





**ACTA  
FACULTATIS  
FORESTALIS  
ZVOLEN**

**65/1  
2023**

**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. Ing. Marek Fabrika, PhD.

Redakčná rada / Editorial board:  
prof. h. c. prof. Dr. Ing. Viliam Pichler  
doc. Ing. Peter Lešo, PhD.  
prof. Ing. Iveta Hajdúchová, PhD.  
prof. Ing. Ľubomír Scheer, CSc.  
prof. Ing. Valéria Messingerová, CSc.  
prof. Ing. Karol Ujházy, PhD.  
prof. Ing. Peter Jaloviar, PhD.  
prof. Ing. Jaroslav Škvarenina, CSc.

ACTA FACULTATIS FORESTALIS ZVOLEN 65 1/2023

Vydala Technická univerzita, T. G. Masaryka 2117/24, 960 01 Zvolen, IČO 00397440  
Vydanie I. – jún 2023

Rozsah 113 strán

Náklad 100 výtlačkov

Tlač a grafická úprava: Vydavateľstvo TU vo Zvolene

Rukopis neprešiel jazykovou úpravou.

Vydanie publikácie schválené Edičnou radou TU vo Zvolene dňa 27.2.2023, číslo EP 25/2023

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. Nižaká časť textu ani ilustrácie nemôžu byť použité na ďalšie šírenie akoukoľvek formou bez predchádzajúceho súhlasu autorov alebo vydavateľa.

## OBSAH – CONTENTS – INHALT

<b>Jakub TOMES, Peter FLEISCHER, Peter FLEISCHER:</b> POST-DISTURBANCE DYNAMICS OF SOIL RESPIRATION IN THE HIGH TATRA MTS. ....	7
<b>Lenka MALOVCOVÁ – Daniel KURJAK :</b> Sucho ako stresový faktor pôsobiaci na fyziologické procesy <i>Pinus</i> sp.....	23
<b>Miroslava MARTINCOVÁ, Lenka MALOVCOVÁ, Alena SLIACKA KONÔPKOVÁ:</b> Rozdiely v morfológii prieduchov pri klonoch rýchlorastúcich topol'ov .....	35
<b>Radoslav KRCHNAVÝ, Martin PAVLÍK:</b> Accumulation of lead in fruiting bodies of macromycetes near a shooting range.....	46
<b>Dominik GRETSCH, Martin LIESKOVSKÝ:</b> Hodnotenie a potenciál nasadenia akumulátorových prenosných reťazových píl v podmienkach trvalo-udržateľného hospodárenia.....	59
<b>Toni HRISTOV KONSTANTINOV, Martin LIESKOVSKÝ:</b> Testing battery-powered chainsaws in thinnings .....	77
<b>Petra GULAŠOVÁ:</b> Lesná škola a jej možnosti využitia v rámci neformálneho vzdelávania.....	90
<b>Boris BARTALSKÝ, Zuzana DOBŠINSKÁ:</b> Analýza kritérií a ukazovateľov trvalo udržateľného obhospodarovania lesa Analysis criteria and indicators of sustainable forest management .....	106



## POST-DISTURBANCE DYNAMICS OF SOIL RESPIRATION IN THE HIGH TATRA MTS.

Ing. Jakub TOMES – doc. Ing. Peter FLEISCHER, PhD. – Ing. Peter FLEISCHER, PhD.

**TOMES, J. - FLEISCHER, P. - FLEISCHER, P. : Post-disturbance dynamics of soil respiration in the High Tatra Mts.** Acta facultatis forestalis, Zvolen

---

### ABSTRAKT

In recent decades, large-scale forest disturbances such as windthrow and bark beetle infestations have had a significant impact on the carbon balance of Earth and forest ecosystems by altering soil respiration (SR). SR is considered the second highest flux on Earth, emitting 78-98 Gt C yr<sup>-1</sup> to the atmosphere and contributing to global warming. Post-disturbance chronosequences are marked by changes in the size of SR. To investigate the impact of bark beetle infestations on SR, we measured SR at sites with undisturbed stands and adjacent infested sites by bark beetles in the High Tatra Mountains (Slovakia) during the vegetation period (May-September) in 2016 and 2017, five to six years after the initial attack by bark beetles (*Ips typographus*). The measurements were taken along an altitudinal gradient (1100-1400 m a.s.l.). SR varied throughout different months and altitudes, and we observed that SR at infested sites reached higher values (in most cases) than at uninfested stands. Average monthly and altitude SR rates during both vegetation periods showed higher values at infested sites, but not all of them were statistically significant. We observed insignificant change in SR rate between 2016 and 2017 at both infested and uninfested sites. The highest rates of SR were observed during summer. However, yearly SR at infested sites showed significantly higher rates than uninfested ones in both years. Weak correlation between SR and soil moisture, temperature was observed. SR did not show decreasing pattern with elevation gain in 2017. However, this pattern was observed in 2016. Our results confirm that SR rates at infested sites are boosted by needle fall and debris from dead and dying trees, which increases heterotrophic SR to replace the loss of autotrophic SR from tree roots. This study provides important insights into the impact of bark beetle infestations on SR and highlights the need for further research on the long-term effects of forest disturbances on carbon cycling.

**Key words:** soil respiration, chronosequences, infested sites

---

### 1. Introduction and issue analysis

Global soil carbon stock is ~ 1700 Gt C (CANADELL *et al.*, 2021). With the contribution of forest ecosystems PAN *et al.* (2011) of 861 Gt C, with 44%, 42%, 8%, and 5% in top meter soil, live biomass, deadwood and litter, respectively. It creates an enormous carbon pool with the potential to highly increase atmospheric CO<sub>2</sub> concentration

(KIRSCHBAUM, 2000) after large-scale disturbances to accelerate currently significant climate change.

Global soil respiration is considered the second largest carbon flux with 78 - 98 Gt C yr<sup>-1</sup> in total (HASHIMOTO, 2012; BOND-LAMBERTY & THOMSON, 2010b). Carbon fluxes from forest soils are important contributors to global soil respiration as forests cover 26% of the Earth's total land area (RITCHIE & ROSER, 2021).

With recent climate change primarily induced by rising CO<sub>2</sub> atmospheric concentration (IPCC, 2021), forests in Europe have experienced extreme heat and drought (IPCC, 2022). Consequently, bark beetles as poikilothermic organisms have altered their phenology behavior towards having a bigger population size, extra generations per year (JAKOBY *et al.*, 2019) and their shift to higher latitudes (ROMASHKIN *et al.*, 2020) and altitudes (MARINI *et al.*, 2012) have been observed. As a result, large-scale forest diebacks throughout the northern hemisphere have been caused by the European spruce bark beetle (*Ips typographus*) (SEIDL *et al.*, 2014; HLÁSNY *et al.*, 2021; TRUBIN *et al.*, 2022) recently. Initially, after host tree death, the biogeochemical and biogeophysical processes (leaf area index, evapotranspiration, productivity, land surface temperature) of forest stands are altered (BRIGHT *et al.*, 2013; EDBURG *et al.*, 2012). Carbon uptake decreases as a result of tree mortality (KURZ *et al.*, 2008), similarly GPP sharp decline of infested stands after beetle infestation (MOORE *et al.*, 2013), reduction of leaf area index corresponds to a contraction of gross primary productivity (BRIGHT *et al.*, 2013). Soil pH increases after conifer trees dieback (XIONG *et al.*, 2011). Swift nitrogen and carbon reduction in upper mineral soils, but an accumulation of soil anorganic N occur as a result of the diminished contribution of roots, mycorrhizae and rhizodeposition (XIONG *et al.*, 2011). Fine root density decline increases with the level of tree mortality (CIGAN *et al.*, 2015). Root biomass decomposition is accompanied by mycorrhizal fungi decomposition (HÖGBER & HÖGBERG, 2002). However, soil respiration decrease after a disturbance event mainly due to reduced input of autotrophic soil respiration (KOBLEK *et al.*, 2015) and nutrient losses (TRAHAN *et al.*, 2015).

After some time, infested trees shed their needles (EDBURG *et al.*, 2012) and subsequently increased solar radiation (MOREHOUSE *et al.*, 2008; REED *et al.*, 2014) accelerates the decomposition rate of the litter as a consequence of higher temperatures (MAYER *et al.*, 2017b).

Temperature is considered as the most important factor influencing global soil respiration (HURSH *et al.*, 2016; BOND-LAMBERTY 2010b; CHEN *et al.*, 2010). Soil respiration positively correlates to ambient temperature (TANG *et al.*, 2019). As the temperature changes within different altitudinal zones (WANG *et al.*, 2017; CHEN *et al.*, 2018), consequently, soil respiration decline with increasing elevation (LUO *et al.*, 2014; BADRAGHI *et al.*, 2021). MOREHOUSE *et al.* (2008) revealed higher solar radiation intake on infested sites therefore soil and air temperature rising on the plots with bark beetle infested



trees. According to MAKITA *et al.* (2018) soil respiration copied seasonal dynamics of soil temperature with water surplus throughout a year.

In this study, we measured total SR for 2 consecutive years and examined if there is a significant difference in SR between infested sites (dry) and control sites (green) with living trees within different elevational zones during vegetation period. We firstly hypothesized that SR under dead trees would be lower than under uninfested trees due to a decrease of autotrophic SR (tree roots). Secondly, the SR will not significantly change within different altitudes, because of only a small microclimatic variation within the measured mountain slope. We expected weak correlation between SR and soil moisture, temperature as measurement had been conducted manually and the highest SR during summer.

## **2. Materials and methods**

### **2.1 Study area**

Our study was conducted in the High Tatra Mountains, Slovakia. The studied site is dominated by Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) with the contribution of other conifer and broadleaf tree species described in (KUBOV *et al.*, 2023, submitted) and was affected by European spruce bark beetle (*Ips typographus* L.) attack since 2011. The research area was established on the boundary between undisturbed and bark beetle infested areas (standing dead trees) and encompasses an elevation gradient from 1100 – 1400 m a.s.l. between Tatranska Lomnica (820 m a.s.l.) and Skalnaté pleso (1754 m a.s.l.). Control unmanaged undisturbed forest along vertical gradient was 100-165 years old., Stocking density varied from 0.4 – 0.8 due to windthrow in 2014 at the zone of 1200 m a.s.l. which damaged the control plot and decreased stocking density up to 0.4 (KUBOV *et al.*, 2023, submitted). Annual precipitation at Tatranska Lomnica during 2016 and 2017 was 922 and 934 mm and the mean annual temperatures were 6.7 and 6.6 °C. in 2016 and 2017, respectively. Two years of experiment were wetter and warmer than the long term average during vegetation season (1930-1960). Acidic Distric Cambysol is the main soil type of the studied area (FLEISCHER & HOMOLOVÁ, 2011).

### **2.2 Soil respiration measurements**

Measurements were conducted for two consecutive years in 2016 and 2017 during the vegetation period (May - September). At each elevation zone (1100, 1200, 1300, 1400 m. a.s.l.) 15 points for the undisturbed control plot (green) and 15 points for bark beetle infested plots (dry) were established. Plastic collars were inserted into the soil to ensure that the next measurement will be conducted at the same point. In total 4 x 2 x 15=

120 measurements were conducted during one sampling day. Measurements took place on biweekly basis (every 2 weeks). Soil temperature at the depth of 2 cm, soil moisture and H<sub>2</sub>O flux (evaporation) were measured simultaneously as well. We used manual portable PP Systems, model EGM-4 (PP Systems, MA, USA) for measuring soil CO<sub>2</sub> fluxes.

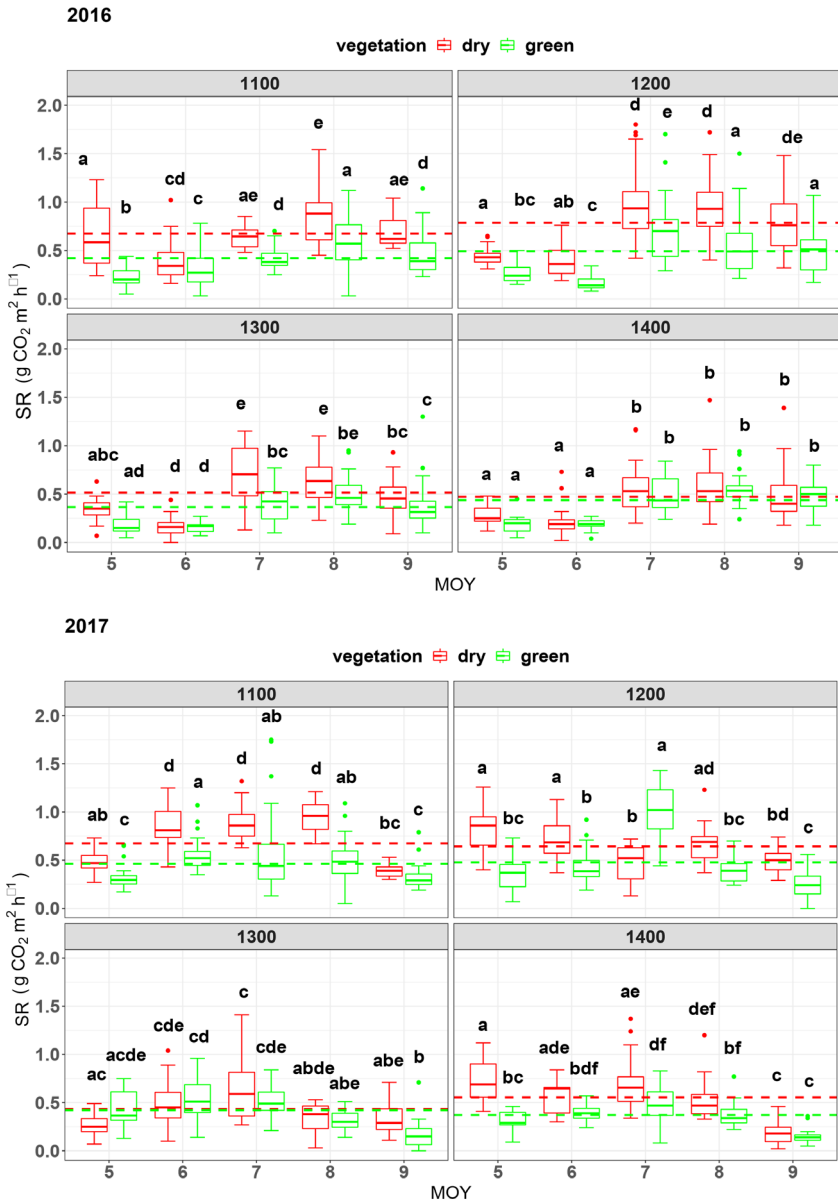
### 2.3 Statistical analysis

Recorded data were analyzed using three way repeated measures analysis of variance (ANOVA). Factors were vegetation, year, month and altitude. However, one factor had to be fixed. Statistical analysis was performed by statistical software R (R CORE TEAM, 2021). We used the Shapiro-Wilk test to test data normality. As we used three way repeated measure analysis of variance and at least some of the data were not normal according to the Shapiro-Wilk test and Q-Q plots, we used the aligned rank transform (ART) tool for nonparametric repeated measure factorial ANOVA with Holm method adjustment to perform *post-hoc* pairwise comparisons because we needed to conduct multiple comparisons (ELKIN *et al.*, 2021).

## 3. Results

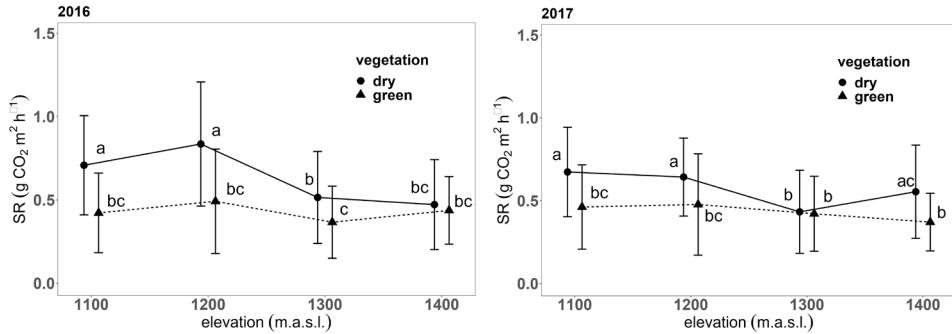
### 3.1 Spatial dynamics of SR

SR varied throughout the vegetation period at different altitudes and months in 2016 and 2017 (Fig. 1). Infested sites showed higher mean SR than uninfested sites at each elevation indicating a high contribution of heterotrophic respiration (decomposition of organic matter by microorganisms) to total SR at these sites. However, at the elevation zone of 1400 m.a.s.l. the difference showed to be insignificant (Tab. 1). The mean highest SR was observed at the elevation 1200 m.a.s.l. at both forest status sites. We observed that SR reached its peak in the summer (July or August) at each elevation zone. In almost every month and at each elevation zone infested sites emitted more CO<sub>2</sub> than uninfested ones, but in many cases insignificantly higher.



**Fig. 1** - Variation of SR (y-axis) in g CO<sub>2</sub> m<sup>2</sup> h<sup>-1</sup> within the same altitude in different months of the year (MOY) from May (5) to September (9) in both years. Letters display a significant difference with P < 0.05. Comparison is conducted within one box (elevation is in m a.s.l.). Horizontal dashed lines show the mean SR of the unfested (green line) and infested forest sites (red line) for each elevation zone.

The average fluxes from soil surface under infested sites are in both years higher, but not always significantly (Fig. 1, Tab.1). Average SR at undisturbed sites showed significantly the same amount of carbon emitted throughout the vegetation period at each elevation zone (Fig. 2). Higher variation of SR was observed under infested plots, then we suggest that these sites are sun exposed without any stand canopy which increases soil temperature (MAYER *et al.* 2014) and its variance.



**Fig. 2** - Average SR rate in 2016 and 2017 at different altitudes and forest statuses. Dry means infested, green means uninfested spruce forest. Letters display a significant difference with  $P < 0.05$ .

Our results do not show an unambiguous pattern (decrease or increase) in soil efflux within the elevation gradient in 2017 in agreement with (ZHENG *et al.*, 2013), however, decline of SR with elevation had been observed in 2016 (Fig. 2).

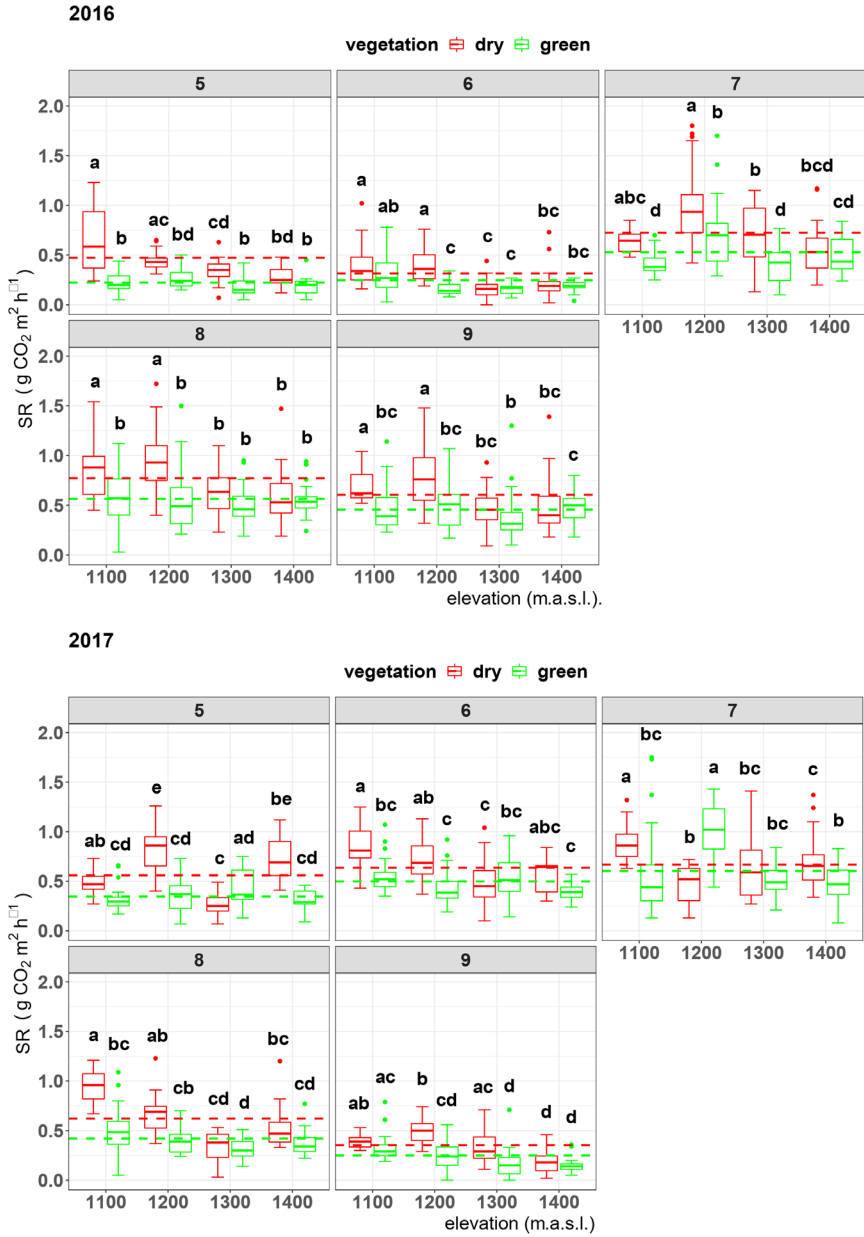
### 3.2 Temporal dynamics of SR

SR varied throughout the vegetation period at different altitudes and months in 2016 and 2017 (Fig. 4). Infested sites showed higher mean SR than uninfested sites in every month which indicates a high contribution of heterotrophic respiration to total SR at these sites as well as at different altitudes (Fig. 1). We observed that average monthly SR reached its peak in the summer (July or August) at each elevation zone. In every month and at each elevation zone infested sites emitted more CO<sub>2</sub> than uninfested ones, but in many cases insignificantly higher. The lowest values of SR at infested sites were observed in June, on the other hand, the lowest SR rates were observed at uninfested sites in May and June.

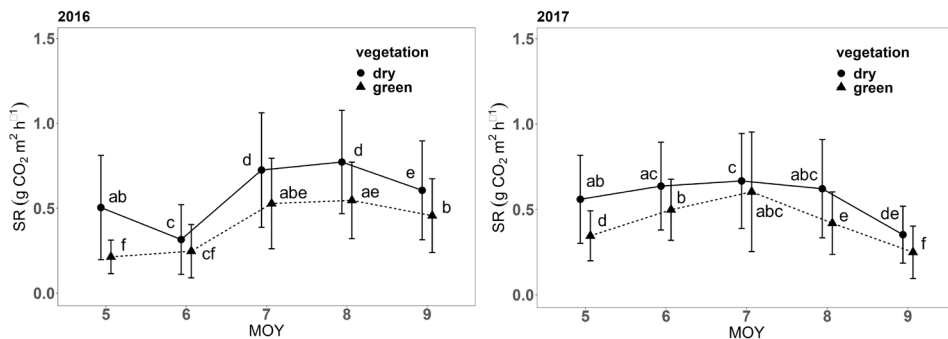
**Tab. 1** - Comparison of SR between dry (infested) and green (uninfested, control) spruce forest at different altitudes. Critical p-value is ( $\alpha = 0.05$ ). Mean and standard deviation (sd) is in g CO<sub>2</sub> m<sup>2</sup> h<sup>-1</sup>. \*\*\* = P close to 0, \*\* = P ~ 0.001, ns = non-significant.

	contrast			p.value	sig.	
2016	vegetation / altitude	dry,1100	-	green,1100	2.266451e-09	***
	mean/sd	0.674/0.301	-	0.42/0.248		
	vegetation / altitude	dry,1200	-	green,1200	9.822746e-07	***
	mean/sd	0.785/0.373	-	0.492/0.313		
	vegetation / altitude	dry,1300	-	green,1300	2.855104e-03	**
	mean/sd	0.515/0.276	-	0.367/0.216		
	vegetation / altitude	dry,1400	-	green,1400	1.000000e+00	ns
	mean/sd	0.472/0.270	-	0.437/0.203		
2017	vegetation / altitude	dry,1100	-	green,1100	1.847283e-06	***
	mean/sd	0.674/0.27	-	0.462/0.254		
	vegetation / altitude	dry,1200	-	green,1200	4.979206e-05	***
	mean/sd	0.643/0.236	-	0.478/0.306		
	vegetation / altitude	dry,1300	-	green,1300	1.000000e+00	ns
	mean/sd	0.433/0.251	-	0.422/0.227		
	vegetation / altitude	dry,1400	-	green,1400	3.803950e-04	***
	mean/sd	0.555/0.281	-	0.371/0.174		

In our experiment mean annual SR was statistically higher at infested sites than at control ones in both vegetation periods. Monthly mean SR rates followed the similar pattern except of June, 2016 and July, 2017 (Fig. 4, Tab. 2). Peak SR rates were reached during summer months.



**Fig. 3** - Variation of SR within the same altitude in different months of the year (MOY) from May (5) to September (9) in both years. Letters display a significant difference with  $P < 0.05$ . Comparison is conducted within one box (elevation is in m a.s.l.). Horizontal dashed lines show the mean SR of the unfested (green line) and infested forest sites (red line) for each elevation zone.



**Fig. 4** - Average SR rate in 2016 and 2017 at different months of the year (MOY) and forest statuses. Dry means infested, green means uninfested spruce forest. Letters display a significant difference with  $P < 0.05$ . The months of the year are from May (5) to September (9).

Seasonal dynamics of SR between infested and uninfested showed higher values for infested sites. However, in June, 2016 and July, 2017 the differences were not significant. The highest values of SR were measured during summer. According to MAKITA *et al.* (2018) soil respiration copied seasonal dynamics of soil temperature with water surplus throughout a year. So the highest SR rates were observed during the summer.

**Tab. 2** - Comparison of SR between dry (infested) and green (uninfested) spruce forest in different months of the year (MOY) and years. Critical p-value is ( $\alpha = 0.05$ ). Mean and standard deviation (sd) is in  $\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ . \*\*\* =  $P$  close to 0, \*\* =  $P \sim 0.001$ , ns = non-significant.

		contrast		p.value	sig.
2016	vegetation/MOY	dry,5	- green,5	5.285897e-16	***
	mean/sd	0.473/0.256	- 0.223/0.1		
	vegetation/MOY	dry,6	- green,6	5.226800e-02	ns
	mean/sd	0.316/0.205	- 0.247/0.157		
	vegetation/MOY	dry,7	- green,7	4.568729e-07	***
	mean/sd	0.725/0.337	- 0.528/0.267		
	vegetation/MOY	dry,8	- green,8	1.838438e-09	***
	mean/sd	0.772/0.304	- 0.565/0.231		
	vegetation/MOY	dry,9	- green,9	9.547313e-06	***
	mean/sd	0.606/0.291	- 0.456/0.217		
2017	vegetation/MOY	dry,5	- green,5	1.805378e-10	***
	mean/sd	0.56/0.258	- 0.346/0.146		
	vegetation/MOY	dry,6	- green,6	7.586355e-04	***
	mean/sd	0.637/0.257	- 0.498/0.179		
	vegetation/MOY	dry,7	- green,7	5.109233e-02	ns
	mean/sd	0.667/0.278	- 0.604/0.35		
	vegetation/MOY	dry,8	- green,8	1.117026e-06	***
	mean/sd	0.622/0.288	- 0.42/0.183		
	vegetation/MOY	dry,9	- green,9	1.727742e-03	**
	mean/sd	0.352/0.167	- 0.25/0.154		

### 3.3 Years and vegetation status comparisons

Rates of SR differed between vegetation statuses, but not between the years. In both years infested sites showed significantly higher values than uninfested ones. The mean annual (during vegetation period) SR in 2016 reached 0.625 g CO<sub>2</sub> m<sup>2</sup> h<sup>-1</sup>, in 2017 0.576 CO<sub>2</sub> m<sup>2</sup> h<sup>-1</sup> at infested sites. (Tab. 3). Which confirms the theory that SR is increased by the higher contribution of heterotrophic SR in the post-disturbance forest environment and rejects our initial hypothesis. We observed insignificant change in SR rate between 2016 and 2017 at both infested and uninfested sites.

**Tab. 3** - Comparison of SR between dry (infested) and green (uninfested) spruce forest in different years. Critical p-value is ( $\alpha = 0.05$ ). Mean and standard deviation (sd) is in g CO<sub>2</sub> m<sup>2</sup> h<sup>-1</sup>. \*\*\* = P close to 0, ns = non-significant.

Soil respiration	contrast		p.value	sig.
vegetation/year	dry,2016	- dry,2017	7.938475e-01	ns
mean/sd	0.625/0.335	- 0.576/275		
vegetation/year	dry,2016	- green,2016	2.101335e-12	***
mean/sd	0.625/0.335	- 0.428/0.248		
vegetation/year	dry,2017	- green,2017	1.911597e-07	***
mean/sd	0.576/275	- 0.438/0.249		
vegetation/year	green,2016	- green,2017	7.938475e-01	ns
mean/sd	0.428/0.248	- 0.438/0.249		

### 3.4 Soil moisture and temperature relationship and SR

We have found weak relationship between soil moisture and SR in our study (data not shown). The same pattern was observed between soil temperature and SR (data not shown) as we captured only a small range of soil temperature in relation to SR change. Changes in soil temperature were not consistent with SR dynamics at different altitudes and months.



**Tab. 4** - Comparison of soil moisture and temperature between dry (infested) and green (uninfested) spruce forest in different years. Critical p-value is ( $\alpha = 0.05$ ). Mean and standard deviation (sd) is in ( $^{\circ}\text{C}$ ) for soil temperature and (%v/v) for soil moisture. \*\*\* = P close to 0, \*\* = P  $\sim 0.001$ , \* = P  $\sim 0.01$ , ns = non-significant.

		contrast			p.value	sig.
Soil temperature	vegetation/ year	dry,2016	-	dry,2017	2.765609e-02	*
	mean/sd	14.3/3.42		13.2/4.58		
	vegetation/ year	dry,2016	-	green,2016	2.267665e-09	***
	mean/sd	14.3/3.42		12.1/3.08		
	vegetation/ year	dry,2017	-	green,2017	1.307363e-02	*
	mean/sd	13.2/4.58		12.1/5.04		
	vegetation/ year	green,2016	-	green,2017	6.340607e-01	ns
	mean/sd	12.1/3.08		13.2/4.58		
Soil moisture	vegetation/ year	dry,2016	-	dry,2017	4.890919e-02	*
	mean/sd	35.2/13.1		40.6/17.2		
	vegetation/ year	dry,2016	-	green,2016	4.949577e-07	***
	mean/sd	35.2/13.1		27.0/9.05		
	vegetation/ year	dry,2017	-	green,2017	2.894861e-06	***
	mean/sd	40.6/17.2		29.7/10.7		
	vegetation/ year	green,2016	-	green,2017	4.890919e-02	*
	mean/sd	27.0/9.05		29.7/10.7		

We observed significantly higher mean annual soil moisture and temperature at infested sites than at control sites in one year. The increase of soil temperature at infested sites within two years of the experiment was observed as well. The same pattern was observed for soil moisture. Some differences of soil moisture and temperature between the years were measured, but were at the limit of significance (Tab. 4).

#### 4. Discussion

Changes in soil respiration rate after disturbance events are not consistent throughout the published research papers (HÖGBERG *et al.*, 2001; LEVY-VARON *et al.*, 2014; TRAHAN *et al.*, 2015; BORKHUU *et al.*, 2015; SPECKMAN *et al.*, 2015; MOORE *et al.*, 2013; BROUILLARD *et al.*, 2017). In the girdling experiment in boreal Scots pine (*Pinus silvestris* L.) soil respiration decreases up to approximately 50% relatively to ungirdled sites within one to two months (HÖGBERG *et al.*, 2001) where forest mycorrhizae alone contributes to

one-third of dissolved organic matter in forest soils, together with associated roots, to 50% of dissolved organic matter (HÖGBER & HÖGBERG, 2002). Notwithstanding, recent meta-analysis of (HAN *et al.*, 2021) concluded 57%, 28% and 15% contribution of microbial, root and mycorrhizal respiration to total soil respiration, respectively. Soil fluxes decline as a consequence of altering key factors and nutrients (TRAHAN *et al.*, 2015) controlling soil respiration rate, however KLUTSCH *et al.* (2009) mentioned that up to 3 years since lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl. ex Loud.) infestation by mountain pine beetle most needles remained on the trees. So no extra needle litter is added from dead pines to increase soil respiration rate during this period since infestation. After a pulse of dead needles soil respiration almost fully recovered lasting for up to 2 years which is similar to our study and then followed by a decline again (MOORE *et al.*, 2013). We suggest that needlefall and debris input from dying and dead spruce trees increased heterotrophic respiration which exceeded loss of autotrophic respiration. As our study was conducted 5 to 6 years after initial infestation by bark beetles results are quite similar to (MOORE *et al.*, 2013; MAYER *et al.*, 2014) with the difference that SR not only equaled to control plots but exceeded SR at control plots.

Nonetheless, BORKHUU *et al.* (2015) did not notice any significant soil respiration changes at a stand level from July to September over 5 years between live lodgepole pine sites and bark beetle-infested sites. This phenomenon is supplied by surviving trees, understorey vegetation and NORTON *et al.* (2015) nutrient pulse from needlefall. And because the decline in autotrophic respiration is compensated by higher heterotrophic respiration induced by higher soil temperature (MAYER *et al.*, 2017a; 2017b). But it is suggested that if mortality reaches 100% total soil respiration decrease to one-third of the uninfested site (BORKHUU *et al.*, 2015). A similar pattern as (BORKHUU *et al.*, 2015) has been observed by SPECKMAN *et al.* (2015) in fir-spruce forests explained by root-respiring carbohydrates after trees death or a decrease of autotrophic respiration is replaced by heterotrophic respiration from dead roots and foliage. Because dying roots and mycorrhizae respire their stored carbon for 2-3 years after disturbance (MAURER *et al.*, 2016). In addition an increase in soil temperature and soil moisture in infested ponderosa pine (*Pinus ponderosa* Laws.) forests (MOREHOUSE *et al.*, 2008). MAYER *et al.* (2014) confirmed that up to six years after disturbance SR did not decrease at windthrow disturbed sites due to the suggested substitution of decreased autotrophic SR by increasing heterotrophic SR supported by disturbance induced alteration of soil temperature.

In contrast, TRAHAN *et al.* (2015) concluded that the fast decline of dissolved organic carbon, organic nitrogen and phosphorus is accompanied by a decrease of soil respiration after trees dieback. Then after 4 years, nutrients start to recover as a consequence of litter mineralisation. Then post-disturbance chronosequence is an important factor influencing soil respiration rate after bark beetle infestation. These varying results can be supported by different mortality rates, gap size formation and already present understorey vegetation.

Temperature is considered the most important factor influencing global soil respiration (HURSH *et al.*, 2016; BOND-LAMBERTY 2010b; CHEN *et al.*, 2010) and according to TANG *et al.* (2019) soil respiration positively correlates to ambient temperature. As the temperature decreases within different altitudinal zones (WANG *et al.*, 2017; CHEN *et al.*, 2018), consequently, soil respiration decline with increasing elevation (LUO *et al.*, 2014; BADRAGHI *et al.*, 2021) which is not consistent with our study in the 2017 and the study of (ZHENG *et al.*, 2013). On the other hand, the year 2016 showed consistency with earlier mentioned studies (eg. LUO *et al.*, 2014).

## 5. Conclusion

Average SR at different altitudes did not follow decreasing pattern with elevation in 2017 (ZHENG *et al.*, 2013), the opposite was observed in 2016. We had not found a strong correlation between soil moisture and SR (the highest value was  $R^2 < 0.1$ , not shown) in both years. Correlation between SR and soil temperature reached low values as well ( $R^2 < 0.3$ , not shown). We suppose that weak correlation was a consequence of manual chamber measurement conducted only once in two weeks during the vegetation period and diurnal conditions. Statistically higher annual SR had been observed under infested sites than control ones. So, we rejected our hypothesis that under infested stand SR will be lower than under uninfested one. During vegetation season SR under infested sites did not differ from control plots in some months. The highest SR was observed during the summer. We observed an insignificant change in SR rate between 2016 and 2017 at both infested and uninfested sites. The decrease in SR with altitude was observed in 2016, but not in 2017. This study provides important insights into the impact of bark beetle infestations on SR. As our study had been conducted five to six years after infestation during 2 consecutive years we propose long-term research after bark beetle infestations to fully capture soil respiration dynamics and the carbon cycle.

## 6. References:

- BADRAGHI, A., VENTURA, M., POLO, A., BORRUSO, L., GIAMMARCHI, F., & MONTAGNANI, L. (2021). Soil respiration variation along an altitudinal gradient in the Italian Alps: Disentangling forest structure and temperature effects. *Plos one*, 16(8), e0247893.
- BOND-LAMBERTY, B., & THOMSON, A. (2010b). Temperature-associated increases in the global soil respiration record. *Nature*, 464(7288), 579-582.
- BORKHUU, B., PECKHAM, S. D., EWERS, B. E., NORTON, U., & PENDALL, E. (2015). Does soil respiration decline following bark beetle induced forest mortality? Evidence from a lodgepole pine forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 214, 201-207.
- BRIGHT, B. C., HICKE, J. A., & MEDDENS, A. J. (2013). Effects of bark beetle-caused tree mortality on biogeochemical and biogeophysical MODIS products. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 118(3), 974-982.
- BROUILLARD, B. M., MIKKELSON, K. M., BOKMAN, C. M., BERRYMAN, E. M., & SHARP, J. O. (2017). Extent of localized tree mortality influences soil biogeochemical response in a beetle-infested coniferous forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 114, 309-318.

- CANADELL, J.G., P.M.S. MONTEIRO, M.H. COSTA, L. COTRIM DA CUNHA, P.M. COX, A.V. ELISEEV, S. HENSON, M. ISHII, S. JACCARD, C. KOVEN, A. LOHILA, P.K. PATRA, S. PIAO, J. ROGELJ, S. SYAMPUNGANI, S. ZAEHLE, AND K. ZICKFELD, 2021: Global Carbon and other Biogeochemical Cycles and Feedbacks. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [MASSON-DELMOTTE, V., P. ZHAI, A. PIRANI, S.L. CONNORS, C. PÉAN, S. BERGER, N. CAUD, Y. CHEN, L. GOLDFARB, M.I. GOMIS, M. HUANG, K. LEITZELL, E. LONNOY, J.B.R. MATTHEWS, T.K. MAYCOCK, T. WATERFIELD, O. YELEKÇI, R. YU, AND B. ZHOU (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 673–816, doi:10.1017/9781009157896.007.
- CIGAN, P. W., KARST, J., CAHILL, J. F., SYWENKY, A. N., PEC, G. J., & ERBILGIN, N. (2015). Influence of bark beetle outbreaks on nutrient cycling in native pine stands in western Canada. *Plant and Soil*, 390(1), 29-47.
- EDBURG, S. L., HICKE, J. A., BROOKS, P. D., PENDALL, E. G., EWERS, B. E., NORTON, U., ... & MEDDENS, A. J. (2012). Cascading impacts of bark beetle-caused tree mortality on coupled biogeophysical and biogeochemical processes. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(8), 416-424.
- ELKIN, L. A., KAY, M., HIGGINS, J. J., & WOBROCK, J. O. (2021, October). An aligned rank transform procedure for multifactor contrast tests. In *The 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology* (pp. 754-768).
- FLEISCHER, P., & HOMOLOVÁ, Z. (2011). Long-term research on ecological condition in the larch-spruce forests in High Tatras after natural disturbances. *Lesnícky časopis*, 57(4), 237-250.
- HAN, M., FENG, J., CHEN, Y., SUN, L., FU, L., & ZHU, B. (2021). Mycorrhizal mycelial respiration: A substantial component of soil respired CO<sub>2</sub>. *Soil Biology and Biochemistry*, 163, 108454.
- HASHIMOTO, S., 2012. A new estimation of global soil greenhouse gas fluxes using a simple data-oriented model. *PLoS One* 7, e41962,.
- HLÁSNÝ, T., KÖNIG, L., KROKENE, P., LINDNER, M., MONTAGNÉ-HUCK, C., MÜLLER, J., ... & SEIDL, R. (2021). Bark beetle outbreaks in Europe: State of knowledge and ways forward for management. *Current Forestry Reports*, 7(3), 138-165.
- HÖGBERG, M. N., & HÖGBERG, P. (2002). Extramatrical ectomycorrhizal mycelium contributes one-third of microbial biomass and produces, together with associated roots, half the dissolved organic carbon in a forest soil. *New Phytologist*, 154(3), 791-795.
- HÖGBERG, P., NORDGREN, A., BUCHMANN, N., TAYLOR, A. F., EKBLAD, A., HÖGBERG, M. N., ... & READ, D. J. (2001). Large-scale forest girdling shows that current photosynthesis drives soil respiration. *Nature*, 411(6839), 789-792.
- HURSH, A., BALLANTYNE, A., COOPER, L., MANETA, M., KIMBALL, J., & WATTS, J. (2016). The sensitivity of soil respiration to soil temperature, moisture, and carbon supply at the global scale. *Global Change Biology*, 23(5), 2090-2103.
- CHEN, B. X., SUN, Y. F., ZHANG, H. B., HAN, Z. H., WANG, J. S., LI, Y. K., & YANG, X. L. (2018). Temperature change along elevation and its effect on the alpine timberline tree growth in the southeast of the Tibetan Plateau. *Advances in Climate Change Research*, 9(3), 185-191.
- CHEN, S., HUANG, Y., ZOU, J., SHEN, Q., HU, Z., QIN, Y., ... & PAN, G. (2010). Modeling interannual variability of global soil respiration from climate and soil properties. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(4), 590-605.
- IPCC Climate change 2021: the physical science basis. *Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*.
- IPCC, PÖRTNER, H. O., ROBERTS, D. C., ADAMS, H., ADLER, C., ALDUNCE, P., ALI, E., ... & BIRKMANN, J. (2022). Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. *IPCC Sixth Assessment Report*.
- 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.
- KIRSCHBAUM, M. U. (2000). Will changes in soil organic carbon act as a positive or negative feedback on global warming?. *Biogeochemistry*, 48(1), 21-51.
- KLUTSCH, J. G., NEGRON, J. F., COSTELLO, S. L., RHOADES, C. C., WEST, D. R., POPP, J., & CAISSIE, R. (2009). Stand characteristics and downed woody debris accumulations associated with a mountain pine beetle (*Dendroctonus ponderosae* Hopkins) outbreak in Colorado. *Forest Ecology and Management*, 258(5), 641-649.
- KOBLER, J., JANDL, R., DIRNBÖCK, T., MIRTIL, M., & SCHINDLBACHER, A. (2015). Effects of stand patchiness due to windthrow and bark beetle abatement measures on soil CO<sub>2</sub> efflux and net ecosystem productivity of a managed temperate mountain forest. *European Journal of Forest Research*, 134(4), 683-692.

