vysokohorský druh *Carabus sylvestris* (MARTINEK 1960; ŠUSTEK 1982; HŮRKA 1995) ktorý sa v Karpatoch uplatňuje len na rozhraní vyššieho pásma kosodrevinového a nižšieho pásma alpskeho vegetačného stupňa. Do súvislých smrekových porastov tu nezostupuje ani ako recedentný či subrecedentný druh.

K uvedeným druhom pristupujú ďalšie druhy so širokou ekologickou valenciou, príznacne skôr pre nelesné ekosystémy. Ich najčastejším predstaviteľom je *Notiophilus biguttatus* vyskytujúci sa na svetlejších miestach, s holou vrstvou ihličia. Ďalšie tri druhy, *Poecilus lepidus*, *Agonum gracilipes* a *Demetrias atricapilus*, sa v smrečinách objavujú zriedka a náhodne a nepatria k charakteristickej zložke ich fauny. Druh *P. lepidus* obýva predovšetkým poľné a lúčne ekosystémy na suchších piesčitých pôdach, kde alternuje blízke druhy *Poecilus cupreus* a *P. coeruleus*. *A. gracilipes* je prevažne vzácny druh s veľmi širokou ekologickou valenciou v rôznych nelesných ekosystémoch. *D. atricapilus* je nehojný druh, ktorý často loví korisť na travinovej vegetácii v nelesných ekosystémoch.

V spoločenstvách bystruškovitých, nielen v smrečinách, existuje na Slovensku a v priľahlých častiach južného Poľska, nápadný rozdiel medzi Vysokými Tatrami a ostatnými pohoriami v zastúpení druhov rodu *Trechus*. Zatiaľ čo v iných pohoriach na jednej lokalite tento rod zastupujú 2 až 4 druhy (*T. pilisensis*, *T. latus*, *T. pulchellus*, *T. striatulus*), z ktorých jeden vždy dominuje (obr. 1) (ŠUSTEK a ŽUFFA 1986, 1988), vo Vysokých Tatrách

sa takmer vždy vyskytuje iba jediný druh *T. striatulus*. Dosahuje tu vysokú početnosť až do alpínskeho vegetačného stupňa (ŠUSTEK 2006, 2007a). Úspešná koexistencia niekoľkých druhov rodu *Trechus*, prípadne ich koexistencia s inými podobne veľkými a hojnými druhmi (*P. unctulatus*, *P. pumilio*) na iných lokalitách vylučuje, že by uvedený rozdiel bol výsledkom kompetičného tlaku. Ako vysvetlenie sa ponúka zaľadenie Vysokých Tatier a horšie podmienky pre ich neskoršie osídlenie aj ďalšími druhmi tohto rodu. Iba *Trechus ampicollis* sa ojedinelo objavuje len pozdĺž potokov na úpätí Vysokých Tatier.

Počet druhov v spoločenstvách bystruškovitých vo vysokohorských smrečinách je na konkrétnych biotopoch, resp. v jednotlivých rokoch, vždy menší, ako je potenciálny počet druhov, ktoré sa v nich môžu uplatňovať. Na jednotlivých lokalitách sa pohybuje väčšinou okolo 10 druhov. V menej priaznivých podmienkach klesá na 5 – 6 druhov, zatiaľ čo v priaznivých podmienkach presahuje 20 druhov (obr. 1). Spravidla 2 – 5 druhov je dominantných až eudominantných, ostatné bývajú zastúpené oveľa menej početne.

V oblasti výskytu endemických karpatských druhov *P. pillosus* a *P. foveolatus* dochádza v smrečinách (ale aj v iných typoch lesných geobiocenóz) k prejavom ekologickej vikarizácie s podobne veľkými druhmi s širšími areálmi rozšírenia. Spravidla smerom do vnútra karpatskej oblasti a smerom do vyšších polôh obom karpatským endemitom im ustupujú inde hojné druhy *P. oblongopunctatus* a *P. burmesteri*, ktoré na viacerých miestach v Karpatoch naopak takmer chýbajú.

Naopak v smrečinách na južných svahoch Vysokých Tatier úplne chýba endemický druh *P. pillosus* a zastúpenie druhu *P. foveolatus* je nižšie ako na iných lokalitách v karpatských pohoriach. Môže to súvisieť s južnom expozíciou a teplejšou a suchšou mikroklimou, troficky chudobným substrátom, ale aj s dlhodobým využívaním tejto oblasti ako pastviny v dávnejšej minulosti a tým aj z druhotného charakteru týchto smrečín.

Druhovo najchudobnejšie spoločenstvá bystruškovitých sú v kyslých čučoriedkových smrečinách s paprad'ami (obr. 2 – trofický rad A), kde prevažnú časť povrchu pôdy súvislo pokrýva hrubá vrstva machov. Tento porast nedovoľuje väčším druhom ukrývať sa cez deň v horných vrstvách hrabanky alebo sa v klimaticky menej priaznivých obdobiach zahrabávať hlbšie do zeme. Preto sa v týchto typoch smrečín vyskytuje len veľmi malý počet jedincov druhov nepresahujúcich veľkosť 5 mm (*Trechus* spp., *L. piceus*, *P. pumilio*, *P. unctulatus*). Druhy rodu *Carabus* a stredne veľké druhy rodu *Pterostichus* tu preto chýbajú (obr. 2). Veľmi ojedinelo sa tu objavujú oba druhy rodu *Cychrus*. Ich nízka početnosť súvisí aj s nízkou úživnosťou tohto typu smrečín a nedostatkom potravy, najmä takmer úplnou absenciou mäkkýšov ako potravného zdroja.

Podobne pôsobí na spoločenstvá bystruškovitých aj hrúbka a kompaktnosť surového humusu v niektorých prirodzených smrečinách. Výsledkom je tiež neprítomnosť veľkých (nad 20 mm) a stredne veľkých (približne 12 – 18 mm) druhov (*Carabus* spp., *Pterostichus* spp.), ale na rozdiel od smrečín súvislo pokrytých machmi tu drobné (2 – 6 mm) druhy (*Trechus* spp., *P. pumilio*, *P. unctulatus*) dosahujú neraz mimoriadne vysokú abundanciu.

Striedanie plôch porastených machom s plochami pokrytými nie príliš vysokou vrstvou surového ihličia umožňuje aj väčším druhom ukrývať sa v pôde. Vďaka tomu sa v takýchto smrečinách na jednom mieste súčasne vyskytujú vo väčšom množstve aj stredne veľké až veľké druhy. Naopak početnosť malých druhov tu býva nízka. Zrejme ide o dôsledok nielen kompetičného, ale aj predačného tlaku väčších druhov na larvy drobných druhov. Takáto štruktúra spoločenstva je typická i pre smrečiny s druhovo bohatou bylinnou vegetáciou.

Veľmi významným faktorom určujúcim štruktúru spoločenstva bystruškovitých je troficita substrátu. Na väčšine územia Západných Karpát, smrečiny, prirodzené i umelé, rastú na vyvrelinových substrátoch a patria do chudobných kyslých trofických radov A, AB, prípadne do neutrálneho radu B (sensu RAUŠER a ZLATNÍK, 1966). Na malej časti územia, najmä v oblasti Belianskych Tatier, nachádzame smrečiny rastúce priamo na bázičských substrátoch alebo na miestach, kde vyvrelinový substrát pokrýva hrubá vrstva bázičského substrátu. Tieto smrečiny patria do úživného prechodného radu BD. Medzi oboma skupinami smrečín je diametrálny rozdiel v štruktúre spoločenstiev bystruškovitých (obr. 2). Samotné druhové spektrum sa síce kvalitatívne mení málo, ale všetky druhy, najmä stredne veľké alebo veľké (Tab. 1) tu dosahujú mnohonásobne väčšiu abundanciu. Vidiť sa tu prejavuje väčšia troficita ekosystému a následne aj lepšia potravná ponuka pre bystruškovité. Zvlášť citlivo na lepšiu troficitu reagujú zvýšením abundancie najmä všetky karpatské, resp. karpatobalkánske endemity *P. foveolatus*, *P. pillosus* a *C. metalicus*.

S vyššou troficitou súvisí aj väčšie zastúpenie oboch druhov rodu *Cychnus*, závislých na výskytu ulitníkov. Priaznivý vplyv vyššej troficity sa v smrečinách na bázičských substrátoch kombinuje aj s účinkom bohatého bylinného zárastu a lepšou priestupnosťou opadanky umožňujúcou bystruškovitým sa do nej ľahšie zahrabávať.

Veľký vplyv troficity geologického substrátu na zloženie spoločenstiev bystruškovitých v smrečinách je zvlášť markantný v oblastiach, kde na malých vzdialenostiach dochádza k striedaniu mozaiky substrátov. Ide o jav typický pre Belianske Tatry, Malú a Veľkú Fatru. Na miestach styku častí mozaiky majú zmeny výskytu a abundancie jednotlivých druhov bystruškovitých doslova skokový charakter (ŠUSTEK 2009b).

Vplyv troficity geologického substrátu sa v horských ekosystémoch kombinuje so sklonom terénu. Na plochých častiach terénu býva abundancia jednotlivých druhov pri rovnakých alebo porovnateľných trofických podmienkach vyššia ako na strmých svahoch.

Faunu brehov horských potokov tvoria niektoré silne špecializované druhy bystruškovitých (*Nebria jockischi*, *Nebria gyllenhalii*). Spoločenstvá bystruškovitých na podmáčanom okolí pramenísk v zapojených smrekových porastoch (ale aj bukových, resp. bukových porastoch s prímiesou ihličnatých drevín) sú druhovo veľmi chudobné, zložené z jedného až troch druhov. Najčastejšie sa tu uplatňujú druhy rodu *Trechus*.

REAKCIE SPOLOČENSTIEV BYSTRUŠKOVITÝCH V SMREČI- NÁCH NA VETROVÉ KALAMITY

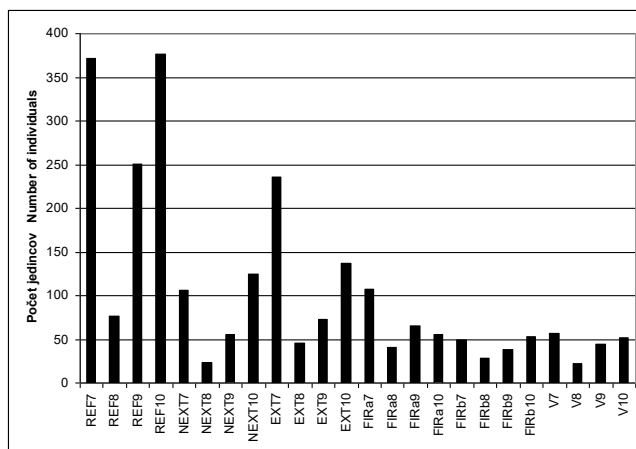
Dôležitým faktorom, ktorý výrazne ovplyvňuje faunu smrečín, sú veterné kalamity fragmentácia a zánik kompaktných dospelých porastov smreka v horských oblastiach Slovenska. Ščasti ide o jav, ktorý sa napríklad na južných svahoch Vysokých Tatier periodicky opakuje na tých istých miestach (GREGOR 1929; ŠUSTEK 2007a).

Bystruškovité na dopady kalamít reagujú viacerými spôsobmi. Tie závisia predovšetkým na súhre ich vlhkostných nárokov a podmienok, ktoré vytvorí polom, spôsob likvidácie jeho následkov, priebeh a rýchlosť sukcesie náhradnej – spontánnej i umelo vysadenej drevinovej vegetácie. Na základe výskumu spoločenstiev bystruškovitých (odchyty do zemných pascí v rokoch 2007 – 2010) po veternej kalamite vo Vysokých Tatrách (po 19. novembri 2004) je zrejmé, že samotný polom (bez následnej intervencie človeka) spôsobuje iba pokles abundancie všetkých prítomných druhov (obr. 3), ale neovplyvňuje druhové spektrum a proporcionálne zastúpenie druhov, čo odráža hierarchická klasifikácia jednoročných vzoriek (obr. 4) a ich ordinácia (obr. 5). Ležiace kalamitné drevo, byliny a kry chránia povrch pôdy pred prehrievaním a vysušovaním a zachovávajú tak na ňom mikroklimatické podmienky podobné podmienkam v nenarušenom poraste. Žiaden z pôvodných druhov po polome nemizne. Len menej hojné druhy tu dosahujú nižšiu frekvenciu výskytu. Tak isto sem neprenikajú ani druhy charakteristické pre iné typy ekosystémov. Abundancia jednotlivých druhov klesá v jednotlivých rokoch približne na tretinu stavu vo vetrom nepoškodenom referenčnom lese (obr. 3).

Vo vetrom ovplyvnenom lese s odstráneným kalamitným drevom, kde ostal viac menej zachovaný bylinný, prevažne trávnatý kryt, ustúpila väčšina citlivejších lesných druhov (najmä *C. linnei*, *C. auronites*, *C. caraboides*, *C. attenuatus*, *P. foveolatus*, *P. unctulatus*, *C. ambiguus*). Na ich miesto nastúpili dva tolerantnejšie lesné až mierne eurytopné druhy *C. glabratus* a najmä *C. violaceus*, ktoré tu v porovnaní so zapojenými smrečínami dosahovali dokonca oveľa vyššiu početnosť. Čiastočne je to spôsobené odstránením kompetičného tlaku veľkosti podobných druhov, ale zároveň pozoruhodnou adaptabilitou druhu *C. violaceus*. Ten totiž aj v diametrálne odlišných typoch ekosystémov (lužné lesy s narušeným prirodzeným hydrologickým režimom) dokáže využiť súhru vyradenia kompetičného tlaku kongenerických druhov a svoje mierne zvýšené vlhkostné nároky k výraznému zvýšeniu abundancie (ŠUSTEK 2004).

Likvidácia stromového poschodia tiež zvyhodňuje druhy typické pre horské bezlešia, najmä druh *Amara erratică*. Nedochádza tu však k výraznejšej invázii druhov kultúrnej krajiny z poľnohospodársky využívaných polí a lúk v nižšie položených častiach Popradskej kotliny. V konečnom dôsledku sa teda veternou disturbanciou umelo vyvolaný stav spoločenstva bystruškovitých približuje relatívne prirodzeným či prírode aspoň blízkym spoločenstvám na iných lokalitách, najmä v blízkosti hornej hranice kosodrevinného

pásma. Preto sa spoločenstvá bystruškovitých v týchto prostrediach odlišujú od spoločenstiev vo vetrom neovplyvnenom lese alebo vo vetrom ovplyvnenom lese s ponechaným kalamitným drevom menej ako spoločenstvá bystruškovitých na spáleniskách po lesnom požiari.

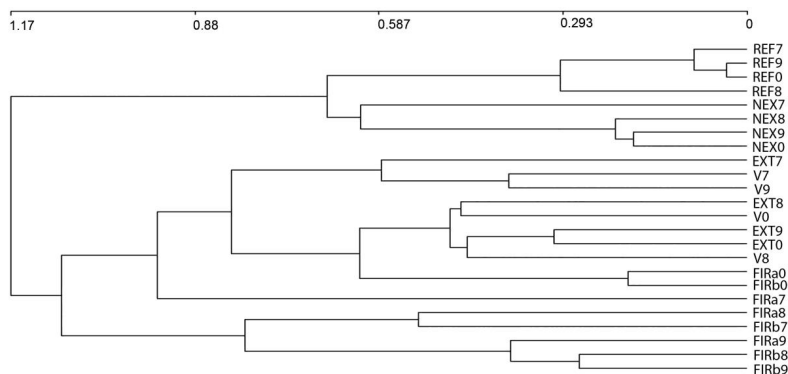


Obr. 3. Zmeny kumulatívnej abundancie bystruškovitých chrobákov v horskom smrekovom lese vo Vysokých Tatrách po víchrici v novembri 2004. Biotop: REF – vetrom neovplyvnený les (kontrola), NEX – vetrom ovplyvnený les s ponechaným kalamitným drevom, EXT – vetrom ovplyvnený les s odstráneným kalamitným drevom, FIR – vetrom ovplyvnený les s odstráneným kalamitným drevom, následne (v roku 2005) ovplyvnený lesným požiarom (a – spodná, b – horná časť požiarom narušeného biotopu); V – „Vodný les“, lokalita s odstráneným kalamitným drevom pretekaná meandrujúcim potokom. Čísla 7, 8, 9 a 0 označujú roky výskumu (2007, 2008, 2009, 2010)

Fig. 3. Changes in cumulative abundance of Carabids in mountain spruce forest in Tatra Mountains after the wind disturbance in November 2004. Habitat: REF – forest not modified by the wind (control); NEX – forest modified by the wind, timber left unsalvaged; EXT – forest modified by the wind, timber salvaged; FIR – forest modified by the wind, timber salvage and fire – forest fire in 2005 (a – lower, b – upper part of habitat affected by fire); V – „Vodný les“/“Water Forest“ – moist habitat with a meandering brook, windthrown timber salvaged. Numbers 7, 8, 9 and 0 indicate the year of the study (2007, 2008, 2009, 2010)

Celkom odlišné boli reakcie jednotlivých druhov bystruškovitých na polomových plochách dodatočne postihnutých veľkoplošným požiarom, ktorý úplne zničil prežívajúci bylinný porast a povrchové vrstvy opadanky. Spálené miesta veľmi rýchlo osídlila heliofilná vrbka úzkolistá *Chamerion angustifolium*, ktorá vytvorila hustý súvislý porast s priestorovou štruktúrou a mikroklimatickými podmienkami blízkymi poľným kultúram, najmä obilnín tesne pred začiatkom ich zretia. Tým vznikli predpoklady pre osídlenie spálenísk druhmi typickými pre takéto typ ekosystémov – agroekosystémy. Na spáleniskách pôvodne (pred disturbanciou) sa vyskytujúce lesné druhy vymizli takmer úplne alebo sa

objavovali len sporadicky, pravdepodobne len ako náhodní návštevníci či migranti zo susedných, požiarom neovplyvnených biotopov. Z pôvodných druhov aj tu najúspešnejšie, ale vo viditeľne menšej miere ako na požiarom neovplyvnených miestach, preživali iba *C. violaceus* a *C. glabratus*, resp. práve tieto dva druhy boli schopné najrýchlejšie osídľovať spáleniská znova. Zároveň sem však prenikali druhy otvorenej krajiny, z polí a lúk v Popradskej kotline. Ich prítomnosť na konkrétnych miestach závisela na momentálnom stave náhradnej bylinnej vegetácie tvorenej najmä vrúbkou, ktorá sa kvôli ochrane vysadených lesných drevín na časti spáleniska v danom čase kosila.

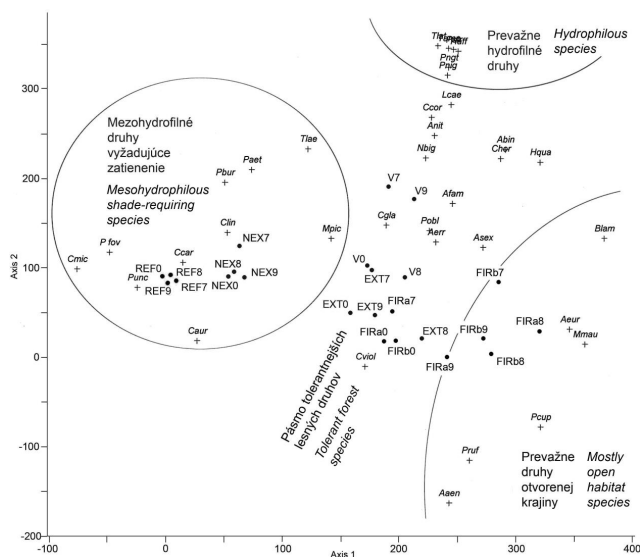


Obr. 4. Hierarchická klasifikácia spoločenstiev bystruškovitých v horskom smrekovom lese vo Vysokých Tatrách deštruovanom víchrícou v novembri 2004 a následne ovplyvnenom činnosťou človeka (ťažba a odvoz dreva) a požiarom. Proporcionálna podobnosť celoročných zberov v rokoch 2007 – 2010 (tetivová vzdialenosť); skratky biotopov – obr. 3

Fig. 4. Hierarchical classification of Carabid communities in the spruce forest in Tatra Mountains disturbed by the wind on 19 November 2004 and later affected by forestry practices (felling, timber removal) and fire. Based on the proportional similarity (chord distance) of one-year samples collected over the period 2007 – 2010; abbreviations for habitats – Fig. 3

Výsledky dokumentujú, že okrem vyššie uvedeného druhu *A. erratica* na nekosené miesta najviac prenikali *Poecilus cupreus*, druh s optimom rozšírenia v nížinách, primárne na alúviách prirodzene krytých vysokou bylinnou vegetáciou, sekundárne na poliach a lúkach. Neskôr na jeho miesto začal nastupovať *Poecilus versicolor*, ktorý má podobné ekologické nároky, ale optimum jeho výškového rozšírenia je v stredných polohách. Na kosených miestach sa uplatňoval heliofilný druh *Bembidion lampros* a dokonca aj silne suchomilný a teplomilný druh *Microlestes minutus*, ktorý vyhľadával aj insolované miesta bez vegetačného krytu. Okrem toho sú tu jednotlivo prítomné aj ďalšie druhy typické pre poľné ekosystémy (*Pseudoophonus rufipes*, *Amara aenea*), ale ich početnosť je nízka. Výskyt uvedených xenocénnych druhov je na zarastených zhoreniskách časovo nestály. Hlavnou príčinou je krátkosť obdobia, keď tieto druhy preletujú na veľké vzdialenosti, spravidla počas teplých jarných dní alebo teplých nocí pred prechodmi frontálnych

systémov. Tie predstavujú pre tieto druhy jedinú príležitosť prekonať vzdialenosť, ktorá polomové plochy oddeľuje od poľnohospodársky využívaných častí Popradskej kotliny a obsadiť ich vo väčšej početnosti. Ide o stratégiu propagácie umožňujúcu druhom obývajúcim ekosystémy vykazujúce znaky „katastrofického klimaxu“, ktorých sú polia typickým predstaviteľom, uniknúť z prechodne zničených biotopov a vyhľadávať si nové stanovištia. Druhou príčinou je kosenie vegetácie na umelo zalesnených plochách, ktoré vystavuje pôdny povrch nesúvislo krytý suchými byľami vrbky vysušovaniu a vyhrievaniu. Tým lokálne vznikajú podmienky vyhovujúce charakteristickým heliofilným druhom *B. lampros* alebo *M. minutulus*.