- KUBOV, M., FLEISCHER, P., JANÍK, R., FLEISCHER, P., SCHIEBER, B. (2023). The seasonal and interannual dynamics of the bilberry population (*Vaccinium myrtillus* L.) in a larch-spruce forest in the High Tatras after natural disturbances. *Plants*, submitted.
- KURZ, W. A., DYMOND, C. C., STINSON, G., RAMPLEY, G. J., NEILSON, E. T., CARROLL, A. L., ... & SAFRANYIK, L. (2008). Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. *Nature*, 452(7190), 987-990.
- LEVY-VARON, J. H., SCHUSTER, W. S., & GRIFFIN, K. L. (2014). Rapid rebound of soil respiration following partial stand disturbance by tree girdling in a temperate deciduous forest. *Oecologia*, 174(4), 1415-1424.
- LUO, S., LIU, G., LI, Z., HU, C., GONG, L., WANG, M., & HU, H. (2014). Soil respiration along an altitudinal gradient in a subalpine secondary forest in China. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 8(4), 526.
- MAKITA, N., KOSUGI, Y., SAKABE, A., KANAZAWA, A., OHKUBO, S., & TANI, M. (2018). Seasonal and diurnal patterns of soil respiration in an evergreen coniferous forest: Evidence from six years of observation with automatic chambers. *PLoS One*, 13(2), e0192622.
- 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, 327-341.
- MAURER, G. E., CHAN, A. M., TRAHAN, N. A., MOORE, D. J., & BOWLING, D. R. (2016). Carbon isotopic composition of forest soil respiration in the decade following bark beetle and stem girdling disturbances in the Rocky Mountains. *Plant, Cell & Environment*, 39(7), 1513-1523.
- MAYER, M., MATTHEWS, B., ROSINGER, C., SANDÉN, H., GODBOLD, D. L., & KATZENSTEINER, K. (2017b). Tree regeneration retards decomposition in a temperate mountain soil after forest gap disturbance. *Soil Biology and Biochemistry*, 115, 490-498.
- MAYER, M., MATTHEWS, B., SCHINDLBACHER, A., & KATZENSTEINER, K. (2014). Soil CO<sub>2</sub> efflux from mountainous windthrow areas: dynamics over 12 years post-disturbance. *Biogeosciences*, 11(21), 6081-6093.
- MAYER, M., SANDÉN, H., REWALD, B., GODBOLD, D. L., & KATZENSTEINER, K. (2017a). Increase in heterotrophic soil respiration by temperature drives decline in soil organic carbon stocks after forest windthrow in a mountainous ecosystem. *Functional Ecology*, 31(5), 1163-1172.
- MOORE, D. J., TRAHAN, N. A., WILKES, P., QUAIFF, T., STEPHENS, B. B., ELDER, K., ... & MONSON, R. K. (2013). Persistent reduced ecosystem respiration after insect disturbance in high elevation forests. *Ecology letters*, 16(6), 731-737.
- MOREHOUSE, K., JOHNS, T., KAYE, J., & KAYE, M. (2008). Carbon and nitrogen cycling immediately following bark beetle outbreaks in southwestern ponderosa pine forests. *Forest Ecology and Management*, 255(7), 2698-2708.
- NORTON, U., EWERS, B. E., BORKHUU, B., BROWN, N. R., & PENDALL, E. (2015). Soil nitrogen five years after bark beetle infestation in lodgepole pine forests. *Soil Science Society of America Journal*, 79(1), 282-293.
- PAN, Y., BIRDSEY, R. A., FANG, J., HOUGHTON, R., KAUPPI, P. E., KURZ, W. A., ... & HAYES, D. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *science*, 333(6045), 988-993.
- R CORE TEAM (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- REED, D. E., EWERS, B. E., & PENDALL, E. (2014). Impact of mountain pine beetle induced mortality on forest carbon and water fluxes. *Environmental Research Letters*, 9(10), 105004.
- RITCHIE, H., & ROSER, M. (2021). Forests and deforestation. *Our World in Data*.
- ROMASHKIN, I., NEUVONEN, S., & TIKKANEN, O. P. (2020). Northward shift in temperature sum isoclines may favour *Ips typographus* outbreaks in European Russia. *Agricultural and Forest Entomology*, 22(3), 238-249.
- SEIDL, R., SCHELHAAS, M. J., RAMMER, W., & VERKERK, P. J. (2014). Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage. *Nature climate change*, 4(9), 806-810.
- SPECKMAN, H. N., FRANK, J. M., BRADFORD, J. B., MILES, B. L., MASSMAN, W. J., PARTON, W. J., & RYAN, M. G. (2015). Forest ecosystem respiration estimated from eddy covariance and chamber measurements under high turbulence and substantial tree mortality from bark beetles. *Global Change Biology*, 21(2), 708-721.
- TANG, J., BRADFORD, M. A., CAREY, J., CROWTHER, T. W., MACHMULLER, M. B., MOHAN, J. E., & TODD-BROWN, K. (2019). Temperature sensitivity of soil carbon. *Ecosystem consequences of soil warming*, 175-208.
- TRAHAN, N. A., DYNES, E. L., PUGH, E., MOORE, D. J., & MONSON, R. K. (2015). Changes in soil biogeochemistry following disturbance by girdling and mountain pine beetles in subalpine forests. *Oecologia*, 177(4), 981-995.
- TRUBIN, A., MEZEI, P., ZABIHI, K., SUROVÝ, P., & JAKUŠ, R. (2022). Northernmost European spruce bark beetle *Ips typographus* outbreak: Modelling tree mortality using remote sensing and climate data. *Forest Ecology and Management*, 505, 119829.

- WANG, G. Y., ZHAO, M. F., KANG, M. Y., XING, K. X., WANG, Y. H., XUE, F., & CHEN, C. (2017). Diurnal and seasonal variation of the elevation gradient of air temperature in the northern flank of the western Qinling Mountain range, China. *Journal of Mountain Science*, 14(1), 94-105.
- XIONG, Y., D'ATRI, J. J., FU, S., XIA, H., & SEASTEDT, T. R. (2011). Rapid soil organic matter loss from forest dieback in a subalpine coniferous ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(12), 2450-2456.
- ZHENG, X., ZHAO, C., PENG, S., JIAN, S., LIANG, B., WANG, X., ... & WANG, Y. (2014). Soil CO<sub>2</sub> efflux along an elevation gradient in Qinghai spruce forests in the upper reaches of the Heihe River, northwest China. *Environmental earth sciences*, 71, 2065-2076.

This research was supported by APVV 17-0644 and APVV 21-0412 projects.

Author's address:

Ing. Jakub Tomes

doc. Ing. Peter Fleischer, PhD.

Ing. Peter Fleischer, PhD.

Katedra integrovanej ochrany lesa a krajiny

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

T.G. Masaryka 24

960 53 Zvolen

Slovenská republika

e-mail: xtomes@is.tuzvo.sk

e-mail: p.fleischersr@gmail.com

e-mail: p.fleischerjr@gmail.com

Post-disturbančná dynamika pôdnej respirácie vo Vysokých Tatrách

## Súhrn

V štúdiu sme sa zaoberali časovo-priestorovou dynamikou pôdnej respirácie 5 a 6 rokov po lykožrútovej kalamite v smrekovom ekosystéme na vertikálnom tranzekte (1100 – 1400 m.n.m.) vo Vysokých Tatrách. Zmena veľkosti toku oxidu uhličitého z pôdy po disturbancii môže zvýšiť množstvo CO<sub>2</sub> v atmosfére a tým urýchliť klimatickú zmenu. Zistilo sa, že na plochách po lykožrútovej kalamite je vyššia pôdna respirácia ako na kontrolných plochách, avšak nie v každej nadmorskej výške a v každom mesiaci bola signifikantne vyššia. Priemerná ročná (od mája do septembra) pôdna respirácia na stojacom kalamitisku bola v oboch rokoch signifikantne vyššia ako v zdravom stojacom lese. V roku 2016 sa zistilo znižovanie pôdnej respirácie s nárastom nadmorskej výšky, čo však v roku 2017 neplatilo. Medzi rokmi sa nenašiel signifikantný rozdiel v rámci kalamitných aj kontrolných plôch. Medzi vlhkosťou, teplotou pôdy a pôdnou respiráciou sa našla iba veľmi slabá korelácia. Vyššia teplota a vlhkosť pôdy bola pozorovaná na kalamitisku avšak s vyššou variáciou. Signifikantne vyššiu respiráciu na kalamitisku pripisujeme zvýšenej heterotrofnej respirácii (rozklad organickej hmoty z ihličia, vetvičiek a kôry), ktorá prevyšuje stratu autotrofnej zložky pôdnej respirácie (dýchanie koreňov). Práca ponúka náhľad na dôsledky lykožrútovej kalamity na zmenu pôdnej respirácie a zdôrazňuje, aby sa výskum zamerlal na dlhodobú dynamiku pôdnej respirácie a tokov uhlíka (oxidu uhličitého) po lykožrútovej kalamite.

## SUCHO AKO STRESOVÝ FAKTOR PÔSOBIACI NA FYZIOLOGICKÉ PROCESY *PINUS* SP.

Lenka MALOVCOVÁ – Daniel KURJAK

MALOVCOVÁ, L.: Sucho ako stresový faktor pôsobiaci na fyziologické procesy *Pinus* sp. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen

### ABSTRAKT

V štúdiu sa zameriavame na porovnanie rôznych druhov borovic, ktoré môžu mať rozdielne obranné mechanizmy a rôzny potenciál odolávať stresu. Hodnotili sme fyziologické reakcie autochtónnych druhov (*Pinus sylvestris*, *P. cembra*, *P. mugo*) na stres zo sucha. V kontrolovaných podmienkach sme počas periódy sucha merali vodný potenciál, rýchlosť asimilácie CO<sub>2</sub>, prieduchovú vodivosť, stratu vody pri zatvorených prieduchoch, morfológické charakteristiky listov a prieduchov a efektivitu primárnej fázy fotosyntézy. Vodný potenciál rastlín dosahuje negatívne hodnoty, ktoré počas sucha klesajú. Počas silného stresu, aj pri kritických hodnotách takmer -3 MPa, ostávali prieduchy *P. mugo* mierne otvorené. Výsledkom bolo, že sadenice stále transpirovali aj asimilovali CO<sub>2</sub> a turgor sa ďalej znižoval. Takéto správanie môže byť rizikom pri strate kritického množstva vody. Pri *P. sylvestris* sme počas vodného stresu zaznamenali relatívne rýchle uzatváranie prieduchov v snahe vyhnúť sa dehydratácii. V rámci experimentu sme však zistili vysokú hodnotu minimálnej vodivosti ihlič *P. sylvestris*, čo znamená, že po uzatvorení prieduchov sadenice strácali výrazne viac vody než ostatné dva hodnotené druhy (zhruba 3-násobok oproti *P. mugo* a zhruba 6-násobok oproti *P. cembra*), ktoré majú v tomto ohľade funkčnejšie obranné mechanizmy. Špecifická listová plocha bola významne nižšia pri *P. sylvestris* a potenciálny index vodivosti prieduchov bol v porovnaní s ostatnými dvoma druhmi významne nižší pri *P. mugo*. Celkovo sa javí ako najodolnejší druh *P. cembra*: aj pri vysokých hodnotách potenciálnej vodivosti prieduchov sa tieto zavčasu a vysoko efektívne zatvárajú. Zistili sme tiež pozitívny vzťah medzi vodným potenciálom nameraným pri takmer úplnom uzatvorení prieduchov a dĺžkou prieduchov, resp. primárnou fotochémiou.

**Kľúčové slová:** *Pinus* sp., sucho, vodný potenciál, fotosyntéza, minimálna vodivosť, prieduchy

### Úvod

Sucho je stav alebo časový interval, počas ktorého je zaznamenaný deficit vody v pôde, rastline alebo v atmosfére. Výskyt sucha môžeme sledovať z meteorologického, hydrologického a fyziologického hľadiska priamym zisťovaním vody v rastline (KOVÁČIKOVÁ et al. 2011). Hlavné abiotické faktory, ktoré ovplyvňujú naše lesy, sú v súčasnosti extrémne suchá a horúčavy, ktoré prispievajú k výraznému zvyšovaniu mortality lesných

porastov. Leto 2003 bolo najsuchším rokom za obdobie 1984 až 2016. Ďalšie extrémne sucho bolo zaznamenané v roku 2018 a v roku 2022 sa vyskytlo najextrémnejšie sucho za posledné storočia (KURJAK et al. 2022). Viacerí autori potvrdzujú, že mortalita lesov je často zapríčinená závažnými suchými obdobiami, ktoré sú prejavmi zmeny klímy (LAMY et al. 2014). Do budúca budú pre dreviny určujúce aj ďalšie environmentálne podmienky ako vlhkosť vzduchu, koncentrácia CO<sub>2</sub>, žiarenie a pôdne charakteristiky. Taktiež budú dôležité biologické faktory, napr. hustota porastov, zásoba vody v kmeni, hĺbka koreňov, morfológia listov, ich ochlpenie, ale aj mikroskopické pletivové štruktúrne a chemické rozdiely, ako sú charakteristiky prieduchov, hrúbka kutikuly, schopnosť osmotického prispôsobenia a pod. Porozumieť fyziológii drevín je kľúčové, pretože rozdiely na úrovni fyziologických procesov môžu v konečnom dôsledku určovať, či stresovaný jedinec odumrie alebo prežije (KURJAK et al. 2022).

V súčasnosti pozorujeme enormnú náchylnosť borovicových porastov na stres zo sucha kvôli postupujúcej klimatickej zmene a častým extrémnym periódam. Súvisí to so zmenou vodného režimu, zníženou schopnosťou asimilovať uhlík, nízkou produktivitou a vitalitou drevín. Preto je sucho kľúčovým faktorom rozpadu borovicových porastov. Borovicové lesy samozrejme odumierajú nielen v dôsledku sucha; oslabené jedince sú tiež náchyľnejšie na poškodenie biotickými škodlivými činiteľmi (hmyz, sypavky a pod.).

Fyziologické procesy drevín sú považované za citlivé indikátory stresu v rastlinách rastúcich v extrémnych podmienkach (NALEVANKOVÁ et al. 2018). Deficit pôdnej vody môže vyvolávať redukciiu prieduchovej vodivosti a transpirácie, čo je hlavným environmentálnym faktorom obmedzujúcim fotosyntézu na globálnej úrovni (GAO et al. 2017). Druhy rodu *Pinus* boli v minulosti považované za tolerantné voči suchu, ale výrazný pokles vodného potenciálu pôdy a následne pletív vedie často k dramatickej zmene fyziologických procesov. Fotosyntéza je pritom jeden z najcitlivejších procesov na sucho aj vysoké teploty (ANEV et al. 2016). V extrémnych podmienkach je mimoriadne dôležité nielen včasné, ale tiež efektívne (úplné) uzatváranie prieduchov, ako aj nepriechodnosť kutikuly asimilačných orgánov pre vodné pary. Uzatvorenie prieduchov, ako mechanizmus limitujúci straty vody, znamená hlavne obmedzenie fotosyntézy v podmienkach rastu rastlín, ale tiež obmedzenú reguláciu teploty pri podmienkach sucha a limitovaný príjem minerálnych látok (MARTIN-STPAUL et al. 2017). To môže ďalej nepriamo prehĺbiť stres a negatívne ovplyvniť rýchlosť asimilácie a veľké množstvo čiastkových procesov metabolizmu.

Dreviny môžu mať rôzne mechanizmy odolnosti voči deficitu vody. V tejto práci sa preto zameriavame na kvantifikáciu vplyvu sucha na viaceré fyziologické procesy troch autochtónnych druhov borovic. Vzhľadom na to, že skúmané druhy okupujú rôzne ekologické niky, je predpoklad, že sa budú v niektorých parametroch odlišovať a budú využívať rozdielne mechanizmy (s rôznou efektivitou) na prispôsobenia sa suchu.



## MATERIÁL A METODIKA

### *Opis experimentu*

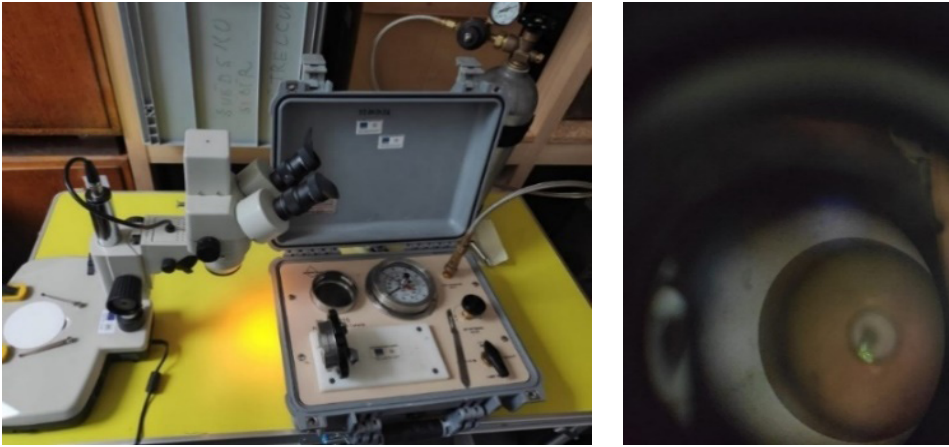
V kontrolovaných podmienkach sme skúmali fyziologické mechanizmy borovíc a ich reakciu na stres zo sucha. Experiment prebiehal medzi 11. augustom a 27. septembrom 2021. Tento pokus teda trval 45 dní, počas ktorých sadenice neboli zalievané. Fyziologické merania sme zisťovali na 11 jedincoch *P. cembra* a na 12 jedincoch *P. mugo* a *P. sylvestris*. Vek sadeníc bol 3 roky. Borovice sme udržiavali v klimatizovaných komorách (EKOCHL 1500P, Agelantoni, Taliansko, obr. 1) v kontrolovaných podmienkach.



**Obr. 1** Rastová komora, v ktorej boli umiestnené sadenice.  
**Fig. 1** Growing chamber in which seedlings were placed.

### *Meranie vodného potenciálu*

Vodný potenciál borovíc sme opakovane merali na 11 až 12 jedincoch na druh. Na meranie vodného potenciálu sme použili Scholanderovu tlakovú komoru (Obr. 2). Odoberali sme vzorky ihlič, urobili na nich jemný rez a vložili sme ich do komory. Potom sme komoru uzavreli a zvyšovali tlak v jej vnútri. S využitím binokulárnej lupy (Obr. 2) sme identifikovali tlak, pri ktorom sa objavila prvá kvapka vody na viditeľnom reze ihlice. Záporná hodnota tohto tlaku je vodný potenciál ihlice.



Obr. 2 Scholanderova tlaková komora s binokulárnou lupou (vľavo) a pozorovanie ihlice zatvorenej v komore (vpravo).

Fig. 2 Scholander pressure chamber with binocular magnifying glass (left) and observation of needle closed in the chamber (right).

### *Výmena plynov a fluorescencia chlorofylu*

Výmenu plynov sme sledovali na 11 až 12 jedincoch. Merania prebiehali opakovane a paralelne s meraniami vodného potenciálu. Vďaka tomu sme neskôr mohli stanoviť bod (vodný potenciál), kedy došlo k poklesu asimilácie a prieduchovej vodivosti o 90% oproti maximálnym hodnotám meraným na začiatku pokusu. Pre tieto merania sme využili gazometer (Obr. 3). Gazometrický systém Li6400XT (LICOR, USA) je zariadenie, ktoré využívame na meranie výmeny plynov ( $\text{CO}_2$  a vodných pár). Označené ihlice sme bez poškodenia uzavreli do komory a zabezpečili sme potrebný zdroj svetla. Koncentráciu  $\text{CO}_2$  sme udržiavali pri stálej hodnote 400 ppm. Namerané hodnoty sme po ukončení pokusu normalizovali na plochu ihlíc, pričom v priebehu pokusu boli opakovane merané vždy rovnaké ihlice.

Na všetkých jedincoch sme merali tiež fluorescenciu chlorofylu (Obr. 3) pomocou fluorimetra Handy PEA (Hansatech, GB). Pred meraním boli na jednotlivé sadenice uchytené 2 zatemňovacie klapky a po 30-minútovej adaptácii na svetlo bola vzorka ožiarená sekundu trvajúcim saturačným impulzom (o vysokej intenzite toku fotónov). Dve hodnoty boli spriemerované a pre analýzy bola využívaná priemerná hodnota fluorescencie chlorofylu na jedinca.

### *Minimálna vodivosť listu, prieduchové charakteristiky a špecifická listová plocha*

Minimálnu vodivosť listu sme stanovili podľa straty hmotnosti odstrihnutých konárikov (mass loss of detached leaves). Odtrhnuté konáriky zo zavlažených sadeníc

sme vložili do rastovej komory a opakovane sme merali ich hmotnosť. V klimatizovanej komore sme udržiavali stálu teplotu vzduchu 25°C a relatívnu vlhkosť 60% (BLACKMAN et al., 2019; DUURSMA et al., 2019).

Na posúdenie dĺžky a hustoty prieduchov boli odobraté odtlačky pomocou transparentného laku. Z každého odtlačku bol vyhotovený snímok integrovanou kamerou pripojenou k mikroskopu Motic BA210 (Motic Electric, Rakúsko). Na merania dĺžky a hustoty prieduchov bol použitý softvér ImageJ 1.51k. Z nameraných veličín bol stanovený index potenciálnej vodivosti (PCI), ktorý možno použiť ako proxy pre teoretickú maximálnu vodivosť prieduchov pre vodnú paru.

Pre určenie špecifickej listovej (SLA) plochy sme naskenovali plochu ihlíc (skener HP Scanjet G4010; Hewlett Packard, CA, USA). Naskenované ihlice boli vysušené pri 75°C do konštantnej hmotnosti (približne 48 h). Bola zisťovaná hmotnosť sušiny a následne vypočítaná SLA (ako podiel plochy ihlíc a hmotnosti sušiny).



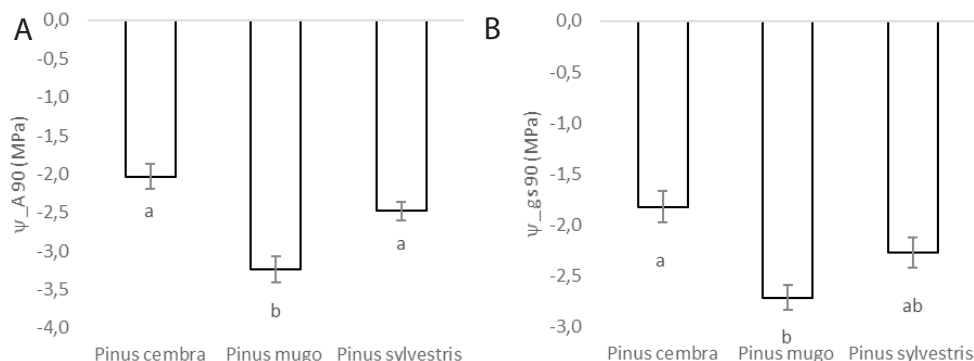
**Obr. 3** Systém pre meranie výmeny plynov (vľavo) a fluorimeter na meranie fluorescencie chlorofylu (vpravo).

**Fig. 3** Gas exchange system (left) and fluorimeter for chlorophyll fluorescence measurements (right).

## Výsledky

Najvyššiu (najmenej zápornú) hodnotu vodného potenciálu ihlíc, pri ktorej pokles asimilácie dosiahol 90% (y A90), mala *P. cembra* s hodnotou -2,03 MPa. Najnižšiu hodnotu vodného potenciálu ihlíc, pri ktorých pokles asimilácie dosiahol 90% mala *P. mugo* s hodnotou -3,24 MPa (Obr. 4). *P. mugo* počas suchých období stráca omnoho viac vody a následkom môže byť, že sa v bunkách znižuje turgor. Naproti tomu, *P. cembra* a *P. sylvestris*, sa správali „opatrnejšie“ a prieduchy zatvárali už pri menšom poklese vodného potenciálu.

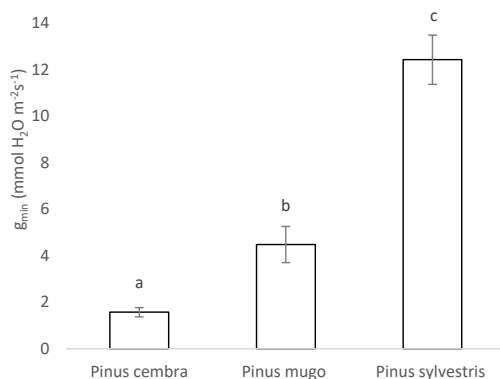
Najvyššiu hodnotu vodného potenciálu ihlíc, pri ktorých pokles prieduchovej vodivosti dosiahol 90% ( $\psi_{gs90}$ ) dosahovala *P. cembra* s hodnotou -1,82 MPa. Najnižšiu hodnotu vodného potenciálu ihlíc, pri ktorých pokles prieduchovej vodivosti dosiahol 90%, má *P. mugo* s hodnotou -2,71 MPa. *P. cembra* a *P. sylvestris* mali lepšiu schopnosť regulácie uzatvárania prieduchov než *P. mugo*, čím efektívnejšie predchádzajú vysychaniu pletív. Rozdiely sú pri oboch hodnotených parametroch štatisticky významné (Obr. 4). Keď porovnáme hodnoty y A90 a y gs90, tieto majú podobný priebeh, pričom hodnoty y A90 sú o niečo nižšie (Obr. 4), čo indikuje časovo oneskorenú 90%-nú limitáciu fotosyntézy oproti limitácii vodivosti prieduchov. Tento jav je najvýraznejší pri *P. mugo*, kde je relatívna diferenciacia medzi parametrami najväčšia.



**Obr. 4** Vodný potenciál, pri ktorom pokles asimilácie dosiahol 90% (a) a vodný potenciál, pri ktorom pokles prieduchovej vodivosti dosiahol 90% (b). Zobrazená je stredná chyba priemeru ( $\pm$ ); rozdielne písmená označujú štatisticky významný rozdiel ( $\alpha=0,05\%$ ).

**Fig. 4** Water potential at assimilation decrease achieved 90% (a) and water potential at which stomatal conductance decrease achieved 90% (b). Mean average error ( $\pm$ ) is displayed; different letters mean statistically significant difference ( $\alpha=0,05\%$ ).

Najnižšiu hodnotu minimálnej vodivosti ihlíc (Obr. 5) dosahovala *P. cembra* ( $1,6 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) a najvyššiu hodnotu dosahovala *P. sylvestris* ( $12,4 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Z hľadiska štatistickej významnosti sme zaznamenali rozdiel medzi všetkými testovanými druhmi. *P. cembra* má lepšiu schopnosť minimalizácie strát vody v suchých periódach v porovnaní s ďalšími dvoma testovanými druhmi. *Pinus sylvestris* po uzatvorení prieduchov strácala výrazne najväčšie množstvo vody. Bol to zhruba 6-násobok oproti *P. cembra* a 3-násobok oproti *P. mugo*.



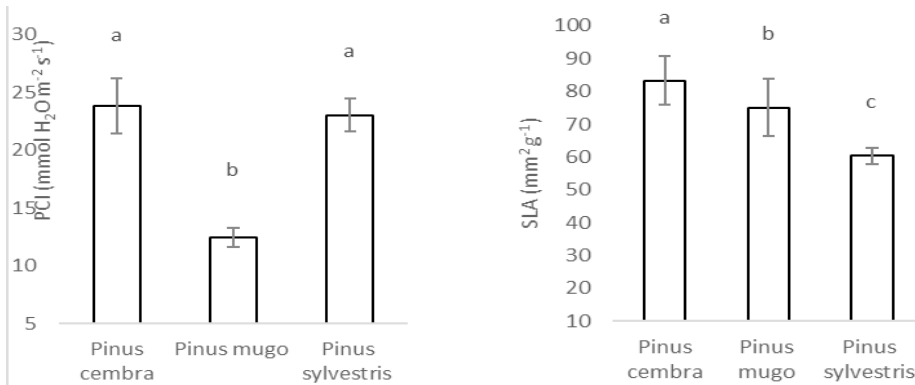
**Obr. 5** Minimálna vodivosť ihlič. Zobrazená je stredná chyba priemeru ( $\pm$ ); rozdielne písmená označujú štatisticky signifikantný rozdiel ( $\alpha=0,05\%$ ).

**Fig. 5** Minimum conductance of needles. Mean average error ( $\pm$ ) is displayed; different letters mean statistically significant difference ( $\alpha=0,05\%$ ).

*P. mugo* dosahuje najnižšiu hodnotu indexu potenciálnej vodivosti prieduchov s hodnotou 12,4 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (Obr. 6) a významne sa líši od ostatných dvoch druhov, keďže ihlice *P. mugo* mali nízku hustotu prieduchov. *P. cembra* dosahovala najvyššiu hodnotu indexu potenciálnej vodivosti prieduchov s hodnotou 23,80 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> a približne rovnakú hodnotu dosahovala aj *P. sylvestris*.

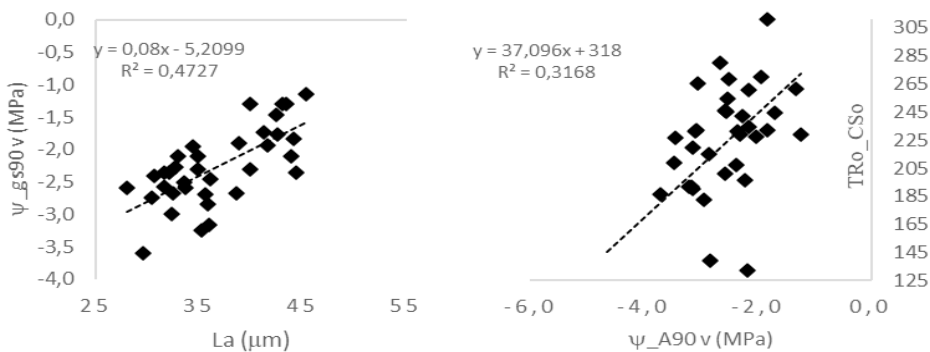
Najvyššiu špecifickú listovú plochu má *P. cembra* s hodnotou 83 mm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> a najnižšiu špecifickú listovú plochu mala *P. sylvestris* s hodnotou 60 mm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> (Obr. 6). Všetky rozdiely medzi testovanými druhmi boli štatisticky signifikantné, ale najvýraznejšie sa s najnižšou priemernou hodnotou odlišuje *P. sylvestris* od *P. cembra*.

Korelácia medzi vodným potenciálom, pri ktorom pokles prieduchovej vodivosti dosiahol 90% a dĺžkou prieduchov, vysvetľuje 47% variability (koeficient determinácie  $R^2 = 0,47$ ). Čím sú prieduchy menšie, tým hlbší je pokles vodného potenciálu pri ich zatvorení. Zistili sme tiež koreláciu medzi vodným potenciálom, pri ktorom pokles asimilácie dosiahol 90% a prenosom elektrónov do reakčného centra. Tento vzťah vysvetľuje 32% variability (koeficient determinácie  $R^2 = 0,32$ ). Čím je rýchlejší prenos elektrónov, tým viac sa vodný potenciál A90 blíži k nule a naopak; čím je prenos elektrónov pomalší, tým je vodný potenciál A90 nižší (Obr. 7).



**Obr. 6** Index potenciálnej vodivosti prieduchov (vľavo), špecifická listová plocha (vpravo). Zobrazená je stredná chyba priemeru ( $\pm$ ); rozdielne písmená označujú štatisticky významný rozdiel ( $\alpha=0,05\%$ ).

**Fig. 6** Potential conductance index (left), specific leaf area (right). Mean average error ( $\pm$ ) is displayed; different letters mean statistically significant difference ( $\alpha=0,05\%$ ).



**Obr. 7** Korelácia medzi vodným potenciálom gs90 a dĺžkou prieduchov (vľavo); korelácia medzi vodným potenciálom A90 a prenosom elektrónov v reakčnom centre (vpravo).

**Fig. 7** Correlation between water potential gs90 and stomatal length (left); correlation between water potential A90 and electron transfer in the reaction centre (right).

## Diskusia

Podľa nameraných výsledkov mal *P. mugo* z hodnotených druhov najvýraznejší pokles vodného potenciálu (zhruba -3 MPa pri dosiahnutí 90% redukcie prieduchovej vodivosti a rýchlosti asimilácie). Toto správanie je z ekologického vcelku pochopiteľné, keď uvážime, že kosodrevina rastie vo vysokých polohách, kde býva nedostatok zrážok skôr výnimkou. Navyše, dreviny rastúce vo vysokých polohách (resp. pochádzajúce

z vyšších polôh) prejavujú snahu o maximalizáciu fotosyntézy, zrejme vzhľadom na kratšie vegetačné obdobie (JAMNICKÁ et al. 2019, KONÔPKOVÁ et al. 2018). To sa nedá povedať o *P. sylvestris*, ktorá často rastie práve na extrémne suchých stanovištiach a hlboký koreň jej často umožňuje odolávať silnému suchu. *P. cembra* sa správala odlišne a výrazne opatrnejšie ako ďalšie dva druhy. Špecifikom tejto dreviny je prežívanie v podmienkach krátkej vegetácie s minimálnou konkurenciou, kde síce spadne veľké množstvo zrážok, retenčná schopnosť plytkých plôch je však často minimálna. To môže súvisieť s rýchlym uzatváraním prieduchov aj za cenu zníženej rýchlosti asimilácie.

Prieduchy majú dve kľúčové funkcie: zabezpečenie transpirácie, čo umožňuje zásobovanie listov živinami, regulovanie teploty listov, a tiež zabezpečujú vstup CO<sub>2</sub> do listov (MARTIN-STPAUL et al. 2017). Prieduchy sa dynamicky otvárajú a zatvárajú počas sucha, ale taktiež reagujú na zmenu intenzity svetla, vlhkosti vzduchu a koncentrácie CO<sub>2</sub> v okolí listov, resp. vo vnútri listov (DUURSMA et al. 2019). Dreviny sa snažia regulovať stratu vody jednak uzatvorením prieduchov, ale tiež vytvorením kutikuly, aby minimalizovali straty vody počas období sucha (ANFODILLO et al., 2002). Čo sa týka veľkosti prieduchov, tu v literatúre neexistuje úplná zhoda, avšak väčšina prác poukazuje na rýchlejšiu reakciu menších prieduchov (DRAKE et al.). Štúdia na buku taktiež potvrdila, že suchom stresované jedince buka tvoria menšie prieduchy o menšej hustote (PETRÍK et al. 2020). V prípade borovic to bolo oproti očakávaniam naopak, pričom sa potvrdila korelácia medzi včasnejším zatváraním väčších prieduchov. V tomto ohľade tiež môžeme konštatovať, že *P. cembra* a *P. sylvestris* majú v nestresujúcich podmienkach výrazne väčší potenciál pre rýchlu výmenu vodných pár aj CO<sub>2</sub>. To vyplýva z indexu potenciálnej vodivosti, ktorý je kalkulovaný z dĺžky a hustoty prieduchov.

Minimálna vodivosť je prestup vodných pár cez kutikulu alebo cez nekompletne uzatvorené prieduchy a z hľadiska prežívania môže mať kľúčovú úlohu počas extrémnych období sucha (BRODRIBB et al. 2020). Rozdiely v tom to parametre boli markantné, pričom výrazne najvyššiu odolnosť vykazovala *P. cembra* a neefektívnou sa ukázala byť *P. sylvestris*. Opäť pritom platí, že borovica lesná zrejme viac ťaží zo svojho hlbokého koreňa, než z efektívneho narábania s vodou. V prírode poznáme ďalší takýto prípad, ktorým je dub – ten je vo všeobecnosti považovaný za drevinu dobre odolávajúcu suchu, aj keď celkovo sa správa nešetrne, nezatvára zavčasu prieduchy a vytranspiruje veľké množstvá vody aj v podmienkach sucha (KUBOV et al. 2020). V našich podmienkach sa doposiaľ v súvislosti so negatívnym vplyvom sucha spomínal najmä smrek, avšak aj vyššie spomínané dreviny sa stávajú čoraz citlivejšie na nedostatok vody, čo často vedie k zvýšenej mortalite celých porastov.

Podľa hodnôt z OJIP krivky sa hodnoty fluorescencie chlorofylu počas stresu menia, čo poukazuje na fotochemickú redukciu primárneho chinónu A (Q<sub>A</sub>), ktorý limituje rýchlosť pohybu elektrónov v reakčných centrách vo fotosystéme II (ANTAL et al. 2009). Pri poklese zachytávania svetla anténny komplexami (ABS/CS<sub>0</sub>) sa zvyšuje hustota



v neaktívnych reakčných centrách. Znížením prenosu elektrónov (TR/CSo, ETo/CSo) sa aktívne reakčné centrá menia na neaktívne a to zapríčiňuje redukciu prenosu elektrónov a pokles výkonnosti fotosystému II. Nízka koncentrácia chlorofylu je charakteristickým znakom napr. oxidatívneho stresu, ktorého následkom toho je zmena kompozície membrán tylakoidov, vysoká degradácia chlorofylu alebo redukcia syntézy chlorofylu (DINIS et al. 2016). V našom prípade sme pozorovali vzťah medzi včasným zatváraním prieduchov a udržaním vysokej rýchlosti prenosu elektrónov v rámci svetelnej fázy fotosyntézy.

### Záver

Pri meraní vodného potenciálu A90 a gs90 sme zistili, že *Pinus mugo* v kontrolovaných podmienkach stresu zo sucha aj pri hodnotách okolo -3MPa stále stráca vodu. Na druhej strane *Pinus cembra* a *Pinus sylvestris* nestrácali také množstvo vody ako *Pinus mugo*, skôr sa správali „opatrnejšie“. *P. mugo* má aj počas sucha mierne otvorené prieduchy, stále transpiruje a asimiluje CO<sub>2</sub>, čo spôsobuje väčšie riziko straty vody než je tomu pri *P. cembra* a *P. sylvestris*. *Pinus sylvestris* však aj po uzatvorení prieduchov stále strácala relatívne veľké množstvo vody v porovnaní s *P. cembra* a *P. mugo*, čo môže vysvetľovať problémy s odumieraním borovicových porastov napr. na Záhorí. Zaujímavé sú korelácie medzi vodným potenciálom A90/gs90 a parametrami primárnej fotochémiie, resp. dĺžkou prieduchov. Zistili sme pozitívny vzťah medzi vodným potenciálom A90 a prenosom elektrónov do reakčného centra a rýchlejšiu reakciu väčších prieduchov na suchu. Nezodpovedanou ostáva otázka vplyvu dielčích metabolických procesov (enzymatická limitácia, fotorespirácia a pod.) v podmienkach veľkého rozpätia teplôt, v rámci ktorých sa skúmané dreviny vyskytujú.

### PodĎakovanie

Táto práca vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Komplexný výskum mitigačných a adaptačných opatrení na zmiernenie negatívnych dopadov klimatických zmien na lesné ekosystémy Slovenska (FORRES), kód ITMS: 313011T678, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja. Práca vznikla taktiež s finančnou podporou projektu VEGA č. 1/0535/20.

### Použitá literatúra

- ANEV, S. et al., 2016. Stomatal control on photosynthesis in drought-treated subalpine pine saplings. *Genetics and Plant Physiology*, vol. 6, p. 43–53.
- ANFODILLO T. et al., 2002. Minimum cuticular conductance and cuticle features of *Picea abies* and *Pinus cembra* needles along an altitudinal gradient in the Dolomites (NE Italian Alps). *Tree Physiology*, vol. 22, i. 7, p. 479–487.
- ANTAL, T. et al., 2009. Probing of photosynthetic reactions in four phytoplanktonic algae with a PEA fluorometer. *Photosynthesis Research*, vol. 102, p. 67–76.



- BLACKMAN, C. J. et al., 2019. Drought response strategies and hydraulic traits contribute to mechanistic understanding of plant dry-down to hydraulic failure. *Tree Physiology*, vol. 39, p. 910–924.
- BRODRIBB, T. J. et al., 2020. Hanging by a thread? Forests and drought. *Science*, 368(6488), 261–266.
- DINIS, L. T. et al., Kaolin-based, foliar reflective film protects photosystem II structure and function in grapevine leaves exposed to heat and high solar radiation. *Photosynthetica*, vol. 54, no. 1, p.47–55.
- DRAKE, P. L. et al., 2013. Smaller, faster stomata: scaling of stomatal size, rate of response, and stomatal conductance. *Journal of experimental botany*, 64(2), 495–505.
- DUURSMA, R. et al., 2019. On the minimum leaf conductance: its role in models of plant water use, and ecological and environmental controls. *New Phytologist*, vol. 221 no. 2, p. 693–705.
- GAO Y. et al., 2017 Response of water use efficiency to summer drought in a boreal Scots pine forest in Finland. *Biogeosciences*. vol 14. p. 4409–4422.
- JAMNICKÁ, G. et al., 2019. Norway spruce (*Picea abies* L.) provenances use different physiological strategies to cope with water deficit. *Forests*, 10(8), 651.
- KONÔPKOVÁ, A. et al., 2018. Differences in photochemistry and response to heat stress between silver fir (*Abies alba* Mill.) provenances. *Trees*, 32, 73–86.
- KOVALČÍKOVÁ, D. et al., 2011. Meranie transpirácie sadeníc buka lesného (*Fagus sylvatica* L.) v podmienkach sucha. Středová, H., Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds): Mikroklima a mezoklima krajinných struktur a antropogenních prostředí. Skalní mlýn, 2.–4.2. 2011.
- KUBOV, M. et al., 2020. Drought or severe drought? hemiparasitic yellow mistletoe (*Loranthus europaeus*) amplifies drought stress in sessile oak trees (*Quercus petraea*) by altering water status and physiological responses. *Water*, 12(11), 2985.
- KURJAK, D. et al., 2022. Mechanizmy pôsobenia sucha na fyziológiu drevín: poškodenie a odolnosť. APOL, vol. 3, no. 2, p. 57–62.
- LAMY, J. B. et al., 2014 Limited genetic variability and phenotypic plasticity detected for cavitation resistance in a Mediterranean pine. *New Phytologist*, vol. 201(3), p. 874–886.
- MARTIN-STPAUL, N. et al., 2017. Plant resistance to drought depends on timely stomatal closure. *Ecology letters*, vol. 20 no. 11, p. 1437–1447.
- NALEVANKOVÁ, P. et al., 2018. Drought and irrigation affect transpiration rate and morning tree water status of a mature European beech (*Fagus sylvatica* L.) forest in Central Europe. *Ecohydrology*, vol. 11 no. 6.
- PETŘÍK, P. et al., 2020. Stomatal and leaf morphology response of European beech (*Fagus sylvatica* L.) provenances transferred to contrasting climatic conditions. *Forests*, 11(12), 1359.

#### Adresa autora:

Bc. Lenka Malovcová  
 Technická univerzita vo Zvolene  
 Lesnícka fakulta  
 Katedra integrovanej ochrany lesa a krajiny  
 Masarykova 24  
 960 01 Zvolen  
 Slovenská republika  
 e-mail: xmalovcova@is.tuzvo.sk  
 e-mail: lenka.malovcova@gmail.com

#### Summary

Nowadays, Scots pine is endangered in many areas due the progressing climate change, increasing temperatures and often drought periods. Different pines species can have different mechanisms of reaction and different degree of resistance. Therefore, we focused on the evaluation of physiological reaction of multiple autochthonous species of pines (*Pinus sylvestris*, *P. cembra* and *P. mugo*) on drought stress. In control conditions, we

measured water potential, assimilation and transpiration rate, water loss at closed stomata, morphological characteristics of stomata and effectivity of light-dependent reactions of photosynthesis during increasing stress. Water potential of trees achieves negative values, decreasing during drought. During the severe stress, even at critical values under -3MPa, stomata of *P. mugo* remained slightly opened. The result was that seedlings continually transpired and assimilated CO<sub>2</sub>, and turgor also continuously decreased. This behaviour can be risky at loss of critical water amount. During the water stress we found out that *P. sylvestris* closed its stomata relatively fast, trying to avoid dehydration. However, we found high value of needle minimum conductance for *P. sylvestris*. It means, that seedlings kept losing water significantly faster after closing stomata, than the other two evaluated species (about triple compared to *P. mugo* and 6-times faster than *P. cembra*). *P. cembra* and *P. mugo* have thus more functional defensive mechanisms in this matter. Needles morphology, such as specific leaf area and stomata characteristics of evaluated species, are also important. Specific leaf area was significantly lower in *P. sylvestris* and potential conductance index was significantly lower in *P. mugo* compared to the other two species. *P. cembra* appears to have the highest overall drought resistance: even at high values of potential conductance index, its stomata close earlier and highly effectively. We also found a positive relationship between water potential measured at almost completely closed stomata and stomatal length. Also, correlation between needle water potential causing 90% decrease in assimilation and many parameters characterising effectivity of photochemistry was statistically significant.

## ROZDIELY V MORFOLÓGII PRIEDUCHOV PRI KLONCH RÝCHLORASTÚCICH TOPOĽOV

Miroslava MARTINCOVÁ – Lenka MALOVCOVÁ – Alena SLIACKA KONÔPKOVÁ

MARTINCOVÁ M. – MALOVCOVÁ L. – SLIACKA KONÔPKOVÁ A.: Rozdiely v morfológii prieduchov pri klonoch rýchlorastúcich topoľov. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen

### ABSTRAKT

V predkladanej práci sme sa zamerali na porovnanie morfológie prieduchov pri rôznych klonoch rýchlorastúcich topoľov. Prieduchové charakteristiky sme hodnotili pre 14 klonov topoľov, ktoré boli pestované v klonovom archíve pri obci Budča, ktorý je súčasťou demonštračného objektu plantáže rýchlorastúcich drevín pod správou Technickej univerzity vo Zvolene. Z vybraných klonov sme odobrali asimilačné orgány a z nich odtlačky zo spodnej strany listu. Na odtlačkoch sme následne hodnotili početnosť a veľkosť prieduchov a vypočítali index potenciálnej vodivosti prieduchov. Z výsledkov vyplýva, že výrazne najväčšie prieduchy vykazoval klon *Populus Fritzi Pauley*. Rovnako bola u tohto klonu nameraná aj signifikantne najvyššia hodnota indexu potenciálnej vodivosti prieduchov (až 2,5-násobná) v porovnaní s celkovou priemernou hodnotou indexu potenciálnej vodivosti prieduchov pre sledované klony. Predpokladá sa, že práve tento klon by mohol vykazovať najvyššiu schopnosť asimilácie CO<sub>2</sub>, s čím by mohol súvisieť aj jeho rýchlejší rast. Pri výbere vhodného sadbového materiálu by sa však malo zväziť aj posúdenie iných vlastností, ako je napríklad tolerancia voči suchu či vysokým teplotám.

**Kľúčové slová:** *Populus sp.*, veľkosť prieduchov, hustota prieduchov, index potenciálnej vodivosti prieduchov, klon

### ÚVOD

Prieduchy sú štruktúry v pokožkových pletivách listov rastlín, ktoré zabezpečujú reguláciu výmeny plynov medzi rastlinou a okolitým vzduchom. Sú tvorené dvojicou buniek obličkovitého tvaru, takzvanými zatváracími bunkami, medzi ktorými sa nachádza prieduchová štrbina ústiaca do medzibunkových priestorov pod prieduchom (LARCHER, 2003). Funkciou prieduchov je, pomocou ich otvárania a zatvárania, regulácia výdaja vody vo forme vodných pár (transpirácie) a zároveň príjem CO<sub>2</sub>. Transpirácia je pritom najdôležitejší hybný mechanizmus pri transporte vody a ďalších látok z pôdy do rastliny. Výmena vodnej pary prebieha len jednosmerne, z rastliny do atmosféry, pričom až 90% množstva vody, ktorú rastlina prijme koreňmi sa uvoľní do atmosféry v podobe vodnej pary (CHAVARRIA, DOS SANTOS, 2012). Rozlišujeme dva typy transpirácie, a to stomatál-

nu a kutikulárnu. Dôležitejšia je stomatálna transpirácia, pri ktorej prebieha odparovanie z tenkostenných buniek listového mezofyly do medzibunkových priestorov a odtiaľ práve cez prieduchové štrbinky uniká do atmosféry. Tento proces je na rozdiel od druhého typu regulovateľný už spomínaným otváraním a uzatváraním prieduchov, čo samozrejme ovplyvňuje aj prestup CO<sub>2</sub> do listu (ANDRADE et al., 2005; XU et al., 2019). Otváranie a zatváranie prieduchov je závislé od množstva vonkajších aj vnútorných faktorov, ako napr.: koncentrácia osmoticky aktívnych látok, množstvo vody v rastline, teplota, svetlo a ďalšie podmienky prostredia. Keď má totiž rastlina dostatok vody, turgor v zatváracích bunkách sa zvyšuje, bunky prieduchov sa prehýbajú a prieduchová štrbina sa rozširuje - prieduch je otvorený a cez prieduchovú štrbinu sa zvnútra listu rýchlo odvádzajú vodné pary a dovnútra vstupuje CO<sub>2</sub> (CHAVARRIA, DOS SANTOS, 2012).

Pri hodnotení prieduchových charakteristík sa vychádza z predpokladu, že rastliny s väčšími prieduchmi majú, vďaka väčšej ploche prieduchových štrbín, lepšiu vodivosť pre CO<sub>2</sub>, teda sú schopnejšie CO<sub>2</sub> prijímať vo väčšej miere. Za optimálnych podmienok teda dokážu rýchlejšie asimilovať CO<sub>2</sub>. Samozrejme, toto môže so sebou niesť aj riziko, keďže veľké prieduchy nie sú schopné takej rýchlej reakcie pri nedostatku vody. Pri vodnom deficite ostávajú dlhšie otvorené, čím rastlina stráca väčšie množstvo vody a vystavuje sa riziku vzniku kavitácií v cievach a teda aj odumretiu. Na druhej strane sú však vo všeobecnosti menšie prieduchy schopné reagovať na sucho oveľa rýchlejšie, promptnejšie sa zatvárajú, čím bránia zbytočným stratám vody. Predpokladá sa preto, že rastliny s menšími prieduchmi môžu lepšie tolerovať nedostatok vody (KARDIMAN, RÆBILD, 2018). Problém však môže nastať, ak takéto obdobie trvá dlho a prieduchy sú príliš dlho uzavreté. Nedochádza totiž k príjmu CO<sub>2</sub>, fotosyntéza je teda značne limitovaná, resp. úplne pozastavená. Nedochádza teda k tvorbe cukrov, ktoré sú nevyhnutné ako zdroj energie pre správne fungovanie rastlín, čo v konečnom dôsledku môže taktiež viesť ku chradnutiu a odumretiu celej rastliny (McDOWELL, 2011).

Na základe uvedeného sa teda hodnotenie prieduchových charakteristík (veľkosť, početnosť) javí ako vhodné pri posudzovaní možnej výkonnosti, resp. odolnosti rastlín na suchu. Zároveň, by mohlo byť použité pri výbere vhodného sadbového materiálu pre konkrétne stanovište, keďže podľa konkrétneho stanovišťa je dobré sa zamerať na prieduchové charakteristiky, ktoré buď umožňujú rastline šetriť vodu, alebo maximalizujú jej produkciu, resp. nájsť medzi týmito charakteristikami optimálnu rovnováhu.

V súčasných podmienkach meniacej sa klímy, ktorá so sebou prináša častejšie a intenzívnejšie suchá a vlny horúčav, sa už aj pri pestovaní energetických plodín pozornosť upriamuje čoraz viac na ich odolnosť voči nepriaznivým environmentálnym podmienkam. Hlavným kritériom samozrejme zostáva produkcia biomasy, preto sa pre tieto účely najčastejšie využívajú rýchlorastúce dreviny. Tie sú charakteristické tým, že sú schopné rásť nadpriemernou rýchlosťou a ich ročný prírastok je väčší ako 10 m<sup>3</sup>/ha. Tieto dreviny majú schopnosť vytvárať výmladky z pňov a koreňov, čo vlastne umožňuje ich zber v krátkych

intervaloch. Na Slovensku, vzhľadom na klimatické a pôdne podmienky, je perspektívne pestovanie hlavne energetických porastov víby, topoľa a agátu, ktoré je možné pestovať na nevyužitej ornej pôde, lúkach a pastvinách, (GEFFERTOVÁ, GEFFERT, 2012). Medzi najrýchlejšie rastúce dreviny na Slovensku, ktoré sú veľmi vhodné pre účely bioenergetiky, sú považované topole, pričom práve pre účel energetiky sa pestuje mnoho druhov šľachtených hybridov (ORAVEC ET AL., 2012).

Cieľom predkladaj práce, je preto porovnať morfológiu prieduchov vybraných klonov rýchlorastúcich topoľov a na základe týchto prieduchových charakteristík vytipovať klony, ktoré by mohli byť viac produktívne, respektíve by mohli lepšie odolávať vodnému deficitu.

## MATERIÁL A METÓDY

### *Rastlinný materiál*

Morfológiu prieduchov bola sledovaná na 14 rôznych klonov topoľa (Tabuľka 1). Topole boli pestované v klonovom archíve, ktorý je umiestnený v katastrálnom území obce Budča. Klonový archív bol založený v roku 2007 a je súčasťou demonštračného objektu plantáže rýchlorastúcich drevín, ktorý spravuje Technická univerzita vo Zvolene. Nachádza sa v blízkosti hlavnej cesty medzi obcou Budča a Turová, v nadmorskej výške 312 m n.m. Výmera tohto objektu je 0,21 ha.

**Tabuľka 1** Charakteristika testovaných klonov topoľa

Č. klonu	Názov klonu	Charakteristika klonu
P739	topoľ 'NL-B-132m'	<i>Populus × euroamericana</i> (Dode) Guinier
P741	topoľ 'Virginiana de Frignicourt'	<i>Populus × euroamericana</i> (Dode) Guinier
P462	topoľ 'Androscoggin'	<i>Populus maximowiczii × trichocarpa</i> (Stout et Schreiner)
P284	topoľ 'Robusta'	<i>Populus × euroamericana</i> (Dode) Guinier
P239	topoľ 'I-476'	<i>Populus × euroamericana</i> (Dode) Guinier
P467	topoľ 'NE-42'	<i>Populus maximowiczii × trichocarpa</i> (Stout et Schreiner)
P494	topoľ 'Oxford'	<i>Populus maximowiczii × P. × berolinensis</i> (Stout et Schreiner)
P716	topoľ 'Panonnia'	<i>Populus × euroamericana</i> (Dode) Guinier
P114	topoľ 'Fritzi Pauley'	<i>Populus trichocarpa</i> (Torr. et Gray f)
P463	topoľ 'MAXI'	<i>Populus maximowiczii × nigra</i>

P611	topoľ 'MAX2'	<i>Populus maximowiczii</i> × <i>nigra</i>
P603	topoľ 'MAX3'	<i>Populus maximowiczii</i> × <i>nigra</i>
P616	topoľ 'MAX4'	<i>Populus maximowiczii</i> × <i>nigra</i>
P617	topoľ 'MAX5'	<i>Populus maximowiczii</i> × <i>nigra</i>

#### *Odber odtlačkov prieduchov*

Pre stanovenie prieduchových charakteristík bolo pre každý klon topoľa vybraných desať jedincov, z ktorých sme odoberali vzorky listov. Listy sme odoberali počas vegetačného obdobia na konci augusta 2020, pričom vzorky boli odoberané z hornej časti koruny pomocou teleskopických nožníc. Vždy sme sa zamerali na listy z juho-východnej časti koruny, aby sme čo najviac limitovali možnosť, že veľkosť alebo počet prieduchov sú ovplyvnené orientáciou listu v korune a teda rozdielnemu vystaveniu slnečnému žiareniu. Odoberaté listy sme následne spracovali v laboratóriu.

V laboratóriu sme z každého jedného listu postupne odoberali odtlačky prieduchov pomocou transparentného laku, ktorý sme v tenkej vrstve naniesli na spodnú stranu listov. Po uschnutí laku sme lak prelepili priesvitnou lepiacou páskou, jemne stiahli a takto vytvorený odtlačok prieduchov preniesli na podložné mikroskopické sklíčko. Odtlačky prieduchov sme následne fotili pomocou mikroskopu s integrovanou kamerou (Motic BA210, Motic Electric, Rakúsko) pri zväčšení 10x10 a 40x10.

#### *Stanovenie počtosti prieduchov*

Na vyhodnotenie počtosti prieduchov (SD) sme pre každý odtlačok prieduchov zhotovili dve snímky pri 100-násobnom zväčšení (10x10). Prieduchy sa na snímkach počítali manuálne v programe ImageJ. V tomto programe sme si na snímke najskôr spravili štvorec o veľkosti 1,5 x 1,5 mm. Následne sme využili nástroj multipoint a v rámci vyznačeného štvorca, sme spočítali všetky prieduchy. Ak boli prieduchy na hranici štvorca, počítali sme iba tie, ktoré pretínali jeho 2 strany, pravú a vrchnú. Výsledný počet sme následne prerátali na počet prieduchov na 1 mm<sup>2</sup>.

#### *Stanovenie veľkosti prieduchov*

Veľkosť prieduchov (LA) bola stanovená na snímkach so 400-stonásobným zväčšením (40x10). Na každej snímke sme si vybrali päť ľubovoľných prieduchov, ktorých dĺžku sme zmerali v programe ImageJ.

#### *Stanovenie indexu potenciálnej vodivosti*

Index potenciálnej vodivosti (PCI) bol vypočítaný pre každého jedného jedinca pomocou vzorca:

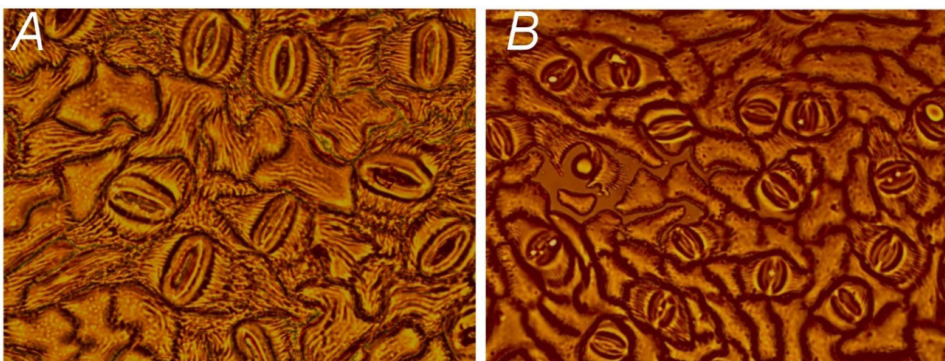
$$PCI = \frac{LA^2 \cdot SD}{1000},$$

kde LA je priemerná dĺžka prieduchov na jedinca, SD priemerná hodnota počtosti prieduchov jedinca na 1 mm<sup>2</sup>.

### Matematicko-štatistické vyhodnotenie výsledkov

Namerané dáta boli vyhodnotené v programe Excel a STATISTICA 12 (Stat-Soft®, USA). V Exceli boli vypočítané základné štatistické charakteristiky nameraných údajov (priemer a smerodajná odchýlka) a dáta boli vizualizované pomocou pásových grafov. Štatistická významnosť rozdielov bola stanovená v programe STATISTICA pomocou jednofaktorovej analýzy variancie (ANOVA) a následne boli pomocou Tuckeyovho post-hoc testu stanovené rozdiely medzi párami na hladine významnosti 5%.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

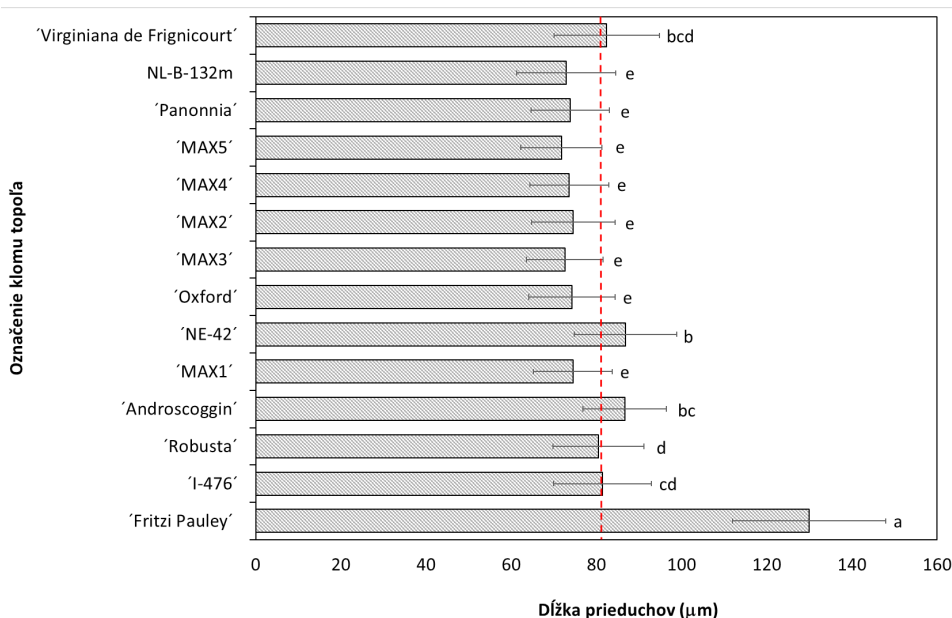


Na základe Obrázku 2 je možné konštatovať, že najdlhšie prieduchy boli namerané na listoch klonu *Populus Fritzi Pauley* (129.92  $\mu\text{m}$ , Obrázok 1A). Táto hodnota bola v porovnaní s dĺžkou prieduchov všetkých ostatných sledovaných klonov topoľa, štatisticky významne vyššia. Naopak, signifikantne najnižšie hodnoty, v rozmedzí od 71.8 do 74.56  $\mu\text{m}$ , sme pozorovali u 8 klonov a to: *Populus MAX1* (Obrázok 1B), *Populus Oxford*, *Populus MAX3*, *Populus Max2*, *Populus MAX4*, *Populus MAX5*, *Populus Panonnia* a *Populus NL-B-132m*. Ostatné klony, konkrétne *Populus I-476*, *Populus Robusta*, *Populus Androscoggin*, *Populus NE-42* a *Populus Virginianna de Frignisourt*, vykazovali stredné hodnoty, ktoré však boli v priemere o cca 12  $\mu\text{m}$  väčšie ako najnižšie namerané hodnoty. Priemerná dĺžka prieduchov za všetky sledované klony topoľa bola 81.13  $\mu\text{m}$ .

S týmito údajmi môžeme zhodnotiť, že klon *Fritzi Pauley* vykazoval o vyše 40% dlhšie prieduchy v porovnaní s priemerom, čo by mu mohlo zabezpečiť schopnosť najrýchlejšie asimilovať  $\text{CO}_2$  a teda vykazovať najrýchlejšiu rast. Avšak, podľa KARDIMANA a Ræbilda (2018), väčšie prieduchy vykazujú pomalšie zatváranie a teda aj pomalšiu reakciu na vodný deficit. Preto by klon *Fritzi Pauley* mohol vykazovať menšiu odolnosť voči suchu.



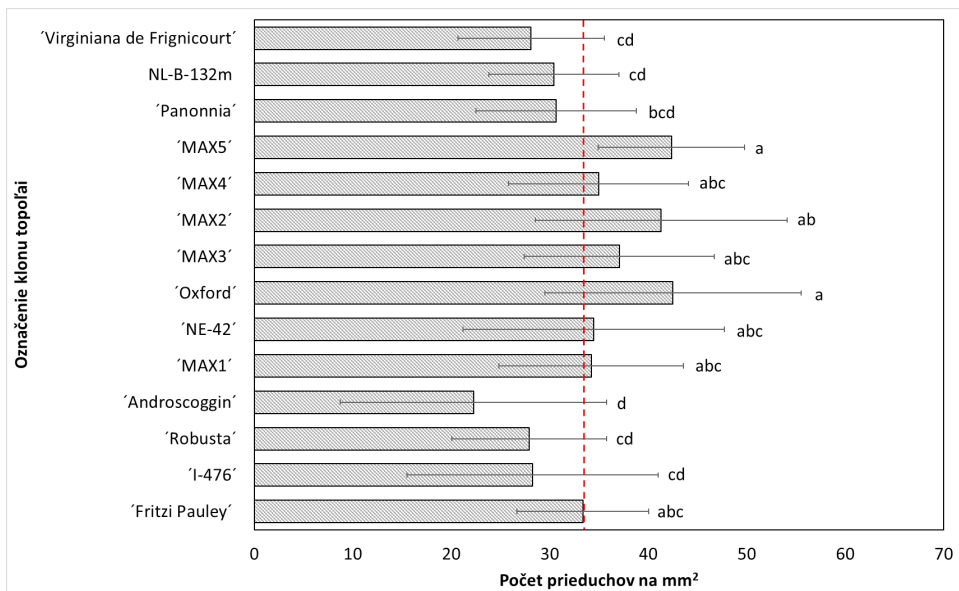
Naopak klony s menšími prieduchmi by podľa tohto predpokladu mali vykazovať vyššiu odolnosť voči suchu, keďže ich reakcia na nedostatok vody je promptnejšia. Tým pádom sa vedia brániť zbytočným stratám vody počas vodného deficitu oveľa efektívnejšie.



sa pre dane klony štatisticky významne odlišujú. Červená prerušovaná čiara znázorňuje celkovú priemernú hodnotu dĺžky prieduchov.

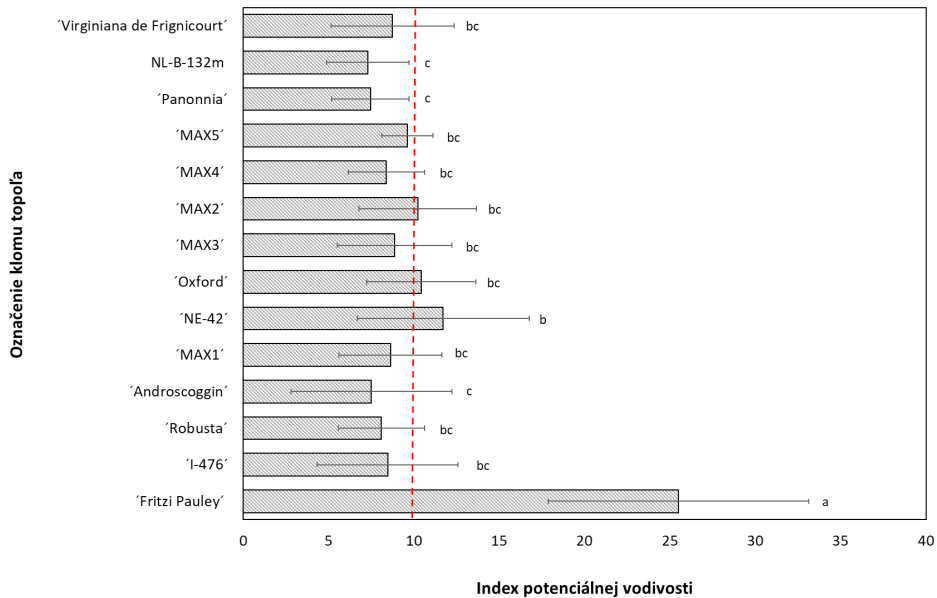
Na Obrázku 3 môžeme sledovať, že celkový rozptyl početnosti prieduchov nie je až taký výrazný, ako pri veľkosti prieduchov, a že žiadny zo sledovaných klonov extrémne neprevyšuje celkovú priemernú hodnotu počtu prieduchov (ako tomu bolo pri dĺžke prieduchov). Tá bola u všetkých sledovaných klonov topoľov 33,4 prieduchov na 1 mm<sup>2</sup>. Medzi klony s najväčšou početnosťou prieduchov patria: *Populus Oxford* a *Populus MAX5* (43, resp. 42 prieduchov na 1 mm<sup>2</sup>). Do skupiny s najnižšou početnosťou prieduchov, v rozmedzí od 28 do 30 prieduchov na 1 mm<sup>2</sup>, možno zaradiť klony *Populus I-476*, *Populus Robusta*, *Populus NL-B132m* a *Populus Virginiana de Frignicourt*. Medzi klony so strednými hodnotami, od 33 po 41 prieduchov na 1 mm<sup>2</sup>, spadajú klony *Populus Fritzi Pauley*, *Populus MAX1*, *Populus NE-42*, *Populus MAX3*, *Populus MAX2*, *Populus MAX4* a *Populus Panonnia*. Klon *Populus Androscoggin* vykazuje výrazne nižšiu hodnotu početnosti prieduchov a to len 22 prieduchov na 1 mm<sup>2</sup>.





**Obrázok 3** Priemerné hodnoty  $\pm$  smerodajné odchýlky počtu prieduchov na 1 mm<sup>2</sup> pre jednotlivé klony topoľov. Rozdielne písmená v grafe označujú, že priemerné hodnoty počtu prieduchov sa pre dané klony štatisticky významne odlišujú. Červená prerušovaná čiara znázorňuje celkovú priemernú hodnotu počtu prieduchov na 1 mm<sup>2</sup>.

Čo sa týka priemerných hodnôt veľkosti aj početnosti prieduchov, WILLMER, FRICKER (1996) popisujú, že sa u stromov veľkosť prieduchov pohybuje medzi 10 a 50  $\mu\text{m}$  a počet medzi 30 a 1190 mm<sup>2</sup>. Často sa popisuje negatívny vzťah medzi veľkosťou a počtom - čím má rastlina menej prieduchov, tým sú väčšie a naopak (HETHERINGTON, WOODWARD, 2003). Do týchto prímerov spadá aj väčšina našich drevín, ako napr. buk lesný, kde sa priemerné hodnoty dĺžky prieduchov pohybujú okolo 23  $\mu\text{m}$  s priemerným počtom 165 prieduchov na mm<sup>2</sup> (PETRÍK ET AL., 2020), dub zimný s dĺžkou prieduchov okolo 33  $\mu\text{m}$  a početnosťou 430 prieduchov na mm<sup>2</sup> (MASAROVICHOVÁ, 1991), či smrek s priemernou veľkosťou 35  $\mu\text{m}$  a počtom cca 42 prieduchov (WANG ET AL., 2019). CAMARGO, MARENCO (2011) popísali priemerné hodnoty veľkosti a počtu prieduchov 35 druhov drevín v centrálnnej Amazónii v rozmedzí od 7,5-24,5  $\mu\text{m}$  a 110-840 prieduchov na mm<sup>2</sup>. Nami namerané hodnoty veľkosti prieduchov sa pohybovali vysoko nad hodnotami uvádzanými pri iných drevinách, čo by mohlo vysvetľovať vysokú schopnosť rastu u topoľov. Na druhej strane, početnosti prieduchov u sledovaných klonov topoľa sú kvôli ich vysokej veľkosti pomerne nízke.



**Obrázok 4** Priemerné hodnoty  $\pm$  smerodajné odchýlky indexu potenciálnej vodivosti prieduchov pre jednotlivé klony topoľov. Rozdielne písmená v grafe označujú, že priemerné hodnoty indexu potenciálnej vodivosti prieduchov sa pre dané klony štatisticky významne odlišujú. Červená prerušovaná čiara znázorňuje celkovú priemernú hodnotu indexu potenciálnej vodivosti prieduchov.

Na grafe zobrazujúcom priemerné hodnoty indexu potenciálnej vodivosti prieduchov pre sledované klony topoľov (Obrázok 4) môžeme vidieť, že signifikantne najvyšší PCI vykazoval klon *Populus Fritzi Pauley*. Hodnota PCI u tohto klonu topoľa bola až 2,5-násobná oproti celkovej priemernej hodnote indexu potenciálnej vodivosti prieduchov (10,07). Pri tomto klone sú prieduchy najväčšie a majú priemernú hustotou. Predpokladaná plocha prieduchových štrbín, ktorú tento index popisuje, je teda najvyššia. Preto predpokladáme, že *Fritzi Pauley* by vykazoval najlepšiu vodivosť prieduchov pre CO<sub>2</sub> a teda aj asimilácia CO<sub>2</sub> by mala u tohto klonu prebiehať najefektívnejšie, čo preň v konečnom dôsledku môže znamenať najrýchlejšiu rast zpredmetovaných klonov.

Nízky index potenciálnej vodivosti prieduchov bol pozorovaný u klonov *Populus Androscoggin*, *Populus Panonnia* a *Populus NL-B-132m*. Pri týchto klonoch topoľa bol nameraný index potenciálnej vodivosti prieduchov v priemere 7,42 a teda môžeme predpokladať, že by mali mať kvôli nízkej vodivosti prieduchov, nižšiu schopnosť prijímať CO<sub>2</sub>, čo môže v konečnom dôsledku znamenať obmedzenú fotosyntézu a teda aj pomalší rast. Hodnoty PCI blízke nami nameranému celkovému priemeru, sme pozorovali u klonov *Populus I-476*, *Populus Robusta*, *Populus MAX1*, *Populus NE-42*, *Populus Oxford*,

*Populus MAX3, Populus MAX2, Populus MAX4, Populus MAX5 a Populus Virginiana de Frignicourt.*

Niekoľko štúdií potvrdzuje vysokú produktivitu klonu *Fritzi Pauley*. Napr. NIEMCZYK ET AL. (2016) porovnávali produktivitu a zložky biomasy na 10 klonov topoľa zo sekcie Aigeiros a Tacamahaca v 5- a 6-ročných rotáciách. Práve *Fritzi Pauley* patril medzi najproduktívnejšie, čo korešponduje s veľkým potenciálnym indexom vodivosti, ktorý sme zistili. Vysokoproduktívny bol aj klon *NE-42*, ktorý aj v našom prípade mal druhé najvyššie namerané hodnoty. MILNE ET AL. (1992) pozorovali takmer o tretinu vyššiu produktivitu u klonu *Fritzi Pauley* v porovnaní s klonom *Robusta*. Naopak, PILIPOVIĆ ET AL. (2020) porovnávali 3 klony topoľa z hľadiska rastu a fyziologickej výkonnosti, pričom klon *Pannonia*, ktorý aj u nás mal nízke hodnoty PCI, vykazoval najpomalší rast.

## ZÁVER

Informácia o morfológii prieduchov nám môže pomôcť odhadnúť jednak efektivitu príjmu CO<sub>2</sub> a taktiež môže súvisieť so schopnosťou rastliny efektívne využívať vodu. Oba parametre sú pre plantáže rýchlorastúcich drevín (a porasty všeobecne) kľúčové, pričom táto predbežná štúdia potvrdzuje, že rozdiely v morfológii prieduchov existujú aj v rámci druhu *Populus sp.* Naše výsledky ukazujú, že prieduchové charakteristiky a hlavne index potenciálnej vodivosti prieduchov, by mohli byť mať potenciál pri výbere vhodných klonov/drevín pre výsadbu plantáží rýchlorastúcich drevín podľa konkrétneho stanovišťa. Samozrejme, pre „silnejšie“ závery by sme potrebovali zhodnotiť väčšie množstvo súvisiacich dát – najmä rýchlosť rastu, klimatické merania, merania výmeny plynov, kalorimetrické merania, morfológiu listov a medziročne zmeny prieduchových charakteristik. Významnosť zistených rozdielov však naznačuje, že ďalší výskum má opodstatnenie a preto máme v pláne v spracovaní vzoriek a dát pokračovať. Podrobnejší výskum sa bude nevyhnutne obmedzovať na menší počet klonov, pričom získané výsledky nám pomôžu pokryť celé rozpätie zistených hodnôt.

## LITERATÚRA

- ANDRADE, J.L., MEINZER, F.C., GOLDSTEIN, G., SCHNITZER, S.A., 2005. Water uptake and transport in lianas and co-occurring trees of a seasonally dry tropical forest. *Trees* 19, 282–289.
- CAMARGO, M.A.B., MARENCO, R.A., 2011. Density, size and distribution of stomata in 35 rainforest tree species in Central Amazonia. *Acta Amaz.* 41, 205–212.
- CHAVARRIA, G., DOS SANTOS, H.P., 2012. Plant water relations: absorption, transport and control mechanisms, in: (ed.), *Advances in selected plant physiology aspects*. InTech.
- GEFFERTOVÁ, J., GEFFERT, A., 2012. Rozmerové charakteristiky vlákien vybraných klonov dreveniny *Salix viminalis* – úlv, orm, rapp. *Acta Fac. Xylogologiae zvolen* 54, 15–22.
- HETHERINGTON, A.M., WOODWARD, F.I., 2003. The role of stomata in sensing and driving environmental change. *Nature* 424, 901–908.

- KARDIMAN, R., RÆBILD, A., 2018. Relationship between stomatal density, size and speed of opening in Sumatran rainforest species. *Tree Physiol.* 38, 696–705.
- LARCHER, W., 2003. *Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional.* Springer Berlin Heidelberg, Berlin.
- MASAROVIČOVÁ, E., 1991. Leaf shape, stomata density and photosynthetic rate of the common oak leaves. *Biol. Plant.* 33, 495–500.
- MCDOWELL, N.G., 2011. Mechanisms linking drought, hydraulics, carbon metabolism, and vegetation mortality. *Plant Physiol.* 155, 1051–1059.
- MILNE, R., SATTIN, M., DEANS, J.D., JARVIS, P.G., CANNELL, M.G.R., 1992. The biomass production of three poplar clones in relation to intercepted solar radiation. *For. Ecol. Manag.* 55, 1–14.
- NIEMCZYK, M., WOJDA, T., KALISZEWSKI, A., 2016. Biomass productivity of selected poplar (*Populus spp.*) cultivars in short rotations in northern Poland. *N. Z. J. For. Sci.* 46, 22.
- ORAVEC, M., BARTKO, M., SLAMKA, M., 2012. Postupy intenzifikácie produkcie drevnej biomasy na energetické využitie. Národné lesnícke centrum – lesnícky výskumný ústav, Zvolen, Slovakia.
- PETŘÍK, P., PETEK, A., KONŔPKOVÁ, A., BOSELA, 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* 11, 1359.
- PILIPOVIĆ, A., ZALESNY, R.S., ORLOVIĆ, S., DREKIĆ, M., PEKEČ, S., KATANIĆ, M., POLJAKOVIĆ-PAJNIK, L., 2020. Growth and physiological responses of three poplar clones grown on soils artificially contaminated with heavy metals, diesel fuel, and herbicides. *Int. J. Phytoremediation* 22, 436–450.
- WANG, M.H., WANG, J.R., ZHANG, X.W., ZHANG, A.P., SUN, S., ZHAO, C.M., 2019. Phenotypic plasticity of stomatal and photosynthetic features of four *Picea* species in two contrasting common gardens. *AoB PLANTS* 11, plz034.
- WILLMER, C.M., FRICKER, M., 1996. *Stomata*, 2nd ed. ed, Topics in plant functional biology. Chapman & Hall, London.
- XU, K., GUO, L., YE, H., 2019. A naturally optimized mass transfer process: The stomatal transpiration of plant leaves. *J. Plant Physiol.* 234–235, 138–144.