Obr. 5. Detrendovaná korešpondenčná analýza (DCA) celoročných zberov (2007 – 2010) bystruškovitých z horského smrekového lesa vo Vysokých Tatrách deštruovaného víchricou v novembri 2004 a následne ovplyvnenom činnosťou človeka (ťažba a odvoz dreva) a požiarom. Skratky biotopov – obr. 3; skratky druhov: *Aaen* – *Amara aenea*, *Aerr* – *Amara erratica*, *Aeur* – *Amara eurynota*, *Afam* – *Amara familiaris*, *Asex* – *Agonum sexpunctatum*, *Blam* – *B. lampros*, *Caur* – *Carabus auronitens*, *Ccar* – *Cychrus caraboides*, *Ccor* – *Carabus coriaceus*, *Cgla* – *Carabus glabratus*, *Chor* – *Carabus hortensis*, *Clin* – *Carabus linnei*, *Cmic* – *Calathus micropterus*, *Cviol* – *Carabus violaceus*, *Haf* – *Harpalus affinis*, *Hqua* – *Harpalus quadripunctatus*, *Lcae* – *Loricera coerulescens*, *Mmau* – *Microlestes maurus*, *Mpic* – *Molops piceus*, *Pcup* – *Poecilus cupreus*, *Pfov* – *Pterostichus foveolatus*, *Pnig* – *Pterostichus niger*, *Pngt* – *Pterostichus nigrita*, *Pobl* – *Pterostichus oblongopunctatus*, *Pruf* – *Pseudoophonus rufipes*, *Punc* – *P. unctulatus*, *Tamp* – *Trechus amplicillis*, *Tlat* – *Trechus latus*

Fig. 5. Detrended correspondence analysis (DCA) of one year samples of Carabids (samples collected between 2007 and 2010) from the spruce forest in Tatra Mountains disturbed by the wind in November 2004 and consequently affected by forestry practices (felling, timber removal) and fire. Abbreviations for habitats – Fig. 3; abbreviations for species – see above

Táto diferenciácia spoločenstiev bystruškovitých na polomoch s odstráneným kalamitným drevom bola charakteristická pre prvé roky po ich vzniku. Postupom času sa uvedené rozdiely stierajú, čo ukazuje pozícia spoločenstiev z týchto plôch v dendrograme ich klasifikácie (obr. 4) a ich presuny v ordinačnom priestore (DCA analýza, obr. 5). Súvisí to s rozvojom rýchlo rastúcich pionierskych drevín (vrbky, osiky, bazy červenej), ktoré šesť rokov po veternej disturbancii (v roku 2010) dosiahli výšku nad 2 m, vytvárajú skupiny a čiastočne tienia svoje okolie. Vďaka koseniu vrbku úzkolistú postupne nahrádza trávnatá vegetácia. Tým sa podmienky na miestach po požiari začínajú približovať podmienkam na miestach nepoškodených požiarom. V spoločenstvách bystruškovitých sa zmeny vegetácie odrážajú vyrovnaním rozdielov medzi týmito dvomi typmi biotopov. Ide však stále len o skôr kvantitatívne ako kvalitatívne zmeny. V roku 2010 k vyrovnaní rozdielov prispelo chladnejšie a vlhšie počasie. Podobný charakter zmien kumulatívnej abundancie na všetkých biotopoch v jednotlivých rokoch sledovaného obdobia (obr. 3) pritom naznačuje, že pozorované zmeny silne súvisia s ročnými výkyvmi klímy. Preto je otázne, do akej miery ide i trvalý stav.

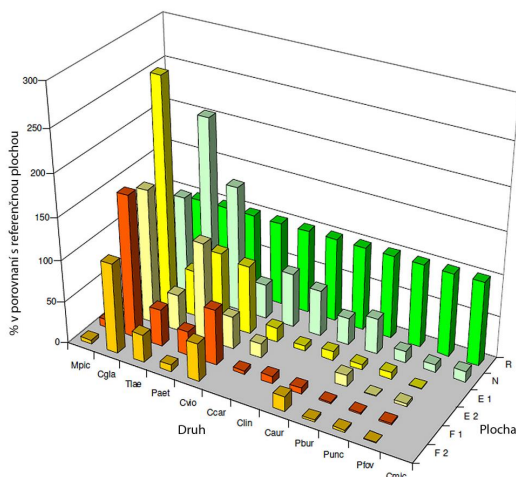
Vďaka vlhšej horskej klíme a určitej izolácii od poľnohospodársky využívanej krajiny invázia nelesných druhov na polomové plochy smrečín nedosiahla taký rozsah, aký nastáva v podobných situáciách v nížinách alebo stredných polohách (ŠUSTEK 1994 Kossova hora). Ďalšie smerovanie sukcesie bystruškovitých na polomových plochách bude závisieť od rýchlosti rastu drevín a vytvorenia ich súvislého zapojenia.

POROVNANIE TOLERANCIE NIEKTORÝCH DRUHOV

Toleranciu jednotlivých druhov k dopadu veternej kalamity a nasledujúcich zásahov na polomových plochách možno vyjadriť porovnaním ich zastúpenia na rôzne postihnutých plochách so zastúpením na referenčnej intaktnej ploche v relatívnej škále, v ktorej zastúpenie každého druhu na intaktnej ploche je 100% (Obr. 6). Vytvárajú sa tu približne dve výrazné skupiny druhov. Päť druhov z prebiehajúcich zmien dokonca do určitej miery profituje (*Molops piceus*, *Cadabus glabratus*, *Trichotichnus laevicollis*, *Pterostichus aethiops*, *Carabus violaceus*). Zvyšných sedem druhov pomerne úspešne prežíva na ploche s ponechanou drevnou hmotou, ale na ostatných plochách ich zastúpenie výrazne klesá alebo tam chýbajú (ŠUSTEK 2017a).

V rámci študovaného materiálu sa prejavuje kladná korelácia tolerancie jednotlivých druhov bystruškovitých a veľkosti areálu ich zemepisného rozšírenia pozorovaná dávnejšie v prostredí miest ako schopnosť bystruškovitých prenikať do urbanizovanej krajiny (ŠUSTEK 1981b, 1982b). Rovnaká závislosť bola nedávno ukázaná aj u rastlín ako miera ich invázivnosti (FRISTOE et al. 2021). V na polomových plochách sa to prejavuje ústupom karpatských a stredoeurópskych druhov a v prospech európskych druhov. Postupná obnova celistvosti porastu má za následok úbytok druhov eurosibírskych a transpalearktických,

ktoré predstavovali invazívnu zložku spoločenstiev bezprostredne po kalamite a následných požiaroch (ŠUSTEK 2017b).



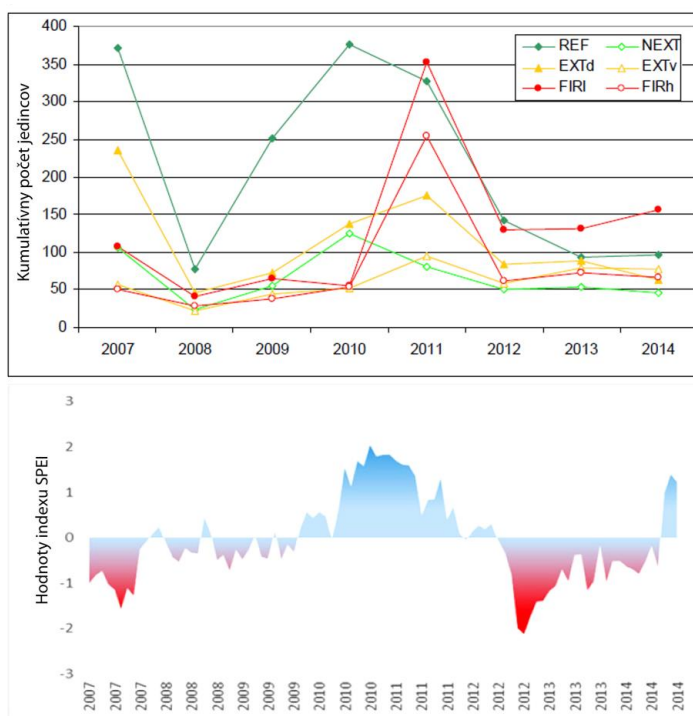
Obr. 6. Zmeny v relatívnom zastúpení jedincov 12 najhojnejších lesných druhov bystruškovitých (*Caur* – *Carabus auronitens*, *Cgla* – *C. glabratus*, *Clin* – *C. linnei*, *Cvio* – *C. violaceus*, *Ccar* – *Cychrus caraboides*, *Cmic* – *Calathus micropterus*, *Mpic* – *Molops piceus*, *Paet* – *Pterostichus aethiops*, *Pbur* – *P. burmeisteri*, *Pfov* – *P. foveolatus*, *Punc* – *P. unctulatus*, *Tlae* – *Trichotichnus laevicollis*) Skratky biotopov (R referenčná plocha, N – nevyťažená plocha, E1 a E2 vyťažené plocha nezasiahnuté požiarom, F1 a F2 vyťažené plochy zasiahnuté požiarom)

Fig. 6. Changes in relative number of individuals of 12 forest Carabid species (*Caur* – *Carabus auronitens*, *Cgla* – *C. glabratus*, *Clin* – *C. linnei*, *Cvio* – *C. violaceus*, *Ccar* – *Cychrus caraboides*, *Cmic* – *Calathus micropterus*, *Mpic* – *Molops piceus*, *Paet* – *Pterostichus aethiops*, *Pbur* – *P. burmeisteri*, *Pfov* – *P. foveolatus*, *Punc* – *P. unctulatus*, *Tlae* – *Trichotichnus laevicollis*) according to their tolerance to deforestation in six sites damaged by windstorm in 2004 (site abbreviations as in Obr. 3). Abbreviations of habitats (R reference plot, N – non-extracted timber, E1 and E2 – extracted timber, F1 and F2 – extracted and burned plots)

PERIODICKÉ A NEPERIODICKÉ, KLIMATICKY PODMIENENÉ ZMENY SPOLOČENSTIEV BYSTRUŠKOVITÝCH V HORSKÝCH SMREČINÁCH

Vo vývoji spoločenstiev bystruškovitých vo Vysokých Tatrách v oblasti postihnutých vetrovou kalamitou sa bez ohľadu na stupeň postihnutia a nezávisle na ňom sformovanom druhovom spektre prejavila výrazná závislosť na priebehu klímy. Koncom roka 2006 a v roku 2007 tu došlo k výskytu sucha, ktorý je indikovaný poklesom hodnoty indexu SPEI-12, ktorý pretrvával až do roku 2008 a zmierňoval sa v roku 2009. Naopak

v rokoch 2010 a 2011 Index SPEI 12 vzrástol až na hodnoty 2, ale v rokoch 2012-2014 opäť prudko poklesol (Obr. 7). Tieto zmeny Indexu SPEI-12 s menším oneskorením dokonale kopirovali aj kumulatívnej abundancie bystruškovitých ako jedného z jednoduchých ekologických parametrov spoločenstva (Obr. 7). Rovnaký trend v závislosti na zmenách vlhkosti vykazovali aj ostatné parametre spoločenstva (ŠUSTEK et al 2017). Uvedené zmeny majú jasný periodický charakter. Kumulujú sa v nich viaceré vplyvy – najmä väčšia potravná ponuka vo vlhkých rokoch a priaznivejšie podmienky pre rozmnožovanie. Zároveň vyššia vlhkosť prostredia umožňuje jednotlivým druhom predĺžiť ich aktívnu fázu v priebehu vegetačného obdobia i počas dňa. Ich vyššia pohybová aktivita sa prirodzene prejaví aj vyššími úlovkami.



Obr. 7. Oneskorenie zmien kumulatívneho počtu bystruškovitých na šiestich plochách v oblasti postihnutej vetrovou kalamiťou za zmenami hodnôt indexu SPEI (skratky plôch ako na obr. 3)
Fig. 7. Delay of changes in cumulative number of *Carabidas* in six plots in the areas damaged by wind storm after changes in index SPEI (abbreviations of plots as in fig. 3)

Na polomových plochách s čiastočne sa obnovujúcou drevinou vegetáciou bolo od roku 2009 zaznamenané prenikanie lesných druhov bystruškovitých s optimom v dubovom až dubovobukovom vegetačnom stupni. Najprv išlo o jednotlivé kusy *Carabus coriaceus*, nasledované v rokoch 2010 a 2011 *Carabus hortensis* a *Carabus nemoralis*

(ŠUSTEK 2014). Ich prenikanie sa vtedy obmedzovalo na jednu z dvoch najnižšie položených plôch Vodný les (1022 m n.m.), od roku 2014 sa *C. hortensis* rozšíril na druhú najnižšie položenú plochu Tatranské Zruby (1015 m n.m.). Od roku 2018 sa objavil aj na ploche Danielov dom (1060 m n. m.). Ide o pomalé šírenie druhov neschopných lietať, ktoré však predstavuje trvalejší trend. V roku 2020 nastala na všetkých polomových plochách okrem plochy Jamy invázia nížinného hygrofilného a lietajúceho druhu *Pterostichus niger*. Či ide širšiu súvislosť so šírením uvedených troch druhov rodu *Carabus* ukáže len ďalší výskum. Porovnanie s inými lokalitami sledovanými v roku 2020 (Krompachy, Margecany, nepublikované) naznačuje, že môže ísť o prejav extrémnej fluktuácie populácií tohto mimoriadne dynamického druhu (ŠUSTEK 1995).

ZÁVER

Spoločenstvá bystruškovitých stredoeurópskych smrečín vykazujú v prírodných podmienkach značnú premenlivosť zastúpenia asi 30 lesných druhov. Je odrazom úživnosti geologického substrátu a vlastností hrabanky. Siahajú od nepočetného zastúpenia drobných druhov cez ich veľmi početné zastúpenia až po relatívne vyrovnané zastúpenie drobných i veľkých druhov. Táto variabilita môže vytvárať aj výraznú mozaiku na pomerne malej ploche. Tieto stavy by mali byť etalónom pre hodnotenie stavu spoločenstiev v konkrétnych prípadoch.

Deštrukcia stromového poschodia pri vetrovej katastrofe sa prejavuje len poklesom kvantitatívneho zastúpenia jednotlivých druhov. Ostáva pri nej zachovaná hrabanka a ležiacie kmene i zvyšky prirodzeného zmladenia drevín chrániť pôdu pred nadmerných prehrievaním. Podstatnejšie zmeny nastávajú po vyťažení drevnej hmoty a s tým súvisiacim narušením hrabanky a prirodzeného zmladenia drevín. Ústup lesných druhov je výraznejší, ale zachované trávnaté poschodie favorizuje len druhy typické pre horské bezlesia. Najhlbšie zmeny spôsobuje dodatočné vypálenie polomových plôch. Tu nastávajú invázie poľných druhov, ktoré tu dosahujú dočasne vysokého početného zastúpenia. Až po cca 6-7 rokoch sa začínajú približovať stavu na plochách nepostihnutých požiarom.

Po 10 rokoch sa spoločenstvá stabilizujú v stave, v ktorom počtom jedincov i viazanou biomasou výrazne prevažujú veľké druhy *Carabus violaceus* a *C. glabratus* sprevádzané *Molops piceus* a ko malým druhom. Stále tu však nedochádza k obnove populácií veľkých druhov *Carabus auratus*, *Carabus linnei*, *Cychrus attenuatus*, a drobných druhov *Pterostichus burmeisteri* a *P. unctulatus*.

PodĎakovanie

Táto štúdia vznikla za finančnej podpory grantovou agentúrou VEGA v rámci projektu 1/0370/18. Autor ďakuje tejto agentúre za vytvorenie podmienok na prácu.

Literatúra

- BURMEISTER, F., 1939: Biologie, Ökologie und Verbreitung der europäischen Käfer auf systematischer Grundlage. I. Band: Adephaga, I. Familiengruppe: Caraboidea. Hans Goecke Verlag, Krefeld, pp. 307.
- DEVULT, T. L., BRISBIN, I. L. & RHODES, O. E. JR., 2004. Factors influencing the acquisition of rodent carrion by vertebrate scavengers and decomposers. *Can. J. Zool.* 82: 502–509.
- FRISTOE, T. S., CHYTRÝ, M., DAWSON, W. ESSL, F., HELENO, R., KREFT, H., MAUREL, N., PERGL, J., PYŠEK, P., HANNO SEEBENS, H., WEIGELT, P., VARGAS, P., YANG, Q., ATTORRE, F., BERGMEIER, E., BERNHARDT-RÖMMERMANN, M., BIURRUN, I., BOCH, S., BONARI, G., BOTTA-DUKÁT, Z., BRUUN, H. H., BYUN, C., CARNI, Z., CARRANZA, M. L., CATFORD, J. A., CERABOLINI, B. E. L., CHACÓN-MADRIGAL, E., CICCARELLI, D., CUŠTEREVSKA, R., DE RONDE, I., DENGLE, J., GOLUB, V., HAVEMAN, R., HOUGH-SNEE, N., JANDT, U., JANSEN, F., KUZEMKO, A., KÜZMÍČ, F., LENOIR, J., MACANOVIČ, A., MARCENÒ, C., MARTIN, A. R., MICHALETZ, S. T., MORI, A. S., NIINEMETS, Ü., PETERKA, T., PIELECH, R., RAŠOMAVIČIUS, V., RUSINA, S., DIAS, A. S., ŠIBÍKOVÁ, M., ŠILC, U., STANISCI, A., JANSEN, S., SVENNING, J.-CH., SWACHA, G., VAN DER PLAS, F., VASSILEV, K., MARK VAN KLEUNEN, M., 2021: Dimensions of invasiveness: Links between local abundance, geographic range size, and habitat breadth in Europe's alien and native floras. *PNAS* 2021 Vol. 118, No. 22 e2021173118, s. 11.
- GREGOR, A., 1929: Povětrnost (Počasí a podnebí) našeho státu.. In: Československá vlastivěda, Díl. I. Příroda, „Sfinx“ Bohumil Janda, Praha, p. 176–226.
- HŮRKA, K. 1996: Carabidae České a Slovenské republiky. Kabourek, Zlín, 565 pp.
- MARTINEK, V., 1960: Insecta, Arachnoidea a Diplopoda smrkových kultur střední Evropy. *Rozpravy ČSAV*, 70: 1–135.
- RAUŠER, J., ZLATNÍK, Z., 1966: Biogeografie I, Národní atlas ČSSR, list 21.
- SORAUER, P., 1933: Die Pflanzenkrankheiten, Teil V., Paul Parey, Berlin, pp. 890.
- SCHWERDTFEGER, F., 1975: Ökologie der Tiere. Synökologie. Paul Parey Verlag, Hamburg-Berlin, 450 s.
- ŠAROVA, I. Ch. 1981: Žiznennye formy žuželic, Coleoptera, Carabidae, Nauka, Moskva, 360 s.
- ŠKVARENINA, J., TOMLAIN, J., KRIŽOVÁ, E., 2002: Klimatická vodní bilance vegetačních stupňů na Slovensku. *Meteorol. správy*, 55: 103–109.
- ŠUSTEK, Z., 1981a: Influence of clear cutting on ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in a pine forest. *Comunicaciones Instiututi forestalis Chechoslovenaie*, 12: 234 – 253
- ŠUSTEK, Z., 1981b: Některé souvislosti geografického rozšíření střevlíkovitých (Col. Carabidae) a jejich schopnosti pronikat do ekosystémů urbanizované krajiny. *Zprávy Geografického ústavu ČSAV*, 18 (1): 30-40.
- ŠUSTEK, Z., 1982a: The effect of Actellic EC 50 on the Carabidae and Staphylinidae in a Norway-Spruce forest in the Jizerské hory mountains. *Biológia (Bratislava)*, 37: 131–139.
- ŠUSTEK, Z., 1982b: An attempt at a possible application of zoogeographical criteria in bioindication. S. 167-172. In: Zborník referátov z konferencie Živočíšstvo ako bioindikátor zmien životného prostredia. Slovenská zoologická spoločnosť pri SAV v Bratislave. Zoologický ústav Univerzity Komenského v Bratislave. 218 s.
- ŠUSTEK, Z., 1995: Fluktuácie populácií druhov *Pterostichus melanarius* a *Pterostichus niger* (Col. Carabidae) a ich interpretácia. In: Svobodová, A. et Lisický, M. J. (eds). Výsledky a skúsenosti z monitorovania bioty územia ovplyvneného vodným dielom Gabčíkovo. Ústav zoológie a ekoszológie SAV, Bratislava, 314-318.
- ŠUSTEK, Z., 2000: Spoločenstvá bystruškovitých (Coleoptera, Carabidae) a ich využitie ako doplnkovej charakteristiky geobiocenologických jednotiek: problémy a stav poznania. In: ŠTYKAR, J., ČERMÁK, P. (eds), Geobiocenologická typizace krajiny a její aplikace, Geobiocenol. spisy, svazek č. 5. Brno, p. 18–30.
- ŠUSTEK, Z., 2004. Characteristics of humidity requirements and relations to vegetation cover of selected Central-European Carabids (Col., Carabidae). In: Štykar, J. Čermák, P. (Eds.): Geobiocenologická typizace krajiny a její aplikace [Geobiocenological landscape typology and applications]. Geobiocenologické spisy, 9, 210–214.
- ŠUSTEK, Z., 2006: Cenozoe carabidelor din ecosisteme alpine și subalpine din Carpații occidentali. *Oltenia, stud. com., Șt. Nat.*, 22: 138–147.
- ŠUSTEK, Z., 2007a: Classification of Carabid of spruce, dwarf pine and alpine vegetation tiers of West Carpathians. In: HRUBÁ, V., ŠTYKAR, J. (eds), Geobiocenologie a její aplikace, Mendelova zemědělská uni-

- verzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta. Ústav lesnické botaniky, dendrologie a geobiocenologie. Příspěvky z konference konané dne 10. a 11. listopadu 2006 ve Křtinách, Geobiocenologické spisy 11, Brno, p. 113–124.
- ŠUSTEK, Z., 2007b: Veterná katastrofa vo Vysokých Tatrách v roku 2004 a jej dopad na spoločenstvá bystruškovitých (Col. Carabidae). In: FLEISCHER P., MATEJKA, F. (eds), Pokalamitný výskum v TANAP-e 2007, Tatranská Lomnica, 25. – 26. október 2007, Geofyzikálny ústav SAV, p. 1–10 (CD).
- ŠUSTEK, Z., 2007c: Impact of wind disaster in High Tatras in November 2004 on Carabid communities. Oltenia, Studii și comunicări. Științele Naturii, 23: 155–123.
- ŠUSTEK, Z. 2009a. Veterná katastrofa vo Vysokých Tatrách a jej dopad na spoločenstvá bystruškovitých (Col. Carabidae) – výsledky z rokov 2007 a 2008 In: FLEISCHER, P., MATEJKA, F. (eds): Windfall Research in the TANAP, 2008, Proceedings of the 3rd Workshop Congress Center ACADEMIA, Stará Lesná, November 20-21, 2008 Geophysical Institute of the Slovak Academy of Sciences, Research Station of the TANAP, State Forest of TANAP, 2009, p. 220–226 (CD).
- ŠUSTEK, Z., 2009b: Changes of secondary productivity of Carabid communities (Insecta: Coleoptera) in natural forest ecosystems in relation to geological substrate and vertical zonality. Oltenia. Studii și comunicări. Științele Naturii, 25: 83-90.
- ŠUSTEK, Z., 2014. Shifts in representation of altitude preference Groups of Carabid Beetles (Coleoptera, Carabidae) in the zone of windstorm calamite in High Tatra in November 2004. In: Čelková, A. (Ed.): 21st International Poster Day Transport of Water, Chemicals and Energy in the Soil-Plant-Atmosphere System. Institute of Hydrology, Bratislava, pp. 335–346.
- ŠUSTEK, Z., 2015: Periodic and non-periodic changes in carabid communities from the norway spruce forests of the High Tatra in the zone damaged by windstorms. Muzeul Olteniei Craiova. Oltenia. Studii și comunicări. Științele Naturii, 31 (1): 87 – 104.
- ŠUSTEK, Z. 2017: Changes in chorological structure of Carabid assemblages during their restoration after the windstorm in High Tatra in 2004. In: 24th International Poster Day Transport of Water, Chemicals and Energy in the Soil-Plant-Atmosphere System Bratislava, 8.11.2017, s. 268 -276.
- ŠUSTEK, Z., 2018: Rozdiely v tolerancii dominantných druhov bystruškovitých (Coleoptera, Carabidae) v západokarpatských smrekových porastoch k dôsledkom polomov a následným zásahom do poškodených porastov. In: HRUBÁ, V., FRIEDL M. (eds): Geobiocenologie a lesnická typologie a jejich aplikace v lesnictví a krajinářství, Sborník recenzovaných prací. Brno, Brandýs nad Labem, s. 168-177.
- ŠUSTEK, Z., VIDO, J. 2013: Vegetation state and extreme drought as factors determining differentiation and succession of Carabidae communities in forests damaged by a windstorm in the High Tatra Mts. Biologia, 68, 119–121.
- ŠUSTEK, Z., VIDO, J., ŠKVARENINOVÁ, J., ŠKVARENINA, J., ŠURDA, P. 2017: Drought impact on ground beetle assemblages (Coleoptera, Carabidae) in Norway spruce forests with different management after windstorm damage – a case study from Tatra Mts. (Slovakia). Journal of Hydrology and Hydromechanics, 65: 333–342.
- ŠUSTEK, Z., ŽUFFA, M., 1986: Orientačné výsledky inventarizačného výskumu spoločenstiev čeľadí Carabidae a Staphylinidae v CHKO Malá Fatra. Ochrana prírody, 7: 347–374.
- ŠUSTEK, Z., ŽUFFA, M., 1988: Spoločenstvá bystruškovitých a drobčíkovitých (Coleoptera, Carabidae et Staphylinidae) štátnej prírodnej rezervácie Kľačianska Magura v Chránenej krajinej oblasti Malá Fatra. Ochr. Prír., 9: 229–251.