## POĎAKOVANIE

Táto práca vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Komplexný výskum mitigačných a adaptačných opatrení na zmiernenie negatívnych dopadov klimatických zmien na lesné ekosystémy Slovenska (FORRES), kód ITMS: 313011T678, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja. Práca vznikla taktiež s finančnou podporou projektu VEGA č. 1/0535/20. Ďakujeme tiež doc. Ing. Martinovi Lieskovskému, PhD. za sprístupnenie plochy.

### Adresa autorov:

Bc. Miroslava Martincová

Ing. Lenka Malovcová

Mgr. Alena Sliacka Konôpková, PhD.

Fakulta integrovanej ochrany lesa a krajiny

Lesnícka fakulta

Technická Univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24

960 01 Zvolen

e-mail: mirkamartincova98@gmail.com, e-mail: lenka.malovcova@gmail.com

e-mail: alena.konopkova@tuzvo.sk

### **Summary: Differences in stomatal morphology of fast-growing poplar clones**

In the study, we compared the stomatal morphology of fast-growing poplar clones. Stomatal characteristics were assessed for 14 poplar clones, which were growing in a clone archive in Budča, which is a part of the demonstrative object of fast-growing woody species managed by the Technical University in Zvolen. We collected leaves from selected clones and took the stomatal imprints. Subsequently, we assessed the density and size of the stomata, as well as calculated the potential conductance index of the stomata. The results showed the clone FRITZI PAULEY has the biggest stomata. Similarly, this clone has the highest value of potential conductance index, which was 2,5 times higher compared to the overall average value of the potential conductance index of studied clones. We assume that the clone could show the highest ability of CO<sup>2</sup> assimilation and related faster growth. However, assessing other features, such as drought and heat tolerance, should also be considered when selecting appropriate seed material.

# ACCUMULATION OF LEAD IN FRUITING BODIES OF MACROMYCETES NEAR A SHOOTING RANGE

Radoslav KRCHNAVÝ, Martin PAVLÍK

KRCHNAVÝ, R., PAVLÍK, M.: Accumulation of lead in fruiting bodies of macromycetes near a shooting range. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen

---

## ABSTRAKT

Fungi are an essential part of ecosystems across the entire globe. Their roles in nutrient circulation, biomass decomposition and food chains are irreplaceable. With human activity becoming increasingly impactful on the environment with every coming decade, it is important to consider how it will impact the landscape and organisms within it, including human beings. Many contaminants are released into nature whether directly as waste, or indirectly as a by-product of production or other human activities. Among these contaminants, heavy metals are particularly dangerous. They are often hard to degrade via natural processes, therefore they linger in the environment for a considerably long time. Lead (Pb), as one of the heavy metals, has particularly deleterious effects on human health. Edible species of fungi can accumulate heavy metals into their fruiting bodies, therefore moving elements such as lead through the food chain when consumed. With how severe lead poisoning can be and how even a small dose can cause long term health issues, the topic of heavy metal accumulation in biomass should be studied more carefully. The research aimed at the detection of lead content in macromycete fruiting bodies was carried out in a forest stand in the immediate vicinity of a sport shooting range near the village of Sielnica (Slovakia). According to the obtained results, the concentration of lead in the soil and in the fruiting bodies of mushrooms decreases with increasing distance from the shooting range, but it is still high. Consumption of edible mushroom species from this area is hazardous to human health. The impact of lead on other parts of the ecosystem in this area should be evaluated by detailed research.

**Keywords:** Fungi, lead, contamination, accumulation, shooting range, health risk.

---

## 1. INTRODUCTION

### 1.1 Fungi and their place in the biosphere

Fungi play a vital role in environments, whether they're forests, meadows, or fields with crops, and without them, life as we know it would collapse. The fungus kingdom is responsible for mineral circulation in soil by decomposing organic matter and redistributing all previously used nutrients for another use (BODDY, WATKINSON, 1995). Fungi are also

part of a crucial symbiotic relationship between plants and fungi, known as mycorrhiza, which is necessary for the existence of a vast number of plants.

## **1.2 Fungi and humans**

A large number of fungal species are also fit for human consumption and in some parts of the globe, people are using fungi as an important source of food, especially in Asia. Usage of fruiting bodies of various fungi as a food source or as a ritualistic tool is documented throughout history (PAVLÍK, 2006). Mushrooms in general have very high nutritional value, some are even used as an alternative medicine (RATHORE et al., 2017). Wild mushrooms growing in temperate forests are a favourite delicacy for many people, especially in central Europe. Wild mushrooms are a major threat when it comes to lead entering the food chain. For example, an average Czech household consumes roughly 5.6 kg of fresh mushrooms annually (KALACĚ, 2009). While this number might not be so high, residents living near forests who have good access to collecting wild mushrooms might consume on average around 10 kg annually (SVOBODA et al., 2000). Commercially grown mushrooms which are common in supermarkets represent low-risk contaminants because they are being produced in controlled environments with strict hygienic limitations. This does not completely rule out lead in these types of mass grown mushrooms, but it makes the risk significantly lower (SEYFFERTH et al., 2016).

## **1.3 Lead (Pb)**

Lead, element number 82 in the periodic table, has been part of human civilization since the ancient times of the Roman empire, where it had a wide variety of uses from water distribution in pipes to food or water containers or even as an ingredient for sweetening wine (MOORE et al., 2021). Some scientists even proposed the idea that lead exposure in ancient Rome was a contributing factor to the decline and subsequent fall of the empire (GILFILLAN, 1965). Whether true or not, with how broad today's understanding of lead toxicity is, it is of utmost importance to keep this element from accumulating in our bodies, for it can cause a wide variety of health issues. With the introduction of lead enriched gasoline in the latter half of the century, our understanding of lead poisoning has been steadily improving. Even though leaded gasoline has been banned, many frequented roads today are contaminated by heavy metals, lead included. This problem is only increasing as human population and number of cars is still rising, since lead is still an important part of automotive technology (MUZYCHENKO et al., 2017).

#### **1.4 Lead migration in food chains**

A problem arises when we consider the fact that fungi can accumulate elemental lead from soil which then enters food chains. Ingestion of the contaminated food source is one of the main ways of how lead enters our bodies (DUMAT et al., 2020). Normally, elevated lead content in the fruiting bodies of mushrooms is not visible in any way. While some growth anomalies might be noticeable in side-by-side comparison at higher concentrations, even then, lead might not be the main suspect. At lower lead concentrations in fungi, no visible effects on growth (anomalies, abnormal growth) were observed (FALANDYSZ et al., 1994). This is a big problem mainly for wild mushrooms collected by enthusiasts or roadside sellers, who may lack the knowledge of lead toxicity. There are many other sources of lead contamination other than roads, for example ore mines, oil industry, battery production, ammunition production, outdoor shooting ranges or glass industry (KUMAR, 2020). One of them might seem like an obvious source at first, but only at closer inspection the true extent of lead contamination might be assessed. As the title suggests, sources in question are shooting ranges.

Tolerable limits for wild mushrooms are considered 5 milligrams of lead per kilogram of dry weight (PETKOVŠEK, POKORNY, 2013). This information comes from Slovenian research. Since lead can enter the body even through skin, or inhalation, ingestion is not the only pathway (DUMAT et al., 2020). When it comes to mushrooms that are easily accessible from supermarkets, lead regulations are, fortunately, very strict. The authorities' efforts to enforce any regulations on lead content are realistic, but control is very difficult, especially for individual harvesting in the field. Therefore, the awareness about the possibility of contamination is the best prevention nowadays. Lead content in mushrooms depends mostly on how densely the surrounding area is populated and/or used by various industries, however, not much can be done outside of public recommendations to limit harvest in specific areas. No lead concentration is considered safe, since lead has no known benefits to human health in any meaningful quantity (NEEDLEMAN, 1991). Safe Food Advocacy Europe (SAFE) was advocating for stricter lead regulations in August 2021, proposing values much lower than 5 milligrams per kilogram of dry weight. As of today, safe limits for commercially grown mushrooms are 0.3 milligrams per kilogram of dry weight (CORDEIRO et al., 2015). With the results of various studies from other parts of the world, a value of 0.3 milligrams per kilogram is hardly realistic to achieve in wild mushrooms, since most wild edible mushrooms have a higher concentration.

#### **1.5 Lead poisoning**

Lead poisoning is very serious, symptoms depend on dose but almost all doses cause some form of permanent damage, because lead acts as a neurotoxin (CHASE, RABE,



2015). Detrimental effects of lead are often not immediate after exposure, because lead accumulates in human tissues, bones, and blood (KUMAR, 2020). Although dangerous concentrations of lead in blood are not strictly defined, it should be noted that any amount of lead in blood is harmful, however mild, neurological symptoms may appear at around 8 micrograms per decilitre of blood, which only gets worse with higher concentrations (GRAZIANO et al., 1996). Unfortunately, children are much more vulnerable to harmful effects of lead, not only do they have more severe symptoms, but also absorb more into their tissues when ingested (SAHA, 2016). Symptoms of lead poisoning may vary from person to person, with the most common ones including elevated blood pressure, memory loss, muscle and joint pain, digestive issues, anaemia, cancer, kidney failure, and reproductive issues (USEPA, 2005). Abnormal behaviour, cognitive issues or short-term memory loss are caused by the mechanism in which lead replaces calcium ions in neurons, which inhibits communication between them, therefore rendering the pathway permanently shut down (ARA, USMANI, 2015). The severity of effects is based on dosage, but is largely individual. The total amount of lead ingested in a single incident also causes different symptoms than prolonged small exposure, with the central nervous system mainly affected with a single high dose, while chronic exposure causes stomach issues (ARA, USMANI, 2007).

### **1.6 Outdoor shooting ranges and lead proliferation**

Outdoor shooting ranges are important facilities when it comes to recreation, training, and education. Being accurate as a wild game hunter is an important trait and consistent practice is the best way to improve. Part of the consistency is using live ammunition, which often consists of primarily lead metal. Even though many other metals can be made into projectiles, none can compare to the ballistic characteristics of lead (THOMAS, 2013). Therefore, as a factor of consistent training, using the same ammunition while practicing and hunting is crucial, as a precise shot brings immediate death to the hunted animal, sparing it of any suffering. One particular issue outdoor shooting ranges have is the accumulation of a large number of lead pellets shot from shotguns, which missed the intended target or have been shot at flying targets, scattering almost all pellets into the surrounding environment (KELEBEMANG et al., 2017). Subsequent weathering and migration of these pellets increases the area upon which lead is causing contamination.

The aim of this article is not only to provide a comprehensive overview of how lead can affect our health, but more importantly, how it can enter the food chain by consuming mushroom fruiting bodies collected in forest stands, around the impact area of lead ammunition from a sport shooting range. The aim is also to provide general safety recommendations for people living near sources of contamination. Given how dangerous and devastating lead poisoning can be, much more attention should be paid to the issue of lead in wild-collected food.

## **2. MATERIALS AND METHODS**

To determine the extent and severity of lead contamination of environments near shooting ranges, samples of soil and mushrooms have been collected and studied in detail in laboratory. As a first step, the research transect was established. The transect was of 10 meters wide and located away from the firing line, in the line where most pellets were expected, after discussion with experts at the shooting range. The next step was a distance measurement to determine how distance from the source (-i.e., the firing line of the firing range) affects lead distribution. A nearby forest provided an obstacle for pellets. For comparison, a forest with near identical characteristics located nearby was used as a clean area. It was far enough to eliminate all pellet fallout from the shooting range.

### **2.1 Situation in the observed area**

The selected shooting range has been operating for 40 years. During this period, large quantities of lead pellets were accumulated in the soil. Different ammunition is usually aimed horizontally and stopped by a soil berm. Shotguns are occasionally aimed at flying targets. With how the shooting range is situated, most pellets fly to the northwest, into the neighbouring forest stand.

### **2.2 Soil samples**

Soil samples were taken at 3 primary spots at distances of 100 meters, 200 meters and 300 meters from firing the line. The goal of this distribution was to assess how lead is distributed within upper 30 cm of the soil horizon based on distance.

These samples were sent to the laboratory, where they were subjected to 2 main methods of determining mineral composition, simple aqueous solution analysis and Mehlich III extraction. The aqueous solution analysis was used to simulate rain precipitation and how it can cause leeching of various metals into the environment. The Mehlich III extraction was used to determine all available minerals and elements.

### **2.3 Fungal samples**

Fungal samples were also collected and sent to the laboratory for analysis. The distance from the firing line was measured for each individual mushroom. In order to correctly identify the species of fungus, various professional sources were used. After identifying the fungi's species name and their distance, they were dried out. For precise chemical analyses, mushroom species, whose fruiting bodies were collected from various distances as well as from the "clean" site, were selected. For analysis, it was required for the samples to weigh at least 5 grams, so multiple fruiting bodies were collected.

## 2.4 Observing how lead in the environment affects mycelia growth.

A small amount of each soil sample was also used to prepare substrate for *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P.Kumm., to observe growth of mycelia in environment with various lead concentrations.

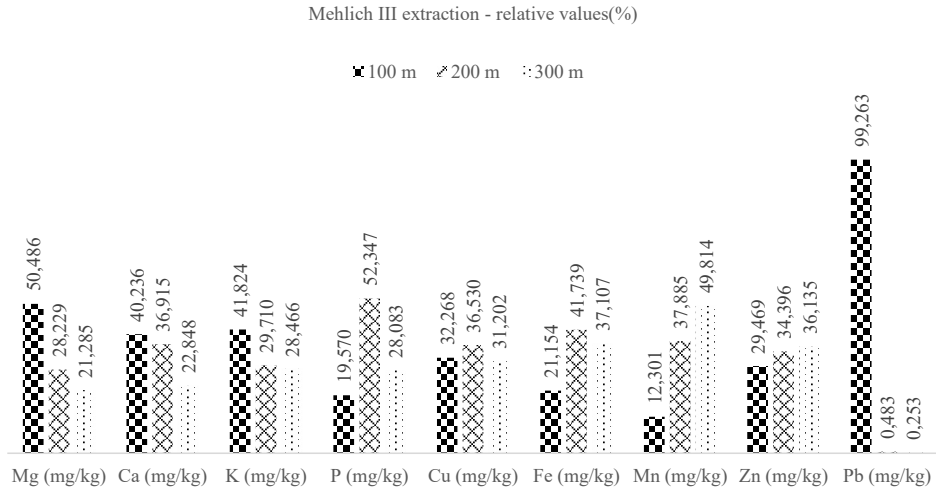
After the soil samples were collected, they were mixed with distilled water and let to sit at a temperature of 22°C for 7 days. After these 7 days, the aqueous solution was thoroughly mixed and poured through a 1 millimetre sieve to dispose of any big pieces of minerals, organic matter, or lead pellets. The growth medium for oyster mushroom was prepared. Substrates had only 1 variable, which was the aqueous solution with soil from various dig sites - 200 ml of solution. The substrates consisted of beech wood chips (washed and dried) – 800 g, wheat bran – 100 g, oyster mushroom grain – 50 g and aqueous solution from soil samples (200 ml). After 4 months of growth, mixtures were dried at 65 °C for 12 hours. After drying, the samples were taken to the Central Laboratory of the National Forestry Centre in Zvolen for chemical analysis.

## 3. RESULTS

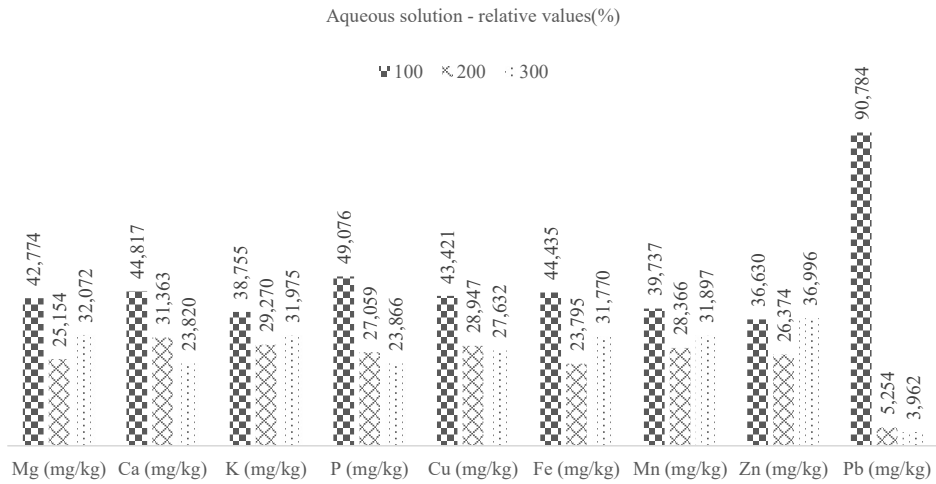
The results from this method yielded much smaller concentrations of elements, only iron and phosphorus had comparable values to Mehlich III. On the other hand, the Mehlich III extraction yielded much higher concentrations of almost every observed metal (magnesium, calcium, potassium, copper, manganese, zinc and lead). The focus of our research was of course lead, which showed almost no correlation with other observed metals, except for calcium in both aqueous solution analysis and Mehlich III extraction, however, no conclusion of this relation has been established. Further study into more detailed soil characteristics in the vicinity of the shooting range is encouraged.

The following figures show the relative distribution of metals between various dig sites for each method. Each individual metal has 3 samples from mentioned dig sites and due to varying values is represented in percentage, rather than parts per million. The sum of all 3 columns for every metal is 100%. As can be seen in Figure 1 and Figure 2, lead distribution has the most significant relation to distance using both methods.

The Mehlich III extraction method showed very high lead values of 3049,84 mg.kg<sup>-1</sup> at the 100-meter mark, which sharply dropped at 200 metres to 14,85 mg.kg<sup>-1</sup> and were approximately halved at 300 metres, to just 7,78 mg.kg<sup>-1</sup>.



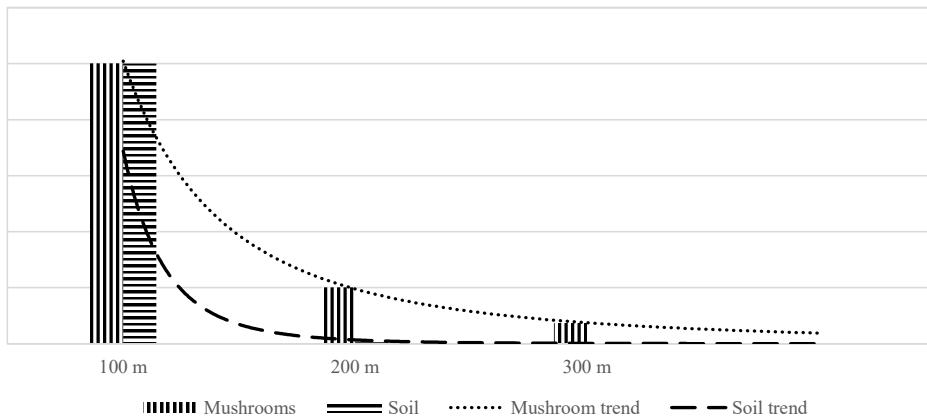
**Figure 1:** Relative quantity of each observed metal in 3 dig sites determined by the Mehlich III extraction method.



**Figure 2:** Relative quantity of each observed metal in 3 dig sites determined by the aqueous solution analysis.

The aqueous solution displayed somewhat less steep decline between the first and second dig sites. The actual values were 42,85 mg.kg<sup>-1</sup> at 100-metre distance, 2,48 mg.kg<sup>-1</sup> at 200 metres and again, approximately halved at 300 metres to 1,87 mg.kg<sup>-1</sup>.

Rate of lead concentration decrease based on distance from firing line



**Figure 3:** Rate of change in lead concentration based on distance, values were scaled for visual clarity.

The graph above shows how lead concentration drops with increased distance from the firing line. The values were scaled to be equal at 100-metre distance, because of the great disparity in numbers. Soil concentration was closely tied to the vast number of pellets just outside the shooting area. Further areas very rarely contained visible pellets and more than 99% of all soil lead content was found at the first dig site. Mushrooms on the other hand had more gradual decline of lead concentration. Large area coverage of mycelium together with the large biomass accumulation of fruiting bodies are likely the main reasons why mushrooms show slower decline in lead concentration. The occasional pellet or different lead fragment might come into contact with the mycelium and be absorbed into the organism.

The focus of this study was mostly on edible species. Large quantities of mushrooms used in chemical analysis were found in forested areas mainly at around the 100-metre mark. These mushrooms had, as expected, the highest concentrations of lead due to their proximity to the firing line. Commonly consumed species like *Macrolepiota procera* (Scop.) and *Lactarius deterrimus* (Gröger) were found here. *Macrolepiota procera* had lead concentration in fruiting bodies  $3,15 \text{ mg.kg}^{-1}$ . *Lactarius deterrimus* had much higher concentration  $45,15 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

Another hotspot of fruiting bodies was located around the 200-metre mark. This location consisted of an old coniferous forest of mainly spruce and fir. The diversity of fungal species in this area was below average, however, the quantity (total biomass of fruiting bodies) was highest. The dominant species at this location belonged to the *Russulaceae* and *Boletaceae* families. This thin strip of forest had trees around 25 – 30

metres tall, serving as the first obstacle to pellets fired at an angle. *Macrolepiota procera* was located here as well, its concentration was 10 mg.kg<sup>-1</sup>, which is higher than at the previous location which was closer to the firing line.

Almost no species from the first 2 zones had values below 5 milligrams of lead per kilogram dry weight. At the distance of 300 metres from the firing line, another specimen of *Macrolepiota procera* was gathered. This time, it had concentration of 2,84 mg.kg<sup>-1</sup>. The biggest lead accumulators were *Laccaria* spp., *Lactarius deterrimus* and *Lycoperdon perlatum*. These mushrooms had on average the highest lead concentrations in their fruiting bodies.

The last location where mushrooms were gathered was from the clean area. This area was more than 800 metres away from the firing line. It also had higher elevation and a dense forest, which would prevent stray lead pellets from penetrating deeper into the environment.

### 3.1 Remediation experiment

The mixtures with the soil samples, which contained oyster mushroom mycelia have had a decrease in lead concentration. Lead concentration dropped by approximately 80% in the most contaminated sample, at 100 metres from the firing line, from 3050 mg.kg<sup>-1</sup> to 594 mg.kg<sup>-1</sup>. At 200 metres, the decrease in concentration was much less significant, however, it still decreased by approximately 20%, from 14,9 mg.kg<sup>-1</sup> to 12,1 mg.kg<sup>-1</sup>. Last site again had a substantial decrease in concentration, by more than 50%, from 7,78 mg.kg<sup>-1</sup> to 3,67 mg.kg<sup>-1</sup>.

## 4. DISCUSSION

Mushrooms found in a clean area were compared with other research, primarily for their lead concentrations. The following table shows lead concentrations from clean areas across Europe and the clean area located near our research area.

Mushrooms, which are commonly gathered for consumption such as genus *Leccinum*, which was present in the research area, contained high lead concentrations in its fruiting bodies, above 5 mg.kg<sup>-1</sup>. Mushrooms from this genus normally have low lead concentrations, below 2 mg.kg<sup>-1</sup>. The lead content in fruiting bodies gathered from the clean area was well within the reported values.

Another common mushroom which is gathered for consumption is *Macrolepiota procera*. This mushroom is known for accumulating heavy metals in its fruiting body (KOSANIĆ, 2016). Despite this, the concentrations of lead in fruiting bodies of this mushrooms not very high, the highest value found was just 10 mg.kg<sup>-1</sup>, which would still be safe for consumption, but due to the high accumulation rate, more was expected.

**Tab. 1:** Lead concentration in fruiting bodies - comparison.

Species	Clean area (literature) mg.kg <sup>-1</sup>	Clean area (our research) mg.kg <sup>-1</sup>
<i>Fomitopsis pinicola</i> (s)	4,73 - 8,17 (SEVINDIK et al., 2017)	1,47
<i>Lactarius deterrimus</i> (m)	0,76 - 1,22 (Širić et al., 2016)	5,11
<i>Lactarius salmonicolor</i> (m)	0,5 - 3 (VÁZQUEZ et al. 2016, CHOWANIAK et al., 2017)	0,299
<i>Leccinum griseum</i> (m)	0,2 - 1,4 (SVOBODA et al., 2000, JARZYŃSKA, FALANDYSZ, 2012)	0,679
<i>Lycoperdon perlatum</i> (s)	2,1 - 5 (SESLI et al., 2008, PETKOVŠEK ,POKORNY., 2013)	13,1
<i>Macrolepiota procera</i> (s)	0,5 - 20 (DEMIRBAŞ, 2000)	7,58
<i>Neoboletus luridiformis</i> (m)	0,17 - 1,63 (PECINA et al., 2022)	4,48

(s) - saprotrophic mushroom

(m) - mycorrhizal mushroom

Another popular mushroom, *Lactarius deterrimus*, which normally has low lead concentration, proved to be potent lead accumulator. Even in clear areas, the concentration was above the safe limit of 5 mg.kg<sup>-1</sup>.

Some fungi surpassed the value of 1200 milligrams of lead per kilogram of dry weight, which should be too high for regular growth of fruiting bodies. The mushrooms in question are *Leccinum griseum* and *Sarcodon imbricatus* (L.). Some of the members of *Trichoderma* genus can withstand these high values (SIDDIQUEE et al., 2013).

## 5. CONCLUSION

The immediate vicinity around the shooting range has very high lead content in soil, thus, collection of fruiting bodies for consumption from this area is strongly discouraged. While some fungi from this area had lead concentrations below tolerable values, the vast majority had concentrations far above the tolerable limit, and are a health hazard when consumed.

The *Lactarius* family is often gathered for consumption and results suggest that these species accumulate lead at a higher rate. More samples need to be taken to confirm this hypothesis and collection of these fruiting bodies is strongly discouraged.

Around 300 metres from the firing line, the lead content in fungi was approaching tolerable values, however continuous consumption of mushrooms from this distance poses a risk of long-term lead exposure, leading to eventual lead poisoning.

The results from our soil remediation experiment were encouraging. It showed that mushrooms can remove large quantities of lead from the soil. Determining the most potent lead accumulators, or growing mushrooms which are easily cultivated, can be later used to continually remove lead from the environment.

From the results of soil and fungal sample analyses, more research needs to be done, from different locations around the source of contamination. Not only more soil samples but also more samples of fruiting bodies need to be examined to start setting safe boundaries, within which safe mushroom picking for consumption can occur. Now, due to the results from an area previously considered safe, there is no substantial evidence which would hint towards the limits of safe lead concentration in mushrooms.

A safe distance where the health risk is insignificant could not be established from the results of this study. A general recommendation for the inhabitants of Sielnica village and surrounding communities is to completely avoid consumption of mushrooms found within 300 metres from the shooting range. Before more data from different locations are gathered, nothing but higher caution can be recommended. If unsure, discarding potential mushrooms would be advised. Higher caution should be dedicated to children, who are more vulnerable to negative effects of lead exposure.

## 6. REFERENCES

- ARA, A. and USMANI, J.A., 2015. Lead toxicity: a review. *Interdisciplinary toxicology*, 8(2), pp.55-64.
- BODDY, L. and WATKINSON, S.C., 1995. Wood decomposition, higher fungi, and their role in nutrient redistribution. *Canadian journal of botany*, 73(S1), pp.1377-1383.
- CHASE, L. and RABE, M.J., 2015. Reducing lead on the landscape: anticipating hunter behavior in absence of a free nonlead ammunition program. *PLoS One*, 10(6), p.e0128355.
- CHOWANIAK, M., NIEMIEC, M. and PALUCH, Ł., 2017. Bioconcentration of cadmium (Cd), copper (Cu), lead (Pb) and zinc (Zn) in *Lactarius salmonicolor* in the Western Carpathians. *Journal of Elementology*, 22(4).
- CORDEIRO, F., LLORENTE-MIRANDES, T., LÓPEZ-SÁNCHEZ, J.F., RUBIO, R., SÁNCHEZ AGULLO, A., RABER, G., SCHARF, H., VÉLEZ, D., DEVESA, V., FIAMEGOS, Y. and EMTEBORG, H., 2015. Determination of total cadmium, lead, arsenic, mercury and inorganic arsenic in mushrooms: outcome of IMEP-116 and IMEP-39. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 32(1), pp.54-67.
- DEMIRBAŞ, A., 2000. Accumulation of heavy metals in some edible mushrooms from Turkey. *Food chemistry*, 68(4), pp.415-419.
- DUMAT, C., SHAHID, M., KHALID, S. and MURTAZA, B., 2020. Lead pollution and human exposure: forewarned is forearmed, and the question now becomes how to respond to the threat!. *Lead in Plants and the Environment*, pp.33-65.
- FALANDYSZ, J., BONA, H. and DANISIEWICZ, D., 1994. Silver uptake by *Agaricus bisporus* from an artificially enriched substrate. *Zeitschrift für Lebensmittel-untersuchung und-forschung*, 199(3), pp.225-228.
- GILFILLAN, S.C., 1965. Lead poisoning and the fall of Rome. *Journal of occupational medicine*, 7(2), pp.53-60.
- GRAZIANO, J.H., BLUM, C.B., LOLACONO, N.J., SLAVKOVICH, V., MANTON, W.I., POND, S. and MOORE, M.R., 1996. A human in vivo model for the determination of lead bioavailability using stable isotope dilution. *Environmental Health Perspectives*, 104(2), pp.176-179.
- JARZYŃSKA, G. and FALANDYSZ, J., 2012. Metallic elements profile of Hazel (Hard) Bolete (*Leccinum griseum*) mushroom and associated upper soil horizon. *African Journal of Biotechnology*, 11(20), pp.4588-4594.
- KALAČ, P., 2009. Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms:



- A review. *Food chemistry*, 113(1), pp.9-16.
- KELEBEMANG, R., DINAKE, P., SEHUBE, N., DANIEL, B., TOTOLO, O. and LAETSANG, M., 2017. Speciation and mobility of lead in shooting range soils. *Chemical Speciation & Bioavailability*, 29(1), pp.143-152.
- KOSANIĆ, M., RANKOVIĆ, B., RANČIĆ, A. and STANOJKOVIĆ, T., 2016. Evaluation of metal concentration and antioxidant, antimicrobial, and anticancer potentials of two edible mushrooms *Lactarius deliciosus* and *Macrolepiota procera*. *Journal of food and drug analysis*, 24(3), pp.477-484.
- KUMAR, A., KUMAR, A., MMS, C.P., CHATURVEDI, A.K., SHABNAM, A.A., SUBRAHMANYAM, G., MONDAL, R., GUPTA, D.K., MALYAN, S.K., KUMAR, S.S. and A. KHAN, S., 2020. Lead toxicity: health hazards, influence on food chain, and sustainable remediation approaches. *International journal of environmental research and public health*, 17(7), p.2179.
- MOORE, J., FILIPEK, K., KALENDERIAN, V., GOWLAND, R., HAMILTON, E., EVANS, J. and MONTGOMERY, J., 2021. Death metal: Evidence for the impact of lead poisoning on childhood health within the Roman Empire. *International Journal of Osteoarchaeology*, 31(5), pp.846-856.
- MUZYCHENKO, I., JAMALOVA, G., MUSSINA, U., KAZULIS, V. and BLUMBERGA, D., 2017. Case study of lead pollution in the roads of Almaty. *Energy Procedia*, 113, pp.369-376.
- NEEDLEMAN, H.L., 1991. *Human lead exposure*. CRC Press.
- PAVLÍK, M., 2006. Pestovanie a využitie húb. *Zvolen: Technical University in Zvolen*.
- PECINA, V., VALTERA, M., DRÁPELA, K., NOVOTNÝ, R., VAHALÍK, P., KOMENDOVÁ, R., BRTNICKÝ, M. and JUŘIČKA, D., 2022. Influence of beech and spruce on potentially toxic elements-related health risk of edible mushrooms growing on unpolluted forest soils. *Scientific reports*, 12(1), p.5407.
- PETKOVŠEK, S.A.S. and POKORNY, B., 2013. Lead and cadmium in mushrooms from the vicinity of two large emission sources in Slovenia. *Science of the Total Environment*, 443, pp.944-954.
- RATHORE, H., PRASAD, S. and SHARMA, S., 2017. Mushroom nutraceuticals for improved nutrition and better human health: A review. *PharmaNutrition*, 5(2), pp.35-46.
- SESLI, E., TUZEN, M. and SOYLAK, M., 2008. Evaluation of trace metal contents of some wild edible mushrooms from Black sea region, Turkey. *Journal of Hazardous Materials*, 160(2-3), pp.462-467.
- SEVINDIK, M., AKGUL, H., AKATA, I.L.G.A.Z., ALLI, H. and SELAMOGLU, Z., 2017. Fomitopsis pinicola in healthful dietary approach and their therapeutic potentials. *Acta alimentaria*, 46(4), pp.464-469.
- SEYFFERTH, A.L., MCCLATCHY, C. and PAUKETT, M., 2016. Arsenic, lead, and cadmium in US mushrooms and substrate in relation to dietary exposure. *Environmental Science & Technology*, 50(17), pp.9661-9670.
- SIDDIQUEE, S., AISHAH, S.N., AZAD, S.A., SHAFAWATI, S.N. and NAHER, L., 2013. Tolerance and biosorption capacity of Zn 2+, Pb 2+, Ni 3+ and Cu 2+ by filamentous fungi (*Trichoderma harzianum*, *T. aureoviride* and *T. virens*).
- SVOBODA, L., ZIMMERMANNOVÁ, K. and KALAČ, P., 2000. Concentrations of mercury, cadmium, lead and copper in fruiting bodies of edible mushrooms in an emission area of a copper smelter and a mercury smelter. *Science of the Total Environment*, 246(1), pp.61-67.
- Širić, I., Humar, M., Kasap, A., Kos, I., Mioč, B. and POHLEVEN, F., 2016. Heavy metal bioaccumulation by wild edible saprophytic and ectomycorrhizal mushrooms. *Environmental science and pollution research*, 23, pp.18239-18252.
- THOMAS, V.G., 2013. Lead-free hunting rifle ammunition: product availability, price, effectiveness, and role in global wildlife conservation. *Ambio*, 42, pp.737-745.
- United States. Environmental Protection Agency. Region II., 2005. *Best management practices for lead at outdoor shooting ranges*. The Agency.
- VÁZQUEZ, E.L., GARCÍA, F.P. and CANALES, M.G., 2016. Major and trace minerals present in wild mushrooms. *American-Eurasian J Agric Environ Sci*, 16(6), pp.1145-1158.

## Acknowledgement

This entry was possible thanks to the project KEGA 002TU Z-4/2022 Mycorestoration

in communal environment.

### **Authors**

Bc. Radoslav Krchnavý  
Department of Integrated Forest of Landscape protection,  
Faculty of Forestry  
Technical University in Zvolen  
T.G. Masaryka 24,  
960 01 Zvolen,  
Slovakia  
e-mail: xkrchnavy@is.tuzvo.sk  
Phone: +421 918 055 106

doc. Ing. Martin Pavlík, PhD  
Department of Integrated Forest of Landscape protection,  
Faculty of Forestry  
Technical University in Zvolen  
T.G. Masaryka 24,  
960 01 Zvolen,  
Slovakia  
e-mail: mrtnpavlik1@gmail.com  
Phone: +421 455 206 253

Akumulácia olova v plodniciach makromycét v blízkosti strelnice

### **Summary**

Huby pôsobia ako akumulátory kontaminantov ťažkých kovov v životnom prostredí. Ťažké kovy, ako napríklad olovo, sú škodlivé pre ľudské zdravie. Konzumáciou jedlých húb sa olovo môže dostať do ľudského tela. Vonkajšie športové strelnice sú zariadenia, ktoré môžu šíriť olovo do životného prostredia. Pôda kontaminovaná olovom je však stále vhodná na rast húb. Mycélium, ale aj plodnice rôznych druhov húb sú teda kontaminované olovom. Huby, ktoré obsahujú olovo, možno zbierať a odstraňovať z prostredia, aby sa znížila celková koncentrácia olova v pôde, čo je možný postup mykoobnovy prostredia. Na základe dlhodobého pozorovania a vyhodnocovania možno vyselektovať druhy, ktoré majú vysokú mieru akumulácie ťažkých kovov, a najmä olova. Taktiež je možné pestovaním vhodných druhov húb v najviac kontaminovaných oblastiach pomaly očistiť oblasť do takej miery, aby bol zber húb možný a bezpečný. Kým sa však taký stav prostredia podarí dosiahnuť, odporúča sa plodnice húb z tejto oblasti nekonzumovať.

Výskum zameraný na zisťovanie obsahu olova v plodniciach makromycét bol realizovaný v lesnom poraste v bezprostrednej blízkosti športovej strelnice neďaleko obce Sielnica (Slovensko). Podľa získaných výsledkov koncentrácia olova v pôde a v plodniciach húb klesá s rastúcou vzdialenosťou od strelnice, ale stále je vysoká. Konzumácia plodníc jedlých húb zo skúmanej oblasti je nebezpečná pre ľudské zdravie. Vplyv olova na ostatné zložky ekosystému v tejto oblasti by sa mal vyhodnotiť podrobným výskumom.

## HODNOTENIE A POTENCIÁL NASADENIA AKUMULÁTOROVÝCH PRENOSNÝCH REŤAZOVÝCH PÍL V PODMIENKACH TRVALO- UDRŽATEĽNÉHO HOSPODÁRENIA

Ing. Dominik GRETSCH  
Doc. Ing. Martin LIESKOVSKÝ, PhD.

GRETSCH, D., LIESKOVSKÝ, M.: Hodnotenie a potenciál nasadenia akumulátorových prenosných reťazových píl v podmienkach trvalo-udržateľného hospodárenia. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen

### ABSTRAKT

Cieľom práce je zhodnotenie a porovnanie výkonnosti dvoch akumulátorových prenosných reťazových píl a jednej reťazovej píly so spaľovacím motorom. Akumulátorové píly sú schopné znížiť množstvo špecifických rizík vznikajúcich pre obsluhu, ako aj minimalizovať niektoré druhy škôd v lesných ekosystémoch. Konkrétne boli porovnávané akumulátorové píly Husqvarna 536 Li xp, Stihl MSA 220 c-bq a spaľovacia píla Stihl MS 261. Hodnotená bola plocha priečnych priereзов a maximálny čas pílenia na plne nabitý akumulátor danej akumulátorovej píly, v prípade píly so spaľovacím motorom na 3 del benzínu z maximálnej kapacity nádrže 5 dcl. Záťažové testy prebiehali v areáli Technickej univerzity na bukovej a jaseňovej vlákninovej hmote približne rovnakej vlhkosti. Časové snímkovanie bolo zabezpečené prostredníctvom dvoch kamier. Hrúbky čela a čapu každého píleného výrezu boli merané súbežne s pílením a následne boli pomocou vzorcov vypočítané hrúbky jednotlivých priečnych priereзов a ich plochy. Pred každým pílením bola hobľovacia reťaz nabrušená, kvôli eliminácii možnosti ovplyvnenia výsledkov prípadným otupením. Pre možnosť porovnania akumulátorových píl a vplyvu druhu píleného dreva na výkonnosť akumulátorových píl bolo vykonané aj meranie výkonnosti na jeden plne nabitý akumulátor pri zbere biomasy z klonového archívu rýchlorastúcich topoľov. Vzhľadom na to, že akumulátory používaných reťazových píl majú rozdielnu kapacitu (Stihl 7,8Ah a Husqvarna 9,4Ah), bola pre objektivizáciu výsledkov porovnávaná plocha priečnych priereзов a čas pílenia prepočítaný na jednu Ampérhodinu kapacity akumulátora.

**Kľúčové slová:** záťažové testy, Stihl, Husqvarna, akumulátorová prenosná reťazová píla

### ÚVOD

Drevo ako kvalitný a ľahkodostupný obnoviteľný materiál je využívaný ľudstvom od nepamäti. S nárastom ľudskej populácie dochádzalo ku výraznému úbytku lesov

a preto sa zmenil aj prístup človeka ku lesom od ich kľčovania v minulosti až ku tzv. trvalo udržateľnému obhospodarovaniu lesov v súčasnosti.

Jednou z výziev lesníckych operácií je zväziť dôsledky rôznych stratégií obhospodarovania a odhadnúť hospodársku, environmentálnu a sociálnu výkonnosť rôznych procesov, produktov alebo služieb (Schweier et al. 2019). Trvalo udržateľnému obhospodarovaniu napomáhajú aj moderné technológie, ktoré je potrebné zavádzať do všetkých činností vykonávaných v lesnom hospodárstve.

Väčšina prác súvisiacich s ťažbovou činnosťou v lesnom hospodárstve je fyzicky a časovo náročná. Preto ľudia začali využívať stroje na zvýšenie efektivity práce a najmä jej uľahčenie. Väčšina týchto strojov fungovala a doteraz aj funguje na princípe spaľovania fosílnych palív čím vznikajú emisie negatívne pôsobiace na životné prostredie. Negatívne pôsobenie emisií sa prejavuje tzv. skleníkovým efektom, ktorý má za následok klimatickú zmenu a prináša so sebou veľké množstvo rizík. Z tohto dôvodu je primárnym cieľom v súčasnosti obmedziť vznik skleníkových plynov nahradením bežných spaľovacích motorov modernými technológiami.

Efektívne stroje, vhodné technické systémy, inovatívne výroby a aktuálna odborná príprava operátorov môžu mať pozitívny vplyv na udržateľnosť. Ekonomické faktory sa menia rýchlym tempom a moderné stroje môžu zohrávať pozitívnu úlohu v lesných prevádzkach (nižšia spotreba paliva a pod.) (Schweier et al. 2019).

Preto sa do popredia dostáva tzv. elektrotechnika, ktorá neprodukuje emisie ako pri bežných spaľovacích motoroch. Využívanie elektromotorov napríklad v automobilovom priemysle sa stalo pomyselným nástrojom na spomalenie globálneho otepľovania. V lesníckom sektore je využívanie elektromotorov v súčasnosti len vo fáze výskumu a to najmä vo veľkých strojoch slúžiacich na približovanie a pod. Avšak v prípade pomocok slúžiacich na manuálnu stínku, ako je prenosná reťazová píla, sa už aj v dnešnej dobe začínajú využívať elektromotory.

V prenosných reťazových pilách a inom náradí sa jedná o malé elektromotory poháňané elektrickou energiou uloženou v akumulátoroch. Tieto batérie sa dobíjajú prostredníctvom nabíjačiek, ktoré napojíme do bežnej siete 220V. Väčšina batérií má univerzálne vyhotovenie aby sa dali použiť vo viacerých druhoch náradia od jedného výrobcu, čo čiastočne znižuje náklady na prevádzkovanie takýchto zariadení ([www.stihl.com](http://www.stihl.com)).

## 1. CIEĽ PRÁCE

Cieľom práce je zhodnotenie a porovnanie výkonnosti dvoch akumulátorových prenosných reťazových píl Husqvarna 536 Li xp a Stihl MSA 220 c-bq a jednej reťazovej píly so spaľovacím motorom Stihl MS 261. Hodnotený bol maximálny čas pílenia a plocha prepílených priečných prierezov na plne nabitý akumulátor danej akumulátorovej píly, v prípade píly so spaľovacím motorom na 3dcl benzínu z maximálnej kapacity nádrže 5dcl.

## 2. ROZBOR PROBLEMATIKY

### 2.1 Motomanuálny spôsob ťažby drevnej hmoty

Prenosné reťazové píly sú stále najbežnejšie používaným nástrojom pri prerezávaní, výrube a spracovaní stromov v mnohých oblastiach sveta (Neri et al. 2022). Je to spôsobené najmä vďaka ich relatívne nízkym prevádzkovým nákladom a možnosťou práce v ťažko dostupnom teréne (Rukat et al. 2020).

Spolahlivý a vysoký výkon píly je potrebný najmä v lesníctve. Ten však vidí obmedzenie, ktorým je extrémna doba používania. PRP sa používa niekoľko hodín denne, častokrát v extrémnych podmienkach. Vidieť to na životnosti píly v lesníctve, ktorá sa pohybuje v 1500 – 3000 pracovných hodinách (Poje et al. 2018).

Práca s prenosnou reťazovou pílou je fyzicky náročná činnosť (Kováč 2014). Z pohľadu ohrozenia bezpečnosti a zdravia osôb sú najrizikovejšie pracovné operácie súvisiace s ťažbou dreva, jeho sústreďovaním a odvozom. Veľkosť rizík vznikajúcich pri vykonávaní jednotlivých prác v najväčšej miere ovplyvňujú terénne podmienky, nepriaznivé klimatické podmienky a nízka úroveň mechanizácie (Suchomel et al. 2011).

V osobitných podmienkach lesníctva v Slovenskej republike (terénne, ekonomické, sociálne podmienky a kvalifikačné predpoklady) sa 85 % lesnej ťažby vykonáva reťazovou pílou (Gejdoš et al. 2022). Prenosné reťazové píly sa využívajú aj pri zbere úrody z plantáží rýchlorastúcich drevín, najmä v polomechanizovaných systémoch. (Latterini et al. 2022).

V súčasnosti sa už používajú aj iné typy pohonných jednotiek nielen spaľovacie motory (napr. elektrické, vrátane batériových alebo pneumatiké) (Dabrowski 2020).

### 2.2 Elektrické prenosné reťazové píly (PRP)

Elektrické píly sú konštrukčne jednoduchšie ako píly so spaľovacím motorom. Sú ľahšie, majú nižšiu poruchovosť ale organizácia práce s nimi je ťažšia (Simanov, Bernacký 2018).

Možno ich používať len v blízkosti zdroja elektrického prúdu (Bakaljar, L., 1996 in Suchomel et al., 2011). Výkon jednofázových elektrických píly (na 220V) spravidla neprekračuje 2,0 kW, píly na trojfázový prúd (380V) môžu mať výkon vyšší (Simanov, Bernacký 2018).

Rezacia časť elektrickej píly je totožná s bežnou pílou so spaľovacím motorom (Suchomel et al., 2011).

Rozdielny systém štartovania medzi spaľovacími a elektrickými motormi umožňuje bezpečnejšie a pohodlnejšie používanie elektrických variant. Elektromotory možno ovládať stlačením tlačidla, zatiaľ čo pri endotermických reťazových píloch je potrebný

manuálny spätný štartér. Vystavenie vibráciám pri použití elektrických píl je podstatne nižšie v porovnaní s endotermickými. Avšak v podmienkach lesníctva sú káblové elektrické reťazové píly zjavne nevhodné z dôvodu potreby ich elektrického pripojenia (Neri et al. 2018).

### 2.3 Akumulátorové PRP

Okolo roku 2010 sa začali na našom trhu objavovať akumulátorové píly. Práca s akumulátorovými pilami je komfortná a nemajú počas prevádzky žiadne horúce diely (Simanov, Bernacký 2018).

V súčasnosti je veľkým trendom používanie akumulátorových píl najmä v oblasti správy mestskej zelene kvôli ochrane životného prostredia a zdravia pracovníkov. Akumulátorové píly sú schopné znížiť množstvo špecifických rizík vznikajúcich pre obsluhu, vďaka čomu by boli vhodné na používanie aj v lesníctve, kde sú riziká pri práci vysoké a je dôležité ich minimalizovať (Mazzocchi et al. 2015 in Colantoni et al. 2016).

Akumulátorová píla je poháňaná elektromotorom ale oproti bežnej elektrickej pile energia potrebná na pohon je čerpaná z akumulátora a nie priamo z elektrickej siete. Najhlavnejšie rozdiely medzi reťazovými pilami so spaľovacím motorom a akumulátorovými sú, že akumulátorová píla: má pri takom istom výkone vyšší krútiaci moment, jej vibrácie a hmotnosť sú značne nižšie, zapína a vypína sa prostredníctvom jedného spínača a je s ňou možné píliť v uzavretých priestoroch, pretože má nízke emisie hluku a nevytvára splodiny (Túma 2017).

Medzi nevýhody akumulátorových PRP v porovnaní so spaľovacími pilami patrí potreba častejšej výmeny akumulátorov, vyššia nákupná cena, nevyhnutnosť nabíjania akumulátorov prostredníctvom nabíjačky, menšia odolnosť voči vode a nutnosť dokúpenia príslušenstva (akumulátor, nabíjačka) (Chramec 2018).

V súčasnosti sú vďaka vylepšeniam technológií elektrických prístrojov deklarované hodnoty výkonu akumulátorových píl porovnateľné s ich ľahkými benzínovými náprotivkami (Neri et al. 2018, Neri et al. 2022). Samotná technológia batérií je však značným nedostatkom pri práci v lese pretože pracoviská sú značne vzdialené od elektrickej siete a doposiaľ jediným riešením je mať k dispozícii viac batérií (Huber et al. 2021).

Akumulátorové prenosné reťazové píly môžu byť užitočné v lesníctve, ale informácie o ich výkone sú zatiaľ vzácne (Neri et al. 2022).

## 2.4 Objekt výskumu - Testované prenosné reťazové píly

### 2.4.1 Akumulátorová reťazová píla Husqvarna 536 Li xp

Akumulátorová píla 536 Li xp od firmy Husqvarna je určená pre profesionálnych užívateľov. Má jednoduché ovládanie pomocou tlačidiel a je vhodnou voľbou pre arboristov, stolárov alebo zamestnancov technických služieb. Poskytuje vynikajúcu ergonómiu a disponuje vysokou obehovou rýchlosťou a výkonom.

Hmotnosť bez rezacej časti a akumulátora je 2,6 kg. Skompletizovaná píla váži 3,33 kg. Dĺžka vodiacej lišty je 14“ (35 cm) a jej súčasťou je reťazové koliesko so siedmimi zubmi. Používaná pílová reťaz má delenie 3/8”, 52 článkov a hrúbku vodiaceho článku 1,3mm. Elektromotor je tzv. bezkeľový s automatickým olejovým čerpadlom o výkone 200 ml/min. a objemom nádržky 0,2l. Obehová rýchlosť reťaze je 20 m/s. Hladina vibrácií pôsobiacich na prednú ruku je 2,5 m/s<sup>2</sup> a na zadnú 2,8 m/s<sup>2</sup>. Garantovaná hladina akustického výkonu je 106dB(A) a hladina akustického tlaku u ucha obsluhy dosahuje 93 dB(A) ([www.duvalo.sk](http://www.duvalo.sk)).



**Figure 1.** HUSQVARNA 536 Li xp with accessories ([www.sydneytools.com](http://www.sydneytools.com).)

**Obrázok 1.** HUSQVARNA 536 Li xp s príslušenstvom ([www.sydneytools.com](http://www.sydneytools.com).)

#### Akumulátor BLi 300

Jedná sa o integrovaný akumulátor do batérievej techniky Husqvarna s veľkou kapacitou energie. Akumulátor bol navrhnutý tak aby jeho životnosť a produktivita boli čo najoptimálnejšie za akýchkoľvek poveternostných podmienok. Akumulátor disponuje efektívnym spôsobom chladenia a intuitívnym 4-LED indikátorom nabitia. Typ akumulátora je Li-Ion s kapacitou batérie 9,4 Ah, napätím až 36 V a výstupným výkonom 337,0 Wh. Tento typ batérie poskytuje spoľahlivú prevádzku a dlhú životnosť. Jedna plne nabitá batéria vykoná také množstvo práce ako jedna nádrž benzínu ([www.husqvarna.com](http://www.husqvarna.com)).

## 2.4.2 Akumulátorová reťazová píla Stihl MSA 220 C-BQ

Tento typ akumulátorovej prenosnej reťazovej píly sa považuje za špičkový model od firmy Stihl. Vysoká obehová rýchlosť reťaze až 24 m/s zabezpečuje trvale vysoký rezný výkon. Akumulátorová píla je ideálna na využitie pri starostlivosti o dreviny, stavbu drevených zariadení a ťažbu v ľahkých porastoch s menšími dimenziami. Maximálny výkon píly dosiahneme pri použití akumulátora AP 300S.

Hmotnosť píly dosahuje 3,0kg. Z ergonomického hľadiska píla dosahuje hladinu akustického tlaku 89dB a hladinu akustického výkonu 102dB. Hladina vibrácií pôsobiacich na ľavú rukoväť dosahuje hodnotu 4,8 m/s<sup>2</sup> a na pravú rukoväť 3,6 m/s<sup>2</sup>. Používaná pílová reťaz má delenie 3/8", 52 článkov, hrúbku vodiaceho článku 1,3mm a dĺžku reznej časti vodiacej lišty 14" (35 cm) ([www.stihl.sk](http://www.stihl.sk)).



Figure 2. STIHL MSA 220 c-bq with accessories ([www.tradesetter.com](http://www.tradesetter.com))

Obrázok 2. STIHL MSA 220 c-bq s príslušenstvom ([www.tradesetter.com](http://www.tradesetter.com))

### Akumulátor AP 300S

Jedná sa o najsilnejší akumulátor triedy PRO. Typ akumulátora je Li-ion batéria s extrémnym výkonom určeným pre maximálnu dobu prevádzky zariadení od Firmy Stihl. Akumulátor disponuje energiou 281 Wh (7,8 Ah) a napätím 36V. Maximálna doba prevádzky závisí od typu používaného zariadenia. Akumulátor je vybavený LED indikátorom stavu nabitia a je kompatibilný s nabíjačkami typu AL ([www.ehhobby.sk](http://www.ehhobby.sk)).

### Chrbtový akumulátor AR3000L

Jedná sa o chrbtovú lítium-iontovú batériu s obrovskou kapacitou pre maximálny prevádzkový čas stroja od firmy STIHL. Kapacita batérie je indikovaná pomocou šiestich LED diód. Hmotnosť samostatnej batérie (bez popruhov a prípojného vodiča) je 9,5kg. Maximálna kapacita je 1483 Wh (41,2 Ah) ([www.stihl.sk](http://www.stihl.sk)).



### 2.4.3 Reťazová píla so spaľovacím motorom Stihl MS 261

Veľmi ľahká, kompaktná a výkonná profesionálna motorová píla. Rýchla, s vysokou priechodnosťou do dreva. Nastaviteľné olejové čerpadlo a praktické detaily prevodenia, ako napr. výfuk z nehrdzavejúcej ocele. O 20% nižšia spotreba a až o 50% nižšie emisie výfukových plynov oproti bežným dvojtaktným motorom. Disponuje výkonom 3,0kW a zdvihovým objemom 50,2 cm<sup>3</sup>. Hmotnosť celej píly je 4,9kg a pomer hmotnosti na jednotku výkonu dosahuje 1,63kg/kW. Čo sa týka ergonomie hladina akustického tlaku je 102 dB(A), hladina akustického výkonu 113 dB(A) a hladina vibrácií pôsobiacich na obe rukoväte je 3,5 m/s<sup>2</sup>. Dĺžka reznej časti pílovej lišty je 37 cm, delenie pílovej reťaze 0.325“ a objem palivovej nádrže 0,5l ([www.stihl.sk](http://www.stihl.sk)).



Figure 3 STIHL MS 261 ([www.stihl.sk](http://www.stihl.sk))

Obrázok 3 STIHL MS 261 ([www.stihl.sk](http://www.stihl.sk))

## 3. METODIKA

### 3.1 Zát'azové testy prenosných reťazových píl

#### 3.1.1 Pribeh zát'azových testov

Porovnávaná bola výkonnosť u vyššie spomínaných typov prenosných reťazových píl a akumulátorov. Porovnávanie výkonnosti spočívalo v zistení maximálneho času pílenia a plochy prepílených priečných prierezov na plne nabitý akumulátor, v prípade benzínovej píly na 3 dcl benzínu (maximálny objem nádrže 5dcl). Zát'azové testy prebiehali v areály Technickej univerzity vo Zvolene na tenkej bukovej a jaseňovej vlákninovej hmote. Vlákniňová hmota bola dodaná v dĺžkach 4m s približne rovnakou relatívnou vlhkosťou.

Ako prvý krok sa jednotlivé kmene rozvalili a rozpílili na výrezy dlhé 2m. Každý výrez bol následne pomocou šablóny rozdelený na klátiky s dĺžkou približne 33cm. Pílenie výrezov na klátiky s príslušnou dĺžkou prebiehalo vo vzduchu, na železnom podstavci, pre

eliminovanie otupenia reťaze v čo najväčšej možnej miere. Avšak po vybití akumulátora, minút 3 dcl benzínu, bola hobl'ovacia reťaz aj strojovo nabrúsená aby namerané hodnoty neboli ovplyvnené jej prípadným zatupením pri predchádzajúcich meraniach.

Pre možnosť porovnania alternatívy na zvýšenie kapacity elektrickej energie potrebnej na poháňanie akumulátorových píl, bolo vykonané jedno aj vybitie chrbtového akumulátora počas troch testovacích dní.

### 3.1.2 Časové snímkovanie

Pre možnosti hodnotenia časovej výdrže bol celý proces pílenia zaznamenaný pomocou dvoch kamier. Jedna kamera bola umiestnená na pevnom statíve na okraji pracovnej plochy a druhá na prilbe piliara.

Po vykonaní praktickej časti boli videá z oboch kamier stiahnuté do počítača a pre každý rez príslušnej akumulátorovej píly bol zmeraný čas v sekundách pomocou stopiek. Nasčítaním všetkých časov pílenia od začiatku používania akumulátora až po jeho vybitie sme dostali reálny údaj o časovej výdrži akumulátora.

### 3.1.3 Výpočet plôch priečných prierezov

*„Priečny prierez v určitej dĺžke na kmeni je uzavretá množina bodov hviezdicového tvaru, ktorých hranicu predstavuje uzavretá hladká krivka  $\Gamma$ . Hviezdicovitý tvar znamená, že krivka  $\Gamma$  prebieha vzhľadom k bodu  $A$  ( $A \in Q$ ) striedavo konvexne i konkávne“ (Šmelko., 2007).*

*„Hrúbka priečného prierezu  $d$  je dendrometricky definovaná ako kolmá vzdialenosť medzi dvomi dotyčnicami vedenými rovnobežne v protíľahlých bodoch obvodu prierezu“ (Šmelko., 2007).* Na každom jednom výreze pílenej vlákninovej hmoty bola pomocou metra zmeraná hrúbka v centimetroch na tenšom (čap) a na hrubšom konci (čelo). Jednotlivé výrezy boli pílené na približne 33cm dlhé klátiky.

Konkrétne hrúbky priečných prierezov prepílených jednotlivými variantami reťazovej píly boli následne vypočítané pomocou vzorca na základe hrúbky čela, čapu a dĺžky výrezu v respektíve počtu klátikov, ktoré sa vypílili z daného výrezu podľa vzorca:

$$d = \left( \left( \frac{d_1 - d_2}{ks} \right) * p. \check{c}. \right) + d_2 \quad (cm) \quad (1)$$

$d$ - hrúbka priečného prierezu (cm)

$d_1$ - hrúbka čela (cm)

$d_2$ - hrúbka čapu (cm)

$p. \check{c}.$ - poradové číslo priečného prierezu

$ks$ - počet kusov klátikov

Plocha priečného prierezu vznikne rozrezaním kmeňa v smere kolmom na vegetačnú os stromu a väčšinou má nepravidelný tvar, spravidla rozdielny od kruhu. Pre praktické účely sa skutočná plocha priečného prierezu  $Q$  nahrádza kruhovou základňou  $g$  (Šmelko., 2007). Výpočet pre kruhovú základňu  $g$  je nasledovný:

$$g = \frac{\pi}{4} d^2 \quad (\text{cm}^2) \quad (2)$$

Z vyrátaných hrúbok priečných prierezov boli ďalej vypočítané kruhové základne (plochy priečných prierezov) v mieste jednotlivých rezov. Sčítaním hodnôt kruhových základní za celý výrez sme dostali plochu pílenia za výrez a sčítaním plôch za jednotlivé výrezy následne celkovú sumu plôch priečných prierezov pílených na jeden plne nabitý akumulátor alebo 3 dcl benzínu danej reťazovej píly.

### 3.1.4 Porovnanie výkonnosti

Vzhľadom na to, že akumulátory používaných píl majú rozdielnu kapacitu (Stihl 7,8 Ah, Husqvarna 9,4 Ah), boli pre objektivizáciu výsledkov sledované hodnoty prepočítané na 1 Ah. Tento prepočet nám zabezpečil relevantné porovnanie výkonnosti daných typov akumulátorových píl bez ohľadu na kapacitu akumulátora.

Pri porovnávaní výkonnosti akumulátorových píl a benzínovej píly boli namerané hodnoty považované za rovnocenné a graficky porovnané pretože súčasný výrobcovia akumulátorových píl sľubujú výkonnosť na jeden akumulátor zrovnateľnú s nádržou benzínu a testované píly označujú ako profesionálne. V porovnaní s benzínovou pílou nám údaje o výkonnosti chrbtového akumulátora slúžili iba ako doplnková informácia. Pri prepočtoch na 1 Ah boli hodnoty chrbtového akumulátora porovnané ako rovnocenné s ostatnými akumulátormi.

### 3.2 Testovanie akumulátorových píl pri zbere biomasy z klonového archívu

Porovnávané boli dva v súčasnosti najčastejšie používané typy akumulátorových píl považované za možnú alternatívu k benzínovým pílam v mladých lesných porastoch (Stihl MSA 220 c-bq s akumulátorom AP 300S a Husqvarna 536 Li xp s akumulátorom BLi 300). Výkonnosť akumulátorových píl bola testovaná pri zbere biomasy z klonového archívu rýchlorastúcich topoľov, ktorý patrí Technickej univerzite vo Zvolene. Do prác na klonovom archíve boli zapojení aj študenti predmetu Ťažbovo dopravné technológie 2 v rámci praktickej časti hlavných cvičení. Výkonnosť každej akumulátorovej píly bola hodnotená prostredníctvom maximálneho času pílenia a prepílenej plochy priečných prierezov na plne nabitý akumulátor príslušnej značky.

### 3.2.1 Klonový archív Budča

„Klonový archív na lokalite Budča bol založený v apríli 2018. Pre klonový archív bolo zabezpečených 19 schválených hybridných topoľových klonov pre zakladanie porastov rýchlorastúcich drevín. Jedná sa o klony Sekcie Aigeiros (topoľ čierny) kde patria napr. klony Blanc du Poitou, I-476, Dolomiten, Gelrica, Spreewald a ďalšie. Sekcia Tacamahaca (balzamové topole) je v klonovom archíve zastúpená klonmi Oxford, Androscoggin, NE-42 a klonom Fritz Pauley. Taktiež sú zastúpené tzv. japonské klony MAX 1 až MAX 5. Klonový archív dopĺňa aj 8 klonov rýchlorastúcich vrb pre produkciu energetických štiepok. Medzi ne radíme klony S715, S218, S337, ale tiež takzvané „švédské“ odrody vrby Orm, Ulv a Rapp. ktoré sme získali z Regionálneho výskumného pracoviska Výskumného ústavu lúk a pasienkov v Krivej na Orave.“ (Lieskovský 2019)

### 3.2.2 Priebeh testovania

Študenti boli rozdelení na dve skupiny, každá skupina dostala jednu z testovaných akumulátorových píl s jedným plne nabitým akumulátorom. Z každej skupiny študentov sa vybral jeden, ktorý po celý čas obsluhoval reťazovú pílu aby sme znížili ovplyvnenie výsledkov zmenami v obsluhu a spôsobe stínky. Ťažil sa vždy jeden súvislý rad daného klonu. Po spílení jedného radu sa pomocou digitálneho posuvného meradla zmerala hrúbka  $d_0$ , teda hrúbka v mieste vykonania rezu. Okrem hrúbky  $d_0$  sa pre potreby ostatných záverečných prác merala aj hrúbka  $d_{1,3}$ , váha a dĺžka spílených jedincov. Všetky údaje boli zapisované do terénneho zápisníka.

Celý proces ťažby bol zaznamenaný pomocou kamery. Pri vybití akumulátora sa znamenalo množstvo spílených jedincov na daný akumulátor, založil sa nový akumulátor a pokračovalo sa v ťažbe.

Po vypílení celého klonového archívu sa údaje z terénnych zápisníkov prepísali do počítača a ďalej boli spracovávané a vyhodnocované v programe Excel. Z kamerového záznamu sme pomocou stopiek odčítali jednotlivé časy rezov pre daný typ píly a ich sčítaním sme dostali hodnotu časovej výdrže. Namerané hrúbky priečných prierezov boli prerátané na kruhovú základňu (plochu) priečného prierezu pomocou rovnakého vzorca ako je uvedené v metodike záťažových testov.

Hodnoty časovej výdrže a plochy priečných prierezov na plne nabitý akumulátor danej píly boli medzi sebou následne porovnané. Vzhľadom na už vyššie spomínané rozdiely v kapacite testovaných akumulátorov bol pre objektivizáciu výsledkov nameraných hodnôt vykonaný aj prepočet na 1 Ah capacity akumulátora.

## 4. VÝSLEDKY

Ako už bolo spomínané vyššie, cieľom tejto práce bolo porovnanie výkonnosti dvoch akumulátorových prenosných reťazových píl a jednej píly so spaľovacím motorom. Porovnávaná bola plocha priečných priereзов (kruhová základňa) a maximálny čas pílenia, vždy na plne nabitý akumulátor danej píly, v prípade benzínovej píly na 3 dcl benzínu z maximálnej kapacity nádrže 5 dcl, so strojovo nabrúsenou hobľovacou reťazou.

### 4.1 Zát'azové testy prenosných reťazových píl

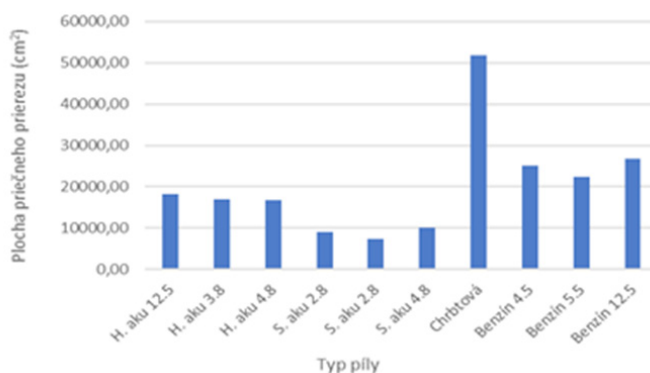
Vykonalé boli po 3 zát'azové testy s každým typom píly a jedno vybitie chrbtovej batérie Stihl AR 3000L počas 3 testovacích dní. Hodnoty namerané pri zát'azových testoch sú zobrazené na obrázkoch 5 a 6.

**Tabuľka 1** Dátumy vykonaných zát'azových testov

**Table 1** Dates of performed stress tests

Typ píly	Akumulátor	Počet meraní	Dátum
Akumulátorová píla Stihl MSA 220 c-bq	AP 300S (7,8Ah)	3	2.8/2.8/4.8.2022
Akumulátorová píla Stihl MSA 220 c-bq	AR 3000L (41,2 Ah)	1	4.5/5.5/12.5.2022
Akumulátorová píla Husqvarna 536Li xp	BLi 300 (9,4 Ah)	3	12.5/3.8/4.8.2022
Benzínová píla Stihl MS 261		3	4.5/5.5/12.5.2022

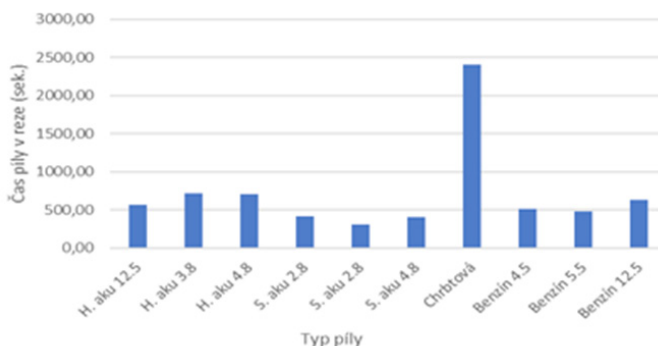
Vzhľadom na to, že chrbtová batéria má niekoľkonásobne vyššiu kapacitu ako ostatné testované akumulátory tak aj hodnoty zobrazené na obrázkoch 5 a 6 sú oveľa vyššie a majú pri tomto porovnaní pre nás iba informačný charakter.



**Figure 4** Cross-sectional area sawn for one accumulator / tank (3dcl petrol)

**Obrázok 4** Plocha priečného prierezu prepílená na jeden akumulátor / nádrž (3dcl benzínu)

Na obrázku 4 môžeme vidieť, že akumulátorová píla Husqvarna dokáže na jeden plne nabitý akumulátor prepíliť výrazne väčšiu plochu ako akumulátorová píla Stihl s akumulátorom AP 300S. Avšak aj pri naplnení nádrže benzínovej píly iba tromi z maximálnych piatich decilitrov, benzínová píla dokáže prepíliť viac ako dvojnásobne väčšiu plochu v porovnaní s akumulátorom Stihl AP 300S a v priemere o 30% väčšiu plochu ako akumulátor Husqvarna BLi 300.



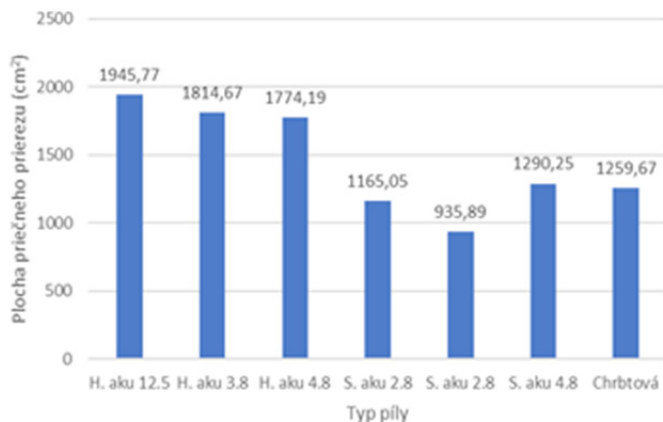
**Figure 5** Saw time in a cut per battery / tank (3 dcl of gasoline)  
**Obrázok 5** Čas píly v reze na jeden akumulátor / nádrž (3dcl benzínu)

Čo sa týka časovej výdrže testovaných typov píl, akumulátorová píla Husqvarna opäť prevyšuje akumulátorovú pílu Stihl a dokonca aj v porovnaní s benzínovou pílou dosahuje vyššie hodnoty časovej výdrže.

Pre korektné porovnanie výkonnosti testovaných akumulátorov, bez ohľadu na benzínovú pílu, boli namerané prepočítané na 1Ah kapacity akumulátora. Tento prepočet nám zabezpečil relevantné porovnanie výkonnosti daných typov akumulátorových píl bez ohľadu na kapacitu akumulátora. Výsledky po prepočte na jednu ampérhodinu kapacity akumulátora sú zobrazené na obrázkoch 6 a 7.

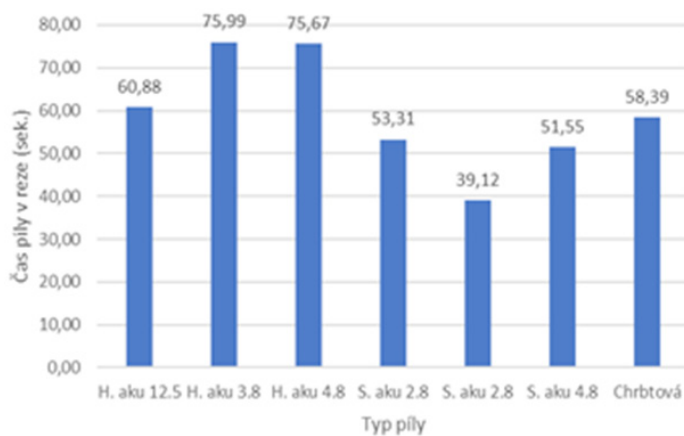
Z obrázku 6 je zrejmé, že akumulátorová píla Husqvarna s akumulátorom BLi 300 výrazne prevyšuje hodnoty prepílenej plochy v prepočte na jednu ampérhodinu kapacity akumulátora oproti ostatným testovaným akumulátorom a teda jej výkon je najvyšší. Oba akumulátory značky Stihl dosahujú veľmi podobné hodnoty.

Obrázok 7 potvrdzuje dominovanie akumulátorovej píly Husqvarna aj pri prepočte času píly v reze na jednu ampérhodinu. Len v jednom prípade (12.5) bol čas pílenia Husqvarny veľmi podobný s chrbtovým akumulátorom Stihl. Pri ostatných meraniach značne dominuje Husqvarna.



**Figure 6** Sawn cross-sectional area converted to 1 Ah

**Obrázok 6** Prepilená plocha priečneho prierezu v prepočte na 1 Ah



**Figure 7** The time of the saw in the cut converted to 1 Ah

**Obrázok 7** Čas pily v reze v prepočte na 1 Ah

Pri vykonávaní záťažových testov na vláknovej hmote sme prišli aj k zisteniam, že obe akumulátorové píly sa pri atmosférickej teplote už okolo 15-20°C prehrievajú. Píla pri prehriatí prestane fungovať a je nutné nechať ju vychladnúť na určitú, zatiaľ nezistenú teplotu. Doba chladenia sa líši u každej testovanej pily. Už po prvom prehriatí píla nedokáže píliť takú dlhú dobu ako pred prehriatím a pokračovaním v pílení sa možný čas pílenia skraca, pokiaľ sa nenechá úplne vychladnúť. Táto skutočnosť negatívne ovplyvňuje používanie akumulátorových píl v teplejšom období a pri výkonovo náročných operáciách.

#### 4.2 Testovanie akumulátorových píl pri zbere biomasy z klonového archívu

Zber biomasy z klonového archívu prebiehal dňa 17.10.2022. Atmosférické podmienky boli priaznivé, bolo slnečno a teplota sa pohybovala v rozmedzí 12-14°C. Celý priebeh ťažby bol zaznamenaný pomocou kamery a všetky potrebné parametre boli zmerané a zaznamenané do terénnych zápisníkov pre možnosti ďalšieho spracovania.

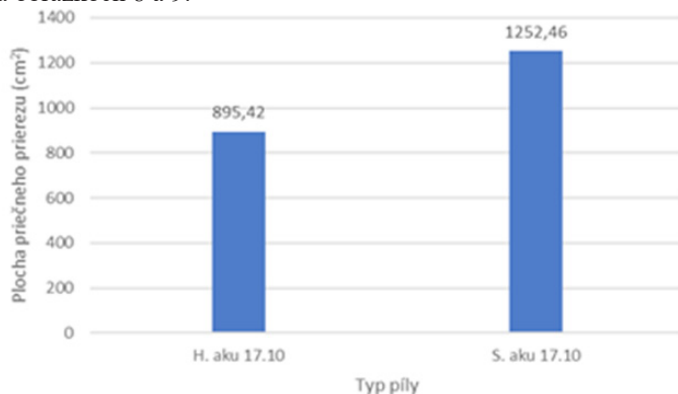
Na ploche klonového archívu sa pestujú rôzne odrody rýchlorastúcich topoľov, ktoré bolo pre dodržanie doby rotácie potrebné vytážiť. Hodnotený bol maximálny čas píly v reze (sek.) a prepílená plocha priečných prierezov (cm<sup>2</sup>) na jeden plne nabitý akumulátor danej reťazovej píly. Hodnoty zistené pri ťažbe klonového archívu zobrazuje tabuľka 2.

**Tabuľka 2** Hodnoty namerané pri pílení klonového archívu na jeden plne nabitý akumulátor  
**Table 2** Values measured when sawing a clone archive on one fully charged battery

Typ píly/akumulátor	Čas pílenia (sek.)	Prepílená plocha (cm <sup>2</sup> )
Stihl MSA 220 c-bq / AP 300S	269,02	9769,16
Husqvarna 536Li xp / BLi 300	642,7	8416,95

Z tabuľky je zrejmé, že píla značky husqvarna má výrazne vyššiu výdrž batérie v porovnaní s pílou značky Stihl (rozdiel 373,68 sek.). Avšak čo sa týka prepílenej plochy priečného prierezu rozdiel medzi testovanými pílamí nie je až tak výrazný (1352,21cm<sup>2</sup>) a naopak vyššie hodnoty dosahuje píla značky Stihl.

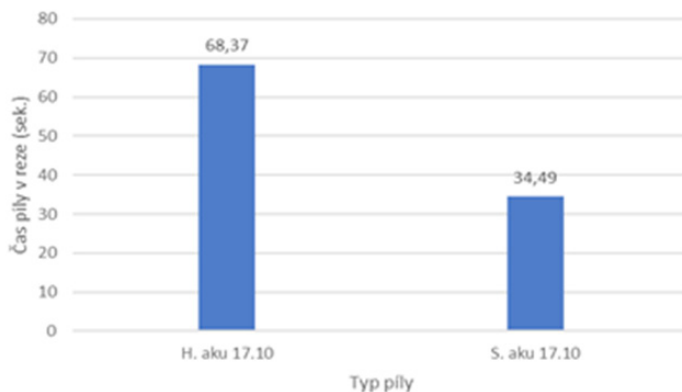
Vzhľadom na rozdiel v kapacite akumulátorov používaných píl boli sledované hodnoty prepočítané na 1Ah kapacity akumulátora. Porovnanie zistených hodnôt po prepočte je zobrazené na obrázkoch 8 a 9.



**Figure 8** Sawn cross-sectional area converted to 1 Ah

**Obrázok 8** Prepílená plocha priečného prierezu v prepočte na 1 Ah





**Figure 9** The time of the saw in the cut converted to 1 Ah  
**Obrázok 9** Čas píly v reze v prepočte na 1 Ah

Z priložených grafov môžeme vyčítať, že píla značky Husqvarna dokáže na 1 Ah kapacity akumulátora píliť o 98% dlhšie ako píla značky Stihl. Čo sa týka prepílenej plochy tak naopak dominuje píla značky Stihl ale rozdiel je menší ako v prípade časovej výdrže a to približne 40% prepílenej plochy.

## 5. ZÁVER

Cieľom práce bolo zhodnotenie a porovnanie výkonnosti dvoch akumulátorových prenosných reťazových píl Husqvarna 536 Li xp a Stihl MSA 220 c-bq a jednej píly so spaľovacím motorom Stihl MS 261. Hodnotený bol maximálny čas pílenia (sek.) a plocha prepílených priečných prierezov (cm<sup>2</sup>) na plne nabitý akumulátor danej akumulátorovej píly, v prípade píly so spaľovacím motorom na 3 dcl benzínu z maximálnej kapacity nádrže 5 dcl. Pre možnosť porovnania alternatívy na zvýšenie kapacity energie potrebnej na poháňanie akumulátorových píl, bolo vykonané aj jedno vybitie chrbtového akumulátora počas troch testovacích dní.

Výsledky záťažových testov nám priniesli zistenia o stálej dominancii píly so spaľovacím motorom v prepílenej ploche priečných prierezov a to dokonca za menší čas ako testované akumulátorové varianty reťazových píl. Akumulátorová píla Husqvarna s akumulátorom BLi 300 sa však svojou výkonnosťou najviac priblížila výkonnosti tradičnej benzínovej píly.

Čo sa týka porovnania akumulátorových píl tak píla značky Husqvarna pri záťažových testoch na bukovej a jaseňovej vláknovej hmote dosiahla značne lepšie hodnoty v oboch sledovaných parametroch. Pri zbere biomasy z klonového archívu rýchlorastúcich topoľov Husqvarna opäť dominovala v maximálnom čase pílenia na plne nabitý akumulátor

ale v ploche prepílených priečných prierezov naopak dosiahla vyššie hodnoty akumulátorová píla Stihl, čo sa potvrdilo aj po prepočte na jednu ampérhodinu kapacity akumulátora.

Veľmi cenné je aj zistenie o prehrievaní akumulátorových píl počas záťažových testov a to dokonca už pri teplotách pohybujúcich sa okolo 15-20°C. V testovaní reťazových píl sa bude pokračovať vykonávaním ďalších testov za rovnakých podmienok ale aj vykonávaním testov vo výchovnej ťažbe.

Testovanie prenosných reťazových píl, najmä ich akumulátorových variant nám prináša potrebné zistenia, na základe ktorých môžeme zhodnotiť aj ich využitie v lesníckom sektore a to najmä v menej výkonovo náročných činnostiach ako sú napríklad výchova lesných porastov, odvetvovanie alebo výroba palivového dreva. Zistené výsledky môžu slúžiť aj ako podklad pre ďalší vývoj a zdokonaľovanie akumulátorových píl s ohľadom na dosiahnutie štandardov potrebných na ich využívanie v lesníckom sektore.