Adresa autora:

Zbyšek Šustek
Ústav zoológie SAV
Dúbravská cesta 9
845 06 Bratislava
e-mail: zbysek.sustek@savba.sk

Impact of windstorms on ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in mountain Norway spruce forests of Slovakia

Summary

The Carabid assemblages in the Carpathian Norway spruce forests consist of about 30 species that represent only 5% of Carabid species known to occur in Slovakia. The most characteristic species have optimum of their altitudinal distribution in the zone fir-beech and dwarf-pine vegetation tier, hence in the altitudes of about 700–1500 m a.s.l. Most species are distributed in all Central European mountain ranges; two species are Carpathian endemics and one has Carpatho-Balkanian distribution. There also occur species living in major part of Europe and as well as some species having wide amplitude of vertical distribution or optimum of occurrence in lowlands. Unlike other parts of Carpathians and Central Europe, in the High Tatra the species spectrum of genus *Trechus* is reduced to the single species *Trechus striatulus*.

In individual sites, the actual number is much lower than the potential number. In less favorable conditions declines to 5–6 species, while in the favorable conditions it exceeds 20 species. As a rule, 2–3 species are dominant or eudominant, other species are represented much less. The poorest assemblages occur in acid habitats, with bilberries and ferns in the herbage layer, where only small (< 7 mm) species are represented. A similar situation is in habitats with thick layer of row humus. In contrast, on basic substrates the assemblages are much richer.

The reactions of Carabid assemblages on wind damages result from synergism of their demands for humidity and shadowing by the tree vegetation and momentary state of the gale-disaster area. The destruction of tree layer as such reduced just abundance of all species, but it did not affect the species composition. There was not observed any invasion of xenocoenous species. This state is very stable.

Extracting the fallen timber favored more tolerant species of the typical forests fauna and opened door for spreading of mountain open-landscapes species. The additional damaging of the gale-disaster areas by fire and complete destruction of the herbage stratum and litter resulted in the strong reduction of all original species. The secondary herbage vegetation made possible pulse-like invasions of species typical of arable land. Subsequently, owing to development of pioneer wooden vegetation, the Carabid assemblages in the burned areas started to converge to those on the areas with extracted timber and in all areas with extracted timber very slowly increased abundance of most tolerant forests species. Obviously the restitution of the Carabid assemblages in the damaged areas will last until full closing of tree canopy.

The long-termed observation of Carabid communities in High Tatra has revealed that the fluctuations of number of species in intact and differently damaged sites strongly depends with a 1–2-year delay on the climatic fluctuations of humidity and temperature expressed in an integrated way by the Standardized evapotranspiration index (SPEI). The drought can be taken as an factor inhibiting restoration of Carabid assemblages in the area damaged by windstorm.

POROVNANIE PRODUKCIE RÝCHLORASTÚCICH DREVÍN PRI POUŽITÍ ALTERNATÍVNYCH HNOJÍV

Dominik GRETSCH, Martin LIESKOVSKÝ

GRETSCH, D., Lieskovský, M.: Porovnanie produkcie rýchlorastúcich drevín pri použití alternatívnych hnojív. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen

Cieľom práce je zhodnotenie produkcie rýchlorastúcich drevín (RRD) pri využití alternatívnych spôsobov hnojenia. Produkcia bola sledovaná na drevine vŕba košíkarska – *Salix viminalis* L., konkrétne na odrode Tordis, pestovanej na demonštračnej plantáži patriacej Technickej univerzite vo Zvolene. Ako alternatívne hnojivá boli použité drewný popol a kal z čistiarne odpadových vôd vo Zvolene. Intenzita produkcie bola hodnotená pomocou relatívneho a absolútneho prírastku na kruhovej základni jednotlivých meraných prútov. Na plantáži sa vyčlenili dve plochy, na ktoré sa aplikovali alternatívne hnojivá a jedna plocha bez hnojenia slúžiaca na porovnanie produkcie. Terénne merania prebiehali na začiatku a na konci jedného vegetačného obdobia, konkrétne v roku 2020. Po uskutočnení posledného merania bol vykonaný zber dendromasy na polovici z každej sledovanej plochy. Pozbieraná dendromasa slúžila na vypočítanie hmotnostnej produkcie podľa jednotlivého druhu použitého hnojiva. Pri vykonávaní aplikácie alternatívnych hnojív na ploche boli hodnotené aj ich vlastnosti a náročnosť pri manipulácii. Súčasťou práce sú vlastné výsledky a skúsenosti získané pri aplikovaní zvolených hnojivých materiálov a vyhodnocovaní výsledkov meraní, ktoré môžu byť použité pri ďalších výskumoch zameraných na podobnú tému.

Kľúčové slová: drewný popol, kal z ČOV, alternatívne hnojivá, rýchlorastúce dreviny, dendromasa

1. ÚVOD

Zhoršovanie stavu životného prostredia sa stalo jedným z najdôležitejších problémov ľudstva. Medzi faktory najviac ovplyvňujúce stav životného prostredia patrí znečisťovanie ovzdušia prostredníctvom spaľovania fosílnych palív. Pri ich spaľovaní dochádza k úniku takzvaných polutantov napríklad CO₂. Obdobie od začatia rozvoja priemyslu až doteraz nám prinieslo zvýšenie množstva CO₂ v atmosfére o viac ako jednu tretinu. Možnosť ako znížiť množstvo polutantov vypúšťaných do ovzdušia a obmedziť vznik skleníkového efektu je nahradiť fosílnu palivá alternatívnymi zdrojmi energie. Medzi vhodné náhrady zaradíme obnoviteľné prírodné zdroje, napríklad biomasu, slnečnú, vodnú alebo veternú energiu.

Pod pojmom biomasa rozumieme materiál biologického pôvodu pochádzajúci z odumretých alebo živých organizmov. Biomasa získaná z drevín sa nazýva dendromasa. Využívaním dendromasy sa vytvára uzavretý cyklus pretože samotná dendromasa vzniká

prostredníctvom fotosyntézy drevín, kedy drevina viaže do seba uhlík získaný z ovzdušia. Následne, spaľovaním dendromasy sa uhlík nahromadený v dreve dostáva do ovzdušia a opäť ho prijímajú fotosyntetizujúce rastliny a dreviny. Za rok 2019 dosiahla spotreba tuhej palivovej drevnej biomasy (štiepky, pelety, brikety atď.) hodnotu 2,89 mil. ton (Zelená správa 2020). Za zdroj dendromasy považujeme lesné hospodárstvo, alebo plantáže rýchlorastúcich drevín (RRD). Nevýhodou lesného hospodárstva je dlhá rubná doba a teda pomalý rast drevín. Naopak pri pestovaní rýchlorastúcich drevín na plantážach dokážeme získať za podstatne kratšie obdobie veľké množstvo dendromasy.

Intenzívnym pestovaním RRD na plantážach je z pôdy odčerpávané veľké množstvo živín potrebných pre rast drevín. Využívanie bežných priemyselných druhov hnojív by prinieslo zvýšenie nákladov na starostlivosť o plantáže a možný negatívny vplyv na okolitú faunu a flóru. Preto sa začali experimentálne využívať tzv. alternatívne spôsoby hnojenia. Jedná sa väčšinou o vedľajšie produkty z rôznych verejne prospešných činností, ktoré sú považované za odpad, ale v skutočnosti sú v nich obsiahnuté výživné látky potrebné pre rast.

Za vhodný druh alternatívneho hnojiva je považovaný drevný popol. Popol vzniká pri spaľovaní dendromasy ako vedľajší produkt s veľkým obsahom živín nahromadených v dreve počas rastu. Živiny odčerpané z pôdy sa vrátia späť do pôdy a znížia tak deficit spôsobený procesom rastu dreva. Náklady na skládkovanie a likvidáciu drevného popola sú vysoké a preto jeho využitie ako hnojiva by mohlo znížiť náklady spojené s jeho manipuláciou.

Potrebný obsah živín bol zistený aj v kaloch z čistiarní odpadových vôd (ČOV) ako ďalšej alternatívnej náhrady priemyselne vyrábaných hnojív. Budovanie čistiární je v súčasnosti bežnou vecou nielen vo veľkých mestách ale aj v menších obciach, čo z kalu robí pomerne ľahko dostupné hnojivo. Čistiarenský kal obsahuje navyše oproti drevnému popolu aj dusík, ktorý zabezpečí vysokú intenzitu rastu pestovaných drevín.

Alternatívne možnosti hnojenia je preto potrebné otestovať v praxi na výskumných plantážach. V prípade zistenia pozitívneho vplyvu na vlastnosti pôd a produkciu drevín by mohli do určitej miery znížiť spotrebu umelých hnojív. Využívanie alternatívnych druhov hnojív v praxi by výrazne znížilo finančné náklady v súčasnosti vynakladané na ich likvidáciu, prípadne skládkovanie a došlo by aj ku zmierneniu negatívneho dopadu aplikácie umelých hnojív na životné prostredie.

2. CIELE PRÁCE

Primárny cieľ práce je vyhodnotenie nameraných údajov a zistených výsledkov týkajúcich sa produkcie vrby košíkárskej pestovanej na demonštračnej plantáži RRD patriacej Technickej univerzite vo Zvolene pri aplikovaní dvoch alternatívnych druhov hnojív. Ako alternatívne hnojivá bol použitý drevný popol a kal z ČOV.

Cieľom štatistickej analýzy je otestovanie zhody medzi rozdelením relatívnych prírastkov a normálnym rozdelením, overenie štatistickej významnosti rozdielov v priemer-
nom prírastku, vyhodnotenie relatívnych prírastkov prostredníctvom boxplotov a porov-
nanie absolútnych prírastkov medzi sledovanými kategóriami.

Po vykonaní zberu dendromasy je ďalším cieľom pozberané trsy zvážiť, v laboratór-
nych podmienkach zistiť relatívnu vlhkosť dreva a následne vypočítať hmotnostnú pro-
dukciu podľa jednotlivých kategórií hnojenia.

V neposlednom rade k cieľom práce patrí zhodnotiť mortalitu prútov podľa hnoje-
ných kategórií a náročnosť manipulácie s použitými druhmi alternatívnych hnojív.

3. ROZBOR PROBLEMATIKY

3.1. Rýchlorastúce dreviny

Ako vhodná alternatíva na využitie poľnohospodárskej pôdy s nízkou produk-
tivitou alebo inej nelesnej pôdy, sa javí využiť túto pôdu na pestovanie rýchlorastúcich
drevín ako zdroja energie. Rýchlorastúce dreviny sú charakteristické svojím intenzívnym
rastom a výrazne vyšším hmotnostným prírastkom ako u ostatných drevín (JANDAČKA,
MALCHO, 2007).

Za rýchlorastúcu drevinu sa v podmienkach strednej Európy považuje tá drevina,
ktorá je schopná vyprodukovať minimálne 10 t/ha dendromasy za rok. Medzi najhlavnej-
šie podmienky pri pestovaní rýchlorastúcich drevín s veľmi krátkou (3-10 rokov) a krát-
kou rubnou dobou (11-15 rokov) patrí intenzívna koreňová alebo pňová výmladnosť, re-
zistencia voči rôznym škodcom alebo chorobám a čo najväčšia produkcia dendromasy
(celá nadzemná časť dreviny s výnimkou asimilačných orgánov). (VARGA, GODÓ, 2002
in LIESKOVSKÝ, SUCHOMEL, GEJDOŠ, 2009)

„Prírodné podmienky Slovenska umožňujú rast dostatočne širokej palety rýchlo-
rastúcich drevín, ktorých využitie na energetické účely prinesie zlepšenie stavu ŽP, zníže-
nie závislosti na dovoze surovinových zdrojov a pomôže stimulovať zamestnanosť v re-
giónoch Slovenska“ (LIESKOVSKÝ, SUCHOMEL, GEJDOŠ, 2009).

3.2. Vrba košíkarska

Je to ker dosahujúci výšku v priemere do 6 metrov. Vetvy sú vzpriamené, rovné
a pomerne silné. Má hladkú šedo-zelenú borku, na kmeňoch v pokročilom veku sa vysky-
tujú pozdĺžne praskliny. Listy sú čiarkovité, kopijovitého tvaru s čepeľou o dĺžke 6-14cm
a širokou 0,6-1,1cm. Kvety sú jahňady, oválneho až valcovitého tvaru. Plodom je plstnatá
tobolka. Kvitne v apríli až máji. Obľubuje hlbšie pôdy bohaté na minerály (MRÁŽEK,
2013).

Vyskytuje sa prevažne v nižších polohách. Na Slovensku môže pozdlž vodného toku vystúpiť zhruba do 800 m.n.m. a je súčasťou mäkkého lužného lesa. Vyhovujú jej viac teplejšie polohy, v iných oblastiach sa často vyskytuje poškodenie spôsobené vplyvom neskorých jarných mrazov, prípadne skorých jesenných mrazov. Jedná sa o svetlomilnú drevinu znášajúcu mierne bočné zatienenie (LIESKOVSKÝ a kol., 2010).

Vrba košíkárka (*Salix viminalis* L.) sa radí medzi rýchlorastúce druhy vrb. Cieľeným krížením rôznych druhov vrb s krovitou formou rastu vzniklo niekoľko klonov vrby košíkárskej, z ktorých najznámejšie sú Inger, Tordis, Tora a Sven (MESSINGEROVÁ a kol., 2016).

3.3. Tordis

Tordis je krížencom odrôd Tora a Ulv. Má vysoký výnos a nevykazuje veľké poškodenie hrdzou listov. Tordis sa javí ako jedna spomedzi najlepších odrôd pre regeneráciu po zbere aj produktivitu biomasy. Listy majú kopijovitý tvar, zo spodnej strany sú sivozelenej farby so zvlneným listovým okrajom bez zúbkovania. Listy na jeseň zožltnú a na stonkách pretrvávajú dlhšie ako je bežné u podobných odrôd. Kmene sú zvyčajne rovné s malou hrúbkovou variabilitou. Zo všetkých pokusov vysadených vo Veľkej Británii a Írsku mala Tordis celkový priemerný výnos 10,13 t/ha/rok. Na dobrej ornej pôde sa Tordis javí ako veľmi dobrý protivník pre Toru, ale na exponovanejších miestach sú jej výnosy nižšie. Výborne sa však osvedčila aj na suchších pôdach. Tordis má výrazne nižšiu objemovú hmotnosť ako ktorákoľvek z ostatných testovaných odrôd. Má mierne vyššiu sušinu ako Tora a nadpriemernú výhrevnosť (CASLIN, FINNAN, MCCracken, 2012).

3.4. Drevný popol

Popol vzniká ako výsledok reakcie medzi kyslíkom a minerálnymi látkami obsiahnutými v spaľovanej biomase. Za popol sa považuje tuhý zvyšok, ktorý zostane po úplnom spálení paliva v laboratórnych podmienkach. Vytvárajú ho prevažne minerálne látky naakumulované v palive počas jeho rastu. Popol získaný spálením čistej biomasy tvorí zmes oxidov anorganických prvkov (Cao, Na₂O, K₂O atď.) (JANDAČKA, MALCHO, 2007).

V drevnom popole však nie je prítomný dusík. Nahromadený dusík sa spaľovaním dendromasy uvoľnil do atmosféry ale aj napriek tomu sa popol považuje za vhodnú alternatívu prinávratu živín do pôdy. Za pozitívnu vlastnosť popola sa považuje obsah draslíka pretože vďaka draslíku sú rastliny odolnejšie proti pôsobeniu mrazov a sucha (OTEPKA, TÓTHOVÁ, 2011).

3.5. Kal z ČOV

„Čistiarenský kal možno definovať ako zložitú suspenziu tuhých anorganických a organických látok a koloidov, ktoré sa oddelili v priebehu procesu čistenia z odpadových vôd. Čistiarenské kaly obsahujú základné živiny, stopové prvky, ale aj rôzne toxické chemické látky či patogénne mikroorganizmy. V kaloch je skoncentrovaných okolo 50 až 80% pôvodného znečistenia odpadových vôd. „ (SAMEŠOVÁ, MITTERPACH, 2014).

Podľa miesta vzniku v čistiarni odpadových vôd existujú dva druhy kalu a to primárny a sekundárny. Primárna a sekundárna zložka kalu tvoria tzv. surový kal. V sušine surového kalu je obsiahnutých približne 70% organických látok. Súčasťou surového kalu sú rôzne patogény a stále v ňom pretrváva mikrobiálna aktivita (SAMEŠOVÁ, MITTERPACH, 2014).

Kal je jedným z mnohých odpadov produkovaných ľudskou spoločnosťou každodenne. Racionálne nakladanie s odpadmi je nevyhnutná činnosť pre zachovanie čistej planéty a ľudského zdravia. Spôsoby ako ekologicky likvidovať a využívať kal sú spaľovanie v peciach, spoluspaľovanie s inými materiálmi, kompostovanie, splyňovanie, rekultivácia alebo jeho využitie na hnojenie poľnohospodárskej pôdy (POLÁKOVÁ 2012).

4. MATERIÁL A METODIKA

4.1. Opis výskumnej plochy RRD

Plocha na ktorej bol pozorovaný vplyv alternatívnych hnojív na rast vrby košíkarskej – *Salix viminalis* L. sa nachádza neďaleko obce Budča a patrí Vysokoškolskému lesníckemu podniku. Táto plocha bola založená katedrou Lesnej ťažby, logistiky a meliorácií v roku 2007. Výskumná plocha je kategorizovaná ako demonštračný objekt, plantáž rýchlorastúcich drevín, s výmerou 0,21 ha. Obec Budča je situovaná na mieste stretu Kremnických a Štiavnických vrchov. Priemerná nadmorská výška obce je 285 m.n.m a výmera katastrálneho územia je 1591 ha. Územie obklopujúce demonštračnú plochu patrí do teplého, mierne vlhkého regiónu s prevažne miernymi zimami. Priemerná teplota dosahuje 8,3 °C a úhrn zrážok 680-750 mm ročne. Nadmorská výška plochy je 312 m.n.m, expozícia je juhozápadná a zaraďuje sa do tretieho lesného vegetačného stupňa.

Predchádzajúcim výskumom bola zistená v roku 2014 produkcia plochy 60,85 t/ha. Miesto, na ktorom sa v súčasnosti nachádza demonštračný objekt plantáže RRD bolo kedysi využívané pre účely poľnohospodárstva. Plocha bola silne porastená burinami, z ktorých mal najväčšiu prevahu pýr plazivý - *Elytrigia repens*. Pôda je dostatočne úrodná pretože ju tvoria z veľkej časti naplaveniny z neďalekého potoka. Potok zabezpečuje aj dostatočnú hladinu spodnej vody, ktorá je pre pestovanie vrb veľmi významná.

Vysadené boli na ploche dve rýchlorastúce odrody vŕby košíkárskej, konkrétne Tordis a Sven. Z oboch odrôd boli na plochu vysádzané rezky o dĺžke 20 cm. Všetky rezky sa pred výsadbou podrobili kontrole životaschopnosti a zdravotného stavu očiek. Rezky boli jeden po druhom zapichované ručne do pôdy takmer na celú ich dĺžku. Vysadených bolo 1500 rezkov odrody Tordis a 1530 rezkov odrody Sven.

Na ploche bola s odstupom času vykonaná kontrola zameraná na uجاتosť jednotlivých rezkov, ktorej výsledkom bola uجاتosť odrody Tordis na ploche 83,5%. Uجاتosť odrody Sven bola nižšia o približne 7%. Po skončení vegetačného obdobia bola zistená spoločná uجاتosť oboch odrôd na ploche 70-80% (LENIK, 2014).

4.2. Meranie hrúbok prútov a hmotnosti trsov

Na plantáži boli vyznačené 3 kategórie trsov vŕb. Prvú kategóriu predstavovali trsy bez použitia alternatívneho hnojiva ako základ slúžiaci na porovnanie vplyvu aplikovaných hnojív na rast. Do druhej kategórie patrili trsy hnojené čistiarenským kalom a do tretej drevným popolom. Každý trs dostal štítok s poradovým číslom a označením kategórie (K- kal, P- popol, B – bez hnojenia). Každý prút v rámci trsu bol označený v mieste merania hrúbky (výška 1,3m) poradovým číslom pomocou permanentnej fixky.

Vplyv jednotlivých druhov alternatívnych hnojív na produkciu vŕb bol zisťovaný pomocou hrúbkového prírastku, pretože lepšie reprezentuje intenzitu prírastku ako výškový a je jednoduchšie ho zistiť. Meranie bolo vykonané dvakrát a to na začiatku (29/2/2020) a na konci vegetačného obdobia (7/11/2020), po opadnutí listov.

Meranie hrúbok bolo vykonané na každom jednom prúte z pravidla presne v mieste označenia poradovým číslom. V prípadoch keď výška označenia 1,3m vyšla v mieste rozvetvenia prútu, meralo sa tesne pod rozvetvenou časťou. Hrúbka bola zaznamenaná len v prípade ak prút bol hrubší ako 0,5cm. Z merania boli vyradené aj tie jedince, ktoré boli poškodené alebo odumreté. Meralo sa vždy kolmo na os kmeňa prútu, v strede poradového čísla s presnosťou na 0,01 mm. Obe merania boli realizované identicky.

Po ukončení merania hrúbok na prútoch vo všetkých troch kategóriách bolo ako ďalšie potrebné vykonať zisťovanie hmotnosti vybraných trsov z jednotlivých kategórií. Vypílený bol vždy polovičný počet trsov z každej kategórie. Konkrétne bolo vypílených v kategórii hnojenej čistiarenským kalom 41 trsov, v kategórii hnojenej drevným popolom 46 trsov a v kategórii bez aplikovaného hnojiva 50 trsov. Vážilo sa pomocou závesnej váhy s presnosťou na 0,1kg.

Ďalšou úlohou bolo stanovenie relatívnej vlhkosti drevnej hmoty. Z každej kategórie bolo odobratých 7-8 vzoriek (výrezov z prútov) s dĺžkou 20 cm, ktoré sa následne v laboratórnych podmienkach vážili s presnosťou až 0,01g. Jednotlivé vzorky boli ďalej v laboratórnej sušiarňi vysušené pri teplote 103°C na konštantnú hmotnosť, ktorú vzorka nadobudne vtedy, keď sa rozdiel v hmotnosti danej vzorky v priebehu 2 hodín nezmení o viac ako 0,01g. Relatívnu vlhkosť dreva W_r následne vyrátame ako rozdiel medzi hmotnosťou pred a po sušení (MESSINGEROVÁ et al. 2016).