## 6. CONCLUSIONS

### **Evaluation of stress tests of accumulator portable chainsaws.**

The aim of the work was to evaluate and compare the performance of two accumulator portable chainsaws Husqvarna 536 Li xp and Stihl MSA 220 c-bq and one chainsaw with a combustion engine Stihl MS 261. The maximum sawing time (sec.) and the area of sawed cross-sections (cm<sup>2</sup>) for a fully charged battery of a given accumulator saw, in the case of a saw with an internal combustion engine, for 3 dcl of gasoline from a maximum tank capacity of 5 dcl. For the possibility of comparison the alternative to increase the capacity of energy needed to drive the battery saws, one discharge of the back battery was also carried out during 3 test days.

The results of the stress tests brought us findings about the constant dominance of the saw with the combustion engine in the sawed area of the cross-sections, even in less time than the tested accumulator variants of the chain saws. However, the performance of the Husqvarna battery saw with the BLi 300 battery came closest to the performance of a traditional gasoline saw.

As for the comparison of accumulator saws, the Husqvarna brand saw achieved significantly better values in both monitored parameters during stress tests on beech and ash fiber wood. When collecting biomass from the clone archive of fast-growing poplars, Husqvarna dominated again in the maximum sawing time for a fully charged battery, but the Stihl battery saw, on the other hand, achieved higher values in the area of sawed cross-sections, which was also confirmed after converting to one ampere-hour of battery capacity.

It is also very valuable to find out about the overheating of accumulator saws during stress tests, even at temperatures around 15-20°C. The testing of individual chainsaws will be continued by conducting other tests under the same conditions, but also by conducting tests in thinning.

Testing portable chainsaws, especially their accumulator variants, brings us the necessary findings, on the basis of which we can also evaluate their use in the forestry sector, especially in less power-intensive activities such as growing forest stands, branching or production of firewood. The obtained results can also serve as a basis for further development and improvement of accumulator saws with regard to achieving the standards necessary for their use in the forestry sector.

### Pod'akovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja, APVV-19-0612 Modelovanie dopadu rizika výskytu ničivých prírodných živlov na hospodársky komplex lesníctvo – drevárstvo v podmienkach pokračujúcej zmeny klímy, APVV-22-0001 Optimalizácia hlavných zdravotných a bezpečnostných rizík pri využívaní lesnej biomasy na energetické účely a projektom KEGA 004TU Z-4/2023 Inovatívne metódy hodnotenia kvalitatívneho potenciálu lesných porastov.

## 7. POUŽITÁ LITERATÚRA

1. COLANTONI, F. MAZZOCCHI, F. COSSIO, M. CECCHINI, R. BEDINI, D. MONARCA, Comparisons between battery chainsaws and internal combustion engine chainsaws: performance and safety. *Contemporary Engineering Sciences*, Vol. 9, 2016, no. 27, 1315-1337, <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2016.68133>
2. DA'BROWSKI, A. Analysis and Laboratory Testing of Technical Injury Prevention Measures for Portable Combustion Chainsaws. *Forests* **2020**, *11*, 276. <https://doi.org/10.3390/f11030276>
3. GEJDOŠ, M.; HITKA, M.; KAMPF, R. Anthropometrics Parameters of the Adult Population as Ergonomics Modifier for the Chainsaw Handle. *Forests* **2022**, *13*, 645. <https://doi.org/10.3390/f13050645>
4. <https://braschs.com.au/battery-power/battery-power/batteries-and-accessories/batteries/stihl-ar-3000-l->
5. <https://www.duvalo.sk/akumulatorova-pila-536-li-xp-14-bez-baterie-nabijacky-husqvarna-1173>
6. <https://www.ehhobby.sk/STIHL-AP-300-S-Lithium-Ion-akumulator-7-8-Ah>
7. <https://www.husqvarna.com/sk/prislusenstvo-diely/bateria/bateria-bli300/967071901/>
8. <https://www.stihl.sk/produkt/stihl-ms-261/>
9. <https://stihl.sk/produkt/chrbtova-bateria- ar-3000-l-412-ah/>
10. <https://stihl.sk/produkt/stihl-msa-220-c-bq/?gclid=EAIaIQobChMIq7mOyYeu9AIVg>
11. <https://sydneytools.com.au/product/husqvarna-536li-xp-kit-36v-5-2ah-li-ion-cordless-brushless>
12. <https://www.tradesetter.com/products/msa-220-c-b-chainsaw-promotional-set>
13. HUBER M, HOFFMANN S, BRIEGER F, HARTSCH F, JAEGER D, SAUTER UH. Vibration and Noise Exposure during Pre-Commercial Thinning Operations: What Are the Ergonomic Benefits of the Latest Generation Professional-Grade Battery-Powered Chainsaws? *Forests*. 2021; 12(8):1120. <https://doi.org/10.3390/f12081120>
14. CHRAMEC, J. *Vývoj akumulátorových prenosných reťazových píl*. Zvolen, 2018. Vedúci práce Martin Lieskovský. LF-5773-27605. Bakalárska práca, TU Zvolen, LF KLĽLM. Elektronický zdroj. Dostupné na internete: <http://opac.crzp.sk/?fn=detailBiblioForm&sid=752BE197E3AE405D448AF879404B>
15. LATTERINI, F.; STEFANONI, W.; ALFANO, V.; PALMIERI, N.; MATTEI, P.; PARI, L. Assessment of Working Performance and Costs of Two Small-Scale Harvesting Systems for Medium Rotation Poplar Plantations. *Forests* **2022**, *13*, 569. <https://doi.org/10.3390/f13040569>
16. LIESKOVSKÝ, M. 2019. Výročná správa o činnosti Lesníckej fakulty za rok 2018, 72 s. Technická univerzita vo Zvolene. Dostupné na internete: [https://dokumenty.tuzvo.sk/sites/default/files/hodnotenie\\_vvc\\_2018\\_vr.pdf](https://dokumenty.tuzvo.sk/sites/default/files/hodnotenie_vvc_2018_vr.pdf)

17. NERI, F.; LASCHI, A.; FODERI, C.; FABIANO, F.; BERTUZZI, L.; MARCHI, E. Determining Noise and Vibration Exposure in Conifer Cross-Cutting Operations by Using Li-Ion Batteries and Electric Chainsaws. *Forests* 2018, 9, 501. <https://doi.org/10.3390/f9080501>
18. NERI, F.; LASCHI, A.; MARCHI, E.; MARRA, E.; FABIANO, F.; FRASSINELLI, N.; FODERI, C. Use of Battery- vs. Petrol-Powered Chainsaws in Forestry: Comparing Performances on Cutting Time. *Forests* 2022, 13, 683. <https://doi.org/10.3390/f13050683>
19. POJE, A., POTOČNIK, I., MIHELIC, M. Comparison of Electric and Petrol Chainsaws in Terms of Efficiency and Safety When Used in Young Spruce Stands in Small-Scale Private Forests. *Small-scale Forestry* 17, 411–422 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11842-018-9395-4>
20. RUKAT, W.; JAKUBEK, B.; BARCZEWSKI, R.; WROBEL, M. The Influence of the Direction of Wood Cutting on the Vibration and Noise of Chainsaws. *Tehnički vjesnik*, Vol. 27 No. 6, 2020. <https://doi.org/10.17559/TV-20190719101429>
21. SCHWEIER, J., MAGAGNOTTI, N., LABELLE, E.R. Sustainability Impact Assessment of Forest Operation: a Review. *Cur Forestry Rep* 5,101–113 (2019). <https://doi.org/10.1007/s40725-019-00091-6>
22. SIMANOV, V., BERNACKÝ, R. *Motorová pila a její historie*. Národní zemědělské muzeum, Praha, 2018. ISBN 978-80-88270-03-4.
23. SUCHOMEL, J., BELANOVÁ, K., VLČKOVÁ, M. *Analýza výskytu chorôb z povolanía v lesníctve Slovenska*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2011. ISBN 978-80-228-2206-0.
24. SUCHOMEL, J., SLANČÍK, M., GEJDOŠ, M. *Obsluha prenosnej reťazovej píly* [online]. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2011. ISBN 978-80-228-2306-7.
25. ŠMELKO, Š. *Dendrometria*. 2. uprav. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2007. ISBN 978-80-228-1828-5.
26. TŮMA, J. *Aku reťazové píly: Nástup akumulátorových reťazových pil* [online]. 2017. Dostupné na internete: <<http://www.toolscomp.cz/technologie/aku-retezove-pily>>.

**Kontaktné údaje:**

Ing. Dominik Gretsch  
 doc. Ing. Martin Lieskovský. PhD.  
 Katedra lesnej ťažby, logistiky a meliorácií  
 Lesnícka fakulta  
 Technická univerzita vo Zvolene  
 T. G. Masaryka 24  
 960 01 Zvolen  
 Slovenská republika  
 Tel. kontakt: +421908589406  
 E-mail: [dodo.gretsche@gmail.com](mailto:dodo.gretsche@gmail.com)  
 E-mail: [lieskovsky@tuzvo.sk](mailto:lieskovsky@tuzvo.sk)

## TESTING BATTERY-POWERED CHAINSAWS IN THINNINGS

Toni Hristov KONSTANTINOV  
Doc. Ing. Martin LIESKOVSKÝ, Phd.

**KONSTANTINOV HRISTOV, T., LIESKOVSKÝ, M.: Testing battery-powered chainsaws in thinnings.** Acta Facultatis Forestalis, Zvolen

---

### ABSTRACT

The purpose of this work is to test two battery-powered portable chainsaws and show how compatible they are for professional use in thinnings. A comparison between two battery-powered chainsaws from the two leading chainsaw manufacturers will be made. The models which are tested and compared in this work are Husqvarna 536Li XP and Stihl MSA 220 C-BQ which are property of the Forestry, logistics and recultivation department at Technical University in Zvolen. The stated chainsaws are similar in size and power characteristics, the only significant difference is in their battery capacities. The Husqvarna chainsaw uses BLi 300 battery with a capacity of 9.4 Ah and Stihl chainsaw uses AP 300 S battery with a capacity of 7.8 Ah. They are compared by the maximum sawing time for one fully-charged battery and due to the difference in the battery capacities they are also compared by the maximum sawing time per ampere hour. The measurements are done in beech and spruce forest stands property of the Technical university in Zvolen. During the measurements the chainsaws are tested under similar conditions in terms of tree size, temperature, humidity, altitude, tree felling method and branching method.

**Keywords:** Battery-powered chainsaw, Test, Comparison

---

### INTRODUCTION

Forestry has been an important industry since the early ages. There has always been a demand for wood and forest products. Since the processes in logging are tough, dangerous and time-consuming and demands of wood were growing, people began working on machines and tools which can increase the work efficiency and decrease health risks. One of the most beneficial inventions in the history of forestry is the internal combustion engine portable chainsaw. These chainsaws were the improvement which increased the work efficiency, but health risks are still there. In our days petrol chainsaws are still used, although they went through a lot of changes and improvements their principle is still similar. They produce power by burning fossil fuels, a process which produces exhaust fumes that are dangerous for both the nature and the operator. Also, petrol chainsaws

produce large amounts of noise and vibrations, and continuous exposure to them might lead to injuries and illnesses. As pollution and health awareness became more popular in the modern world the main goal for manufacturers now is to decrease the production of exhaust fumes, vibrations, noise and dangers for the operators to the bare minimum. Since the invention of the Li-ion battery people started installing it in various devices such as smartphones, watches, toothbrushes and even tools. Battery-powered tools went through lots of improvements and as time passes, they become more popular. Since the increase in popularity of battery-powered tools chainsaw manufacturers started working on battery-powered chainsaws. With this move they dealt with most of the problems of petrol chainsaws such as exhaust fumes, vibrations and noise. However, work efficiency is still an issue which demands more improvements. Battery-powered chainsaws use small electric brushless motors which are powered by Li-ion batteries. These batteries can be charged with special charging stations connected to the regular 220 V electrical network. With the improvement of battery-powered chainsaws a new rivalry is born between them and their predecessors, the petrol-powered chainsaws.

## **1. Purpose of the work**

The purpose of this work is to compare Stihl MSA 220 C-BQ and Husqvarna 536Li XP which are two of the brands most powerful battery-powered chainsaws, by their maximum sawing time with one fully-charged battery and test their compatibility for the work processes in forestry.

## **2. Analysis of the problem**

### **2.1 Chainsaws**

At the beginning of their development, chainsaws were intended for two operators and this changed the previously established way of working. Now two workers were needed for the demolition of the collapsed log cabin. This was extremely dangerous on steep terrain, where there is a great possibility of rolling away due to gravity. One of the two workers was supposed to be on the lower side of the trunk and hold the auxiliary handle (which was located at the end of the guide) during the cutting. (Orlović and Poršinsky, 2012)

The first one-man chainsaw was produced in 1950 and it was still quite heavy. In 1959 they weighed about 12 Kg (today chainsaws weigh around 4-5 kg, heavy duty chainsaws between 7 and 9 kg) and soon people were raving: „the one-man chainsaws are taking over the forests and timber yards, will the singing of the saw be replaced by the rattling of chainsaws?“. At the end of the 50's there was a shortage of lumberjacks and the hope was

that the chainsaw would make forestry work more attractive for young people. As with the change over from the axe to the saw, the introduction of the chainsaw also had its opponents some of whom only wanted to impose restrictions. (Thöny, 2007)

Since then chainsaws went through improvements that made them more powerful, more fuel-efficient, lighter and safer. In our days there are two leading chainsaw manufacturers – Husqvarna and Stihl. They are the main benefactors for the development of the modern chainsaws as they developed some of the most important parts such as the universal cutting chain using chipper style teeth, the anti-vibration system, automatic brake system and many more which helped improve work efficiency and safety.

## **2.2 Electric chainsaws**

The first electric chainsaw was invented by Stihl in 1926. Due to World War II the researches and improvements on electric chainsaws were interrupted which forced corded chainsaws to become available for sale to the public from the 1960s onwards, but these were never as successful commercially as the older gas-powered type due to limited range, dependency upon the presence of an electrical socket, plus the health and safety risk of the blade's proximity to the cable. (*"Chainsaw"*, 2023)

In our days almost 100 years after the invention of the first electric chainsaw there are some huge improvements. Corded chainsaws are now something common for professional and non-professional use. Compared to the first corded chainsaws modern ones are lighter, more productive, more reliable and power efficient. As having a power cord limits the usage of electric chainsaw for gardens, wood processing factories and households, there has to be some work put to solve that problem.

The invention of battery-powered chainsaws solves that problems and they can be used far from any electricity sources.

## **2.3 Battery-powered chainsaws**

For most of the early 21st century petrol driven chainsaws remained the most common type, but they faced competition from cordless lithium battery powered chainsaws from the late 2010s onwards. In recent years, environmental protection and the reduction in CO2 emissions policies have been particularly prominent. As a consequence, the use of battery-powered electric tools, including chainsaws, has become increasingly widespread, especially in gardening. However, electric chainsaws have limited battery capacity and, therefore, are not used daily in forestry. (Tomczak and Naskrent, 2022) Although most cordless chainsaws are small and suitable only for hedge trimming and tree surgery, Husqvarna and Stihl began manufacturing full size chainsaws for cutting logs during the early 2020s. (*"Chainsaw"*, 2023)

In the last few years, the biggest brands producing chainsaws have improved the performance of their top models of battery-powered chainsaws, providing at the same time less harmful working conditions for their operators and good cutting and duration performance of the tools. Nowadays, thanks to improvements in electrical-instrument technologies, the declared power values of battery-operated chainsaws are comparable with their lightweight petrol counterparts. Moreover, the performance of modern lithium (Li)-ion batteries has been improved, in terms of battery life, with manufacturers declaring more than 40 min of actual cutting time. In addition, Li-ion batteries can be recycled with an efficiency of 97% w/w, thus allowing recovery of most of the valuable active materials in the battery. Other advantages to battery-powered chainsaws include less maintenance, no air pollution in comparison with traditional chainsaws (with internal combustion engines) and no cables (in comparison with other electric chainsaws). Due to these improvements, electric tools should be more commonly used in all non-professional and professional applications, especially where high environmental targets are required in the workplace (e.g., in national or regional parks and natural reserves). (Francesco Neri and others, 2023)

## 2.4 Characteristics of battery-powered chainsaws

As battery-powered chainsaws do not have internal combustion engines they are driven by electronically controlled brushless motors which are simpler, because they do not have air filters and spark plugs to maintain. Cutting mechanisms do not have any major differences between petrol and battery-powered chainsaws.

The battery-powered chainsaws which are chosen for this work are Husqvarna 536Li XP and Stihl MSA 220 C-BQ which are property of the Forestry, logistics and recultivation department at Technical University in Zvolen.

## 2.5 Battery-powered chainsaw Stihl MSA 220 C-BQ



Figure №6: Stihl MSA 220 C-BQ



The MSA 220 C-B is the second most powerful STIHL cordless chainsaw to date. Sitting above the MSA 200 C-B, this saw uses the brand-new AP 300 S to provide the highest cutting performance of a cordless saw and allows the machine to be used for professional work alongside other professional cordless tools in the STIHL AP-System range.

The STIHL EC motor works extremely efficiently. Teamed with the new AP 300 S battery from the PRO cordless power system, this device achieves extraordinary performance. (StihlUSA,2023)

Further information about the model is shown in Table №1.

## 2.6 Battery-powered chainsaw Husqvarna 536Li XP



**Figure №8:** Husqvarna 536Li XP

The Husqvarna 536Li XP is perfect for carpenters, contractors, and tree care workers. Features excellent ergonomics and high chain speed. In terms of battery, the battery pack is designed for demanding, long-lasting use for products in Husqvarna's Battery Series line-up. This allows you to quickly switch the same battery between different product applications and keep working. The battery pack provides equally high power, reliable operation, and a long lifetime as gas-powered chainsaws – without any direct emissions. Husqvarna's in-house developed, advanced brushless motor is 25% more efficient than a standard brush motor. This means that the motor provides high and consistent torque. (The Merovingian, 2020)

Further information about the model is shown in Table №1.

## 2.7 Comparison of the technical characteristics

In general, the technical characteristics of the two chainsaws are pretty similar but there are some differences which might affect the performance of both models.

**Table №1:** Comparison of the technical characteristics

<i>Parameters</i>	<i>Stihl MSA 220 C-BQ</i>	<i>Husqvarna 536Li XP</i>
Weight without battery	3.0 kg	2.6 kg
Weight with battery	3.6 kg	3.3 kg
Rated voltage	36 V	36 V
Motor type	Brushless	Brushless
Cutting length	35 cm	35 cm
Vibration level L/R	4.8/3.6 m/s <sup>2</sup>	2.5/2.8 m/s <sup>2</sup>
Battery system	Li-ion AP system	Li-ion
Battery life	Up to 35 min	-
Sound pressure level	89 dB	93 dB
Sound power level	100 dB	106 dB
Chain speed	Up to 24 m/s	Up to 20 m/s
Chain pitch	3/8 “	3/8 “
Chain oil capacity	210 ml	200 ml
Chain type	Picco Micro 3	-

As shown in the table all the parameters of the two chainsaws are similar except the vibration levels, chain speed and battery capacity. The MSA 220 CB-Q has higher chain speed and higher vibrations, two parameters which are connected to each other. At the same time the 536Li XP has lower chain speed and lower vibration levels, but its battery capacity is around 20% higher than the battery capacity of its rival, the MSA 220 CB-Q. From this comparison it becomes clear that the MSA 220 CB-Q is going to feel more powerful at the expense of lower battery capacity.

## 2.8 Information about the forest stand

The tests of the chainsaws take place in the forest division №520, property of the Technical university in Zvolen. It is located around 16km from the university and its altitude is from 650-700 meters. The average incline is around 10%. This forest division contains mainly beech and spruce stands. The beech stands take around 65% of the area while the spruce stands take around 30%. In terms of the dimensions of the trees from these two species, the beech trees have average height of 17 meters, average thickness of 17cm and average volume of the single tree 0.17 m<sup>3</sup>. The spruce trees have average height of 20 meters, average thickness of 20 cm and average volume of the single tree 0.29 m<sup>3</sup>. According to the plan the amount of wood planned for harvesting is 185 m<sup>3</sup> when the harvesting volumes of the beech and spruce stands are summed up. The marking of the harvesting is made by using pink colour.

### 3. Methodology

For the comparison of the two chainsaws series of measurements should be made. The productivity will be measured by the maximum sawing time with fully charged battery. The measurements should be made in various conditions for better results, but during each measurement the conditions for both chainsaws should be similar.

The preparations before the measurements are almost as important as the measurements. They are done at the university workshop. The day before the field work both chainsaws are cleaned with compressed air. The chains are sharpened and as both chainsaws use the same chain type, they are sharpened the same way (manually with rounded file). All the batteries are checked and recharged if needed. Both chainsaws are filled with the same chain oil. After the preparation of the chainsaws all the necessary materials such as tools, axes, safety gear and fuel are prepared. On the day of the measurements both the materials and the chainsaws are loaded into the car and delivered to the work site. After arriving at the forest stand all the safety gear is put on and the measurements begin.

The whole work process is filmed so the sawing time of the chainsaws can be measured more precise and there are two cameras prepared (one for each chainsaw). Before the start of the measurements the trees, which were chosen for felling are found. They are marked with pink paint both on breast height and at the trunk. Bright colors are used in all forest markings for easier recognition of the trees which are chosen for harvesting. The choice of the particular color for each forest stand depends on the forester and must be stated in the documents. Special sprays are used so the marking lasts longer than one year no matter the weather conditions. While felling the marked trees proper methodology of felling should be followed for better productivity. For better safety when felling all the trees are felled in their natural falling direction. Before cutting down each tree it has to be measured. The thickness on breast height is measured and the result is written down in a table. After that the felling process begins. After the tree falls to the ground the size of the trunk is measured and the result is also written down in the table. Each trunk is marked with either S or H (S for Stihl and H for Husqvarna) showing with which chainsaw it is cut. Both measurements are made twice on the tree on 90 degrees angle for better accuracy and the average result is written in the table. After felling each tree, the operator of the chainsaw begins branching. When done the next tree marked for felling is found and the process is repeated. As the whole work process is recorded before the start both cameras are enabled and the recordings are started. In the beginning of each recording the operator has to say the chainsaw brand and the battery number in front of the camera, for easier recognition afterwards. All the cuts must be caught on the recording. When the first battery is fully discharged the recording is ended. The battery is changed with new charged one. After changing the battery new recording is started. When the second battery is discharged the second recording is also ended and the measurement comes to an end.

After the end of the practical part all the recordings are uploaded to a PC and the cutting time of each cut will be measured with a chronometer. At the end all the cutting times will be summed and the result is the full cutting time until the batteries are fully discharged. This result is an indication about the actual cutting time of each chainsaw. Since the capacities of the batteries are different (9.4 Ah and 7.8 Ah) the results are converted in one Ah capacity. Like so the results are more accurate and the chainsaws durability can be actually compared.

### **3.1 Performance comparison**

As known the batteries of the used chainsaws have different capacities (Stihl 7.8 Ah, Husqvarna 9.4 Ah), the maximum sawing time converted to one ampere-hour (Ah) of battery capacity were compared to objectify the results. This conversion will provide us with a relevant comparison of the performance of the given types of cordless saws, regardless of the battery capacity.

## **4. Results**

As mentioned above, the aim of this work was to compare the performance of two battery portable chainsaws in stress tests performed by sawing beech and spruce wood. The maximum sawing time is compared, always for fully charged battery of the given chainsaw with a sharpened before each test chain.

### **4.1 Maximum sawing time**

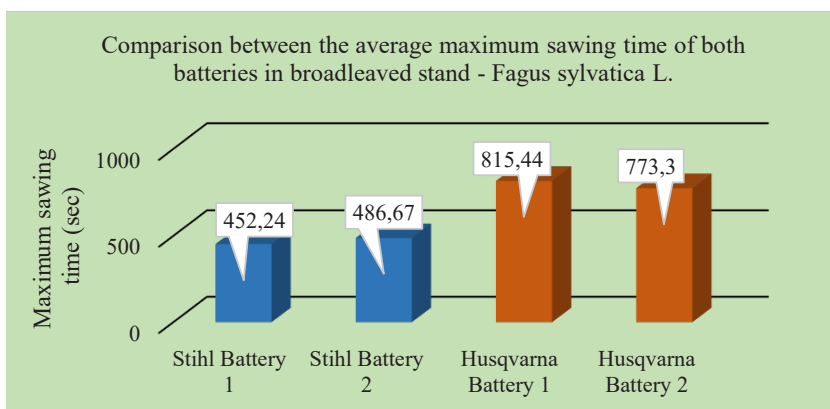
The whole sawing process was recorded on two cameras. One of the cameras was mounted on the helmet of the operator of the Stihl MSA 220 CB-Q chainsaw and gives a closer look to each cut. This provides detailed view to the work process. The second camera was mounted on a tripod and was aimed at the operator of the Husqvarna 536Li XP chainsaw during the whole process. From the recordings the sawing times were evaluated using stopwatch two separate times. The sawing times for all individual cuts made by a battery-powered chainsaw were then summed up and the resulting value represented the maximum sawing time. The maximum sawing time was measured during eight days of testing – four days of sawing beech wood and four days of sawing spruce wood.

**Table 2:** Maximum sawing time in broadleaved stand - *Fagus sylvatica* L. (sec)

Date	Husqvarna 536Li XP			Stihl MSA 220 CB-Q		
	Battery 1	Battery 2	Average	Battery 1	Battery 2	Average
9.3.2023	814,05	702,70	758,38	356,51	437,64	397,08
16.3.2023	840,54	833,89	837,22	462,70	510,32	486,51
21.3.2023	890,98	768,59	829,79	505,74	504,79	505,27
22.3.2023	716,20	788,02	752,11	484,00	493,91	488,96
Average for battery number	815,44	773,30	-	452,24	486,67	-
Average for chainsaw	<b>794,37</b>			<b>469,45</b>		

The MSA 220 CB-Q has lower maximum sawing time while working in the broad-leaved stand. This can be explained by the smaller battery capacity and the electric motor which generates higher chain speed than the 536Li XP.

Diagram №1



After a comparison between the average maximum sawing time of both batteries in broadleaved stand - *Fagus sylvatica* L for both chainsaws is made the results show that there is a difference between the maximum sawing time with battery №1 and №2. The Stihl MSA 220 CB-Q chainsaw has higher sawing time while using the second batteries while the Husqvarna chainsaw has lower maximum sawing time with the second batteries. Both differences are not significant and they vary between 30-40 seconds and can be seen in each day of testing. These differences can be explained by the warming up of the chainsaws components as between batteries one and two no break was made and the chainsaws did not have time to cool down. It can be said that this increase in the temperature of the chainsaws affect both chainsaws but in different ways. With the MSA 220 CB-Q this temperature increase has positive effect on the maximum sawing time but with

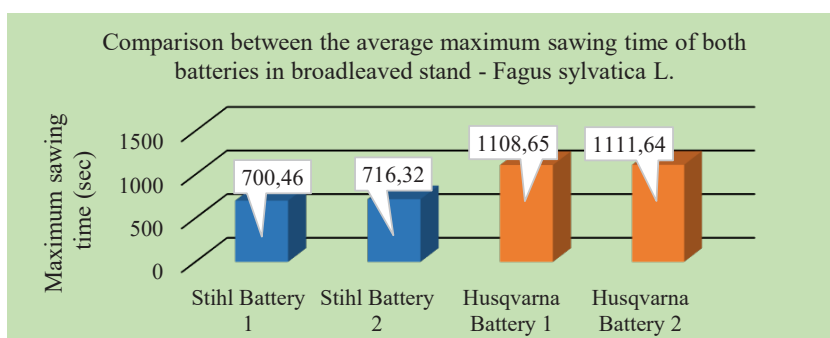
the 536Li XP it is the opposite. Also, it has to be mentioned that during all 4 days of testing the chainsaws, the temperatures in the forest were between 4 and 15 degrees Celsius and in higher temperatures the effect of the increasing temperature might be different and can even lead to an overheat.

**Table №3** Maximum sawing time in coniferous stand – *Picea abies* (sec)

Date	Husqvarna 536Li XP			Stihl MSA 220 CB-Q		
	Battery 1	Battery 2	Average	Battery 1	Battery 2	Average
23.3.2023	1097,81	1042,28	1070,05	700,13	745,51	722,82
24.3.2023	1083,57	1136,21	1109,89	735,32	733,63	734,48
28.3.2023	1120,31	1107,04	1113,68	698,67	703,49	701,08
29.3.2023	1132,91	1161,01	1146,96	667,72	682,64	675,18
Average for battery number	1108,65	1111,64	-	700,46	716,32	-
Average for chainsaw	<b>1110,14</b>			<b>708,39</b>		

While testing the chainsaws in a coniferous stand the results came out to be really stable. There are no significant differences between the different days of testing but there are differences between the two chainsaws are significant just like the case with the broad-leaved stand. Again, the MSA 220 CB-Q has lower maximum sawing times than the 536Li XP which is again explained by the difference in the battery capacities and in the chain speed.

Diagram №2



While tested in the coniferous stand no significant differences were found between the maximum sawing times using batteries №1 and №2.

As the two chainsaws have different battery capacities (Husqvarna 536Li XP uses 9,4

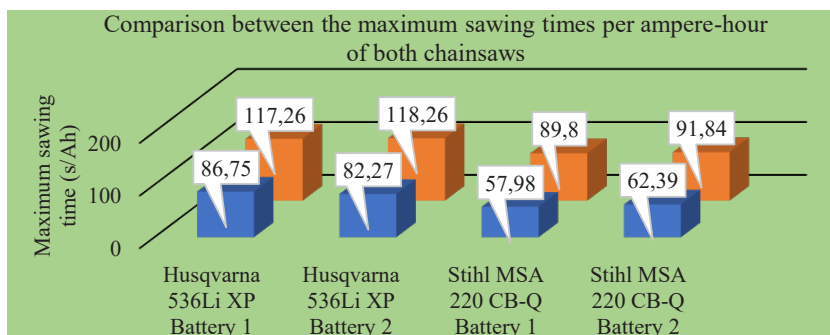
ampere-hour battery while Stihl MSA 220 CB-Q uses 7,8 ampere-hour battery) the real proof of the differences between them is the comparison of the maximum sawing times per ampere-hour.

**Table №4:** Comparison between the performance of the chainsaws by their maximum sawing time per ampere-hour (s/Ah)

Type of forest stand	Maximum sawing time per ampere-hour (s/Ah)			
	Husqvarna 536Li XP Battery 1	Husqvarna 536Li XP Battery 2	Stihl MSA 220 CB-Q Battery 1	Stihl MSA 220 CB-Q Battery 2
Coniferous	117,94	118,26	89,80	91,84
Broadleaved	86,75	82,27	57,98	62,39

When tested in the broadleaved stand MSA 220 CB-Q with battery №1 has 28,77 s/Ah less average maximum sawing time per ampere-hour than the 536Li XP and with battery №2 it has 19,87 s/Ah less than the 536Li XP. When tested in the coniferous stand the results are similar. The 536Li XP has 28,14 s/Ah more with battery №1 and 26,42 s/Ah more with battery №2 than the MSA 220 CB-Q.

Diagram №3



These results can be explained by the fact that the MSA 220 CB-Q battery-powered chainsaw has more powerful electric motor which generates higher chain speed.

## CONCLUSIONS

The aim of the current work was to test two battery-powered chainsaws – Husqvarna 536Li XP and Stihl MSA 220 CB-Q while working in thinings and compare their performance by their maximum sawing time measured in seconds and their maxi-

imum sawing time per ampere-hour, measured in seconds per ampere-hour. During the stress tests the conditions for both chainsaws were similar and the results came up to be stable. From 8 days of testing in total (4 days in a broadleaved stand and 4 days in a coniferous stand) the results came out to be in favor of the Husqvarna 536Li XP battery-powered chainsaw. It produces higher maximum sawing times and higher maximum sawing times per ampere-hour in both forest stands.

Although the MSA 220 CB-Q has lower maximum sawing times it has more power which is also a crucial factor in harvesting. Its only issue is the battery but with the new AP500S battery the chainsaw will improve in terms of performance and it might come up as the better chainsaw.

The comparison of the used battery-powered chainsaws can be continued in future by performing further stress tests under similar conditions and by comparing the battery-powered chainsaws with similar in size and power petrol chainsaws. The obtained results will clarify the differences in the performance of individual cordless saws and the comparison will be even more credible.

Testing of battery-powered brings us the necessary information, on the basis of which we can evaluate, for example, their use in the forestry sector, especially in less demanding processes such as branching or cutting firewood. The obtained results can also serve as a basis for further development and improvement of battery-powered chainsaws with regard to achieving the standards necessary for their use in the forestry sector. After some more improvements in the battery capacities battery-powered chainsaws might be considered the FUTURE OF CHAINSAWS IN FORESTRY.

### **Pod'akovanie**

This work was supported by the Slovak research and development agency (APVV); Cultural and Education grant agency (KEGA) from projects APVV-19- Modelling the detrimental natural hazards occurrence risk impact on the economic complex forestry - wood processing under conditions of the ongoing climate change, APVV-22-0001 Optimization of main health and safety risks in the use of forest biomass for energy purposes and the project KEGA 004TU Z-4/2023 Innovative methods for assessing the quality potential of forest stands.



## SOURCES

- CALANTONI A.; MAZZOCCHI F.; CECCHINI M.; BEDINI R.; MONARCA D. Comparisons between battery chainsaws and internal combustion engine chainsaws: Performance and safety (2016).  
[https://www.researchgate.net/publication/309163180\\_Comparisons\\_between\\_battery\\_chainsaws\\_and\\_internal\\_combustion\\_engine\\_chainsaws\\_Performance\\_and\\_safety](https://www.researchgate.net/publication/309163180_Comparisons_between_battery_chainsaws_and_internal_combustion_engine_chainsaws_Performance_and_safety)
- MCGAURAN G. Battery-Powered Chainsaws and Benefits to Worker Health (2020).  
<https://emergingtechsafety.com/battery-powered-chainsaws-worker-health/>
- D. ARNOLD, J. P. PARMIGIANI, A Study of Chainsaw Kickback, Forest Products Journal, 65 (2015), no. 5-6, 232-238.  
<http://dx.doi.org/10.13073/fpj-d-14-00096>
- NERI F., LASCHI A., MARCHI E., MARRA E., FABIANO F., FRASSINELLI N., FODERI C., Use of Battery-vs. Petrol-Powered Chainsaws in Forestry: Comparing Performances on Cutting Time (2022)  
[https://www.researchgate.net/publication/360238239\\_Use\\_of\\_Battery-vs\\_Petrol-Powered\\_Chainsaws\\_in\\_Forestry\\_Comparing\\_Performances\\_on\\_Cutting\\_Time](https://www.researchgate.net/publication/360238239_Use_of_Battery-vs_Petrol-Powered_Chainsaws_in_Forestry_Comparing_Performances_on_Cutting_Time)
- THÖNY PH., The history of the chainsaw, (2007)  
<https://www.waldwissen.net/en/learning-and-teaching/forest-history/the-history-of-the-chainsaw>
- ORLOVIĆ J., PORŠINSKY T., History of chainsaw development (2012)  
[https://www.researchgate.net/publication/298170751\\_History\\_of\\_chainsaw\\_development](https://www.researchgate.net/publication/298170751_History_of_chainsaw_development)
- TOMCZAK K., NASKRENT B., Work Efficiency of Battery-Powered Chainsaws During the Commercial Thinning in the Young Pine Stand (2022)  
[https://www.researchgate.net/publication/364342934\\_Work\\_Efficiency\\_of\\_Battery-Powered\\_Chainsaws\\_During\\_the\\_Commercial\\_Thinning\\_in\\_the\\_Young\\_Pine\\_Stand](https://www.researchgate.net/publication/364342934_Work_Efficiency_of_Battery-Powered_Chainsaws_During_the_Commercial_Thinning_in_the_Young_Pine_Stand)
- Stihl MSA 220 C-BQ Battery Chainsaw, www.EastBrothersMachinery.ie (2022)  
<https://www.eastbrothersmachinery.ie/product-page/stihl-msa-220-c-bq-battery-chainsaw-16>
- MSA 220 C-B, www.stihlusa.com (2023)  
<https://www.stihlusa.com/products/chain-saws/battery-saws/msa220cb/#features>
- Husqvarna 536Li XP, www.husqvarna.com (2023)  
<https://www.husqvarna.com/bg/verizhni-trioni/536li-xp/>
- Chainsaw, Wikipedia (2023)  
<https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Chainsaw&action=history>
- THE MEROVINGIAN, Husqvarna 536Li XP Review, Garden Surge.com (2020)  
<https://gardensurge.com/husqvarna-536li-xp-review/>

## CONTACT ADDRESS

Toni Konstantinov  
Doc. Ing. Martin Lieskovský, PhD.  
Department of Forestry, Logistics and Recultivation  
Forestry Faculty  
Technical university in Zvolen  
T. G. Masaryka 24  
960 01 Zvolen  
Slovenská republika  
Mobile number: +358 883 358 535  
E-mail: tonikonstantinov@gmail.com  
E-mail: lieskovsky@tuzvo.sk

# LESNÁ ŠKOLA A JEJ MOŽNOSTI VYUŽITIA V RÁMCI NEFORMÁLNEHO VZDELÁVANIA

Bc. Petra GULAŠOVÁ

GULAŠOVÁ, P.: Lesná škola a jej možnosti využitia v rámci neformálneho vzdelávania.  
Acta Facultatis Forestalis, Zvolen

## ABSTRAKT

Lesná pedagogika ako informačný nástroj lesníckej politiky zacielený na širokú verejnosť, sa zameriava na zážitkové sprostredkovanie poznatkov o lesnom ekosystéme, funkciách a význame lesa v kontexte klimatickej zmeny i celospoločenskom kontexte. Ako súčasť environmentálneho vzdelávania do procesu učenia vnáša didaktické prvky. Vďaka operovaniu so zmyslovým vnímaním účastníkov aktivít pozitívne apeluje najmä na skupinu detí a mládeže. Okrem sprostredkovania poznatkov si kladie za cieľ budovať povedomie o lesníckej práci a budovať pozitívny obraz o lesníckom sektore v radoch laickej i odbornej verejnosti. Na tieto účely slúžia rôzne realizačné objekty, akým je napríklad lesná škola, ktorá prostredníctvom neformálneho vzdelávania vštepuje environmentálne hodnoty občanom už od ranného detstva. Cieľom príspevku je analyzovať možnosti využívania lesnej školy v Leviciach a spôsoby realizácie neformálneho environmentálneho vzdelávania. Použitými metódami výskumu boli kvalitatívna analýza dokumentov, semi-štrukturované interview, pozorovanie a prípadová štúdia. Výsledkami bolo zistené, že aktivity realizované v lesnej škole plnia ciele a princípy neformálneho environmentálneho vzdelávania, pričom škola sa zameriava primárne na cieľové skupiny detí materských škôl a žiakov základných škôl.

**Kľúčové slová:** informačné nástroje, neformálne vzdelanie, lesná pedagogika, lesná škola

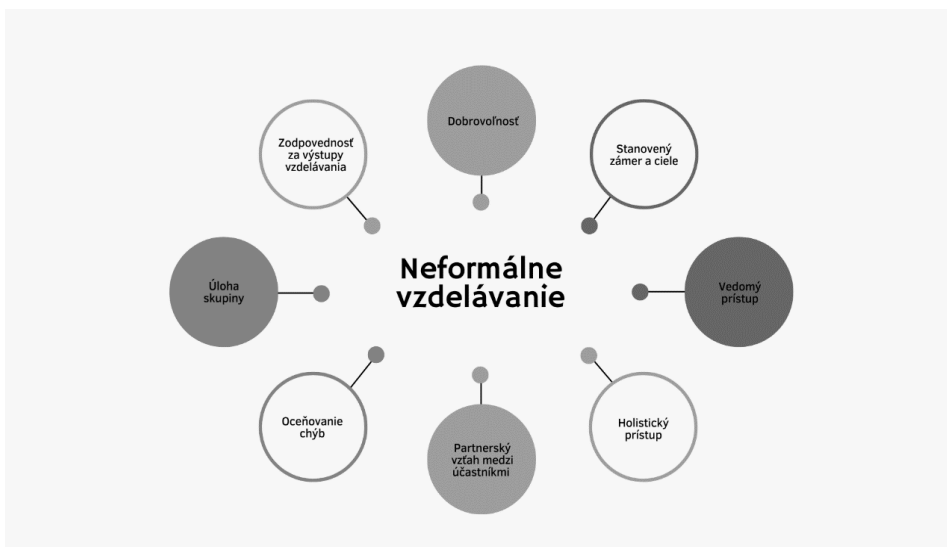
## 1. Úvod a ciele

*„Informačné nástroje sú všetky politické regulačné zásahy, ktoré na formálnej úrovni ovplyvňujú konanie a správanie spoločnosti a hospodárstva výlučne prostredníctvom informácií“ (KROTT 2001).*

Medzi informačné nástroje lesníckej politiky zaradujeme tie nástroje, ktorých cieľom je vyvolať želané správanie u spoločnosti výlučne prostredníctvom informácií. Tieto nástroje sú využívané aktérmi štátnej v rámci ovplyvňovania prostredníctvom informácií, presvedčovania a osvety s hlavným cieľom ovplyvniť takýmto spôsobom myslenie, rozhodovanie a konanie vybraných adresátov opatrení lesníckej politiky k želanej zmene v ich správaní, pričom táto je v súčinnosti s vytýčeným cieľom lesníckej politiky. V rámci informačných nástrojov lesníckej politiky na území Slovenskej republiky rozlišujeme tri

hlavné skupiny: lesnícke celoživotné vzdelávanie, poradenstvo v lesnom hospodárstve a práca s verejnosťou (ŠÁLKA a kol. 2017).