4.3. Postup vyhodnocovania nameraných údajov

Namerané hodnoty boli prepísané do programu Excel. Meranie hrúbok prebiehalo v kategórii bez aplikovaného hnojiva na 503 prútoch v rámci 100 trsov. V kategórii s aplikovanými čistiarenskými kalmi bolo zmeraných 576 prútov v rámci 82 trsov. V kategórii hnojenej drevným popolom bolo zmeraných 560 prútov v rámci 92 trsov. Všetky namerané hrúbky (d) boli ďalej prepočítané na základe nasledujúceho vzorca (1) na kruhovú základňu (g) pre každý jeden prút v rámci trsu.

$$g = \frac{\pi}{4} * d^2 \quad (mm^2) \quad (1)$$

Po vypočítaní kruhovej základne pre každý meraný prút bolo potrebné zistiť relatívny prírastok na kruhovej základni ($i_{g\%}$). Relatívny prírastok na kruhovej základni sa vypočíta podľa vzorca (2), teda ako rozdiel medzi kruhovou základňou zistenou pri druhom meraní (g_2) a kruhovou základňou z prvého merania (g_1), predelený hodnotou kruhovej základne z prvého merania a výsledok pre násobíme 100.

$$i_{g\%} = \frac{g_2 - g_1}{g_1} * 100 \quad (\%) \quad (2)$$

Z doposiaľ vypočítaných relatívnych prírastkov na kruhovej základni bolo potrebné vytvoriť histogram relatívnych prírastkov pre každú jednu kategóriu podľa použitého hnojiva samostatne. Už po vytvorení histogramov bolo zrejmé, že zistené údaje nespádajú do normálneho rozdelenia hodnôt. Potvrdenie tejto hypotézy bolo nutné vykonať prostredníctvom testu na overovanie normality rozdelenia. Zvolený bol Shapiro-Wilkov test.

4.3.1. Shapiro-Wilkov test

Tento test je používaný v štatistike na otestovanie hypotézy, že náhodný výber hodnôt $x_1, \dots, x_n$ pochádza z normálneho rozdelenia. Základom testu je vypočítanie charakteristiky W a jej porovnanie s kritickou hodnotou. Hypotéza normálneho rozdelenia je testom zamietnutá ak výsledná hodnota ukazovateľa p je menšia ako 0,05, nanajvýš rovná. Ak je hodnota ukazovateľa p v tomto rozmedzí tak následne môžeme s 95% pravdepodobnosťou potvrdiť, že nami zistené hodnoty nespádajú do normálneho rozdelenia. Naopak keď hodnota ukazovateľa p presiahne hladinu významnosti 0,05 tak je testom potvrdené, že namerané hodnoty sa významne neodkláňajú od normálneho rozdelenia (HUDÁK, 2018).

Keď test potvrdí, že namerané údaje nepochádzajú z normálneho rozdelenia je následne potrebné použiť na ďalšie testovanie taký test, ktorý nepotrebuje hodnoty z normálneho rozdelenia. Za vhodný test bol vybraný neparametrický Mann-Whitney U test.

4.3.2. Mann-Whitneyho U test

Ako prvé sa vykoná zoradenie všetkých hodnôt od najmenšej po najväčšiu. Pri rozdeľovaní hodnôt sa neberie ohľad na to, do ktorého súboru daná hodnota patrí. Každá hodnota dostane vlastné poradové číslo a následne sa poradové čísla sčítajú ale už podľa súborov. Ak by mali oba súbory rovnaké rozdelenie tak bude súčet poradových čísel ich hodnôt zhruba rovnaký. Zo zisteného súčtu pre každý súbor sa vypočíta testovacia štatistika. Štatistika ktorej hodnota bude menšia, sa ďalej využije ako testovacie kritérium a porovná sa s takzvanou kritickou alebo hraničnou hodnotou. Kritická hodnota je zisťovaná na základe hladiny významnosti (α) a celkového rozsahu oboch súborov (n_1 a n_2). V prípade že testovacie kritérium má menšiu hodnotu ako je kritická hodnota, môžeme zamietnuť nulovú hypotézu o zhodnosti rozdelení oboch sledovaných veličín. Zamietnutím nulovej hypotézy teda vylúčim možnosť, že hodnota produkcie na ploche kde boli použité alternatívne druhy hnojív a na ploche bez hnojenia by bola rovnaká. Na druhej strane zároveň prijímam alternatívnu hypotézu s potvrdením štatisticky významného rozdielu medzi produkciou jednotlivých plôch (GRESCHNER 2017).

Po vykonaní testov nasledovala štatistická analýza za pomoci programu Excel. Prvým krokom bolo grafické vyhodnotenie vypočítaných hodnôt relatívneho prírastku pomocou krabicových grafov (diagramov). Krabicový diagram alebo box plot slúži na vizualizáciu kvantitatívnych dát. Jednotlivé prvky krabicového diagramu znázorňujú významné kvartily vypočítané na základe sledovaných dát.

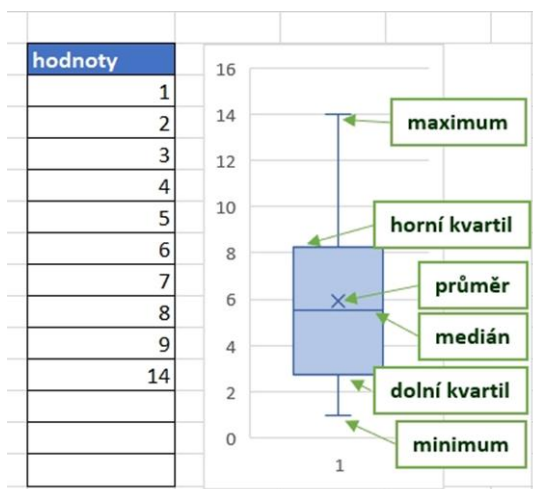


Fig. 1 Description of the boxplot

Obr. 1 Popis krabicového diagramu

(<https://office.lasakovi.com/excel/grafy/krabicovy-graf-boxplot-excel/>)

Druhým krokom v analyzovaní získaných údajov bolo porovnať podľa jednotlivých kategórií hnojenia vypočítané absolútne prírastky na kruhovej základni (i_g). Absolútny prírastok vypočítame ako rozdiel medzi hodnotou kruhovej základne na začiatku a na konci vegetačného obdobia.

$$i_g = g_1 - g_2 \quad (mm^2) \quad (3)$$

4.3.3. Výpočet relatívnej vlhkosti a stanovenie hmotnostnej produkcie

Relatívnu vlhkosť dreva vypočítame ako rozdiel hmotnosti vzorky vo vlhkom stave a v absolútne suchom stave predelený hmotnosťou vzorky vo vlhkom stave. Relatívna vlhkosť sa udáva v percentách a preto je celý výsledok prenášobný sto. V podstate ide o podiel hmotnosti vody v dreve ku hmotnosti vzorky vo vlhkom stave.

$$W_r = \frac{m_w - m_o}{m_w} * 100 \quad (\%) \quad (4)$$

Hmotnostná produkcia plantáže RRD sa udáva v hmotnostných jednotkách na jednotkovú plochu, teda v t/ha. Výpočet produkcie spočíval v prenášobení počtu trsov na hektár váhou priemerného trsu z každej kategórie. Do úvahy sa musela brať aj priemerná ujatosť trsov na ploche a preto bol pôvodný počet trsov na hektár (12000) redukovaný percentom ujatosti (83,5%). Vypočítaná hodnota produkcie bola v mokrom stave, ihneď po spilení. Hmotnosť sušiny bola následne získaná prenášobením mokrej hmotnosti relatívnou vlhkosťou stanovenou v laboratórnych podmienkach.

$$Produkcia mokr\acute{a} (w) = \frac{12000 * 0,835 * trs\ n\theta}{1000} \quad (t) \quad (5)$$

$$Produkcia sušiny = Produkcia mokr\acute{a} * W_r \quad (t) \quad (6)$$

5. VÝSLEDKY

Ako už bolo spomínané tak primárnym cieľom tejto práce bola analýza vplyvu použitých alternatívnych druhov hnojív na rast RRD rastúcich na demonštračnej ploche. Ako alternatívne hnojivá bol použitý čistiarenský kal a roštový drevný popol. Po vyhodnotení nameraných údajov bol zistený pozitívny účinok u oboch druhov aplikovaných hnojív, čoho dôkazom je väčší prírastok u hnojených trsov vrb ako u tých, ktoré hnojené neboli. Aplikovaním týchto alternatívnych hnojív do pôdy mohol nastať aj opačný efekt, teda zníženie prírastku, vyvolaný vplyvom zvýšenia pH pôdy. Vrbý sú známe svojou citlivosťou na zmeny pH pôdy ale v našom prípade bol efekt spôsobený hnojením pozitívny.

Štatistická významnosť v rozdieloch jednotlivých kategórií bola testovaná na relatívnom prírastku kruhovej základne prútov. Priložené histogramy nám znázorňujú rozdelenie početností hodnôt relatívnych prírastkov podľa jednotlivých kategórií použitého hnojiva.

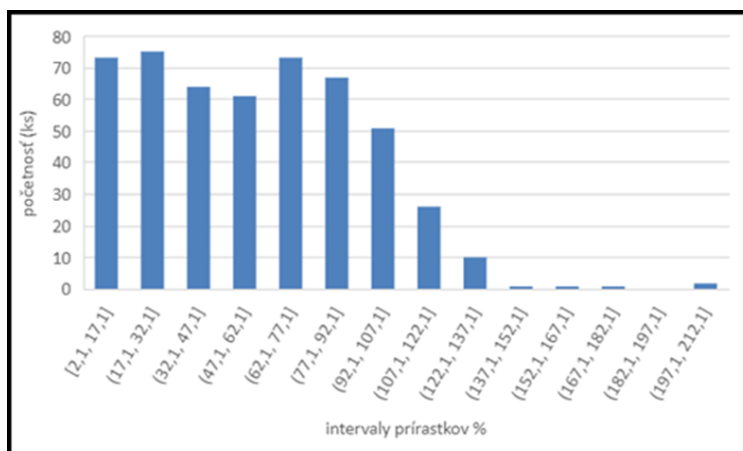


Fig. 2 Histogram of relative increments, category without fertilization
Obr. 2 Histogram relatívnych prírastkov, kategória bez hnojiva

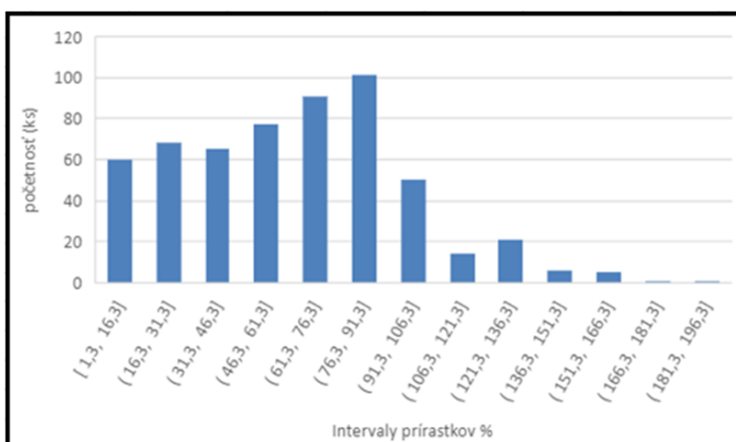


Fig. 3 Histogram of relative increments, wood ash
Obr. 3 Histogram relatívnych prírastkov, drevný popol

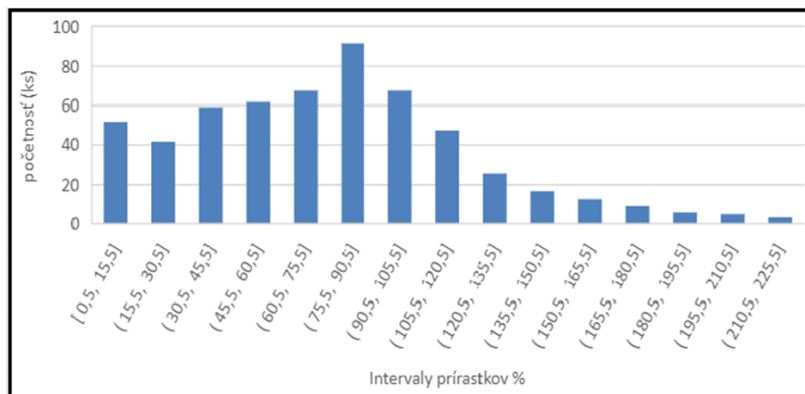


Fig. 4 Histogram of relative increments, sewage sludge

Obr. 4 Histogram relatívnych prírastkov, čistiarenský kal

5.1. Shapiro-Wilkov test

Testovanie zhody medzi rozdelením relatívnych prírastkov a normálnym rozdelením bolo vykonané prostredníctvom Shapiro-Wilkovho testu. Na základe výsledkov bola zamietnutá nulová hypotéza a bolo dokázané, že hodnoty nepochádzajú z normálneho rozdelenia. Hypotéza bola zamietnutá pretože hodnota p bola vo všetkých kategóriách menšia ako α (0,05). Výsledky testu posúdenia normality rozdelenia relatívnych prírastkov sú zobrazené v tabuľke 1.

Tab. 1 Výsledky Shapiro-wilkovho testu ($\alpha=0,05$)

Table 1 Shapiro-wilkov test results ($\alpha=0,05$)

Druh hnojiva	W	p
čistiarenský kal	0.970639	0,00000
drevný popol	0.976193	0,00000
bez hojenia	0.958777	0,00623

5.2. Mann-Whitneyho test

Overenie štatistickej významnosti rozdielov v priemernom prírastku kruhovej základne (i_g %) jednotlivých kategórií bolo realizované pomocou Mann-Whitneyho testu. Testom boli zisťované kritické hodnoty p , ktoré boli následne porovnávané s hladinou významnosti α (0,05). V prípade porovnávania priemerného prírastku kruhovej základne čistiarenskeho kalu (76%) a plochy bez hojenia (58%) bol potvrdený štatisticky významný rozdiel v produkcii ($p=1,0673 \cdot 10^{-10}$). Rovnako aj v prípade porovnávania priemerného prírastku drevného popola (62%) a čistiarenskeho kalu (76%) bol potvrdený štatisticky

významný rozdiel ($p=4,4358 \cdot 10^{-7}$). Avšak pri porovnaní priemerného prírastku drevného popola (62%) a plochy bez hnojenia (58%) štatisticky významný rozdiel nebol potvrdený ($p = 0,069251$) a tak zistený rozdiel môže byť náhodného charakteru. Výsledky testu sú zobrazené v tabuľke 2.

Tab. 2 Výsledky Mann-Whitneyho testu, kritická hodnota p pri hladine významnosti $\alpha = 0,05$
Table 2 Results of Mann-Whitney test, critical value of p at significance level $\alpha = 0,05$

	p
Popol/Bez	0.069251
Popol/Kal	$4.4358 \cdot 10^{-7}$
Kal/Bez	$1.0673 \cdot 10^{-10}$

Tab. 3 Výsledky analýzy relatívneho prírastku na kruhovej základni
Table 3 Results of relative increment analysis on a circular base

Druh hnojiva	Priemerný relatívny prírastok (i_g %)	Zmena oproti ploche bez hnojenia(%)
Bez hnojenia	58%	
Drevný popol	62%	+7%
Čistiarenský kal	76%	+31%

Hodnoty relatívneho prírastku kruhovej základne, na ktorých bola vykonávaná štatistická analýza sú vyhodnotené v grafickej forme prostredníctvom boxplotov na obrázkoch 5 až 7.

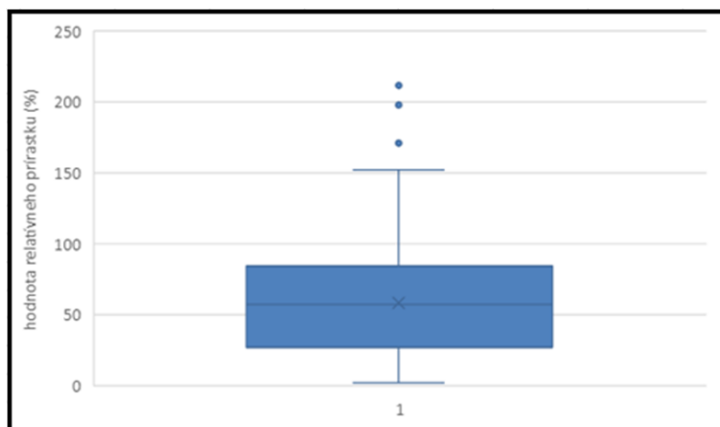


Fig. 5 Graphical representation of the relative increase in circular base (i_g %) using a boxplot, category without fertilization

Obr. 5 Grafické znázornenie relatívneho prírastku kruhovej základne (i_g %) pomocou boxplotu, kategória bez hnojenia

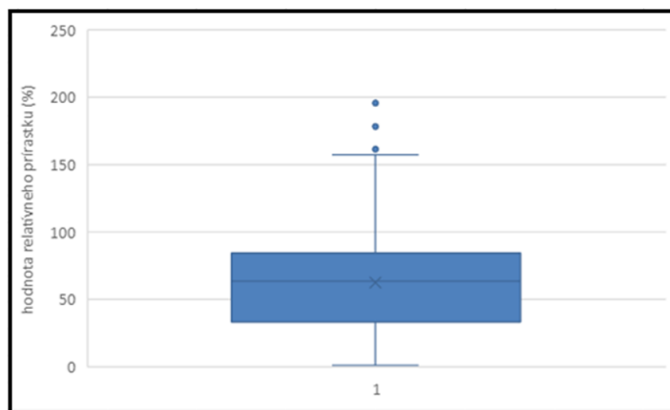


Fig. 6 Graphical representation of the relative increase in circular base ($i_g\%$) using a boxplot, category fertilized with wood ash

Obr. 6 Grafické znázornenie relatívneho prírastku kruhovej základne ($i_g\%$) pomocou boxplotu, kategória hnojená drevným popolom

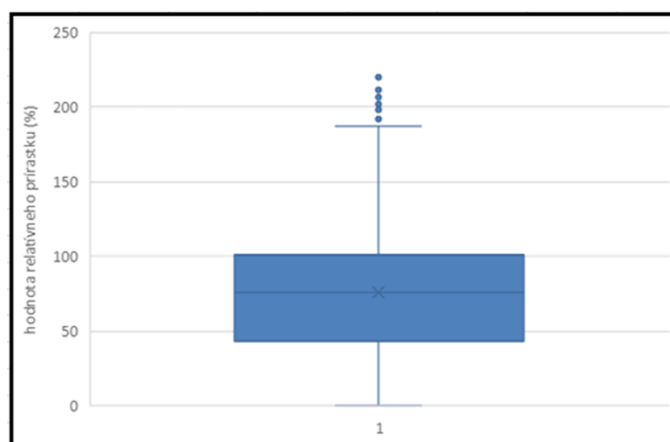


Fig. 7 Graphical representation of the relative increase in circular base ($i_g\%$) using a boxplot, category fertilized with sewage sludge

Obr. 7 Grafické znázornenie relatívneho prírastku kruhovej základne ($i_g\%$) pomocou boxplotu, kategória hnojená čistiarenským kalom

Po vykonaní štatistickej analýzy relatívnych prírastkov bol následne vypočítaný aj absolútny prírastok na kruhovej základni (i_g) pre každú kategóriu samostatne. Zistené hodnoty boli porovnávané s hodnotou absolútneho prírastku na ploche bez hnojenia. Výsledky zobrazuje tabuľka 4.

Tab. 4 Výsledky analýzy absolútneho prírastku kruhovej základne**Table 4** Results of the analysis of the absolute circular base increment

Druh hnojiva	1.Meranie priemerná g (mm ²)	2.Meranie priemerná g (mm ²)	Absolútny prírastok i_g v mm ²	Zmena oproti ploche bez hnojenia %
Bez hnojenia	221,6	379,7	158,1	
Drevný popol	256,2	420,1	163,9	+3,7%
Čistiarenský kal	261,1	456,5	195,4	+23,6%

Údaje zobrazené v tabuľke nám hovoria, že najväčší absolútny prírastok na kruhovej základni v porovnaní s plochou bez aplikácie hnojiva bol v prípade kategórie hnojenej čistiarenským kalom. Absolútny prírastok u čistiarenskeho kalu bol väčší až o 23,6%. Porovnanie plochy bez hnojenia a plochy hnojenej drevným popolom dokázalo väčší prírastok v prospech drevného popola ale iba o 3,7%. Rozdiel v prírastku medzi plochami hnojenými jednotlivým druhom alternatívneho hnojiva je teda až 19,9% v prospech čistiarenských kalov.

Vyšší prírastok u kategórie trsov hnojených čistiarenskými kalmi bol pravdepodobne spôsobený tým že hnojivá boli aplikované dvakrát počas obdobia rastu trsov na ploche. Ako udáva Černý (2010), jednorázová aplikácia v prípade čistiarenských kalov má krátkodobý a najmä malý vplyv na zvýšenie prírastku drevín. Vykonaním druhej aplikácie hnojív pravdepodobne došlo ku dokázaniu pravdivosti tohto tvrdenia, pretože prírastok kalov v porovnaní s drevným popolom bol výrazne vyšší. Zisťovanie prírastkov bolo však vykonávané iba raz, až po druhej aplikácii hnojív a preto nie je možné toto tvrdenie naisto potvrdiť. Do úvahy ale môžeme brať merania vykonávané Hudákom a Greschnerom, u ktorých bol prírastok kategórie trsov hnojených čistiarenským kalom po prvej aplikácii vždy nižší ako u drevného popola.

5.3. Stanovenie hmotnostnej produkcie

Údaje namerané pri terénnych prácach na demonštračnej plantáži RRD slúžili ďalej ako podklad na stanovenie hmotnostnej produkcie jednotlivých kategórií. Základné veličiny potrebné pre vypočítanie hmotnostnej produkcie sú priemerná hmotnosť trsu v konkrétnej kategórii a relatívna vlhkosť stanovená v laboratórnych podmienkach z odobratých vzoriek pre vypočítanie hmotnosti sušiny. Jeden trs vážil v priemere 11,43 kg v kategórii hnojenej čistiarenským kalom, 10,76 kg pri hnojení drevným popolom a 8,8 kg v kategórii bez aplikovaného hnojiva. Keď zoberieme do úvahy hodnoty zistené Hudákom v roku 2017 (čistiarenský kal 13,1kg, drevný popol 12,7kg a bez hnojenia 11,8kg) tak je zrejmé, že v súčasnosti dosiahli trsy výrazne nižšiu priemernú hmotnosť. Zistené rozdiely vznikli z dôvodu, že v prípade Hudáka bol vykonaný zber dendromasy o rok neskôr oproti tejto práci a trsy teda rástli o jedno vegetačné obdobie dlhšie.

Čo sa týka relatívnej vlhkosti dreva tak u trsov hnojených kalom z ČOV bola jej hodnota 53,3% a u zvyšných dvoch kategórií 52,1%. Relatívna vlhkosť sa v porovnaní s údajmi z predchádzajúcich výskumov výrazne neodlišovala (52,8% v roku 2017). Výsledná hodnota hmotnostnej produkcie pri aplikovaní čistiarenských kalov vyšla 61,1t/ha, pri drevnom popole 56,2 t/ha a v kategórií bez aplikovania hnojív 46 t/ha. Ako vzor na porovnanie môžeme použiť údaj z roku 2014 kedy bola pri zbere zistená hmotnostná produkcia 60,83t/ha.

Jedným z hlavných cieľov tejto práce je porovnanie vplyvu alternatívnych hnojív na produkciu dendromasy. Výsledky hmotnostnej produkcie jasne naznačujú vyšší pozitívny efekt pri aplikácii kalov z ČOV v porovnaní s drevným popolom. Trsy hnojené kalom vykazovali o 4,9 t/ha (8,7%) vyššiu produkciu sušiny oproti trsom hnojeným drevným popolom a až o 15,1 t/ha (32,8%) viac v porovnaní s nehnojenými trsmi. Väčší pozitívny efekt čistiarenských kalov bol zistený rovnako aj pri vyhodnotení relatívneho a absolútneho prírastku na kruhovej základni. Ako bolo spomenuté väčší vplyv na produkciu a rast drevín v prospech čistiarenských kalov môže byť spôsobený druhou dávkou hnojív. Potvrdenie zvýšeného prírastku po druhej aplikácii čistiarenskeho kalu bolo zaznamenané aj v predchádzajúcom výskume Hudáka (2017).

Okrem analýzy vplyvov alternatívnych hnojív na produkciu bol porovnávaný aj spôsob a náročnosť aplikácie jednotlivého druhu hnojiva. U oboch druhov sa vyskytli pozitívne ale aj negatívne vlastnosti pri ich priamej aplikácii do pôdy. Hlavnou výhodou drevného popola bola nižšia hmotnosť a oveľa menší objem, čo zjednodušilo dovoz na plochu a najmä fyzickú náročnosť aplikácie. Negatíva popola vychádzajú z jeho vysokej prašnosti. Vysoká miera prašnosti bola zaznamenaná aj napriek vhodným poveternostným podmienkam v čase aplikácie. Zvýšená prašnosť drevného popola má za následok zhoršenie hygienických podmienok práce. Naopak aplikácia čistiarenských kalov nevykazovala žiadnu prašnosť, teda ani zhoršenie hygienických podmienok, čo je považované za pozitívum. Negatívom pri manipulácii s čistiarenským kalom je však jeho vyššia hmotnosť a najmä objem. Aplikácia preto zaberie väčšie množstvo času a je náročnejšia na fyzickú záťaž.

Vhodným spôsobom na minimalizovanie negatívnych vlastností týchto hnojív pri aplikovaní do pôdy by mohla byť ich úprava či už prostredníctvom granulovania alebo peletovania. Pri procese úpravy by sa mohlo pristúpiť dokonca ku ich zmiešaniu. Obsah ťažkých kovov by bol zriadený a deficit dusíka v drevnom popole by bol doplnený množstvom dusíka nachádzajúcim sa v čistiarenských kaloch.

5.4. Mortalita prútov

Súčasne s realizáciou druhého merania hrúbok prútov, teda po opadnutí asimilačných orgánov, bola zisťovaná aj ich mortalita. Tieto prúty odumreli počas vegetačného obdobia, medzi prvý a druhým vykonaným meraním. Odumreté prúty boli následne

vyraďené z analýzy prírastkov. Boli to prúty bez zisteného prírastku na kruhovej ploche alebo sa ich hrúbka zmenšila a javili známky vyschnutia. Hodnotenie mortality spočívalo v analýze počtu odumretých prútov v jednotlivých kategóriách. Počas jedného vegetačného obdobia uhynulo najviac jedincov v kategórii bez aplikovaného hnojiva a to konkrétne 31 kusov. Pri trsoch s aplikovanými alternatívnymi hnojivami bola mortalita podstatne nižšia, pri drevnom popole uhynulo 12 kusov a pri kaloch 9 kusov prútov.

Mortalitu prútov ovplyvňuje veľké množstvo vonkajších ale aj vnútorných faktorov a preto je otázne či vôbec a do akej miery bol tento jav ovplyvnený aplikovaním hnojív na ploche. Keďže bol zistený podstatný rozdiel medzi počtom odumretých prútov medzi hnojenými kategóriami a nehnojenou kategóriou tak existuje možnosť, že to bolo do určitej miery ovplyvnené práve aplikovaním hnojiva.

6. ZÁVER

Hlavný cieľ tejto práce bolo analyzovať vplyv použitých druhov alternatívnych hnojív na produkciu dendromasy na demonštračnej plantáži RRD patriacej Technickej univerzite vo Zvolene. Trsy vŕby košíkárskej sa hnojili kalom z ČOV a drevným popolom. Hnojivá boli aplikované do pôdy dvakrát, s približne ročným odstupom a ich vplyv na rast trsov bol sledovaný po vykonaní druhej aplikácie, počas jedného vegetačného obdobia. Hypotéza, ktorá hovorí o zvýšenej produkcii spôsobenej vplyvom týchto dvoch hnojív, sa potvrdila. Výsledkom analýzy bolo potvrdenie štatisticky významného pozitívneho pôsobenia čistiarenských kalov na produkciu RRD v porovnaní s nehnojenou kategóriou. Pozorovaná bola zvýšená produkcia aj v kategórii hnojenej drevným popolom ale rozdiel produkcie v porovnaní s kategóriou bez hnojenia nebol vyhodnotený ako štatisticky významný a mohol mať teda náhodný charakter. Súčasťou práce bolo taktiež zhodnotenie vlastností a náročnosti aplikácie oboch druhov použitých hnojív.

Popri pozorovaní vplyvov na produkciu bola zhodnotená aj mortalita prútov a vyčíslená hmotnostná produkcia každej kategórie. Pri trsoch hnojených oboma druhmi hnojív bola mortalita prútov výrazne nižšia ako u tých bez hnojenia. Za najlepší ukazovateľ produkcie RRD sa považuje hmotnostná produkcia sušiny. Oproti ploche bez hnojenia dosahovala produkcia po aplikovaní drevného popola o 10,2 t/ha viac a u čistiarenského kalu dokonca až o 15,1 t/ha väčšiu produkciu.

Plantáže RRD sa javia ako vhodný zdroj na získavanie biomasy, obnoviteľného zdroja energie. Rovnako využívanie alternatívnych spôsobov hnojenia sa ukazuje ako možný nástroj na zníženie používania umelých hnojív. Z daného dôvodu by mohla byť aj táto práca prínosom pre rozvoj získavania energie z cielene pestovanej biomasy a zvýšenie intenzity zhodnocovania odpadov na Slovensku.

7. CONCLUSIONS

Comparison of production of fast-growing tree species while using alternative methods of fertilization.

The main objective of this work was to analyze the effect of used species of alternative fertilizers for dendromas production on demonstration plantation of fast-growing trees belonging to Technical university in Zvolen. Bunches of basket willow were fertilized with sewage sludge and wood ash. Fertilizers were applied to soil twice with about annual spacing. Their impact on the growth of the bunches was monitored after the second application is performed, during a single vegetation period. The hypothesis is about of increased production caused by the influence of these two fertilizers was confirmed. The analysis resulted in a statistically significant positive effect of sewage sludge to produce fast-growing trees compared to a non-fenced category. Increased production also been observed in categories of fertilized with wood ash but the difference in production compared to category without fertilization was not evaluated as statistically significant and could therefore have a random character. The work was also an assessment of the properties and difficulty of the application of both types of fertilizers.

In addition to observation of production effects, the mortality of the rods and the calculated mass production of each category was also evaluated. At the trees fertilized with both types of fertilizers, the mortality was significantly lower than those without fertilization. The best production indicator of fast-growing trees is considered mass production of dry matter. Compared to an area without fertilization, production after applying the wood ashes by 10,2 t/ha more and even up to 15,1 t/ha more production.

Plantation of fast-growing trees appear as a suitable resource to obtain biomass, renewable energy source. Equally using alternative fertilization methods shows as a possible tool to reduce the use of artificial fertilizers. For this reason, this work could also be a contribution to developing energy from targeted biomass and increased waste recovery intensity in Slovakia.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-19-0612 a Operačným programom Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Komplexný výskum mitigačných a adaptačných opatrení na zmiernenie negatívnych dopadov klimatických zmien na lesné ekosystémy Slovenska (FORRES), kód ITMS: 313011T678, spolufinancovaným zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja. “

8. POUŽITÁ LITERATÚRA

- CASLIN, B., FINNAN, J., MCCRACKEN, A., 2012. Willow Varietal Identification Guide. (online). Dostupné na internete: https://www.teagasc.ie/media/website/publications/2012/Willow_Identification_Guide_2012.pdf (cit. 7.2.2021), ISBN: 10 1-84 170-590-X
- ČERNÝ, J 2010. Využití odpadu z ČOV jako zdroje organických látek a živin. Dostupné na internete : <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-odpadu-z-cov-jakozdrojeorganickych-latek-a-zivin>
- GRESCHNER, M. Porovnanie produkcie rýchlorastúcich drevín pri použití alternatívnych spôsobov hnojenia. Zvolen, 2017. Vedúci práce Martin Lieskovský. LF-104162-25603. Diplomová práca, TU Zvolen, LF KLŤLM. Elektronický zdroj. Dostupné na internete: <http://opac.crzp.sk/?fn=detailBiblioFormChild6&-sid=BEAFF42FBA401D6E6BE624351766> <https://office.lasakovi.com/excel/grafy/krabicovy-graf-box-plot-excel/>
- HUDÁK, M. Produkcia rýchlorastúcich drevín pri využití alternatívnych spôsobov hnojenia. Zvolen, 2018. Vedúci práce Martin Lieskovský. LF-104162-10671. Diplomová práca, TU Zvolen, LF KLŤLM. Elektronický zdroj. Dostupné na internete: <http://opac.crzp.sk/?fn=detailBiblioForm&sid=ECDBE5517CC8B-19C5295A893C33D>
- JANDAČKA, Jozef a Milan MALCHO. Biomasa ako zdroj energie. Žilina: Juraj Štefuň - GEORG, 2007. ISBN 978-80-969161-4-6.
- Lenik, D. 2014. Analysis of the production possibility fast-growing trees for demonstration object VŠLP in Zvolen. Vedúci práce Martin Lieskovský. Zvolen, 2014. LF-5775-10544. Diplomová práca, TU Zvolen, LF KLŤLM. Elektronický zdroj. Dostupné na internete: <http://opac.crzp.sk/openURL?crzplD=21662&crzpsigla=tuzvolen>
- LIESKOVSKÝ, Martin, Jozef SUCHOMEL a Miloš GEJDOŠ. Energetický potenciál vybraných druhov disponibilnej biomasy lesa [online]. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2009 [cit. 2021-01-29]. Vedecké štúdie, 4/2008/A. ISBN 978-80-228-1988-6.
- LIESKOVSKÝ, Martin. Zhodnotenie možností pestovania rýchlorastúcich drevín v podmienkach VŠLP TU Zvolen. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2010. Vedecké štúdie. ISBN 978-80-228-2081-3.
- MESSINGEROVÁ, Valéria, Martin LIESKOVSKÝ, Miloš GEJDOŠ, Jozef SLUGENĽ, Martin MOKROŠ a Julián TOMAŠTÍK. Technika a technologické postupy pri produkcii biomasy a jej energetickom zhodnotení: vedecká monografia. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2016. ISBN 978-80-228-2934-2.
- MRÁZEK, T., 2013. SALIX VIMINALIS L.- vrba košíkárska. (online). Dostupné na internete: <https://botany.cz/cs/salix-viminalis/> (cit. 6.2.2021)
- OTEPKA, P., TÓTHOVÁ, S. 2011. Vlastnosti dreveného popola a možnosti jeho využitia pri pestovaní energetických rastlín. 1. vyd. Bratislava : Agentúra na podporu výskumu a vývoja, 2011. 31 s. ISBN 978-80-970971-0-3
- POLÁKOVÁ, A., 2012, Energetické využití kalu z čistění odpadních vod. Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně. 2012. 41s. (online). Dostupné na internete: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace?zp_id=50673&aid_redir=1
- SAMEŠOVÁ, D., MITTERPACH, J., 2014. Nakladanie s odpadovým kalom vo vybraných čistiarňach odpadových vôd regiónu Banská Bystrica. (online). Dostupné na internete: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/46/116/46116682.pdf
- Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike za rok 2019 ZELENÁ SPRÁVA Bratislava. Dostupné na: <https://www.mpsr.sk/zelena-sprava-2020/123-16162/> (cit. 29.1.2021).

Kontaktné údaje:

Bc. Dominik Gretsch
Kremnické Bane č. 41, 967 01 Kremnica, SLOVENSKO
Tel. kontakt: +421 908 589 406, e-mail: dodo.gretsch@gmail.com
doc. Ing. Martin Lieskovský, PhD.
Katedra lesnej ťažby, logistiky a meliorácií, Lesnícka fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen
e-mail: lieskovsky@tuzvo.sk

MERANIE A HODNOTENIE HLUKU STROJOV POUŽÍVANÝCH PRI PRVOTNOM SPRACOVANÍ DREVA A ICH PÔSOBNIE NA PRACOVNÍKOV

Katarína MICHAJLOVÁ, Miloš GEJDOŠ

MICHAJLOVÁ, K., GEJDOŠ, M.: Meranie a hodnotenie hluku strojov používaných pri prvotnom spracovaní dreva a ich pôsobenie na pracovníkov. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen

Súčasná doba prináša obrovský rozvoj mechanizácie práce, ktorá vo vysokej miere zjednodušuje fyzicky náročnú prácu, čím ju zrýchľuje a zlepšuje. Množstvo faktorov negatívne pôsobiach na okolie, ale aj samotného človeka, sú vyvolávané rôznymi podmienkami pracovného prostredia spolu s pracovnou činnosťou, ktorú vykonáva človek. Vedeckou schopnosťou poznania a skúmania hluku je možnosť jeho hodnotenia podľa výsledkov merania. Táto práca je zameraná na meranie hluku jednotlivých drevospracujúcich zariadení v konkrétnom drevospracujúcom podniku. Na základe vedeckej odbornej literatúry, analyzujem pre priblíženie hluk, popisujem ich negatívne pôsobenie na človeka. Zaoberám sa v nej hlavne metódami merania a samotným meraním hluku, ako aj ochranou zdravia pracovníkov pred touto záťažou. Praktická časť tejto práce analyzuje hluk vybraných pracovných zariadení a následne namerané hodnoty hluku porovnávam s limitnými hodnotami hluku, ktoré upravuje Nariadenie vlády SR č. 115 / 2006, o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou hluku. V práci je zahrnutý aj návrh opatrení na ich zlepšenie.

Kľúčové slová: hluk, zvuk, meranie, nežiadúce účinky.

1. ÚVOD A CIELE PRÁCE

Moderná doba spôsobila, že ľudia sú obklopení hlukom civilizácie a v konečnom dôsledku si to už ani neuvedomujú. Človek sa primárne pohyboval v tichom prostredí prírody s minimálnymi akustickými prejavmi. Úroveň počutia sa zhoršuje každou generáciou. Podľa britských štúdií sa prah počutia posunul v priebehu minulého storočia približne o 5 dB (www.ped.muni.cz).

Hluk má škodlivé účinky na zdravie ľudí a predstavuje aj zvýšené riziko nehodovosti pri práci. S hlukom veľmi úzko súvisia aj vibrácie a mnoho ďalších vecí. Tieto škodlivé faktory sú stále aj v dnešnej dobe veľmi podceňované.

Moja práca je zameraná na meranie drevospracujúcich zariadení a ich následné porovnanie s limitnými hodnotami hluku, ako aj návrh opatrení na ich zlepšenie.

Primárnym cieľom mojej práce bolo skúmanie hlukovej záťaže vhodnou metodikou merania, ktorého výsledkom bola normalizovaná hladina A expozície hluku pre 8-hodinový menovitý pracovný deň a jeho pôsobenie na pracovníkov v konkrétnom drevospracujúcom podniku.

Sekundárnym cieľom bolo následné hodnotenie skúmanej hlukovej záťaže v porovnaní s limitnými a akčnými hodnotami expozície hluku, ktoré určuje Nariadenie vlády SR č. 115 / 2006, a s údajmi, ktoré uvádzajú výrobcovia jednotlivých strojov a vhodný návrh opatrení na zmiernenie hluku.

2. PROBLEMATIKA

2.1 Zvuk

M. NĚMEC et al. (2016, s. 10) uvádza, že: „Zvuk je mechanické vlnenie šíriace sa v pružnom prostredí, ktoré je schopné vyvolať v ľudskom uchu sluchový vnem.“ Akustické vlnenie je zvuk s frekvenciami od 20 Hz do 20 000 Hz. Infrazvuk je vlnenie s frekvenciou menšou ako 20 Hz. Ultrazvuk má frekvencie väčšie ako 20 kHz. Zvukové vlnenie sa prejavuje zmenami tlaku v prostredí a zmeny akustického tlaku vnímame ako zvuk. Akustický tlak je premenná zložka tlaku vzduchu, ktorý je načítaný na statický atmosférický tlak (*M. NĚMEC et al. 2016*). Zvuk pôsobiaci na sluchový orgán sa nazýva sluchový vnem. Prah počutia je najnižšia hladina akustického tlaku, ktorá vyvoláva sluchový vnem. Prah bolesti ucha, pri ktorom dochádza k podráždeniu nervových zakončení pre vnímanie bolesti vzniká pri hladine akustického tlaku od 130 dB (*M. NĚMEC et al. 2016, E. RÓNAY, O. SLÁMA 1989*).

2.2 Hluk

Hluk sa definuje ako nepríjemný, rušivý až škodlivý jav, pre človeka obťažujúci, nepriaznivo pôsobiaci na jeho fyziologickú reakciu (*M. NĚMEC et al. 2016*).

Ak sa vystaví človek pôsobeniu intenzívneho hluku, dochádza u neho k dočasnému posunu sluchového prahu. Pri dlhodobej expozícii hluku s intenzitou viac ako 85 dB, dochádza k trvalému posunu sluchového prahu, ktorý hodnotíme ako profesionálna nedoslýchavosť (*M. TUČEK et al. 2005*).

Hluk vedie k zhoršeniu sluchu, prispieva k vzniku pracovných úrazov a taktiež ku chronickým poruchám, akými sú vysoký krvný tlak a psychosomatické ochorenia (*M. TUČEK et al. 2005*). Silným zvukovým impulzom vzniká akútna akustická trauma, pri ktorej môže dôjsť až k hluchote (*D. PELCLOVÁ et al. 2014*). Ochranu zamestnancov pred účinkami hluku stanovuje Nariadenie vlády SR č. 115/2006 Z.z., podľa ktorého zamestnávateľ zabezpečuje ochranu zamestnanca pred hlukom nasledovnými spôsobmi:

- Metódy práce sú vykonávané tak aby viedli k znižovaniu expozície hluku.
- Výber vhodného pracovného zariadenia s nízkou úrovňou hluku.
- Stavebné a priestorové riešenie pracovísk.
- Výcvik zamestnancov.
- Zníženie hluku technickými prostriedkami (protihlukové clony, kryty, obklady, izolácia).
- Údržba pracovných zariadení.

- Organizácia práce zameraná na zníženie hluku.
- Používanie osobných ochranných prostriedkov (*V. MESSINGEROVÁ et al. 2016*).
Ochrana pred hlukom je založená predovšetkým na technicko-organizačných a technologických opatreniach, ktoré sú realizované:
- konštrukčnou úpravou strojov a zariadení, ktorá je realizovaná už výrobcou, a ktorá zohľadňuje predpismi stanovené limitné hodnoty hluku;
- zvukovým odizolovaním hlučných priestorov;
- priestorovým usporiadaním prevádzok;
- voľbou menej hlučných výrobných postupov;
- presunutie hlučných operácií do menej obsadených zmien;
- skrátenie pobytu pracovníka v hlučnom prostredí – zavedenie tzv. tichých prestávok;
- zriadenie oddychových priestorov;
- osobné ochranné pracovné prostriedky (ochranné prilby, slúchadlové chrániče, rezonančné chrániče);
- preventívne lekárske prehliadky (*J. SUCHOMEL et al. 2011*).

Za poslednú možnosť pri ochrane pracovníkov pred expozíciou hluku sa považujú chrániče sluchu. Musia byť navrhnuté tak aby vhodne tlmili zvuk ale zároveň umožňovali pracovníkovi počuť varovných signálov, kontrolu stroja a v neposlednom rade by mali byť pohodlné (*V. MESSINGEROVÁ et al. 2016*).

3. MATERIÁL A METÓDY MERANIA HLUKU VO FIRME PRE PRVOTNÉ SPRACOVANIE DREVA

3.1 Meracie zariadenie

K dispozícii, na meranie hluku v pracovnom prostredí, som mala zariadenie VOLCRAFT MS 4 IN 1 (viď Obr. č.1). Je to multifunkčné meracie zariadenie, ktoré združuje viacero funkcií akými sú meranie intenzity osvetlenie, vlhkosť vzduchu, hladina zvuku a teplota. Zariadenie slúži na orientačné meranie pre súkromné využitie preto som vykonala 30 meraní pri jednotlivých strojoch na prevádzke aby som zredukovala chybu z merania. Pred začatím merania hluku je potrebné na tomto zariadení nastaviť frekvenčné váženie podľa hodnotiacej krivky A, ktorá je prispôbená ľudskému sluchu alebo podľa hodnotiacej krivky C, ktorá je lineárna (*CONRAD: Multifunkční měřicí přístroj okolního prostředí 4 v 1; návod k obsluze.*).



Obr. č. 1: Zvukomer VOLCRAFT MS 4 IN 1 (Zdroj: <https://www.conrad.sk/>)

Fig. n. 1: Sound level meter VOLCRAFT MS 4 IN 1

3.2 Metodika merania

Výskum som realizovala podľa postupu uvedeného v STN EN ISO 9612 Akustika; Stanovenie expozície hluku v pracovnom prostredí. Prvým krokom bola analýza práce zamestnancov pracujúcich v jednotlivých halách. Činnosti na prevádzke sa menia v rámci týždňa aj v rámci jedného pracovného dňa v závislosti od požiadaviek odberateľov. Zamestnanci sú počas výkonu svojej práce vybavení ochrannými prostriedkami ako sú ochranný odev, rukavice, prilby, chrániče sluchu, ochranné okuliare.

Ďalším krokom bol výber stratégie merania, ktorý závisí od viacerých faktorov. Na výber som mala z troch stratégií merania: Stratégia 1 – Meranie pracovnej úlohy (operácie); Stratégia 2 – Meranie druhu práce (profesie); Stratégia 3 – celodenné meranie.

V mojom prípade som si vybrala stratégiu 2 (viď Tab. č. 1), ktorá je založená na meraní hluku pre druh práce (profesiu). *STN EN ISO 9612* (2010, s. 27) uvádza: „Stratégia založená na meraní hluku pre druh práce (profesiu) je najvhodnejšia vtedy, ak charakteristika práce a pracovné úlohy sú ťažko opísateľné alebo ak nie je vhodná alebo prakticky uskutočniteľná podrobná analýza práce. Meranie druhu práce (profesie) umožňuje znížiť úsilie vynaložené pri analýze (snímkovaní) práce. Pozornosť sa má venovať tomu, aby expozícia hluku každého pracovníka vykonávajúceho daný druh práce (profesiu) bola pre daný druh práce typická. Táto stratégia môže byť časovo náročná kvôli požadovaným nevyhnutným intervalom meraní, ale poskytuje menšiu neistotu v získanom výsledku. Podobne ako pri meraní pracovnej úlohy (operácie) musí byť zameraná na to, aby hlavné príspevky expozície hluku boli obsiahnuté v intervale merania.”

V treťom kroku som vykonala jednoduché merania so zvukomerom VOLCRAFT MS 4 IN 1, ktorý som mala k dispozícii. Merania som uskutočnila na štyroch pracovis-

kách, kde zamestnanci pracujú v 8 hodinových pracovných zmenách, pričom majú 30 minútovú prestávku na obed. Pre minimalizáciu chyby merania som uskutočnila 30 meraní, ktoré boli odčítavané manuálne. Zaznamenala som hodnoty aktuálnej hladiny hluku. Na strojoch, ktoré som si vybrala na tieto merania, som uskutočnila meranie zvukomerom vo výške sluchového orgánu daného pracovníka na mieste, na ktorom sa nachádza daný zamestnanec počas práce s týmto strojom.

Štvrtý krok spočíval v kontrole chýb, ktoré by mohli nastať počas meraní, avšak v mojom prípade sa nevyskytli žiadne ohrozenia, ktoré mohli spôsobiť chyby merania.

Posledným krokom bol výpočet normalizovanej hladiny A expozície hluku pre 8-hodinový menovitý pracovný deň a rozšírenej neistoty merania (*STN EN ISO 9612 Akustika; Stanovenie expozície hluku v pracovnom prostredí. Technická metóda*).