Vzdelávací systém v zmysle chápania Rady Európy a Európskej komisie – sa skladá z troch, vzájomne korelujúcich zložiek: formálneho vzdelávania, informálneho učenia a vzdelávania neformálneho. Tieto sa navzájom dopĺňajú a spoločne prispievajú k rozvoju procesu celoživotného vzdelávania (BRANDER a kol., 2006). Európska nadácia pre mládež definuje neformálne vzdelanie ako proces vzťahujúci sa k plánovaným, štruktúrovaným programom a procesom osobného a sociálneho rozvoja jednotlivca, ktorého účelom je rozvoj širokej škály vedomostí a schopností mimo formálneho vzdelávania (*EYF: Definitions* – online). Tieto aktivity bývajú obyčajne organizované klubmi mládeže, mimovládnyimi organizáciami, či školskými zariadeniami pre záujmové vzdelanie (PEŠEK a kol., 2020). Základné predpoklady, ktoré by malo neformálne vzdelávanie spĺňať podľa PEŠEKA a kol. ilustruje obrázok č. 1.



**Obrázok 1:** Kľúčové princípy neformálneho vzdelávania (Pešek a kol. 2020, upravené)

**Fig.1:** Key principles of non-formal education

Neformálne vzdelávanie by malo napĺňať potreby všetkých vekových skupín, avšak táto skutočnosť sa nemusí nutne mať kontinuálne danú štruktúru – aktivity neformálneho vzdelávania sú obyčajne realizované cez krátke kurzy, workshopy, či semináre; pričom výstupom takejto aktivity obyčajne nie je oficiálne uznaná kvalifikácia. Špecifikom v tomto prípade sú aktivity neformálneho vzdelávania, kedy za splnenia určitých podmienok môže byť vydaná oficiálne uznaná kvalifikácia – v tomto prípade ide o špeciálny program, ktorý napĺňa určité požiadavky v prípadnom inom kontexte (ISCED 2011, 2012). Príkla-

dom takéhoto kurzu môže byť kurz lesnej pedagogiky, kde účastníci po ukončení kurzu obdržia oficiálny certifikát oprávňujúci ich k výučbe lesnej pedagogiky.

### **Neformálne environmentálne vzdelanie na Slovensku**

Dôležitosť rozširovania environmentálneho povedomia u občanov v každom veku je zdôraznená v Stratégii environmentálnej politiky Slovenskej republiky do roku 2030 – „Zelenšie Slovensko“ (Envirostratégia, 2019). Súčasný stav environmentálneho vzdelávania a návrh opatrení na zlepšenie jeho stavu popisuje cieľ 13 tejto stratégie – Environmentálna výchova a vzdelávanie v každom veku. V dokumente sa konštatuje nízke povedomie občanov Slovenskej republiky v oblasti udržateľnosti. Súčasný stav nevedie k zmene správania občanov smerom k udržateľnému rozvoju – aj napriek širokým možnostiam realizácie environmentálnej výchovy a osvetu. (Envirostratégia 2019, SAŽP 2020). Neformálnej environmentálnej výchovy a vzdelávaniu sa venujú čiastkové ciele 13.2: *Viesť k zodpovednej výrobe, spotrebe a ochrane prírody neformálnym vzdelávaním* a 13.3: *Zlepšiť environmentálne povedomie prostredníctvom kultúrneho a prírodného dedičstva a cestovného ruchu*, ktoré si kladú za úlohu podporu vzdelávacích aktivít zameraných na zvýšenie informovanosti o dobrovoľných nástrojoch environmentálnej politiky, taktiež vzdelávanie v oblasti uvedomelej spotreby, ochrany prírody a aktívnu participáciu verejnosti v tejto oblasti (Envirostratégia 2019 s. 45).

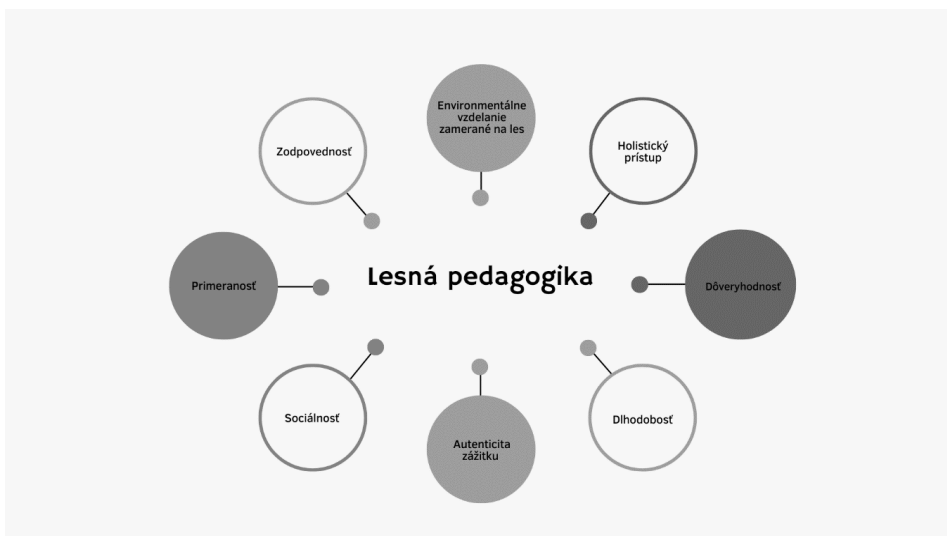
Lesná pedagogika sa v kontexte neformálnej environmentálnej výchovy javí ako vhodná metóda pre zvýšenie povedomia a podnietenie participácie verejnosti k trvalo udržateľnému spôsobu života. *Koncepcia rozvoja lesnej pedagogiky ako súčasti environmentálneho vzdelávania* (2010) definuje v rámci tohto dokumentu lesnú pedagogiku ako učenie o lesnom ekosystéme a výchovu jednotlivcov k udržateľnému spôsobu života na príklade lesa (ďalej ako Koncepcia LP).

HRBAL a kol. (2018) konštatujú, že lesná pedagogika je súborom pozostávajúcim z ucelených poznatkov a informácií, ktorý disponuje vlastnou filozofiou, štandardmi, disponujúci osvedčenými postupmi a aktivitami pri realizácii svojich programov s hlavným cieľom zvýšiť povedomie spoločnosti o význame a funkciách lesných ekosystémov a budovať tak hodnotovú orientáciu občanov v zmysle konceptu trvalej udržateľnosti. Lesná pedagogika – ako nástroj práce s verejnosťou – je najjednoduchším spôsobom komunikácie s verejnosťou, v rámci ktorej lesníci, resp. lesní pedagógovia približujú širokej verejnosti lesný ekosystém a funkcie lesného hospodárstva (HUDECOVÁ a kol., 2004). Využitím širokej škály foriem zážitkového učenia, projektového vyučovania a aktivizujúcich metód sa stáva prostriedkom nielen poskytovania vedomostí, ale dotýka sa aj emocionálneho vnímania jednotlivca, je nástrojom získavania zručností a tým podporuje komplexný rozvoj osobnosti. Jednotlivé aktivity sú zabezpečované certifikovanými lesnými pedagógmi, oslovujú rozmanité cieľové skupiny, vrátane rodín s deťmi, osôb so špeciálnymi potrebami a seniorov; primárne sa však sústreďujú najmä na deti a mládež (MARUŠÁKOVÁ

a kol.. 2010a). Aj v *Envirostratégii* (2019) sa konštatuje, že vzdelávanie v oblasti trvalej udržateľnosti je potrebné realizovať od čo najskoršieho veku, kedy jednotlivci ešte nemajú rozvinuté negatívne environmentálne návyky, a tak si budujú pozitívny vzťah k životnému prostrediu priamo v ňom a to najmä upriamením pozornosti na zmyslové vnímanie.

Lesná pedagogika pracuje so svojimi účastníkmi cez hlavu-ruka-srdce; a teda sprostredkováva učenie na troch úrovniach – na úrovni kognitívnej (hlava), sociálno-afektívnej (srdce) a psycho-motorickej (ruky). V procese učenia sa rozvíja účastník jednak po vedomostnej stránke, kedy je mu poskytnutý základný pojmový aparát a hravou formou predstavené súvislosti na príklade lesa, tiež sa rozvíjajú komunikačné schopnosti, kooperácia, estetické vnímanie a praktické zručnosti jednotlivca (MARUŠÁKOVÁ a kol. 2010a).

Základné princípy lesnej pedagogiky na Slovensku vychádzajú zo Spoločnej Európskej stratégie pre lesnú pedagogiku (*Common European Strategy on Forestpedagogy*, 2017), sú zároveň rámcom definujúcim ciele lesnej pedagogiky, s hlavným zámerom zvýšiť environmentálne cítěne v radoch verejnosti a budovať pozitívny obraz o lesníctve u obyvateľstva (MARUŠÁKOVÁ a kol.. 2010b). Kľúčové princípy učenia popisuje obrázok č. 2.



**Obrázok 2:** Princípy učenia lesnej pedagogiky (Marušáková 2010b - vlastné spracovanie)

**Fig. 2:** Forest pedagogy principles

Pre vytvorenie pozitívneho vzťahu človeka k lesu, resp. k podnieteniu jednotlivca k angažovanosti sa v otázkach trvalo udržateľného rozvoja lesná pedagogika využíva najmä zážitkové učenie. Zážitkové učenie – učenie hrou je jedným z najaktuálnejších konceptov vo vzdelávaní s priaznivým účinkom na osobnostný rozvoj jednotlivcov (HUDECOVÁ a kol. 2004). V procese zážitkového učenia si jednotlivci osvojujú vedomosti prostred-

níctvom prežívania – takto nadobudnuté poznatky sú potom jednotlivcami efektívnejšie uplatňované v praktickom živote (DENKOVÁ 2013). Zážitkové učenie lesná pedagogika sprostredkúva najmä cez: projektové a bádateľské učenie, prednášky a besedy, dramatináciu, muzikoterapiu, literárnu, filmovú a novinársku tvorbu. Časté sú tiež vedomostné súťaže, tvorivé a výtvarné dielne, aktivity rozvíjajúce praktické zručnosti či turistika a ďalšie. Vychádzajúc z údajov *Správy o lesnej pedagogike ako súčasti environmentálnej výchovy za rok 2020 (2021)* môžeme konštatovať, že väčšina uvedených aktivít (až 55%) je realizovaná v exteriéri – z toho až 33% bolo realizovaných v lesnom prostredí.

Okrem lesného prostredia môže byť lesná pedagogika realizovaná aj v rôznych zariadeniach – MARUŠÁKOVÁ a kolektív (2010b) vymedzujú zariadenia lesnej pedagogiky z hľadiska viazanosti na určité miesto. Lesná pedagogika môže byť realizovaná v zariadeniach viazaných k určitému územiu, dopravnému prostriedku, či budove. Práve medzi zariadenia viazané k budove patria okrem iného tiež lesné školy v prírode v zmysle pobytových zariadení a objekty lesných škôl, pričom pod pojmom lesná škola kolektív autorov popisuje zariadenie sprostredkovávajúce učebné priestory a metodické pomôcky zamerané na senzorické vnímanie prírodného prostredia. Tieto zariadenia bývajú obyčajne zasadené v lesnom prostredí pre zabezpečenie priameho kontaktu návštevníkov s prírodou. Okrem interiéru tiež zvyknú disponovať aj príľahlými priestormi slúžiacimi na realizáciu aktivít. Tieto zariadenia fungujú buď na princípe denných centier, tiež môžu ponúkať možnosť viacdňového pobytu s ponukou ubytovacích aj stravovacích služieb.

V afektívnej i kognitívnej oblasti lesná pedagogika účinne napĺňa ciele environmentálnej výchovy a navyše do formálneho vzdelávania prostredníctvom svojich aktivít vnáša neformálnu výuku, zabezpečuje konfrontáciu teoretických vedomostí s praktickými zručnosťami. Okrem uplatňovania v rámci environmentálnej výchovy je možné aktivity lesnej pedagogiky realizovať aj v súvislosti s inými predmetmi, tiež môže byť uplatňovaná v prostredí školských klubov detí (MARUŠÁKOVÁ a kol. 2010a).

Cieľom príspevku je analyzovať možnosti využívania lesnej školy v rámci neformálneho vzdelávania na príklade lesnej školy v Leviciach.

## 2. Materiál a metódy

Metodika práce bola založená na metódach sociologického výskumu. Hlavnými metódami uplatnenými pri realizácii tejto práce boli kvalitatívna analýza dostupných dokumentov, pozorovanie, štruktúrované interview a prípadová štúdia.

Prípadová štúdia je ako metóda výskumu zameraná na štúdium konkrétneho prípadu s cieľom zistenia spôsobu priebehu procesu v rámci konkrétneho študovaného objektu. Ako podklad pre vypracovanie prípadovej štúdie môžu slúžiť dokumenty, archívne záznamy, archívne záznamy, rozhovory, priame či zúčastnené pozorovanie a fyzické artefakty (KVAŠŇÁKOVÁ, online). Objektom nami vykonanej prípadovej štúdie bola Lesná škola

v Leviciach, na ktorej sme v rámci štúdie skúmali spôsoby, akými lesná škola napĺňa jednak ciele stanovené pri začiatku jej budovania a jednak ciele a koncepcie lesnej pedagogiky a neformálneho vzdelávania.

Interview (rozhovor) je jedným z najstarších spôsobov systematického získavania poznatkov. Jedná sa o výmenu názorov a pohľadov na svet od dvoch odlišných osôb. V sociálnych vedách je interview dôležitým spôsobom získavania empirických dôkazov (GIBBS, 2018; KVALE, 2003). Semi-štrukturované interview slúži na získanie opisu prebehnutých skutočností od dotazovanej osoby. Má vopred stanovené tematické oblasti na ktoré je nevyhnutné získať odpovede. Vyznačuje sa voľnosťou v poradí otázok, potenciálnou zmenou formy otázok a prípadnými novými, objasňujúcimi otázkami s cieľom nasledovať myšlienky dotazovaného (BRINKMANN a KVALE, 2018).

V rámci práce boli analyzované zverejnené dokumenty, tlačové správy, informácie dostupné na internete, tiež reportáže a články venujúce sa problematike predmetnej lesnej školy.

Na základe zistených informácií sme následne vymedzili otázky, ktoré boli použité pri semi-štrukturovanom interview:

- Aká bola hlavná myšlienka za vybudovaním lesnej školy v Leviciach? Prečo bola vybudovaná práve v Leviciach?
- Na akú cieľovú skupinu sa objekt lesnej školy zameriava?
- Akým spôsobom je objekt prispôbený cieľovej skupine?
- Aké aktivity sú návštevníkom zariadenia ponúkané?
- Akým spôsobom sú aktivity sprostredkované cieľovej skupine?
- Koľko obyčajne trvá jeden vstup?
- Akým spôsobom je zabezpečená štruktúra zamestnancov – lesných pedagógov?
- Je plánované rozširovanie ponuky aktivít, resp. objektu v budúcnosti?

Hlavným cieľom pri formulácii otázok bolo zistiť – tak, ako už bolo uvedené – akým spôsobom funguje prevádzka lesnej školy, kto je jej cieľovou skupinou a ako napĺňa princípy a ciele lesnej pedagogiky a koncepciu neformálneho vzdelávania.

Semi-štrukturalizované interview prebehlo v priestoroch Lesnej školy dňa 13.05.2022. Respondentom bola v tomto prípade vedúca lesnej školy, ktorej boli položené otázky uvedené vyššie. Zároveň s interview sme realizovali tiež pozorovanie priamo v mieste lesnej školy, kde boli prehliadnuté vonkajšie, vnútorné priestory budov, metodické pomôcky a vybavenie používané pri organizovaných aktivitách.

### **3. Výsledky a diskusia**

#### **3.1 Výsledky prípadovej štúdie na lesnej škole v Leviciach**

Vzhľadom k realizovanému výskumu môžeme konštatovať, že lesná škola Levice slúži ako náučný objekt zameraný na sprostredkovávanie vedomostí v oblasti en-

vironmentálnej výchovy, hlavne na príklade lesa. Od tradičného konceptu lesnej školy sa odlišuje najmä tým, že je umiestnená v mestskom prostredí a teda nie priamo v lese – avšak lesné prostredie je efektívne prenesené do vnútorných priestorov a teda škola ponúka možnosť využitia jej priestorov celoročne a v každom počasí. Umiestnením v mestskom prostredí podnecuje záujem o environmentálne témy v radoch mestského obyvateľstva, čím ho edukuje a podnecuje k udržateľnejšiemu spôsobu života – týmto napĺňa tiež čiastkový cieľ 13.2. *Envirostratégie* (2019). Navyše, svojou dispozíciou a vybavením objekt lesnej školy takmer dokonale imituje lesné prostredie, je tiež plne prispôsobený osobám so špeciálnymi potrebami. Svojou rozlohou a netradičnou koncepciou je najväčším objektom svojho druhu na Slovensku.

V rámci prípravy a organizácie svojich aktivít lesná škola spolupracuje s NLC ako koordinátorom lesnej pedagogiky na Slovensku, tiež s Lesníckym a drevárskym múzeom vo Zvolene a Tekovským múzeom. Jednotlivé programy, ktoré ponúka sú organizované vždy v sprievode certifikovaného lesného pedagóga, čím je zabezpečená dôveryhodnosť sprostredkovaných informácií. Aktivity sú navrhované za účelom komplexného pochopenia sprostredkovávanej témy s dôrazom na holistický prístup a podnecovanie zmyslového vnímania – vnímanie textúry, štruktúry, chutí, zrakové a sluchové vnímanie – hravá forma podania vytvára tiež emocionálnu odozvu u účastníkov. V ponúkaných programoch sú obsiahnuté témy pojednávajúce o lesnom ekosystéme a jeho zložkách, tiež témy z oblasti ekológie, ochrany životného prostredia či etikete v lese. Škola ponúka návštevníkom tiež možnosti nočného pozorovania hviezd a strelby na laserovej strelnici. Prehľad ponúkaných tém na mesiace apríl a máj 2022 ilustruje obrázok č. 3.

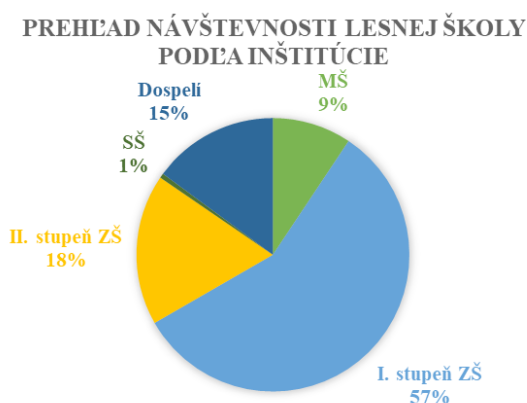


**Obrázok 3:** Prehľad ponúkaných programov na mesiace Apríl-Máj 2022  
(Zdroj: <https://forestschoools.eu/rezervacie/> - vlastné spracovanie)

**Fig. 3:** Themes of programmes offered in forest school Levice – April/May 2022, overview



Cieľovou skupinou lesnej školy sú osoby všetkých vekových kategórií – primárne sa však škola sústreďuje na deti a mládež. Za obdobie od svojho spustenia až po mesiac máj 2022 školu navštívilo spolu 2965 osôb rôznych vekových kategórií. Lesná škola okrem základných a materských škôl aktívne spolupracuje s OZ Ostrov – Občianske združenie zdravotne postihnutých; pravidelnými návštevníkmi lesnej školy sú rovnako seniori z miestnych klubov dôchodcov. Okrem pravidelných návštevníkov je lesná škola prístupná aj širokej verejnosti, rodinám s deťmi či iným skupinám návštevníkov – obrázok č. 4 odkazuje na rozloženie návštevníkov po vekových kategóriách, pričom najviac zastúpenou sú deti a mládež zo systému primárneho vzdelávania.



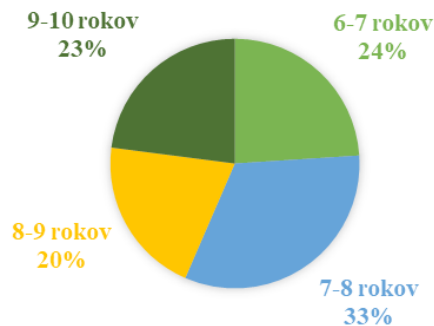
**Obrázok 4:** Prehľad návštevnosti lesnej školy na základe inštitúcií (Zdroj: Lesná škola Levice - vlastné spracovanie)

**Fig. 4:** Ratio of participants based on the institution

V kontexte návštevníkov pochádzajúcich z I. stupňa základných škôl – tak, ako ilustruje obrázok č. 5 – môžeme pozorovať takmer rovnomerné rozloženie jednotlivých vekových skupín návštevníkov. Aktivity lesnej pedagogiky, ktoré lesná škola ponúka, môžu byť pre tieto vekové skupiny uplatňované v predmetoch ako prírodoveda a vlastiveda, tiež môžu slúžiť na spestrenie výučby slovenského jazyka, matematiky či cudzích jazykov.

Z vekového rozloženia návštevníkov prichádzajúcich do lesnej školy z II. stupňa základných škôl dominuje skupina detí vo veku 10 až 11 rokov, t.j. žiaci 5. ročníka. Predpokladáme, že ich vysoké zastúpenie je spôsobené najmä faktom, že žiaci sa v rámci predmetu Biológia v 5. ročníku venujú téme lesného ekosystému a teda návšteva lesnej školy je vhodným doplnkom k preberanému učivu v rámci systému formálneho vzdelávania.

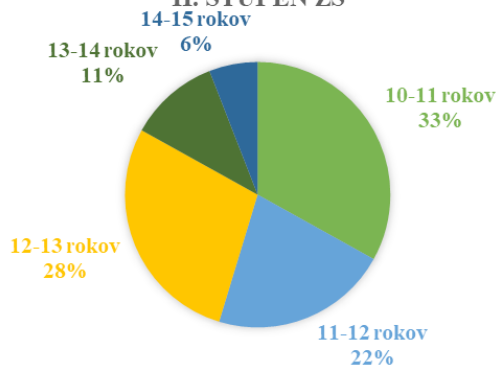
## VEKOVÉ ROZLOŽENIE NÁVŠTEVNÍKOV - I. STUPEŇ ZŠ



**Obrázok 5:** Vekové rozloženie návštevníkov z I. stupňa ZŠ  
(Zdroj: Lesná škola Levice - vlastné spracovanie)

**Fig. 5:** Age distribution: primary school attendants

## VEKOVÉ ROZLOŽENIE NÁVŠTEVNÍKOV - II. STUPEŇ ZŠ



**Obrázok 6:** Veková štruktúra návštevníkov z II. stupňa ZŠ  
(Zdroj: Lesná škola Levice – vlastné spracovanie)

**Fig. 6:** Age distribution: secondary school attendants

Ako vyplýva z údajov o návštevnosti a tiež z tém, ktoré v rámci svojej prevádzky lesná škola komunikuje, primárnou cieľovou skupinou sú práve deti základných škôl, kedy lesná škola vstupuje do procesu nadobúdania informácií u týchto detí ako doplnkový zdroj k formálnemu vzdelaniu, čím umocňuje informácie nadobudnuté v systéme formálneho vzdelania, účelne ich prepája v širšom kontexte a pomocou zážitkových a praktických aktivít v deťoch buduje povedomie o lesnom ekosystéme, tiež ich podnecuje k angažovanosti v otázkach ochrany životného prostredia a trvalého spôsobu života – týmto čias-

točne lesná škola plní aj požiadavky *Rezortnej koncepcie EVVO do roku 2025* (MŽP SR, 2015) – konkrétne jej čiastkového cieľa: *3.1: Zatraktívnenie a zvýšenie záujmu verejnosti o problematiku životného prostredia, ochrany prírody a krajiny a podpora občianskej angažovanosti a aktívneho dobrovoľníctva.*

Návštevníci rozvíjajú svoje motorické schopnosti v kresliarni, tiež sa učia praktickým zručnostiam a významu dreva ako suroviny v dielni, v diorámovej miestnosti zážitkovým spôsobom a prostredníctvom zraku, sluchu, hmatu a chuti poznávajú lesný ekosystém a jeho zložky. Osvojované sú aj praktické zručnosti – v rámci tvorivých dielní pri práci s prírodnými materiálmi, kedy majú účastníci možnosť vnímať význam týchto materiálov z hľadiska ich využitia.

Z metodického hľadiska sú najčastejšie využívanými formami sprostredkovávania informácií projektové vyučovanie, besedy a prednášky, tvorivé a praktické dielne, zážitkové hry, tiež projektové a bádateľské učenie. Prostredníctvom výtvarných a tvorivých dielní rozvíja estetické cítenie, organizáciou rôznych súťaží v spolupráci so školskými zariadeniami a inými pravidelnými návštevníkmi tiež podnecuje u cieľovej skupiny kritické myslenie a angažovanosť sa v otázkach ochrany životného prostredia a zodpovedného sa správania v prírodnom prostredí. Metodické pomôcky sú navrhované tak, aby oslovili a podnietili záujem u viacerých vekových kategórií – príkladom sú didaktické panely v študovni, či audiovizuálne pomôcky v priestoroch školy.

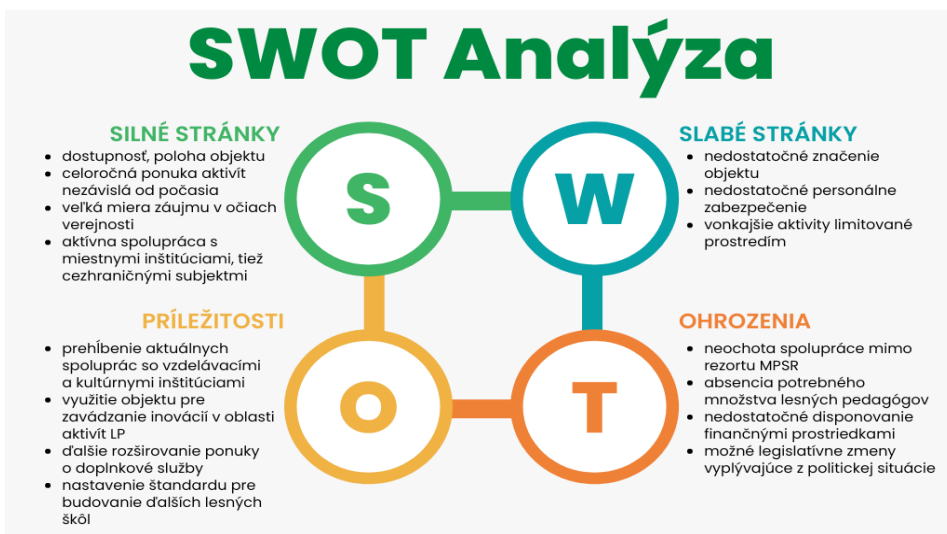
Na základe uvedeného môžeme zhodnotiť, že skúmaná lesná škola vychádza z princípov lesnej pedagogiky a v budúcnosti má za účelom ešte užšieho priblíženia sa týmto princípom ambíciu rozšíriť svoje aktivity z interiéru objektu aj do prostredia lesa a rozšíriť svoje aktivity na viac dní s možnosťou poskytovania ubytovania – za predpokladu dostatočného personálneho zabezpečenia a finančných zdrojov pre ďalšie rozširovanie aktivít.

V kontexte napĺňania cieľov lesnej pedagogiky tak, ako ich uvádza *Koncepcia LP* (2010), môžeme konštatovať, že lesná škola v Leviciach svojimi aktivitami napĺňa ciele z hľadiska záujmov lesníctva a trvalo udržateľného hospodárenia v lesoch. Z hľadiska výchovno-vzdelávacích cieľov sú aktivity lesnej školy navrhované tak, aby účastníkom poskytovali vedomosti uplatniteľné v dlhodobom časovom horizonte a sprostredkovali komplexné informácie o lesných ekosystémoch. Hoci aktivity nie sú realizované priamo v lesnom prostredí, témy, ktoré v nich sú obsiahnuté podnecujú v účastníkoch bližší záujem o toto prostredie a zvyšujú pravdepodobnosť, že účastník v rámci svojho voľného času toto prostredie navštívi.

V súvislosti s *Envirostratégiou* (2019) samotný objekt lesnej školy napĺňa jej čiastkový cieľ 13.3 – v ktorom je uvedená podpora výstavby lesných škôl v súvislosti so zvyšovaním povedomia o kultúrnych a prírodných hodnotách u obyvateľstva Slovenska. V zmysle rozvoja povedomia o týchto hodnotách, je lesná škola Levice vnímaná ako príležitosť pre zvýšenie cestovného ruchu v rámci mesta Levice a jeho priľahlého okolia – v týchto súvislostiach o nej *uvažuje Stratégia rozvoja cestovného ruchu mesta Levice na roky 2021 – 2026* (2021).

Z hľadiska napĺňania princípov neformálneho vzdelávania môžeme konštatovať, že lesná škola Levice – nakoľko vychádza z princípov lesnej pedagogiky a tiež v procese sprostredkovávania informácií svojmu publiku využíva metodické postupy s spôsoby učenia a okruhy tém vychádzajúcej z *Koncepcie LP* (2010) – tieto napĺňa a môžeme o nej hovoriť ako o inštitúcii ponúkajúcej neformálne vzdelávanie v oblasti environmentálnej výchovy, ktorého primárne zameranie je na problematiku vzťahujúcu sa k lesným ekosystémom.

Na základe uvedených zistených skutočností, ako aj zhodnotenia situácie v iných krajinách bola vytvorená pre lesnú školu v Leviciach SWOT analýza popisujúca jej silné a slabé stránky, tiež príležitosti a ohrozenia.



**Obrázok 7:** SWOT analýza Lesnej školy Levice (vlastné spracovanie)

Fig. 7: SWOT analysis – forest school Levice

#### 4. Diskusia

Projektom s obdobnou funkciou, aké plní lesná škola v Leviciach, je tiež Lesná škola v Čermel'skej doline, ktorá je prvým centrom environmentálneho vzdelávania vybudovaným na území Mestských lesov Košice. Stredisko je otvorené od roku 2018 (TASR 2018). Hlavným rozdielom medzi týmito dvomi objektmi je práve ich umiestnenie – kým lesná škola v Leviciach je umiestnená v mestskom prostredí a ponúka aktivity realizované najmä v interiéri, lesná škola v Čermel'skej doline sa sústreďuje najmä na aktivity realizované priamo v prostredí lesa.

Koncept lesných škôl nie je na území Slovenskej republiky veľmi rozšírený – lesná pedagogika je na našom území realizovaná najmä prostredníctvom lesnej vychádzky (*Správa o lesnej pedagogike za rok 2020, 2021*). Významným objektom, ktorý sprostredkováva v lesníckom sektore prácu s verejnosťou, tiež aktivity lesnej pedagogiky je lesnícky skanzen vo Vydrovskej doline. Z inštitúcií podobných lesným školám na Slovensku fungujú Strediská environmentálnej výchovy zastrešené MŽP SR (MARUŠÁKOVÁ a kol., 2010b).

Napriek možnostiam, ktoré lesná pedagogika a jej aktivity v environmentálnej problematike ponúkajú, *Rezortná koncepcia EVVO do roku 2025* ani *Koncepcia rozvoja EVVO v SAŽP do roku 2030* sa tejto téme nevenujú – hoci rovnako obidva dokumenty silno vnímajú potrebu hlbšej spolupráce medzi jednotlivými formami vzdelávania v tejto oblasti a tiež apelujú na nutnosť spolupráce jednotlivých rezortov a mimovládnych organizácií pre zabezpečenie zvyšovania kvality poskytovaného vzdelávania a zatriktívnenia problematiky udržateľného spôsobu života v radoch laickej verejnosti (MŽP SR 2015, SAŽP 2020).

Prevádzky lesných škôl majú dlhšiu tradíciu a silné postavenie v okolitých krajinách. V rámci Maďarskej republiky – v spolupráci s ktorou bola vybudovaná aj lesná škola v Leviciach – už niekoľko rokov funguje systém lesných škôl, pričom ich je na celom území viac ako 30. Na rozdiel od lesnej školy v Leviciach tieto objekty poskytujú okrem aktivít lesnej pedagogiky tiež ubytovacie a iné rekreačné služby; okrem iného niektoré ponúkajú možnosť budúcim lesným pedagógom, resp. učiteľom praktického nadobudnutia zručností prostredníctvom výučby v lesnej škole. Programy realizované v rámci týchto škôl môžu mať trvanie od jedného po niekoľko dní (*Lesné školy v Maďarsku* 2018). Realizované aktivity majú oporu v národných vzdelávacích programoch, v rámci republiky funguje aj systém certifikácie zariadení budovaných za týmto účelom a od roku 1996 sú lesné školy spájané v *Asociácii škôl v prírode s lesníckymi vzdelávacími programami* (MARUŠÁKOVÁ a kol., 2010b).

Kým na Slovensku, ani v Českej republike lesná pedagogika nie je legislatívne ukotvená, v Rakúsku je lesná pedagogika začlenená do zákona o lesoch, zatiaľ čo v Poľsku je okrem zákona o lesoch včlenená aj do zákona o ochrane prírody. V Českej republike je, rovnako ako na Slovensku, najčastejšou formou aktivít lesnej pedagogiky lesná vychádzka. Česko disponuje niekoľkými náučnými chodníkmi, taktiež Informačným a vzdelávacím strediskom Křivoklát, tiež objektmi lesných škôl. V rámci republiky fungujú aj strediská environmentálnej výchovy prevádzkované neziskovými organizáciami (MARUŠÁKOVÁ a kol., 2010b). O lesnej pedagogike v krajine pojednáva Koncepcia štátnej lesníckej politiky do roku 2035 (*Lesní pedagogika v ČR* – online).

Poľsko ako jediná krajina z vyššie uvedených má lesnú pedagogiku okrem lesného zákona ukotvenú aj v zákone o ochrane prírody. Na rozdiel od Slovenskej republiky však Poľsko nedisponuje certifikovaným kurzom lesnej pedagogiky – pedagógovia sa v tejto oblasti vzdelávajú prostredníctvom školení. Lesná pedagogika je v krajine realizovaná

v širokej škále zariadení, ktoré sú moderne vybavené nielen z hľadiska zabezpečenia didaktických pomôcok ale aj techniky. Okrem centier a učební lesnej pedagogiky má Poľsko vybudovanú sieť náučných lesných chodníkov a lokalít lesnej pedagogiky a tiež 466 lesných škôl (MARUŠÁKOVÁ a kol., 2010b).

V Rakúsku má lesná pedagogika ako nástroj komunikácie s verejnosťou veľmi silné postavenie. Certifikované kurzy lesnej pedagogiky krajina ponúka už od roku 1994 (MARUŠÁKOVÁ a kol., 2010b), od roku 2004 aj osobám mimo lesnícky sektor (BASCHNY 2021). Od roku 2001 funguje v rámci krajiny *Asociácia rakúskych lesných pedagógov* a od roku 2002 má Rakúsko referenta pre lesnú pedagogiku, ktorý je jej koordinátorom (MARUŠÁKOVÁ a kol., 2010b). Krajina momentálne disponuje 30 lesnými vzdelávacími centrami – lesnými školami – ktorých zriaďovateľom sú nielen štátne organizácie, ale aj organizácie na úrovni regiónov, samospráv či záujmových združení. Krajina má približne 1900 lesných pedagógov, z toho 900 osôb sa pohybuje priamo v lesníckom sektore (BASCHNY 2021).

## 5. Záver

V závere môžeme zhodnotiť, že lesná pedagogika svojimi princípmi, prístupom a princípmi uplatňovanými v procese sprostredkovávania informácií, metodikou a stratégiami napĺňa kritériá neformálneho vzdelávania tak, ako boli vymedzené v teoretickej časti tejto práce. Témy a ciele lesnej pedagogiky korešpondujú s hlavnými cieľmi a zámermi vymedzenými v koncepciách environmentálnej výchovy, vzdelania a osvetu, uverejnenými v dokumentoch rezortu Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky – tieto dopĺňa o zážitkové učenie, čím zvyšuje atraktivitu environmentálnych tém najmä v očiach detí a mládeže. Lesná pedagogika predstavuje účinný prvok práce s verejnosťou, čím napĺňa aj ciele *Stratégie rozvoja lesníctva na Slovensku* – prioritu č. 18. Aj napriek týmto skutočnostiam a tiež napriek kritike nedostatočnej spolupráce medzi rezortmi zo strany organizácií Ministerstva životného prostredia, musíme konštatovať že, lesná pedagogika nemá v strategických dokumentoch tohto rezortu žiadny priestor, *Stratégia rozvoja environmentálnej politiky* ju tiež spomína len okrajovo v súvislosti s budovaním náučných chodníkov a lesných škôl – preto je naším odporúčaním v tejto oblasti aj naďalej pokračovať v dobrej praxi v tejto oblasti pre vytvorenie spoločenského dopytu po začlenení tohto konceptu aj do týchto koncepcií.

V súvislosti s problematikou lesných škôl môžeme na základe realizovanej prípadovej štúdie konštatovať, že prevádzka Lesnej školy v Leviciach svojou činnosťou a aktivitami realizovanými v spolupráci s kultúrnymi i vzdelávacími inštitúciami a za prítomnosti certifikovaných lesných pedagógov napĺňa princípy lesnej pedagogiky. Priebeh aktivít vychádza z princípu „HLAVA-RUKY-SRDCE“, vyznačuje sa holistickým prístupom, je zameraný na komplexné uchopenie prezentovaných tém. Výrazným prvkom v prevádzke

je zmyslové vnímanie, kedy priestor apeluje nielen na zmyslové vnímanie návštevníkov, ale rovnako pôsobí na ich emocionálnu stránku so súčasným rozvojom praktických zručností účastníkov aktivít. Lesná škola môže byť v súvislosti s neformálnym vzdelávaním, ktorého postupov sa pridŕža, využívaná ako doplnková forma výučby pre žiakov tak materských, ako i základných a stredných škôl. Tiež má potenciál osloviť aj iné vekové skupiny a neformálnym spôsobom ich vzdelávať v otázkach týkajúcich sa ochrany životného prostredia a trvalo udržateľného spôsobu života.

Na základe výsledkov štúdie, vychádzajúc aj z vypracovanej SWOT analýzy je naším odporúčaním pre prevádzku lesnej školy pokračovať v už započatých aktivitách. Pre zvýšenie efektivity prevádzky tiež vnímame potrebu zvýšiť personálne obsadenie v radoch lesných pedagógov pre pružnejšiu reakciu na dopyt po návšteve lesnej školy, tiež pre možnosť rozšírenia otváracie doby o ďalšie dni. Ako možnú príležitosť vidíme prehĺbenie spolupráce s výchovno-vzdelávacími inštitúciami, kde by lesná škola okrem neformálneho vzdelania mohla byť nástrojom budúcich pedagógov pre praktické precvičovanie svojich pedagogických schopností.