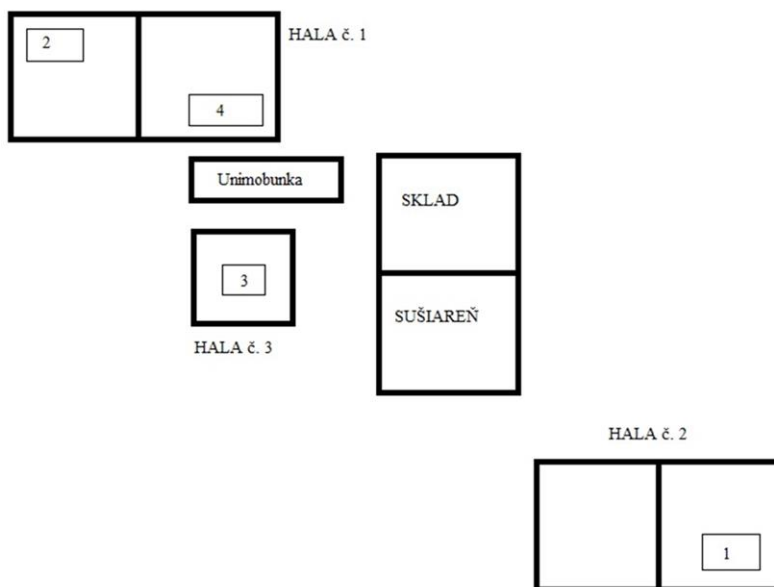
Tab. č. 1: Výber základnej stratégie merania (STN EN ISO 9612, s. 29)

Tab. n. 1: Selection of the basic measurement strategy (STN EN ISO 9612, p. 29)

Typ alebo spôsob práce (pracovný postup)	Stratégia merania		
	Stratégia 1 meranie pracovnej úlohy (operácie)	Stratégia 2 meranie druhu práce (profesie)	Stratégia 3 celodenné meranie
Stále pracovné miesto – jednoduchá alebo jednotlivá úloha	┐ *	–	–
Stále pracovné miesto – zložitá alebo viacnásobná úloha	┐ *	┐	┐
Mobilný pracovník – predpovedateľný spôsob práce – malý počet úloh	┐ *	┐	┐
Mobilný pracovník – predpovedateľná práca – veľký počet úloh alebo zložitý spôsob práce	┐	┐	┐ *
Mobilný pracovník – nepredpovedateľný spôsob práce	–	┐	┐ *
Stály alebo mobilný pracovník – viacnásobné úlohy s bližšie neurčeným trvaním úloh	–	┐ *	┐
Stály alebo mobilný pracovník – žiadne priradené (určené) úlohy	–	┐ *	┐
┐ Stratégia môže byť použitá. * Odporúčaná stratégia.			

3.3 Schéma rozmiestnenia strojov

Jednotlivé merania sa vykonávali v uzavretých priestoroch výrobných hál (viď Obr. č. 2), pri rovnakých podmienkach akým sú vystavení pracovníci počas pracovného dňa. Meranie som uskutočnila v rovnakej vzdialenosti od stroja v akej sa nachádzajú pracovníci a vo výške ich sluchového ústrojenstva. Pokiaľ poloha na pracovnom mieste nebola presne definovaná, tak som použila výšku mikrofónu pre stojacu osobu $1,55\text{ m} \pm 0,075\text{ m}$ nad podlahou, kde stojí daná osoba.



Obr. č. 2: Schéma rozmiestnenia pracovných strojov v jednotlivých halách na pozemku firmy
Fig. n. 2: Scheme of layout of working machines in individual halls on the company's land

V hale č. 1, ktorá je rozdelená na dva samostatné priestory sa nachádza pod číslom 4 uhlová píla OCP PRM1 - DKP a pod číslom 2 skracovacia píla CURSAL. V menšej hale č. 3 sa nachádza rámová píla KPS, MR 45A. Hala č. 2 je taktiež rozdelená na dva samostatné priestory, kde sa nachádza pod číslom 1 formátovacia píla FP – 315.

4. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Vykonal som 30 meraní, ktoré sú uvedené v štyroch tabuľkách (Tab.č.2, Tab.č.3, Tab.č.4, Tab.č.5). Z týchto 30 meraní som dopočítala energetický priemer $L_{p,A,eqTe}$, z dôvodu, že rozdiel medzi jednotlivými hodnotami bol väčší ako 5 dB. Na základe energetického priemeru $L_{p,A,eqTe}$ som dopočítala normalizovanú hladinu hluku $L_{EX,8h}$, ktorú som navyšovala o rozšírenú neistotu $U(L_{EX,8h})$. Rozšírenú neistotu $U(L_{EX,8h})$ som si dopočítala

osobitne pre každý stroj samostatne. Rovnaký postup som aplikovala pri všetkých štyroch pracovných zariadeniach. Všetky výpočty boli robené v súlade s STN EN ISO 9612.

Tab. č. 2: Formátovacia píla FP – 315

Tab. n. 2: Formatting saw FP –315

Formátovacia píla FP - 315					
Poradie merania	Nameraná hodnota $L_{p,A,eqT,n}$ (dB)	Poradie merania	Nameraná hodnota $L_{p,A,eqT,n}$ (dB)	Poradie merania	Nameraná hodnota $L_{p,A,eqT,n}$ (dB)
1.	80,5	11.	79,5	21.	93,7
2.	90,7	12.	96,4	22.	79,4
3.	92,2	13.	79,7	23.	93,6
4.	79,3	14.	78,2	24.	79,3
5.	80,1	15.	92,8	25.	78,6
6.	96,2	16.	79,6	26.	94,4
7.	81	17.	80,9	27.	78,7
8.	91,6	18.	96,1	28.	93,2
9.	95,2	19.	79,3	29.	78,7
10.	88	20.	77,9	30.	91,7

Tab. č. 3: Skracovacia píla CURSAL

Tab. n. 3: Trimming saw CURSAL

Skracovacia píla CURSAL					
Poradie merania	Nameraná hodnota $L_{p,A,eqT,n}$ (dB)	Poradie merania	Nameraná hodnota $L_{p,A,eqT,n}$ (dB)	Poradie merania	Nameraná hodnota $L_{p,A,eqT,n}$ (dB)
1.	84,2	11.	86,5	21.	81,7
2.	88,4	12.	86,6	22.	85,9
3.	88,2	13.	85,5	23.	85,6
4.	83,2	14.	84,2	24.	86,3
5.	83,3	15.	87	25.	84,8
6.	82,9	16.	85,4	26.	85,7
7.	82,7	17.	85,9	27.	85
8.	82,9	18.	81,6	28.	85,6
9.	83,2	19.	81	29.	83,4
10.	87,3	20.	81,4	30.	86

Tab. č. 4: Rámová píla KPS, MR 45 A

Tab. n. 4: Frame saw KPS, MR 45 A

Rámová píla KPS, MR 45 A					
Poradie merania	Nameraná hodnota $L_{p,A,eqT,n}$ (dB)	Poradie merania	Nameraná hodnota $L_{p,A,eqT,n}$ (dB)	Poradie merania	Nameraná hodnota $L_{p,A,eqT,n}$ (dB)
1.	74,9	11.	76,2	21.	82,5
2.	75,5	12.	76,4	22.	83,2
3.	76,6	13.	76,4	23.	82,8
4.	77,1	14.	76,3	24.	79,5
5.	77	15.	75,8	25.	78,1
6.	76,7	16.	76,6	26.	78,7
7.	76,7	17.	75,4	27.	79
8.	76	18.	76	28.	79,1
9.	76,5	19.	79,1	29.	78,8
10.	75,4	20.	83,8	30.	79,2

Tab. č. 5: Uhlová píla OCP PRM 1 – DKP

Tab. n. 5: Angle saw OCP PRM 1 – DKP

Uhlová píla OCP PRM1 - DKP					
Poradie merania	Nameraná hodnota $L_{p,A,eqT,n}$ (dB)	Poradie merania	Nameraná hodnota $L_{p,A,eqT,n}$ (dB)	Poradie merania	Nameraná hodnota $L_{p,A,eqT,n}$ (dB)
1.	87,4	11.	87,1	21.	87
2.	87,7	12.	91,2	22.	86,8
3.	93,8	13.	88,8	23.	87,8
4.	88	14.	87,6	24.	87,7
5.	87,2	15.	86,7	25.	89,4
6.	91,1	16.	90,9	26.	94,4
7.	87,5	17.	95	27.	85,4
8.	86,9	18.	87,2	28.	86,1
9.	86,9	19.	92,2	29.	89
10.	91,1	20.	90	30.	87,8

Energetický priemer $L_{p,A,eqTe}$

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \log \left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{0,1 * L_{p,A,eqT,n}} \right) \quad dB$$

kde $L_{p,A,eqTe}$ je ekvivalentná hladina A akustického tlaku pre výber merania n ;
 n poradové číslo výberu merania pre druh práce (profesiu);
 N celkový počet výberov meraní pre druh práce profesiu.

K určeniu rozšírenej neistoty merania $U(L_{EX,8h})$ potrebujem zistiť štandardnú neistotu nameraných hodnôt $u_{1a,m}$, štandardnú neistotu meracieho prístroja u_2 a štandardnú neistotu umiestnenia mikrofónu u_3 . Prvým krokom je výpočet štandardnej neistoty $u_{1a,m}$ z nameraných hodnôt.

Štandardná neistota $u_{1a,m}$

$$u_{1a,m} = \sqrt{\frac{1}{I(I-1)} \left[\sum_{i=1}^I (L_{p,A,eqT,mi} - \bar{L}_{p,A,eqT,m})^2 \right]} \quad dB$$

kde $\bar{L}_{p,A,eqT,m}$ je aritmetický priemer z I nameraných ekvivalentných hladín akustického tlaku pre úlohu (operáciu) m , t.j.

$$\bar{L}_{p,A,eqT,m} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I L_{p,A,eqT,mi}$$

i poradové číslo výberu merania (hladiny akustického tlaku) pre úlohu (operáciu)

I celkový počet výberov meraní (hladín akustického tlaku) pre úlohu (operáciu).

Okrem výpočtu štandardnej neistoty $u_{1a,m}$ sú dôležité aj hodnoty príspevkov c_1 , c_2 a c_3 k neistote merania, ktoré som určila pomocou tabuliek z STN EN ISO 9612 a dopočítaných hodnôt. Z tabuľky číslo 6 nám vyplýva, že hodnoty príspevkov neistoty c_2 a c_3 sú rovné 1.

Tab. č. 6: Rozbor neistoty pri určovaní hladín expozície hluku pre stratégiu založenú na meraní druhu práce (profesie) (STN EN ISO 9612, s. 34)

Tab. n. 6: Analysis of uncertainty in determining noise exposure levels for a strategy based on measuring the type of work (profession) (STN EN ISO 9612, p. 34)

Tabuľka C.3					
Veličina	Odhad	Štandardná neistota u_i	Rozdelenie pravdepodobnosti	Koeficient citlivosti c_i	Príspevok neistoty $c_i u_i$ (dB)
$L_{p,A,eqT}$	$L_{p,A,eqT}$ energetický priemer nameraných $L_{p,A,eqT,n}$	u_1 určené pomocou vzťahu (C.12)	Normálne	c_1	$c_1 u_1$ dané v tabuľke C.4
Q_2	0	u_2 dané v tabuľke C.5	Normálne	$c_2 = 1$	u_2
Q_3 ^{a)}	0	u_3 dané v C.6	Normálne	$c_3 = 1$	u_3
a) Dá sa očakávať, že Q_3 bude v rozsahu - 1,0 dB až 0,5 dB. Pre jednoduchosť, aritmetický priemer odhadu Q_3 je rovný nule. Predpokladá sa, že štandardná neistota umiestnenia mikrofónu u_3 zahrnie túto špeciálnu neistotu.					

Z dopočítanej hodnoty štandardnej neistoty som na základe tabuľky č. 7 vybrala výslednú sumu príspevku neistoty. Ak sa hodnota štandardnej neistoty nachádzala medzi dvoma hodnotami, výslednú sumu príspevku neistoty som interpolovala.

Tab. č. 7: Príspevok neistoty $c_{l,u1}$ v decibeloch výberov meraní pre stratégie založené na meraní hluku pre druh práce (profesiu) a pre celodenné meranie vo vzťahu k počtu N nameraných hodnôt $L_{p,A,eqT,n}$ so štandardnou neistotou u_1 (STN EN ISO 9612, s. 35)

Tab. n. 7: Contribution of uncertainty $c_{l,u1}$ in decibels of measurement selections for strategies based on noise measurement for type of work (profession) and for all-day measurement in relation to the number N of measured values L_p, A, eqT, n with standard uncertainty u_1 (STN EN ISO 9612, p. 35)

Tabuľka C.4												
N	Príspevok neistoty $c_{l,u1}$ nameraných hodnôt $L_{p,A,eqT,n}$ (dB)											
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
3	0,6	1,6	3,1	5,2	8,0	11,5	15,7	20,6	26,1	32,2	39,0	46,5
4	0,4	0,9	1,6	2,5	3,6	5,0	6,7	8,6	10,9	13,4	16,1	19,2
5	0,3	0,7	1,2	1,7	2,4	3,3	4,4	5,6	6,9	8,5	10,2	12,1
6	0,3	0,6	0,9	1,4	1,9	2,6	3,3	4,2	5,2	6,3	7,6	8,9
7	0,2	0,5	0,8	1,2	1,6	2,2	2,8	3,5	4,3	5,1	6,1	7,2
8	0,2	0,5	0,7	1,1	1,4	1,9	2,4	3,0	3,6	4,4	5,2	6,1
9	0,2	0,4	0,7	1	1,3	1,7	2,1	2,6	3,2	3,9	4,6	5,4
10	0,2	0,4	0,6	0,9	1,2	1,5	1,9	2,4	2,9	3,5	4,1	4,8
12	0,2	0,3	0,5	0,8	1	1,3	1,7	2,0	2,5	2,9	3,5	4,0
14	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,2	1,5	1,8	2,2	2,6	3,0	3,5
16	0,1	0,3	0,5	0,6	0,8	1,1	1,3	1,6	2,0	2,3	2,7	3,2
18	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,1	2,5	2,9
20	0,1	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6
25	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7	2,0	2,3
30	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0

Štandardnú neistotu spôsobenú prístrojom u_2 som vybrala na základe tabuľky č. 8. Keďže som používala zvukomer VOLCRAFT MŠ 4 IN 1, ktorý spadá do kategórie presnosti 2 tak moja hodnota u_2 je 1,5 dB.

Tab. č. 8: Štandardná neistota spôsobená prístrojom u_2 (STN EN ISO 9612, s. 36)

Tab. n. 8: Standard uncertainty due to u_2 instrument (STN EN ISO 9612, p. 36)

Tabuľka C.5	
Typ prístroja	Štandardná neistota u_2 (alebo $u_{2,m}$) (dB)
Zvukomery v súlade s IEC 61672-1: 2002, trieda presnosti 1	0,7
Osobné zvukové expozimetre v súlade s IEC 61252	1,5
Zvukomery v súlade s IEC 61672-1: 2002, trieda presnosti 2	1,5

Štandardná neistota spôsobená umiestnením mikrofónu u_3 je pevne stanovená na hodnotu 1,0 dB (viď Tab. č. 9).

Tab. č. 9: Štandardná neistota spôsobená umiestnením mikrofónu u_3 (STN EN ISO 9612, s. 36)

Tab. n. 9: Standard uncertainty due to microphone placement u_3 (STN EN ISO 9612, p. 36)

C. 6 Štandardná neistota spôsobená umiestnením mikrofónu u_3
Štandardná neistota u_3 spôsobená umiestnením mikrofónu je 1,0 dB.

Zo zistených veličín som vypočítala kombinovanú štandardnú neistotu u pomocou nasledovného vzorca:

$$u^2(L_{EX,8h}) = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 (u_2^2 + u_3^2) \quad dB$$

kde $c_1 u_1$ je príspevok neistoty v dB;

c_2 je koeficient citlivosti;

u_2 je štandardná neistota spôsobená prístrojom;

u_3 je štandardná neistota spôsobená umiestnením mikrofónu.

Rozšírená neistota merania $U(L_{EX,8h})$

$$U(L_{EX,8h}) = 1,65 * u \quad dB$$

kde u je kombinovaná štandardná neistota u .

Posledným krokom bol výpočet normalizovanej hladiny hluku $L_{EX,8h}$.

Normalizovaná hladina hluku $L_{EX,8h}$

$$L_{EX,8h} = L_{p,A,eqTe} + 10 \log \left(\frac{T_e}{T_0} \right) \quad dB$$

kde $L_{p,A,eqTe}$ je ekvivalentná hladina A akustického tlaku pre skutočné trvanie pracovného dňa;

T_e skutočné trvanie pracovného dňa;

T_0 referenčný interval; $T_0 = 8$ h.

Z jednotlivých výsledkov som zostrojila tabuľku č. 10, kde je sumár jednotlivých hodnôt pre každý meraný drevospracujúci stroj.

Tab. č. 10: Sumár jednotlivých veličín pre všetky merané drevospracujúce zariadenia

Tab. n. 10: Summary of individual quantities for all measured woodworking equipment

Meraný stroj	Dopočítaná veličina	Energetický priemer $L_{p, AeqTc}$ (dB)	Štandardná neistota u_{lam} (dB)	Príspevok neistoty c_2 a c_3	Príspevok neistoty c_1, u_1 (dB)	Štandardná neistota spôsobená prístrojom u_2 (dB)	Štandardná neistota spôsobená umiestnením mikrofónu u_3 (dB)	Kombinovaná štandardná neistota u (dB)	Rozšírená neistota $U/(L_{EX,8h})$ (dB)	Normalizovaná hladina hluku $L_{EX,8h}$ (dB)
Formátovacia píla FP - 315		90,68	1,59	1	0,318	1,5	1	1,83	3,02	90,4
Skracovacia píla CURSAL		85,15	0,38	1	0,1	1,5	1	1,81	2,99	84,87
Rámová píla KPS, MR 45A		78,66	0,48	1	0,1	1,5	1	1,81	2,99	78,38
Uhlová píla OCP PRM1 - DKP		89,7	0,49	1	0,1	1,5	1	1,81	2,99	89,42

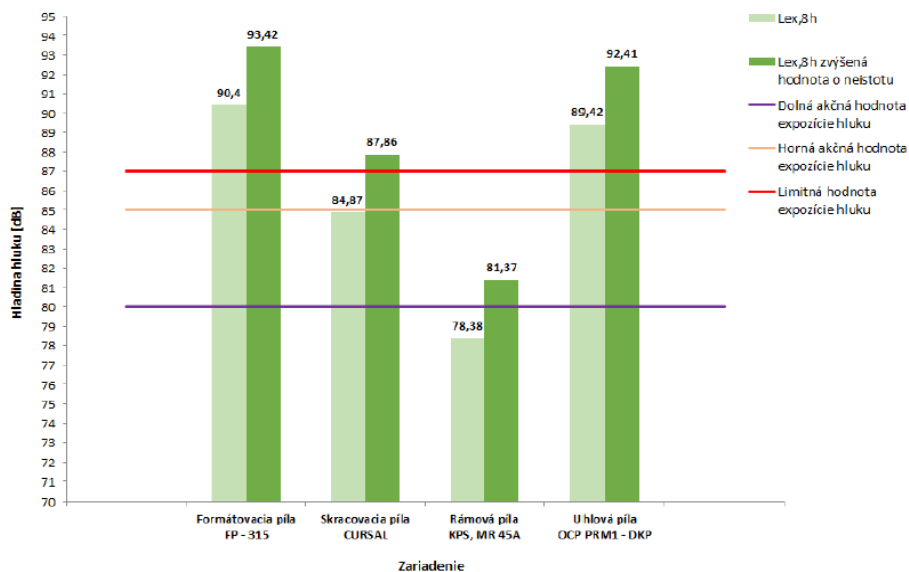
Na základe tabuľky č. 11 som graficky znázornila jednotlivé výsledky normalizovanej hladiny hluku v porovnaní s limitnou hodnotou expozície hluku, hornou a dolnou akčnou hodnotou expozície hluku na obrázku č. 3. Jednotlivé hodnoty som zhodnotila na základe Nariadenia vlády č. 115/2006 o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou hluku.

Tab. č. 11: Normalizovaná hladina hluku $L_{EX,8h}$ a rozšířená neistota $U(L_{EX,8h})$

Tab. n. 11: Normalized noise level $L_{EX, 8h}$ and extended uncertainty $U(L_{EX, 8h})$

Meraný stroj	Pracovná doba (h)	$L_{EX,8h}$ (dB)	Limitná hodnota expozície hluku 87 (dB)	Rozšírená neistota $U(L_{EX,8h})$ (dB)	Normalizovaná hladina hluku navýšená o rozšírenú neistotu $U(L_{EX,8h})$ (dB)	Normalizovaná hladina hluku znížená o rozšírenú neistotu $U(L_{EX,8h})$ (dB)
Formátovacia píla FP - 315	8	90,4	Prekročené o 3,4 dB	3,02	93,42	87,38
Skracovacia píla CURSAL	8	84,87	Vyhovujúce	2,99	87,86	81,88
Rámová píla KPS, MR 45A	8	78,38	Vyhovujúce	2,99	81,37	75,39
Uhlová píla OCP PRM1 - DKP	8	89,42	Prekročené o 2,42 dB	2,99	92,41	86,43

Normalizovaná hladina hluku $L_{EX, 8h}$ a rozšírená neistota $U(L_{EX, 8h})$



Obr. č. 3: Normalizované hladiny hluku navýšené o rozšírenú neistotu U v porovnaní s limitnou, hornou a dolnou akčnou hodnotou expozície hluku.

Fig. n. 3: Normalized noise levels increased by the expanded uncertainty U compared to the limit, upper and lower action value of noise exposure.

Z porovnávacieho grafu znázorneného na obrázku č. 4 je vidieť jednotlivé hodnoty normalizovaných hladín hluku a normalizovaných hladín hluku navýšených o rozšírenú neistotu U v porovnaní s legislatívnymi limitnými hodnotami expozície hluku, hornými a dolnými akčnými hodnotami expozície hluku.

Na obrázku č. 4 vidieť, že formátovacia píla FP – 315 prekročila limitnú hodnotu expozície hluku aj hornú a dolnú akčnú hodnotu expozície hluku svojou normalizovanou hladinou hluku $L_{EX,8h}$ aj normalizovanou hladinou hluku rozšírenou o rozšírenú neistotu $U(L_{EX,8h})$. Normalizovaná hladina hluku $L_{EX,8h}$ prekračuje limitnú hodnotu expozície hluku o 3,4 dB a normalizovanou hladinou hluku $L_{EX,8h}$ rozšírenou o rozšírenú neistotu $U(L_{EX,8h})$ o 6,42 dB. Výrobca uvádza maximálnu povolenú hodnotu hluku na pracovnom mieste 90 dB a maximálnu povolenú hodnotu akustického výkonu stroja 100 dB (*Oblasťný průmyslový podnik Polička a.s.; W-Master Formátovací píla FP – 315, Návod k používání*). V mojom prípade bola normalizovaná hladina hluku navýšená o rozšírenú neistotu 93,42 dB, z čoho vyplýva, že maximálnu povolenú hodnotu akustického výkonu stroja, ktorú uvádza výrobca neprekračuje, avšak maximálnu povolenú hodnotu hluku na pracovnom mieste prekračuje o 3,42 dB.

Skracovacia píla CURSAL prekročila dolnú akčnú hodnotu expozície hluku ale spĺňa hornú akčnú hodnotu expozície hluku a limitnú hodnotu expozície hluku. Ak však navýšim normalizovanú hladinu hluku $L_{EX,8h}$ o rozšírenú neistotu $U(L_{EX,8h})$ tak sa prekročí horná akčná hodnota expozície hluku a limitná hodnota expozície hluku len o 0,86 dB, čo je zanedbateľné, keďže ľudské ucho vníma rozdiel až pri 5 dB. V tomto prípade výrobca neuvádza maximálne povolené hladiny hluku.

Rámová píla KPS, MR 45A neprekračuje limitné a akčné hodnoty, avšak ak jej normalizovanú hladinu $L_{EX,8h}$ rozšírim o rozšírenú neistotu $U(L_{EX,8h})$ prekročí sa dolná akčná hodnota expozície hluku o 1,37 dB. Výrobca v návodoch k tomuto drevospracujúcemu zariadeniu neuvádza maximálne povolené hodnoty hluku. Uhlová píla OCP PRM1 – DKP prekračuje limitnú hodnotu expozície hluku, hornú a dolnú akčnú hodnotu expozície hluku svojou normalizovanou hladinou hluku $L_{EX,8h}$ aj normalizovanou hladinou hluku o rozšírenú neistotu $U(L_{EX,8h})$. Hladina zvuku A v mieste obsluhy, ktorú uvádza výrobca je 94 dB (*StrojCAD s.r.o.; Dvojkotúčová uhlová kmeňová píla DKP 6, Technické podmínky, Návod na obsluhu*). Pri mojich výpočtoch som dospela k výsledku 92,41 dB, ktorý je nižší o 1,59 dB než uvádza výrobca. Tento výsledok je zapríčinený tým, že jednotlivé merania som vykonávala v mieste, kde sa nachádzal zamestnanec v čase činnosti zariadenia, ktorý sa počas jeho používania presúval a kontroloval chod stroja, zatiaľ čo hodnota, ktorú uvádza výrobca je meraná v mieste obsluhy.

Najvyššie prípustné hodnoty určujúce hluk v pracovnom prostredí, ako aj spôsob hodnotenia hluku stanovujú predpisy o ochrane zdravia pred hlukom. Ich cieľom je ochrana zdravia.

Opatrenia vedúce k znižovaniu hluku, môžeme uplatniť:

- priamo na zdroji (emisía),
- medzi zdrojom a obsluhou (prenosová cesta)
- v mieste obsluhy.

Z výsledkov môjho merania som dospela k názoru, že pracovníci pracujúci pri obsluhe rámovej pily KPS, MR 45A a skracovacej pily CURSAL nie sú vystavení riziku poškodenia sluchu hlukom na pracovisku, nebola prekročená limitná hodnota expozície hluku. Tieto dve pracoviská spĺňajú podmienky bezpečného pracoviska v súvislosti s expozíciou zamestnancov hlukom.

Na pracovisku formátovacej pily FP – 315 bola prekročená limitná hodnota expozície hluku o 3,4 dB a maximálna povolená hodnota hluku na pracovnom mieste o 3,42 dB. Pracovisko uhlovej pily OCP PRM1 – DKP prekročilo limitnú hodnotu expozície hluku o 2,42 dB, avšak oproti hodnote, ktorú uvádza výrobca bola hodnota hluku nižšia o 1,59 dB. Prekročenie limitnej hodnoty expozície hluku sa dá riešiť niekoľkými spôsobmi. Jedným z nich je výmena strojov za novšie typy, avšak z ekonomického hľadiska je toto riešenie veľmi nákladné. Ďalšími možnosťami by boli technické opatrenia spočívajúce v konštrukčných úpravách ako napríklad výmena ložísk, materiálov, tlmičov či vyváženie jednotlivých súčiastok. Technicko – organizačnými opatreniami by bolo možné obložiť jednotlivé hlučné prvky na strojoch tlmiacimi materiálmi. Keďže prekročenie limitnej hodnoty expozície hluku neprekračuje hodnotu 100 dB sú postačujúce ako osobné ochranné pracovné prostriedky ušné tlmiče, ktoré by mal zamestnávateľ poskytnúť zamestnancom (*M. SCHWARZ et al. 2013*). V súčasnosti zamestnávateľ poskytuje svojim zamestnancom slúchadlové chrániče sluchu a prilby so zabudovanými chráničmi sluchu, ktoré poskytujú ochranu sluchu až do 120 dB.

Do kategórie práce so zvýšeným rizikom choroby z povolania patria práce, kde nie je možné, dostupnými prostriedkami dosiahnuť dostatočnú ochranu sluchu zamestnanca. V takomto prípade je zamestnávateľ povinný zabezpečiť zamestnancom preventívne lekárske prehliadky (*M. SCHWARZ et al. 2013*).

5. ZÁVER

Cieľom tejto práce bolo skúmanie intenzity hluku vhodnou metodikou merania a jeho pôsobenie na pracovníkov v konkrétnom drevospracujúcom podniku. Tieto ciele som naplňala jednotlivými kapitolami, v ktorých som rozoberala dané témy. Informácie som čerpala z vedeckej odbornej literatúry, z aktuálnych zákonov a smerníc SR, ako aj z internetových zdrojov a v neposlednom rade aj vlastnou odbornou výskumnou činnosťou.

Človek trávi v práci väčšinu času, preto pracovné prostredie by malo umožňovať zamestnancovi pociť pohody a bezpečia. Na optimalizovanie pracovných podmienok sú dôležité prostriedky, akceptovanie a dodržiavanie pracovných podmienok. Na zabezpečenie vhodných pracovných podmienok a minimalizácie negatívnych faktorov je dôležitá tvorba a ochrana pracovného prostredia. Bez ohľadu na pracovisko existujú tri hlavné kroky na zabránenie poškodenia zdravia pracovníkov, a to posúdiť riziká, následne na základe posúdenia vykonať kroky na zabránenie alebo aspoň reguláciu rizík a pravidelne monitorovať a kontrolovať účinnosť zavedených opatrení.

Výskumom a meraniami sme dospeli k záveru, že pracovné prostredie, ktoré vytvára vhodné podmienky pracovníkom výroby, je veľmi dôležité. V súvislosti s tým je veľmi dôležité, aby strojové zariadenia, ktoré sa používajú v konkrétnych výrobných procesoch, spĺňali podmienky, ktoré budú zabezpečovať požadovaný výkon stroja a rovnako budú bezpečné pre zdravie pracovníkov a ich ochranu pred škodlivým pôsobením hluku. Splnenie týchto podmienok zabezpečí priebežná starostlivosť a údržba o jednotlivé strojové zariadenia v celom procese používania. Opatrenia, ktoré vedú k znižovaniu hluku je potrebné uplatňovať v mieste obsluhy, priamo na zdroji (emisia) a medzi zdrojom a obsluhou (prenosová cesta), ktoré sú realizované technickými, technologickými, technologicko – organizačnými opatreniami a osobnými ochrannými pracovnými prostriedkami.

Zamestnávateľ zabezpečuje pravidelnú kontrolu a revíziu drevospracujúcich zariadení, ako aj pravidelné preventívne zdravotné prehliadky svojich zamestnancov. Drevospracujúca firma, v ktorej boli vykonávané merania jednotlivých drevospracujúcich zariadení poskytuje primeranú ochranu zdravia zamestnancov pred škodlivým pôsobením hluku.

PodĎakovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-19-0612 a Operačným programom Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Komplexný výskum mitigačných a adaptačných opatrení na zmiernenie negatívnych dopadov klimatických zmien na lesné ekosystémy Slovenska (FORRES), kód ITMS: 313011T678, spolufinancovaným zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja. “

6. ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- CONRAD: Multifunkční měřicí přístroj okolního prostředí 4 v 1; návod k obsluze. 10 s.
- MESSINGEROVÁ, V., et al.: Lesnícka ergonómia a bezpečnosť pri práci. 1. vyd.. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2016. 232 s.. ISBN 978-80-228-2933-5
- Nariadenie vlády SR č. 115 / 2006, o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou hluku.
- NĚMEC, M., et al.: Dopravný hluk. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2016. 133 s.. ISBN 978-80-228-2864-2
- OBLASTNÍ PRŮMYSLVÝ PODNIK POLIČKA a.s.: W-Master Formátovací píla FP – 315, Návod k použití. 25 s.
- PELCLOVÁ, D., et al.: Nemoci z povolání a intoxikace. 3. vyd.. Praha: Univerzita Karlova v Praze, 2014. 316 s.. ISBN 978-80-246-2597-3
- RÓNAY, E. – SLÁMA, O.: Ergonómia a bezpečnosť pri práci v lesnom hospodárstve. Bratislava: Príroda, 1989. 309 s.. ISBN 80-07-00046-1
- SCHWARTZ, M. – DADO, M. – HNILICA, R.: Rizikové faktory pracovného prostredia. 1. vyd.. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2013. 439 s.. ISBN 978-80-228-2581-8
- STN EN ISO 9612 Akustika. Stanovenie expozície hluku v pracovnom prostredí. Technická metóda.
- STROJCAD s.r.o.; Dvojkotúčová uhlová kmeňová píla DKP 6, Technické podmienky, Návod na obsluhu, Terminál – Omron. 50 s.
- SUCHOMEL, J. – BELANOVÁ, K. – VLČKOVÁ, M.: Analýza výskytu chorôb z povolania v lesníctve Slovenska. 1. vyd.. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2011. 109 s.. ISBN 978-80-228-2206-0
- TUČEK, M. – CIKRT, M. – PELCLOVÁ, D.: Pracovní lékařství pro praxi. 1. vyd.. Praha: Grada Publishing, a.s., 2005. 334 s.. ISBN 80-247-0927-9
- ZACHAR, M., a kol.: Ochrana zdravia a bezpečnosť pri práci. 1. vyd.. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene,

2017. 200 s.. ISBN 978-80-228-3013-3
<<https://www.conrad.sk/zvukovy-dozimeter-extech-sl355.k1165283>>
<<https://www.ped.muni.cz/knihy/texty/cze>>
<<https://www.sutn.sk>>

Kontaktné údaje

Ing. Katarína Michajlová
Osloboditeľov 54, 066 01 Humenné
e-mail: michajlovakatarina@gmail.com
Tel.: 0902 321 841

doc. Ing. Miloš Gejdoš, PhD.
Katedra lesnej ťažby, logistiky a meliorácii
Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen
e-mail: milos.gejdos@tuzvo.sk

Measurement and evaluation of the noise of machines used in the initial treatment of wood and their effect on workers

Summary

The present time brings a huge development of mechanization of work, which greatly simplifies physically demanding work, thus speeding it up and improving it. Many factors that have a negative effect on the environment, but also on the person himself, are caused by various conditions of the working environment together with the work activity performed by the person. The scientific ability to recognize and study noise is the possibility of its evaluation according to the measurement results. This work is focused on measuring the noise of individual woodworking equipment in a specific woodworking company. Based on the scientific literature, we analyze for approximation noise, describes their negative effects on humans. We deal mainly with measurement methods and noise measurement itself, as well as the protection of workers' health from this load. The practical part of this diploma thesis analyzes the noise of selected work equipment and then we compare the measured noise values with the noise limit values, which are regulated by the Regulation of the Government of the Slovak Republic no. 115/2006 on minimum health and safety requirements for the protection of workers from the risks related to exposure to noise. The work also includes a proposal for measures to improve them.

PHENOLOGY MODELING OF BARK BEETLE DEVELOPMENT ON AN ALTITUDINAL TRANSECT IN THE HIGH TATRA MOUNTAINS

Jakub TOMES

Abstract

The European spruce bark beetle's capability to have more generations per year is crucial for its threat of outbreak in spruce stands. With elevated air temperatures under climate change, its damage rate of spruce forests can be more dangerous; not excluding natural alpine spruce stands at elevations above 1,200 m. The PHENIPS model was used to project bark temperature and the number of bark beetle generations. The higher the bark temperature of trees, the higher the development rate of *Ips typographus*. Thus, the development of the bark beetle is accelerated by higher bark temperatures on fallen trees than on solitary standing live trees. In 2018, during an extremely hot vegetation period, about 4.5°C higher bark temperatures are modeled on fallen trees than on solitary standing live trees. In 2018, at the elevation 1,200 m, 3 filial generations, 3 sister broods and 2 filial sister generations developed in contrast to elevation 1,500 m, where 2 filial, 3 sister and 1 filial sister generation developed on fallen trees. However, on live trees, 1 filial and 1 sister brood have fully developed at the elevation sites 1,200 and 1,500 m. Considering the above-mentioned findings, it is necessary and crucial to remove fallen trees and undergo sanitation felling to prevent spruce bark beetle outbreaks, not excluding the alpine forests in protected areas.

Key words: natural alpine spruce stands, climate change, PHENIPS model, bark temperature, spruce bark beetle outbreaks

1. INTRODUCTION

The European spruce bark beetle (*Ips typographus* L.) is considered to be an important insect pest (JAKOBY et al., 2019, WERMELINGER & SEIFERT, 1999, WERMELINGER et al., 2011, BAKKE, 1991, MEZEI et al., 2012) and forest economic pest in Europe (LIP-TÁK et al., 2013, OHRN, 2012, WERMELINGER, 2004, SCHROEDER, 1999). *Ips typographus* is known for its voltinism (number of generations per year, uni- or bivoltinism = 1 or 2 generations per year, respectively) (LANGE et al., 2006) or multivoltinism (3 or more generations per year) and its flexibility to adjust to higher air temperatures to shift its distribution northward and to higher elevations resulting in increased mortality in spruce stands (HLÁSNY & TURČÁNI, 2009).

However, *Ips typographus* is a fundamental element of the spruce forest ecosystem under latency (endemic) conditions, responsible for decomposing dead and dying trees.

Under favourable circumstances, the population can breed on fallen trees, expand rapidly, and cause severe disturbances in living forests (CHRISTIANSEN et al., 1987; WERMELINGER, 2004, CHRISTIANSEN & BAKKE, 1988). After large windthrows, when fallen trees become unsuitable for breeding because they are too dry, this large population shifts their attack on living trees in the vicinity of windthrows composed mainly of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) trees (WERMELINGER, 2004). It is confirmed in the study of Fleischer et al. (2016), where they found out that the fallen trees create such proper breeding material in which one more generation can develop until the phloem is dried out.

WERMELINGER's (2004) review states that the start of a spruce bark beetle infestation on vital spruces occurred after a windstorm event.

The homogeneity of TANAP forests made these sites susceptible to disturbance agents (FLEISCHER et al., 2009). In another research focused on ecological conditions of larch-spruce forests, the most common forest type in south-oriented slopes of TANAP, it was mentioned that in the middle of 1990's this forest type was very vulnerable to extensive disturbances (FLEISCHER & HOMOLOVÁ 2011).

In 2004, windstorm Alžbeta damaged about 2.5 m³ of trees (SPEVÁR, 2015, VAKULA et al., 2007, JURČO, 2015) and destroyed approximately 12,000 ha of High Tatra conifer forests (FLEISCHER & HOMOLOVÁ, 2011, FLEISCHER et al., 2009, JURČO, 2015, SPEVÁR, 2015, KOREŇ, 2015), however because of the high level of forest conservation there had to be left about 160,000 m³ (in the most strictly protected areas) of fallen conifer trees (VAKULA et al., 2007, TREBULOVÁ, 2014). Moreover, approximately 420,000 m³ (in less protected areas) of felled spruce trees (LUKÁŠIK, 2019) was attacked by bark beetles and followed by a severe bark beetle outbreak where *Ips typographus* was the most common species (NIKOLOV et al., 2014) and was responsible for dieback of almost 7,000 ha of conifer forest (SPEVÁR, 2015, MUDRONČEKOVÁ et al., 2015, FLEISCHER et al., 2016). The spruce beetle population reached a peak 2 to 3 years after the 2004 windstorm (FLEISCHER et al., 2016). Damage caused by the Žofia windstorm in 2014 was comparable to Alžbeta overall in Slovakia (KUNCA, 2015), but did not affect the High Tatra Mountains at such a level (GUBKA et al., 2014).

Epidemics caused by bark beetles highly correlate with wind damage (SCHELHAAS et al., 2003) that happened recently in the High Tatra Mountains accompanied by climate change, resulting in a higher damage rate by *Ips typographus* (L.). MEZEI et al. (2017) confirm tree dieback caused by European spruce bark beetle expanded in the High Tatra Mountains from the small size tree damage to the infestation of vast areas inhabited by Norway spruce.

GRODZKI et al. (2006) mentioned that after windthrow, drought, and hot periods, an outbreak's onset is initiated. MARINI et al. (2012); MEZEI et al. (2017); HLÁSNY & TURČÁNI (2009) claim that increasing temperature under climate change influences spruce bark beetle development to shift their infestation upward (to higher elevations) and JAKOBY et al. (2019) pointed out more generations per year.

2. BIONOMY OF *IPS TYPOGRAPHUS*

Ips typographus behaves like a bivoltine or multivoltine insect, meaning that two or more generations survive annually in Central European conditions (WILD, 1953). Nevertheless, at higher elevations (High Tatras Mountains), *Ips typographus* mostly has one generation per year, and the onset of swarming starts later compared to lower elevations (JAKOBY et al., 2019; SCHEBECK et al., 2017).

WERMELINGER & SEIFERT (1998) states that *Ips typographus* development is a four stage process. Developmental phases consist of egg, larva, pupa (called instars), and adult individuals, and their development is bark temperature dependent.

It is essential to mention that after beetles are transformed from pupa to adult-like appearance, they have to feed themselves for some time to reach maturity. This phenomenon is called maturity feeding. The role of feeding on phloem is vital for developing reproductive organs, wing muscles, and body fat (MCNEE et al., 2000).

Based on the experiment, employing linear regression was found out lower developmental temperature thresholds of each instar (for upper-temperature developmental threshold was used non-linear regression) and average heat sums, a sum of effective temperature or degree days for the development of each stage.

In WÖRNER (1992), degree days (dd) means the number of degrees above the lower developmental temperature threshold. Moreover, in the case of temperatures below the lower threshold, no development occurs. ZALOM & WILSON (1982) explain that one-degree day means one degree above the lower developmental threshold over one day. The simplest way to calculating degree days a mean day temperature (max-min day temperature/2) minus lower temperature developmental threshold. Insects are poikilothermic organisms meaning they are dependent on ambient temperature (BRIERE et al. 1999; GULLAN & CRANSTON, 2014).

2.1. Initial spring swarming

The first stage egg precedes swarming and FLEISCHER et al. (2016) confirm that the onset of swarming is initiated when 145 degree days are reached at the 7°C lower threshold, as mentioned by ANNILA, 1969 and ZUMR, 1982 as well.

The initial emergence of male individuals is detected by 1-3 days earlier than females (ZUBER & BENZ, 1992, DOLEŽAL & SEHNAL, 2007). Females show up after because the male's task is to find suitable breed material, a tree and burrow the nuptial chamber into the phloem for the females (ANNILA, 1969). Two or three females mate with one male (WERMELINGER, 2004; SCHEBECK et al., 2017).

Subsequently, females start to tunnel maternal galleries and (WERMELINGER, 2004) oviposit in them. WERMELINGER AND SEIFERT (1999) state that the time between females entering the nuptial chamber and depositing the first egg is called the pre-oviposition stage and the time of this stage is also temperature-dependent.

2.2. Egg stage

Generally, one female oviposits up to 80 eggs (SCHEBECK et al., 2017, SCHLYTER & ZHANG, 1996). SCHLYTER & ZHANG (1996) confirmed that females deposit the eggs on unoccupied sides of the infested tree, but the air temperature assures oviposition. Development of the egg stage is limited by a temperature range from at least 10.6 °C to approximately 40°C (slightly above 30°C is optimal temperature) (WERMELINGER & SEIFERT, 1998), and according to their research, 51 degree days are needed for complete egg development. 9% of the total preimaginal developmental process belongs to egg instar.

2.3. Larval stage

Naturally, the second instar larva is characterised by temperature threshold. The minimal threshold revealed by the linear regression model was 8.2°C. Full stage development requires 204.4 degree days (WERMELINGER & SEIFERT, 1998). Approximately 60% of the total sum for full preimaginal (egg, larva, pupa) development of bark beetle belongs to the larval stage.

2.4. Pupal stage

The pupal inactive instar occurs after pupation of the larva. According to linear regression, at the minimum, 9.9 °C is needed for pupal development (WERMELINGER & SEIFERT, 1998). The average physiological time (degree days) revealed by (WERMELINGER & SEIFERT, 1998) for development of pupa is 57.7 degree days and makes up 20% of the entire preimaginal stage.

2.5. Adult stage

Immature bark beetles represent the last stage. Their physiological time for maturation equals 238.5 degree days (the lower temperature threshold equals 3.2°C) which compose approximately 71% of preimaginal stages (WERMELINGER & SEIFERT, 1998).

2.6. Swarming of the following generation (summer swarming)

After maturity feeding, beetles reach maturity and start to swarm. Swarming depends on air temperature (mentioned above); however, dependence on sunshine was also observed (LOBINGER & SKATULLA, 1996) where only a few minutes of the sunny period to a great extent increased the number of active flying beetles in comparison with cloudy periods.

It is also a temperature-dependent process. Adults start to swarm when the air temperature reaches 16.5 °C (LOBINGER, 1994).

2.7. Sister broods

After oviposition, the situation can occur when the female starts to perform regeneration feeding to re-deposit the eggs on the same previously infested tree or to establish a new generation on a different tree. Beetles undergo this phenomenon because of avoidance of competition between and within harems of *Ips typographus* progeny to decrease the loss of brood caused by predators, parasites, fungal infection, and other antagonists (ANDERBRANT, 1989).

BAIER et al. (2007) detected an average 399 dd, is required sum of degree-days needed for full development and re-emergence of filial beetles meaning that 278.5 dd (50% of 557 dd) are needed for regeneration feeding of filial females (lower temperature threshold is 8.3°C) (WERMELINGER & SEIFERT, 1998).

ANDERBRANT & LOFQVIST (1988) concluded that reproduction of the second brood has a similar size in numbers compared to the initial oviposition rate regardless of the amount of the first brood.

DAVÍDKOVÁ & DOLEŽAL (2017) inform that the sister brood re-emergence overlaps with the emergence of the initial generation, and as previously mentioned, it is temperature and elevation-dependent. Postponement of filial individuals' re-emergence is caused by cold and rainy weather.

According to DAVÍDKOVÁ & DOLEŽAL (2017), the first sister brood is numerically abundant, the second sister brood is significantly less abundant and the third one has negligible amount of progeny.

3. VOLTINISM UNDER CLIMATE CHANGE

In the future, the frequency of storms and droughts is expected to increase, and rising mean air temperature (OHRN, 2012), resulting in higher developmental rates of bark beetles, earlier induced swarming (HELIOVAARA & PELTONEN, 1999). Earlier onset of swarming allows faster development of juvenile stages (VAKULA et al., 2015) and also earlier development of the second generation of *Ips typographus* (FACCOLI, 2009), therefore increase voltinism and dynamics of bark beetle outbreaks (JONSSON et al., 2011) and disastrous infestation potential supported by droughts and hot climate are expected in the future (HINZE & JOHN, 2019).

Voltinism of eight-toothed spruce bark beetle is temperature and photoperiod-dependent (OHRN, 2012).

According to LAPIN et al. (2001), by the year 2030, 2060, and 2100 temperature in Slovakia (Hurbanovo is considered as the climatic reference station) is predicted to rise in comparison with reference years 1951–1980, considered as normal, by 1.24; 2.03; 3.31 °C, respectively. HLÁSNY & TURČÁNI (2009) research reveals that by 2060, 88% of the current spruce area will be suitable for the third generation's full development, and this proportion will increase to 97% by 2100. Full development of the fourth and the fifth generation will emerge at the minimum scale or not on the current distribution of Norway spruce stands.

4. PHENIPS model

Phenology-based model PHENIPS can be used for mountainous regions of Central Europe and other geographical regions with some small parameter changes. Model is used for computing potential maximum number of *Ips typographus* generations (BAIER et al., 2007).

Based on the bark beetle development observation, there were used temperature thresholds and temperature sums (used non – linear values) from WERMELINGER & SEIFERT (1998) in this model.

Bark beetle development modeling includes spring swarming, start of the infestation, offspring development, bark temperature modeling, and sum of effective temperature calculation (BAIER et al., 2007).

5. MATERIALS AND METHODS

5.1. Study site

This study was conducted in the High Tatra Mountains National Park (TANAP) in Slovakia on the transect of elevations 830; 1,100; 1,200; 1,300; 1,400; and 1,500 m a.s.l.

5.2. Measurement

At each elevation (except the site at 830 m a.s.l.), thermometers were set to record temperatures every 20 minutes. At each site, temperature measurement was conducted by 6 thermometers (at the elevation 1,500 m were used 7 thermometers). At the elevation of 830 m a.s.l., the temperature was recorded manually at 7 a.m., 2 p.m., and 9 p.m. every day. Global radiation was measured on one site as well, and its values were used for each elevation from the transect.