## 6. Zoznam použitej literatúry

1. BASCHNY, THOMAS, a , eds. 2021. Forest pedagogics in Austria: With new ideas into the forest, cooperation's and the European dimension!. In: JALOVIAŘOVÁ, VERONIKA, DANA KOLLÁROVÁ A DAGMAR SÉLEŠOVÁ. *20 rokov lesnej pedagogiky na Slovensku: Zborník príspevkov k medzinárodnej konferencii*. Zvolen: NLC, s. 128-131. ISBN 978-80-8093-322-7.
2. BRANDER, PATRICIA, ET AL. *KOMPAS: Manuál pro výchovu mládeže k lidským právům*. 1. vyd. Praha: Argo, 2006. ISBN 80-7203-827-3.
3. Common European Strategy on Forestpedagogy. 2017. *Forestpedagogics* [online]. -: FCN Subgroup Forestpedagogy [cit. 2022-5-19]. Dostupné na internete: [http://forestpedagogics.eu/portal/wp-content/uploads/2018/01/6seitig\\_rz\\_FarbenUnver%C3%A4ndert\\_rz\\_korr.pdf](http://forestpedagogics.eu/portal/wp-content/uploads/2018/01/6seitig_rz_FarbenUnver%C3%A4ndert_rz_korr.pdf)
4. DENKOVÁ, JANKA. 2013. Zážitkové vyučovanie v praxi učiteľa. In: *PRIMAS - Objavné vyučovanie matematiky a prírodovedných predmetov: Zborník z odbornej konferencie konanej 2. júla 2013 v Nitre*. Nitra: UKF Nitra, s. 42-50. ISBN 978-80-558-0442-2. ISSN -.
5. HRBÁL, PETER A KOL. 2018. *40 rokov ďalšieho vzdelávania v lesnom hospodárstve*. Zvolen: NLC. ISBN 978-80-8093-247-3.
6. HUDECOVÁ, EVA, ZDENA HUDECOVÁ A ĽUDMILA MARUŠÁKOVÁ. 2004. *Hráme sa a učíme sa v lese: Program lesnej pedagogiky v štyroch ročných obdobiach*. Zvolen: Ústav pre výchovu a vzdelávanie pracovníkov lesného a vodného hospodárstva SR. ISBN 80-89100-23-6. Dostupné na internete: [https://web.nlcsk.org/wp-content/uploads/2019/11/hrame\\_a\\_ucime\\_sa\\_v\\_lese.pdf](https://web.nlcsk.org/wp-content/uploads/2019/11/hrame_a_ucime_sa_v_lese.pdf)
7. *International Standard Classification of Education: ISCED 2011* [online]. 2012. Montreal: UNESCO - UIS [cit. 2022-4-27]. ISBN 978-92-9189-123-8. Dostupné na internete: <http://uis.unesco.org/sites/default/files/documents/international-standard-classification-of-education-isced-2011-en.pdf>
8. KROTT, M. 2001. Politikfeldanalyse Forstwirtschaft, Eine Einfuehrung fuer Wissenschaft und Praxis, Parey, Berlin, Wien, 254 s.
9. KVAŠŇÁKOVÁ, LENKA. 2017. Prípadová štúdia ako výskumná metóda v rámci aktivít a terapie s asistenciou psov. *UK PU* [online]. Prešov: PU [cit. 2022-5-07]. Dostupné na internete: <https://www.pulib.sk/web/kniznica/elpub/dokument/Soltesova2/subor/Kvasnakova.pdf>
10. Lesníci úspešne ukončili projekt vybudovania unikátnej lesnej školy v centre Levíc: Tlačová správa. 2020. *Forestschools* [online]. Banská Bystrica: LESY SR, š.p. [cit. 2022-5-12]. Dostupné na internete: <https://forestschools.eu/wp-content/uploads/2020/05/tlacova-sprava.pdf>



11. LOYOVÁ, DANA. 2018. Lesná pedagogika - inovatívna metóda neformálnej environmentálnej výchovy. *Enviromagazín*. Banská Bystrica: MŽP SR, 2018(01): 17. ISSN 1335-1877.
12. MARUŠÁKOVÁ, ĽUDMILA A KOL. 2010a. *Lesná pedagogika ako súčasť rozvoja environmentálnej výchovy na Slovensku: Konceptia rozvoja*. Zvolen: NLC. ISBN 978-80-8093-126-1.
13. MARUŠÁKOVÁ, ĽUDMILA A KOL. 2010b. *Lesná pedagogika krížom cez Európu*. Zvolen: NLC. ISBN 978-80-8093-119-3.
14. MORAVČÍK, MARTIN, JOZEF KONÔPKA A KOL. 2009. Stratégia rozvoja lesníctva na Slovensku. *Lesnícky časopis - Forestry Journal*. 55(1): 65-84. DOI: 10.2478/v10114-009-003-6. ISSN 0323-10468.
15. MŽP SR. 2015. Rezortná koncepcia environmentálnej výchovy, vzdelávania a osvetu do roku 2025. *Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky: Osveta a neformálna environmentálny výchova* [online]. Banská Bystrica: MŽP SR [cit. 2022-4-28]. Dostupné na internete: <https://www.minzp.sk/files/dokumenty/strategicke-dokumenty/rezortna-koncepcia-eyvao.pdf>
16. PEŠEK T. A KOL.: *Šlabikár neformálneho vzdelávania v práci s mládežou*, Bratislava, 2020, ISBN: 978-80-973031-9-8
17. Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike za rok 2020: Zelená správa. 2021. *MP SR: Lesné hospodárstvo: Zelená správa 2021* [online]. Bratislava: MP SR [cit. 2022-4-24]. Dostupné na internete: <https://www.mpsr.sk/download.php?fid=21096>
18. Stratégia rozvoja cestovného ruchu mesta Levice na roky 2021 - 2026. 2020. *Mesto Levice: Strategické dokumenty* [online]. Levice: Mesto Levice [cit. 2022-5-19]. Dostupné na internete: [https://www.levice.sk/download\\_file\\_f.php?id=1438934](https://www.levice.sk/download_file_f.php?id=1438934)
19. ŠÁLKA, JAROSLAV A MAREK TRENČIANSKY. 2004. *Lesnícka politika II: teória hospodárskej politiky*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. ISBN 80-228-1353-2.
20. ŠÁLKA, Jaroslav, Zuzana DOBŠINSKÁ, Zuzana SARVAŠOVÁ, Martina ŠTĚRBOVÁ a Hubert PALUŠ. 2017. *Lesnícka politika: vysokoškolská učebnica*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. ISBN 978-80-228-3008-9.
21. ŠIMONOVÍČOVÁ, Jana. 2020. Koncepcia rozvoja environmentálnej výchovy, vzdelávania a osvetu v SAŽP do roku 2030: Vykroč s nami na zelenú!. *Slovenská agentúra životného prostredia: Environmentálna výchova a vzdelávanie* [online]. Banská Bystrica: SAŽP [cit. 2022-4-20]. Dostupné na internete: <https://www.sazp.sk/app/cmsFile.php?disposition=i&ID=782>
22. Štátny podnik LESY SR otvoril v Leviciach unikátnu lesnú školu: Tlačová správa. 2021. *LESY SR: Tlačové správy* [online]. Levice: LESY SR, š.p. [cit. 2022-5-19]. Dostupné na internete: [https://www.lesy.sk/files/lesy/media/aktuality/aktuality-tlacove-spravy-novinky/tlacove-spravy/lsr\\_ts\\_2021\\_06\\_01\\_lesna\\_skola\\_levice.pdf](https://www.lesy.sk/files/lesy/media/aktuality/aktuality-tlacove-spravy-novinky/tlacove-spravy/lsr_ts_2021_06_01_lesna_skola_levice.pdf)
23. TARABA, MARIÁN. 2021. Správa o lesnej pedagogike ako súčasť environmentálnej výchovy za rok 2020. *Národné lesnícke centrum* [online]. Zvolen: NLC [cit. 2022-4-27]. Dostupné na internete: [https://web.nlcsk.org/wp-content/uploads/2021/05/Sprava\\_o\\_LP\\_2020.pdf](https://web.nlcsk.org/wp-content/uploads/2021/05/Sprava_o_LP_2020.pdf)
24. VÝBOŠŤOKOVÁ, MARIANA, DANA CHLPOŠOVÁ A VERONIKA JALOVIAROVÁ. 2020. Správa o lesnej pedagogike za rok 2019. *Lesná pedagogika* [online]. Zvolen: NLC [cit. 2022-4-27]. Dostupné na internete: [http://www.lesnapedagogika.sk/portal/wp-content/uploads/Spr%C3%A1va-o-LP\\_opt.pdf](http://www.lesnapedagogika.sk/portal/wp-content/uploads/Spr%C3%A1va-o-LP_opt.pdf)
25. Zelenšie Slovensko: Stratégia environmentálnej politiky Slovenskej republiky do roku 2030. 2019. *Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky: Envirostratégia 2030* [online]. Bratislava: MŽP SR [cit. 2022-5-19]. Dostupné na internete: [https://www.minzp.sk/files/iep/03\\_vlastny\\_material\\_envirostrategia2030\\_def.pdf](https://www.minzp.sk/files/iep/03_vlastny_material_envirostrategia2030_def.pdf)

#### Internetové zdroje

26. LESY SR. (2018). *Lesné školy v Maďarsku*. citované 2022-04-17, Z:<https://www.youtube.com/watch?v=8by5Ve2jNYg>.
27. <https://www.coe.int/en/web/european-youth-foundation/definitions> (10.04.2022)
28. <https://assembly.coe.int/nw/xml/XRef/Xref-XML2HTML-EN.asp?fileid=16762> (10.04.2022)
29. <https://www.minzp.sk/osveta/> (20.04.2022)
30. [https://www.lesnekluby.sk/?page\\_id=20](https://www.lesnekluby.sk/?page_id=20) (06.05.2022)
31. <https://www.skhu.eu/podporene-projekty/lesnici-pre-zvysenie-environmentalneho-povedomia-verejnosti> (09.05.2022)
32. <https://forestschoools.eu/o-lesnych-skolach/levice/> (09.05.2022)



33. <https://forestschoools.eu/programy/lesna-skola-levice/> (09.05.2022)
34. <https://forestschoools.eu/programy/lesna-skola-levice/> (10.05.2022)
35. <https://forestschoools.eu/o-lesnych-skolach/ciel-projektu/> (09.05.2022)
36. <https://www.lesnipedagogika.cz/cz/lesni-pedagogika/lesni-pedagogika-v-cr> (25.04.2022)
37. <http://www.lesnapedagogika.sk/portal/#/principy> (27.04.2022)
38. <https://kosice.korzar.sme.sk/c/20812297/v-cermelskom-udoli-otvorili-lesnu-skolu.html?ref=av-center> (27.04.2022)
39. <https://www.lesmedium.sk/o-com-sa-pise/v-leviciach-vznikne-unikatna-lesna-skola> (13.05.2022)
40. <https://www.lesmedium.sk/aktualne/lesy-sr-vybudovali-v-leviciach-unikatnu-lesnu-skolu> (13.05.2022)
41. <https://www.lesmedium.sk/aktualne/lesy-sr-otvorili-na-den-deti-v-leviciach-unikatnu-lesnu-skolu> (13.05.2022)

**Kontaktné údaje:**

Bc. Petra Gulašová  
 Katedra lesníckej ekonomiky a politiky  
 Malužiná 103, 032 34  
 petragulasova@gmail.com  
 +421951151884

## Forest school and their role in non-formal education

### Summary

Forest pedagogy, as an information tool of forestry policy aimed at the public, focuses on the experiential transmission of knowledge about the forest ecosystem, functions, and importance of the forest in the context of climate change and the overall societal context. As part of environmental education, it introduces didactic elements into the learning process. Thanks to operating with the sensory participants perception in the activities, it has a positive appeal especially to the group of children and youth. In addition to conveying knowledge, it aims to build awareness of forestry work and builds a positive image of the forestry sector among the lay and professional public. For these purposes, various implementation objects are used, such as the forest school, which, through informal education, inculcates environmental values in citizens from early childhood. The aim of the paper is to analyse the potential of the forest school in Levice in implementing informal environmental education. The research methods used were qualitative document analysis, semi-structured interviews, observation, and case studies. The results showed that the activities implemented in the forest school fulfil the goals and principles of informal environmental education, while the school focuses primarily on the target groups of kindergarten children and elementary school students.

# ANALÝZA KRITÉRIÍ A UKAZOVATEĽOV TRVALO UDRŽATEĽNÉHO OBHOSPODAROVANIA LESA

## ANALYSIS CRITERIA AND INDICATORS OF SUSTAINABLE FOREST MANAGEMENT

Ing. Boris BARTALSKÝ, Mgr. JUDr. Zuzana DOBŠINSKÁ PhD.

**BARTALSKÝ, B. – DOBŠINSKÁ, Z. :** Analýza kritérií a ukazovateľov trvalo udržateľného obhospodarovania lesov Acta Facultatis Forestalis, Zvolen

---

### ABSTRAKT

Trvalo udržateľný rozvoj uspokojuje potreby súčasnosti bez toho, aby ohrozil schopnosť budúcich generácií zabezpečiť svoje vlastné potreby. Globálne lesné zdroje sú nevyhnutné pre zachovanie biologickej diverzity, vodných a pôdnych zdrojov, ako aj pre uspokojenie ľudských potrieb v oblasti drevných a nedrevných lesných produktov. Cieľom trvalo udržateľného obhospodarovania lesov je zabezpečiť, aby lesy poskytovali tovary a služby na uspokojenie súčasných aj budúcich potrieb a prispievali k trvalo udržateľnému rozvoju komunít. Cieľom príspevku je analýza vybraných modelov trvalo udržateľného obhospodarovania lesov podľa Organizácie pre výživu a poľnohospodárstvo. Hlavnou použitou výskumnou metódou je kvalitatívna analýza dokumentov. Modely sú analyzované na základe kritérií a indikátorov udržateľného obhospodarovania lesov Organizácie Spojených národov, ktorých je sedem. Môžeme konštatovať, že dominantné postavenie majú kritériá z oblasti zabezpečenia sociálnych a ekonomických funkcií lesov a právneho, politického a inštitucionálneho rámca. Naopak, najmenší počet vyhradených kritérií sme zaznamenali v oblasti lesných zdrojov.

**Kľúčové slová:** SFM, indikátor, kritérium, les

---

## 1. ÚVOD A CIEĽ

Lesy pokrývajú približne 30% svetovej pôdy (KEENAN ET AL., 2015). Lesy a stromy zásadne prispievajú k životu na Zemi, poskytujú čistý vzduch, regulujú vodné cykly, podporujú väčšinu svetovej suchozemskej biodiverzity, reagujú na zmenu klímy a podporujú živobytie (FAO 2018). Koncept trvalo udržateľného rozvoja sa v posledných dekádach stáva čoraz dôležitejším v globálnej politickej diskusii. Bežne sa definuje ako

rozvoj, ktorý uspokojuje potreby súčasnosti bez toho, aby ohrozil schopnosť budúcich generácií uspokojovať svoje vlastné potreby (HOLVOET ET AL., 2004). Koncept trvalo udržateľného rozvoja bol prvýkrát použitý v roku 1972 počas prvej konferencie Organizácie Spojených národov s názvom „Životné prostredie a rozvoj“ v Štokholme. V tom čase však nebol presne definovaný. Spresnenie sa prijalo na zasadnutí Riadiacej rady Programu OSN pre životné prostredie v roku 1975 (BARTNICZAK ET AL., 2018).

V lesnom hospodárstve je koncept trvalej udržateľnosti oveľa starší a postupne sa vyvinul od konceptu trvalého výnosu, ktorý sa týkal iba produkčnej funkcie lesa, ku konceptu trvalo udržateľného obhospodarovania lesov, ktorý zahŕňa aj ekologické, sociálne a ekonomické aspekty (HOLVOET ET AL., 2004). V 20. storočí sa význam trvalo udržateľného obhospodarovania lesov (SFM) rozšíril z produkcie dreva na iné využitie a hodnoty lesa (SCHMITHÜSEN ET AL., 2014). Dobre obhospodarované lesy, kde je využitý model SFM, môžu mať pozitívny vplyv na biodiverzitu, vytvárať príjmy na boj proti chudobe, poskytovať voľne rastúce ovocie a zver na boj proti hladu, poskytovať liečivé rastliny, poskytovať sladkú vodu na pitie a zavlažovanie a zachytávanie a ukladanie uhlíka (BAUMGARTNER, 2019). SFM sa snaží vyvážiť poskytovanie rôznych lesných produktov a služieb a dlhodobo ich udržiavať. Globálna definícia prijatá Organizáciou Spojených národov zachytáva spoločné chápanie SFM ako „dynamický a vyvíjajúci sa koncept, ktorého cieľom je udržiavať a zvyšovať ekonomické, sociálne a environmentálne hodnoty všetkých typov lesov v prospech súčasnosti a budúcnosti. generácie“ (UN 2007). Dostupné nástroje na podporu SFM začínajú politikou a predpismi, ktoré podporujú tých, ktorí obhospodarujú lesy. Zahŕňajú aj inventarizáciu, monitorovanie, certifikáciu lesného hospodárstva, zapojenie zainteresovaných strán a lesné hospodárske plány. Tam, kde je jasné pochopenie ekologických podmienok obhospodarovaných lesov, môže vhodný regulačný rámec vytvoriť podmienky umožňujúce SFM (MACDICKEN ET AL., 2015). Pokrok smerom k trvalo udržateľnému obhospodarovaniu lesov je vo svojej podstate ťažko merateľný. Udržateľné hospodárenie v lesoch si vyžaduje vyvážený prístup zahŕňajúci tri piliere trvalej udržateľnosti – ekonomický, sociálny a environmentálny. Meranie pokroku v každej z týchto širokých oblastí zmysluplným spôsobom je zložité a často nie je úplne dosiahnuteľné (FAO 2015). Pokrok smerom k SFM sa ako taký meria prostredníctvom kritérií a ukazovateľov (SNOHO ET AL., 2022). Kritériá a ukazovatele trvalo udržateľného obhospodarovania lesov boli vyvinuté prostredníctvom práce mnohých aktérov vrátane vlád, výskumných organizácií, mimovládnych organizácií a súkromných spoločností (MCPFE, 2001). To zahŕňa prácu krajín zapojených do Montrealského procesu, Forest Europe, Medzinárodnej organizácie pre tropické drevo a Organizácie pre výživu a poľnohospodárstvo. Tieto kritériá a ukazovatele sa používajú na definovanie trvalo udržateľného obhospodarovania lesov a na meranie a podávanie správ o pokroku smerom k jeho implementácii (CANADIAN COUNCIL OF FOREST MINISTERS, 2008).

Regionálne a medzinárodné súbory kritérií a indikátorov pre SFM poskytujú podklady pre monitorovanie, hodnotenie a reportovanie o stave lesov a ich obhospodarovania a povypovedajú o pokroku smerom k cieľom udržateľnosti. Predstavujú jeden zo základných pilierov environmentálneho výkazníctva a reportingu v oblasti lesnícko-drevárskeho sektora, nakoľko krajiny podľa nich evidujú napríklad stav, rozsah a vitalitu lesných ekosystémov, ktoré sú jednými z hlavných oblastí danej vednej disciplíny (LINSER ET AL., 2018).

Cieľom príspevku je porovnať vybrané hlavné modely SFM vo svete z pohľadu ich kritérií a indikátorov.

## 2. METODIKA

Hlavnou výskumnou metódou pre naplnenie cieľa je kvalitatívna analýza dokumentov. Analyzovanými dokumentami sú publikácie Medzinárodnej organizácie pre tropické drevo (ITTO), pracovnej skupiny Montrealského procesu a Európskeho lesníckeho inštitútu (EFI), Organizácie pre výživu a poľnohospodárstvo spojených národov (FAO).

Kvalitatívna analýza dokumentov je výskumná metóda na dôslednú a systematickú analýzu obsahu písomných dokumentov. Tento prístup sa používa v politologickom výskume na uľahčenie neustrannej a konzistentnej analýzy písomných politík (WACH, 2013). Analýza dokumentov bude rozdelená na vonkajšiu (týka sa kontextu dokumentu a všetkých okolností jeho vzniku) a vnútornú (zaoberá sa obsahom dokumentu). Analýza dokumentov zabezpečí nevyhnutné vedomosti a súvislosti vo forme „historických súvislostí“, „nevyhnutných odborných vedomostí“ a „vlastného predporozumenia“ skúmaného objektu (WIDNER ET AL., 1997).

Metodický postup pre splnenie cieľa bude spočívať v určení modelov SFM, ktoré budú analyzované. Po určení modelov bude realizované triedenie kritérií jednotlivých modelov podľa globálnej definície kritérií pre SFM podľa Organizácie Spojených národov. Táto definícia považuje za referenčný rámec SFM nasledujúcich sedem kritérií:

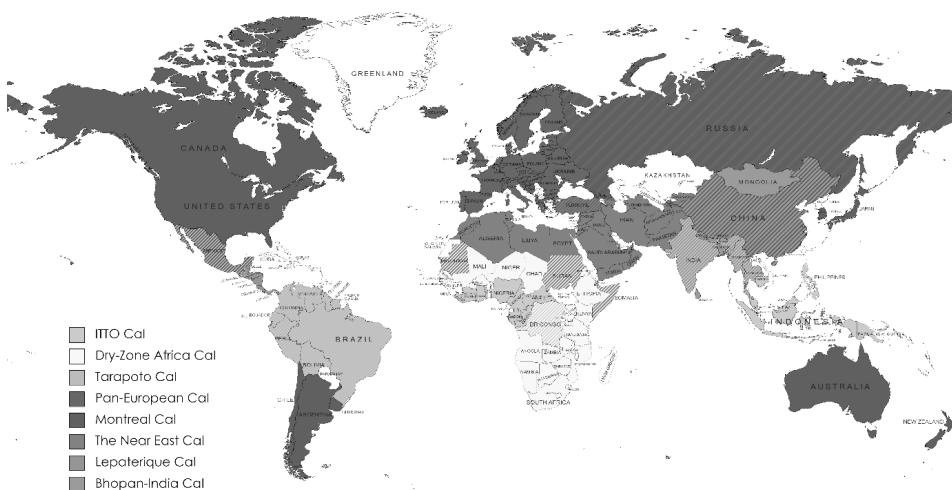
- 1) rozsah lesných zdrojov;
- 2) biodiverzita lesov;
- 3) zdravie a vitalita lesov;
- 4) produkčné funkcie lesných zdrojov;
- 5) ochranné funkcie lesných zdrojov;
- 6) sociálno-ekonomické funkcie lesov;
- 7) právny, politický a inštitucionálny rámec (SHONO ET AL., 2022).

Po realizácii triedenia jednotlivých kritérií vybraných modelov vykonáme analýzu štruktúry jednotlivých kritérií a k dedikovaných kritérií. Výsledkom analýzy bude pohľad na štruktúru kritérií v rámci vybraných modelov SFM a percentuálnu participáciu skupín indikátorov na celkovom objeme kritérií jednotlivých modelov.

### 3. VÝSLEDKY A DISKUSIA

FAO identifikuje osem hlavných medzinárodných procesov a s nimi spätých modelov SFM. Medzi tieto zmienené modely patria (obr. 1):

- International Tropic Timber Organization Proces (ITTO CaI)
- The Dry-Zone Africa Proces (Dry-Zone Africa CaI)
- Tarapoto návrh kritérií a indikátorov pre SFM (Tarapoto CaI)
- Pan-European Forest Proces (Pan-European CaI)
- Montreal Proces (Montreal CaI)
- The Near East Proces (The Near East CaI)
- The “Lepaterique Process Centrálnej Ameriky” (Lepaterique CaI)
- Bhopal-India Proces (Bhopan-India CaI)



Obr. 1 Trvalo udržateľné obhospodarovanie lesov vo svete  
(Zdroj: Vlastné spracovanie podľa FAO 2008)

Obr.1 *Sustainable Forest management in the world*  
(Source: Own processing based on FAO 2008)

Z pohľadu implementácie a celkovej participácie krajín sveta je najviac krajín (41) zapojených do Pan European Forest procesu (tzv. Forest Europe). V poradí druhým je ITTO proces zameraný na manažment lesov tropického pásma, do ktorého je na producerskej úrovni zapojených 33 krajín. Model procesu Dry-zone Africa implementovalo 30 krajín Afrického kontinentu. Near East proces združuje 30 členských krajín. Montrealský proces na ochranu a trvalo udržateľné hospodárenie v miernych a boreálnych lesoch eviduje 12 členských krajín, na ktorých území sa nachádza 90% všetkých svetových miernych

a boreálnych lesov, 49% všetkých lesov, 58% vysadených lesov a 49% celosvetovej produkcie guľatiny. Regionálna iniciatíva pre rozvoj a implementáciu kritérií a ukazovateľov na národnej úrovni pre trvalo udržateľné manažment suchých lesov v Ázii taktiež známa ako Bhopan-India proces eviduje deväť členských krajín. Tarapoto návrh kritérií a ukazovateľov udržateľnosti amazonského pralesa eviduje podľa FAO osem členských krajín, ktoré sa nachádzajú na území Južnej Ameriky. Posledným modelom z pohľadu počtu členských krajín je Proces Lepaterique Strednej Ameriky o kritériách a ukazovateľoch trvalo udržateľného obhospodarovania lesov, ktorý podľa FAO eviduje sedem členských krajín.

### **Analýza kritérií jednotlivých modelov**

Na základe všeobecnej definície kritérií Organizácie spojených národov pre SFM, ktorá definuje sedem kritérií, sme roztriedili kritéria jednotlivých modelov do siedmich skupín. Štruktúru kritérií jednotlivých modelov podľa definície OSN môžeme vidieť v tab.1. Je nutné podotknúť, že niektoré kritérium v rámci modelu môže pokrývať dve kritéria podľa definície OSN, preto sa počet pokrytí kritérií v niektorých prípadoch nemusí zhodovať s počtom kritérií v rámci daného modelu.

Model SFM Montrealského procesu postáva zo siedmich kritérií, v ktorých vzhľadom na početnosť jednotlivých kritérií dominuje kritériu zamerané na ochrannú funkciu lesov. Zvyšné kritéria sú v modeli zastúpené rovnomerne s výnimkou rozsahu lesných zdrojov, ktorá nemá v modeli definované separátne kritérium. Pan-Európsky model je tvorený šiestimi kritériami. Dominantné postavenie majú kritéria zamerané na ochranné funkcie lesných zdrojov. Zvyšné kritéria sú v modeli zastúpené rovnomerne s výnimkou kritéria pre právny, politický a inštitucionálny rámec, ktorého separátne kritérium v modeli absentuje. Model Lepaterique procesu Strednej Ameriky obsahuje osem kritérií, z ktorých najväčšie zastúpenie je v oblasti sociálno-ekonomických funkcií lesov a právneho, politického a inštitucionálneho rámca. V danom modeli sú všetky kritéria podľa definície Organizácie Spojených národov separátne zastúpené. Model kritérií ITTO je tvorený siedmimi kritériami. V modeli je najväčší dôraz kladený na zdravie a vitalitu lesov. Ostatné kritéria sú danom modeli zastúpené rovnomerne a v plnom rozsahu podľa definície SFM. Tarapoto model je tvorený najväčším počtom kritérií spomedzi všetkých skúmaných modelov s konečným počtom 12 kritérií. Dominantné postavenie z pohľadu počtu definovaných kritérií má právny, politický a inštitucionálny rámec s konečným počtom štyroch dedikovaných kritérií. Ďalšími oblastami s vyšším počtom kritérií sú oblasti sociálnych-ekonomických funkcií lesov a produkčných funkcií lesných zdrojov. Ostatné kritéria sú v modeli zastúpené rovnomerne jedným kritériom s výnimkou oblasti rozsahu lesných zdrojov, pre ktoré v modeli nie je definované separátne kritérium. Model Bhopan-India procesu pozostáva z ôsmich kritérií, ktoré sú primárne zamerané na oblasti sociálno-ekonomických funkcií lesov a právneho, politického a inštitucionálneho rámca. Ostatné kritéria sú zastúpené

rovnomerne a v plnom rozsahu podľa definície SFM. Model procesu Dry-zone Africa je tvorený siedmimi kritériami, ktoré pokrývajú všetky kritéria SFM. Dominantné postavenie má oblasť ochranných funkcií lesov, ktorej sú dedikované dve kritéria. Model Near East procesu pozostáva zo siedmich kritérií, ktoré sú rovnomerné rozdelené a pokrývajú všetky kritéria späť so SFM.

Tab. 1 Kritéria vybraných modelov

Tab. 1 *Criteria of selected models*

Procesy	SFM kritéria						
	rozsah lesných zdrojov	biodiv. lesov	zdravie a vitalita lesov	produkčné funkcie lesných zdrojov	ochranné funkcie lesných zdrojov	sociálno-ekonomické funkcie lesov	právny, politický a inštitucionálny rámec
Montreal	0	1	1	1	2	1	1
Pan-European	1	1	1	1	2	1	0
Lepaterique	1	1	1	1	1	2	2
ITTO	1	1	2	1	1	1	1
Tarapoto	0	1	1	2	1	3	4
Bhopan-India	1	1	1	1	1	2	2
Dry-Zone Africa	1	1	1	1	2	1	1
The Near East	1	1	1	1	1	1	1

Zdroj Vlastné spracovanie

Source: Own processing

## Analýza indikátorov jednotlivých modelov

Prehľad percentuálnej štruktúry indikátorov jednotlivých modelov SFM môžeme vidieť v tab. 2. Indikátory sú rozdelené do skupín podľa jednotlivých kritérií SFM definovaných Organizáciou Spojených národov. Model Montrealského procesu obsahuje 54 indikátorov, ktorých majoritnú časť zaradíme pod kritérium sociálno-ekonomických funkcií lesov. V oblasti tohto kritéria model obsahuje 20 indikátorov, ktoré v percentuálnom vyjadrení tvoria 37% všetkých indikátorov v rámci modelu. Naopak najmenší počet zastúpených indikátorov môžeme vidieť v oblasti kritéria zdravia a vitality lesov (2). Percentuálny pomer ostatných indikátorov sa pohybuje v rozmedzí deväť až 18 percent. Pan-Európsky model pozostáva z 36 indikátorov, z ktorých najviac patrí pod kritérium sociálno-ekonomických funkcií lesov s konečným počtom 11 kritérií, čo v relatívnom vyjadrení predstavuje 30% všetkých indikátorov daného modelu.. Percentuálny podiel ostatných skupín indikátorov na celkovom počte indikátorov sa pohybuje v intervale osem až 25%.

Model indikátorov Lepaterique je tvorený 53 indikátormi. Dominantné postavenie v rámci modelu majú indikátory určené na sledovanie kritérií sociálno-ekonomických funkcií lesov a právneho, politického a inštitucionálneho rámca. Obidve skupiny indikátorov boli tvorené zhodne 15 indikátormi, čo je 28% z celkového počtu indikátorov. Percentuálna participácia indikátorov zvyšných kritérií bola na úrovni štyroch až 15 percent. Súbor kritérií a indikátorov ITTO pozostáva z 58 indikátorov, kde najpočetnejšie zastúpenia majú indikátory spadajúce pod kritérium sociálno-ekonomických funkcií lesov. Toto kritérium je zastúpené 12 indikátormi, čo v relatívnom vyjadrení predstavuje 20% celkového počtu všetkých indikátorov. Zvyšné kritéria sú zastúpené v rozmedzí troch až 11 indikátorov. Tarapoto model má tvorený 76 indikátorov, ktoré sú v prevažnej miere zamerané na sledovanie kritéria sociálno ekonomických funkcií lesov. V danom modeli je kritérium zastúpené skupinou indikátorov v celkovom počte 31. Percentuálna participácia indikátorov spadajúcich pod ostatné kritéria sa pohybovala v rozmedzí päť až 22 percent. Model Bhopan-India procesu obsahuje 47 indikátorov. Dominantné postavenie majú indikátory patriace pod kritérium právneho, politického a inštitucionálneho rámca. Kritérium je v danom modeli zastúpené 13 indikátormi a tvorí 27% z celkového počtu indikátorov. Zvyšné kritéria sú v modeli zastúpené v rozmedzí štyroch až deviatich indikátorov na kritérium. Ich percentuálna participácia sa pohybuje v intervale od osem po 19 percent. Model procesu Dry-zone Africa pozostáva zo súboru 58 indikátorov. Majoritnú časť tvoria indikátory späté s kritériom udržania a podpory sociálno-ekonomických služieb lesa a je v modeli zastúpené počtom 17 indikátorov, čo predstavuje 29% z celkového počtu indikátorov. Celkový počet indikátorov zvyšných kritérií sa pohybuje v rozmedzí dvoch až 13 indikátorov, teda ich percentuálna participácia na celkovom množstve indikátorov modelu je na úrovni tri až 22%. The Near East proces model je tvorený 65 indikátormi. Dominantné postavenie má kritériu dedikované sociálnym a ekonomickým funkciám lesov, pre ktoré je definované 19 indikátorov, čo predstavuje 29% z celkového počtu indikátorov. Zvyšným kritériám je dedikovaných štyri až 11 indikátorov z čoho vyplýva, že ich percentuálna participácia sa pohybuje v rozmedzí šesť až 16%.

Z analýzy kritérií a indikátorov modelov SFM nám vyplýva, že najrozvinutejšou oblasťou v obidvoch sférach je kritérium zabezpečenia sociálno-ekonomických funkcií lesa, kde jej naprieč všetkými skúmanými modelmi bolo venovaných 12 kritérií, ktoré sú následne špecifikované 134 indikátormi. Toto zistenie predstavuje hodnotný podklad vo vzťahu k environmentálnemu výkazníctvu ako takému, nakoľko táto vedná oblasť je dedikovaná na hodnotenie environmentálno-ekonomickej výkonnosť, ktorá je úzko spätá so sociálno-ekonomickými funkciami lesa. Environmentálny aspekt environmentálno-ekonomickej výkonnosti je taktiež zakomponovaný v rámci skúmaných modelov, nakoľko evidujeme kritéria, ktoré sú priamo venované témam ako zdravie, rozsah, vitalita a biodiverzita lesných ekosystémov.



Tab. 2 Štruktúra kritérií vybraných modelov  
 Tab. 2 Structure of criteria of selected models

Procesy	SFM indikátory						
	rozsah lesných zdrojov	biodiv. lesov	zdravie a vitalita lesov	produkčné funkcie lesných zdrojov	ochranné funkcie lesných zdrojov	sociálno-ekonomické funkcie lesov	právny, politický a
Montreal	0	9	2	5	8	20	10
Pan-European	3	9	5	5	3	11	0
Lepaterique	2	6	3	8	4	15	15
ITTO	3	7	9	10	6	12	11
Tarapoto	0	8	6	10	4	31	17
Bhopan-India	4	7	6	4	4	9	13
Dry-Zone Africa	2	13	7	5	5	17	9
The Near East	4	11	9	4	9	19	9

Zdroj Vlastné spracovanie

Source: Own processing

#### 4. ZÁVER

Trvalo udržateľné obhospodarovanie lesov ponúka holistický prístup na zabezpečenie toho, aby lesné činnosti prinášali sociálne, environmentálne a ekonomické výhody, vyrovnávali konkurenčné potreby a udržiavali a zlepšovali funkcie lesa v súčasnosti aj v budúcnosti. Pre docielenie zabezpečenia týchto benefitov vznikali rôzne modely trvalo udržateľného obhospodarovania lesov, ktoré pozostávajú zo súboru kritérií a k nim definovaných indikátorov. V príspevku sme analyzovali osem najrozšírenejších modelov SFM podľa FAO. Kritéria modelov boli analyzované v súlade s definíciou FAO, ktorá identifikuje sedem kritérií SFM. Z pohľadu kritérií vybraných modelov môžeme konštatovať, že dominantné postavenie majú kritéria z oblasti zabezpečenie sociálnych a ekonomických funkcií lesov a právneho, politického a inštitucionálneho rámca. Naopak najmenšie množstvo dedikovaných kritérií bolo zaznamenaných v oblasti rozsahu lesných zdrojov. Najväčší počet indikátorov bol zaznamenaný v oblasti sociálnych a ekonomických funkcií lesa. Najmenšiu absolútnu početnosť mali indikátory spadajúce pod prvé kritérium (rozsah lesných zdrojov).

#### PodĎakovanie

Práca bola podporená projektami KEGA 004SPU-4/2023 a VEGA 1/0376/23.

## LITERATURA:

- ACT, (1995). Proposal of Criteria and indicators for sustainability of the Amazon Forest. Pro Tempore Secretariat, Lima, Peru.
- ANON. (1997). Results of the FAO-CCAB-AP experts' meeting on criteria and indicators for sustainable forest management in Central America. Tegucigalpa, Honduras, 20-24/01/97.
- BARTNICZAK, RASZKOWSKI. (2018). Sustainable forest management in Poland. *Management of Environmental Quality An International Journal*. 29. 666-677. 10.1108/MEQ-11-2017-0141.
- BAUMGARTNER. (2019). „Sustainable Development Goals and the Forest Sector—A Complex Relationship“ *Forests* 10, no. 2: 152. <https://doi.org/10.3390/f10020152>
- CANADIAN COUNCIL OF FOREST MINISTERS (2008). Measuring our progress: Putting sustainable forest management into practice across Canada and beyond. .
- EUROPEAN FOREST INSTITUTE. (2013). Implementing Criteria and Indicators for Sustainable Forest Management in Europe. ISBN 978-952-5980-04-2.
- FAO (1999). Practical Guidelines for the implementation of criteria and indicators for sustainable forest management in the Near East Region. United Nations Environmental Programme. Regional Office for the Near East, Cairo.
- FAO, (2000), Practical guidelines for the assessment and measurement of criteria and indicators for sustainable forest management in dry-zone Africa. Rome.
- FAO, (2008), Brief description and number of countries participating in the major international on-going processes on criteria and indicators for sustainable forest management
- FAO, (2015), Global Forest Resources Assessment 2015: How are the world's forests changing? Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome
- FAO, (2018), Terms and Definitions: FRA 2020. Forest Resources Assessment Working Paper 188. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome
- HOLVOET, MUYS. (2004). Sustainable Forest Management Worldwide: A Comparative Assessment of Standards. *International Forestry Review - INT FOR REV*. 6. 99-122. 10.1505/ifer.6.2.99.38388.
- ITTO (2016). Criteria and indicators for the sustainable management of tropical forests. ITTO Policy Development Series No. 21. International Tropical Timber Organization, Yokohama, Japan.
- KEENAN, REAMS, FREITAS, LINDQUIST, ACHARD, GRAINGER, (2015). Dynamics of global forest area: results from the 2015 Global Forest Resources Assessment. *Forest Ecol. Manage.* 352, 9–20
- LINSER, WOLFSLEHNER, BRIDGE, GRITTEN, JOHNSON, PAYN, PRINS, RAŠI, ROBERTSON. (2018) 25 Years of Criteria and Indicators for Sustainable Forest Management: How Intergovernmental C&I Processes Have Made a Difference. *Forests* 2018, 9, 578. <https://doi.org/10.3390/f9090578>
- MACDICKEN, SOLA, HALL, SABOGAL, TADOUM, DE WASSEIGE. (2015). Global progress toward sustainable forest management. *Forest Ecology and Management*. 352. 47-56. 10.1016/j.foreco.2015.02.005.
- MCPFE, (2001). Criteria and indicators for sustainable forest management of the MCPFE: review of development and current status. International expert meeting on monitoring, assessment and reporting on the progress towards sustainable forest management, Yokohama, Japan.
- MONTRÉAL PROCESS LIAISON OFFICE, (2015). Criteria and indicators for the conservation and sustainable management of temperate and boreal forests. Fifth Edition
- SHONO, JONSSON, (2022) „Global Progress Towards Sustainable Forest Management: Bright Spots and Challenges,“ *International Forestry Review* 24(1), 85-97, (12 July 2022). <https://doi.org/10.1505/146554822835224856>
- SCHMITHÜSEN, KAISER, SCHMIDHAUSER, MELLINGHOFF, PERCHTHALER, KAMMERHOFER. (2014), *Entrepreneurship and Management in Forestry and Wood Processing: Principles of Business Economics and Management Processes*, Routledge Explorations in Environmental Economics, Routledge, New York
- UNITED NATIONS, (2007). Resolution adopted by the General Assembly on 17 December 2007 (A/RES/62/98) <https://undocs.org/en/A/RES/62/98> Accessed 15 June 2021
- WACH. (2013). Learning about Qualitative Document Analysis. IDS Practice Papers.
- WIDNER, BINDER. (1997). Forschungsmethoden, In: BUSSMAN, W., KLÖTI, U., KNOEPFEL, P. (Hg.): Einführung in die Politikevaluation, Helbing & Lichtenhahn, 1997, s. 215-255

**Adresy autorov**

Ing. Boris Bartalský, Mgr. JUDr. Zuzana Dobšínská, PhD.

Technická univerzita vo Zvolene

Lesnícka fakulta,

Katedra lesnickej ekonomiky a politiky

T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen

[xbartalsky@is.tuzvo.sk](mailto:xbartalsky@is.tuzvo.sk)

[dobsinska@tuzvo.sk](mailto:dobsinska@tuzvo.sk)