5.3. Calculations

Average daily air temperature (DATavg) calculation of the sites was performed as follows: for the station at the elevation of 830 m was used formula $\text{DATmean} = (\text{T7am} + \text{T2pm} + 2 \cdot \text{T9pm})/4$. At the rest of the elevations, the average daily air temperature was calculated as average from all 6 thermometers values for every 20 minutes (DATavg20) for all-day (from every 20 min. from 0:00 a.m. to 11:40 p.m. during each day) or average from averages from 6 thermometers (recording temperature each 20 min.) temperature values.

Maximum daily air temperature (DATmax) was found out as maximum air temperature from DATmean20 from all day (from every 20 minutes from 0:00 a.m. to 11:40 p.m.).

If the required sum of degree days were reached, DATmax had to be at least 16,5 °C during three consecutive days to secure the onset of swarming (LOBINGER, 1994).

Average bark temperature (BTavg) values were estimated based on daily global radiation (DGR) value and daily average air temperature (DATavg) by using regression relationship between both factors and bark temperature (BAIER et al., 2007). In the study, we used a regression formula from (BAIER et al., 2007) and regression parameters derived in the work of (FLEISCHER et al., 2016) for TANAP conditions.

Regression formula for average bark temperature is as follows:

$$BT_{avg} = a + b * DGR + c * DAT_{avg}$$

FLEISCHER et al.'s (2016) work derived regression parameters for average bark temperature for standing live trees and fallen trees (**Table 1**).

Tab. 1 - Regression parameters (Fleischer et al., 2016) dependent on tree status

tree status	regression parameters		
	a	b	c
Solitary standing live tree	-0,567	0,000255	1,031
fallen tree	-1,811	0,00151	1,079

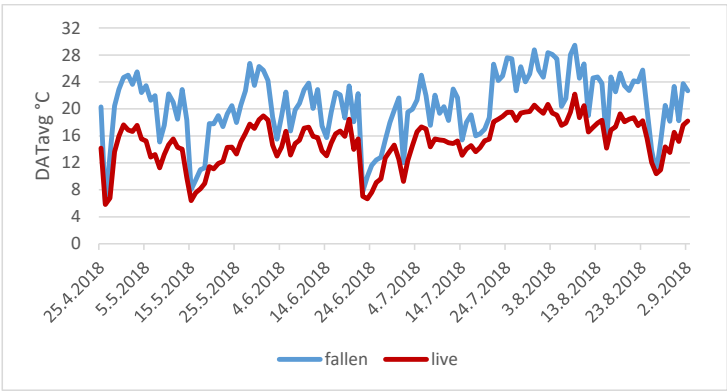


Fig. 1 - Comparison of daily average bark temperatures (DATavg) between fallen trees after windthrown (blue line) and solitary standing live trees (red line) at the elevation 1,100 m.

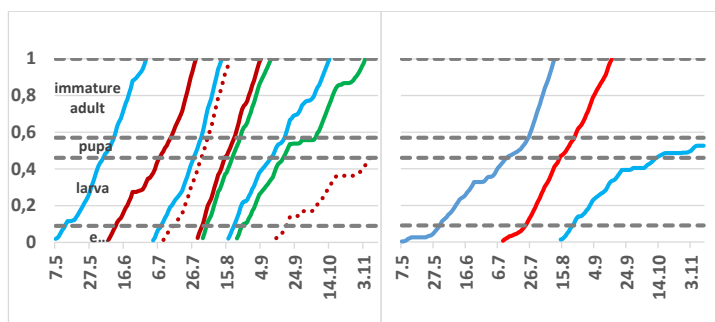
The average bark temperature difference between fallen and solitary standing live trees was 4.56 °C in 2018.

6. RESULTS

1,200 m a.s.l.

2. Fallen trees

3. Solitary standing live trees



1500 m a.s.l.

4. Fallen trees

5. Solitary standing live trees

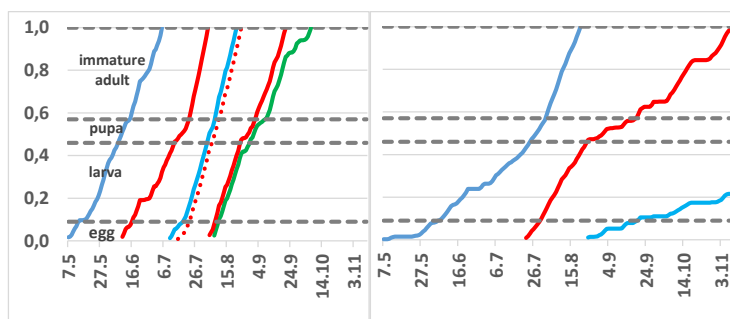


Fig. 2., 3., 4. and 5. - Legend: horizontal axis – date, vertical axis – relative bark beetle development rate.

Type of the lines: solid blue lines (filial generations), solid red lines (1st sister broods), dotted red lines (2nd sister broods), solid green lines (sister filial generations).

Horizontal lines are represented by development stages: threshold of egg development – 0.09, threshold of larva development – 0.46, threshold of pupa development – 0.57.

Results confirm that at the zone of natural spruce stands from 1,200 – 1,500m a.s.l (upper tree line) is expected to develop from 2 – 3 filial generations, 3 sister broods, and 1 – 2 filial sister generations on fallen trees. One filial generation and one sister brood are expected to develop on living trees with trunks exposed to the sun in the natural spruce zone.

7. DISCUSSION

Summer of 2018 experienced an unprecedented long sunshine duration (SIMAN, 2019), responsible for higher temperature of phloem on sunlit sides of stands and trees

damaged after biotic and abiotic disturbances. The year 2018 had the warmest vegetation period in the history of air temperature recordings in Tatranská Lomnica (2.8 °C above average).

During the 2018 vegetation period, subnormal precipitation was recorded (Fig.6). According to (MATTHEWS et al., 2018), transpiration deficits do not affect acceptance of spruce tree antagonist *Ips typographus*, but on the other hand, decrease the tree's defense.

In the following table, the development rate of *Ips typographus* at different elevations and tree statuses is shown.

Tab. 2 – Development rate comparison on trees with different tree statuses. Numbers in brackets: number of filial generations; the number of sister broods; the number of sister filial generations able to survive winter (the developmental rate at least 0.6)

Legend: AT avg – average air temperature (from May 1st – October 31st), SD – standard deviation

Elevation m a.s.l.	1,500	1,200
AT avg °C/ SD*	10.3/ 2.6	11.9/ 2.4
Tree status		
Fallen trees	(2;3;1)	(3;3;2)
Solitary standing live trees	(1;1;0)	(1;1;0)

Based on this research, the ranges of average air temperature can be used to assess the number of bark beetle generations per vegetation season.

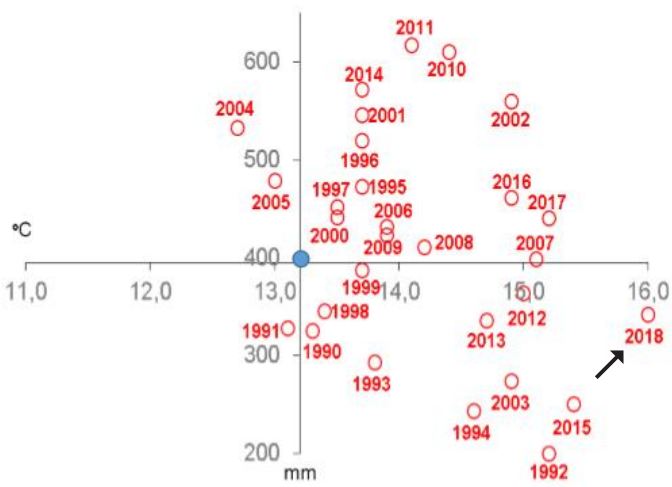


Fig. 6 . - The vegetation period (May 1 – August 31) characteristics of the year 2018 at the Tatranská Lomnica station (830m a.s.l.).

8. CONCLUSION

As climate change will change phenological patterns of bark beetles, rapid development and onset of *Ips typographus* infestations will accompany spruce forests. The year 2018 can serve as the reference year of future climate in continental-temperate regions as the High Tatra mountains are. If the same weather characteristics (very warm and dry conditions) accompanied the years after 2004, spruce forests on the High Tatra mountains on the southern slopes would probably be affected even more seriously. The difference between bark beetle development rate on fallen and live trees is essential information for processing the felled trees to prevent bark beetle outbreaks in adjacent stands. Research confirms that at the zone of natural spruce stands from 1,200-1,500 m a.s.l (upper tree line) is expected to develop from 2 – 3 filial generations, 3 sister broods, and 1 – 2 filial sister generations on fallen trees. One filial generation and one sister brood are expected to develop on living trees with trunks exposed to the sun in the natural spruce zone. It is necessary to consider these findings as an essential part of forest protection, mainly in protected areas.

9. ZHRNUTIE (SUMMARY)

Práca pojednáva o rozmnožovacích schopnostiach lykožrúta smrekového. Potenciál veľkoplošne napadnúť a zničiť porasty o plochách v tisícoch hektárov po veľkoplošných polomoch ako bola víchrice Alžbeta. Ako jeho správanie a fenológia je ovplyvňovaná klimatickou zmenou. Referenčný rok pre budúci vývoj klímy pod vplyvom klimatickej zmeny bol použitý rok 2018 (najteplejší v histórii meraní vo Vysokých Tatrách). Na základe modelu PHENIPS bol určený počet generácií lykožrúta, a teda jeho rozmnožovací aj zničujúci potenciál na smrekových lesoch. Na základe priemernej teploty vzduchu od mája do októbra by sa dalo teoreticky predpokladať počet vyvinutých generácií lykožrúta. Rozdiel počtu generácií medzi vyvrátenými a stojacimi živými stromami je značný, a preto by sa malo pristupovať ku spracovávaniu smrekových vývrátov prísne.

10. References

- ANDERBRANT, O., & LÖFQVIST, J., 1988. Relation between first and second brood production in the bark beetle *Ips typographus* (Scolytidae). *Oikos*, 357-365.
- ANDERBRANT, O., 1989. Reemergence and second brood in the bark beetle *Ips typographus*. *Ecography*, 12(4), 494-500.
- ANNILA, E., 1969, January. Influence of temperature upon the development and voltinism of *Ips typographus* L. (Coleoptera, Scolytidae). In *Annales Zoologici Fennici* (pp. 161-208). SOCIETAS BIOLOGICA FENNICA VANAMO.
- BAIER, P., PENNERSTORFER, J., & SCHOPF, A., 2007. PHENIPS-a comprehensive phenology model of *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytinae) as a tool for hazard rating of bark beetle infestation. *Forest Ecology and Management*, 249(3), 171-186.

- BAKKE, A., 1991. Using pheromones in the management of bark beetle outbreaks. *Forest insect guilds: patterns of interaction with host trees*, 371-377.
- BRIERE, J. F., PRACROS, P., LE ROUX, A. Y., & PIERRE, J. S., 1999. A novel rate model of temperature-dependent development for arthropods. *Environmental Entomology*, 28(1), 22-29.
- CHRISTIANSEN, E., & BAKKE, A., 1988. The spruce bark beetle of Eurasia. In *Dynamics of forest insect populations* (pp. 479-503). Springer, Boston, MA.
- CHRISTIANSEN, E., WARING, R. H., & BERRYMAN, A. A., 1987. Resistance of conifers to bark beetle attack: searching for general relationships. *Forest ecology and management*, 22(1-2), 89-106.
- DAVÍDKOVÁ, M., & DOLEŽAL, P., 2017. Sister broods in the spruce bark beetle, *Ips typographus* (L.). *Forest Ecology and Management*, 405, 13-21.
- DOLEŽAL, P., & SEHNAL, F., 2007. Effects of photoperiod and temperature on the development and diapause of the bark beetle *Ips typographus*. *Journal of Applied Entomology*, 131(3), 165-173.
- FACCOLI, M., 2009. Effect of weather on *Ips typographus* (Coleoptera Curculionidae) phenology, voltinism, and associated spruce mortality in the southeastern Alps. *Environmental entomology*, 38(2), 307-316.
- FLEISCHER, P., & HOMOLOVÁ, Z., 2011. Long-term research on ecological condition in the larch-spruce forests in High Tatras after natural disturbances. *Lesnický časopis*, 57(4), 237-250.
- FLEISCHER, P., FERENCÍK, J., HLAVÁČ, P., & KOZÁNEK, M., 2016. Elevated bark temperature in unremoved stumps after disturbances facilitates multi-voltinism in *Ips typographus* population in a mountainous forest. *Lesnický časopis*, 62(1), 15.
- FLEISCHER, P., KOREŇ, M., ŠKVARENINA, J., & KUNCA, V., 2009. Risk assessment of the Tatra mountains forest. In *Bioclimatology and natural hazards* (pp. 145-154). Springer, Dordrecht.
- GRODZKI, W., JAKUŠ, R., LAJZOVÁ, E., SITKOVÁ, Z., MACZKA, T., & ŠKVARENINA, J., 2006. Effects of intensive versus no management strategies during an outbreak of the bark beetle *Ips typographus* (L.) (Col.: Curculionidae, Scolytinae) in the Tatra Mts. in Poland and Slovakia. *Annals of forest science*, 63(1), 55-61.
- GUBKA A., KUNCA, A., LONGAUEROVÁ V., MALOVÁ M., VAKULA J., GALKO J., NIKOLOV CH., RELL S., ZÚBRIK M., LEONTOVÝČ R., 2014. Vetrová calamity Žofia z 15.5.2014. Usmernenie lesníckej ochrannárskej služby Gullan, P. J., & Cranston, P. S., 2014. *The insects: an outline of entomology*. John Wiley & Sons.
- HINZE, J., & JOHN, R., 2020. Effects of heat on the dispersal performance of *Ips typographus*. *Journal of Applied Entomology*, 144(1-2), 144-151.
- HLÁSNÝ, T., & TURČÁNI, M., 2009. Insect pests as climate change driven disturbances in forest ecosystems. In *Bioclimatology and natural hazards* (pp. 165-177). Springer, Dordrecht.
- JAKOBY, O., LISCHKE, H., & WERMELINGER, B., 2019. Climate change alters elevational phenology patterns of the European spruce bark beetle (*Ips typographus*). *Global change biology*, 25(12), 4048-4063.
- JÖNSSON, A. M., SCHROEDER, L. M., LAGERGREN, F., ANDERBRANT, O., & SMITH, B., 2012. Guess the impact of *Ips typographus*-An ecosystem modelling approach for simulating spruce bark beetle outbreaks. *Agricultural and Forest Meteorology*, 166, 188-200.
- JURČO M., 2015. Spracovanie vetrovej kalamity Alžbeta z 19.11.2004 stratégia, postupnosť odstraňovania jej následkov počas nasledujúcich 10 rokov a legislatívne prekážky.. In *Štúdie o Tatransko národnom parku*, 11 (44), 29 – 40
- KOREŇ M., 2015. K stavu a vývoju lesov TANAPU v historických súvislostiach. In *Štúdie o Tatransko národnom parku*, 11 (44), 59 – 74
- KUNCA, A., ZÚBRIK, M., GALKO, J., VAKULA, J., LEONTOVÝČ, R., KONÔPKA, B., NIKOLOV CH., GUBKA A., LONGAUEROVÁ V., MALOVÁ M., KAŠTIER P., RELL, S., 2015. Salvage felling in the Slovak forests in the period 2004-2013. *Lesnický časopis*, 61(3), 188.
- LANGE, H., ØKLAND, B., & KROKENE, P., 2006. Thresholds in the life cycle of the spruce bark beetle under climate change. *Interjournal for Complex Systems*, 1648, 1-10.
- LAPIN M, DAMBORSKÁ I., MELO M. (2001) Downscaling of GCM outputs for precipitation time series in Slovakia. *Meteorologický časopis*, 4(3): 29–40
- LIPTÁK B., NOVOTNÝ J., KOZÁNEK M., 2013. Pathogens, parasitoids and predators of the spruce bark beetle (*Ips typographus* L.) and their potential use in biological control – a review. *Entomofauna carpathica*, 25(2), 69-82
- LOBINGER, G., & SKATULLA, U., 1996. Untersuchungen zum Einfluss von Sonnenlicht auf das Schwärmverhalten von Borkenkäfern. *Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz*, 69(8), 183-185.

- LOBINGER, G., 1994. Air temperature as a limiting factor for flight activity of two species of pine bark beetles, *Ips typographus* L. and *Pityogenes chalcographus* L. (Col., Scolytidae). *Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz*, 67(1), 14-17.
- LUKÁŠIK D., 2019. *Les ako odraz morálky spoločnosti*. Presentation delivered to potreby urbárov Liptova, Spiša a Oravy, 3rd June 2019
- MARINI, L., AYRES, M. P., BATTISTI, A., & FACCOLI, M., 2012. Climate affects severity and altitudinal distribution of outbreaks in an eruptive bark beetle. *Climatic Change*, 115(2), 327-341.
- MATTHEWS, B., NETHERER, S., KATZENSTEINER, K., PENNERSTORFER, J., BLACKWELL, E., HENSCHKE, P., HIETZ P., ROSNER S., JANSSEN P. E., SCHUME H., SCHOPF, A., 2018. Transpiration deficits increase host susceptibility to bark beetle attack: Experimental observations and practical outcomes for *Ips typographus* hazard assessment. *Agricultural and Forest Meteorology*, 263, 69-89.
- MCNEE, W. R., WOOD, D. L., & STORER, A. J., 2000. Pre-emergence feeding in bark beetles (Coleoptera: Scolytidae). *Environmental entomology*, 29(3), 495-501.
- MEZEI, P., JAKUŠ, R., BLAŽENEC, M., BELÁNOVÁ, S., & ŠMÍD, J., 2012. The relationship between potential solar radiation and spruce bark beetle catches in pheromone traps. *Annals of Forest Research*, 55(2), 243-252.
- MEZEI, P., JAKUŠ, R., PENNERSTORFER, J., HAVAŠOVÁ, M., ŠKVARENINA, J., FERENČÍK, J., SLIVINSKÝ J., BIČÁROVÁ S., BILČÍK D., BLAŽENEC M., NETHERER, S., 2017. Storms, temperature maxima and the Eurasian spruce bark beetle *Ips typographus*-An infernal trio in Norway spruce forests of the Central European High Tatra Mountains. *Agricultural and Forest Meteorology*, 242, 85-95.
- MUDRONČEKOVÁ S., ŠALAMON I., BARTA M., 2015. Podkórny hmyz napádajúci smrek – ich premnoženie a regulácia vo Vysokých Tatrách a zahraničí. In *Štúdie o Tatransko národnom parku*, 11 (44), 75 – 81
- NIKOLOV, C., KONOPKA, B., KAJBA, M., GALKO, J., KUNCA, A., & JANSKÝ, L., 2014. Post-disaster forest management and bark beetle outbreak in Tatra National Park, Slovakia. *Mountain Research and Development*, 34(4), 326-335.
- ÖHRN, P., 2012. *The Spruce Bark Beetle Ips typographus in a Changing Climate: Effects of Weather Conditions on the Biology of Ips typographus*. Department of Ecology, Swedish University of Agricultural Sciences.
- PELTONEN, M., & HELIÖVAARA, K., 1999. Attack density and breeding success of bark beetles (Coleoptera, Scolytidae) at different distances from forest-clearcut edge. *Agricultural and Forest Entomology*, 1(4), 237-242.
- SCHEBECK, M., HANSEN, E. M., SCHOPF, A., RAGLAND, G. J., STAUFFER, C., & BENTZ, B. J., 2017. Diapause and overwintering of two spruce bark beetle species. *Physiological entomology*, 42(3), 200-210.
- SCHELHAAS, M. J., NABUURS, G. J., & SCHUCK, A., 2003. Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. *Global Change Biology*, 9(11), 1620-1633.
- SCHLYTER, F., & ZHANG, Q. H., 1996. Testing avian polygyny hypotheses in insects: harem size distribution and female egg gallery spacing in three *Ips* bark beetles. *Oikos*, 57-69.
- SCHROEDER, L. M., 1999. Prolonged development time of the bark beetle predator *Thanasimus formicarius* (Col.: Cleridae) in relation to its prey species *Tomicus piniperda* (L.) and *Ips typographus* (L.) (Col.: Scolytidae). *Agricultural and Forest Entomology*, 1(2), 127-135.
- SIMAN C., 2019. *Počasie na Slovensku v roku 2018*. Slovak hydrometeorological institute. Available from: <http://www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=970>
- SPEVÁR J., 2015. Príhovor štátneho tajomníka na medzinárodnej konferencii „ Stav tatranského lesa 10 rokov po veľkej vetrovej kalamite z 19. Novembra a 60 rokov výskumnej stanice TANAP-u. 2004 In *Štúdie o Tatransko národnom parku*, 11 (44), 11 – 12
- TREBULOVÁ J., 2014. Kalamita v roku 2004 Tatry zmenila. *Pravda*, 19 May, 1
- VAKULA J, ZÚBRIK M, BRUTOVSKÝ D, GUBKA A, FERENČÍK J, KAŠTIER P, KUNCA A, LEONTOVÝČ R, LONGAUEROVÁ V, NIKOLOV C, NOVOTNÝ J, RAŠI R, VARÍNSKY J. 2007. Forest Conservation Project of High Tatra National Park after Windstorm of November 2004. Zvolen, Slovakia: National Forest Centre, Forest Research Institute.
- VAKULA, J., ZÚBRIK, M., GALKO, J., GUBKA, A., KUNCA, A., NIKOLOV, C., & BOSELA, M. (2015). Influence of selected factors on bark beetle outbreak dynamics in the Western Carpathians. *Lesnícky Casopis*, 61(3), 149.
- WERMELINGER, B., & SEIFERT, M., 1998. Analysis of the temperature dependent development of the spruce bark beetle *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytidae). *Journal of Applied Entomology*, 122(1-5), 185-191.
- WERMELINGER, B., & SEIFERT, M., 1999. Temperature-dependent reproduction of the spruce bark beetle *Ips typographus*, and analysis of the potential population growth. *Ecological Entomology*, 24(1), 103-110.

- WERMELINGER, B., 2004. Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus*—a review of recent research. *Forest ecology and management*, 202(1-3), 67-82.
- WERMELINGER B., EPPER C., KENIS M., GHOSHI S., HOLDENRIEDER O., 2011. Emergence patterns of univoltine and bivoltine *Ips typographus* (L.) populations and associated natural enemies. *Journal of applied entomology*, 136 (2012), 212–224
- WILD, M., 1953. Die Entwicklung des grossen Fichtenborkenkäfers *Ips typographus* L. im Hochschwarzwald (1000–1200 m. ü. M.) und ihre Abhängigkeit vom Klima 1947–1950. *Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg*, 43, 121-176.
- WORNER, S. P., 1992. Performance of phenological models under variable temperature regimes: consequences of the Kaufmann or rate summation effect. *Environmental Entomology*, 21(4), 689-699.
- ZALOM, F. AND WILSON, T., 1982. Degree days in relation to an integrated pest management program. Division of Agricultural Sciences, University of California, Davis, CA, USA. 2 pp.
- ZUBER, M., & BENZ, G., 1992. Investigations on the temporary sequence of the flight activities of *Ips typographus* (L.) and *Pityogenes chalcographus* (L.)(Col., Scolytidae) by means of the commercial pheromone preparations pheroprax and chalcoprax. *Journal of applied entomology (Germany, FR)*.
- ZUMR, V., 1982. The data for the prognosis of spring swarming of main species of bark beetles (Coleoptera, Scolytidae) on the spruce (*Picea excelsa* L.). *Zeitschrift für angewandte Entomologie*, 93(1-5), 305-320.

Contact:

Bc. Jakub Tomes
 xtomes@tuzvo.sk
 Katedra integrovanej ochrany lesa a krajiny
 Lesnícka fakulta, TUZVO
 T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen