

2019

# PROCEEDINGS OF CENTRAL EUROPEAN SILVICULTURE

Kateřina Houšková, David Jan (eds.)

- MENDELU
- 1919—2019
- 100 years
-

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ**

**LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA  
ÚSTAV ZAKLÁDÁNÍ A PĚSTĚNÍ LESŮ,  
ŠKOLNÍ LESNÍ PODNIK MASARYKŮV LES KŘTINY  
&  
PRO SILVA BOHEMICA**

***MENDEL UNIVERSITY IN BRNO  
FACULTY OF FORESTRY AND WOOD TECHNOLOGY  
DEPARTMENT OF SILVICULTURE,  
FOREST SCHOOL ENTERPRISE MASARYK FOREST KŘTINY  
&  
PRO SILVA BOHEMICA***

---

● **MENDELU**  
● **1919—2019**  
● **100 let**  
●



## **PROCEEDINGS OF CENTRAL EUROPEAN SILVICULTURE**

**Kateřina Houšková, David Jan (eds.)**

**2019**

## Recenzenti *Reviewers*

Ing. et Ing. Pavel Bednář, Ph.D.  
Dr. Matjaž Čater  
Ing. David Dušek, Ph.D.  
Ing. Kateřina Houšková, Ph.D.  
Ing. Dušan Kacálek, Ph.D.  
Ing. Robert Knott, Ph.D.  
Ing. Roman Longauer, CSc.  
Ing. Antonín Martiník, Ph.D.  
Prof. Ing. Oldřich Mauer, DrSc.  
Ing. Jiří Novák, Ph.D.  
Doc. Ing. Radek Pokorný, Ph.D.  
Doc. RNDr. Marian Slodičák, CSc.  
Ing. Jiří Souček, Ph.D.  
Ing. Ondřej Špulák, Ph.D.

## **Proceedings of Central European Silviculture**

---

Vydal <i>Issued by</i>	Mendelova univerzita v Brně <i>Mendel University in Brno</i>
©	
Editoři <i>Editors</i>	Kateřina Houšková, David Jan
Technická redakce <i>Technical edition</i>	David Jan
Obálka, foto na obálce <i>Cover page, photo on the cover page</i>	Kateřina Houšková
Tisk <i>Press</i>	Vydavatelství Mendelovy univerzity v Brně Publishing Centre of Mendel University in Brno
Náklad <i>Number of copies</i>	120 ks  neprošlo jazykovou úpravou
ISBN	978-80-7509-669-2

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ  
LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA  
ÚSTAV ZAKLÁDÁNÍ A PĚSTĚNÍ LESŮ,  
ŠKOLNÍ LESNÍ PODNIK MASARYKŮV LES KŘTINY,  
PRO SILVA BOHEMICA**

**MENDEL UNIVERSITY IN BRNO  
FACULTY OF FORESTRY AND WOOD TECHNOLOGY  
DEPARTMENT OF SILVICULTURE,  
FOREST SCHOOL ENTERPRISE MASARYK FOREST KŘTINY,  
PRO SILVA BOHEMICA**

---

ve spolupraci s:  
*in co-operatin with:*

TECHNICKÁ UNIVERZITA ZVOLEN, LESNÍCKA FAKULTA,  
KATEDRA PESTOVANIA LESA  
TECHNICAL UNIVERSITY, FACULTY OF FORESTRY,  
INSTITUTE OF SILVICULTURE

VYZKUMNÝ ÚSTAV LESNÍHO HOSPODAŘSTVÍ A MYSLIVOSTI JÍLOVIŠTĚ - STRNADY,  
VÝZKUMNÁ STANICE OPOČNO  
FORESTRY AND GAME MANAGEMENT RESEARCH INSTITUTE JÍLOVŠTĚ - STRNADY,  
RESEARCH STATION OPOČNO

NÁRODNÉ LESNÍCKE CENTRUM, LESNÍCKY VÝSKUMNÝ ÚSTAV ZVOLEN  
NATIONAL FOREST CENTRE, FOREST RESEARCH INSTITUTE ZVOLEN

ČZU PRAHA, FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ, KATEDRA PĚSTOVÁNÍ LESŮ  
CZECH UNIVERSITY OF AGRICULTURE IN PRAGUE,  
FACULTY OF FORESTRY AND WOOD SCIENCES, DEPARTMENT OF SILVICULTURE

## **PĚSTOVÁNÍ LESŮ VE STŘEDNÍ EVROPĚ**

*SILVICULTURE IN CENTRAL EUROPE*

Sborník vědeckých prací u příležitosti  
20. mezinárodního setkání pěstitelů lesa střední Evropy  
a 100 let založení Mendelovy univerzity v Brně

*Proceedings of scientific studies on the occasion of the  
20<sup>th</sup> international meeting of Central European silviculturists  
and the 100-year anniversary of establishment of the Mendel University in Brno*

**Brno 3.–5.9.2019**

## Předmluva

Vážení přátelé lesa,

letošní rok 2019 je významným rokem hned z několika důvodů. Je dvacátým rokem výročí každoročního setkávání odborných pracovníků pedagogických a vědeckých pracovišť pěti zakládajících institucí se zaměřením na pěstování lesa v Čechách, ve Slezsku, na Moravě a Slovensku. Těmito institucemi jsou ve směru od východu na západ: Lesnická fakulta Technické univerzity ve Zvolenu (LF TU Zvolen), Národní lesnické centrum Zvolen (NLC Zvolen), Lesnická a dřevařská fakulta Mendelovy univerzity v Brně (LDF MENDELU v Brně), Výzkumná stanice Opočno Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti (VS VULHM Opočno) a Fakulta lesnická a dřevařská České zemědělské univerzity v Praze (FLD ČZU Praha). Z těchto setkání vychází tradičně sborník příspěvků pod názvem „Proceedings of Central European Silviculture“, který právě čtete.

Letošní rok je také stým rokem výročí od založení Mendelovy univerzity v Brně. Je nám proto ctí a potěšením za souhlasné vyjádření k uspořádání letošního setkání pěstitelů, dříve než po pětiletém intervalu, opět na půdě LDF Mendelovy univerzity v Brně.

Z hlediska života stromu či lesa jsme stým výročím teprve na konci období jedné generace lesa, pro středně-rychle rostoucí dřeviny, od založení porostu. Pro porosty s pomaleji rostoucími dřevinami v druhové skladbě bude možná muset uplynout do ukončení jedné generace ještě dalších padesát let. Co se za uplynulých sto let změnilo a kam jsme se posunuli, je tak častou otázkou při bilancování u příležitosti významných výročí. Součástí tohoto sborníku je tedy i několik vyžádaných přehledových příspěvků z oblasti lesnického vysokoškolského vzdělávání a státního výzkumu v České republice, na Slovensku a v příkladu porovnání vzdělávání i v Chorvatsku.

Je stále přesvědčivější zvláště za poslední dvě desítky let, což je jedna generace studentů, že probíhající změny v lidské společnosti, a především v životním prostředí jsou stále výraznější, rychlejší a globálnější. Na současného lesníka je kladen nebývalý tlak, jak ze strany společnosti ve formě požadavků na tzv. ekosystémové služby lesa, tak ze strany výrazných a rychlých změn v počasí a vývoji klimatu, změn v půdním prostředí. Na tyto změny je samozřejmě třeba reagovat, neboť je naší povinností les pěstovat a obhospodařovat trvale udržitelným způsobem. Po sametové revoluci v r. 1989 a následném rozdělení Československa 1.1.1993, kdy společnost ovládali znovu touhy po změnách k lepšímu, demokracii a liberalizaci k tomuto v oboru lesnictví bohužel zcela nedošlo. Naopak, navzdory historicky špatným zkušenostem, došlo ještě k většímu upření se v praxi na krátkodobé ekonomické cíle, a to i v takovém oboru jako je lesnictví, který je založen na dlouhodobém plánování a strategii. Došlo ke změnám v majetkové struktuře lesů navracením majetku různým subjektům, od soukromých osob až nakonec po církevní majetky. Došlo k transformaci státního podniku Lesy České republiky, kdy došlo k úplnému odtržení pěstební činnosti a těžební činnosti. V nedávné době dokonce ke zbavení se zodpovědnosti státu na péči o zvěř v podobě nájmu honiteb. Takto se v dobách vzniku první republiky žádný hospodář, statkář nechoval.

K zásadním změnám dochází ve vývoji klimatu, což lesníky zvláště vede k přehodnocení či předřazení mimoprodukčních funkcí lesa (především vodohospodářské, půdo-ochranné, klimatické aj.) produkční. V řadě oblastí ČR, ale i jinde v Evropě, již jde takřka o podstatu zachování lesa. Již v devadesátých letech minulého století jsme věděli a byli, co by studenti lesního inženýrství, uvědomování,

že pěstování monokultur a opomenutí ekologicko-stabilizační funkce lesa je příliš rizikové. Již v r. 1995 byl na půdě LDF MENDELU v Brně založen Em. prof. V. Tesařem pobočný spolek ProSilva Europa - ProSilva Bohemica hlásící se k přírodě-blízkým postupům obhospodařování lesa. Je nejvyšší čas, aby si vláda a stát jako majoritní vlastník lesů v ČR uvědomil, že je nutno v tomto navrátit lesu jeho bohatou strukturu a les především ekologicky stabilizovat. Proto je tento sborník a setkání pěstitelů vedeno v kontextu přírodě-blízkého lesnictví. Sborník je uveden vyžádanými tematicky zaměřenými příspěvky prof. J. Ph. Schütze, doc. T. Vršky a doc. M. Čatera. Navraťme se v duchu prof. Konšela alespoň k hrubým nástinům pěstění a tvorby lesa biologicky vyrovnaného.

Děkuji všem za příspěvky do sborníku, prezentace, diskuse, rady a práci vedenou ke zdárné organizaci tohoto setkání. Děkuji vedení Školního lesního podniku Masarykův les Křtiny, všem stoupencům ProSilva Bohemica a jejím principům a všem zodpovědným zaměstnancům v lesnictví za ukázky dobrých příkladů praxe. Věřím, že úsilí vedené tímto směrem je správné.

doc. Radek Pokorný

(vedoucí Ústavu zakládání a pěstění lesů, LDF MENDELU v Brně)

## Preface

Dear friends of forest,

the year 2019 is an important year for several reasons. It is the 20<sup>th</sup> anniversary of the annual meetings of the pedagogic and research staff of the five establishing silviculture-oriented institutions from Bohemia, Moravia, Silesia and Slovakia. These institutions, from east to west, are: Faculty of Forestry, Technical University in Zvolen (FF, TU Zvolen); National Forest Centre in Zvolen (NFC Zvolen); Faculty of Forestry and Wood Technology, Mendel University in Brno (FFWT, MENDELU in Brno); Forest Research Station in Opočno, Forestry and Game Management Research Institute (FRS Opočno, FGMRI); and Faculty of Forestry and Wood Sciences, Czech University of Life Sciences Prague (FFWS CULS Prague). In your hand you are now holding the proceedings of this year's meeting, published traditionally under the title „Proceedings of Central European Silviculture“.

In the current year, we are also celebrating the one-hundred-year anniversary of establishment of the Mendel University in Brno. Therefore, it is our great honour and pleasure that we have been given the opportunity to organize the current meeting on the floor of the Faculty of Forestry and Wood Technology of Mendel University in Brno, earlier than at the usual five-year interval.

From the point of view of a tree or a forest life, we are just at the end of one forest generation of medium-fast growing tree species from its establishment. For forest stands with slowly-growing tree species, maybe more than another fifty years will have to pass to reach the end of one generation. What has changed and what we have reached during the past one hundred years is a frequent question discussed on the occasion of such important anniversaries. Therefore, several invited review contributions from the field of university forestry education and government-funded forestry research areas in the Czech Republic, Slovakia and, for comparison, in Croatia, are a part of these proceedings.

After the last two decades, which is one generation of students, it is obvious that the ongoing changes in human society and especially in the environment are more and more extreme, fast and global. Unprecedented pressure is put on a contemporary forester, from the society demanding the so-called “forest ecosystem services” on one side, and from the significant and rapid changes in weather, climate development and soil environment on the other side. Obviously, it is necessary to respond to these changes, as it is our obligation to manage the forests via permanently sustainable approach. After the so-called velvet revolution in 1989 followed by the division of Czechoslovakia on 1.1.1993, when the society hoped for positive changes, democracy and liberalism, these changes didn't fully happen in forestry. On the contrary, despite bad historical experiences, short-term economic goals were preferred although forestry is naturally based on long-term planning and strategy. The forest ownership structure changed due to restitution of forest land to different subjects, from private owners to church. The transformation of the Forests of the Czech Republic state enterprise leads to total separation of silvicultural and logging activities. Recently, the state even got rid of its responsibility for the game management by renting the hunting districts. No manager or landowner would have behaved in such a way at the time of the so-called first republic.

The radical changes in the climate development that we are witnessing lead the foresters to reassessment of the forest functions and to the preference of the water-management, soil-protection, climatic and other functions over the production of wood. In many areas of the Czech Republic, but also elsewhere in Europe, forest

nature conservation is essential. In 1990's, as students of forest engineering, we have already been taught that cultivation of monocultures and omission of ecological-stabilization functions of forest is too risky. As early as in 1995, a branch guild of ProSilva Europea – ProSilva Bohemica promoting close-to-nature forest management was established by Em. Prof. Vladimír Tesař at the MENDELU in Brno. It is high time for the government and state as the majority owner of forests in the Czech Republic to realize that it is essential to give the forest back its rich structure and, most of all, its ecological stability. This is the reason why these proceedings as well as the whole silviculturist's meeting are focused on close-to-nature forestry. The Proceedings are opened by invited thematic contributions from prof. Jean-Philippe Schütz, Assoc. Prof. Tomáš Vrška and Assoc. Prof. Matjaž Čater. Let's go back, under the spirit of Prof. Alois Konšel, at least to the elementary outlines of silviculture and creation of a biologically balanced forest.

Thank you all for your contributions to the proceedings, your presentations, discussion, advices and your work towards successful organization of this meeting. My thanks also go to the Forest Training Enterprise Masaryk Forest Křtiny, to all supporters of ProSilva Bohemica and its principles; and to all officials from the forestry sector for examples of good forestry practice. I believe that the efforts we are all making towards the close-to-nature silviculture will bring positive results.

Assoc. Prof. Radek Pokorný  
(Head of the Department of Silviculture, FFWT MENDELU in Brno)





## OBSAH / CONTENT

### Sekce 1: Přírodě blízké pěstování lesů

#### **Session 1: Close-to-Nature Silviculture**..... 13

Schütz J.P.

**Close-to-nature silviculture in Europe** ..... 14

Vrška T.

**New outputs from old growth research applicable in silviculture** ..... 18

Saniga M.

**From the shelterwood system to the close to nature silviculture in Slovakia /preconditions/ (Od podrostového hospodárskeho spôsobu ku prírode blízkeho pestovaniu lesov na Slovensku /predpoklady/)** ..... 21

Čater M.

**Can ecophysiology provide support for decisions in silviculture? (Může ekofyziologie pomoci při tvorbě rozhodnutí v pěstění lesa?)** ..... 27

### Sekce 2: Historie vzdělávání a výzkumu v oblasti pěstování lesa

#### **Session 2: History of Education and Research in Silviculture** ..... 36

Podrázský V., Vacek S.

**Historie vzdělávání v oblasti pěstování lesa v českých zemích (History of silviculture education in the czech countries)** ..... 37

Tesař V.

**Stoletá historie vzdělávání a vědy v přírodě blízkém pěstění lesů na Mendelově univerzitě v Brně (Centenary history of education and research in close-to-nature silviculture at Mendel University in Brno)**..... 44

Anič I.

**History of education of silviculture in Croatia**..... 55

Novák J., Kacálek D., Jurásek A.

**Overview of silviculture scientific research in FGMRI (Přehled pěstebního vědeckého výzkumu ve VÚLHM)** ..... 63

Jankovič J., Štefančík I., Longauer R.

**Prehľad vedeckého výskumu v pestovaní lesa na Národnom lesníckom centre (historický prehľad) (Overview of the scientific research in silviculture at the National forest centre (historical overview))** ..... 70

### Sekce 3: Obnova lesa a zalesňování

#### **Session 3: Forest Regeneration and Reforestation** ..... 79

Prokúpková A., Vacek Z., Vacek S., Bulušek D.

**Potenciál přirozené obnovy smíšených porostů v Krkonošském národním parku: struktura, dynamika a vliv zvěře** (*Natural regeneration potential of mixed forests in Kronoše mts. national park: structure, dynamics and effect of game*) ... 80

Repáč I., Trgala T.

**Pestovanie jednoročných voľnokorenných semenáčikov smreka obyčajného (*Picea abies* [L.] Karst.) v rašelinových substrátoch s použitím ektomykoríznych prípravkov** (*Cultivation of one-year-old bareroot Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) seedlings in peat substrates using ectomycorrhizal additives*)..... 91

Leugner J., Martincová J., Erbanová E.

**Vliv skladování a vysychání na fyziologickou kvalitu sadebního materiálu buku lesního a dubu zimního** (*Effect of storage and dessication on physiological quality of beech and sessile oak planting stock*) ..... 102

Repáč I., Belko M., Kmet J.

**Účinok termínu výsadby a aplikácie hnojiva a hydrogélu na prežívanie, rast a fluorescenciu chlorofylu výsadby buka lesného a smreka obyčajného po prvom vegetačnom období** (*Impact of planting term and fertilizer and hydrogel application on survival, growth and chlorophyll fluorescence of European beech and Norway spruce plantations one year after planting*) ..... 109

Gallo J., Baláš M., Kuneš I., Linda R.

**Experimentální výsadba s třešňovými poloodrostky nové generace na živném a vysýchavém stanovišti v lokalitě Vintířov-Sedlec: iniciální zhodnocení ujmavosti, růstu a vitality** (*Experimental plantation with new generation semi-saplings of wild cherry on nutrient-rich site with a tendency to dry-out in Vintířov-Sedlec: initial evaluation of survival, growth and vitality*)..... 119

Mauer O., Houšková K.

**K obnově velkoplošných holin po kůrovcové kalamitě** (*On the reforestation of large clear-cut areas after bark beetle calamity*) ..... 131

### Sekce 4: Výchova, produkce a struktura lesa

#### **Session 4: Forest Tending, Production and Structure** ..... 137

Vencurik J., Šumichrast L., Kucbel S., Sedmáková D.

**Pokalamitný vývoj porastu v prebudove na výberkový les** (*Post-windthrow development of a stand in conversion to selection forest*)..... 138

- Matoušková M., Martiník A., Sendecký M., Urban J.  
**Vliv úpravy struktury přípravného porostu na vodní režim a růst vysázené jedle bělokoré ve srážkově chudém období** (*Effect of adjustment of nurse crops stand structure on water regime and growth of underplanted silver fir during dry year*) ..... 147
- Martiník A., Sendecký M.  
**Postupná výchova v přehoustlých mladých březových porostech vzniklých po odumření alochtonních porostů smrku ztepilého** (*Gradual pre-commercial thinning of dense young silver birch stands regenerated after the dieback of allochthonous norway spruce*) ..... 155
- Štefančík I.  
**Vplyv výchovy na vývoj dubového porastu (*Quercus petraea* (Mattusch.) Liebl.) postihnutého v minulosti hromadným hynutím** (*Effect of tending on development of oak stand (*Quercus petraea* (Mattusch.) Liebl.) affected by mass decay in the past*)..... 164
- Sedmáková D., Saniga M.  
**Zmena vplyvu objemu koruny na objem kmeňa stromov bukového prírodného lesa v závislosti od vegetačného gradientu** (*Changing the impact of the crown volume on the stem volume of beech old-growth forests in relationship to vegetation gradient*) ..... 174
- Špulák O.  
**Vliv smrkové etáže na tloušťkový přírůst borových porostů na stanovišti chudá borová doubrava v suchých letech** (*Impact of the norway spruce subcanopy on dbh of Scotch pine stands on the nutrient poor oak with pine forest site in dry years*)..... 184
- Brichta J., Bílek L., Vacek Z.  
**Tloušťkový přírůst dospělých jedinců borovice lesní po silném uvolnění** (*Stem diameter increment of mature Scots pine trees after release cut*) ..... 192
- Petráš R., Mecko J., Kukla J., Kuklová M.  
**Hmotnosť sušiny a spalné teplo nadzemnej biomasy stromov borovice lesnej (*Pinus sylvestris* L.)** (*The weight of dry matter and calorific value of above-ground tree biomass of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)*)..... 202
- Jaloviar P., Ďurica P.  
**Časová variabilita smreka obyčajného (*Picea abies* [L.] Karst.) v prírodnom smrekovom subalpínskom lese NPR Zadná Poľana** (*Temporal variability of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) in the natural subalpine spruce forest of the national reserve Zadná Poľana*) ..... 211
- Sendecký M., Žalék M., Sklenářová M., Březina I., Martiník A.  
**Péče a výchova mladých porostů s třešní ptačí – zkušenosti a doporučení z nižších oblastí jižní moravy** (*Silviculture of young stands with wild cherry – experience and recommendation from lower altitudes of south moravia*) ..... 221

Slávik M., Vladovič J.

**Priestorová distribúcia najvýznamnejších nepôvodných drevín v podmienkach Slovenskej republiky** (*Spatial distribution of most important non-native trees in the conditions of the Slovak republic*) ..... 230

Longauer R., Martiník A., Rozsypálek J., Martinek P., Prouza M.

**Pěstební možnosti zmírnění dopadů chřadnutí jasanů způsobeného infekcí *Hymenoscyphus fraxineus* - předběžné výsledky** (*Silvicultural options for mitigation of ash dieback caused by Hymenoscyphus fraxineus – preliminary results*) ..... 241

## **Sekce 5: Biologie, ekologie a funkce lesa**

**Session 5: Forest Biology, Ecology and Functions** ..... 255

Lukáčik I., Parobeková Z., Ďuriš M.

**Vnútrodruhová variabilita populácií *Quercus pubescens* Willd. na území Slovenska** (*Intraspecific variability of Quercus pubescens Willd. populations in the area of Slovakia*) ..... 256

Šimůnek V., Vacek Z., Sharma R., Vacek S.

**Sluneční cykly jako základní faktor ovlivňující přirozenou dynamiku porostů buku lesního** (*Sunspot cycles as the underlying factor of European beech natural development*) ..... 267

Bartoš J., Kacálek D., Leugner J.

**Funguje lípa srdčitá jako pomocná a meliorační dřevina při pěstování jedle bělokoré?** (*Does small-leaved linden nurse silver fir and improve soil?*) ..... 278

Černý J., Bednář P.

**Relation between effective plant area index and the age of Scots pine stands** (*Vztah mezi efektivním indexem plochy povrchu nadzemní části vegetace a věkem porostů borovice lesní*) ..... 287

Bednář P., Černý J.

**Evaluation of abiotic disturbance agents on Norway spruce mechanical stability in monocultures in Kocanda forest district** (*Zhodnocení vlivu abiotických faktorů na mechanickou stabilitu monokultur smrku ztepilého v podmínkách lesnického úseku Kocanda*) ..... 295

Černoňous V., Šach F., Kacálek D., Richterová J.

**Oscilace hydroklimatických charakteristik malého lesního povodí ve vztahu ke klimatickému a hydrologickému suchu** (*Oscillation of hydro-climatic characteristics in small forested catchment from climatic and hydrological drought points of view*) ..... 304

**Sekce 1**

**PŘÍRODĚ BLÍZKÉ PĚSTOVÁNÍ LESŮ**

**Session 1**

**CLOSE-TO-NATURE SILVICULTURE**

## CLOSE-TO-NATURE SILVICULTURE IN EUROPE

Jean-Philippe Schütz

em. Prof ETHZ, Brüggliacker 37, 8050 Zürich, Switzerland  
e-mail: jph.s@bluewin.ch

### Abstract

*Close-to-nature silviculture represents a way of thinking the forest management aiming towards forest structures similar to such occurring in natural forests, in opposition to an agricultural way of management, aiming at monocultures of high producing species. Following this, close-to-nature silviculture searches the best way to steer natural regeneration in the right way considering the management goals. In general, broadleaved tree species require neighbourhood of fellow species to develop narrower crowns and to grow straight, in small collectives and groups, more than individually. For broadleaved species as well as for light demanding species is the optimal form of conducting regeneration predominantly in gaps than under regular shelter, as gaps provide better optimisation of the sustainable light conditions at the forest floor. Spatio-temporal dynamics is therefore crucial for providing irregularity. The key question is the minimal gap size/dimension which would ensure a qualitative and sustainable renewal. The main difference between close-to-nature silvicultural systems and primeval forests is in much earlier initiation and development of regeneration in comparison to managed forests, when stands are in full health and good stability, while in primeval forests the driving forces for renewal are senility and morbidity.*

**Keywords:** *Natural regeneration, gaps, irregularity, plenter system, pristine/ primeval/ virgin forests*

### Introduction

The mere "close-to-nature" denomination seems to contain some ambiguity, and may cause even some contradiction or blur, because the amount of naturalness to determine the treatment of forests provided with active interventions is not always easy to define. It doesn't matter so much, because the notion "close-to-nature silviculture" has been coined some 120 years ago by ARNOLD ENGLER (1905), professor of silviculture in Zürich, to express a philosophical approach about forest management in naturally similar, but not necessarily same forests as in nature, in opposition to an agricultural way of management aiming towards maximal timber production in monocultures, as largely usual at that time in the Europe.

### Characteristics of close-to-Nature silviculture

The first to express such an idea was KARL GAYER, well known professor of forestry at Munich University (1886), by proposing to aim the management in creating mixed forests. ENGLER (1905) as silviculturist presents several tools to implement such ideas, after closely studying the main primeval or virgin forests in Europe, and analysing contradictorily the differences between managing goals and how nature fulfil them in term of both tree species composition and form of natural regeneration. The way to resolve this depend mainly of knowledge of the forest renewal because this is during this development stage that light conditions change so tremendously allowing to steer the natural regeneration processes from emergence up to the main-storey . As the response of tree species in terms of light requirements is very different, is also consequently different promoting species which correspond best to the site conditions in managed and primeval forests.

Following this, close-to-nature silviculture searches the best way to steer natural regeneration in the optimal way considering also the management goals. It depends on the reactivity of different tree species, regeneration requirements, required accompanying conditions during the juvenile stage (until to pole tree stage) when the main selective processes occurs, and on interspecific competition between tree

species. Broadleaved tree species generally need neighbourhood of fellow species to prevent the crowns from enlarging too much and to grow straight, so they should be steered in small collectives or groups, rather than individually. The proper way to regenerate broadleaved species should be in small to medium openings, depending on the light requirements of the tree species. Oppositely express conifers high apical dominance, straight growth even in shady conditions, and nevertheless develop a small spindled crown when growing individually. They seem best adapted to the stem-by-stem irregular system without interrupting the cover, also well known as selection system.

The main overall difference between close-to-nature silvicultural systems and primeval forest is their regeneration, which is initiated actively much earlier in the development under managed systems, when stands are in full health and good stability (SCHÜTZ ET AL. 2016), which is three to four times earlier than in primeval forest. In primeval forests the driving forces for renewal are senility and morbidity, so the renewal works under deficient conditions of stability (SCHÜTZ AND SANIGA, 2011). This tremendous difference will be determinant in time of nowadays growing interest for adaptation to changing environmental conditions in favour of close-to-nature silviculture and forest management.

### **Historical background**

Historically similar propositions have been presented in successive phases under different denomination, but following the same general goals, in following chronological order: the plenter as steering system (BIOLLEY 1901), the continuous forest (Dauerwald, MÖLLER 1922), the Pro Silva movement (MLINŠEK 1989), and finally the irregular forest (DE TURCKHEIM and BRUCIAMACCIE 2005). They all follow the same general goal and could be considered as close-to-nature system. Interesting was the proposition of MÖLLER (1922), who assumed forests as organisms – precursor of the term ecosystem, actually recognised and praised as recently as 1935 by TANSLEY. The character of ecosystem is central in all close-to-nature systems, where one of the main tasks should be the preservation of the ecosystem character as a matter of principle.

### **Finesse of the unevenness**

In the past some tried to oppose ideologically the plenter system with all other forms of spatial generation in cohorts. From the silvicultural-technical point this is not correct. First, a lot of tree species, particularly broadleaves, as well as light demanding species regenerate better in gaps than under regular shelter. Gaps provide better light environment. Secondly, not every spatial regeneration is comparable. Regeneration in small openings, unregularly distributed in space and time has the same effect on forest structure than stem by stem unevenness, but has completely different effect in very large areas which leads to even-aged and regular stand structure. So the time/space pace is crucial for producing irregularity. The dimension of the renewal units (groups) results in granularity of the forest and degree of irregularity. The truthful question is the minimal dimension of gaps, which would ensure a qualitative and sustainable renewal. Edge effects by casting shade are depriving the growth on the edge margin, and in too small gaps lead to instability over longer time periods. So there are minimal gaps required depending mainly on the light requirements of the tree species (WEBSTER AND LORIMER, 2005). For instance, European oaks as the most light demanding tree species, require the minimal gap to ensure successful regeneration of 0.25 ha, which should be after



enlarged at thicket stage up to 0.5 ha. For a shade tolerant species like beech the minimal gaps requirement is evidently smaller, about 0.1 ha (SCHÜTZ ET AL. 2016).

From these minimal gap conditions upwards there is a great amount of possible variation including different geometric forms of the gaps. The larger the gaps at starting regeneration, the more regular would be the resulting forest. Depending on the gap dimensions would result a continuum from very fine irregularity to rougher one. In close-to-nature silviculture there are no rules for gaps width other than the minimal requirements. Small and large gaps could be combined on the same management parcel. Such kind of variable renewal geometry has been coined by MLINŠEK (1968) as free style of silviculture or by LEIBUNDGUT (1979) as free choice of cutting. Such a large diversity in silviculture is nowadays a great advantage in the frame of searching for more biodiversity, as forest biotope diversity reflects applied silvicultural measures and represents the basis habitat for forest species diversity. So an intentionally variable silvicultural approach, known as polyvalent silviculture (SCHÜTZ 2006) represents a good answer to actual expectations.

### Conclusion

As close-to-nature silviculture is particularly aiming towards natural regeneration, it represents a good way for reducing costs, for stand establishment as well as for tending operations, because irregular structures reduce the number of neighbours. These cost reductions are known as biological rationalisation (SCHÜTZ 1996, 2005). Moreover, the natural regeneration appears to be an effective basis for adaptation to environmental changing conditions, due to abundance of siblings with high genetic polymorphism and continuous gene flow by fructification from nested issued progenitors. The predominating difficulty is nowadays the excessive population of wild game and their browsing effects depleting the natural regeneration.

Close-to-nature silviculture is best armed for a lot of actual expectations; however it requires a high grade of silvicultural skills and training.

### References

- BIOLLEY, H. Le jardinage cultural. *Journal Forestier Suisse*, 1901. 52: p.97-104, p.113-132.
- ENGLER, A. Aus der Theorie und Praxis des Femelschlagbetriebes. *Schweiz Zeitschrift für Forstwes* 1905. 56: p. 29–35, p. 61–68, p. 99–103, p. 123–131.
- GAYER, K. *Der gemischte Wald, seine Begründung und Pflege, insbesondere durch Horst- und Gruppenwirtschaft*. Berlin: Parey, 1886. 168 p.
- LEIBUNDGUT, H. Ueber Grundlagen und Geltungsbereich der Plenterprinzipie. *Schweiz Zeitschrift für Forstwesen*, 1979. 130: p. 775-783.
- MLINŠEK, D. PRO SILVA. [HTTPS://WWW.PROSILVA.ORG/](https://www.prosilva.org/), 1989.
- MLINŠEK D. Free style silviculture (in Slovene). Sproščena tehnika gojenja gozdov na osnovi nege. Poslovno združenje gozdnogospodarskih organizacij, 1968. 117 p.
- MÖLLER, A. *Der Dauerwaldgedanke, sein Sinn und seine Bedeutung*. Berlin: Springer, 1922. 84 p.
- SCHÜTZ, JP. Bedeutung und Möglichkeiten der biologischen Rationalisierung im Forstbetrieb. *Schweiz Z Forstwes*, 1996. 147: p. 315–349.
- SCHÜTZ, JP. Intensität der Waldpflege und Baumartendiversität; oder, Naturautomation contra Entmischungen. *Schweiz Z Forstwes*, 2005.156: p. 200–206.
- SCHÜTZ, JP. Le Canton de Neuchâtel et le jardinage moderne. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 2006. 157: p. 250-253.

- SCHÜTZ, JP., SANIGA, M., DIACI, J., VRŠKA, T. Comparing close-to-nature silviculture with processes in pristine forests ; lessons from Central Europe. *Annals of Forest Science*, 2016. 73: p. 911-921.
- SCHÜTZ, JP., SANIGA, M. Modelling the risks of natural stand disclosure release with ageing in pure beech (*Fagus sylvatica*) and spruce (*Picea abies*) stands. *Ann For Sci*, 2011. 68: p.1105–1114.
- TURCKHEIM DE, B., BRUCIAMACCHIE, M. *La futaie irrégulière; Théorie et pratique de la sylviculture irrégulière continue et proche de la nature*: Aix-en-Provence: Edisud. 2005. 282 p.
- TANSLEY, AG. The use and abuse of vegetational terms and concepts. *Ecology*, 1935. 16: p. 284–307.
- WEBSTER, CR., LORIMER, CG. Minimum opening sizes for canopy recruitment of midtolerant tree species; a retrospective approach. *Ecol Appl*, 2005. 15: p. 1245–1262.

## **NEW OUTPUTS FROM OLD GROWTH RESEARCH APPLICABLE IN SILVICULTURE**

**Tomáš Vrška**

University Forest Training Enterprise Masaryk Forest Křtiny, Mendel University in Brno, Křtiny 175, CZ  
e-mail: Tomas.vrska@slpkrtiny.cz

### **Introduction**

Climate change and the associated disintegration of coniferous forests are increasingly challenging the question of whether we can use the creative forces of nature to grow forests. The paper presents two examples of the use of new knowledge in forests with a higher proportion of spruce. The future of spruce and its contribution to future economic forests is a key issue in Central European forestry. The story of research into the dynamics of mixed Central European forests shows not only the sometimes long-term and demanding path to an exact understanding of natural processes, but also brings us a clear message for application in forestry.

### **Non-synchronous development of natural forests and Steady State in silviculture**

The long-term evolution of forest development phases was analysed with a GIS-based, spatially explicit, fully reproducible method enabling accurate verification of the functionality of the model forest cycle by Král et al. (2018). Král et al. (2018) analysed long-term transitions among forest development phases from the 1970s through the 1990s to 2000s. Their results are useable in the silviculture too. If we want to make greater use of the creative forces of nature and thus, for example, partially save the cost of expensive inputs in the form of tending interventions in the early growth stages of forest stands, we should accept the fact that natural forests do not develop in continuous patches. More than 60% of the transitions are acyclic (moving across or backward in the model cycle) (Král et al. 2018). In these patches the processes start (eg. after disturbance by wind or ice storm in different size gaps), but the non-synchronous development of individual phases gradually divides these patches into small micropatches up to the level of individual trees (Steady State). The Steady State is more frequent in the mosaic of the natural forests of lower mountain areas, as more coniferous species contribute to the dynamics of the so-called Hercynian mixture, but this applies to a ratio of about 1: 1 between conifers and deciduous trees. Boubín virgin forest clearly demonstrates the largest frequency of Steady State, because of close to the above ratio. Another important factor affecting the frequency of the presence of Steady State is the dependence on local species richness - and this applies across the vegetation gradient - even in the lowlands (Král et al. 2016).

Here we find clear instructions for silviculture model in lower mountain ranges – individually mixed, structurally diversified, with beech, fir and spruce participation. While the representation of fir can be increased by silvicultural interventions at the expense of more endangered (climate change) spruce. However, it is necessary to move to the selection of individual mature trees and not to apply uniform practices (including traditional shelterwood system). A suitable combination with small-scale patches for increasing the proportion of fir can be the use of irregular shelterwood system, which is a precursor of the so-called free style silviculture.

Similarly in lowland forests it is possible to work with a more differentiated structure and higher biological automation, which, however, means a suitable choice of tree species - maples, hornbeams, lindens - and not oaks. Such examples are known from the lowland areas of the Rhine.

Focusing on caring for individual trees is therefore the logical outcome of trying to harness the creative forces of nature. It is a way connected with more intensive application of selective principles and thus with the necessary transformation of silvicultural models related legislation (Czech legislation especially). It is also the way that respects the natural demands of woody species, because the individual woody species will most likely use their competitive attributes.

### **New tree species composition and spatial structure can inhibit the bark beetle**

The population dynamics of spruce bark beetle was long-term studied in the Boubín virgin forest after storm Emma (2008) (Adam et al. 2015a) and in the Žofín old-growth forest after hurricane Kyrill (2007) (Adam et al. 2015b). We analysed the spread of bark beetles in relation to the spatial structure, type and density of spruce-beech mixed stands (Vrška et al. 2015). The guidelines were formulated for the management of forests in the buffer zones of strictly protected forest reserves in the lower mountain ranges (600-1100 m a.s.l.) of Central Europe. Such areas are prone to bark beetle (Scolytinae, Coleoptera) outbreaks, which can endanger neighbouring managed forests. In the lower mountain ranges buffer zones can play a key role in moderating disturbance effects. But it is possible to use the guidelines in the process of transition of even-aged spruce dominated forests into the mixed irregular forest stands in which the spruce could be admixed but it will not play the dominate role for the future.

Regardless of sampling scale, we always arrived at the same conclusion: 32-36 spatially randomly distributed (not clustered) broadleaved trees with well-developed crowns and with the height of 10-30 m can significantly lower the density of trees affected by bark beetles (although they naturally cannot stop bark beetle outbreaks as such). Further analyses supported the hypothesis that in case of a lower proportion of spruce (i.e. in spruce-beech mixed stands), bark beetles do not automatically invade the nearest spruces but often those further away – some of these spruces probably send out more attractants than trees in the immediate neighbourhood of the already invaded individual. The presence of beech (especially of trees with well-developed crowns under the canopy layer of spruces) facilitates the dispersion of attractants, reducing the potential of bark beetles to invade new trees. This increases the effectiveness of the defence mechanisms of spruce and therefore the natural mitigation of bark beetle outbreaks.

Based on the results of the population dynamics of *Ips typographus*, we propose the following methods/steps to stabilize buffer zones around strictly protected forest reserves as well as their management: i) transformation of dominant spruce monocultures using scattered old beeches as a source of reproductive material and spatial dispersion; ii) structural differentiation of stands focusing on intermediate broadleaved trees with well-developed crowns; ii) spatial differentiation of buffer zones focusing on a higher proportion of beech in the immediate neighbourhood of protected zones

### **References**

ADAM D., HORT L., JANÍK D., KNÍŽEK M. LIŠKA J., MODLINGER R., ŠAMONIL P., VALTERA M., VRŠKA T. *Působení lýkožrouta smrkového – Ips typographus (L.) v jádrovém*

- území Boubínského pralesa a přilehlém okolí po větrné disturbanci Emma. [Soubor specializovaných map s odborným obsahem]. 2015a.
- ADAM D., HORT L., JANÍK D., KNÍŽEK M., LIŠKA J., MODLINGER R., ŠAMONIL P., VALTERA M., VRŠKA T. *Působení lýkožrouta smrkového – Ips typographus (L.) v Žofínském pralesu a přilehlém okolí po větrné disturbanci Emma*. [Soubor specializovaných map s odborným obsahem]. 2015b.
- KRÁL K., SHUE J., VRŠKA T., GONZALES-AKRE E.B., PARKER G., MCSHEA W.J., MCMAHON S.M. Fine-scale patch mosaic of developmental stages in North-East American secondary temperate forests – the European perspective. *European Journal of Forest Research*, 2016. 135: s. 981-996.
- KRÁL K., DANĚK P., JANÍK D., KRŮČEK M., VRŠKA T. How cyclical and predictable are Central European temperate forest dynamics in terms of developmental phases? *Journal of Vegetation Science*, 2018. 29(1): s. 84-97.
- VRŠKA T., MODLINGER R., JANÍK D., ADAM D., LIŠKA J., HORT L., Doporučené formy porostních směsí a způsoby jejich obhospodařování v ochranných pásmech zvláště chráněných území ponechaných samovolnému vývoji v 5.-7. lesním vegetačním stupni. Certifikovaná metodika. *Lesnický průvodce*, 2015. 11: 36 s.

## FROM THE SHELTERWOOD SYSTEM TO THE CLOSE-TO-NATURE SILVICULTURE IN SLOVAKIA /PRECONDITIONS/

### OD PODRASTOVÉHO HOSPODÁRSKEHO SPÔSOBU KU PRÍRODE BLÍZKEMU PESTOVANIU LESOV NA SLOVENSKU /PREDPOKLADY/

Milan Saniga

Department of Silviculture, Faculty of Forestry, Technical university Zvolen, Masarykova 24, 960 53 Zvolen, SK  
e-mail: milan.saniga@tuzvo.sk

#### Abstract

*Silviculture based on sustainable biological fundamentals follows natural processes. The primary goal of such close-to-nature forestry is preservation of forest structure which allows, along with a balanced yield, to fulfil required functions in most sufficient way. Regarding the tree species composition of forest stands and the approach of stand management in Slovakia, provide these forests all the required preconditions for the application of silvicultural concept based on natural processes. Such strategy of forest management is based on the ecosystem perception of forest with all its ecological links. Through an optimal utilization of natural processes and ecological laws, it strives to form forest which would permanently fulfil all the required demands. The main and predominant tree species in Slovakian forests is common beech, which is expected to act also as a stabilizing element of Slovak forests in the future, considering the expected climate change. The contribution presents the possibilities of using the methods of close-to-nature silviculture in the forests of Slovakia.*

**Keywords:** Slovak forests, shelterwood system, close to nature silviculture

#### Abstrakt

*Pestovanie lesov, ktoré využíva prírodné procesy je technika výroby dreva založená na trvalo udržateľných biologických základoch. Prvoradým cieľom lesníctva založeného na takto vytvorených prírodných princípoch je zachovanie takej štruktúry lesa, ktorá umožňuje spolu s vyrovnaným výnosom, čo najlepšie splniť ostatné požadované funkcie. Vzhľadom na druhové zloženie lesných porastov a prístup k obhospodarovaniu lesov, lesy Slovenska poskytujú všetky potrebné predpoklady pre aplikáciu konceptu pestovania lesov založeného na prírodných procesoch. Táto stratégia pestovania lesov je založená na ekosystémovom vnímaní lesa so všetkými ekologickými väzbami. Optimálnym využívaním prírodných síl a ekologických zákonitostí sa usiluje o vytvorenie lesa takým spôsobom, aby bol trvalo schopný plniť všetky požadované funkcie. Hlavnou a prevládajúcou drevinou lesov Slovenska je obyčajný buk, ktorý by mal byť aj v budúcnosti stabilizačným prvkom slovenských lesov vzhľadom na očakávanú zmenu klímy. Príspevok prezentuje možnosti využitia metód prírody blízkeho pestovania lesa v lesoch Slovenska.*

**Kľúčové slová:** lesy Slovenska, podrostový systém hospodárenia, prírode blízke pestovania lesa

#### Introduction

Forestry in Slovakia are facing difficult situation because of several external and internal causes, while several silvicultural tools and natural characteristics of forests are available to slow or even seize this unwanted process tendency. Even-aged, pure and in many cases allochthonous forests are hard to keep their balance and resistance and often exhibit critical situations (Orographic units Kysuce, Orava, Low Tatras). The given situations occur rarely in close-to-nature commercial forests, only at a limited extent. Such even-aged forests are significantly represented in Slovakia. As their conversion is demanding, it requires a firm base knowledge of forest manager, since it consists of continuous application of silvicultural principles leading to preservation of natural forests and the achievement of close-to-nature forest structure.

The principal objective of such forest management represents a permanent preservation of forest ecosystem functions in the particular area through their

ecological stability. This targets mainly the preservation of the soil, structure and dynamics of forest ecosystems. In the areas where forests were significantly changed and consequently weakened, the main objective is to establish close-to-nature condition as promptly as possible. Permanent fulfilment of production and the other functions of a forest are possible in this vision.

To achieve such objectives, the fundamental base knowledge achieved through research or verified forestry practice is required. In addition to the latest knowledge obtained by the mentioned way, the traditional knowledge provided through the historic development of silviculture, formed its classic ground (permanently productive forest).

Silviculture in its classic understanding represents a purposeful modification of a forests according to the requirements and intentions of a society through forestry activity. Such implementation represents the deviation from its natural (original) condition. In the past, forest management and silviculture sometimes led to the unwanted changes regarding the original tree species composition, age and spatial structure, such as the decrease in the biomass accumulation and to changed regulation mechanisms in forest ecosystems. Sometimes changes even exceeded the limit, where the relations between the forest ecosystem components developed through the long phylogenetic development stopped acting as the patterns. Such cases may be evident in pure spruce stands in the orographic units of the Orava and Kysuce Beskids, located on the originally fir and beech sites. The decaying stand complexes will require a conversion of tree species composition with significant economic inputs. Close-to-nature silviculture with its great opportunity creates the preconditions for their economically efficient management with high ecological stability.

In 2017, 769.023 hectares of forest were state owned, representing 39.5% (Slovak Forest Inventory, Green Report 2018) of all forests. In this period, state enterprises managed 1.019 200 ha of forest land, what is 52.4% of total forest area (unknown forest owners, respectively forests not yet released to the owner). The rest of the forest area was managed by the non-state forest entities (Green Report 2018). Despite the past stimulation for the increased spruce representation (spruce boom), forests in Slovakia are rich in their tree species composition, where more than 80% are near natural forests and respectively predominant amount of tree species is autochthonous. Compared to the autochthonous tree species composition, they are partly changed, but not in such extent like in other Western and Central European countries. Changes have occurred during the centuries of forest utilization, particularly during 20<sup>th</sup> century. The theory based on forests age classes also contributed to this situation, as well as the legislative possibilities acting out a clearcutting system, especially in 70's during the last century. Legislatively and economically, the focus was aiming towards the production-efficient and economically desirable tree species, mainly the spruce. Improper regeneration cuts (cutting regimes, management practices) applied erroneously have led to an increase in the proportion of some tree species, such as European hornbeam, Turkey oak and Black locust, and a decline in the proportion of silver fir that currently accounts only for 4.2 %. Based on the shared area in 2017, the most abundant tree species are European beech (33.6%), Norway spruce (22.7%) and pedunculate/sessile oak 10.5% (Green report 2018). The share of silver fir shows slightly upward trend. Broadleaves, with 62.8% share predominate in Slovakian forests. These predominantly autochthonous forest ecosystems provide conditions for application of close-to-nature forest management systems. Such silvicultural systems subsequently

create conditions for increasing the biological diversity and stability, especially under the impact of climate change. Since 2005, the proportion of coniferous tree species decreased from 41% to 37.2%, which is favourable trend regarding the natural tree species composition. It is mainly spruce (on non-native sites), which has been reduced also due to forest injurious factors by 3.6% to the 22.7%. The trend of significant spruce withdrawal will continue. The short-term assumption is its stabilization at around 15% of area. During 10-year period, the area of European beech increased by 2.6% and the area of valuable broadleaved tree species (maple and ash) grew from 3.3% to 4.1%. After 1990, there was a gradual change in the application of forest management practices in the forests of Slovakia. The dominant form of forest management became small-scale shelterwood system. Thanks to the Pro Silva society (founded in 1989), demonstration objects have been established, with the present area of approximately 75.000 ha. On these objects, the close-to-nature models have been applied (the conversion to selection forests in conifer species, especially fir and spruce, the underplanting non-native spruce forest stands by fir and beech, respectively, the concept of mosaic forest stands). Indeed, the Pro Silva society has the merit that the amendment to the Forest Act 326/2019 introduced the concept of close-to-nature forest management, which will provide better legislative possibilities and economic conditions for the application of close-to-nature silviculture in the Slovakian forests.

### **Close-to-nature silvicultural Concepts – Precondition for Ecological Forest Stability**

The type of even-aged non-native spruce forest is significantly represented in Slovakia. The way to its conversion is demanding and requires a firm base knowledge of forest manager, since it consists of continuous application of silvicultural principles leading to the preservation and/or restoration of natural forests, to provide close-to-nature forest structure. In principle, it lies in the long-term application of silvicultural concepts of close-to-nature forest management. The core is the sophisticated biological rationalisation achieved through the utilisation of growth relations between the native tree species in forest and utilisation of development and growth processes of these tree species. Sustainable forest management is based on the notion of the essence and properties of forest ecosystem as a stabilised unit, without exert force and financial means for what can be done by forest itself, i.e. sophisticated forest economy. Forest manager must allow the internal forces and forest sources act in their greatest possible extent with their reasonable, necessary regulation in the direction to its production or non-production function orientation. Permanent balance, long-term equilibrium of a forest ecosystem is best achieved via a distinctive individual variability of the native tree species - by applying close-to-natural silvicultural procedures. If we want to use these silvicultural systems, we have to replace non-native tree species with native ones. In the case of decaying spruce stands, the only economically and ecologically beneficial measure is underplanting and advance planting of native tree species.

Selection system as a production and silvicultural system is based on the cutting of the individual trees to achieve production or other specific function objectives via continuous maintenance and formation of equilibrium selection forest structure. Volume is evenly distributed along the entire area. The advantage of selection forest, contrary to other commercial types of forest, allows to perform permanent, continuous, safe and proportionally balanced achievement of both production objectives and the other important public utility function effects. Recent research and



experience proved the selection forest with its structure and high auto-regulation processes as the peak of eco-colonization in forest management, representing the best and the safest stand type for protection forests and for functionally integrated forest management. Only stand structures raised by underplanting can establish the preconditions for the further application of this silvicultural system. To assure production, ecological and functional effect with low economic inputs, substantial theoretical knowledge and practical experience of a forest manager is required.

Efficient, economical and production application of selection system is prevalingly related to coniferous or mixed forests of middle montane up to subalpine locations in Slovakia. It is applied most extensively with the less bio-technical operation and technical difficulties in the forests of native shade-tolerant and semi-shade tolerant tree species, particularly in forests with greater amount of fir, spruce and admixture of beech. In the case of tree species composition of fir, beech and maple, it seems to be apt to use small-scale form of shelterwood system. With its concept as well as objectives it corresponds well with one of the variants of close-to-nature silviculture based on preservation of native (autochthonous) forest ecosystems, native tree species compositions via phyto-technics of silviculture so that the given native tree species or ecotypes were preserved in further forest generations.

Small-scale shelterwood system respects the ecological and economical requirements of forest management. Understanding forests as an ecosystem is generally based on the principle of cognition of the basic natural forces and patterns in the production of organic matter (wood) with minimised additional energy inputs. The main principle, maintenance of consistency must be understood as the consistency of the forest ecosystem with permanent fulfilment of all the ecosystem functions in every spatial unit, the principle of permanent biomass stock and production. System works on the principle of self-regulating mechanisms, also used by the forest manager – silviculturist. When regulating small-scale shelterwood system, silviculturist must have a clear concept of the structure of formed stand that is determined by tree species composition, growth relations between tree species, their competitive relations and ecological demands, in particular the light demands.

There must be a close relationship between tending, regeneration and harvesting measures corresponding with growth dynamics of the stand, response of the remaining trees in the stand to the created growth space. There are exchange relations between the measures that must be considered by the silviculturist in his concept.

Target diameter, shape and stem quality are decisive for regeneration cutting, depending upon the culmination of value increment of each tree. Damaged or otherwise unhealthy trees (health selection), poor quality trees or individuals negatively affecting the crowns of quality trees are preferentially removed from the stand. Quality trees after culmination of their value increment, determined by the target diameter, are harvested at the end. Harvesting and regeneration must be kept in equilibrium to preserve the continuity of forest ecosystem. Without equilibrium between the both processes, the volume of harvesting must be corrected to synchronise the natural regeneration processes. The light tolerance of tree species is very important for the conditioned relationships. The differentiated regeneration procedures are implied from the given light demands as well. When regenerating mixed stands, it is necessary to consider the light demands of the individual tree species to a great extent. Forest manager must manage the entire silvicultural program with regards to the given facts considering the changed ecological conditions, like the defects of fructification due to emissions, insufficient germination

of seedlings due to the soil acidification, extremely long-term drought, as well as the impact of biotic factors, in particular very high abundances of ungulates.

The application of various forms of small-scale shelterwood system create preconditions for sustainable development of forests. One of them is the freestyle silviculture, the system where silviculturist does not observe all the fundamental features of a classic concept of silvicultural regulation based on the forest age classes. Such concept is based on the free utilisation of known rules, principles from various silvicultural procedures considering their economy, condition of forests, tree species composition and forest category (Mlinšek 1968). Freestyle silviculture considers mainly the utilisation of the growth patterns and regeneration processes and the exploitation of silvicultural concepts that regulate particular structure at the level of forest stand considering the mentioned principles at their best. Therefore, when applying the concept, the selection system, single-tree as well as group form may be used on the area of the stand. The both forms are adapted to the structure and tree species composition. Another variant of the given concept is the composition of the silvicultural procedures during the entire development of the stand by the system of silvicultural cuttings; the intensity and timing of them is adapted to tree species, quality stand structure and possible achievable production. The main objective of the concept is the minimisation of financial inputs for silvicultural measures and optimal utilisation of growth forces and processes of a forest ecosystem by the achievement of its high biodiversity and ecological stability. When planning the measures in such managed stands, the classic model bound to the forest age classes and one silvicultural measure cannot be used; the forest inventory in targeted area is methodologically focused on the prevention of production losses and thefts. This type of inventory should determine only the production framework of forest volume, while implementation of silvicultural measures is performed by the professional forest manager.

In our forest the preconditions and pressure for such a budget-wise concept of silviculture stands is created by their tree species composition and forest owners. It shall be therefore necessary to create such inventory system which would respond to the silvicultural tendencies within a shorter time period.

The described silvicultural concepts are generally valid; thus, it is necessary to adapt them accordingly, to the particular tree species, stand structure and natural conditions. In silvicultural regulation of forests, we have to expect from the forest manager a clear and clarified picture of a forest, knowledge of the entire described scale of silvicultural systems so that silviculturist would be able to decide without bias for such a silvicultural concept that shall optimize natural patterns and processes in the relevant forest ecosystems and consequently minimize financial inputs. Only with a balanced combination of the given attributes in a reasonable economic environment it shall be possible to achieve more significant results in this field of forest regulation.

## Literature

- GREEN REPORT, 2018: Zelená správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike za rok 2017. MPA RV SR Bratislava, 67 s.
- KORPEL, Š., SANIGA, M., 1995: Prírode blízke pestovanie lesa. UVVP LVH vo Zvolene, 158 s.
- MLINŠEK D., 1968: Sproščená technika gojenja gozdov na osnovi nege. Ljubljana, Jugoslavenski poljoprivredno šumarski centar Beograd, 117 s.

- SANIGA, M., 2002: Die Naturnahe Forstwirtschaft in der Slowakei. Trian B. Bystrica, 70 s.
- SANIGA, M., 2019: Pestovanie lesa. Učebnica ES TU Zvolen, doplnené vydanie 331 s.
- SANIGA, M. BRUCHÁNIK, R., 2009: Prírode blízke obhospodarovanie lesa. MP Bratislava, NLC Zvolen, 129 s.
- SANIGA, M., DENDYS P., 2015: Rekonštrukcie smrekových porastov. ES TU Zvolen, 36 s.
- SCHÜTZ, J.P., 1999: Close-to-nature silviculture; is this concept compatible with species diversity? *Forestry* 72: 359–366.

## CAN ECOPHYSIOLOGY PROVIDE SUPPORT FOR DECISIONS IN SILVICULTURE?

### MŮŽE EKOFYZIOLOGIE POMOCI PŘI TVORBĚ ROZHODNUTÍ V PĚSTĚNÍ LESA?

Matjaž Čater

Slovenian Forestry Institute, Večna pot 2, 1000, Ljubljana, Slovenia  
Mendel University in Brno, Zemědělská 3, 613 00 Brno, CZ  
e-mail: matjaz.cater@gozdis.si

#### Abstract

*Combining Physiology which explains functions and mechanisms within a living system and Ecology, focusing on interactions among organisms and their environment, makes Ecophysiology more than merging two separate fields. The term was first mentioned in 1929, when BAILEY AND SPOEHR (1929) proposed development of the field, which would include the physiology of both individual trees and forest stands. One of main characteristics in ecophysiological studies is a trait-based approach, where the adequate traits reflecting species response to a given environmental driver are chosen.*

*Today the cross-section of the published papers between ecophysiological studies and silviculture during 1980-2017 period indicates significant increase of works covering changes in site conditions worldwide. Some theoretical principles with examples of studies linking ecophysiology and silviculture are presented, as well as their main advantages and disadvantages.*

**Keywords:** *ecophysiology, silviculture, traits, examples*

#### Abstrakt

*Spojením Fyziologie, která vysvětluje funkce a mechanismy živých systémů, a Ekologie, která se soustředí na interakce mezi organismy a jejich prostředím, vzniká obor Ekofyziologie, jež je však více, než jen spojení dvou odvětví. Termín Ekofyziologie lesa byl poprvé zmíněn v roce 1929, kdy BAILEY AND SPOEHR (1929) navrhli založit odvětví, které by zahrnovalo jak fyziologii jednotlivých stromů, tak fyziologii celých porostů. Jedním z hlavních rysů ekofyziologických studií je funkční přístup (trait-based approach), kdy jsou vybrány znaky, které odrážejí reakci druhů na určitý faktor prostředí. Dnes, průřez publikovaných článků v oblastech ekofyziologie a lesnictví za období od 1980 do 2017 vykazuje celosvětově vysoký nárůst prací zabývajících se změnami stanovištních podmínek. Následující příspěvek prezentuje některé teoretické principy s příklady studií, které spojují ekofyziologii a pěstění lesa, a také jejich hlavní výhody a nevýhody.*

**Klíčová slova:** *ekofyziologie, pěstění lesa, znak, příklady*

#### Introduction

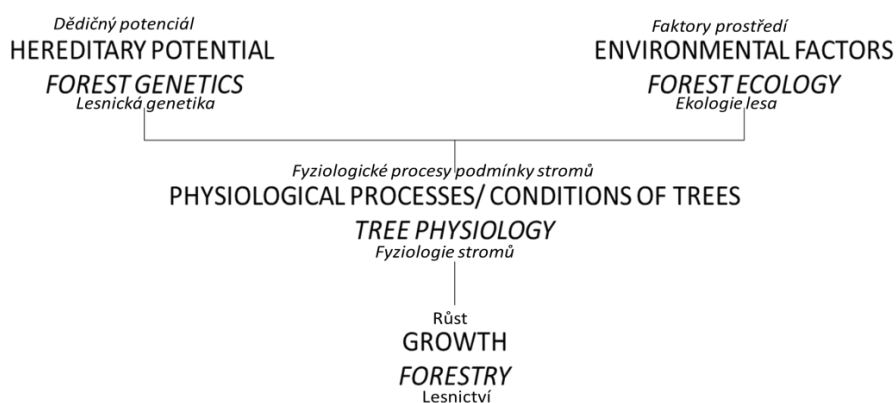
Combining *Physiology*, which explains functions and mechanisms within a living system and *Ecology*, which focuses on interactions among organisms and their environment, makes *Ecophysiology* more than merging two separate fields: it involves impact of biotic and abiotic factors on organisms functioning and adaptation at various levels, from the molecular, biochemical and physiological to a whole stand level (LARCHER, 2003). According to LAMBERS et al. (2008) »*it addresses ecological questions about the controls over growth, reproduction, survival, abundance and geographical distributions, as these processes are affected by the interactions between plants with their physical, chemical and biotic environment.*«

We can determine how a given species copes with an extreme environment through studies of specific physiological mechanisms. Ecophysiologicalists often hypothesize that these mechanisms represent adaptations to the ecological niche of the organism, and hypothesized adaptations are tested using the comparative method. Ecophysiological knowledge is therefore fundamental for functional ecology; whenever morpho-physiological traits are chosen, it is necessary to understand their

significance for ecological processes. For instance, ecophysiological approaches, even when not labelled as functional ecology, have been successfully used in studies on species distribution (BORCHERT 1994), functional convergence (WRIGHT et al. 2002), species interactions (WARDLE et al. 1998), mechanism of coexistence (MARKESTEIJN et al. 2011), environmental filtering (GRIME 1977), ecosystem processes/services (WARDLE et al. 1998) and conservation (WIKELSKI AND COOKE 2006).

“Anatomie und Physiologie der Holzpflanzen” from HARTIG (1878) and “Bau und Leben unserer Waldbäume” from BÜSGEN, (1897) represent basic contributions to tree physiology. The term *forest ecophysiology* was first mentioned in 1929, when BAILEY AND SPOEHR (1929) proposed development of the field, which would include the physiology of both individual trees and forest stands. In 1946 BARRETT (1946) stressed that physiological research of trees should represent a basis for better forestry practices. In the introduction of his early work, KRAMER (1956) started the discussion about the importance of physiology in forestry and pointed out the difference between foresters and physiologists: “Foresters concerned principally with managing stands and think primarily in terms of large numbers of trees. They give seldom much attention to the growth, while plant physiologists are interested primarily in the growth of individual trees. It might be said that foresters cannot see the trees for the forest, while plant physiologists cannot see the forest for the trees.”

Numerous separate publications from KRAMER (1936-1987), KOZLOWSKI (1949-1992) and in joined authorship during 1960-1991 period targeted basic relations between environmental parameters and responses in trees and significantly contributed to the popularity and development of the field. The definition of forest ecophysiology developed in time; however, its essence did not change much. In its early stages, it was positioned in-between hereditary genetic potential, forest ecology and targeting forestry-oriented tree growth (Fig. 1).



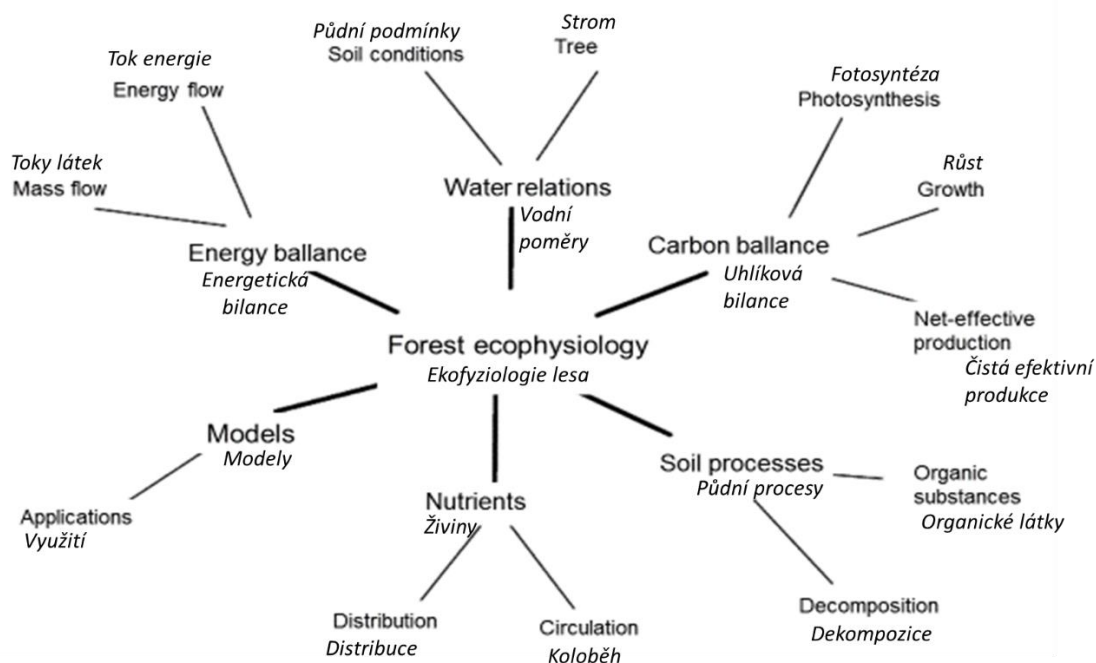
**Fig. 1:** Forest physiology, according to KLEBS (adapted from KRAMER, 1956)

**Obr.1:** Fyziologie lesa podle KLEBSE (přejato z KRAMER, 1956)

In later periods, the field grew wider and today covers also various aspects of stress, linking more interdisciplinary sciences. Some would claim that physiology has made a smaller contribution to forestry than it should due to lack of communication between field and laboratory workers and partly because of a lack of a general understanding of the role of physiology in forestry (KRAMER 1986).

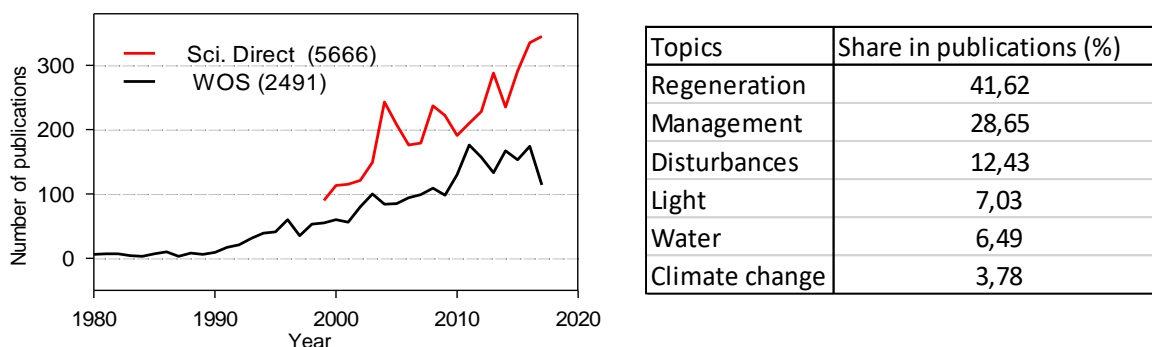
Even if the approach is usually specific, oriented in explaining tree processes in relation to environmental parameters, one may distinguish approaches targeting the

key environmental or site factors (1) such as **light** (intensity, quality, potential light environment, instantaneous light...), **water** (content, availability, sapflow, water balance...), **temperature, nutrients, gas exchange** etc. or those focusing on explaining processes in roots, trunk, leaves or even whole tree (2). Several approaches also tend to connect structural and functional assesment of whole tree to forest stand (ČERMAK ET AL., 2015).



**Fig. 2:** Predominating topics in forest ecophysiology  
**Obr. 2:** Převažující témata v lesnické ekofyziologii

Today the cross-section of the published papers between ecophysiological studies and silviculture during 1980-2017 period indicates significant increase of works covering changes in site conditions worldwide (Fig 3).



**Fig. 3:** Number of published papers with IF, from ecophysiological and silviculture from two databases (WOS: 1980-2017 and Sci Direct: 1998-2017) (left) and share of topics (right).

**Obr.3:** Počet publikovaných článků s impakt faktorem z oblastí ekofyziologie a pěstění lesa ze dvou databází (WOS: 1980-2017 a Sci Direct: 1998-2017) (vlevo), a podíl jednotlivých témat (vpravo).

One of the main characteristics in ecophysiological studies is a trait-based approach, where the adequate **traits** reflecting species response to a given environmental driver are chosen. Functionally relevant traits typically used in such

ways include anatomical features, biomass, fruit/seed dimensions, growth form, growth rates, leaf area, leaf area index (LAI), leaf dimensions (e.g., width, length), phenological events, photosynthetic pathway, photosynthetic rate (instantaneous), plant size and shape, transpiration rate (instantaneous), or other features that are relatively easily measured or easily obtained from the literature (MARTIN, 2017).

The choice of traits to up-scale responses of individuals to communities and ecosystems should be based on their adequacy for a specified ecological context. Although a minimum list of traits might be enough to answer a given ecological question (SONNIER et al. 2012), the key question is which traits are necessary. A deep ecophysiological understanding is therefore essential to identify more responsive traits to a given environmental driver (ROSADO AND DE MATTOS, 2010).

### **Theoretical principles**

Plant response to nutrient limitation was one of the earliest subjects of scientific plant investigation. The classic works of Liebig, Sachs, Blackman, Mitscherlich, and others were the basis for the formulation of several theories on growth factor limitation and plant response. Some of these concepts have been elevated, erroneously, to the status of laws, as plant responses and the possible interactions are too extensive and complex to be so predictable. However, knowledge of the theories can lead to a better understanding of plant response and can aid in planning management strategies.

- *The law of Minimum (Liebig)*

The “law of the minimum,” proposed by JUSTUS VON LIEBIG (1862), states that “a deficiency or absence of one necessary constituent, all others being present, renders the soil barren for crops for which that nutrient is needed.” It is sometimes referred to as the “barrel concept.” If a barrel has staves of different heights, the lowest one establishes the capacity of the barrel. Accordingly, the growth factor in lowest supply (whether climatic, edaphic, biological, or genetic) sets the capacity for yield (HIDDENIK AND KAISER, 2005).

- *The law of Limiting factors (Blackman, Lundegarth)*

When a process depends on a number of factors, its rate is limited by the pace of the slowest factor. BLACKMAN'S law of limiting factors (1905) determines the rate of the photosynthesis.

- *The law of Diminishing Returns (Mitscherlich)*

E. A. MITSCHERLICH (1909), developed an equation that related growth to the supply of growth factors. When plants had adequate amounts of all but one limiting element, the growth response was proportional to the limitation element. Plant growth increased with additional increments of a limiting factor, but not in direct proportion. “The increase in any crop produced by a unit increment of a deficient factor is proportional to the decrement of that factor from the maximum.” The growth increase in  $y$  is the greatest for the first increment of  $x$ ; the amount of increased yield ( $y$ ) becomes progressively smaller with each added increment of  $x$ , theoretically about one-half the response from the previous increment (FERREIRA et al. 2017).

### **Examples and studies linking ecophysiology and silviculture**

From the huge pool of published papers addressing ecophysiology and trees it is not easy to distinguish between those which merely describe patterns and are targeting basic processes in forest trees and contributions providing direct application for the forest and silvicultural praxis. A new way for estimating forest ecosystem leaf area index compared to the etalon has been introduced (ČERNÝ et al., 2018); PIETRAS

et al. (2016) and STOJANOVIĆ et al. (2016) confirmed advantages/ disadvantages between coppices and standards in favourable and drought conditions; several in-depth studies address extreme weather events and behaviour of spruce (POKORNY & TOMAŠKOVA, 2009, GEBAUER et al., 2015).

### **Some examples of ecophysiological studies supporting close-to-nature (CTN) silviculture**

There is an ongoing debate about possible lower genetic variation in forests that are managed with the CTN silviculture. Persistent shadow on the forest floor of a larger area may reduce the proportion of species and genotypes adapted to climatic variability, and especially extremes. Only few studies completed indicate minor or no differences in genetic structure of tree populations between old-growth and managed forests (WESTERGREN et al., 2015).

In terms of stand carbon ballance, thinning intensity has been confirmed to have effect on soil respiration in beech, fir and spruce dominating forest stands (ČATER, 2015), as well as in sessile oak coppice forests (DARENOVA et al., 2016). In spruce, thinning had little effect on shoot morphology and anatomy of needles, but they became more sensitive to altered light conditions; thinned stands may be predisposed to drought stress (GEBAUER et al., 2014).

Plant architecture declares the future commercial quality of stands. Broadleaves, especially beech may develop unwanted plagiotropic growth in low-light regimes. Research of SAGHEB-TALEBI (1996) suggested that best architecture of beech saplings is achieved in low-intermediate light levels. Research in Dinaric mixed mountain forests shows that plagiotropic growth is associated with relatively low light levels, e.g. below 10-20 % of the relative diffuse light and may vary between CTN silvicultural systems (ČATER AND LEVANIČ, 2013). Plagiotropic plants are often outcompeted with further development of regeneration (ROŽENBERGAR AND DIACI, 2014).

With appropriate gap spatio-temporal dynamics (gap size, shape and within gap microsite variability) silviculturists influence the quality of remaining mature stand and the mixture and quality of regeneration. Therefore a considerable part of silvicultural research was devoted to this topic. Research indicated tree species gap niche partitioning in several forest types (mixed mountain forests, spruce and pine plantations). To describe this phenomenon and transfer results into practice, a method for explaining micro-site partitioning based on four combinations of diffuse and direct light levels was developed (DIACI, 2002). Ecophysiological response from beech and fir in various light microsites proved that beech is more efficiently in exploiting direct radiation in sun exposed parts of the gap when compared to silver fir (ČATER et al., 2014).

The abundance of same microsite categories along the elevation gradient in two silvicultural systems well indicated the forest structure and its fragmentation; separation of microsite areas between both silvicultural systems, evident in lower elevation belts, was not present in the most conflict and highest elevation zone, while the absolute values of all categories in highest elevation zone in both systems were almost identical, indicating the same, small-scale irregular shelterwood system, known also as the freestyle silvicultural approach (ČATER AND KOBLER, 2017).

Pedunculate oak forests are difficult to regenerate due to changed natural processes, fragmentation and environmental pollution. With the approach of accounting for within-gap microsites according to light asymmetry, favourable microsites for natural regeneration of pedunculated oak were defined. In the



floodplain forests, those were microsites under canopies, receiving low-levels of diffuse light and high levels of direct light (DIACI et al., 2008). For further development oak regeneration higher light levels in open gap areas are necessary, but it still takes no more than a quarter of a hectare. The research of LEVANIČ et al. (2011) for the same bottomland hardwood ecosystems indicated that suppressed oaks performed better under recurring droughts, which again indicates the significance of long regeneration periods, continuous canopy cover and the uneven-aged structure of these forest stands.

Research and practice suggest higher resistance and resilience of CTN managed mountain mixed forests when compared to even-aged systems (LENK AND KENK, 2007). Moreover, long-lasting or even perpetual regeneration allows best possible adaptation to climate change. Research also suggests that small-scale patchy mosaic of stands offers optimal protection against natural hazards.

### **Advantages vs. disadvantages**

Despite the increasing amount of papers providing more information about forest/tree response to changing environment, a question about their efficient use becomes adequate. Predominating advantages/ disadvantages of ecophysiological measurements are presented:

#### *Advantages:*

- Measurements are repeatable
- Independent
- Reliable
- They are performed instantly
- As traits they may explain response characteristics of long term adaptations

#### *Disadvantages:*

- Interpretation requires detailed knowledge of various processes
- Popularity of traits can mislead and create false information
- Sensors and measurement devices aren't cheap
- Questionable interpretation when upscaling
- No overview for the response/ performance in the past

Due to the successful explanation of global patterns of trait variation and the relatively simple measurements, some functional traits have become widely used. However, it is starting to be questioned whether the status of such “fashionable traits” is always justified (ROSADO ET AL., 2013). ROSADO ET AL. (2013) suggests objective criteria for the choice of functional traits: 1) identification of the main environmental drivers; 2) identification of the relevant physiological processes allowing species to cope with the environment; 3) selection of traits involved in such physiological processes; 4) validation of the select traits at community level, and; 5) evaluation of possible consequences for ecosystem.

## References

- BAILEY, I.W., SPOEHR, H.A., 1929. The role of research in the development of forestry in North America. The MacMillan Co New York.
- BARRETT, L.I., 1946. The status of silvical research. Jour. For. 44, p. 972-977.
- BORCHERT, R., 1994. Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forests trees. Ecology, 75:1437-1449.
- BÜSGEN, M., 1897. Bau und Leben unserer Waldbäume. G Fischer, Jena.
- ČATER, M., LEVANIČ, T., 2013. Response of *Fagus sylvatica* L. and *Abies alba* Mill. in different silvicultural systems of the high Dinaric karst. Forest Ecology and Management 289, 278-288.
- ČATER, M., DIACI, J., ROŽENBERGAR, D., 2014. Gap size and position influence variable response of *Fagus sylvatica* L. and *Abies alba* Mill. Forest Ecology and Management 325, 128-135.
- ČATER, M., 2015. Thinning effect on soil respiration in Silver fir, Beech and Spruce predominating adult forest stands. in: Houšková, K. (ed.), Černý, J. (ed.). Proceedings of Central European silviculture. Vyd. 1. Brno: Mendelova univerzita v Brně, p. 154-163.
- ČATER, M., KOBLER, A., 2017. Light response of *Fagus sylvatica* L. and *Abies alba* Mill. in different categories of forest edge - Vertical abundance in two silvicultural systems. Forest Ecology and Management 391, 417-426.
- ČATER, M., LEVANIČ, T., 2013. Response of *Fagus sylvatica* L. and *Abies alba* Mill. in different silvicultural systems of the high Dinaric karst. Forest Ecology and Management 289, 278-288.
- ČERMAK, J., NADEZHINA, N., TRCALA, M., SIMON, J., 2015. Open field -applicable instrumental methods for structural and functional assessment of whole trees and stands. iForest 8: p. 226-278.
- ČERNÝ, J., KREJZA, J., POKORNÝ, R., BEDNAR, P., 2018. LaiPen LP 100-a new device for estimating forest ecosystem leaf area index compared to the etalon: A methodologic case study. Journal Of Forest Science, 64 (11), p. 455–468.
- DAŘENOVÁ, E., ČATER, M., PAVELKA, M., 2016. Different harvest intensity and soil CO<sub>2</sub> efflux in sessile oak coppice forests. iForest, 9, p. 546-552.
- DIACI, J., 2002. Regeneration dynamics in a Norway spruce plantation on a silver fir-beech forest site in the Slovenian Alps. Forest Ecology and Management 161, 27-38.
- DIACI, J., GYÖREK, N., GLIHA, J., NAGEL, T., A., 2008. Response of *Quercus robur* L. seedlings to north-south asymmetry of light within gaps in floodplain forests of Slovenia. Annals of Forest Science 65, 105.
- FERREIRA, I.E.P., ZOCCHI, S.S. BARON, D., 2017. Reconciling the Mitscherlich's Law of Diminishing returns with Liebig's Law of the Minimum. Some results on crop modelling. Mathematical Biosciences. 293, p. 29-37.
- GEBAUER, R., VOLARIK, D., URBAN, J., BØRJA, I., NAGY, N.E., ELDHUSET T.D., KROKENE, P., 2014. Altered light conditions following thinning affect xylem structure and potential hydraulic conductivity of Norway spruce shoots. European Journal of Forest Research, 133, p. 111-120.
- GEBAUER, R., VOLARIK, D., URBAN, J., BØRJA, I., NAGY, N.E., ELDHUSET T.D., KROKENE, P., 2015. Effects of prolonged drought on the anatomy of sun and shade needles in young Norway spruce trees. Ecology and Evolution.5, (21), p. 4989-4998.
- GRIME, J.P., 1977. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. The American Naturalist, 111: p.169-194.

- HARTIG, T., 1878. Anatomie und Physiologie der Holzpflanzen. J. Springer, Berlin.
- HIDDINK, J. G., KAISER, M. J., 2005. Implications of Liebig's law of the minimum for the use of ecological indicators based on abundance. *Ecography* 28: 2, p. 264-271.
- KOZŁOWSKI, T.T., 1949. Light and water in relation to growth and competition of Piedmont forest tree species. *Ecol. Monogr.* 19, p. 207-231.
- KOZŁOWSKI, T.T., 1992. Carbohydrate sources and sinks in woody plants. *Bot. rev.* 58, p. 107-222.
- KRAMER, P.J., 1936. Effect of variation in length of day on growth and dormancy of trees. *Plant Physiology* 11, p. 127-137.
- KRAMER, P.J., 1986. The role of physiology in forestry. *Tree physiology* 2, p. 1-16.
- KRAMER, P.J., 1987. The role water stress in tree growth. *J. Arboric.* 13, p. 33-38.
- KRAMER, P.J., KOZŁOWSKI, T.T., 1960. *Physiology of trees*. McGraw-Hill, New York
- KRAMER, P.J., KOZŁOWSKI, T.T., 1979. *Physiology of woody plants*. Academic press, New York
- KOZŁOWSKI, T.T., KRAMER, P.J., PALLARDY, S.G., 1991a. *The Physiological ecology of plants*. Academic press, San Diego, California.
- KOZŁOWSKI, T.T., KRAMER, P.J., PALLARDY, S.G., 1991b. *The Physiological ecology of woody plants*. Academic press, San Diego, California, Toronto
- LAMBERS H, CHAPIN III FS & PONS TL, 2008. *Plant Physiological Ecology*. Springer.
- LARCHER, W., 2003. *Physiological Plant Ecology Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*. Berlin: Springer.
- LENK, E., KENK, G., 2007. Sortenproduktion und Risiken Schwarzwälder Plenterwälder. *Allgemeine Forstzeitung/Der Wald* 62, 136-139.
- LEVANIČ, T., ČATER, M., MCDOWELL, N.G., 2011. Associations between growth, wood anatomy, carbon isotope discrimination and mortality in a *Quercus robur* forest. *Tree Physiology* 31, 298-308.
- MARKESTEIJN, L., POORTER, L., PAZ, H., SACK, L., BONGERS, F., 2011. Ecological differentiation in xylem cavitation resistance is associated with stem and leaf structural traits. *Plant, Cell & Environment*, 34: p.137-148.
- MARTIN, C.,E., 2017. Plant functional traits: an ecophysiological perspective. *Taiwan J For Sci* 32(2): 121-9.
- PIETRAS, J., STOJANOVIĆ, M., KNOTT, R., POKORNY, R., 2016. Oak sprouts grow better than seedlings under drought stress. *iForest - Biogeosciences and Forestry* 9(4): pp. 529-535
- POKORNÝ, R., TOMÁŠKOVÁ, I., 2009. Water release by Norway spruce stand during extreme humid conditions. *Acta Hort.* 846, p. 309-314.
- ROSADO, B.H.P., DE MATTOS E.,A., 2010. Interspecific variation of functional traits in a CAM-tree dominated sandy coastal plain. *Journal of Vegetation Science*, 21: p. 43-54.
- ROSADO, B.H.P., DIAS, A.T.C., DE MATTOS E.A., 2013. Going Back to Basics: Importance of Ecophysiology when Choosing Functional Traits for Studying Communities and Ecosystems. *Natureza & Conservação* 11(1), p. 15-22.
- ROŽENBERGAR, D., DIACI, J., 2014. Architecture of *Fagus sylvatica* regeneration improves over time in mixed old-growth and managed forests. *Forest Ecology and Management* 318, 334-340.
- SAGHEB-TALEBI, K., 1996. Quantitative und qualitative Merkmale von Buchenjungwüchsen (*Fagus sylvatica* L.) unter dem Einfluss des Lichtes und anderer Standortsfaktoren. Schweizerischer Forstverein, Zürich.

- SONNIER, G., NAVAS, M.L., FAYOLLE, A., SHIPLEY, B., 2012. Quantifying trait selection driving community assembly: a test in herbaceous plant communities under contrasted land use regimes. *Oikos*, 121: p. 1103-1111.
- STOJANOVIĆ, M., ČATER, M., POKORNÝ, R., 2016. Responses in young *Quercus petraea* : coppices and standards under favourable and drought conditions. *Dendrobiology*, 76, p. 127-136.
- WARDLE, D.A., BARKER, G.M., BONNER, K.I., NICHOLSON, K.S., 1998. Can comparative approaches based on plant ecophysiological traits predict the nature of biotic interactions and individual plant species effects in ecosystems? *Journal of Ecology*, 86: p. 405-420.
- WESTERGREN, M., BOZIČ, G., FERREIRA, A., KRAIGHER, H., 2015. Insignificant effect of management using irregular shelterwood system on the genetic diversity of European beech (*Fagus sylvatica* L.): A case study of managed stand and old growth forest in Slovenia. *Forest Ecology and Management* 335, 51-59.
- WIKELSKI, M., COOKE, S.J., 2006. Conservation Physiology. *Trends in Ecology & Evolution*, 21: p. 38-46.
- WRIGHT, I.J., WESTOBY, M., REICH, P.B., 2002. Convergence towards higher leaf mass per area in dry and nutrient-poor has different consequences for leaf life span. *Journal of Ecology*, 90: p. 534-453.

### **Acknowledgements**

Support from the Slovenian Research Agency (research core funding No. P4-0107 Program research group "Forest Biology, Ecology and Technology" at the Slovenian Forestry Institute is kindly acknowledged. Author expresses his sincere gratitude to dr. Eva Darenova for the translation into Czech language. No human, animals, dwarfs or plants were harmed during this study.

**Sekce 2**

**HISTORIE VZDĚLÁVÁNÍ A VÝZKUMU V OBLASTI PĚSTOVÁNÍ LESA**

**Session 2**

**HISTORY OF EDUCATION AND RESEARCH IN SILVICULTURE**

## HISTORIE VZDĚLÁVÁNÍ V OBLASTI PĚSTOVÁNÍ LESA V ČESKÝCH ZEMÍCH

### HISTORY OF SILVICULTURE EDUCATION IN THE CZECH COUNTRIES

Vilém Podrázský\*, Stanislav Vacek

Katedra pěstování lesů, Fakulta lesnická a dřevařská ČZU v Praze, Kamýcká 129, 165 21, Praha 6 – Suchdol, ČR

\*corresponding author: podrazsky@fld.czu.cz

#### Abstract

*Paper summarizes briefly the history and development of the silviculture education during the last centuries. It describes the first notices on silvicultural themes from the Middle Age and later, based on lack in wood and timber, as well as the necessity of forest regeneration and revitalization in this era. Very briefly is noticed the beginning of research activities before forming of independent Czechoslovakia, the first research and educative institutions are mentioned. Later, the newly established research institutions and universities are leaders in the research and higher education field. The most prominent past personalities are mentioned, forming particular specializations. Finally, the silviculture development and knowledge is summarized and generalized in respect to topical situation in forestry. Past and present knowledge gives enough quality basis as well as highly educated specialists to challenge present unfavorable situation, the main problems are in the administrative and political spheres.*

**Keywords:** History, Silviculture, Education, Research, Silvicultural Knowledge

#### Abstrakt:

*Príspevok stručne shrnuje vývoj disciplíny pěstování lesů v dobovém kontextu. Uvádí počátky pokusů spojených s pěstováním lesů ve středověku a začátku novověku, kdy byl zájem vynucen nedostatkem dříví a potřebou lesy obnovit a patřičně zvelebit. Dále je stručně popsán rozvoj výzkumu v dané disciplíně před založením samostatného Československa a je uveden přehled prvních vzdělávacích a výzkumných institucí. Po vzniku samostatného státu se pak těžiště přesouvá na ryze výzkumné instituce a na vysokoškolská pracoviště, zajišťující vzdělávání odborníků na nejvyšší úrovni. Objevovaly se i výrazné osobnosti, profilující obor jako celek i jeho dílčí specializace. Závěrem je shrnut význam dosavadních poznatků v současné situaci. Výzkum a vzdělávání v oboru pěstování poskytovaly a poskytují dostatek poznatků a odborníků, problém je pak především v administrativní a decizní sféře.*

**Klíčová slova:** Historie, Pěstování lesa, Vzdělávání, Výzkum

#### Úvod

Aktivity, které souvisely s výzkumem a vzděláváním v oblasti pěstování, sahají až do 16. století, zabývaly se především zaváděním umělé obnovy a zachováním lesů jako zdroje silně deficitní suroviny. Od 14. století, i dříve, byl pocítován výrazný nedostatek dřeva, což se odráželo i v některých dokumentech, například v tzv. Konrádových statutech z r. 1189, nepřijatém zákoníku Karla IV. Maiestas Carolina a v různých nařízeních týkajících se ochrany lesů a zásobování dolů dřívím. Zajímavý je požadavek z r. 1557, aby lesmistři znali své lesy a tak o nich mohli kvalifikovaně rozhodovat (VANČURA 2011). Cílevědomě se obecně lesnické a pěstitelské vzdělávání začínalo institucionalizovat od 18. století, kdy vznikaly různé příručky, manuály a publikace s cílem vzdělávat lesnický personál a zlepšit stav a výnosovost lesů v mocnářství včetně českých zemí. Kvalita a stabilita produkce byla a jsou hlavní kritéria úspěšného pěstování lesů a důvody vzniku samostatné praktické i vědní disciplíny. Tato etapa pak vyústila v zakládání „lesnických učilišť“ a podobných škol (Blatno 1773, Trnová 1790, KOLEKTIV 2017). Vznikaly i různé praktické materiály pro lesnický personál, jako například první česká Lenhartova publikace (LENHART 1793), která by byla z velké části inspirativní pro lesnický provoz

a především státní správu i dnes. Další rozvoj lesnického výzkumu i v souvislosti s oblastí vzdělávání pak nastal koncem 19. století a zejména po založení samostatného Československa.

### **Stručná historie vzdělávání v oblasti pěstování lesů v českých zemích**

Tento příspěvek nemůže v žádném případě poskytnout ucelený a souvislý přehled historie lesnického vzdělávání ani vzdělávání v oblasti pěstování lesů, může jen zmínit hlavní mezníky, hlavní osobnosti a instituce, které se v dané oblasti angažovaly. Podrobnější informaci je možno nalézt v odpovídajících publikacích (Kolektiv 2017, Roček 2002, 2009, Vančura 2011, Zahradník 2001). Lze však stručně shrnout historii a současné možnosti. Z významných osobností jsou pak připomenuty především pedagogové, dnes mimo aktivní službu, a to nejen věnující se pěstování lesů v užším pojetí, ale i souvisejícím disciplínám, pro pěstování lesů důležitým.

Zájem o lesní produkci a stabilitu lesních porostů, spojený s pěstitelskými experimenty se začal zvyšovat s nedostatkem dříví napříč Evropou. S tím souvisely reskripty císaře Karla VI. z roku 1733 a Marie Terezie (1753), které vyústily ve vydání zemských lesních řádů a patentů (Čechy 1754, Slezsko 1756, Morava 1765). Krátce před tím bylo vydáno i základní dílo Hanse Carla von Carlowitze, formulující požadavek trvale udržitelného hospodaření v lesích (1713). Kolem poloviny 19. století pak již bylo lesní pokusnictví i teoretické přístupy poměrně rozvinuté, tyto aktivity byly rozvíjeny v rámci vznikajících společností, na velkostatkách a ve spolupráci s lesnickými školami. Z tohoto období v českých zemích můžeme vzpomenout například na Josefa Ressela (zalesňování jaderských oblastí a pěstování), Josefa Bohdaneckého (výchova porostů) a Jana Evangelistu Chadta-Ševětínského (pěstování, produkce).

Po vzniku Československé republiky se stal držitelem značné plochy lesů stát a tyto lesy byly v Čechách, na Moravě a ve Slezsku svěřeny do péče podniku České státní lesy a statky. Tento podnik začal skutečně velkoryse omezovat pěstování smrku na nevhodných stanovištích a přeměňovat monokultury na smíšené porosty (Valdhauser 1926). Výzkumnou činnost v lesních porostech tehdy zajišťovaly zemské výzkumné stanice v Praze a v Brně, které byly založeny v r. 1886 a 1888. Ty se od svého založení zabývaly experimenty s pěstováním smrku na Dobřířsku, na Moravě i ve Slezsku. Například na studiu pěstování smíšených porostů smrku a buku na pokusném polesí Rezek v Krkonoších se výzkumné ústavy z Prahy podílely od r. 1886 až do roku 1947 (Vacek 1996).

V roce 1923 byl v Brně zřízen Ústav pěstování lesa, který byl řízen prof. J. Konšelem a vytvářel i ověřoval různé postupy pěstování lesních dřevin, a to od zakládání porostů, přes jejich výchovu až po jejich obnovu. Kromě zmíněného ústavu byla v letech 1925 a 1926 vytvořena síť stanic, které byly umístěny v lesnických středních školách (v Písku, Hranicích, v Zákupech a v Jemnici). Od r. 1929 byly tyto ústavy, a to včetně stanic, aktivními členy Mezinárodního svazu lesnických výzkumných ústavů IUFRO (Zahradník 2001). Toto období se již vyznačuje významným, možno říci rozhodujícím zapojením vysokoškolských pracovníků do výzkumu v oblasti pěstování lesů. Z významných jmen je možno zmínit brněnské pracovníky, především Josefa Konšela (pěstování lesů s důrazem na obnovu a výchovu), dále Augusta Bayera (biologie dřevin, dendrologie, bioklimatologie, přírůst), Gustava Vincenta (semenářství, školkařství – mezi Brnem a Prahou), Bohuslava Polanského (pěstování lesů), Aloise Zlatníka (lesnická fytoecologie a typologie). Z dalších osobností je nutné připomenout i poválečné starší pracovníky, konkrétně Bohuslava Polanského (pěstování lesů),

Jiřího Machaníčka (semenářství a šlechtění) a Miroslava Vyskota (pěstování lesů, produkce biomasy), Josefa Kantora (zakládání lesů), Vladimíra Tesaře (pěstování, imisní oblasti), Petra Kantora (ekologie lesa, zejména vodní provoz) a Jiřího Truhláře (pěstování lesů, výběrné hospodaření).

Podobně i v Praze bylo navázáno na starší tradici lesnického vzdělávání. Po období, kdy bylo lesnictví vyučováno jako součást zemědělských nauk, jako první samostatný počín je nutno jmenovat aktivity Christopa Liebicha, který přednášel první samostatný lesní kurz na pražské polytechnice. Dále je významná činnost Antonína Bohutínského (lesnická encyklopedie na pražské německé technice). Na pražské fakultě pak působili v období po založení Josef Sigmund (po krátkém působení v Brně přednášel pěstování a nauku o lesním rostliništi v Praze), Bohuslav Mařan (lesnická pedologie a biologie), Jaromír Klika (ekologie a lesnická typologie, jeden ze zakladatelů), v poválečném období pak Jaroslav Hofman a Pravdomil Svoboda (lesnická dendrologie a ekologie), Karel Kaňák (lesnická dendrologie), Karel Zlatuška (pěstování lesů), Jaromír Pokorný (lesnická dendrologie), Erich Václav (pěstování, biologie břízy) a Alois Mezera (speciální pěstování lesů). Situace na pražském pracovišti byla komplikována zrušením fakulty v roce 1964 a jejím obnovením v roce 1990. Z posledního období pak k významným pedagogům patřili Jiří Skoupý (zakládání lesů), Jaromír Čížek (pěstování, fytotechnické postupy) a především Zdeněk Poleno (pěstování lesů v nejširším pojetí).

### **Přírodě blízké pěstování lesů na pražské lesnické fakultě**

O rozvoj přírodě blízkých způsobů pěstování lesů na Lesnické fakultě v Praze se zasloužil především prof. Ing. Dr. Josef Sigmund, který v letech 1921–1939 založil a vyprofiloval Pražskou pěstební školu. Byl zásadovým zastáncem maloplošného podrostního obhospodařování a pěstování smíšených lesů. Na Školním lesním statku v Kostelci nad Černými lesy systematický vedenými cílenými pěstebními zásahy usměrňoval vztahy dřevin ve smíšených porostech tak, aby se zvyšovala celková produkce lesů a současně zachovávala nepřetržitost funkce produkční, ale i ostatních funkčních užitků z lesa (Sigmund 1929). Své žáky učil, že les nejsou pouze stromy, ale „organismus“ se složitými vzájemnými vztahy živé i neživé přírody a jejich funkcemi (Poleno et al. 2007). K profilaci Pražské pěstební školy dále významně přispěl Prof. Ing. Zdeněk Poleno, DrSc., který úzce navázal na práci svého učitele prof. J. Sigmonda, u něhož oceňoval neobyčejně hluboký cit pro chápání vztahů mezi jednotlivými faktory stanoviště a biologickými složkami porostního prostředí. Prof. Poleno byl význačným představitelem trvale udržitelného obhospodařování lesů (Poleno 1996, 1997) a zejména pak pěstování lesů na ekologickém základě či ekologicky orientované pěstování lesů (Poleno 1993, 1994, 2000). Ekologickým hospodařením v lesích ve fázi obnovy sledoval cílevědomou úpravu konkurenčních vztahů mezi stromy s cílem dosáhnout maximální objem i hodnotu produkce dřeva přesunem přírůstu na stromy nejlépe přirůstavé a nejkvalitnější, a to při plnění všech ekologických a environmentálních funkcí lesa (Poleno 1999). Dlouhodobě prof. Z. Poleno usiloval o to, aby povinnosti vyplývající z uzavřených mezinárodních dohod o trvale udržitelném a přírodě blízkém obhospodařování lesů i z našich závazných dokumentů v tomto směru vešly do podvědomí všech lesníků a postupně se stali součástí jejich každodenního chování. Tyto jeho myšlenky a cíle jsou na pracovišti pěstování lesů na FLD rozvíjeny dosud.



## Lesnický výzkum – zdroj poznatků pro výuku

Obě vysokoškolská zařízení pak plně zajišťovala lesnický výzkum i praxi kvalifikovanými a erudovanými pracovníky. Právě v disciplíně pěstování lesů je patrné úzké sepětí praxe, výzkumu a školství, zejména vysokého. Z tohoto hlediska bylo klíčové zřízení Výzkumného ústavu pro pěstění lesů, semenářství a školkařství v Opočně v roce 1951. Z tohoto pracoviště vzešlo dosud sedm profesorů, aktivních i v příbuzných oborech a dosud určujících ze značné části rozvoj dané oblasti výzkumu a vzdělávání. K ověřování pěstebních postupů bylo tehdy zřízeno 9 pokusných polesí v různých podmínkách prostředí. V roce 1952 byly stanice a ústav sloučeny do Výzkumného ústavu lesního hospodářství ve Zbraslavi-Strnadlech. Zde v r. 1955 na poradě vedení obou výzkumných ústavů došlo k dohodě o směřování pěstebního výzkumu v Česku a na Slovensku. Výzkumem pěstování smrku a borovice byl pověřen Výzkumný ústav lesního hospodářství (nynější Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i. Strnady). Výzkum pěstování buku a dubu byl pověřen Výzkumný ústav lesního hospodářství ve Zvolenu (nyní Lesnický výzkumný ústav Zvolen). S opočenským pracovištěm jsou spojena jména především Huga Koniasa (přeměny smrkových a borových monokultur), Jiřího Mottla (pěstování rychlerostoucích dřevin), Vladimíra Peřiny (pěstování lesů), Vratislava Duška (semenářství a školkařství), Vladimíra Zakopala (pěstování lesů, výběrné hospodaření), Ludka Chrousta (výchova porostů a ekologie lesa) a Theodora Lokvence (zakládání a pěstování lesů mj. v imisních oblastech). Zejména zásluhou Koniasovou došlo ke značnému rozvoji jemnějších forem hospodaření, souhrnně označovaných jako podrostní hospodářství a v této době se značná pozornost začala věnovat systematickému výzkumu výchovy lesních porostů (ŠTEFANČÍK et al. 2018).

Lesnický výzkum pak byl orientován podle současných potřeb sektoru. Období let 1965–1985 je tak možno v celém socialistickém bloku označit za epochu, kdy technika měla přednost před ekologií a centrální těžební model nad rozhodováním v konkrétním porostu (POLENO 1996). Následně gradující imisní kalamita v 70. a 80. letech 20. století vyvolala v lesnickém výzkumu vědomí odpovědnosti za tento stav a dvojnásob pak za stav budoucí, což vedlo k četným analýzám jeho; příčin a rozborům probíhajícího nežádoucího vývoje a k návrhům managementu (MATERNA 1978; PEŘINA et al. 1984, TESAŘ 1976). Po roce 1990 byl pak patrný trend návratu k problematice podrostního, výběrného a přírodě blízkého obhospodařování a v posledním období také pěstování lesů v úzké vazbě ke globálním klimatickým změnám (ŠTEFANČÍK et al. 2018). Právě toto pracoviště pak v 80. a 90. letech saturovalo obě vysokoškolská pracoviště kvalifikovanými pracovníky, určujícími přímo nebo svými nástupci vzdělávání v oblasti pěstování lesů dodnes.

## Závěr

Výzkumné a vzdělávací aktivity v oboru pěstování lesa spolu vždy úzce souvisely a souvisejí i v současnosti, především ve vysokoškolském prostředí. Pokud zhodnotíme obecně zaměření oboru v toku času, je možno vidět jasné trendy. V posledním století je zásadní důraz kladen na produkci, stabilitu a kvalitu lesních porostů. Periodicky je výrazně zdůrazňován význam přírodě blízkých způsobů hospodaření, který je však dominantní jen na minoritním podílu lesních majetků a celků kontinuálně. Nárazově se pak společnost obrací se zvýšenými požadavky na obnovu a pěstování lesů po výrazných kalamitách – mniškové, válečných těžbách, imisní kalamitě a současných větrných a hmyzích pohromách. Přitom je zhruba od druhé světové války a v zesílené podobě od 90. let sledovat velmi podobnou situaci ve vztahu lesnického výzkumu, vzdělávání a praxe:

- Za několik století byla shromážděna značná zkušenost s hospodařením v porostech různých dřevin a s různou intenzitou a způsobem hospodaření. I v měnících se podmínkách prostředí, od vrcholu (18. století) a konce (zlom 19 a 20. století) malé doby ledové po současnou dobu oteplování a klimatických extrémů je k dispozici značné množství empirických znalostí.
- Lesnický výzkum, akademický i neakademický, poskytoval a poskytuje dostatek, v podstatě nadbytek poznatků a zkušeností, které ne vždy dojdou ohlasu v politické, decizní a administrativní sféře.
- Lesnické školy produkují (prozatím) kvalifikovaný personál a odborníky, výše uvedené znalosti v podstatné míře vstřebávají. Ze strany praxe je však tento rozsah často kritizován (viz. níže) jako nadbytečný a pokud jsou vznášeny požadavky na kvalifikaci, souvisejí spíše s extenzifikací a simplifikací oboru. Kromě využívání nejnovějších IT technologií, což je naopak pozitivní trend, pokud není využíván výše uvedených způsobem.
- Problém s využíváním jak empirických, tak i vědeckých poznatků pak představuje tendence trvání na zjednodušených postupech a přístupech. To především v případě státní správy a státních majetků. Příklady odlišných přístupů z minulých období existují, vyžadovaly a vyžadují značnou odvahu jak v minulých, tak ještě více v současných podmínkách. Soukromí majitelé spíše ocení a racionálně využijí ekonomické přínosy a poskytnou tak environmentální benefity diverzifikovaných hospodářských přístupů.
- V současných podmínkách velkoplošné kalamity vyvolané jak klimatickými, tak i administrativně-politickými faktory hrozí nebezpečí spíše politických a administrativních ne/rozhodnutí, což by vyloučilo uplatnění místních možností a zkušeností a kvalifikace personálu.

Pěstování lesa jako vědecká disciplína a jeden ze základních kamenů lesnického vzdělání je tak záležitost stále živá a ve vývoji. V širším významu a se zohledněním současných trendů (změna klimatu a počasí, bioekonomika) by se měly dílčí výzkumné směry diverzifikovat tak, aby se úvahy o obnově a pěstování lesů neubíraly pouze jedním směrem. I v tomto případě je diverzita zásadně důležitá, stejně tak i umožnění plného profesního uplatnění kvalifikovaných pracovníků nejen výzkumu, ale především praxe.

## Literatura

- KOLEKTIV. Osobnosti zemědělského výzkumu 20. století. Praha, ČAZV 2017. 484 s.
- LENHART, V.E. Zkušené naučení k velmi potřebnému již za našich časů osetí lesův, ke kterémuž ještě jiná velmi užitečná naučení o povinnostech myslivce lesův dle zkušenosti dokonale hledícího přidána jsou. Reprint, Praha, ČZU v Praze 2003. 147 s.
- MATERNA, J., 1978: Lesní hospodářství a zemědělství v oblastech postižených imisemi. *Práce VÚLHM*, 1978, 53: s. 99–115.
- PEŘINA, V., DUŠEK, V., LOKVENC, T., TESAŘ, V. et al. Obnova a pěstování lesních porostů v oblastech postižených průmyslovými imisemi. Praha, SZN 1984, 173 s.
- POLENO, Z. Ekologicky orientované pěstování lesů. *Lesnictví-Forestry*, 1993, 39(11): s. 475–480.
- POLENO, Z. Ekologicky orientované pěstování lesů. *Lesnictví-Forestry*, 1994, 40(1/2): s. 65–72.
- POLENO, Z. Sustainable management of forests in the Czech Republic. Prague, ČZU v Praze 1996. 61 s.
- POLENO, Z. Trvale udržitelné obhospodařování lesů. Praha, MZe 1997, 105 s.

- POLENO, Z. Výběr jednotlivých stromů k obnovní těžbě v pasečném lese. Kostelec n. Č. l., Lesnická práce s.r.o. 1999, 128 s.
- POLENO, Z. Ekologické pojetí pěstování lesů. Doktorská disertační práce. Praha, LF ČZU v Praze 2000.
- POLENO, Z., VACEK, S., PODRÁZSKÝ, V., REMEŠ, J., MIKESKA, M., KOBLIHA J., BÍLEK, L. Pěstování lesů II. Teoretická východiska pěstování lesů. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce, s.r.o. 2007, 464 s.
- ROČEK, I. Historie pražské lesnické fakulty. Praha, ČZU v Praze 2009. 165 s.
- ROČEK, I., GROSS, J. (eds.). Pražská lesnická fakulta. Praha, ČZU v Praze 2002. 174 s.
- SIGMOND, J. (1929): Novodobé směry v pěstování lesů a praktické zkušenosti v nich dosud nabyté. *Lesnická práce*, 1929, 8: s. 395–401.
- ŠTEFANČÍK, I., VACEK, S., PODRÁZSKÝ, V.: The most significant results of long-term research on silviculture experiments focusing on spruce and beech in the territory of the former Czechoslovakia. *Central European Forestry Journal*, 2018, 3-4, s. 180–194.
- TESAŘ, V. Prvé výsledky z výchovy smrkových tyčkovin ovlivněných imisemi. *Práce VÚLHM*, 1976, 48: s. 55–76.
- VALDHAUSER, V. Přirozená obnova jehličnatých a směsi jehličin s bukem. *Lesnická práce*, 1926, 5: s. 193–205.
- VANČURA, K. Lesnický výzkum v České republice. Ohlédnutí za 90 lety nejen výzkumného ústavu. Vlastní náklad, 2011. 142 s.
- VACEK, S. Lesnický výzkum v Krkonoších. In: *Monitoring, výzkum a management ekosystémů na území Krkonošského národního parku*. Opočno 15.–17.4.1996: VÚLHM VS Opočno, 1996, s. 1–3.
- ZAHRADNÍK, P. Lesnický výzkum v České republice – minulost a současnost. In: *50 let pěstebního výzkumu v Opočně*. VÚLHM Jíloviště-Strnady 12.–13.9.2001: VÚLHM, 2001, s. 7–18.

### Poděkování

Příspěvek vznikl v rámci řešení projektu NAZV QK1920328 Komplexní řešení obnovy a pěstování lesa v oblastech s rychlým velkoplošným hynutím lesa

### Summary

The presented paper gives short overview of the development of education in the Czech countries during the last centuries. The first notices were indicated in the 14<sup>th</sup> and 16<sup>th</sup> centuries, later, the state of forests and needs for wood and timber initialized the origin of silviculture as special forestry branch in science and practice. Stability and quality of production were the main aims of all these activities. The main personalities are indicated, determining particular specializations in the Czech countries. Research and high education activities were and they are still nonseparable, especially at the universities. Evaluating the topics of the research and education in the run of time, besides the basic performance, there are visible trends in the last century, oriented at the production, stability and quality of forest stands. The importance and tendency to close-to-nature trends is emphasized periodically, remaining continuous at minor part of forest estates and districts. There were several catastrophic events, increasing the importance of new aspects of forestry: gypsy moth outbreak, air pollution, soil acidification, climatic change, bark beetle outbreaks following wind calamities. Since the end of WW II, very similar relations between forestry research, education and practice can be seen:

- During the last centuries, considerable empiric and scientific knowledge was summarized for differentiated tree species and intensities of stand management, even in changing climatic conditions from the Small Ice Age until present warming period.
- Forestry research, both academic and non-academic, is supplying enough data and experience, not always respected by the political, decision and administrative spheres.
- Forestry schools form (to these days yet) qualified personnel and specialists, disposing with above mentioned capacities. From the part of forestry practice is this extent criticized often as superfluous, redundant, and the demands for qualification are more oriented on pure technical, more than conceptual skills. Simplification and extensification demands are prevailing.
- The main problem especially at administration and state property management level is the tendency to simplified, centrally decided treatments without diversification at local levels, non-respecting the continuity of forest management, local experience, skills of local foresters etc. More flexibility is typical for private and part of municipal forest estates.
- At the present situation, at the extend calamity supported by climatic factors, state forest management approach and social conditions, there is a danger of more politically and administration based decisions, eliminating the flexibility and quality of forest personnel.

Silviculture represents one of basic forestry disciplines and bases of forestry education, it is continuously developing and living item. At presents, the continuing diversification in research and consequently in higher education is necessary, to enable the new graduate specialist to orient in the contemporaneous changing world.

## STOLETÁ HISTORIE VZDĚLÁVÁNÍ A VĚDY V PŘÍRODĚ BLÍZKÉM PĚSTĚNÍ LESŮ NA MENDELOVĚ UNIVERZITĚ V BRNĚ

### CENTENARY HISTORY OF EDUCATION AND RESEARCH IN CLOSE-TO-NATURE SILVICULTURE AT MENDEL UNIVERSITY IN BRNO

Vladimír Tesař

Ústav zakládání a pěstění lesů, Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 3, 613 00 Brno, CZ  
e-mail: vlad.tesar@centrum.cz

#### Abstrakt

*Sdělení se ohlíží za působením dnešního Ústavu zakládání a pěstění lesů od jeho založení v r. 1919 ve vzdělávání, výzkumu a uplatňování výsledků v lesnické praxi. Soustřeďuje se jen na směr souhrnně nazývaný přírodě blízké pěstění lesů (PBPL). V úvodu uvádí historické návaznosti a rozebírá pojetí disciplíny a její zprostředkování. Jsou charakterizovány etapy lesnictví a v nich postavení PBPL. První etapou s pozitivním přístupem k tématu je meziválečné období zakladatelů, vyzvednut je význam J. Konšela a B. Polanského ve spojení s trvalým lesem a lesem výběrným. Další etapou je přínos „brněnské školy“ maloplošnému pasečnému hospodaření v 50.-60. letech. V současné etapě, od r. 1990, ústav přijal paradigma trvalého lesa na platformě ProSilva a má potenciál přispět k jeho prosazení i přes nevoli politiků.*

**Klíčová slova:** přírodě blízké pěstění lesů; trvalý les; výběrný les; ProSilva.

#### Úvod

Lesnická a dřevařská fakulta Mendelovy univerzity (MENDELU) v Brně a s ní Ústav zakládání a pěstění lesů (při založení Ústav lesní tvorby a pěstění lesů) mají za sebou stoletou existenci. Pro ústav je to příležitost k ohlédnutí, jak tvořil, co vykonal a čím přispěl lesnictví a k zamyšlení, jak postupovat dál. Ústav po celou dobu existence plnil úlohu vzdělávat v jednom z profilových předmětů inženýrského lesnického studia. Sledoval vývojové trendy lesnictví a vzdělával ve vyčerpávajícím obsahu své disciplíny. Úplný výčet by byl příliš rozsáhlý, a proto se předložené sdělení soustředí na přírodě blízké pěstění lesů, které v poslední době nabylo na významu.

Pěstění lesů dospělo do dnešní úrovně vývojem trvajícím okolo 250 let. Obsah disciplíny se v průběhu času stále více soustřeďoval na vlastní fyto techniku, zatímco pěstební směry se měnily v závislosti na lesnických paradigmatech. Z pohledu potřeb společnosti, současného stavu přírodního prostředí a úrovně výrobních sil nabýváme přesvědčení, že dnes nejlépe vyhoví paradigma lesa neustále plně tvořivého (německý Dauerwald). Je to představa vrcholného výsledku pěstební směru tzv. přírodě blízkého pěstování lesů (PBPL). Není důležité, že pro tento směr existují i jiná označení, snad výstižnější, přesnější.

Idea plně trvale tvořivého lesa je tak stará jako naše univerzita. Proto stojí za to sledovat, jak se myšlenky chopil a kam ji dovedl Ústav zakládání a pěstění lesů. Absolutorium za jeho působení musí vyslovit lesnická obec. Smyslem tohoto příspěvku je pouze nabídnout pohled z vnitřku. K sepsání byly využity zveřejněné práce dvou protagonistů pěstění lesů - profesorů Josefa Konšela a Bohuslava Polanského a další odkaz zakladatelů fakulty uspořádaný a vydaný Jiřím Truhlářem (TRUHLÁŘ 2005, 2011). Zvláště cenné je písemné zachycení dopisů žáka B. Polanského s učitelem J. Konšelem (MILÁČKOVÁ, TRUHLÁŘ 2015), které odkrývají, co a jak oba promýšleli. Sám autor tohoto příspěvku byl po 60 let svědkem událostí, a to jako student řádného inženýrského a distančního doktorského studia, poté po dvacet

osm let v kontaktu při působení ve výzkumném ústavu a nakonec po dvacet pět let jako přímý účastník dění na ústavu.

Ústav prošel v průběhu sta let složitým, někdy až dramatickým vývojem, který je pro přehlednost rozčleněn do etap více nebo méně vyhraněných podle stavu společnosti.

### **Pěstění lesů – obsah disciplíny a její zprostředkování**

Na dnešní úrovni vědeckého poznání a praxe definujeme pěstění lesa tak, že jeho úkolem je plánovat, uskutečňovat a kontrolovat všechna opatření, která slouží racionálnímu založení a vytváření lesních porostů v zájmu co nejlepšího a trvalého uspokojení požadavků společnosti, a to při respektování přirozených produkčních podmínek a stavu výrobních sil.

Z definice je zřejmé, že pěstění lesů integruje znalosti ze tří okruhů poznání. Jsou to: (1) lesnicko-politická zadání, (2) možnosti úsporného uskutečnění lidskými silami s pomocí technických prostředků, a to (3) na podkladu esence poznatků biologických a geografických disciplín o ekosystému lesa. Pěstění lesů je svou podstatou užitnou disciplínou, v systému věd má stejné postavení jako např. lékařství. Nutně musí záběrem látky i výkladem reagovat na měnící se společenské potřeby i změny prostředí. Pro svou kompetenci uskutečňovat hospodářské (společenské) cíle má v lesnictví ústřední postavení.

Hovořit o vývoji pěstění lesů znamená především sledovat, jak se měnil obsahový záběr, vymezovaly činnosti a prohluboval vědecký obsah. J. Konšel v úvodu své učebnice soudí, že koncem 20. let 20. stol. končí éra – podle jeho označení – mechanistického pěstění lesů a obor dospěl ke stavu, kdy musí být postaven na správném základu. Tím je jedině základ biologický a úkolem je tento stav zachytit a dál rozvíjet. Sám tak učinil sepsáním zmíněné učebnice nazvané „Stručný nástin tvorby a pěstění lesů v biologickém ponětí“ (KONŠEL 1931). Na přelomu 20. a 30. let pěstění zahrnovalo i nauku o lesním stanovišti. Ta se v té době začala rozvíjet, k čemuž J. Konšel přispěl překladem v té době zásadního Cajanderova spisu (KONŠEL 1923).

Pojetí a uspořádání disciplíny se v důsledku vědního pokroku změnily. Učebnice Pěstění lesů v redakci B. Polanského, druhá v pořadí, vyšla až v odstupu 25 let ve třech svazcích (1955; 1956). Polanského učebnice je již učebnicí fyto techniky. První díl se zabývá semenářstvím, školkařstvím a šlechtěním lesních dřevin, druhý a třetí porostní fyto technikou. O všechny biologické základy se již postaraly specializované disciplíny, touto látkou již Polanského učebnice zatíženy nejsou. Následující učebnice (POLANSKÝ a kol. 1966, Vyskot a kol. 1978) jsou potřebným shrnutím a aktualizací látky. Poslední souborná učebnice (KORPEL a kol. 1988) v brněnském spoluautorství však již nevznikla v režii brněnského ústavu.

Od zřízení ústavu působili v pěstění lesů ordináři: Josef Sigmond 1922–1923; Josef Konšel 1923–1938; Bohuslav Polanský 1946–1963; Miroslav Vyskot 1963–1985; Jan Jurča 1986–1988; Vladimír Tesař 1992–1997; Petr Kantor 1997–2010.

### **Východisko pro výuku a výzkum pěstění lesů v Brně**

Obnova české státnosti v roce 1918 ve státním útvaru Československa byla vyvrcholením staletých emancipačních snah ze svazku Rakousko-Uherska. To se projevilo ve všech oblastech života. Jedním z důležitých kroků bylo založení českého vysokého školství. Byl to též vlastenecký postoj. Nebylo politicky dost přijatelné, aby se adepti lesnictví nadále přihlašovali na vysokoškolská učiliště ve Vídni, v Tharandtu, nebo v Mnichově. Zatímco Praha mohla navázat na dřívější lesnický

obor na Vysokém učení technickém, Brno takovou možnost nemělo. Pedagogický sbor byl budován od samého základu. Zakladatelské osobnosti přišly z praxe, teoretický základ pak doplnily studiem a studijními cestami do zahraničí. Byl to případ J. Konšela, který při nástupu na školu měl za sebou třicetiletou praxi, a to nejen v hospodářské úpravě, ale i v řízení velkého církevního majetku, poté absolvoval studijní cesty do Švýcarska, Finska. Měl velké nadání pro promyšlení pěstění lesů, svým způsobem filosofické.

Se vznikem Československa v roce 1918 lesnictví na území Čech, Moravy a Slezska zdědilo výsledky předchozího vývoje ve svazku s podunajskou monarchií, mělo srovnatelnou úroveň se sousedními zeměmi. Lesnictví bylo na většině majetků ovlivněno saským holosečným pasečným způsobem hospodaření, uspořádaným strohými pravidly, a tak to pokračovalo i v novém státu. Tento způsob v konečných důsledcích mnohde selhal. Východisko bylo spatřováno v návratu k přírodě – přírodě blízkému pěstění lesů (PBPL). Je jen malou nadsázkou, že historie tohoto směru je tak stará jako lesní kultura sama. Při přísnějším posuzování je to nepochybně od doby, kdy bylo vnímáno a popisováno selhání lesní kultury založené na zakládání a pěstování porostů smrku a borovice na místě původního lesa. Spolu s kritikou uplatňovaných lesnických způsobů byly vyslovovány návrhy na řešení. V nich tušíme myšlenky blízké nebo dokonce shodné s našimi, jen jinak vyjadřované. Takové spíš intuitivní poznání potvrzoval stav lesních majetků, na kterých nedošlo k devastaci lesa neřízenou exploatací a kde se porosty více nebo méně přirozené skladby obnovovaly přirozeně a byla zachována kontinuita spořádaného hospodaření. Bylo tomu tak i na rozlehlém lichtenštejnském majetku. Právě na jeho vyvlastněných adamovských lesích bylo zřízeno brněnské školní lesní zařízení a dobrý stav lesa byl výhodným vkladem pro plnění jeho poslání.

### **Odezva myšlenky lesa trvale plně tvořivého**

Myšlenka lesa neustále plně tvořivého (překlad Konšelův - v textu popř. jen trvalý les) – Dauerwaldu - zprostředkovaná Mölleroým spisem (1922) přišla doslova jako zjevení. Naše lesníky bezprostředně velmi zaujala a byla probírána v dobovém lesnickém tisku. Některými byl německý Dauerwald přijímán až s nekritickým nadšením, ti kritičtější vyslovovali různé pochybnosti. Kládli si mimo jiné otázku, s jakým hospodářským způsobem, popř. tvarem lesa je možno setrvalý les ztotožnit, existuje-li nějaký vzor. Touto myšlenkou se důkladně zabýval i J. Konšel, jak dosvědčuje jeho literární odkaz (KONŠEL 1929, 1931). Sluší se z něj doslovně citovat, abychom pochopili hloubku, s jakou pojem promyslel, a obdivovali jeho předvídatost.

J. Konšel se v závěru rozkladu pojmu v kapitole Pěstební snahy zdokonalovací vyjádřil takto: „*Les neustále plně tvořivý je dnes ještě ideálem; avšak cesta k němu se zračí zřetelně. Tato cesta ovšem není pouhým zlepšováním špatného, ale též stálým zdokonalováním zdánlivě dokonalého. Les neustále plně tvořivý není určitým tvarem lesa, nemá vymezenou porostní účast dřevin a není vázán ani na nejlepší půdy, nýbrž řídí se jedině snahou po výsledku stanovištně, produkčně i kvalitně vrcholném za vzájemné rovnováhy všech těchto tří pěstebních principů.*“ (KONŠEL 1931, s. 427).

V dopisu k Hovorům o tři léta později se J. Konšel přiměl odpovědět na otázku, jak by měl takový les vypadat. „*Představujeme si rámcový vzor ideálního lesa neustále plně tvořivého takto: Kmeny v porostu jsou tak rozloženy, že vytvářejí zřetelně alespoň dvě patra, z nichž horní má dřeviny nestínivé, proti větru odolné a hospodářsky hodnotné, kdežto spodní patro zahrnuje v sobě dřeviny mírně nebo značně zastínitelné, kvalitně snad slabší, než jsou horní dřeviny, zato kvantitativně*

dobré a stanovištně vynikající. Porost zásadně obnovuje se cestou přirozenou, a to tak, že spodnější patro se obnovuje pod porostem, horní však buď od semenných výstavků nebo náletem bočním. Těžba pohybuje se po celé ploše buď v jednotlivých etážích, nebo porůznu, aniž by však měla povahu hospodářství dvojsečného. Těžební výběr, následkem dokonalé kvality vyspělosti horní etáže a dostatečné kvality etáže spodní řídí se výhradně požadavky pěstebními, a to v horní etáži převážně požadavky obnovnými, kdežto v etážích spodních více snahami výchovnými.

Složení pater řídí se subjektivními vlastnostmi pěstovaného porostu a jeho mikroklimatickými poměry, při čemž hospodaření vodou a světlem jest nejhlavnějším úkolem. Celkem najdeme v horním patře v mládí modřín, sosnu, břízu, jasan, dub, později bez břízy, která se v probírkách vytěží, ale záhy nalétne (ovšem v jiných místech) opět. Ve spodním patře jest zastoupen smrk, jedle, buk, lípa a ostatní dřeviny, ovšem ne všechno na tomtéž místě, nýbrž se zřetelem na polohy.

Při uspořádání těchto porostů nesmíme si představovati obvyklé kmenoviny s nepatrnou příměsí, nýbrž na skutečně smíšené patro spodní a na zřetelně větší výškou vyznačené patro horní, které dlužno vypěstovati mezi stínivými dřevinami tak, aby měly jeho kmeny dostatek místa, aby dřeviny určené pro horní patro bohatě nalétly, ale též proto, aby při své značné bujnosti v první době již si zajistily výšku. Není pochybností, že spodní patro může býti též vytvořeno pařezinou (například z měkkých listnáčů, především osiky a topolů, jichž by se mohlo použítí na brusné dřevo); ale o tom může rozhodnouti jedině místní situace tržní.

Etážové uspořádání porostu lze považovati za produkčně výhodné proto, že docílujeme dostatečným pronikáním světla i srážek nejen bujný vzrůst etáží spodních, nýbrž současně účinku této na zvětšení kvalitního zušlechtění v etážích horních, při čemž lze docílití vzájemnou vyrovnanost a plodnou pospolitost od stupně nejhořejšího nejen až na povrch půdní, nýbrž i uvnitř půdy až do vrstev aktivně v životě nadzemní vegetace zasahujících, takže vzdušní i půdní prostor jest dokonale produkčně využit.

Při naznačeném uspořádání porostu ovšem pevná doba obmýtní a tím i důležitost věku mizí a nastupuje tu klasifikace tloušťková po příp. výšková, takže pohybu a proměn kmenových tlouštěk nutno si bedlivě všímati. Kmeny pak pokládáme za dospělé, to jest těžíme je, jakmile dorostly určité nám vyhovující tloušťky, aniž bychom si jejich stáří zřejměji všímalí. Porosty tyto musí nám ovšem produkovati veškeré sortimenty trhem požadované, a to v míře takové, abychom mohli jimi požadavky kupců plně uspokojiti.“

B. Polanský Konšelovi odpovídá. „Vzor ideálního lesa tak, jak jste ho právě vykreslil, pokládám za náš tvar lesa neustále plně tvořivého, jenž nejen našim poměrům nejlépe vyhovuje, nýbrž který možno též v našich poměrech uskutečniti. Nejde tu o tvar porostní, který by snad prospíval zdárně jen na půdách lužních nebo na mírných svazích pahorkatin, nýbrž jest to tvar, který možno přizpůsobiti i stanovištím bídňejším a polohám vyšším. Popisované schéma porostní označuji pak podle Vás jako sestavitele prostě „ideálním lesem Konšelovým“.

Uvedená vyjádření vyslovují v zásadních bodech pojetí ProSilva (<https://www.prosilva.org/>; <https://prosilvabohemica.cz/>), které bylo zveřejněno o padesát let později a je rozváděno a uplatňováno v posledních letech.

### **Výběrné hospodářství a převod na výběrný les**

U výběrného lesa a výběrného hospodaření se vědomě zastavujeme až nyní, ačkoliv jako tvar lesa a hospodářský způsob předešly o řadu desetiletí pěstební směr



Dauerwaldu. Důvod je ten, že výběrný les dnes považujeme za podmnožinu případů (forem) trvalého lesa.

Myšlenka výběrného lesa byla u nás šířeji zprostředkována českým překladem Biolleyova spisu z r. 1920 (WEINGARTL 1922). Před tímto počinem však již ke konci 19. století přišel s přesnou představou výběrného lesa moravský rodák Antonín Tichý, kterou ovšem popsal v německém spisu (TICHÝ 1884). Ke své představě došel porovnáním majetku obhospodařovaného holosečně se selskými lesy. V některých ohledech předběhl svého vrstevníka A. Gurnauda, francouzského klasika výběrného lesa. Shodli se na zásadním, totiž že hospodářský výběrný les nemůže být selské nebo jiné toulavé hospodářství.

J. Konšel po zhlédnutí švýcarských výběrných lesů usoudil, že „... les výběrný ve svém původním tvaru, k jakému dospěl Biolley, nelze v našich podnebních poměrech uskutečnit“ (KONŠEL 1925). Zřejmě dále promýšlel jak koncept výběrného lesa tak trvalého lesa. Jinak by nedošel k porostnímu tvaru, který Polanský nazval ideálním lesem Konšelovým. Je pozoruhodné, že v Konšelově charakteristice ideálního lesa nenajdeme přívlastek výběrný. O výběrný les se však dál zajímal, soudě podle zmínky v korespondenci, že si rád vyslechne poznatky B. Polanského z jeho studijní cesty za švýcarskými výběrnými lesy (POLANSKÝ 1939).

B. Polanský se o výběrné hospodářství zajímal již jako student (POLANSKÝ 1923) a zabýval se jím po celý život. V 60. letech se pokoušel výběrné hospodářství uplatnit na celém školním podniku (ŠLP). Záměr ztroskotal, poněvadž lesní personál až na výjimky nedokázal principy správně uplatnit, tj. se zřetelem na aktuální stav lesa a přírodní podmínky. Z této zkušenosti Polanský sepsal, jak uplatňováním výběrných principů převádět les na výběrný (POLANSKÝ 1961).

Na ŠLP pokračoval v realizaci převodu na výběrný les Jiří Truhlář tam, kde porost nabýval znaky výběrného lesa. Lesní části Klepačov a Pokojná hora o celkové výměře 140 ha jsou stále hojně navštěvovaným didaktickým objektem (TRUHLÁŘ 1977, 1995a),

Kontrolními metodami ve výběrném lese se zabýval DOLEŽAL (1948). Po kritickém zhodnocení výběrného hospodářství se nestal jeho stoupencem ani propagátorem, ale jak bude dále poukázáno, soustředil se na možnosti uplatnění lesa maloplošně pasečného (podroštního), který považoval v přírodních podmínkách střední Evropy za les budoucnosti (TRUHLÁŘ 2011).

### **Doba státní nesvobody 1939–1945**

V době, kdy byly uzavřeny všechny vysoké školy, byl pedagogům dovolen výzkum. Pod vedením Gustava Vincenta se tak dělo i na Ústavu pěstění lesů. V tehdejších pracích však nezaznamenáváme nic, co by mělo vztah k našemu tématu. Osobním přínosem B. Polanského bylo spravování družstevního lesního majetku. Zkušenostmi pak jako ordinarius od r. 1946 obohatil výuku.

### **Renesance lesnictví 1945–1970 a „Brněnská škola“**

V 50. a 60. letech došlo na brněnské lesnické fakultě k obsahové diferenciaci výuky s hlubším zaměřením buď na vlastní lesní fyto techniku (pěstební směr) nebo na inženýrské lesnické činnosti (technický směr). V obou případech však byla postavena na ekologických základech, pochopitelně v biotechnickém zaměření důkladněji podaných.

V linii PBPL není možné nevyzvednout přínos brněnské lesnické školy 50.–60. let. Jejimi představiteli byli profesori Alois Zlatník s Josefem Pelíškem, Bohuslav Polanský a Bohumil Doležal. A. Zlatník dokončil a připravil ke zveřejnění v polovině

50. let práci o přírodně typologickém (geobiocenologickém) systému. Jeho obsáhlá pasáž byla včleněna do 3. dílu učebnice Pěstění lesů (POLANSKÝ a kol. 1956). Působí tam však cizorodě, v textu knihy se nenacházejí žádné aplikace pro fyto techniku. B. Polanský intenzivně propracovával pěstební biotechniku nejen badatelskou činností v intencích odkazu J. Konšela, ale též prakticky již zmíněným metodickým působením na školním lesním statku. B. Doležal výsledky obou jmenovaných uzavřel z hospodářsko-úpravnického nadhledu. S přihlédnutím k nastupující technizaci v lesním hospodářství – bral ji jako nevyhnutelnou – vypracoval jedinečnou metodu úpravy hospodářského lesa, ke kterému přistupoval jako k technicky a ekonomicky usměrňované geobiocenóze (TRUHLÁŘ 2011). Usoudil, že předpokladem pro zdařilé vysoce technizované lesní hospodářství je vhodná zjemnělá vnitřní prostorová porostní výstavba (DOLEŽAL 1972).

Všichni tři společně celoživotním působením vybudovali nový uzavřený kruh lesnictví s moderním obsahem. Formovala je doba a byli i jejími spoluvůrci. Přispěli k tvorbě a přijetí nového lesního zákona z r. 1960, který jako hlavní hospodářský způsob kodifikoval maloplošně pasečný – podrovní (obdobu německého Femelschlag). Vzdělávacím působením ukazovali, jak obsah zákona naplnit. Vyžrála nová generace osobností, která vystřídala meziválečnou zakladatelskou generaci představenou Josefem Konšelem, Josefem Opletalem v lesní těžbě a zužitkování lesa a Rudolfem Hašou v hospodářské úpravě. Generace, která povýšila celostní chápání lesa a nakládání s ním, zaznamenané již u J. Konšela.

### **70. a 80. léta – politická „normalizace“ a její dopad na lesnictví**

V této etapě byl směr PBPL odsunut do pozadí. Po vědeckém výzkumu zaměřeném na sporné otázky PBPL nebyla společenská poptávka. Výzkum měl jen dosvědčit výhody technokratických postupů důrazně politicky prosazovaných. Pěstění lesů bylo přednášeno tak, aby představilo fyto techniku jako nástroj technicko-ekonomické racionalizace. Z povědomí se vytrácelo vnímání pěstění lesů jako biologické racionalizace poskytující požadované užítky s nezbytně nutným vkladem práce.

Je tedy na místě se ptát, jaký vědecký zájem naplňoval tuto etapu na Ústavu pěstění lesů. Byla zde nepochybně činná práce nositelů oboru Miroslava Vyskota a Jana Jurči. Ti největší část tvůrčího života věnovali propracování teorie výchovy lesa; první v probírkách, druhý v pročistkách. Výzkum obnovních postupů ztrácel smysl, když hlavním a zákonem deklarovaným způsobem byla holosečná obnova, u které se připouštěly jen jisté zjemňující nuance. Výsledkem takového hospodaření byl opět stejnověký v malé míře smíšený les.

Pokud považujeme za užitečnou podporu PBPL studium našich pralesovitých rezervací, pak přínosem M. Vyskota bylo jeho epizodické působení v tomto směru (VYSKOT 1981). Nepřímým Vyskotovým přínosem byla zásadní spoluúčast na založení Ústavu ekologie lesa (ÚEL) v r. 1969, který po krátkou dobu po založení také řídil. Výsledkem sledování vývoje porostů na dlouhodobých výzkumných plochách a práce na nově budovaných stacionárech těsně napojených na projekty ÚEL bylo osvětlení účinků fyto techniky na primární produkci a na posilování mechanické stability porostů.

Odkaz J. Konšela a B. Polanského na ŠLP byl utlumen, zůstal však živý. O to se přičinil Jiří Truhlář – žák Polanského, ovšem ne jako příslušník pedagogického sboru ústavu. Z pozice vedoucího Odboru hospodářského rozvoje na ŠLP Masarykův les Křtiny se mu i v normalizačním prostředí dařilo udržovat Konšelův pěstební směr zprostředkovaný osobními kontakty s B. Polanským. Vypracoval řadu porostních

ukázek tvořících články pěstební soustavy PBPL, zmíněn byl převod na výběrný hospodářský způsob. Výsledky své práce shrnul a zveřejnil (TRUHLÁŘ 1995b).

### **Od roku 1990 - k lesu neustále plně tvořivému**

Možnost obrátit neskrývanou pozornost k PBPL nastala v r. 1990, kdy se otevřel prostor liberálnímu myšlení. Řada lesníků prahla po znalostech, které by jim pomohly oprostít se od schémat holosečného hospodářství předchozích dvaceti let. Nešlo jen o obnovený či nový obsah, více ale potřeboval lesnicko-politickou podporu. Ta přišla zvenčí. V r. 1989 bylo ve Slovinsku založeno evropské lesnické hnutí Pro Silva. Jeho program byl vyjádřen historickým prohlášením z Robanov kotu: *„Důvodem tohoto rozhodnutí je, že lesy jsou vystaveny mnoha nebezpečím. Sdružení chce vyvolat celoevropské hnutí za stabilní zdravé lesy. Sdružení považuje za nutné, aby se lesní hospodářství vyvíjelo ke komplexnímu spravování lesních ekosystémů a tím trvale zajistilo jejich produkční schopnost a poskytování užitků. Rozhodnutím trpělivě pěstovat les s ohledem na přírodní zákonitosti má být podporována mnohotvárnost, bohatost výstavby, přirozená obnova a výstavba lesů ze stanovištně vhodných dřevin.“*

Skutečnost, že za tímto prohlášením stáli kromě vynikajících praktiků ze zemí s pokročilým lesnictvím i významní evropští pěstitelé – akademici, slibovala vážnost, opravdovost. Nebylo pochybností, že bude užitečné se k hnutí přihlásit. Na půdě Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně (dnes MENDELU v Brně) a ŠLP „Masarykův les“ Křtiny bylo v r. 1995 za velké účasti a s podporou vrcholných lesnických orgánů založeno sdružení Pro silva Bohemica, tj. podle ustavujícího prohlášení sdružení lesníků, které spojuje přesvědčení o nutnosti obhospodařovat les přírodě blízkým způsobem. Akt byl symbolickým přihlášením se k odkazu J. Konšela, a to v trojím smyslu: 120. výročí narození J. Konšela, zahájením exkurze u jeho památníku na polesí, ve kterém pracoval a názvem exkurzního průvodce sestaveného pro tento účel „Pěstování lesů v biologickém pojetí“ (TRUHLÁŘ 1995).

Autor jako ordinarius v letech 1992-1997 inicioval na ústavu činnosti podporující směr PBPL. Na poptávku lesnické obce byla obrácena pozornost na dochované příklady „jemnějšího“ pěstování. Ze stavu lesa na analyzovaných objektech bylo vyhodnoceno, čeho a v jakém čase bylo dosaženo (TESAŘ, HORT 1997, TESAŘ 2001) a z výsledků mohly být určeny zásadní kroky pro přestavbu lesa věkových tříd, vzdalující se od tohoto systému. Pedagogické a vědecké působení ústavu se postupně prohlubovalo v intencích strategie ProSilva určené třemi postuláty: (1) plné ekologicky oprávněné využívání produkčního potenciálu stanoviště; 2) udržování rovnováhy ekosystému nepřetržitostí porostního prostředí; (3) využití produkční schopnosti (funkčního potenciálu) jednotlivého stromu.

Nemohlo být opomenuto, jak se protíná nepříznivý globální stav prostředí se společensko-hospodářskou situací. Ústav reagoval vytvořením příslušných specializací výzkumu a výuky. Za nezbytnými základy pěstění lesů následují jmenovité předměty zaměřené na „produkční pěstování“, dále na pěstování pro zajištění jiných než dřevo-produkčních funkcí lesa (pěstování účelových lesů), vlastní výzkumnou činností podpořené v oblasti rekreační a zejména vodohospodářské funkce. Ve své době měl velký význam předmět obsahující pěstební systém kompenzující narušení lesních ekosystémů imisemi, rovněž podpořený vlastním výzkumem. Od této specializace mohlo být díky zlepšení stavu prostředí upuštěno. Na místo toho však vystoupilo do popředí nové chřadnutí a hynutí lesa přisuzované působení zatím nedefinovaného komplexu faktorů, které v současnosti nabývá na

významnosti. Ústav přispěl k osvětlení dynamiky vývoje lesa při spontánním a řízeném vývoji a poznání produkčního potenciálu smíšených porostů vyhodnocením dřívějších probírkových srovnávacích řad M. Vyskota (KANTOR, HURT 2003).

Alespoň krátkou zmínku zaslouží školní lesní statek jako laboratoř pěstování lesa. Zde, v přímém kontaktu jednoho s následujícím, pracovali: J. Konšel, B. Polanský a J. Truhlář. Tato pamětnická sto let trvající kontinuita je obdivuhodná. Mělo by být zájmem univerzity a závazkem pro nositele myšlenky lesa neustále plně tvořivého kontinuitu udržet a trvalý les stále více přibližovat realistickému uskutečňování.

### **K metodologii didaktiky a výzkumu v oboru, k terminologii**

Nejen didaktika pěstění lesů, ale i pěstební praxe musí stavět na pevných vstupních znalostech, které poskytují přípravné disciplíny lesnického studia. Pěstění lesů potřebuje pro fundované plánování a realizaci opatření vstřebat znalosti ve čtyřech oblastech přírodních předpokladů tj. a) složek prostředí - bioklimatologie, geologie, pedologie, b) organismů – botanické a zoologické disciplíny, c) fyziologické ekologie dřevin, d) a vše spojené do znalosti, jak je vystavěn a funguje lesní ekosystém. Jinak řečeno, pro obor pěstění lesů jsou cennější vstupy, které již syntetizují znalosti nižších úrovní organizace ekosystému. Příkladem je právě současná úroveň lesnické typologie, která se desetiletí vyvíjela z nauky o lesním stanovišti a tím integruje poznání z řady aspektů.

I dnes pěstitel stojí často před rozhodnutím, zda ve sporném nebo nejistém úseku fytotechniky vyčkat na vysvětlení příslušného specialisty nebo se k problému sám postavit. Zajisté je efektivnější práce specialisty již metodicky aspoň částečně připraveného než toho, kdo se pro úkol teprve musí vybavit. Pak již je třeba jen čekat, zda výsledek bude přímo aplikovatelný nebo bude muset být pěstitelem dodatečně interpretován. Za současného stavu globálního prostředí pěstění lesů již nevystačí s přírodně-typologickou klasifikací. Při rozhodování o efektivních postupech, potřebuje se opřít o poznatky ekofyziologie dřevin a sukcesní ekologie, které však nejsou dostatečné.

Pokud považujeme pěstění lesů spolu s hospodářskou úpravou za ústřední výkonné lesnické disciplíny, je na vědecké radě fakulty upravit proporce mezi přípravnými a profilovými disciplínami. Soustředění veškerých kapacit fakulty na nutnou celkovou přestavbu lesa je výchozí bod k možnému vybudování nové brněnské školy, podobné těm, které zde byly v meziválečném období a v 60. letech 20. století.

Směřujeme k přijetí nového paradigmatu, kterým je nepasečný les, na každé jednotlivé ploše smíšený, výškově a věkově rozrůzněný. Lesnickou strategií pro dnešek a budoucnost je pak přestavba v takovou podobu. Jsme konfrontováni s pojmem ekosystémový management. Zatímco v některých oborech je ekosystémový management představován značně vágně, lesnictví ukazuje způsob, jak ekosystémový přístup dovést do vlastní koncovky. Přestavba kulturního lesa v nepasečný les, v les trvale plně tvořivý a pěstování takového lesa je vyčerpávající obsah ekosystémového managementu.

Při ohlédnutí za prací ústavu se ukazuje, že uspokojivému splnění poslání vysokoškolského pedagoga, nositele oboru, přispěje, když své působení, posuzováno za delší období, rozdělí rovným dílem do tří oblastí, a to do pedagogiky, vědeckého bádání a konfrontace s lesnickou praxí. Vědecké bádání a výzkum jsou nezbytné, aby předmět byl didakticky zprostředkován na nejmodernější úrovni. Ve styku s praxí si pedagog jednak ověřuje nosnost a dopad sdělovaného, jednak

získává podněty pro další bádání a inovaci disciplíny. Je to styk užitečný pro obě strany, proto považujeme za prospěšné vzdělávat, bádát a ověřovat na platformě ProSilva.

Josef Konšel důsledně užíval pojem pěstění lesů, aby je vymezil oproti pěstování zemědělských kultur. Les je dlouhodobý přírodní útvar a zaslouží jen pěstít – šlechtit, podle J. Konšela „*zdokonalovat zdánlivě dokonalé*“. Odůvodnění přijímáme a zde pojem pěstění užíváme přednostně. Ostatně název ústavu i akreditačního oboru tento přívlastek obsahuje.

## Závěr

Pěstování (obhospodařování) lesa přírodě blízkým způsobem prodělávalo u nás vlny podpory a odmítání, nikdy však nezaniklo. I v etapě technokratického lesnictví se rozvíjelo, i když zvolna a více skrytě. Idea trvalého lesa se v Brně vrací obloukem od počátečního zdrženlivého Konšelova postoje přes střídavé etapy zatracení a oživení k přijetí a cílevědomému rozvíjení v současnosti. Je přirozeností tvořivého člověka pracovat pro nejlepší výsledek. Tak i představa ideálního hospodářského lesa v průběhu času nabývala konkrétnějších obrysů. Představy realizace jsou dnes nepochybně daleko jasnější. Těžko však je možné v tak dlouhověčném útvaru, jako je les, zachytit ideální obraz. B. Polanský k tomu poznamenává „... *poněvadž každý takový obraz je chápán jako přímý vzor a nikoliv pouhý příklad...*“ (MILÁČKOVÁ, TRUHLÁŘ 2015, s. 107). Nabízí se parafráze „*Cenu má pouze cesta. Pouze ona trvá, kdežto cíl je iluze poutníka kráčejícího od hřebene k hřebeni, jakoby smysl byl v dosaženém cíli*“ (A. DE SAINT-EXUPÉRY, Citadela. Vyšehrad, 2011, s. 119).

Je načase, aby pěstění lesů a obhospodařování lesa vůbec se důsledně oprošťovalo od modelu lesa věkových tříd. Obhospodařování lesa maloplošně pasečným – podrostním způsobem bylo nepochybně významným krokem na této cestě. Ten však dnes nepostačí, je třeba konsensuálně vymezovat hranice mezi pasečným a nepasečným obhospodařováním – trvalým lesem. Rozhodování usnadňují dvě zásadní skutečnosti; jednak velký objem zkušeností a přesvědčivější vědecká podpora, jednak možnost svobodnější volby ze strany vlastníků lesa. Brněnský ústav je připraven prosazovat přírodě blízké postupy pěstování lesa ve vzdělávání, výzkumu i spoluprací se školním lesním zařízením. Ač má k tomu potřebný potenciál, sám nemá sílu zlomit nevoli politiků, kteří na sebe berou odpovědnost za stav příštích lesů.

## Literatura

- BIOLLEY, H. L'aménagement des forêts par la méthode expérimentale et spécialement la méthode du contrôle. *Attinger, Paris & Neuchâtel*, 1920. 90 s. Překlad viz Weingartl.
- DOLEŽAL, B. *Základní pojmy v učení o kontrolních metodách*. Brno: 1948. 196 s.
- DOLEŽAL, B. *Zlatníková biogeocenologická škola a brněnská metoda hospodářské úpravy lesa*. *Studia geographica*, Brno: 1972. 29: 32 s.
- KANTOR, P., HURT, V. Production potential and ecological stability of mixed forest stands in uplands. - V. A mixed spruce/beech stand on a nutrient-rich site of the Křtiny Training Forest Enterprise. *Journal of Forest Science*, 2003. 49 (11): s. 502-514.
- KONŠEL, J. *Nauka o lesních stanovištích*. Spolek posluchačů lesního inženýrství VŠZ, Brno: 1923. 119 s.
- KONŠEL J. *Švýcarskými lesy*. Písek: Československá Matice lesnická, 1925. 8: 87 s.
- KONŠEL, J. Biologický "Dauerwald". *Lesnická práce*, 1929. 8: s. 646-652.

- KONŠEL J. *Stručný nástin tvorby a pěstění lesů v biologickém ponětí*. Písek: Matice lesnická, 1931. 552 s.
- KONŠEL, J. *Moje cesta*. MZLU v Brně, 2003. 45 s. a faksimile rukopisu z r. 1938, 209 s.
- KORPEL, Š., PEŇÁZ, J., SANIGA, M., TESAŘ, V. *Pestovanie lesa*. Bratislava: Príroda, 1988. 465 s.
- MILÁČKOVÁ, M., TRUHLÁŘ, J. *Josef Konšel – Bohuslav Polanský. Dopisy k Hovorům s profesorem pěstění lesů*. Obec Určice, 2015. 172 s.
- MÖLLER, A. *Der Dauerwaldgedanke, sein Sinn und seine Bedeutung*. Berlin: Springer, 1922. 85 s.
- POLANSKÝ, B. Po stopách dra. Biolleye. *Lesnická práce*, 1923. 3: s. 403-408.
- POLANSKÝ, B. *Hovory s profesorem pěstění lesů*. Tábor: Nákladem vlastním, tisk Frank, 1934. 23 s.
- POLANSKÝ, B. Hovory s profesorem pěstění lesů. *Československý les*, 1936. 16: s. 21-25; 33-36.
- POLANSKÝ, B. Hovory s profesorem pěstění lesů. *Československý les*, 1938. 18: s. 179-188; 268-269; 278-282.
- Polanský, B. Hospodářství výběrné a jeho využití u nás. *Lesnická práce*, 1939. s. 10-11:475-481.
- POLANSKÝ, B. Hovory s profesorem pěstění lesů. *Československý les*, 1941. 21: s. 304-307.
- POLANSKÝ, B. A KOL. *Pěstění lesů I. Lesní semenářství se základy šlechtění a lesní školkařství*. Praha: SZN, 1955. 371 s.
- POLANSKÝ, B. A KOL. *Pěstění lesů II. Všeobecné pěstění lesů*. Praha: SZN, 1955. 427 s.
- POLANSKÝ B., BEZAČINSKÝ, H., JURČA, J., SOKOL, A., ZACHAR, D., ZLATNÍK, A. *Pěstění lesů III. Speciální pěstění lesů*. Praha: SZN, 1956. 595 s.
- POLANSKÝ, B. Úprava pasečných způsobů pro možnost uplatnění principů výběrného hospodaření. *Lesnictví*, 1961. 7(4): s. 339-368.
- POLANSKÝ, B., ČÍZEK, J., JURČA, J., MEZERA, A., VYSKOT, M. *Pěstění lesů*. Praha: SZN, 1966. 514 s.
- TESAŘ, V., HORT L. Příkladné objekty přírodě blízkého obhospodařování lesů v České republice. *Lesnická práce*, 1997. 76(3): příloha, 12 s.
- TESAŘ, V. Fallbeispiele für die ökologisch begründete Bewirtschaftung der Wälder in Tschechien. *Forst und Holz*, 2001. 56(5): s. 157-162.
- TICHÝ, A. *Der qualifizierte Plenterbetrieb als nächstfolgende Entwicklungsstufe meiner zuerst im Jahre 1884 veröffentlichten Forsteinrichtungs-Methode*. München: 1891. 63 s.
- TRUHLÁŘ, J. Soubor porostů v převodu na les výběrný na Školním lesním podniku VŠZ Brno ve Křtinách. *Lesnictví*, 1977. 23(8): s. 651-666.
- TRUHLÁŘ, J. Results of conversion to the selection forest in the Masarykův les Training Forest Enterprise. *Lesnictví – Forestry*, 1995a. 41(3): s. 97-107.
- TRUHLÁŘ, J. *Pěstování lesů v biologickém pojetí. Průvodce po Školním lesním podniku „Masarykův les“ Křtiny*. MZLU – ŠLP Křtiny, 1995b. 128 s. + 30 foto.
- TRUHLÁŘ, J. Prof. Ing. Josef Konšel, Dr.h.c. *Lesnická práce*, 2005. 84(4): příloha, 16 s.
- TRUHLÁŘ, J. *Bohumil Doležal. Život, dílo, odkaz*. Brno: MENDELU v Brně, 2011. 67 s.
- VYSKOT, M. *Československé pralesy*. Praha: Academia, 1981. 270 s.
- VYSKOT, M., JURČA, J., KORPEL, Š., RÉH, J. *Pěstění lesů*. Praha: SZN, 1978. 448 s.

WEINGARTL, V. *Hospodářské lesní zřízení na podkladě stálého prozkumu lesa, zvláště pak metod kontrolních*. Spolek posluchačů lesního inženýrství v Praze, 1922. 94 s.

### Summary

During one hundred years of its existence, the Department of Silviculture of Mendel University in Brno educated students on the basis of modern knowledge respecting the intended forest policy. The five textbooks of silviculture published from 1931 to 1988 show how the branch has been transformed to represent silvicultural treatments (Phyto-technique) as such due to development of preparatory forest science disciplines. From the fifties of the twentieth century, specific specializations have been sequestered from the originally general silviculture.

At this place it is impossible to deal with education in the silviculture branch as a whole. Therefore, we focus on close-to-nature silviculture (CNS), being aware of the fact that the interpretations of this term are very broad. Nowadays, it is the most actual topic in European forestry. From the beginning of its existence, our Department of Silviculture endorsed these ideas. In Brno, CNS is associated with the names of professors Josef Konšel and Bohuslav Polanský. In 1931, J. Konšel (1875–1958), founder of the branch, said after critical revision of the German “Dauerwald” phenomenon: “Continuously fully creative forest is still an ideal today; but the way to that is obvious. That way is not only improvement of what is bad, but also continuous improvement of that what seems to be perfect.” Nevertheless, the idea of German “Dauerwald” rapidly disappeared.

Professor Bohuslav Polanský (1901-1968), successor to J. Konšel, dealt with selection forest whole his life. He even established transformation to selection forest as a management direction at the school forest enterprise in the sixties. However, this plan failed due to unreadiness of the foresters and the state of forests. Fortunately, thanks to J. Truhlář (1933), an educational object of such forest stands survived at the area of 140 ha.

After the 2<sup>nd</sup> world war, CNS got a shape of small-scale clear-cut management system and such system had been legalized as the main management approach in 1960. The so-called Brno School represented by A. Zlatník, B. Polanský and B. Doležal contributed to this process.

The phase of renaissance of CNS ended around 1970 and was followed by a twenty-year period of industrialized forest production, where there was no time and place for CNS development. Since 1990, a phase of CNS support and development at the department has begun. Following the tradition of direct contact with forestry practice it is realized within the platform of Pro Silva organization. A national branch of Pro Silva Bohemica, supporting the interests of both parts, was established from initiative of the Department of Silviculture in 1995.

The idea of continuous forest as a final CNS result thus returns, from the initial reserved position through alternating phases of reprobation and revival to final acceptance today. The vision of its realization is much clearer than in previous times. The department is ready to educate students, to research and, in tight collaboration with the Forest Training Enterprise, to promote close-to-nature silviculture instead of clear-cut system with age-class forest structure. Unfortunately, the department alone does not have the power to break down the reluctance of politicians.

## HISTORY OF EDUCATION OF SILVICULTURE IN CROATIA

Igor Anić

Faculty of Forestry, University of Zagreb, Trg Republike Hrvatske 14, 10000 Zagreb, Croatia  
e-mail: ianic@sumfak.hr

### Abstract

*Studies of silviculture in Croatia began on November 19th, 1860, when the first vocational forestry school, the School of Agriculture and Forestry, opened in the town of Križevci. University education in silviculture began on October 10th, 1898, at the Academy of Forestry of the University of Zagreb. The close-to-nature approach to silviculture in Croatia bears all the characteristics of the Zagreb School of Silviculture, including the support of natural forest dynamics and structure, the promotion of natural regeneration of forests, the application of artificial regeneration of forests according to the principles of natural regeneration, the exclusion of clearcutting from forest management, intensive tending of forests since the early youth, and advocating sustainability in forest management. For 121 years, students at the Faculty of Forestry in Zagreb have been educated and trained in accordance with these principles. This has had a direct impact on the preservation of naturalness and biological diversity of Croatian forests.*

**Keywords:** *history of forestry, close to nature silviculture, Zagreb School of Silviculture, forestry in Croatia*

### Introduction

Almost one hundred years since its establishment in 1765, Croatian forestry experienced a revival in the second part of the 19<sup>th</sup> century. A series of important events took place which made it possible to organize forestry according to the principle of sustainability (KLEPAC 1997). These events included the following: the Croatian Forestry Association was founded (1846), the Forest Act was passed that highlighted the postulate of sustainability, (1852), the first vocational school - School of Agriculture and Forestry - was opened in Križevci (1860), a scientific-specialized forestry journal, *Šumarski List*, started coming out (1877), the first books on Croatian forests and forestry were published (Šulek 1866, Köröskenyi 1874, Kesterčanek 1881, 1896, Čordašić 1889), the Forestry Home was built in Zagreb (1898), the Royal Inspectorate for Karst Afforestation in the Military Border region was established (1878), the first forest nursery was founded in Sv. Mihovil near Senj (1879), the first management plans were drawn up (1875, 1880), and the Forestry Academy was opened in Zagreb (1898) (ANIĆ 2019).

Of particular importance for the development of forestry is the establishment of the Forestry Academy at the University of Zagreb, which marked the beginning of 121 years of continuous university forestry education in Zagreb. Most graduate engineers of forestry have spent their working careers in Croatian forests, which they have measured, mapped, described, analyzed, tended, regenerated, protected and preserved in the way in which they were taught at the Faculty of Forestry in Zagreb. The fruits of their labour are the present Croatian forest ecosystems. The purpose of this paper is to present the main characteristics of education in silviculture in Croatia before and after it was introduced at the University of Zagreb.

### The beginnings of education in silviculture

Education in silviculture in Croatia began on November 19th, 1860, when the School of Agriculture and Forestry, was opened in Križevci to provide practical education to young people who would work as foresters for land owners or for municipalities, or who would get employment in the civil service. Education lasted for two years: in the first year the basic courses and some auxiliary courses were taught



jointly in the agricultural and forestry departments, whereas the second year was intended for specialized courses which students attended separately. Those students who wished to complete both vocations were required to stay in school for three years: one joint year and one more year for each vocation.

According to the first curriculum, silviculture was taught in the second year, in winter semester, 4 periods a week. The curriculum included natural regeneration of forests, general rules of felling, high forest, coppice forest, coppice with standards, selection forest, thinning of forests, artificial regeneration of forests, sowing, planting.

The first reorganisation of the School was undertaken in 1877. The name of the school was changed into the Royal Agriculture and Forestry School in Križevci. A higher and a lower level were established. The higher level had a rank of a secondary school. The lower level focused on practical training for the jobs of country estate managers. Foresters were educated only in the higher level department. The task of the higher department was to provide students with theoretical and practical training in the agricultural and forestry profession and enable them to apply the acquired knowledge in public and private services or in their own estates. Education was prolonged to three years for both students of agriculture and forestry. The first year included basic courses that were jointly attended by all students. The second and third year consisted of specialized courses, separately per professions. A course in silviculture was taught in the second year, in winter and summer semesters, 6 periods a week.

In 1894, a Law was passed in Croatia to stipulate that foresters should have academic education. In order for the School to adjust to this Law, the second reorganisation took place. The enrolment conditions were changed: to be accepted to a higher level, students had to complete 6 grades of grammar school instead of previous 4. The study programme still lasted for three years. Silviculture was taught in the second year, 6 periods a week in winter semester and 4 periods a week in summer semester.

However, this was not sufficient because the School never reached an academic status, but a status of a secondary vocational school. For this reason, based on the Law and Government Decree, the Forestry Department at the Royal Agriculture and Forestry School in Križevci was closed in 1897. In 1898, forestry education received university status and was transferred to the Forestry Academy, established at the Faculty of Philosophy of the University of Zagreb.

From the establishment of the School of Agriculture and Forestry in Križevci in 1860 to the cessation of the activity of the Forestry Department in 1898 and its transfer to the University of Zagreb, the study in this department was completed by 455 students (MEŠTROVIĆ 1998).

At the School in Križevci, a course in silviculture was taught by Franjo Čordašić, Dragutin Hlava and Franjo Kesterčanek. Franjo Čordašić wrote the first textbook of silviculture (ČORDAŠIĆ 1889). Franjo Kesterčanek is one of the most deserving persons for elevating forestry education to university level (KESTERČANEK 1885, 1886) and establishing the Forestry Academy in 1898 in Zagreb, in which he continued his career of a teacher. He was also a co-founder of the Croatian Forestry Association in 1846 and an editor of the Forestry Journal, *Šumarski List*, in the periods of 1881-1886 and 1905-1908.

### University forestry education

According to a government Directive of October 7th, 1898, the study of forestry was introduced at the University of Zagreb as the fourth study in Croatia after theology, law and philosophy. The study was organized at the Forestry Academy, which was part of the Faculty of Philosophy. It was the first forestry institution of higher education in Croatia and in south-eastern Europe. The establishment of the Forestry Academy brought a university status to forestry education and provided forestry scientific-research activities with a much needed impetus. Graduate engineers of forestry, educated at the Croatian university, began managing forests according to the principles of forestry science. All this had an immense influence on the development of Croatian forestry in the 20<sup>th</sup> century, as well as on the status of Croatian forests as we know them today.

The first Dean of the Forestry Academy was Prof. Andrija Petračić, the first university professor of silviculture in Croatia. The Forestry Academy was housed in the Forestry Home, *Šumarski Dom*, building in the centre of Zagreb. The opening ceremony of the Forestry Home took place on October 20th, 1898. This day is celebrated as the Day of the Faculty of Forestry of the University of Zagreb. The Forestry Home currently serves as the seat of the Croatian Forestry Association.

In the beginning, the study of forestry at the Forestry Academy lasted for three years. In the academic year 1907/1908, a four-year study programme was introduced which lasted until the Bologna reform of the curriculum in 2005/2006, when a three-year undergraduate study and a two-year graduate study of forestry was implemented (3 + 2).

Students of the Forestry Academy attended courses and took exams in the areas of forestry, mathematics, natural sciences, agriculture, techniques, law and economics. This broad array of courses stemmed from the fact that forestry was perceived as an interdisciplinary study. Besides, at that time there were still no faculties that would provide knowledge in the areas needed by a forestry engineer. The Forestry Academy played an important role in the development of technical professions in Croatia. In 1908, a course in geodesy at the Academy of the University of Zagreb.

After the end of World War One and the cessation of political dependence on Austria and Hungary, professors Andrija Petračić and Đuro Nenadić from the Forestry Academy initiated an action to transform the Forestry Academy into a faculty that would be independent of the Faculty of Philosophy. The action was partially successful. The Forestry Academy was separated from the Faculty of Philosophy, but a new study of agriculture was added to it. Thus, the academic year 1918/1919 was the last in the activity of the Forestry Academy, because the Faculty of Agriculture and Forestry of the University of Zagreb was established on October 1st, 1919. The first Dean was Professor Andrija Petračić, full professor of silviculture.

In the period from the opening of the Forestry Academy on October 20, 1898, to the opening of the Faculty of Agriculture and Forestry on October 1, 1919, the number of forestry engineers who graduated at the Forestry Academy amounted to 165 persons.

The Faculty of Agriculture and Forestry existed until December 8, 1959, when a Law was passed by which the Faculty of Agriculture and the Faculty of Forestry of the University of Zagreb were divided and made independent. The Forestry department of the Faculty of Agriculture and Forestry was transformed into the Faculty of Forestry of the University of Zagreb, whose name it still carries today. According to the first Statute, the Faculty was defined as the highest scientific and

educational institution of forestry and wood industry. The following units were established: Forestry Department, Wood Technology Department, department councils, institutes, laboratories and practical workshops. The first dean was professor Dušan Klepac, university professor in forest planning (MATIĆ 1998, PETRAČIĆ 1963).

In its 120 years of existence, (1898 - 2018), the Faculty of Forestry of the University of Zagreb educated 5,304 bachelor engineers of forestry (B.Sc. in forestry) and master engineers of forestry (M.Sc. in forestry), 329 masters of forestry sciences (M.Sc.), and 129 doctors of forestry sciences (Ph.D.) (BOŽIĆ ET AL. 2018).

### University education in silviculture

A course of silviculture was included in all the curricula and programmes in the academic education of forestry experts. Since the very beginning it has been one of the courses with an very extensive weekly timetable (Table 1). In addition to lectures and practical work, training also included several-day field training in the Faculty forests and other forests.

**Tab. 1:** Historical overview of the timetable of silviculture: lectures, exercises, field training

Faculty	Duration of study in years	Education in silviculture		Winter semester		Summer semester		Field training
				Lectures	Practical work	Lectures	Practical work	
		Academic year	Study year	Periods a week				Days
Forestry Academy	3	1898/1899	2	4	4	-	-	No data
	4	1907/1908	3	3	0	3	8	No data
Faculty of Agriculture and Forestry	4	1921/1922	3	5	0	5	2	No data
	4	1947/1948	3	5	3	5	5	14
Faculty of Forestry	4	1960/1961	3	5	3	5	3	14
	4	1985/1986	3	3	3	3	3	12
	4	2001/2002	3	2	2	2	2	8
	a) 3	2005/2006	3	3	2	-	-	5
	b) 2	2005/2006	1	-	-	2	1	7
c) 2	2005/2006	1	-	-	2	2	8	

a) undergraduate study of Forestry; b) graduate study of Silviculture and Forest Planning with Wildlife Management, c) graduate study of Technics, Technology and Management in Forestry

The first to teach a course in silviculture at the Forestry Academy were professors of the College in Križevci: Ivan Partaš (taught in 1899/1900) and Fran Kesterčanek (taught from 1900/1901 to 1914/1915). They were followed by Professor Andrija Petračić, Ph.D., the first university professor of silviculture (taught from 1915/1916 to 1918/1919), who obtained his doctorate from the University of Munich. Professor Andrija Petračić, Ph.D., taught a course in silviculture at the Faculty of Agriculture and Forestry from 1919 to 1945. From 1945 to 1963 a course in silviculture was taught by Professor Milan Anić, Ph.D.

In the academic year 1963/1964, the course of silviculture was divided into two independent courses. Professor Milan Anić, Ph.D., taught a course in Ecological and Biological Bases of Silviculture in the 5th semester with 5+3 periods, and Professor Ivo Dekanić, Ph.D., taught a course in Silvicultural Systems in the 6th semester with 5+3 periods. In the academic year 1979/1980, the course was again made into one subject, Silviculture I and II, which was taught by Professor Ivo Dekanić, Ph.D. until his retirement in 1985.


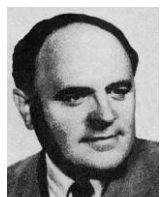
From the academic year 1985/1986, Silviculture I and II was taught in the 5th and 6th semester, covering 3+3 periods in winter and summer semester, as well as field work lasting for 12 days. It was taught by professor Slavko Matić, Ph.D., until his retirement in 2003 (MATIĆ 1998).





In the academic year 2004/2005, Silviculture I and II was divided into two new courses: Silviculture and Forest Establishment. Silviculture comprised the following units: Forest Morphology, Forest Dynamics, Structure of Forest Stands, Regeneration of Forests, Tending of Forests, Silvicultural Systems, Conversion of Forests, and Silvicultural Treatments in Forest Stands of Croatia. Forest Establishment comprised the following units: Forest Seed Production, Forest Nursery Production, Afforestation, Forest Cultures, and Forest Plantations. Silviculture is taught by Professor Igor Anić, Ph.D. (5th and 6th semester, 2+2+8 days of field training), and Forest Establishment is taught by Professor Milan Oršanić, Ph.D. (5<sup>th</sup> and 6th semester, 2+2+4 days of field training).

In the academic year 2005/2006, the Faculty of Forestry adopted a study programme of Forestry in accordance with the Bologna Declaration principles. An undergraduate study of Forestry lasts for three years and a graduate study lasts for two years. The graduate study is divided into two programmes: Silviculture and Forest Management with Wildlife Management, and Techniques, Technologies and Management in Forestry (Table 2).

In the undergraduate study, Professor Igor Anić, Ph.D., holds a course in Silviculture I in the 5th semester, with a weekly timetable of 3+2 and 5 days of field training. Professor Milan Oršanić, Ph.D., teaches a course in Forest Establishment in the 4th semester, with a weekly timetable of 3+2+3 days of field training. In the graduate study programme, Professor Igor Anić, Ph.D., teaches compulsory courses of Silviculture II (2nd semester, 2+1+7 days of field training; 2nd semester, 2+2+8 days of field training) and Professor Milan Oršanić, Ph.D., teaches a course in Silviculture in Special Purpose Forests (3rd semester, 2+1+2 days of field training).

**Tab. 2:** University professors of silviculture at the Faculty of Forestry in Zagreb

	<p>Andrija Petračić, Ph.D. (1879–1958), full university professor of silviculture and dendrology, founder of the Faculty of Forestry, long-standing head of the Forestry Academy, first Dean of the Faculty of Agriculture and Forestry of the University of Zagreb, first director of the Department of Silviculture and founder of the Zagreb School of Silviculture. Author of the first Croatian university textbooks of silviculture (PETRAČIĆ 1925, 1931, 1955).</p>
	<p>Academician Milan Anić, Ph.D. (1906–1968), full university professor of silviculture, forest phytocoenology and dendrology. In the academic year 1940/1941 he introduced a course in Forest Phytocoenology at the Faculty of Forestry in Zagreb, for which we wrote the first textbooks. He implemented the principles of naturalness in silviculture (ANIĆ 1956, 1960, 1963, 1966, 1967). He studied relationships among forest ecosystem elements, with particular focus on the site-biocoenosis complex. An expert dendrogeographer, highly knowledgeable in forest vegetation, ecology and biology of forest trees, as well as in the edifying significance of forest trees for the structure and functioning of forest communities.</p>

	<p>Ivo Dekanić, Ph.D. (1919–1998), full university professor of silviculture. He was the first to study and associate groundwater dynamics in lowland forests with the occurrence and growth of forest tree species and the required silvicultural operations. He defined the basic types of lowland forest sites (Dekanić 1962). Determining a lowland micro-relief and associating it to forest communities has become a basis of lowland forest management. He was particularly involved in the qualitative and quantitative aspects of increasing the production of forest stands by means of thinning (Dekanić 1980, 1991).</p>
	<p>Academician Professor Emeritus dr. h. c. Slavko Matić, Ph.D. (1938), full university professor of silviculture, is the most important promoter of the Zagreb School of Silviculture in the forestry science, education and practice. He staunchly advocated a commitment to natural regeneration, natural stand structure and natural, diverse and stable forests. He proved the dependence of natural regeneration of a selection stand on site and structural conditions (MATIĆ 1983), provided an original definition of thinning intensity and thinning method (MATIĆ 1989, 1991), and investigated natural regeneration of numerous forest stands in Croatia and of pedunculate oak stands in different site conditions in particular (MATIĆ 1996). His numerous silvicultural recommendations directly influenced the formation of the current generation of natural forest stands. He deserves full credit for the establishment of live, friendly relationships between the Faculty of Forestry in Zagreb and the Faculties of Forestry in Brno and Zvolen.</p>
	<p>Academician Igor Anić, Ph.D. (1967), full university professor of silviculture. Full member of the Croatian Academy of Sciences and Arts and President of the Academy of Forestry Sciences in Zagreb. Investigates and compares the dynamics, structure and regeneration of old-growth and natural managed forests, as well as adaptation of close to nature silviculture to climate changes.</p>
	<p>Milan Oršanić, Ph.D. (1963), full university professor of Forest Establishment and Silviculture in Special Purpose Forests. The field of his scientific interest includes silviculture, nursery production and forest seed production, regeneration and tending of natural stands, silvicultural treatments in selection forests and silvicultural treatments and biodiversity of Croatian forests.</p>

### Concluding Remarks

The Croatian forestry science, education and practice traditionally highlights close to nature silviculture. The close to nature approach to silviculture in Croatia bears all the specific characteristics of the Zagreb School of Silviculture. The beginning of the Zagreb School of Silviculture dates to March 14th, 1921, when a Department of Silviculture was established at the Faculty of Agriculture and Forestry of the University of Zagreb. Then the university professors of silviculture, Professor Andrija Petračić, Ph.D., and Professor Milan Anić, Ph.D., launched a scientific, educational and professional approach which perceived a forest ecosystem as a whole. Management of forests became management of forest ecosystems, with silvicultural treatments in a forest being based on linking forest sites and forest phytocoenoses to forest stands. This is the reason that the organisation of the Department has been retained to date. The Department comprises the following programmes (chairs): Silviculture, Forest Establishment, Forest Pedology, Forest Phytocoenology, Forest Ecology, Forest Karst Amelioration and Nature Protection (Anić 2011).

The basic features of the Zagreb School of Silviculture include the following: supporting the natural dynamics and structure of forests, supporting natural forest regeneration, application of artificial forest regeneration according to the principles of natural regeneration, exclusion of clear cutting from forest management, intensive forest tending from the early youth and promotion of sustainable forest management. Students at the Zagreb's Faculty of Forestry have been educated and trained in accordance with these principles up to the present. This has directly contributed to the preservation of the achieved level of naturalness and biological diversity of Croatian forests.

The Zagreb School of Silviculture and the application of its principles in practical forestry are the basic reasons for the high natural condition and biological diversity of forest ecosystems in the Republic of Croatia. Natural forests of Croatia are the original product of Croatian forestry and all the forestry experts who have been educated at the Faculty of Forestry in Zagreb in accordance with the principle of the Zagreb School of Silviculture. This is the reason that natural forests have become one of the most important assets of Croatian natural wealth.

## References

- ANIĆ, I. On the occasion of the 90th anniversary of establishing the Department of Ecology and Silviculture at the Faculty of Forestry of the University of Zagreb (in Croatian). *Šumarski list*, 2011. 135(5-6): p. 293-297.
- ANIĆ, I. The importance of forestry education and science at the University of Zagreb for the development of Croatian forestry (in Croatian). *Šumarski list*, 2019. 143(1-2): p. 59-69.
- ANIĆ, M. *Forest Phytocoenology, Part I* (in Croatian). Zagreb: Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1956. 54 p.
- ANIĆ, M. *Forest Phytocoenology, Part II* (in Croatian). Zagreb: Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1960. 117 p.
- ANIĆ, M. *Forest Morphology* (in Croatian). Zagreb: Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1963. 29 p.
- ANIĆ, M. *Geography of Forest Trees and Forests* (in Croatian). Zagreb: Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1966. 114 p.
- ANIĆ, M. *Ecology of Forest Trees and Forests* (in Croatian). Zagreb: Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1967. 208 p.
- BOŽIĆ, M., PERVAN, S., ANIĆ, I., PERNAR, N., IDŽOJTIĆ, M., RAJKOVIĆ JIROUŠ, V., LUČIĆ BELJO, R., SLADIN, M., GRŽAN, T., *120 years of the Faculty of Forestry of the University of Zagreb* (in Croatian). Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, 2018. p. 264.
- ČORDAŠIĆ, F. *Science of Forest Establishment and Silviculture* (in Croatian). Zagreb: Tiskarski i litografski zavod C. Albrechta, 1889. 212 p.
- DEKANIĆ, I. Impact of Groundwater on the Occurrence and Growth of Forest Trees in Forests of the Posavina Region near Lipovljani (in Croatian). *Glasnik za šumske pokuse*, 1962. 15: p. 5-102.
- DEKANIĆ, I. *Thinning Methods and Intensities in a Forest of Pedunculate Oak and Common Hornbeam* (in Croatian). Vinkovci: Slavonska šuma, 1980. 120 p.
- DEKANIĆ, I. *Impact of Structure on Stand Tending with Thinning in a Forest of Pedunculate Oak and Common Hornbeam (Quercus robur-Carpinetum Illyricum Anić)*, in Croatian. Vinkovci: Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Centar za znanstveni rad Vinkovci, 1991. 147 p.

- KESTERČANEK, F. About Forestry Education (in Croatian). *Šumarski list*, 1885. 9(3): p. 101-104.
- KESTERČANEK, F. Forestry Education Belongs to a University (in Croatian). *Šumarski list*, 1886. 10(4): p. 145-162.
- KLEPAC, D. Croatian Forestry in the Second Half of the 19th Century (in Croatian). *Šumarski list*, 1997. 121(3-4): p. 115-126.
- MATIĆ, S. Influence of Ecological and Structural Factors on Natural Regeneration of Selection Forests of Fir and Beech in Gorski Kotar (in Croatian). *Glasnik za šumske pokuse*, 1983. 21: p. 223-388.
- MATIĆ, S. Thinning Intensity and its Impact on the Stability, Productivity and Regeneration of Stands of Pedunculate Oak (in Croatian). *Glasnik za šumske pokuse*, 1989. 25: p. 261-278.
- MATIĆ, S. *Tending Forests with Thinning* (in Croatian). Zagreb: Hrvatske šume p. o. Zagreb, Uprava šuma Koprivnica, 1991. 45 p.
- MATIĆ, S. Silvicultural Treatments of Reneration and Tending of Pedunculate Oak Stands (in Croatian). In: D. Klepac (ed.), *Hrast lužnjak (Quercus robur L.) u Hrvatskoj*, Zagreb – Vinkovci: HAZU, Centar za znanstveni rad u Vinkovcima I Hrvatske šume p. o. Zagreb, 1996. p. 167-212.
- MATIĆ, S. (ed.) *University Forestry Education in Croatia 1898-1998, Volume Two* (in Croatian). Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, 1998. 709 p.
- MEŠTROVIĆ, Š. (ed.) *University Forestry Education in Croatia 1898-1998, Volume One* (in Croatian). Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, 1998. 194 p.
- PETRAČIĆ, A. *Silviculture, Volume I* (in Croatian). Zagreb: vlastita naklada, 1925. 307 p.
- PETRAČIĆ, A. *Silviculture, Volume II* (in Croatian). Zagreb: vlastita naklada, Zagreb, 1931. 307 p.
- PETRAČIĆ, A. *Silviculture, Ecological Bases* (in Croatian). Zagreb: Poljoprivredni nakladni zavod, 1955. 171 p.
- PETRAČIĆ, A., Forestry Academy 1898-1919 (in Croatian). In: Neidhardt, N., M. Androić (eds.), *Šumarska nastava u Hrvatskoj 1860-1960*, Zagreb: Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1963. p. 57-112.

## OVERVIEW OF SILVICULTURE SCIENTIFIC RESEARCH IN FGMRI

### PŘEHLED PĚSTEBNÍHO VĚDECKÉHO VÝZKUMU VE VÚLHM

Jiří Novák, Dušan Kacálek\*, Antonín Jurásek

Forestry and Game Management Research Institute, Research Station at Opočno, Na Olivě 550, 517 73 Opočno, CZ

\*corresponding author: kacalek@vulhmop.cz

#### Abstract

*Research Station at Opočno (established in 1951) is the Department of Silviculture in Forestry and Game Management Research Institute at Strnady. Silvicultural topics such as forest nurseries, afforestation, thinning, forest regeneration and also forest hydrology are solved in the station. Besides applied research activities (with publications or practical outputs), consultancy and expert services for forest owners and managers are traditionally realised by silvicultural researchers in different forest regions of the Czech Republic.*

**Keywords:** applied research, silviculture

#### Abstrakt

*Výzkumná stanice Opočno je útvarem pěstování lesa Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti v. v. i., Strnady a byla založena v roce 1951. Tematicky je zde řešen výzkum pěstování lesů od lesního školkařství, zalesňování až po výchovu a obnovu lesa a také lesnické hydrologie. Kromě aplikovaného výzkumu s publikačními i praktickými výstupy je pracovníky stanice tradičně realizována i expertní a poradenská činnost pro vlastníky a správce lesa s působností po celé ČR.*

**Klíčová slova:** aplikovaný výzkum, pěstování lesa

#### Introduction

Activities of Forestry and Game Management Research Institute – Department of Silviculture i.e. Research Station at Opočno deals with topics such as forest nurseries, forest renewal, forest tending and also forestry hydrology. The research is carried out in all regions of the Czech Republic. Some of the newest findings of the Research Station are to be found in the presented Proceedings. This overview aims to describe a constitution, a history and present research activities of the Research Station at Opočno, the Czech Republic.

#### History

New forestry research institute were needed to restore and develop forestry after the World War II. Among them, Research institute of silviculture, seed management and forest nurseries was established by headquarters of Czechoslovakian state forests at Opočno in 1951. This institute was integrated into Forestry management research institute at Zbraslav-Strnady as its silviculture department - research station.

Two reasons decided the founders for placing the station at the site: (i) Opočno was a place showing a long forestry traditions thanks to Hugo Konias, the last director of former Colloredo-Mansfeld manor farm estate. H. Konias was even a one of the first employees of the new research institute over its first years and (ii) new forest state enterprise at Opočno managed ca 13 000 ha representing a gradient of growing conditions such as lowlands, uplands and mountains with altitude ranging from 250 to 1 100 m a.s.l., which included almost all vegetation domains and forest sites known in Czech lands at that time.

Ministry of Agriculture, Forestry and Water Management integrated the state forest enterprise into the research institute in order to provide a base to conduct experiments and verify findings in practice. This research state enterprise was,



however, stopped cooperation in 1959. Some research activities were made difficult for researchers and some research plots were even lost as the clear-cutting became the dominant silvicultural system.

The leadership of the institute/station was appointed to Jiří Mottl at the beginning. Among researchers of that time, Vratislav Dušek, Luděk Chroust and Theodor Lokvenc remained the employees of the station until they retired. In 1956, Vladimír Peřina came to become a second chief of the station. The staff increased, amounting 26 employees (10 graduated) in the two following years. The Opočno station included also one more Czech station in Dřevíč and two Slovakian stations in Jelšava and Gabčíkovo at that time.

One of the station's „godfathers“, the above-mentioned H. Konias paid attention to conversion of monocultures into mixed, site-specific and all-aged forest stands. His findings were a source of knowledge for forestry practice. The need to share new knowledge resulted in so called “Silvicultural workshops at Opočno”. Between 1951 and 1959, 6 000 foresters and 3 000 students of forestry high schools attended those events.

In 1964, an important mile stone have been achieved; a new building with laboratories, offices, meeting room and library was open up. There were also other facilities such as green house, experimental fields and meteorological station. Both researchers and technicians were appointed to work in two working groups (i) Reforestation and Forest Nursery Management (Fig. 1) with its leader Vratislav Dušek who cooperated with Theodor Lokvenc, Jaroslav Netolický, Horst Kriegel, Václav Jirkovský and Libuše Obhlídalová and (ii) Forest Tending and Regeneration being headed by Vladimír Peřina, the chief of the station, who cooperated with Zdeněk Kadlus, Vladimír Zakopal, Vladimír Tesař (later professor of silviculture at Mendel University in Brno), Luděk Chroust, Václav Mareš and Ivan Houba. The working group for Growing Poplar Hybrids (leader Jiří Mottl) relocated to Moravian station at Kostelany-Uherské Hradiště.

Since 1970s, Opočno station silvicultural research has focused on clearcutting and artificial regeneration within large clearings due to air pollution in Czech mountains. Previously investigated silvicultural systems that focused on shelterwood regeneration and conversion of monocultures lost funding gradually until the very end of the research in the early 1980s.



**Fig. 1:** Establishment of forest nursery experiment in compound of research station (left, 1973) and presentation of new technologies for afforestation (right, 1973).

**Obr. 1:** Zakládání školkařského experimentu v areálu výzkumné stanice (vlevo, 1973) a předvádění nových technologií pro zalesňování (vpravo, 1977).

The progress of forest die-off influenced almost all silviculture research activities and shifted the researcher's focus to artificial reforestation, thinning and regeneration of air-polluted mountain forests. Since 1960s, the silvicultural research integrated both ecological and environmental point of views; particularly raising an issue of forest services. One of the most important cooperators with researchers of the station was Vladimír Krečmer, bio-climatologist from FGMRI at Jíloviště-Strnady. Since 1970, forestry hydrology issues were also in focus of Petr Kantor, the station employee of that time (later professor of silviculture at Mendel University in Brno). The needs of forestry practice and researchers initiated Vladimír Peřina, the head of station to establish a new working group of Silvicultural Amelioration. One of employees, Vilém Podrázský (later professor of silviculture at Czech university of Life Sciences, Prague) dealt with liming and biological amelioration of acidified soils. State support of forest research had effect on amount of workers in station (50 employees). After transformation of state forest policy in 1990s, support and consequently human resources decreased in the station (to 25 employees).

In 1990s, four working groups such as Forest Nurseries and Reforestation under supervision of Antonín Jurásek, the head of the station (1991 – 2014); Forest Tending under guidance of Marian Slodičák, Forest Regeneration under guidance of Stanislav Vacek (later professor of silviculture at Czech university of Life Sciences, Prague) and Silvicultural Amelioration under guidance of František Šach. Silviculture in air-polluted conditions remained the dominant topic also in 1990 – 1995 which was reflected in the main research project "Silviculture in ecotopes affected by anthropogenic activities". This project has still gone on as it was transformed into current silviculture research strategy.

### Current activities

Nowadays, 33 employees (18 graduated) work in the Research Station at Opočno. Long-term experimental series are main base for silvicultural research. These plots were established under different ecological conditions in all forest regions across the Czech Republic. Experiments are focused on thinning, forest regeneration, biological amelioration etc. Effects of different silvicultural measures on growth and development of spruce, pine, oak, beech and mixed forest stands are studied on these experimental series (Fig. 2 and 3).



**Fig. 2:** Sampling of cuttings from ortets of mountain spruce clones (left, 1994) and marking of experimental thinning in mixed stand (right, 2014).

**Obr. 2:** Odběr řízků z matečnic horského smrku (vlevo, 1994) a vyznačování experimentálního výchovného zásahu ve smíšeném porostu (vpravo, 2014).



**Fig. 3:** Sampling of biomass components after experimental thinning in pine stand (left, 2014) and Snow Measurement System LDSMS2014 for continual measuring of snow water equivalent and snow depth (right, 2018).

**Obr. 3:** Odběr vzorků komponentů biomasy po experimentálních výchovných zásazích v borovém porostu (vlevo, 2014) a Sněhoměr LDSMS2014 pro kontinuální měření vodní hodnoty sněhu a výšky sněhu (vpravo, 2018).

Observation of ecological conditions (using automatic meteorological stations) is also included because not only wood production, but also other forest services (mainly water management, soil protection etc.) are in focus.

Topics of silviculture research are solved in the frame of projects (supported by Technology Agency of the Czech Republic, National Agency of Agricultural Research) and research contracts with forest owners or managers. Institutional Support (by Ministry of Agriculture) based on Long-term strategy for development of research institution for period of 2018-2022 is also important financial source of silvicultural research in Opočno Research Station. Recently, attention has been paid also to cooperation on international level via projects.

Outputs of research projects included not only scientific publications (articles in journals, books etc.) but also specific recommendations for forest practice (certified forest guides, technologies or utility models etc.).

Consultative and expert activities are traditionally done by researchers from station and it is supported by contract with Ministry of Agriculture. Concept is based on expert services for forest owners and managers and also for forest state administration. Demonstrational objects with examples of silviculture practice and accredited Laboratory of Forest Nursery Control form an integral part of these activities.

For more information and details about historical and current activities and outputs see websites of FGMRI ([www.vulhm.cz](http://www.vulhm.cz)) or research station ([www.vulhmop.cz](http://www.vulhmop.cz)).

### Acknowledgement

Compilation of overview was supported by the Ministry of Agriculture of the Czech Republic, institutional support MZE-RO0118.

### Souhrn

Činnosti útvary pěstování lesa Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i. tj. Výzkumné stanice v Opočně zahrnují témata pěstování lesů od lesního školkařství, zalesňování až po výchovu a obnovu lesa a také řešení otázek lesnické hydrologie. Nejnovější poznatky opočenského výzkumu najdou čtenáři

v jednotlivých příspěvcích tohoto sborníku. V příspěvku je podán základní souhrn a úvodní informace o vzniku, historii a současnosti pracoviště.

V poválečném období si řada problémů v lesním hospodářství vyžádala zřízení nových specializovaných výzkumných lesnických ústavů. Mezi nimi to byl i Výzkumný ústav pro pěstování lesů, semenářství a školkařství v Opočně, založený 28. února 1951 generálním ředitelstvím Československých státních lesů. Tento ústav byl v roce 1952 začleněn do resortního Výzkumného ústavu lesního hospodářství ve Zbraslavi-Strnadlech, jako stanice pro pěstování lesů.

K výběru vedly zakladatele především dva důvody. Opočno bylo místem, kde působila řada významných lesníků, jako byl např. lesní rada Hugo Konias, ředitel opočenského Colloredo-Mansfeldského velkostatku, který na novém výzkumném pracovišti dokonce působil. Druhým důvodem bylo, že nově vytvořený Lesní závod Opočno o rozloze téměř 13 000 ha zahrnoval tři lesní oblasti – Polabí, Předhoří Orlických hor a Orlické hory, takže gradient nadmořské výšky činil 250 m až 1 100 m n. m. V území tak byla zastoupena téměř všechna lesní stanoviště Českých zemí.

K ústavu byl rozhodnutím Ministerstva zemědělství, lesního a vodního hospodářství přičleněn pokusný lesní závod, na kterém měly být soustředěny výzkumné práce, jejichž výsledky měly být provozně ověřovány a případně zaváděny do praxe. V roce 1959 byl Pokusný lesní závod od Výzkumné stanice oddělen a začleněn do Krajské správy lesů v Hradci Králové, což postupně narušilo údržbu některých trvalých ploch a omezilo poloprovozní ověřování pěstebních postupů.

Odbornými pracovníky byli na počátku existence stanice vedle vedoucího Jiřího Mottla již zmíněný Hugo Konias, Pavel Matoušek, Karel Kaňák, Bohumil Švarc a také Vratislav Dušek, Luděk Chroust a Theodor Lokvenc, kteří poté působili na pracovišti čtyři desítky let. V roce 1956 byl vedením stanice pověřen Vladimír Peřina. Do roku 1958 se kolektiv rozrostl na 26 pracovníků, z nichž 10 mělo vysokoškolské vzdělání. Dočasnou součástí opočenského pracoviště byla středočeská stanice ve Dřevíči (Vladimír Zakopal) a až do okamžiku osamostatnění Výzkumného ústavu lesního hospodářství v Banské Štiavnici i výzkumná stanice v Jelšavě (vedoucí Julius Dalmady) a v Gabčíkově (vedoucí M. Rypák a po něm Martin Vojtuš) na Slovensku.

Jméno Hugo Konias (\*1891 – †1954) bylo těsně spojeno s rozpracováním metod přeměn a převodů monokultur na porosty smíšené, stanovištně vhodné, i přeměny porostů stejnověkových na nestejnověké. Na Slovensku úzce spolupracoval především na problematice výběrného lesa s Josefem Burganem. Své poznatky prezentoval rozsáhlou poradní činností. Výzkumný ústav, respektive stanice byla známa tzv. „Opočenskými pěstebními kurzy“. Zejména v letech 1951 až 1959 prošlo těmito 3-5 dní trvajících akcemi ca 9 000 účastníků.

Významným mezníkem bylo vybudování nové, dosud používané budovy stanice otevřené 3. října 1964. V roce 1971 byla vyprofilována oddělení zalesňování a školkařství (Obr. 1), vedená Vratislavem Duškem, ve které pracoval Theodor Lokvenc, Jaroslav Netolický, Horst Kriegel, Václav Jirkovský a Libuše Obhlídalová a výchovy a obnovy porostů v čele s vedoucím stanice Vladimírem Peřinou, jehož členy byli Zdeněk Kadlus, Vladimír Zakopal, Vladimír Tesař (pozdější profesor pěstování lesů na Mendelově univerzitě v Brně), Luděk Chroust, Václav Mareš a Ivan Houba. Skupina vedená Jiřím Mottlem, přesídlila roku 1963 do stanice Kostelany-Uherské Hradiště.

Od počátku 70. let došlo v Opočně ke změnám v zaměření pěstebního výzkumu. Výzkumné úkoly zadávané ministerstvem byly orientovány přednostně na holosečné způsoby hospodaření. Finanční prostředky na výzkum podrostního hospodaření, převodů a přeměn byly velmi rychle omezovány až zastaveny počátkem 80. let.

Fenomén narůstajícího imisního poškození lesů v 70. a 80. letech 20. století zasáhl zásadně do úkolů řešených v rámci zalesňování, výchovy a obnovy porostů; prakticky všechny výzkumné kapacity stanice byly směřovány do imisních horských oblastí. Pěstební výzkum se již během šedesátých let postupně propojoval s výzkumem ekologických a environmentálních funkcí lesa. Vznikla celá řada společných experimentů, na kterých s výzkumnou stanicí úzce spolupracoval Vladimír Krečmer. V souvislosti s tím probíhal od 70. let intenzivní výzkum hydrické účinnosti modelových lesních ekosystémů, kde měl výrazný podíl tehdejší opočenský výzkumník Petr Kantor, pozdější profesor pěstování lesů na Mendelově univerzitě v Brně. V souvislosti s vývojem potřeb lesnické praxe a pěstebního výzkumu bylo v roce 1987 z iniciativy Vladimíra Peřiny založeno oddělení lesopěstebních meliorací. V rámci tohoto oddělení se problematikou vápnění a biologické meliorace acidifikovaných půd zabýval Vilém Podrázský, pozdější profesor pěstování lesů na České zemědělské univerzitě v Praze.

Tato struktura se v průběhu poslední dekády minulého století vyprofilovala do oddělení lesního školkařství a zalesňování vedené Antonínem Juráskem (vedoucí stanice 1991 – 2014), oddělení výchovy lesních porostů vedené Marianem Slodičákem, oddělení obnovy lesa vedené Stanislavem Vackem a oddělení lesopěstebních meliorací vedené Františkem Šachem. Problematika pěstování lesa v imisních oblastech byla dominantním tématem i v letech 1990 – 1995 jako součást úkolu „Stabilizace produkční a mimoprodukčních funkcí lesa“. Od roku 1996 byl výzkum soustředěn do resortního výzkumného úkolu „Pěstování lesů v ekotopech narušených antropogenní činností“. Tento úkol byl pod stejným názvem v roce 1998 transformován do dlouhodobého výzkumného záměru a stal se i základem Dlouhodobé koncepce rozvoje výzkumné organizace na období 2018 – 2022.

V současné době na Výzkumné stanici Opočno pracuje 33 stálých zaměstnanců, z nichž 18 má vysokoškolské vzdělání; vedoucím je Jiří Novák. Základem pro výzkumnou činnost jsou dlouhodobě sledované experimenty, které jsou zakládány v různých stanovištních a porostních podmínkách. Jedná se především o sít experimentálních objektů s porostní výchovou smrku, borovice, dubu, buku a dalších dřevin; dále výzkumných ploch, na nichž se sleduje vliv obnovních postupů a melioračních opatření na růst nově zakládaného porostu včetně sledování ekologických charakteristik využitelných mimo jiné také k opatřením na podporu mimoprodukčních funkcí, zejména vodohospodářské a půdoochranné (Obr. 2 a 3).

Témata pěstebního výzkumu jsou řešena prostřednictvím projektů (NAZV, TAČR) a smluvního výzkumu (GS LČR a další vlastníci). Důležitým zdrojem je i Institucionální podpora Ministerstva zemědělství založená na realizaci Dlouhodobé koncepce rozvoje výzkumné organizace na období 2018 – 2022. V posledních letech je věnována pozornost i spolupráci na mezinárodních výzkumných projektech.

Výsledky projektů nejsou jen publikační výstupy (vědecké a odborné články, knihy), ale také konkrétní doporučení pro praxi (certifikované metodiky, ověřené technologie, užité vzory apod.).

Poradní činnost, která je tradičně nedílnou součástí výzkumu, je realizována prostřednictvím smlouvy s Ministerstvem zemědělství ČR. Je koncipována jednak jako služba vlastníkům lesa, ale i pro potřeby státní správy a zajištění údržby dlouhodobých výzkumných ploch – demonstračních objektů. Patří sem i činnost

akreditované laboratoře na hodnocení fyziologické a morfologické kvality sadebního materiálu.

Více informací a detailů o historických a současných aktivitách a výstupech lze nalézt na webových stránkách ústavu ([www.vulhm.cz](http://www.vulhm.cz)) nebo výzkumné stanice ([www.vulhmop.cz](http://www.vulhmop.cz)).

## PREHL'AD VEDECKÉHO VÝSKUMU V PESTOVANÍ LESA NA NÁRODNOM LESNÍCKOM CENTRE (HISTORICKÝ PREHL'AD)

### OVERVIEW OF THE SCIENTIFIC RESEARCH IN SILVICULTURE AT THE NATIONAL FOREST CENTRE (HISTORICAL OVERVIEW)

Jaroslav Jankovič\*, Igor Štefančík, Roman Longauer

Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, T. G. Masaryka 22, 960 01 Zvolen, SK  
\*corresponding author: jankovic@nlcsk.org

#### Abstract

*The paper presents an overview of the development of research covering silviculture and related areas carried out by the National Forest Centre and its predecessor organizations. Systematic forestry research has a 120-years-long history in Slovakia during which the silviculture - as a basic forestry discipline - has been one of the priorities. The historical overview of scientific research and dissemination presents main themes and issues in a sequence of time periods from the turn of the 20th century until the present. Problems from all areas of silviculture in a broader sense – including production and management of seed resource, forest nurseries, tree improvement, afforestation, stand tending and regeneration of forest stands - were actively covered by the research in every period. At the beginning, increasing the biological value and production of forests became a priority. Later, the focus was on the regeneration and silviculture of forests influenced of air pollution and on the issue of reconstruction and revitalization of damaged forest stands. Recently, in addition to climate change, the fulfilment of forest functions in line with the society requirements has been the priority.*

**Keywords:** silviculture, forestry research, history, Forestry Research Institute Zvolen

#### Abstrakt

*Príspevok prináša prehľad vývoja výskumu pestovania lesa na Národnom lesníckom centre a v organizáciách, ktoré boli jej predchodcami. Organizovaný lesnícky výskum na Slovensku má viac ako 120-ročnú históriu, počas ktorej bolo pestovanie lesa ako základná lesnícka disciplína vždy jednou z jeho hlavných náplní. Historický prehľad o vedeckom výskume a jeho uplatnení v pestovaní lesov uvádza v historickom priereze témy a problematiky výskumu, ktorým sa venovala hlavná pozornosť od prelomu 19. a 20. storočia až po súčasnosť. Prakticky v každom období sa riešili problematiky zo všetkých oblastí pestovania lesa v širšom zmysle slova od semenárstva, produkcie lesného reprodukčného materiálu a šľachtenia lesných drevín cez zakladanie a výchovu až po obnovu lesných porastov. Najprv sa stalo prioritou zvyšovanie biologickej hodnoty a produkcie lesov, neskôr to bolo pestovanie lesov pod vplyvom imisíí, problematika rekonštrukcií a revitalizácie poškodených lesných porastov. V poslednom období sa popri klimatickej zmene dostáva do popredia aj zmena priorit v požiadavkách spoločnosti na plnenie funkcií lesov v krajine.*

**Kľúčové slová:** pestovanie lesa, lesnícky výskum, história, Lesnícky výskumný ústav Zvolen

V roku 2018 sme si na NLC pripomenuli 120 výročie lesníckeho výskumu na Slovensku. Jeho vznik na našom území sa datuje od roku 1898, kedy bola založená Ústredná výskumná lesnícka stanica v sídle Lesníckej akadémie v Banskej Štiavnici a pokusná stanica v sídle horárskej školy v Liptovskom Hrádku. Historický prehľad o vedeckom výskume v pestovaní lesov na NLC sme preto rozdelili na 5 období ohraničených míľnikmi, ktoré mali významný vplyv na vývoji lesníckeho výskumu na Slovensku.

#### Obdobie pred vznikom Československa

Pestovanie lesa ako základná lesnícka disciplína bolo jednou z hlavných náplní lesníckeho výskumu od jeho vzniku na území dnešného Slovenska. Vo výskume sa vtedy prioritne riešili najmä problémy lesného semenárstva, zalesňovanie

spustnutých plôch a výchova lesných porastov. Veľký význam sa pripisoval otázke introdukcie a aklimatizácie cudzokrajných drevín, s čím súviselo aj založenie Lesníckeho arboréta Kysihýbel v roku 1900, ktoré do dnes spravuje Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav prostredníctvom Odboru pestovania a produkcie lesa. Osobitná pozornosť bola venovaná výskumu agáta. Na objasnenie významu pôvodu semien a sadeníc lesných drevín boli v Likavke pri Ružomberku: založené prvé provenienčné pokusy: v r. 1908 s provenienciami smrekovca rôznych klimatópov a v r. 1912 s provenienciami borovice lesnej. Výsledky výskumu boli uverejňované v odbornom časopise „*Erdészeti közlemények (Lesnícky výskum)*“, ktorý do roku 1918 vychádzal štvrťročne. Medzi najvýznamnejšie diela z tohto obdobia patrí dvojzväzková monografia L. Feketeho a C. Blattného (1913, 1914) o prirodzenom rozšírení lesnícky dôležitých drevín a krov v Uhorsku a monografia E. Vadasa o agáte, ktorá vyšla v roku 1911 v maďarčine a v roku 1914 v nemčine.

### **Obdobie po vzniku Československa do konca 2. svetovej vojny**

Po vzniku Československa a odchode maďarských profesorov z Banskej Štiavnice prišlo v nadväznosti na nové politicko-spoločenské pomery k významným zmenám v lesníctve. Postupne sa obnovovala činnosť lesníckeho výskumu – najprv to bola odborná správa Lesníckeho arboréta v Kysihýbli (1919) a potom Štátne výskumné ústavy lesnícke v Banskej Štiavnici (1922), medzi nimi od roku 1923 aj Ústav pre pestovanie lesov a biológiu. Pestovateľský výskum bol zameraný na introdukciu cudzokrajných drevín, hnojenie kultúr a škôlok, na zakladanie lesných porastov a technológie pestovania lesa, najmä výchovy a obnovy borovicových, smrekových a dubových porastov a tvorbu výberného lesa. Od roku 1927 ústav zabezpečoval aj evidenciu pôvodu semien lesných drevín, prehliadky porastov uznaných na zber semena a kontrolu kvality semena a sadeníc. Po rozpade prvej Československej republiky a vzniku Slovenského štátu v roku 1939 prišlo k útlmu lesníckeho výskumu. Výskumní pracovníci českej národnosti sa museli zo Slovenska odsťahovať a činnosť Ústavu pre pestovanie lesov a biológiu sa v rokoch 1939 – 1946 obmedzila prakticky na lesný reprodukčný materiál a jeho zdroje. Po vydaní vládneho nariadenia 194/1939 a vyhlášky Ministerstva hospodárstva IX-54/7-1939 o výbere porastov pre zber semena a pestovanie sadeníc lesných drevín Ústav vykonával semenársku a škôlkársku kontrolu a zaviedol evidenciu uznaných porastov (KOČIOVÁ 1978).

### **Obdobie po 2. svetovej vojne do roku 1989**

Za toto obdobie prešiel lesnícky výskum zložitým a turbulentným vývojom, ktorý nadväzoval na celoštátne zmeny. Výskumná činnosť sa obnovila v roku 1946 pričom organizačné členenie nadväzovalo na predvojnovú formu. V roku 1947 sa vytvorilo Riaditeľstvo výskumných ústavov lesníckych v Banskej Štiavnici a pod jeho správou vznikali viaceré ústavy, ktoré sa neskôr menili na oddelenia. V roku 1950 sa všetky výskumné ústavy lesnícke v Československu zlúčili do Výskumného ústavu pre lesnú výrobu so sídlom v Prahe (od roku 1954 v Zbraslavi – Strnadoch). Banskoštiavnické pracoviská sa do tejto štruktúry začlenili ako jeho pobočka, od roku 1952 pod názvom Výskumný ústav lesného hospodárstva. Na riešenie pestovateľských problematik postupne vznikali na Slovensku aj nové pracoviská. V roku 1950 sa v Gabčíkove vytvorila Výskumná stanica pre vetrolamy, rozšírená od roku 1952 aj o výskum rýchlorastúcich drevín. V Jelšave bola od roku 1951 do r. 1960 výskumná stanica pre zalesňovanie spustnutých plôch. V roku 1955 sa obnovila činnosť Výskumnej stanice v Liptovskom Hrádku so zameraním na lesné semenárstvo. Popri tom sa v roku 1954 v Bratislave vytvorilo Lesnícke laboratórium Slovenskej akadémie



vied (SAV) na výskum hospodárskej úpravy lesov, s detašovanými pracoviskami v Košiciach (výberkové lesy) a vo Zvolene (lesnícko-technické meliorácie) a výskumnými základňami v Nitre (obhospodarovanie nízkych lesov) a na Bielom Váhu (podrastový hospodársky spôsob), kde sa čiastočne riešili aj pestovateľské problematiky. Po roku 1957 sa upustilo od tematického členenia ústavov a prišlo sa k národnému členeniu, takže od 1. 1. 1959 sa Výskumný ústav lesného hospodárstva v Banskej Štiavnici konštituoval ako samostatná organizácia s odvetvovou pôsobnosťou pre Slovensko. Jeho organizačná štruktúra vychádzala po zlúčení viacerých pracovísk z ich odborného zamerania. V ústredí v Banskej Štiavnici boli umiestnené oddelenia: semenárstva, pestovania, ochrany lesov a poľovníctva. Na výskumnej stanici (VS) v Oravskom Podzámku oddelenia mechanizácie pestovných prác, mechanizácie ťažbových prác, mechanizácie približovania dreva a mechanizácie dopravy a skladov. Na VS vo Zvolene bolo oddelenie lesníckych meliorácií, na VS v Bratislave oddelenie hospodárskej úpravy lesov a na VS Gabčíkovo oddelenie rýchlorastúcich drevín. K ústavu patrila ešte Výskumná stanica v Liptovskom Hrádku, pracoviská v Košiciach a Strede nad Bodrogom a výskumná základňa Biely Váh. Ďalšie organizačné zmeny sa uskutočnili po presťahovaní sídla ústavu do Zvolena v r. 1964. Neskôr sa začalo s výstavbou novej budovy ústredia vo Zvolene, ktorá bola daná do užívania v roku 1968 pri príležitosti 70. výročia založenia ústavu. Postupne sa dobudovali výskumné stanice (Gabčíkovo, Liptovský Hrádok, Bratislava, Košice) a výskumné základne na Bielom Váhu, v Kysihýbli a na Veľkej Stráži pri Zvolene. Vývoj dospel do štádia, že od 1. 1. 1982 mal Výskumný ústav lesného hospodárstva vo Zvolene 7 výskumných odborov: genetiky a šľachtenia lesných drevín, pestovania lesov, lesnej techniky, lesných stavieb, ekonomiky a riadenia lesného hospodárstva, hospodárskej úpravy lesov a lesného prostredia a odbor ochrany lesa a poľovníctva.

V období rokov 1946 – 1989 sa výskum v oblasti biológie a šľachtenia drevín sústreďoval na výskum biológie, fyziológie, premenlivosti, introdukcie cudzokrajných drevín a na zachovanie genofondu najcennejších ekotypov hospodársky významných domácich drevín. Postupne vznikla sieť pokusných plôch s provenienciami, zameraná na získanie informácií o reakcii najmä lesných drevín na zmenu stanovištných podmienok a o možnostiach využitia prenosu reprodukčného materiálu v rámci umelej obnovy lesa. Pracovisko sa zapojilo do medzinárodnej spolupráce založením pokusných plôch patriacich do pokusných sérií IUFRO so smrekovcom (1944-46 a 1958-59), smrekom (série 1964-68 a 1972-78), borovicou lesnou (1982). Ďalej vznikli pokusy s duglaskou tisolistou (1972), jedľou (1968 a 1976), dubom letným a dubom zimným (1972, 1976).

Výsledky výskumu fenotypovej a genetickej premenlivosti postupne našli uplatnenie v právnych predpisoch, ktorými boli vyhlášky k Zákonom o lesoch z r. 1965 a 1977 a smernice (1985) na uznávanie lesných porastov a výberových stromov na zber a prenos semena a sadeníc. V r. 1987 bola pokynom vydaným ministerstvom zriadená Banka semien lesných drevín, ktorej prevádzka je dodnes pod odbornou gesciou Lesníckeho výskumného ústavu.

V oblasti pestovania lesov sa riešili problematiky škôlkarstva, zalesňovania, prirodzenej obnovy, výchovy, premien a prevodov ako aj pestovania účelových lesov. VS Gabčíkovo sa špecializovala na riešenia problematiky pestovania a šľachtenia topoľov, vrb, agáta a ďalších rýchlorastúcich drevín. V tomto období (medzi rokmi 1957 – 1984) bola pod vedením prof. Ing. Ladislava Štefančíka, DrSc. založená dodnes najvýznamnejšia sieť trvalých výskumných plôch (TVP) zameraných na výchovu lesných porastov. Obsahuje 8 sérií TVP v rôznych častiach Slovenska,

každá so 4-mi čiastkovými plochami, v nezmiešaných porastoch buka lesného (*Fagus sylvatica* L.), ktorý je na Slovensku najrozšírenejšou drevinou a 4 série TVP v zmiešaných (smrekovo-jedľovo-bukových) porastoch. Ďalších 30 výskumných plôch bolo založených za účelom výskumu pestovno-produkčných vzťahov v nezmiešaných smrekových, jedľových a dubových porastoch. V 80-tych rokoch, v čase najväčšieho rozmachu pestovateľského výskumu sa tento realizoval najmä prostredníctvom štátnych úloh. Popri štandardných pestovateľských témach sa postupne do popredia dostalo v tomto období riešenie najzávažnejšieho problému, ktorým bolo rastúce veľkoplošné poškodzovanie a následné odumieranie lesných porastov v dôsledku pôsobenia imisíí.

Zameranie pestovateľského výskumu v 80-tych rokoch ilustruje nasledovný zoznam riešených štátnych úloh:

***Technológie prípravy semien a výroby sadbového materiálu (1980 – 1985)***

- Uskladňovanie a predsejbová príprava osiva.
- Výroba substrátov, komplexná technológia spracovania pôdy a zvyšovanie jej úrodnosti.
- Komplexné ničenie buriny a ochrana semenáčikov a sadeníc pri veľkovýrobných škôlkarských technológiách.
- Vplyv výrobných technológií na fyziologické a štrukturálne vlastnosti semenáčikov a sadeníc.
- Technizácia pestovania semenáčikov na substrátoch.
- Zakladanie a obhospodarovanie priemyselných plantáží.
- Ekonomické hodnotenie výroby sadbového materiálu v škôlkarských strediskách a zakladanie lesných porastov.
- Pestovanie a použitie sadbového materiálu s obaľovanou koreňovou sústavou.

***Zvyšovanie biologickej hodnoty a produkcie lesov (1981 – 1986)***

- Výskum a rajonizácia uznaných porastov.
- Výskum genofondu výberových stromov a plodivosti semenných sadov.
- Zachovanie cenného genofondu hlavných lesných drevín na Slovensku zakladaním semenných sadov.
- Výskum proveniencií lesných drevín.
- Vyšľachtenie základného materiálu vybraných lesných drevín na zvyšovanie produkcie, kvality a odolnosti.
- Introdukcia perspektívnych cudzokrajných drevín.

***Intenzifikácia pestovania hospodárskych lesov so zreteľom na ich ekologickú stabilitu (1983 – 1986)***

- Šľachtenie mäkkých listnatých drevín a agáta.
- Intenzívne pestovanie mäkkých listnatých drevín a agáta so skrátenou rubnou dobou.
- Intenzívne pestovanie porastov ihličnatých a tvrdých listnatých drevín so skrátenou rubnou dobou.
- Komplexná racionalizácia výchovy mladých lesných porastov.
- Rekonštrukcie lesných porastov s nevhodným tvarom a drevinovým zložením.
- Obhospodarovanie lesov záujmového územia VD Gabčíkovo.
- Obhospodarovanie lesov v oblasti Východoslovenskej nížiny.

- Intenzifikácia diferencovaných biotechnológií so zameraním na zvýšenie produkčného potenciálu a stability hospodárskych lesov.

**Zachovanie, využitie a reprodukcia genofondu lesných drevín, najmä v ohrozených oblastiach (1987 – 1991)**

- Program záchrany genofondu a zdroje geneticky hodnotného semena.
- Predsejbová príprava, ochrana a testovanie kvality semien.
- Provenienčný výskum domácich a introdukovaných drevín.
- Selekcia a autovegetatívne rozmnožovanie lesných drevín, predovšetkým z ohrozených oblastí a pre priemyselné plantáže.
- Racionalizácia a optimalizácia rastových podmienok pri pestovaní semenáčikov a sadeníc.
- Nové technológie výroby a ochrany sadbového materiálu.

**Pestovanie lesov v zmenených ekologických podmienkach (1987 – 1990)**

- Šľachtenie listnatých rýchlorastúcich drevín pre ekologicky narušené stanovišťa.
- Rekonštrukcia lesov v oblasti sústavy VD Gabčíkovo – Nagymaros.
- Diferencované ciele hospodárenia v lesoch pod vplyvom imisií.
- Meliorácia prostredia a umelá obnova v lesoch pod vplyvom imisií.
- Obnovná ťažba v lesoch pod vplyvom imisií.

**Obdobie po roku 1989 do vzniku Národného lesníckeho centra (NLC)**

Po zmene spoločenských pomerov v roku 1989 došlo k významným zmenám aj v lesníckom výskume. Nové podmienky, najmä vo financovaní výskumu, si vyžiadali zmeny v organizačnej štruktúre, znižoval sa počet pracovníkov vo výskume (z 341 pracovníkov v roku 1990 na 136 pracovníkov v roku 2004, teda zníženie takmer o 40%) i rozsah výskumnej činnosti. V roku 1991 sa zmenil názov ústavu na Lesnícky výskumný ústav (LVÚ) Zvolen, vytvoril sa Odbor ekológie a ekofyziológie lesných drevín a zlúčili sa dva odbory do Odboru lesnej techniky a stavieb. Zásadná úprava organizačnej štruktúry sa uskutočnila v roku 2003. Znížil sa počet výskumných odborov z pôvodných 7 na 4 – Odbor ekológie a biodiverzity lesných ekosystémov, Odbor pestovania a lesníckych technológií, Odbor ochrany lesa a manažmentu zveri a Odbor lesníckej politiky, ekonomiky a hospodárskej úpravy lesov. Negatívnu úlohu zohral najmä nezáujem štátu financovať niektoré oblasti výskumu – medzi nimi aj pestovania lesov, semenárstvo a šľachtenie lesných drevín, ktoré do roku 1990 patrili medzi priority. V tomto období prebiehalo ešte riešenie posledných dvoch štátnych úloh zameraných osobitne na pestovateľskú problematiku. Úloha **Zachovanie a reprodukcia genofondu lesných drevín Slovenska**, sa zaoberala zachovaním genofondu domácich lesných drevín, dlhodobým skladovaním, predsejbovou prípravou a ochranou lesných semien, provenienčným výskumom lesných drevín v zmenených ekologických podmienkach a selekciou a rozmnožovaním odolných hybridov ohrozených domácich a perspektívnych cudzokrajných drevín pre zhoršené ekologické podmienky. Úloha **Obhospodarovanie lesov v meniacich sa ekologických podmienkach** riešila problematiku zakladania a obhospodarovania intenzívnych porastov, pestovanie sadbového materiálu pre rôzne imisno-ekologické podmienky, zalesňovanie a meliorácie pôdy v rôznych imisno-ekologických podmienkach a výchovu a obnovu porastov v lesoch pod vplyvom imisií. Zmeny v priemyselnej výrobe postupne priniesli aj zníženie imisnej záťaže lesných porastov a do popredia sa začala

dostávať problematika nových ekonomických podmienok lesného hospodárstva, ktorá sa riešila v rokoch 1991 – 1996 v rámci úlohy **Ekologické sústavy obhospodarovania lesov v meniacich sa prírodných a ekonomických podmienkach SR**. Do popredia sa dostávali tiež otázky biodiverzity lesných ekosystémov, jej zachovania a zvyšovania prostredníctvom pestovateľských opatrení. Spoločenskú požiadavku z tejto problematiky plnilo riešenie výskumnej úlohy **Zachovanie biodiverzity vybraných lesných spoločenstiev a ich integrovaná ochrana** (1996 – 1999), **Výskum šľachtenia lesných drevín pre zhoršené ekologické podmienky** (1994-1997) a účasť v medzinárodnom projekte USDA-IUFRO **Vplyv zdravotného stavu na biodiverzitu lesov v Karpatoch s dôrazom na znečistenie ovzdušia** (1997-2001). Pracovníci VS v Liptovskom Hrádku podieľali na príprave vyhlášky MP SR 64/2001. Poskytla právny základ pre výkon odborného dohľadu a na zriaďovanie génových základní lesných drevín slúžiacich na zachovanie genofondu pôvodných populácií lesných drevín. V období pred vstupom do EÚ LVÚ zabezpečoval prípravu zákona 510/2004 o lesnom reprodukčnom materiáli. Od r. 2004 je LVÚ oficiálnym orgánom SR v rámci systému EÚ a aj v Schéme OECD pre certifikáciu lesného reprodukčného materiálu v medzinárodnom obchode.

V súvislosti s odumieraním smrekových porastov sa aktuálnou stala problematika pestovania horských lesov, ktorá sa riešila v úlohe **Výskum metód obhospodarovania horských lesov na princípe trvalo udržateľného rozvoja** (1999 – 2002). Potom sa začala riešiť problematika globálnej klimatickej zmeny a rekonštrukcií ohrozených lesných porastov. Úloha **Vplyv globálnej klimatickej zmeny na lesy Slovenska** sa riešila v rokoch 2003 – 2007 a úloha **Rekonštrukcie nepôvodných lesných spoločenstiev ohrozených zmenou prírodných podmienok (najmä klímy) na ekologicky stabilnejšie ekosystémy** v rokoch 2005 – 2008 a pestovateľské problematiky sa v nich dostali už iba do pozície výskumných etáp: „Optimalizácia pestovných opatrení a technológií z aspektu klimatickej zmeny“ v čiastkovej úlohe **Dôsledky klimatickej zmeny na leé ekosystémy** a etapa „Pestovné opatrenia a technológie rekonštrukcie nepôvodných smrečín“ v čiastkovej úlohe **Zásady a postupy hospodárskej úpravy a pestovania lesov pri rekonštrukcii nepôvodných lesných spoločenstiev a ich ekonomické zhodnotenie**. Pestovateľský výskum bol v tomto období zameraný najmä na:

- Návrh postupov zakladania lesa z aspektu očakávaných klimatických zmien.
- Optimalizáciu pestovných opatrení pri výchove a obnove lesa s ohľadom na klimatické zmeny.
- Metódy a postupy rekonštrukcie vybraných porastových typov na porastové typy odpovedajúce zmeneným klimatickým podmienkam.
- Technologické aspekty pestovných opatrení v zmenených klimatických podmienkach.
- Pestovateľské stratégie pri zmene drevinového zloženia a štruktúry lesných ekosystémov vzhľadom na klimatickú zmenu.

V roku 2004 po mimoriadnej veternej kalamite, ktorá 19. novembra postihla Vysoké Tatry pracovníci odboru Pestovania lesa koordinovali vypracovanie realizačného projektu s názvom **Projekt revitalizácie lesných ekosystémov na území Vysokých Tatier postihnutom veternou kalamitou dňa 19.11.2004**, kde boli naformulované základné rámce a postupy revitalizácie postihnutého územia a následného manažmentu.

Od roku 2005 sa významným zdrojom pre financovanie výskumu na Slovensku stala novozriadená Agentúra na podporu vedy a techniky (APVT) (zákon

č. 172/2005 Z. z. o organizácii štátnej podpory výskumu a vývoja), dnes pod názvom Agentúra na podporu výskumu a vývoja (APVV). Možno povedať, že iba vďaka projektom podporeným touto agentúrou bolo možné zachovať na LVÚ Zvolen pestovateľský výskum. V roku 2005 bolo podporené riešenie nasledovných projektov APVT:

- Výskum základných ekologických aspektov prirodzenej autovegetatívnej obnovy smreka na hornej hranici lesa.
- Výskum odolnosti krytokorenného sadbového materiálu lesných drevín na sucho.
- Výskum vplyvu výchovy na vývoj sm-jd-bk porastov.
- Diagnóza a súčasný výskyt karanténnych húb z rodu *Mycosphaerella* (*Scirrhia*) na ihličí borovíc na Slovensku.

### **Obdobie po vzniku Národného lesníckeho centra**

Od 1.1.2006 sa Lesnícky výskumný ústav Zvolen stal jedným z ústavov Národného lesníckeho centra. Pri tejto zmene opäť poklesol počet pracovníkov ústavu z približne 150 v roku 2005 na 87 v roku 2006. Kontinuálne pokračoval pokles financovania výskumu zo strany zriaďovateľa. Kým pri vzniku NLC v roku 2006 bola na výskum alokovaná v kontrakte s Ministerstvom pôdohospodárstva SR čiastka 32,5 mil. SK (v prepočte cca 1,1 mil. €), v roku 2019 to bolo už iba 306,08 tis. €. V roku 2009 vedenie MPRV SR schválilo materiál „Nový model vedy a výskumu v rezorte pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky“. Na základe tohto materiálu sa od roku 2010 poskytuje podpora výskumu a vývoja pre príspevkové organizácie v zriaďovateľskej pôsobnosti MPRV SR, ktoré realizujú výskum v dvoch formách – inštitucionálna forma (výskumný zámer) a účelová forma (projekty výskumu a vývoja), pričom na každú z nich ide 50% alokovaných prostriedkov. NLC-LVÚ Zvolen odvtedy rieši pre zriaďovateľa už len jednu prierezovú výskumnú úlohu. Do roku 2012 to bol projekt **Výskum efektívneho využívania environmentálneho, ekonomického a sociálneho potenciálu lesov na Slovensku (I)**, kde pestovateľský výskum bol realizovaný v rámci čiastkovej úlohy **Výskum reprodukčných zdrojov a postupov environmentálne priaznivého pestovania lesa a lesníckych technológií**.

Odboru pestovania a lesníckych technológií LVÚ sa v tomto období podarilo prvýkrát zapojiť do projektov financovaných EÚ:

- TreeBreedEx - Funkčný model šľachtenia drevín pre konkurencieschopné, multi-funkčné a udržateľné Európske lesníctvo 6. rámcového programu EÚ (2006-2011).
- EUFGIS - Vytvorenie Európskeho informačného systému pre lesné genetické zdroje (2007-2011) v programe EÚ RESGEN pre genetické zdroje v pôdohospodárstve.

V rokoch 2013 – 2015 pokračovalo riešenie projektu **Výskum efektívneho využívania environmentálneho, ekonomického a sociálneho potenciálu lesov na Slovensku (II)** s čiastkovou úlohou **Pestovanie štruktúrne diferencovaných (prírode blízkych) lesov**, kde sa riešili nasledovné etapy:

- Rekonštrukcie rovnorodých smrekových porastov na štruktúrne diferencované
- Inovácie pri obnove lesa.
- Hodnotenie rastu a produkcie rovnorodých a zmiešaných porastov.

V rokoch 2016 – 2018 sa Na NLC-LVÚ Zvolen riešila pre zriaďovateľa úloha **Výskum a vývoj pre inovácie a podporu konkurencieschopnosti lesníckeho Sektora** kde pestovateľská problematika bola zastúpená iba jednou vecnou etapou

„Inovatívne metódy a postupy intenzívnej produkcie dendromasy rýchlorastúcich drevín a sortimentov vysokej kvality vybraných hospodárskych drevín“. Od roku 2019 je v rámci kontraktu s MPRV SR riešená úloha **Výskum a vývoj na podporu konkurencieschopnosti slovenského lesníctva (2019 – 2021)**, ktorá obsahuje čiastkovú úlohu **Pestovateľské systémy na podporu produkcie dreva**. V rámci nej sú riešené formou vecných etáp nasledovné problematiky:

- Výskum možností využívania agrolesníckych systémov na Slovensku.
- Výskum genofondu a adaptability domácich drevín a testovanie lesného reprodukčného materiálu introdukovaných druhov.

Aj po vzniku NLC zostali významným zdrojom financovania pestovateľského výskumu projekty podporené Agentúrou na podporu výskumu a vývoja. Postupne boli podporené a riešené nasledovné projekty vedené pracovníkmi Odboru pestovania:

- Možnosti zvýšenia kvantity a kvality drevnej produkcie vybraných rýchlorastúcich lesných drevín (2007-2009).
- Progresívne postupy pestovania sadbového materiálu a umelej obnovy lesných porastov po kalamitách veľkého rozsahu (2008-2010).
- Možnosti racionalizácie výchovy bukových porastov na základe zhodnotenia ich rastu a vývoja na dlhodobo sledovaných trvalých výskumných plochách (2012-2015).
- Optimalizácia postupov rekonštrukcií odumierajúcich smrečín na zmiešaný cieľový les (2012-2015).
- Výskum možností pestovania borievky (*Juniperus communis* L.) na produkciu plodov (2015-2019).
- Zhodnotenie rastu, štruktúry a hodnotovej produkcie bukových porastov pod dlhodobým vplyvom rozdielnych manažmentových opatrení (2016-2020).
- Možnosti využitia vybraných introdukovaných drevín z ekologického a produkčného hľadiska na lesných a poľnohospodárskych pôdach Slovenska v meniacich sa klimatických podmienkach (2018-2022).

Ako partner sme spolu s Lesníckou fakultou TU Zvolen riešili projekty APVV so zameraním na zachovanie a využitie genofondu:

- Adaptívny genetický potenciál lesných drevín v kontexte klimatických zmien (2013-2017) a
- Analýza adaptácie lesných drevín na zmenu stanovištných podmienok na základe provenienčného výskumu a genetických markérov (2008-2011).

Meniaci sa pohľad spoločnosti na význam drevín v krajine sa v posledných rokoch prejavuje v dopyte po riešení medzisektorálnych problémov (lesníctvo x poľnohospodárstvo, lesníctvo x životné prostredie) na čo reagovalo aj zameranie pestovateľského výskumu. V roku 2013 sa upravil názov odboru na Odbor pestovania a produkcie lesa a od roku 2014 sme sa ako prvé pracovisko na Slovensku, začali systematicky venovať problematike agrolesníckych systémov, kde má NLC nadviazanú medzinárodnú spoluprácu, ako člen konzorcia projektu AGFOSY (**Agrolesnícke systémy – príležitosť pre európsku krajinu a poľnohospodárstvo**, 2018 – 2020). Spoluprácu so sektorom životného prostredia možno zase ilustrovať našou participáciou na projekte **Obnova a manažment dunajských lužných biotopov** (LIFE+, 2015-2022), ktorého prijímateľom je Bratislavské regionálne ochranárske združenie.

V rámci medzinárodnej spolupráce patrí k najvýznamnejším účasť v projekte SUSTREE - **Zachovanie a trvalo udržateľné využitie diverzity lesných drevín**

**v podmienkach klimatickej zmeny (2016 – 2019) v rámci programu EÚ INTERREG Stredná Európa.**

### **Ako ďalej? Vízie a zámery do budúcnosti**

Pestovanie lesa ako základná lesnícka disciplína má nezastupiteľné miesto pri manažmente lesných drevín v krajine. Ako vidieť z vyššie uvedeného prehľadu, výskum v oblasti pestovania lesa počas celej jeho existencie na dnešnom NLC bol primárne zameraný riešenie úloh aplikovaného a čiastočne aj základného výskumu v oblastiach vývoja lesných ekosystémov (pôvodných i zmenených), semenárstva, genetiky a šľachtenia lesných drevín, zakladania, pestovania a obhospodarovania lesných porastov, s využitím jeho výstupov pre praktické hospodárenie v lesoch.

Naším zámerom je pokračovať v pestovateľskom výskume, ktorý sa vyznačuje dlhodobosťou a komplexnosťou a bude využiteľný pre prax. Zámerom je zároveň aj reflektovať na nové a naliehavé výzvy, ktoré pred lesníctvo kladie spoločnosť a zmena klímy. Príležitosť pre budúce obdobie vidíme v potrebe inovácií pestovateľských systémov v kontexte meniacich sa prírodných podmienok a požiadaviek spoločnosti na využívanie funkcií lesov, ako aj v uplatnení sa pestovateľského výskumu pri riešení medzisektorálnych problémov a pri prechode celého odvetvia pôdohospodárstva na princípy tzv. zelenej ekonomiky.

### **Použitá literatúra**

- ZACHAR, D., KOVÁČSOVÁ, K. *Výskumný ústav lesného hospodárstva vo Zvolene (Vznik, vývoj, organizácia a prehľad činnosti)*. Publikácia vydaná pri príležitosti 70 výročia lesníckeho výskumu na Slovensku. VÚLH Zvolen, SVPL Bratislava, 1968. 174 s.
- ZACHAR, D., KOVÁČSOVÁ, K. *Výskumný ústav lesného hospodárstva vo Zvolene (Organizácia a prehľad činnosti v období 1968 – 1972)*. Publikácia vydaná pri príležitosti 75 výročia lesníckeho výskumu na Slovensku. VÚLH Zvolen, Príroda Bratislava, 1973. 235 s.
- KOČIOVÁ, M. *Vývoj lesníckeho šľachtiteľského výskumu*. Vedecké práce Výskumného ústavu lesného hospodárstva vo Zvolene XXVIII, 1978. s 79-100.
- ZACHAR, D., KOVÁČSOVÁ, K. *Výskumný ústav lesného hospodárstva vo Zvolene (Organizácia a prehľad činnosti v období 1973-1977)*. Publikácia vydaná pri príležitosti 80 výročia lesníckeho výskumu na Slovensku. VÚLH Zvolen, Príroda Bratislava, 1979. 320 s.
- CHUDÍK, I. a kol. *Výskumný ústav lesného hospodárstva vo Zvolene (Organizácia a prehľad činnosti v období 1978-1982)*. Publikácia vydaná pri príležitosti 85. výročia lesníckeho výskumu na Slovensku. Príroda Bratislava, 1983. 361 s.
- CHUDÍK, I. a kol. *Výskumný ústav lesného hospodárstva vo Zvolene (90)*. Publikácia vydaná pri príležitosti 90 výročia lesníckeho výskumu na Slovensku. Príroda Bratislava, 1988. 392 s.
- TUTKA, J. a kol. *95 rokov Lesníckeho výskumného ústavu vo Zvolene*. Publikácia vydaná pri príležitosti 95 výročia lesníckeho výskumu na Slovensku. SAP Bratislava, 1993. 324 s.
- KONÔPKA, J. a kol. *Lesnícky výskumný ústav Zvolen – história a súčasnosť*. Publikácia k 115. výročiu organizovaného lesníckeho výskumu na Slovensku. NLC-LVÚ Zvolen, Nikara, Krupina, 2013. 215 s.
- BUCHA, T. (ed.) *Lesnícky výskumný ústav Zvolen – 120. výročie organizovaného lesníckeho výskumu na Slovensku. História a pôsobenie ústavu v rokoch 2013-2018*. Zvolen, NLC-LVÚ Zvolen, 2018. 164 s.

**Sekce 3**  
**OBNOVA LESA A ZALESŇOVÁNÍ**

**Session 3**  
**FOREST REGENERATION AND REFORESTATION**



## POTENCIÁL PŘIROZENÉ OBNOVY SMÍŠENÝCH POROSTŮ V KRKONOŠSKÉM NÁRODNÍM PARKU: STRUKTURA, DYNAMIKA A VLIV ZVĚŘE

### NATURAL REGENERATION POTENTIAL OF MIXED FORESTS IN KRKONOŠE MTS. NATIONAL PARK: STRUCTURE, DYNAMICS AND EFFECT OF GAME

Anna Prokúpková, Zdeněk Vacek\*, Stanislav Vacek, Daniel Bulušek

Česká zemědělská univerzita, Fakulta lesnická a dřevařská, Kamýčká 129, 165 21 Praha 6 – Suchdol, ČR

\*corresponding author: vacekz@fld.czu.cz

#### Abstract

*Ecological stability, higher resistance and sustainability of production are the main advantages of mixed forest stands enhanced by current climate change. However, game damage can significantly affect the dynamics of natural regeneration, including species composition. The present study describes the structure, dynamics and effect of ungulate on the natural regeneration of autochthonous mixed stands on 10 research plots in the altitude gradient in the western part of the Krkonoše Mts. National Park. The average density of natural regeneration was 28420 pcs ha<sup>-1</sup> with a dominant share of European beech (*Fagus sylvatica* L.; 88.8 %). Compared to the tree layer, the increase of beech proportion (+25.1 %) at the expense of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.; -29.2 %] was observed in regeneration. The lowest share of game damage was found in spruce (48.5 %), whereas the regeneration of silver fir (*Abies alba* Mill.; 100.0 %) and sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.; 91.1%) was strictly limited. The horizontal structure of regeneration was significantly clustered, with a higher tendency to aggregation in individuals damaged by browsing. The highest damage was recorded in regeneration of < 1.5 m, while frequency of damage increased with decreasing recruit height, as well as increasing species diversity.*

**Keywords:** diversity, game damage, species composition, protected area, Central Europe

#### Abstrakt

*Ekologická stabilita, vyšší odolnost a trvalost produkce jsou hlavní přednosti smíšených lesů umocněné současnou klimatickou změnou. Škody zvěří však mohou výrazně ovlivňovat vývoj přirozené obnovy včetně změny druhového složení. Studie popisuje strukturu, dynamiku a vliv zvěře na přirozenou obnovu autochtonních smíšených porostů na 10 zkusných plochách ve výškovém gradientu v západní části Krkonošského národního parku. Průměrný počet přirozené obnovy dosahoval 28420 ks.ha<sup>-1</sup> s dominantním podílem buku lesního (*Fagus sylvatica* L.; 88,8 %). Při porovnání se stromovým patrem, byl u přirozené obnovy zjištěn nárůst podílu buku (+25,1 %) na úkor smrku ztepilého [*Picea abies* (L.) Karst.; -29,2 %]. Nejnižší škody zvěří byly zjištěny u smrku (48,5 %), naopak obnova jedle bělokoré (*Abies alba* Mill.;100,0 %) a javoru klenu (*Acer pseudoplatanus* L.; 91,1 %) byla zvěří silně limitována. Horizontální struktura obnovy je výrazně shlukovitá, s vyšší tendencí k agregovanosti u jedinců poškozených okusem. Nejvyšší škody okusem byly zaznamenány u obnovy s výškou do 1,5 m, přičemž s klesající výškou obnovy četnost škod stoupala, tak jako se zvyšující druhovou diverzitou.*

**Klíčová slova:** diverzita, škody zvěří, druhová skladba, chráněná území, střední Evropa

#### Úvod a problematika

Vrcholem přírodního ekosystému je přirozený les, jehož složky se pomocí látkové výměny velmi dlouhodobě vzájemně ovlivňují. Současný stav lesů v České republice, podobně jako v sousedních státech střední Evropy, je výsledkem hospodářského, kulturního a politického vývoje (VACEK et al. 2010). Bez pochybností lze tvrdit, že všechny současné směry lesního hospodářství mají široký biologický a ekologický základ, který nejrozsáhleji aplikují postupy tzv. přírodě blízké (VACEK, PODRÁZSKÝ 2006). Původní a přírodní lesy slouží jako modelový objekt pro výzkum ekologické samostatnosti a vyrovnanosti (KUULUVAINEN, AAKALA 2011). V České republice se jedná především o národní přírodní rezervace, přírodní rezervace, I. zóny

chráněných krajinných oblastí a národních parků, tak jako v našem případě. Zvláště pak přirozené a původní lesy se v dynamické rovnováze udržují svým druhovým složením, specifickou věkovou a prostorovou strukturou (VACEK et al. 2010).

V posledních letech se přirozená obnova v přírodních lesích stala celosvětově hlavní prioritou udržitelného lesního hospodářství, zejména pak v Evropě (BOBROWSKI et al. 2015). Přirozená obnova je neodmyslitelným prvkem přirozené dynamiky lesů a zařazuje se k obecnému pojetí lesnické adaptace (MILLAR et al. 2007) a zároveň je indikátorem vitality a stability lesních porostů (ŠTÍCHA et al. 2010). Autochtonní smíšené porosty mají vysokou schopnost autoregulace a jsou často brány, jako modely pro výzkum ekologické stability a udržitelnosti při porovnání s monokulturami (VACEK et al. 2014), avšak jeden z klíčových problémů přirozené obnovy v horských lesích je okus spárkatou zvěří (SENN, SUTER 2003; VACEK et al. 2014). Okus spárkatou zvěří je považován za problém obnovy lesů po celém světě (AMMER 1996; BOBROWSKI et al. 2015). Okus negativně ovlivňuje růst, což může zapříčinit ovlivnění druhového složení v porostu, zejména pak atraktivních dřevin pro zvěř (EDENIUS et al. 2002; SLANAŘ et al. 2017).

V posledním desetiletí v Krkonošském národním parku byla zvýšena ekologická stabilita a posílena biodiverzita lesních porostů. Mnohem více se při přírodě blízkém managementu v lesních porostech využívá přírodních procesů a nejvíce zejména přirozené obnovy, ať již spontánní nebo řízené (VACEK et al. 2009, 2010). Cílem této studie byl popis struktury a vývoje přirozené obnovy ve smíšených porostech s vyššími stupni přirozenosti na stanovištích jedlobučin a acidofilních horských bučin v západních Krkonoších v oblasti Dolní Mísečky. Dílčím cílem bylo zhodnocení obnovy v úzké vazbě ke stromovému patru a škodám zvěří.

## **Materiál a metodika**

### ***Charakteristika zájmového území***

Studované výzkumné plochy se nacházejí v I. zóně ochrany přírody Krkonošského národního parku Bažinky, kde se zachovaly přírodě blízké smíšené smrkobukové porosty s přimíšeným javorem klenem (*Acer pseudoplatanus* L.), vtroušenou jedlí bělokorou (*Abies alba* Mill.) a jeřábem ptačím (*Sorbus aucuparia* L.). Před založením parku zde byla v roce 1960 zřízena státní přírodní rezervace. Bažinky se rozkládají na severovýchodním úbočí Kozelského hřebene, který odbíhá k jihu od západokrkonošského masívu Kotle. První trvale výzkumné plochy (TVP) zde byly založeny v roce 1968. Základní mateční horninou je chlorit-muskoviticko-albitický fylit a převládajícím půdním typem kambizem modální. Průměrná roční teplota lokality činí 6 až 4 °C a úhrn srážek se pohybuje okolo 1200 mm. Délka vegetační doby se pohybuje mezi 116–92 dny (VACEK et al. 1987). Přehled základních stanovištních a porostních charakteristik zkoumaných TVP je uveden v Tab. 1.

**Tab. 1:** Přehled základních stanovištních a porostních charakteristik trvale výzkumných ploch  
**Tab. 1:** Overview of basic site and stand characteristics of permanent research plots

ID	GPS	Altitude	Exposition	Slope	Forest type <sup>1</sup>	Tree species <sup>2</sup>	Age	Diameter	Height	Volume
ID	GPS	Nad. výška (m)	Expozice	Sklon (°)	Lesní typ	Dřeviny	Věk	Tloušťka (cm)	Výška (m)	Zásoba (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
A	50°44'02.19"N 15°32'19.55"E	940	E	23	6S	FS, PA, AP	189	27	15	450
B	50°43'53.47"N 15°32'09.69"E	1100	E	25	6S	FS, PA, AP	158	23	13	560

Vysvětlivky/Notes: <sup>1</sup>6S – *Piceo-Fagetum oligomesotrophicum*, *Calamagrostio villosae-Fagetum* Mikyška 1972; Dřeviny/Species<sup>2</sup>: FS – *Fagus sylvatica* L., PA – *Picea abies* (L.) Karst., AP – *Acer pseudoplatanus* L.

### Sběr dat

Sběr dat proběhl na 2 TVP o velikosti 50×50 m (0,25 ha). Pro stanovení struktury přirozené obnovy bylo na každé TVP vytyčeno 5 subploch o velikosti 10×5 metrů. Volba místa pro umístění subploch byla provedena tak, aby transekty nejlépe charakterizovaly přirozenou obnovu na celé TVP. Z hlediska přirozené obnovy byli měřeni všichni jedinci, jejichž výčetní tloušťka (DBH) byla < 4 cm. U každého jedince byla změřena pozice, výška, šířka koruny, tloušťka kořenového krčku, výška nasazení zelené koruny a určena dřevina a škody okusem (bez poškození, boční okus, terminální a opakovaný boční okus).

### Analýza dat

U jedinců přirozené obnovy byla zhodnocena vertikální struktura na základě Giniho indexu a horizontální struktura na základě Hopkins-Skellamova indexu, Pielou-Mountfordova indexu, Clark-Evansova indexu a Ripleyovi *K*-funkce (RIPLEY 1981). Z hlediska druhé skladby byly vypočteny následující indexy: Shannonův a Simpsonův index druhé různorodosti, Pielouův a Hillův index druhové vyrovnanosti a Margalefův a Menhinickův index druhové vyrovnanosti (Tab. 2; cf. VACEK et al. 2015; Slanař et al. 2017).

**Tab. 2:** Přehled indexů popisujících diverzitu obnovy a jejich interpretace**Tab. 2:** Overview of the indices describing regeneration diversity and their interpretation

Criterion	Quantifiers	Label	Reference	Evaluation
Kritérium	Kvantifikátor	Označení	Reference	Hodnocení
Species diversity <i>Druhová diverzita</i>	Heterogeneity <i>Různorodost</i>	$H'$ (Shi) $\lambda$ (Sii)	SHANNON (1948) SIMPSON (1949)	minimum $H'$ ( $\lambda$ ) = 0, higher $H'$ ( $\lambda$ ) = higher values
	Evenness <i>Vyrovnanost</i>	$E_1$ (Pi) $E_2$ (Hi)	PIELOU (1975) HILL (1973)	range 0-1; minimum $E = 0$ , maximum $E = 1$
	Richness <i>Bohatost</i>	$D_1$ (Mai) $D_2$ (Mei)	MARGALEF (1958) MENHINICK (1964)	minimum $D = 0$ , higher $D =$ higher values
Horizontal structure <i>Horizontální struktura</i>	Index of non-randomness <i>Indexy nenáhodnosti</i>	$\alpha$ (P&Mi) $A$ (H&Si)	PIELOU (1959); MOUNTFORD (1961) HOPKINS, SKELLAM (1954)	mean value $\alpha = 1$ , aggregation $\alpha > 1$ , regularity $\alpha < 1$ mean value $A = 0.5$ , aggregation $A > 0.5$ , regularity $A < 0.5$
	Aggregation index <i>Agregační index</i>	$R$ (C&Ei)	CLARK, EVANS (1954)	mean value $R = 1$ , aggregation $R < 1$ , regularity $R > 1$
	Vertical structure <i>Vertikální str.</i>	Gini index <i>Giniho index</i>	$G_h$ (Gii)	GINI (1921)

Pro výpočet prostorového rozmístění jedinců na TVP byl použit program PointPro 2 (© Zahradník, Puš). Test významnosti odchylek oproti hodnotám očekávaným pro náhodné uspořádání bodů byl proveden pomocí Monte Carlo simulací pro 999 náhodně vygenerovaných bodových struktur. Kalkulace indexů popisující druhovou diverzitu a grafické výstupy byly vytvořeny v programu Excel (© Microsoft). Analýza hlavních komponentů (PCA) byla provedena v programu CANOCO 5 (© Microcomputer Power) pro zhodnocení vztahu mezi růstovými parametry obnovy, diverzitou a škodami zvěří. Data byla zlogaritmována, vycentrována a standardizována v průběhu analýzy. Výsledky byly prezentovány formou ordinačního diagramu.

## Výsledky a diskuze

### Struktura a diverzita přirozené obnovy

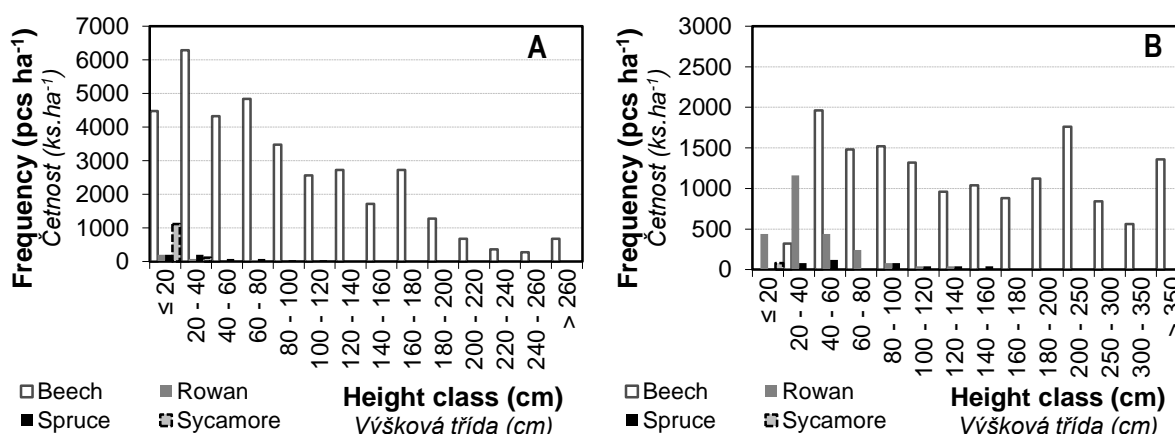
Počet přirozené obnovy smíšených porostů se pohyboval v rozmezí 5800–79000 ks.ha<sup>-1</sup> na dolní TVP A a v rozmezí 1000–41600 ks.ha<sup>-1</sup> na horní TVP B (Tab. 3). Průměrný počet obnovy dosahoval v přepočtu 28420 ks.ha<sup>-1</sup>. VACEK et al. (2010) na studované lokalitě Bažinky uvádí v porostech s pokročilejším stadiem rozpadu vyšší počty přirozené obnovy (96720–109040 ks ha<sup>-1</sup>), porovnatelné počty uvádí z lokality U Bukového pralesa v oblasti Rýchor (13320–47960 ks ha<sup>-1</sup>). Vyšší počet přirozené obnovy byl také zjištěn ve smíšených smrkobukových porostech v Orlických horách (34040–40420 ks.ha<sup>-1</sup>; VACEK et al. 2014) a v Jizerských horách (24964–77036 ks.ha<sup>-1</sup>; SLANAŘ et al. 2017). Průměrná výška na TVP A dosahovala 85,2 cm ( $\pm 68,1$  SD), resp. 148,1 cm ( $\pm 116,5$  SD) na TVP B. Dominantní buk dosahoval průměrné výšky na TVP A 89,3 cm, klen 10,1 cm, jeřáb 24,1 cm, smrk 40,8 cm a jedle 51,6 cm. Na TVP B byly průměrné výšky u buku 168,5 cm, klenu 7,0 cm, jeřábu 38,5 cm a smrku 75,0 cm. Celkově vyšší variabilita z hlediska hustoty obnovy, výšky a šířky koruny byla zjištěna na TVP B. Výškové rozdělení obnovy na TVP A je levostranné, přičemž obnova na TVP B je již odrostlejší s nejčetněji zastoupenými výškovými třídami v rozmezí 20–60 cm (Obr 1).

**Tab. 3:** Růstové charakteristiky a indexy popisující diverzitu přirozené obnovy na trvale výzkumných plochách A a B v roce 2016

**Tab. 3:** The growth characteristic and indices describing the diversity of natural regeneration on permanent research plots A and B in 2016

ID	N	H	CW	GD	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	$\lambda$	H'	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	A	$\alpha$	R	G <sub>h</sub>
	pca ha <sup>-1</sup>	cm	cm	%										
A1	5800	22,7	18,8	69,0	0,59	0,56	0,35	0,65	0,60	0,58	0,74	2,09	0,81	0,34
A2	26200	95,9	56,8	61,8	0,41	0,26	0,03	0,09	0,08	0,33	0,69	2,08	0,86	0,31
A3	79000	113,2	53,7	73,4	0,50	0,20	0,05	0,13	0,09	0,34	0,76	2,97	0,93	0,25
A4	28200	118,0	63,9	65,2	0,61	0,34	0,08	0,22	0,16	0,37	0,76	2,68	0,87	0,36
A5	54800	29,7	22,6	89,1	0,71	0,30	0,24	0,51	0,32	0,48	0,75	2,71	0,88	0,31
B1	1000	321,0	131,4	40,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59	1,90	1,01	0,16
B2	4400	149,7	88,9	59,1	0,32	0,42	0,16	0,30	0,43	0,55	0,67	2,26	0,91	0,25
B3	19600	152,4	69,1	74,5	0,50	0,20	0,19	0,40	0,29	0,47	0,94	7,40	0,65	0,36
B4	23600	211,4	80,2	73,7	0,49	0,18	0,21	0,43	0,31	0,51	0,76	2,96	0,91	0,37
B5	41600	105,9	35,3	72,1	0,38	0,21	0,35	0,59	0,53	0,66	0,82	3,71	0,79	0,32

Vysvětlivky/Notes: N – number of regeneration/počet obnovy, H – height/výška, CW – crown width/šířka koruny, GD – game damage/škody zvěří, D<sub>1</sub> and D<sub>2</sub> – species richness/druhová bohatost,  $\lambda$  and H' – species heterogeneity/druhová různorodost, E<sub>1</sub> and E<sub>2</sub> – species evenness/druhová vyrovnanost, A,  $\alpha$  and R – horizontal structure/horizontální struktura, G<sub>h</sub> – vertical structure/vertikální struktura; A,  $\alpha$  and R – bold statistically significant value/zvýrazněné statisticky významné hodnoty ( $\alpha=0.05$ )

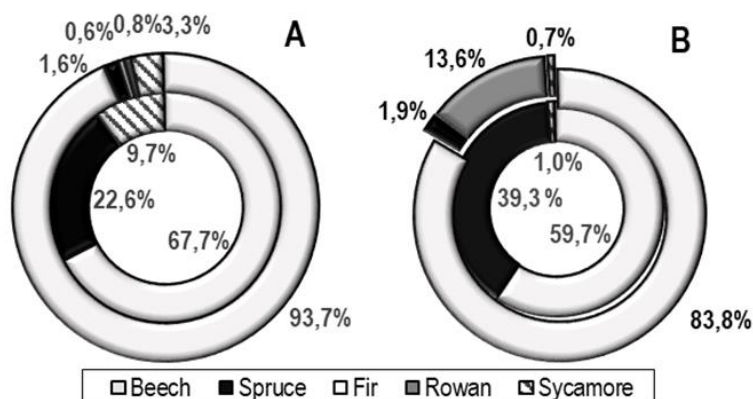


**Obr. 1:** Výšková struktura přirozené obnovy diferencovaně dle hlavních dřevin na trvale výzkumných plochách A a B v roce 2016

**Fig. 1:** Height structure of natural regeneration specified according to main tree species on permanent research plots A and B in 2016

Z hlediska druhové diverzity (D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>) se jedná o druhově středně bohatou až velmi bohatou obnovu porostu na dolní TVP A, resp. nízkou až střední diverzitu na horní TVP B. Z hlediska druhové různorodosti na obou TVP převládá nízká až střední diverzita ( $\lambda$ , H'), podobně jako u druhové vyrovnanosti (E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>). V druhovém zastoupení buk v přirozené obnově tvoří 83,8–93,7 %, což je při porovnání s horní etáží nárůst o 25,1 % (Obr. 2). Nárůst podílu buku v přirozené obnově byl také sledován v CHKO Jizerské hory s nárůstem podílu buku až o 71 % (VACEK et al. 2019). Expanze buku v horských polohách byla také zjištěna např. v Německu (DULAMSUREN et al. 2017). Opačný trend byl sledován na studovaných TVP u smrku ztepilého – pokles o 29,2 % u přirozené obnovy. Podobně došlo také k poklesu

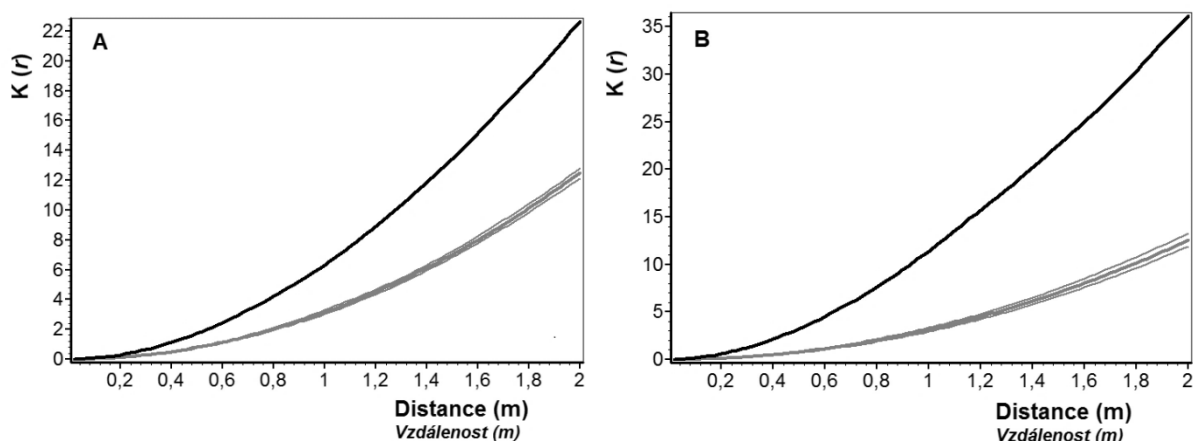
zastoupení javoru klenu. Velkou část obnovy na horní TVP B tvoří jeřáb ptačí (13,6 %). Jedle bělokorá je zastoupena pouze na dolní TVP A s 0,6 %.



**Obr. 2:** Podíl druhového složení přirozené obnovy podle počtu jedinců (vnější kružnice) a stromového patra podle objemu porostu (vnitřní kružnice)

**Fig. 2:** Proportions of tree species composition of natural regeneration according to recruit numbers (outer circle) and tree layer according to stand volume (inner circle)

Vertikální struktura obnovy byla na TVP nízká až střední ( $G_h$ ; Tab. 3). Indexy popisující horizontální strukturu ( $A$ ,  $\alpha$ ,  $R$ ) poukazují na signifikantní agregované prostorové rozmístění přirozené obnovy, shodně jako v ostatních horských oblastech České republiky (VACEK et al. 2014; BULUŠEK et al. 2016; KRÁLÍČEK et al. 2017; SLANAŘ et al. 2017), tak jako i v zahraničí (NAGEL et al. 2006; PALUCH 2007). Signifikantní horizontální strukturu také dokumentuje  $K$ -funkce s výraznější agregovaností na horní TVP B (Obr. 3).



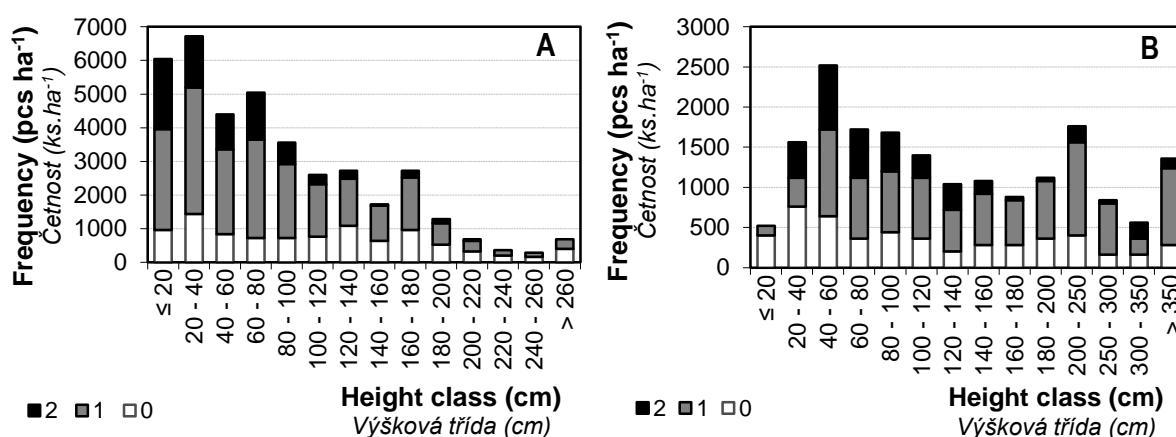
**Obr. 3:** Horizontální struktura přirozené obnovy na trvale výzkumných plochách A a B vyjádřená  $K$ -funkcí; černá linie zachycuje  $K$ -funkci pro reálné vzdálenosti jedinců na ploše, silná šedá čára střední průběh pro náhodné rozdělení obnovy a dvě slabší křivky prezentují 95 % interval spolehlivosti; černá linie rozdělení obnovy nad tímto intervalem reprezentuje agregovanou strukturu

**Fig. 3:** Horizontal structure of natural regeneration on permanent research plots A and B expressed by  $K$ -function; the black line represents the  $K$ -function for real distances of regeneration on plot, the thick grey line illustrates the random spatial distribution of regeneration and two thinner central curves represent a 95% confidence interval; the black line of regeneration distribution above this interval shows an aggregation structure

### Škody zvěří

Podíl obnovy poškozené zvěří dosahoval na TVP rozmezí 40,0–89,1 % (Tab. 3). Nejvíce byla poškozena obnova jedle (100,0 %) a javoru klenu (82,1–100 %), podobně atraktivita těchto dřevin byla dokumentována v Orlických horách (VACEK

et al. 2014; VACEK 2017), v Jizerských horách (VACEK et al. 2019) či na Slovensku (KONÓPKA, PAJTIK 2015). Naopak nejmenší poškození bylo zjištěno u smrku (47,0–50,0 %) na studovaných TVP, tak jako v Alpách (MOTTA 2003). Poškození okusem u buku bylo v rozmezí 77,0–79,7 % a u jeřábu 64,5–87,5 %. Nejvíce jedinců bylo poškozeno do výšky 1,5 m, poté se poškození terminálního vrcholu snižuje (Obr. 4). Při porovnání horizontální struktury všech jedinců obnovy a pouze poškozených jedinců, rozmístění poškozených jedinců bylo výrazněji agregované. Tento trend (u škod loupáním) také popisuje práce CUKOR et al. (2019).

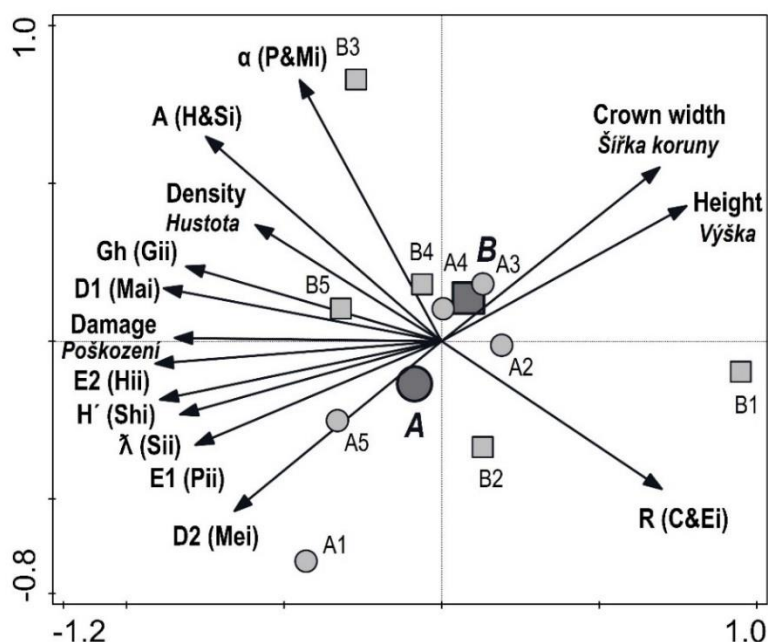


**Obr. 4:** Distribuce poškození okusem dle výškových tříd přirozené obnovy na trvale výzkumných plochách A a B v roce 2016; 0 = bez poškození, 1 = boční okus, 2 = terminální a opakovaný boční okus

**Fig. 4:** Distribution of browsing in height classes of regeneration on permanent research plots A and B in 2016; 0 = no browsing, 1 = browsing of side shoot, 2 = browsing of leading shoot and repeated side shoot

#### **Vztah mezi růstovými parametry obnovy, diverzitou a škodami zvěří**

Výsledky PCA analýzy jsou prezentovány ve formě ordinačního diagramu na Obr. 5. První ordinační osa vysvětluje 58,4 %, druhá osa 76,4 % a všechny čtyři osy 92,5 % variability dat. Osa x reprezentuje poškození zvěří na přirozené obnově. Škody okusem jsou pozitivně korelovány s vertikální diverzitou, druhovou bohatostí a vyrovnaností, zatímco tyto parametry jsou negativně korelovány s průměrnou výškou obnovy. Se zvyšující hustotou jedinců dochází ke zvyšování agregované distribuce obnovy (BULUŠEK et al. 2016). Celkově větší variabilita v rámci subploch byla zjištěna na horní TVP B při porovnání s relativně homogenní dolní TVP A.



**Obr. 5:** Ordinační diagram PCA analýzy vztahů mezi růstovými charakteristikami přirozené obnovy, druhovou, horizontální a vertikální diverzitou (Tab. 1) a škodami zvěří; označení charakterizují výzkumné plochy a subplochy: ● A (1-5), ■ B (1-5)

**Fig. 5:** Ordination diagram of PCA analysis of relationships among growth characteristics of natural regeneration, species, horizontal and vertical structure (Tab. 1) and game damage; marks indicate research plots and subplots: ● A (1-5), ■ B (1-5)

## Závěr

Porosty mají velký potenciál přirozené obnovy ve studované I. zóně ochrany přírody Bažinky. Obnovu v tomto území lze zvládnout za využití přírodních procesů. Samozřejmě v některých případech je lze doplnit kvalitní umělou obnovou, zejména je vhodné vnášet chybějící dřeviny původní druhové skladby například jedlí bělokorou a jilm horský (*Ulmus glabra* Huds.). Jedle by se měla podporovat v obnově pro zvýšení druhové biodiverzity a stability. Hlavním problémem zejména obnovy jedle a javoru klenu je okus spárkatou zvěří, proto by bylo vhodné u nejvíce okusem poškozených dřevin používat individuální ochranu. Mezi dalšími významnými faktory eliminující škody zvěří patří především výrazné snížení počtu spárkaté zvěře a reintrodukce vlka, která již započala. Přírodní lesy v Krkonoších mají řadu společných rysů včetně expanze bukového zmlazení, ale odlišují se určitými rozdíly ve své přirozené dynamice. Získané výsledky jsou důležitou součástí dlouhodobého monitoringu lesních ekosystémů v porostech s vyšším stupněm přirozenosti v Krkonošském národním parku.

## Literatura

- AMMER, C. Impact of ungulates on structure and dynamics of natural regeneration of mixed mountain forests in the Bavarian Alps. *Forest Ecology and Management*, 1996. 88 (1-2): s. 43-53.
- BOBROWSKI, M., GILLICH, B., STOLTER, C. Modelling browsing of deer on beech and birch in northern Germany. *For. Ecol. Manage.*, 2015. 358: s. 212–221.
- BULUŠEK, D., VACEK, Z., VACEK, S., KRÁL, J., BÍLEK, L., KRÁLÍČEK, I. Spatial pattern of relict beech (*Fagus sylvatica* L.) forests in the Sudetes of the Czech Republic and Poland. *Journal of Forest Science*, 2016. 62 (7): s. 293-305.



- CLARK, P. J., EVANS, F. C. Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationship in populations. *Ecology*, 1954. 35: s. 445–453.
- CUKOR, J., VACEK, Z., LINDA, R., VACEK, S., MARADA, P., ŠIMŮNEK, V., HAVRÁNEK, F. Effects of Bark Stripping on Timber Production and Structure of Norway Spruce Forests in Relation to Climatic Factors. *Forests*, 2019. 10 (4): 320.
- DULAMSUREN, C., HAUCK, M., KOPP, G., RUFF, M., LEUSCHNER, C. European beech responds to climate change with growth decline at lower, and growth increase at higher elevations in the center of its distribution range (SW Germany). *Trees - Structure and Function*, 2017. 31 (2): s. 673–686.
- EDENIUS, L., BERGMAN, M., ERICSSON, G., DANELL, K. The role of moose as a disturbance factor in managed boreal forests. *Silva Fennica*, 2002. 36: s. 57–67.
- GINI, C. Measurement of inequality on income. *Economic Journal*, 1921. 31: s. 22–43.
- HILL, M. O. Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology*, 1973. 54: s. 427–432.
- HOPKINS, B., SKELLAM, J. G. A new method for determining the type of distribution of plant individuals. *Ann Bot-London*, 1954. 18: s. 213–227.
- KONÓPKA, B., PAJTÍK, J. Why was browsing by red deer more frequent but represented less consumed mass in young maple than in ash trees?!. *Journal of Forest Science*, 2015. 61: s. 431–438.
- KRÁLÍČEK, I., VACEK, Z., VACEK, S., REMEŠ, J., BULUŠEK, D., KRÁL, J. et al. Dynamics and structure of mountain autochthonous spruce-beech forests: impact of hilltop phenomenon, air pollutants and climate. *Dendrobiology*, 2017. 77: s. 121–139.
- KUULUVAINEN, T., AAKALA, T. Natural forest dynamics in boreal Fennoscandia: a review and classification. *Silva Fennica*, 2011. 45 (5), s. 823–841.
- MARGALEF, D. R. Information theory in ecology. *International Journal of General Systems*, 1958. 3: s. 36–71.
- MENHINICK, E. F. A Comparison of Some Species-Individuals Diversity Indices Applied to Samples of Field Insects. *Ecology*, 1964. 45: s. 859–861.
- MILLAR, C. I., STEPHENSON, N. L., STEPHENS, S. L. Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty. *Ecological applications*, 2007. 17: s. 2145–2151.
- MOTTA, R. Ungulate impact on rowan (*Sorbus aucuparia* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) height structure in mountain forests in the eastern Italian Alps. *Forest Ecology and Management*, 2003. 181: s. 139–150.
- MOUNTFORD, M. D. On E. C. Pielou's index of nonrandomness. *Journal of Ecology*, 1961. 49: s. 271–275.
- NAGEL, T. A., SVOBODA, M., DIACI, J. Regeneration patterns after intermediate wind disturbance in an old-growth *Fagus-Abies* forest in southeastern Slovenia. *Forest Ecology and Management*, 2006. 226: s. 268–278.
- PALUCH, J. G. The spatial pattern of a natural European beech (*Fagus sylvatica* L.) – silver fir (*Abies alba* Mill.) forest: A patch-mosaic perspective. *Forest Ecology and Management*, 2007. 253: s. 161–170.
- PIELOU, E. C. The use of point-to-plant distances in the study of the pattern of plant populations. *Journal of Ecology*, 1959. 47: s. 607–613.
- PIELOU, E. C. *Ecological Diversity*. New York: Wiley, 1975. 165 s.
- RIPLEY, B. D. *Spatial Statistics*. New York: John Wiley & Sons, 1981. 252 s.
- SENN, J., SUTER, W. Ungulate browsing on silver fir (*Abies alba*) in the Swiss Alps: beliefs in search of supporting data. *Forest Ecology and Management*, 2003. 181 (1-2): s. 151–164.

- SHANNON, C. E. A mathematical theory of communications. *Bell System Technical Journal*, 1948. 27: s. 379–423.
- SIMPSON, H. Measurement of diversity. *Nature*, 1949. 163: s. 688.
- SLANAŘ, J., VACEK, Z., VACEK, S., BULUŠEK, D., CUKOR, J., ŠTEFANČÍK, I., et al. Long-term transformation of submontane spruce-beech forests in the Jizerské hory Mts.: dynamics of natural regeneration. *Central European Forestry Journal*, 2017. 63 (4): s. 213–225.
- ŠTÍCHA, V., KUPKA, I., ZAHRADNÍK, D., VACEK, S. Influence of micro-relief and weed competition on natural regeneration of mountain forests in the Šumava Mountains. *Journal of Forest Science*, 2010. 56: s. 218–224.
- VACEK, S., VAŠINA, V., MAREŠ, V. Analýza autochtonních smrkobukových porostů SPR V Bažinkách. *Opera Corcontica*, 1987. 24: s. 95–132.
- VACEK, S., PODRÁZSKÝ, V. *Přírodě blízké lesní hospodářství v podmínkách střední Evropy*. Praha: Lesnická práce, s.r.o., 2006. 74 s.
- VACEK, S., VACEK, Z., SCHWARZ, O., et al. *Obnova lesních porostů na výzkumných plochách v národních parcích Krkonoš*. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, s.r.o., 2009. 288 s.
- VACEK, S., VACEK, Z., SCHWARZ, O., et al. *Struktura a vývoj lesních porostů na výzkumných plochách v národních parcích Krkonoš*. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, s.r.o., 2010. 568 s.
- VACEK, Z., VACEK, S., BÍLEK, L., KRÁL, J., REMEŠ, J., BULUŠEK, D., KRÁLÍČEK, I. Ungulate impact on natural regeneration in spruce-beech-fir stands in Černý důl nature reserve in the Orlické Hory mountains, case study from central Sudetes. *Forests*, 2014. 5 (11): s. 2929–2946.
- VACEK, Z., VACEK, S., PODRÁZSKÝ, V., BÍLEK, L., ŠTEFANČÍK, I., MOSER, W. K., et al. Effect of tree layer and microsite on the variability of natural regeneration in autochthonous beech forests. *Polish Journal of Ecology*, 2015. 63 (2): s. 233–247.
- VACEK, Z. Structure and dynamics of spruce-beech-fir forests in Nature Reserves of the Orlické hory Mts. in relation to ungulate game. *Central European Forestry Journal*, 2017. 63 (1): 23–34.
- VACEK, Z., VACEK, S., SLANAŘ, J., BÍLEK, L., ŠTEFANČÍK, I., REMEŠ, J., et al. Adaption of foothills Norway spruce and European beech forests under climate change: from resistance to close-to-nature silviculture. *Central European Forestry Journal*, 2019. 65 (2): s. 129–144.

## Poděkování

Příspěvek vznikl díky podpoře Ministerstva zemědělství ČR (NAZV č. QK11910292) a České zemědělské univerzity v Praze, Fakulty lesnické a dřevařské (IGA č. A02/19).

## Summary

The present research evaluates the structure, dynamics and effect of ungulate on the natural regeneration of autochthonous mixed stands in two permanent research plots (PRP) on ten subplots in the western part of the Krkonoše Mts. National Park, Czech Republic. The research areas are located in the 1st Nature Conservation Zone of the Krkonoše Mts. National Park - Bažinky and situated in the natural mixed Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] and European beech (*Fagus sylvatica* L.) forest stands with admixed sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.), silver fir (*Abies alba* Mill.) and rowan (*Sorbus aucuparia* L.). Results showed, that the density of natural regeneration ranged between 1000–79000 pcs ha<sup>-1</sup> with average

28420 pcs ha<sup>-1</sup>. Overall, greater diversity and growth parameters were found on the altitude upper PRP B (1100 m a.s.l.) compared to the relatively homogeneous lower PRP A (940 m a.s.l.). Moreover, species richness was higher on PRP A, while more aggregated structure was on PRP B. Dominant tree species in natural regeneration was European beech on both PRP (88.8 %). Compared to the tree layer, the increase of beech proportion (+25.1 %) and decrease of Norway spruce (-29.2 %) and sycamore maple (-3.4 %) was observed in natural regeneration tree species composition. The average browsing damage caused by ungulate on natural regeneration reached 67.8%. The lowest share of game damage was found in spruce (48.5 %), whereas the highest damage was observed in regeneration of silver fir (100.0 %) and sycamore maple (91.1 %). Browsing damage in beech reached 78.3 %. The horizontal structure of regeneration was significantly clustered, with a higher tendency to aggregation in individuals damaged by browsing. The highest damage was recorded in natural regeneration of height up to 1.5 m, while frequency of damage increased with decreasing recruit height, as well as increasing species diversity. In conclusion, natural forests have a great potential for natural regeneration in the studied I. Zone Bažinky. The recommendation for limiting the intolerable game damage and protection of valuable admixed tree species, especially fir and sycamore, is individual fence protection, reduction of still increasing ungulate population or reintroduction of wolf.

## PESTOVANIE JEDNOROČNÝCH VOĽNOKORENNÝCH SEMENÁČIKOV SMREKA OBYČAJNÉHO (*PICEA ABIES* [L.] KARST.) V RAŠELINOVÝCH SUBSTRÁTOCH S POUŽITÍM EKTOMYKORÍZNYCH PRÍPRAVKOV

### CULTIVATION OF ONE-YEAR-OLD BARERoot NORWAY SPRUCE (*PICEA ABIES* [L.] KARST.) SEEDLINGS IN PEAT SUBSTRATES USING ECTOMYCORRHIZAL ADDITIVES

Ivan Repáč\*, Tomáš Trgala

Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, Katedra pestovania lesa, T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, SK

\* corresponding author: repac@tuzvo.sk

#### Abstract

Growth substrate and ectomycorrhizal (ECM) symbiosis are important factors affecting seedling development. In this study, the effects of ECM inoculation and commercial peat substrates Agro CS and Gramoflor on growth, ectomycorrhiza formation and needle nutrients concentration of 1-year-old bareroot Norway spruce seedlings was estimated. The applied inocula were commercial products MycorrhizaRoots and Mycorrhiza Soluble, laboratory-produced vermiculite mycelial inoculum and forest soil. The substrate did not show a significant effect on any of the estimated parameters. Seedlings grown in substrates inoculated with MycorrhizaRoots had significantly higher root dry weight than those grown in soil-inoculated substrates. Soil inoculum promoted the abundance of two ECM morphotypes and total ECM colonization of seedlings. Mycorrhiza Soluble treatment reached the highest values of richness, diversity and evenness indices of ECM morphotypes. Sufficient concentration of macroelements in needles was found in all treatments.

**Keywords:** ectomycorrhizal inoculation, growth substrate, Norway spruce, bareroot seedlings

#### Abstrakt

Rastový substrát a ektomykorízna (EKM) symbióza sú dôležitými faktormi ovplyvňujúcimi vývoj semenáčikov. V tejto práci bol skúmaný vplyv EKM inokulácie a rašelinových substrátov Agro CS a Gramoflor na rast, tvorbu ektomykoríz a koncentráciu živín v ihličí jednoročných voľnokorenných semenáčikov smreka obyčajného. Aplikované inokulá boli komerčné prípravky MycorrhizaRoots a Mycorrhiza Soluble, vermikulitové mycéliové inokulum a lesná pôda. Substrát nemal významný vplyv na žiaden z hodnotených parametrov. Semenáčiky rastúce v substrátoch inokulovaných prípravkom MycorrhizaRoots mali významne vyššiu hmotnosť sušiny koreňov než inokulovaných lesnou pôdou. Lesná pôda podporila abundanciu dvoch EKM morfortypov a celkový rozsah ektomykoríz. Bohatosť, diverzita a vyrovnanosť EKM morfortypov vyjadrená pomocou indexov dosiahla výrazne vyššie hodnoty pri semenáčikoch inokulovaných Mycorrhiza Soluble. Koncentrácia makroprvkov v ihličí bola dostatočná vo všetkých variantoch.

**Kľúčové slová:** mykorizácia, rastový substrát, smrek obyčajný, voľnokorenný sadbový materiál

#### Úvod

Obligátne ektotrofné dreviny, medzi ktoré patrí aj smrek obyčajný, vytvárajú prirodzene v pôdnom prostredí symbiotický vzťah s ektomykoríznyimi (EKM) hubami (RUDAWSKA *et al.* 2006). Mykorízna symbióza môže za určitých okolností napomáhať procesu rizogenézy, príjmu vody a živín, chrániť dreviny pred patogénmi a nepriaznivými podmienkami prostredia (SMITH, READ 2008, LAMBERS *et al.* 2008). Práce niektorých autorov potvrdili pozitívny účinok pôdných mikroorganizmov, hlavne EKM húb na prežívanie a rast lesných kultúr (CASTELLANO 1996, QUORESCHI *et al.* 2008, SANCHEZ-ZABALA *et al.* 2013). Rastový substrát je kľúčovým faktorom ovplyvňujúcim rast a fyziologickú kvalitu sadeníc v lesných škôlkach (HEISKANEN 1995, PROLL *et al.* 2016). Rašelina je jedným z najpoužívanejších substrátov. Čistá, obzvlášť mierne rozložená rašelina poskytuje vhodné podmienky rastu (HEISKANEN

2013); avšak pridanie vhodne vybraných látok do rašeliny môže zlepšiť jej vlastnosti (VAARIO *et al.* 2009). Na rast sadeníc, abundanciu a diverzitu ektomykoríz môže taktiež vplyvať aj typ použitého substrátu (TAMMI *et al.* 2001, REPÁČ 2007). Z biologického a ekonomického hľadiska je vhodná aplikácia prospešných mikroorganizmov pri pestovaní sadbového materiálu v lesnej škôlke. Takýto sadbový materiál je schopný lepšej adaptácie na podmienky prostredia výsadbových plôch a lepšieho rastu.

Cieľom tejto práce je získať poznatky o vplyve rašelinových rastových substrátov a aplikácie komerčných EKM prípravkov, ektomykorízneho inokula pripraveného v laboratóriu nášho pracoviska a lesnej pôdy na kvalitu semenáčikov smreka obyčajného (*Picea abies* [L.] Karst.) pestovaných v poloprevádzkových podmienkach.

## Materiál a metodika

Rastové substráty Gramoflor (Gramoflor GmbH a Co. KG, Vechta, Nemecko) a Agro CS (AGRO CS a. s., Česká Skalice, ČR) boli inokulované buď vermikulitovým mykorízny inokulum (vermikulit ako nosič hubového mycélia), komerčnými mykoríznymi prípravkami Mycorrhiza Soluble (Tyroler Glückspilze, Innsbruck, Rakúsko) a MycorrhizaRoots (Novozymes, Salem, Virginia, USA), alebo humóznou lesnou pôdou. Ďalšími variantmi v rámci sledovania účinku inokulácie boli aplikácia čistého vermikulitu bez mycélia a čistý neinokulovaný rastový substrát. Usporiadanie experimentu bolo v kompletných znáhodnených blokoch. Jeden blok tvorilo 12 kombinácií inokulácie (4 inokulá + vermikulit + kontrola = 6 variantov) a substrátu (2 substráty). Celý experiment pozostával z troch blokov (opakovaní). Každú kombináciu inokulácia × substrát × opakovanie predstavovala jedna PVC nádoba (debnička) rozmerov 56×36×20 cm (dĺžka×šírka×výška), plocha 0,20 m<sup>2</sup>, v experimente bolo teda použitých 36 nádob.

Zloženie substrátu Gramoflor Clever MMG 1,5 Nutri: severonemecká biela borkovaná preparovaná rašelina (80 %), lignínové vlákna (20 %), hnojivo Radigen (0,15 kg.m<sup>-3</sup>), hnojivo Kompakt 21/7/14/3 + mikroprvky (0,70 kg.m<sup>-3</sup>), hnojivo Nutricote T 140 dní 15/9/10 + mikroprvky (1,5 kg.m<sup>-3</sup>), rohovina (1 kg.m<sup>-3</sup>). Zloženie substrátu Agro CS: rašelina, vyzretý kôrový humus, perlit (častice 1-4 mm; 15 %), hnojivo Vitality Komplex a hnojivo Kristalon. Pred inokuláciou bola zistená objemová hmotnosť, elektrická vodivosť substrátov, pH a obsah základných chemických prvkov (Tab. 1).

**Tab. 1:** Analytické parametre rašelinových substrátov (n=1 kombinovaná vzorka) použitých na pestovanie semenáčikov smreka obyčajného inokulovaných rôznymi EKM inokulami.

**Tab. 1:** Analytical parameters of peat substrates (n=1 combined sample) used for the cultivation of Norway spruce seedlings inoculated with various ECM inocula.

Substrát Substrate	Sušina Dry matter [%]	pH H <sub>2</sub> O	Elektrická vodivosť Electrical conductivity [mS.m <sup>-1</sup> ]	Objemová hmotnosť Bulk density [kg.m <sup>-3</sup> ]	N [%]	C [%]	Mg [mg.kg <sup>-1</sup> ]	Ca [mg.kg <sup>-1</sup> ]	K [mg.kg <sup>-1</sup> ]	P [mg.kg <sup>-1</sup> ]
Agro CS	89,8	3,80	45,9	12,21	1,42	52,4	1192	6204	1709	388
Gramoflor	91,7	5,63	94,8	24,59	1,23	38,0	1831	10666	4345	599

Pri príprave vermikulitového inokula bol vermikulit obsahujúci malé množstvo rašeliny sterilizovaný v autokláve a umiestnený do 3 litrových sklenených nádob, v ktorých bol preliaty polovičným množstvom živného média BAF, umožňujúcim rast mycélia. Vermikulit bol inokulovaný mycéliom húb *Laccaria proxima* (lakovka veľká, lakovka statná; izolát LAP2; izolovaný 2010), *Amanita rubescens* (muchotrávka

červenkastá, muchomúrka rúžovka; izolát AR3; izolovaný 2011) a Hebeloma mesophaeum (slzivka hnedá, slzivka opášaná; izolát HM14; izolovaný 2014; miesto získania: Rudolfov, okres České Budějovice, zmiešaný les). Všetky izoláty boli poskytnuté firmou Symbiom (Lanškroun, Česká republika). Mycélium prerastalo vermikulit 4 až 5 týždňov v tme pri izbovej teplote. Pôdu ako prírodné inokulum sme odobrali zo smrekového porastu. V poraste sme z povrchu pôdy odstránili vrstvu smrekovej opadanky, rôzneho iného organického materiálu a bylinnej vegetácie. Bola odobraná 5 cm vrchná vrstva pôdy. Následne bola preosiatá cez sito s veľkosťou ôk 4 mm. Fyzikálne, chemické, ani biologické vlastnosti pôdy neboli zisťované. Komerčný EKM prípravok MycorrhizaRoots obsahoval spóry EKM húb *Pisolithus tinctorius* (hráškovec obyčajný, mēcháč písečný), *Rhizopogon* (koreňovec, kořenovec), *Laccaria* (lakovka), *Scleroderma* (pestrec, pestřec). Prípravok Mycorrhiza Soluble obsahoval spóry EKM húb *Pisolithus tinctorius*, *Rhizopogon luteolus* (koreňovec žltkastý, kořenovec žlutavý), *Rhizopogon amylopogon*, *Rhizopogon fulvigleba*, *Scleroderma citrinum* (pestrec obyčajný, pestřec obecný), *Scleroderma cepa*, *Suillus granulatus* (masliak zrnitý, klouzek zrnitý), *Suillus bodatapius*, *Laccaria bicolor* (lakovka dvojfarebná), *Laccaria laccata* (lakovka obyčajná, lakovka laková), spóry húb rodu *Trichoderma* a baktérie.

Vermikulitové inokulum a čistý vermikulit boli rovnomerne zapracované do vrchnej polovice substrátov umiestnených v debničkách v objemovom pomere 1:5 (4,0 l vermikulit, 20,0 l substrát). Lesná pôda bola zapracovaná do vrchnej polovice substrátov v objemovom pomere 1:5 (4,0 l pôda, 20,0 l substrát). Vermikulitové inokulum, čistý vermikulit a lesná pôda boli do substrátov aplikované bezprostredne pred výsevom semien smreka obyčajného. Prípravky Mycorrhiza Soluble a MycorrhizaRoots sa aplikovali formou 2 postrekov. Prvý postrek bol aplikovaný 1 týždeň po termíne sejby, druhý postrek bol aplikovaný mesiac po prvej aplikácii. Podľa návodu na použitie sa prípravok Mycorrhiza Soluble aplikoval v dávke 0,48 g do 0,4 l H<sub>2</sub>O na 1 debničku a prípravok MycorrhizaRoots v dávke 0,34 g do 0,27 l H<sub>2</sub>O na 1 debničku.

Osivo použité v tomto pokuse bolo získané z uznaného zdroja lesného reprodukčného materiálu, národný evidenčný kód pab244TN-509. Čistota semien bola 100 %, hmotnosť 1000 kusov čistých semien 8,575 g, klíčivosť v dôsledku dlhodobého skladovania len 60%. Pred sejbou boli semená sterilizované v 30 % H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, potom dôkladne premyté destilovanou vodou a po vysušení premiešané s fungicídom Dithane M-45. Výsev bol vykonaný 15. 04. 2018 do nádob umiestnených do skleníka. Vzhľadom na nízku klíčivosť semena a očakávané straty v priebehu klíčenia a vzchádzania semien a odrastania semenáčikov, bola pre každú kombináciu substrát × inokulácia × opakovanie (jedna debnička) použitá pomerne vysoká výsevová dávka 5,0 g (približne 600 ks semien) (25 g m<sup>-2</sup>). Výška zásyvky (zmes perlitu a 15 % objemového podielu rašeliny) bola 0,5 cm. Semenáčiky smreka neboli počas vegetačného obdobia ošetrené fungicídmí, aby sa zabránilo potlačeniu vývoja ektomykoríz. Semenáčiky boli v priebehu vegetačného obdobia dvakrát prihnojené hnojivom CERERIT s guánom na ihličnany. Hnojivo sa aplikovalo v koncentrácii 0,5 % a dávke 0,5 l H<sub>2</sub>O na 1 debničku.

Po vegetačnom období (7 mesiacov po výseve) sme náhodným výberom z každej kombinácie faktorov v rámci každého opakovania odobrali 15 nepoškodených semenáčikov. Na všetkých odobraných semenáčikoch sme merali výšku nadzemnej časti s presnosťou 0,1 cm. Koreňové systémy 7 semenáčikov z 15 vyzdvihnutých pre každú kombináciu boli jemne premyté vodou a pozorované pri 10 až 40-násobnom zväčšení pod mikroskopom, aby bol spočítaný počet EKM korieňkov v rámci každého

určeného EKM morfortypu a počet nemykoríznych korieňkov. Ektomykorízy sa zatriedili do morfortypov podľa morfológických charakteristík, ako je rozvetvenie, farba, tvar, povrchové charakteristiky hubového plášťa, prítomnosti hýf a rizomorfov. Morfortypy boli opísané a pomenované podľa terminológie AGERER, RAMBOLD (2004–2019). Relatívna abundancia každého EKM morfortypu bola stanovená pre každý semenáčik ako percento počtu ektomykoríz príslušného morfortypu z počtu všetkých ektomykoríz. Celkový rozsah ektomykoríz bol stanovený ako percento počtu všetkých ektomykoríz z celkového počtu krátkych korieňkov (všetky ektomykorízne a nemykorízne korieňky). Pre účely presnejšieho posúdenia rôznorodosti a výskytu EKM morfortypov bol použitý *Hillov index bohatosti* (HILL 1973), *Shannonov index diverzity* (SHANNON 1948) a *Pielov index vyrovnanosti* (PIELOU 1975). Po sušení vzoriek 48 hodín pri teplote 80 °C sme vážením zisťovali hmotnosť nadzemnej a koreňovej časti s presnosťou na 0,0001 g. Z týchto hmotností bol následne určený ich pomer. Analýza ihličia bola urobená pre každú kombináciu substrátu a inokulácie z jednej kombinovanej vzorky, ktorá bola získaná zmiešaním ihličia odobraného z viacerých semenáčikov zo všetkých opakovaní príslušnej kombinácie substrátu a inokulácie.

Biometrické charakteristiky a rozsah mykoríz (relatívna abundancia jednotlivých morfortypov a celkový rozsah mykoríz) boli analyzované dvojfaktorovou analýzou rozptylu. Pre posúdenie významnosti rozdielov priemerných hodnôt sledovaných znakov medzi jednotlivými variantmi sa použil Tukeyov post hoc test ( $p \leq 0,05$ ). Normalita rozdelenia hodnôt bola posúdená pomocou Shapiro-Wilkovho testu. Percentuálne údaje boli pred analýzou transformované pomocou arc-sin funkcie, aby sa korigovalo nenormálne rozdelenie údajov. Závislosť rastových veličín od celkového rozsahu ektomykoríz bola analyzovaná lineárnou koreláciou. Výpočty boli urobené v štatistických programoch SAS Institute Inc., a STATISTICA StatSoft, Inc.

## Výsledky a diskusia

V priebehu a na konci prvého vegetačného obdobia neboli v rámci variantov a blokov viditeľné výrazné rozdiely v počte ani iných vonkajších prejavoch semenáčikov. Hustota semenáčikov bola okolo 1000 ks na m<sup>2</sup>. Semenáčiky dosiahli malú výšku, pravdepodobne v dôsledku nižších závlahových a hnojivých dávok, redukovaných v snahe podporiť tvorbu ektomykoríz. Príčinou slabšieho rastu mohla byť aj nižšia intenzita svetla a tým fotosyntézy, spôsobená zakrývaním skleníka v slnečných dňoch tieniacou sieťou, aby bola znížená vysoká teplota vnútri skleníka.

Rastový substrát nemal významný vplyv na rast semenáčikov smreka obyčajného po prvom vegetačnom období. Inokulácia semenáčikov mala významný vplyv iba na hmotnosť sušiny koreňov. Interakcia substrátu a inokulácie nebola významná (Tab. 2). Semenáčiky ošetrované prípravkom MycorrhizaRoots dosiahli významne vyššiu hmotnosť koreňa ako semenáčiky, ktoré boli inokulované lesnou pôdou (Tab. 3). Je to možné odôvodniť vyšším zastúpením EKM korieňkov (zabezpečujúcich príjem vody a živín) vo variante lesnej pôdy a tým menšou potrebou vytvárať ďalšie korieňky. MAKOTO *et al.* (2010), SANCHEZ-ZABALA *et al.* (2013) a ZHANG *et al.* (2017) uvádzajú významný vplyv inokulácie EKM hubami na tvorbu biomasy semenáčikov. REPÁČ *et al.* (2013) uvádzajú indiferentný a mierne inhibičný účinok prípravku MycorrhizaRoots na rast semenáčikov. Na rozdiel od našich výsledkov REPÁČ, SENDECKÝ (2018) uvádzajú pre semenáčiky inokulované hubovým inokulom pripraveným v laboratóriu vyššiu hmotnosť koreňov, než pri semenáčikoch inokulovaných komerčným EKM prípravkom.

**Tab. 2:** Analýza rozptylu (F a p hodnoty) vplyvu substrátov a inokulácie na rastové parametre, relatívnu abundanciu ektomykorizných morfortypov, celkový rozsah mykoriz a indexy EKM morfortypov jednorokých voľnokorenných semenáčikov smreka obyčajného.

**Tab. 2:** Analysis of variance (F and p value) of substrate and ECM inoculation effects on the growth parameters, relative abundance of ECM morphotypes, total ECM colonization and ECM morphotypes indices of 1-year-old bareroot Norway spruce seedlings.

Biometrické parametre, morfortypy, indexy Biometric parameters, morphotypes, indices	Substrát Substrate		Inokulácia Inoculation		Substrát × Inokulácia Substrate × Inoculation	
	F	p	F	p	F	p
Výška stonky <sup>1</sup> [cm]	8,17	0,104	2,17	0,139	2,49	0,103
Hmotnosť sušiny nadz. časti <sup>2</sup> [g]	9,69	0,090	1,85	0,191	1,36	0,316
Hmotnosť sušiny koreňov <sup>3</sup> [g]	1,26	0,378	3,64	0,039	0,39	0,848
Hmotnosť sušiny spolu <sup>4</sup> [g]	6,34	0,128	2,98	0,067	1,04	0,447
Pomer hmotnosti koreň/nadz. časť <sup>5</sup>	0,09	0,788	2,03	0,159	0,95	0,489
<i>Hebeloma</i> -like [%]	0,47	0,563	0,80	0,572	0,80	0,574
<i>Cortinarius</i> -like [%]	0,46	0,567	7,21	0,004	0,83	0,559
<i>Wilcoxina</i> -like [%]	1,70	0,322	12,89	0,000	1,59	0,248
<i>Lactarius</i> -like [%]	0,44	0,576	1,21	0,372	0,46	0,798
<i>Laccaria</i> -like [%]	0,18	0,715	0,82	0,562	1,16	0,393
Celkový rozsah mykoriz <sup>6</sup> [%]	0,41	0,588	5,56	0,011	0,57	0,725
Hillov index bohatosti <sup>7</sup>	2,83	0,234	5,47	0,011	0,22	0,947
Shannonov index diverzity <sup>8</sup>	0,52	0,547	5,26	0,012	0,40	0,836
Pielou index vyrovnanosti <sup>9</sup>	0,52	0,547	5,26	0,012	0,40	0,836

<sup>1</sup>Stem height, <sup>2</sup>Shoot dry weight, <sup>3</sup>Root dry weight, <sup>4</sup>Total dry weight, <sup>5</sup>Ratio of root and shoot dry weight, <sup>6</sup>ECM colonization, <sup>7</sup>Hill's richness index, <sup>8</sup>Shannon's diversity index, <sup>9</sup>Pielou's evenness index  
Stupne voľnosti: substrát 1, inokulácia 5, opakovanie 2, substrát × inokulácia 5, reziduál 216, celkom 251. Degrees of freedom: substrate 1, inoculation 5, repetition 2, substrate × inoculation 5, residual 216, total 251.

**Tab. 3:** Rastové charakteristiky (priemerná hodnota ± smerodajná odchýlka) jednorokých voľnokorenných semenáčikov smreka obyčajného rastúcich v rašelinových substrátoch inokulovaných rôznymi EKM inokulami

**Tab. 3:** Growth characteristics (mean values ± standard deviation) of 1-year-old bareroot Norway spruce seedlings grown in peat substrates inoculated with various ECM inocula.

	Výška stonky Stem height [cm]	Hmotnosť sušiny nadz. časti Shoot dry weight [mg]	Hmotnosť sušiny koreňov Root dry weight [mg]	Hmotnosť sušiny spolu Total dry weight [mg]	Pomer hmot. korene/nadz. časť Root/shoot dry weight ratio
Substrát - Substrate					
Gramoflor	5,12±0,98	44±16	13±7	57±20	0,32±0,26
AgroCS	4,85±0,97	40±14	12±6	52±18	0,32±0,14
Inokulácia - Inoculation					
MycorrhizaRoots	5,15±0,98	46±11	16±15 a	62±21	0,36±0,32
Mycorrhiza Soluble	5,16±1,08	44±14	13±5 ab	57±18	0,30±0,09
Pôda <sup>1</sup>	4,95±0,87	41±13	11±4 b	52±16	0,29±0,10
Vermikulitové nokulum <sup>2</sup>	5,01±1,10	44±18	13±4 ab	57±21	0,30±0,07
Čistý vermikulit <sup>3</sup>	5,01±0,95	39±16	13±8 ab	52±19	0,37±0,36
Kontrola <sup>4</sup>	4,62±0,83	39±14	12±4 ab	51±17	0,31±0,08

<sup>1</sup>Soil, <sup>2</sup>Vermiculite inoculum, <sup>3</sup>Pure vermiculite, <sup>4</sup>Control

Medzi priemernými hodnotami označenými rôznymi písmenami je štatisticky významný rozdiel (Tukeyov test, P < 0,05). Mean values followed by different letter are significantly different (Tukey test, P < 0.05).

Opis rozlíšených EKM morfortypov je v Tab. 4. Štatisticky významné rozdiely medzi substrátmi v abundancii EKM morfortypov, celkovej kolonizácii EKM hubami a indexoch neboli zistené (Tab. 2). Medzi variantmi inokulácie boli pozorované významné rozdiely v abundancii morfortypov *Cortinarius*-like, *Wilcoxina*-like, v celkovej kolonizácii EKM hubami, Hillovom indexe bohatosti, Shannonovom indexe diverzity a Pielou indexe vyrovnanosti. Morfortypy *Cortinarius*-like a *Wilcoxina*-like mali významne vyššie zastúpenie vo variante lesnej pôdy oproti všetkým ostatným



variantom. Semenáčiky rastúce v substrátoch inokulovaných lesnou pôdou dosahovali mykorizáciu významne vyššiu oproti semenáčikom ošetrovaným prípravkom MycorrhizaRoots, Mycorrhiza Soluble a vermikulitom bez húb (Tab. 5). Na rozdiel od našich výsledkov DAR *et al.* (2007) uvádzajú, že inokulácia pôdou dosiahla najnižší stupeň kolonizácie koreňovej sústavy EKM hubami a LIU *et al.* (2008) že semenáčiky inokulované pôdou dosiahli rovnakú úroveň kolonizácie EKM hubami ako semenáčiky inokulované inými typmi inokula. Pri určovaní Hillovho indexu bohatosti bol zistený významný rozdiel medzi variantmi Mycorrhiza Soluble, Vermikulit bez mycélia húb a MycorrhizaRoots. Diverzita určená pomocou Shannonovho indexu diverzity bola nízka. Najväčšia diverzita bola vo variante Mycorrhiza Soluble. Dôvodom takéhoto výsledku je pravdepodobne rôznorodosť EKM druhov húb nachádzajúcich sa v tomto prípravku. Vyrovnanosť určená Pielovým indexom vyrovnanosti bola malá a najväčšia vyrovnanosť bola prítomná vo variante Mycorrhiza Soluble (Tab. 5). VAARIO *et al.* (2009) uvádzajú prevažne vyššie hodnoty indexu bohatosti, diverzity a vyrovnanosti ako v tejto práci, najmä pri variantoch s použitím hnojiva s biologickým pôvodom. Korelácia biometrických parametrov a celkového rozsahu mykoríz bola s výnimkou variantu čistý vermikulit negatívna a bola veľmi nízka. (Tab. 6).

**Tab. 4:** Opis EKM morfológických typov jednoročných voľnokorenných semenáčikov smreka obyčajného rastúcich v rašelinových substrátoch inokulovaných rôznymi EKM inokulami.

**Tab. 4:** Description of ECM morphological types of 1-year-old bareroot Norway spruce seedlings grown in peat substrates inoculated with various ECM inocula.

EKM morfortyp	Popis
ECM morphotype	Description
<i>Hebeloma-like</i>	Vetvenie monopodiálne; mykorízy rovné alebo zakrivené; farba okrová, žltohnedá; staršie časti hnedé; plášť nepriehľadný; hýfy prítomné; rizomorfy neprítomné
<i>Laccaria-like</i>	Vetvenie monopodiálne; mykorízy ohnuté alebo rovné; farba hnedá; plášť nepriehľadný; hýfy neprítomné, rizomorfy neprítomné
<i>Lactarius like</i>	Vetvenie monopodiálne; mykorízy rovné alebo ohnuté; farba hnedá alebo oranžová; staršie časti hnedé; plášť nepriehľadný; povrch plášťa hladký; hýfy prítomné, rizomorfy neprítomné
<i>Wilcoxina-like</i>	Vetvenie nepravidelné alebo monopodiálne, mykorízy rovné; farba hnedá; staršie časti tmavohnedé; plášť nepriehľadný; povrch plášťa lesklý alebo hladký; hýfy neprítomné; rizomorfy neprítomné
<i>Cortinarius-like</i>	Vetvenie monopodiálne-pyramidálne alebo nepravidelne perovitité; mykorízy ohnuté alebo krivé; farba hnedá; staršie časti hnedé alebo biele; plášť nepriehľadný; povrch plášťa hladký; hýfy prítomné; rizomorfy prítomné

**Tab. 5:** Relatívna abundancia EKM morfortypov, celkový rozsah mykoríz, Hillov index bohatosti, Shannonov index diverzity, Pielou index vyrovnanosti (priemerné hodnoty) jednorokých voľnokorenných semenáčikov rastúcich v rašelinových substrátoch inokulovaných rôznymi ektomykoriznými inokulami.

**Tab. 5:** Relative abundancy of ECM morphotypes, total ECM colonization, Hill's richness index, Shannon's diversity index, Pielou's evenness index (mean values) of one-year-old bareroot Norway spruce seedlings grown in peat substrates inoculated with various ECM inocula.

Substrát - Substrate	<i>Hebeloma</i> -like [%]	<i>Laccaria</i> -like [%]	<i>Lactarius</i> -like [%]	<i>Wilcoxina</i> -like [%]	<i>Cortinarius</i> -like [%]	Celkový rozsah mykoríz <sup>1</sup>	Bohatosť <sup>2</sup> Richness	Diverzita <sup>3</sup> Diversity	Vyrovna- nosť <sup>4</sup> Evenness
Gramoflor	12,76	0,73	0,39	0,76	4,24	18,48	1,48	0,29	0,18
Agro CS	12,05	0,42	0,70	2,97	6,28	22,46	1,70	0,33	0,21
Inokulácia - Inoculation									
MycorrhizaRoots	9,25	0,53	0,05	0,07 b	0,69 b	10,59 b	1,24 b	0,20 b	0,13 b
Mycorrhiza Soluble	10,51	0,17	0,63	1,15 b	2,83 b	15,29 b	2,02 a	0,50 a	0,31 a
Pôda <sup>5</sup>	12,45	0,00	0,20	8,20 a	17,91 a	38,76 a	1,45 ab	0,25 b	0,15 b
Vermikulitové inokulum <sup>6</sup>	12,23	0,44	1,53	0,49 b	3,56 b	18,23 ab	1,40 ab	0,32 ab	0,20 ab
Čistý vermikulit <sup>7</sup>	11,94	1,93	0,16	0,81 b	1,80 b	15,47 b	2,07 a	0,33 ab	0,21 ab
Kontrola <sup>8</sup>	18,04	0,37	0,71	0,48 b	4,75 b	24,48 ab	1,33 ab	0,25 b	0,16 b

<sup>1</sup>ECM colonization, <sup>2</sup>Hill's richness index, <sup>3</sup>Shannon's diversity index, <sup>4</sup>Pielou's evenness index, <sup>5</sup>Soil,

<sup>6</sup>Vermiculite inoculum, <sup>7</sup>Pure vermiculite, <sup>8</sup>Control

Medzi priemernými hodnotami označenými rôznymi písmenami je štatisticky významný rozdiel (Tukeyov test,  $P < 0,05$ ). Mean values followed by different letter are significantly different (Tukey test,  $P < 0,05$ ).

**Tab. 6:** Korelačné koeficienty lineárnej závislosti rastových parametrov na celkovom rozsahu mykoríz jednorokých voľnokorenných semenáčikov smreka obyčajného rastúcich v rašelinových substrátoch inokulovaných rôznymi EKM inokulami.

**Tab. 6:** Correlation coefficients of a linear dependence of growth parameters on ECM colonization of one-year-old bareroot Norway spruce seedlings grown in peat substrates inoculated with various ECM inocula.

Substrát - Substrate	Výška stonky Stem height	Hmotnosť sušiny nadz. časti Shoot dry weight	Hmotnosť sušiny koreňa Root dry weight	Hmotnosť sušiny celková Total dry weight
Gramoflor	- 0,01	- 0,04	- 0,15	- 0,13
AgroCS	0,08	- 0,10	- 0,04	- 0,07
Inokulácia - Inoculation				
MycorrhizaRoots	- 0,04	- 0,11	- 0,09	- 0,12
Mycorrhiza Soluble	0,10	- 0,02	- 0,07	- 0,06
Pôda <sup>1</sup>	0,18	- 0,05	- 0,26	- 0,23
Vermikulitové inokulum <sup>2</sup>	0,03	- 0,10	- 0,10	- 0,11
Čistý vermikulit <sup>3</sup>	0,002	0,07	0,08	0,09
Kontrola <sup>4</sup>	0,09	0,07	- 0,12	- 0,07

<sup>1</sup>Soil, <sup>2</sup>Vermiculite inoculum, <sup>3</sup>Pure vermiculite, <sup>4</sup>Control

Hodnoty pH substrátov v tejto štúdiu sú značne odlišné. Hodnota pH substrátu Agro CS bola nižšia ako substrátu Gramoflor (Tab. 1). Tieto hodnoty pH sa nachádzajú za hranicami odporúčaných hodnôt (4,0 – 5,0) podľa RIKALU, JOZEFKA (1990) pre rast ihličnatých drevín. LANDIS *et al.* (1990) uvádzajú, že maximálna dostupnosť živín pre semenáčky rastúce v organických substrátoch sa zvyčajne dosahuje pri pH 5,5. Elektrická vodivosť a objemová hmotnosť substrátu Gramoflor bola dvakrát vyššia ako substrátu Agro CS. Obsah dusíka bol v oboch substrátoch na podobnej úrovni. Obsah uhlíka bol v substráte Agro CS vyšší o 14 %. Koncentrácia ostatných zistených prvkov v substráte Gramoflor bola o 54 – 154 % vyššia (Tab. 1). Úroveň koncentrácie chemických prvkov bola v odporúčaných hodnotách podľa HEISKANENA *et al.* (2013). Jediná nadlimitná hodnota bola koncentrácia draslíka v substráte Gramoflor. Asimilačný aparát semenáčikov rastúcich vo vybraných substrátoch obsahoval podobné množstvo uhlíka a síry. Semenáčky rastúce

v substráte Gramoflor obsahovali v ihličí väčšie množstvo vápnika a horčíka a menšie množstvo fosforu a draslíka ako semenáčky rastúce v substráte Agro CS (Tab. 7). Koncentrácia dusíka a síry je podľa TJOELKERA *et al.* (2007) v rozsahu optima až prebytku. Koncentrácia fosforu je podľa MELLERTA, GÖTTLEINA (2012) v rámci optima až prebytku. Ostatné makroelementy sa nachádzajú v prebytku.

**Tab. 7:** Koncentrácia makroprvkov v ihličí (n=1 kombinovaná vzorka) jednorokých voľnokorenných semenáčikoch smreka obyčajného rastúcich v rašelinových substrátoch inokulovaných rôznymi EKM inokulami.

**Tab. 7:** Concentration of macro-elements in needles (n=1 combined sample) of 1-year-old bareroot Norway spruce seedlings grown in peat substrates inoculated with various ECM inocula

Substrát Substrate	Inokulácia Inoculation	C [%]	N [%]	S [%]	P [g/kg]	Ca [g/kg]	Mg [g/kg]	K [g/kg]
Gramoflor	MycorrhizaRoots	49,9	3,01	0,257	2,70	11,4	2,06	16,3
	Mycorrhiza Soluble	49,7	2,89	0,231	2,76	10,8	2,03	15,8
	Pôda <sup>1</sup>	49,9	3,01	0,257	2,70	11,4	2,06	16,3
	Vermikulitové inokulum <sup>2</sup>	52,0	3,22	0,256	2,61	10,0	2,11	14,1
	Čistý vermikulit <sup>3</sup>	49,6	2,93	0,246	2,37	10,2	1,86	12,5
	Kontrola <sup>4</sup>	48,5	2,84	0,221	2,86	10,6	2,10	14,1
Agro CS	MycorrhizaRoots	50,6	2,71	0,216	2,95	9,87	1,84	26,1
	Mycorrhiza Soluble	49,0	2,59	0,240	3,13	10,9	1,88	26,8
	Pôda <sup>1</sup>	51,9	2,71	0,245	3,23	12,0	2,15	20,7
	Vermikulitové inokulum <sup>2</sup>	50,0	2,47	0,243	3,54	8,78	1,80	21,2
	Čistý vermikulit <sup>3</sup>	49,6	2,61	0,249	2,95	9,53	1,84	21,8
	Kontrola <sup>4</sup>	46,6	2,37	0,221	2,88	12,6	1,97	35,3

<sup>1</sup>Soil, <sup>2</sup>Vermiculite inoculum, <sup>3</sup>Pure vermiculite, <sup>4</sup>Control

## Záver

Zámerom prezentovaného experimentu je prispieť k výberu vhodných EKM húb, metód inokulácie a rastových substrátov pre produkciu mykorizných semenáčikov smreka obyčajného. Semenáčky smreka boli pestované v rašelinových substrátoch Agro CS a Gramoflor a inokulované komerčnými prípravkami MycorrhizaRoots, Mycorrhiza Soluble, vermikulitovým mycéliovým inokulom pripraveným v laboratóriu, alebo lesnou pôdou. Substrát, ani interakcia substrátu a inokulácie nemali významný vplyv na žiaden z hodnotených parametrov. Z biometrických parametrov mala inokulácia vplyv len na hmotnosť sušiny koreňov semenáčikov. Semenáčky inokulované komerčným prípravkom MycorrhizaRoots dosiahli významne vyššiu hmotnosť ako semenáčky inokulované lesnou pôdou. Lesná pôda významne zvýšila abundanciu dvoch EKM morfortypov a celkový rozsah ektomykoriz. Bohatosť, diverzita a vyrovnanosť morfortypov dosiahla najvyššie hodnoty vo variante Mycorrhiza Soluble. Koncentrácia makroprvkov v ihličí bola dostatočná vo všetkých variantoch.

Výsledky tohto experimentu poukazujú na rôznu reakciu semenáčikov na inokuláciu rôznymi typmi EKM inokula a potvrdzujú náročnosť dosiahnuť komplexný pozitívny účinok inokulácie v prevádzkových podmienkach. Účinnosť použitých inokulí v daných podmienkach prostredia nebola dostatočná pre rozsiahlejšiu tvorbu symbiózy a prípadnú stimuláciu rastu semenáčikov. Žiadne inokulum nevytvorilo špecifické EKM koreňky a tieto boli pravdepodobne v prevažnej miere formované prirodzene sa vyskytujúcimi EKM hubami. Potenciálna účasť aplikovaných húb na tvorbe EKM koreňkov a pozitívny vplyv na biologickú ochranu a zlepšenie kvality semenáčikov aj prostredníctvom iných ako nutričných účinkov však nie sú vylúčené a budú hodnotené v priebehu ďalšieho pestovania semenáčikov.

## Literatúra

- AGERER, R., RAMBOLD, G. DEEMY – An information system for characterization and determination of ectomycorrhizae, 2004-2019. <<http://www.deemy.de>>
- CASTELLANO, M. A. Outplanting performance of mycorrhizal inoculated seedlings. In: MUKERJI, K.G. (ed.) *Concepts in mycorrhizal research*. Dordrech: Kluwer Academic Publishers, 1996. p. 223-301.
- DAR, GH. H., A BEIG, M., A. GANAI, N., A. QAZI, N. Effect of source and inoculum load of ectomycorrhizae on the growth and biomass of containerized kail pine (*Pinus wallichiana*) seedlings. *Applied Biological Research*, 2007. 9: p. 19-28.
- HEISKANEN, J. Irrigation regime affects water and aeration conditions in peat growth medium and the growth of containerized Scots pine seedlings. *New Forests*, 1995. 9 (3): p. 181-195.
- HEISKANEN, J. Effects of compost additive in sphagnum peat growing medium on Norway spruce container seedlings. *New Forests*, 2013. 44: p. 101-118.
- HILL, M. O. Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology*, 1973. 54 (2): p. 427-432.
- LAMBERS, H., CHAPIN III, F. S., PONS, T. L. *Plant physiological ecology 2nd ed*. New York: Springer, 2008. 604 p.
- LANDIS, T. D., TINUS, R. W., McDONALD, S. E., BARNETT, J. P. *The container tree nursery manual: Vol. 2. Containers and growing media*. Washington, DC: USDA, Forest Service, 1990. 45 p.
- LIU, Q., LOGANATHAN, P., HEDLEY, M. J., GRACE, L. J. Effect of Mycorrhizal Inoculation on Rhizosphere Properties, Phosphorus Uptake and Growth of Pine Seedlings Treated With and Without a Phosphate Rock Fertilizer. *Journal of Plant Nutrition*, 2007. 31 (1): p. 137-156.
- MAKOTO, K., TAMAI, Y., KIM, Y. S. AND KOIKE, T. Buried charcoal layer and ectomycorrhizae cooperatively promote the growth of *Larix gmelinii* seedlings. *Plant and Soil*, 2010. 327 (1): p. 143-152.
- MELLERT, K. H., GÖTTLEIN, A. Comparison of new foliar nutrient thresholds derived from van den Burg's literature compilation with established central European references. *Eur. J. Forest. Res.*, 2012. 131 (5): p. 1461-1472.
- PIELOU, E. C. *Ecological diversity*, New York: Willey, 1975. 132 p.
- PROLL G., HIETZ P., DELANEY C., KATZENSTEINER K. Substrate influences ecophysiological performance of tree seedlings. *Tree Physiology*, 2016. 36 (1): p. 39-53.
- QUORESCHI, M. A., PICHÉ Y, KHASA, P. D. Field performance of conifer and hardwood species 5 years after nursery inoculation in the Canadian Prairie Provinces. *New Forests*, 2008. 35: p. 235-253.
- REPÁČ, I. Ectomycorrhiza formation and growth of *Picea abies* seedlings inoculated with alginate-bead fungal inoculum in peat and bark compost substrates. *Forestry*, 2007. 80: p. 517-530.
- REPÁČ, I., BALANDA, M., VENCURIK, J., KMEŤ, J., KRAJMEROVÁ, D., PAULE, L. Effects of substrate and ectomycorrhizal inoculation on the development of two-years-old container-grown Norway spruce (*Picea abies* Karst.) seedlings. *iForest*, 2014. 8: p. 487-496.
- REPÁČ, I., SENDECKÝ, M. Response of juvenile Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) to ectomycorrhizal inoculation of perlite-peat substrates in a nursery. *Journal of Sustainable Forestry*, 2018. 37 (8): p. 771-786.
- REPÁČ, I., VENCURIK, J., BALANDA, M. *Využitie mikrobiálnych prípravkov pri pestovaní sadbového materiálu lesných drevín*. Zvolen: TU Zvolen, 2013. 114 p.

- RIKALA, R., JOZEFEK, H. J. Effect of dolomite lime and wood ash on peat substrate and development of tree seedlings. *Silva Fennica*, 1990. 24: p. 323-334.
- RUDAWSKA, M., LESKI, T., TROCHA, L. K., GORNOWICZ, R. Ectomycorrhizal status of Norway spruce seedlings from bare-root forest nurseries. *Forest Ecology and Management*, 2006. 236: p. 375-384.
- SANCHEZ-ZABALA, J., MAJADA, J., MARTÍN-RODRIGUES, N., GONZALEZ-MURUA, CA., ORTEGA, U., ALONSO-GRAÑA, M., ARANA, O., DUÑABEITIA, M. K. Physiological aspects underlying the improved outplanting performance of *Pinus pinaster* Ait. seedlings associated with ectomycorrhizal inoculation. *Mycorrhiza*, 2013. 23 (8): p. 627-640.
- SHANNON, C. E. A mathematical theory of communications. *The Bell System Technical Journal*, 1948. 27: p. 379-423.
- SMITH, S.E., READ, D.J. *Mycorrhizal symbiosis* (Third edition). London: Academic Press, 2008. 787 p.
- TAMMI, H., TIMONEN, S., SEN, R. Spatiotemporal colonization of Scots pine roots by introduced and indigenous ectomycorrhizal fungi in forest humus and nursery *Sphagnum* peat microcosms. *Canadian Journal of Forest Research*, 2001. 31: p. 746-756.
- TJOELKER, M. G, BORATYNSKI, A. AND BUGAŁA, W. *Biology and ecology of Norway spruce*, 2007. Dordrecht:Springer. 469 p.
- VAARIO, L-M., TERVONEN, A., HAUKIOJA, K., HAUKIOJA, M., PENNANEN, T., TIMONEN, S. The effect of nursery substrate and fertilization on the growth and ectomycorrhizal status of containerized and outplanted seedlings of *Picea abies*. *Canadian Journal of Forest Research*, 2009. 39: p. 64-75.
- ZHANG, H., YU, H., TANG, M. Prior contact of *Pinus tabulaeformis* with ectomycorrhizal fungi increases plant growth and survival from damping-off. *New Forests*, 2017. 48 (6): p. 855-866.

## Pod'akovanie

Autori ďakujú p. Ing. L. Kmotorkovi (Agrona, s.r.o., Žilina) za poskytnutie rastového substrátu, p. J. Povaľačovej, p. Ing. M. Belkovi a p. J. Ryníkovi za technické práce. Práce boli vykonané s finančnou podporou projektov VEGA 1/0521/13 a IPA TU Zvolen 5/2018.

## Summary

The aim of the research was to compare the growth of Norway spruce seedlings inoculated with two ectomycorrhizal (ECM) commercial preparations, mycelial vermiculite inoculum, vermiculite without mycelium and forest soil with uninoculated control on two peat growth substrates (Gramoflor, Agro CS). The experiment was conducted in glasshouse of Technical University in Zvolen. The spruce seedlings were grown in PVC containers. Growth of seedlings was assessed on the basis of the following characteristics: stem height, dry weight of shoots and roots and root/shoot weight ratio. Assessment of seedlings ectomycorrhizae was based on relative abundance of ectomycorrhizal morphotypes and total ectomycorrhizal colonization. The variety and distribution of ectomycorrhizal morphotypes were evaluated by Hill's richness, Shannon's diversity and Pielou's evenness indices. All the aforementioned parameters were measured and evaluated after first growing season.

The results showed that the type of substrate had no effect on the growth and ectomycorrhizae formation of seedlings. Inoculation affected dry weight of roots,

abundancy of ECM morphotypes, total ECM colonization and indices. Seedlings inoculated with MycorrhizaRoots had significantly higher root dry weight than soil-inoculated seedlings. Seedlings inoculated with soil had significantly higher relative abundance of two morphotypes and total mycorrhizal colonization than those treated with MycorrhizaRoots, Mycorrhiza Soluble and vermiculite. Values of indices were highest in Mycorrhiza Soluble treatment. It means that this inoculum improved formation and spread of ectomycorrhizal morphotypes better than other inocula.

## VLIV SKLADOVÁNÍ A VYSYCHÁNÍ NA FYZIOLOGICKOU KVALITU SADEBNÍHO MATERIÁLU BUKU LESNÍHO A DUBU ZIMNÍHO

### EFFECT OF STORAGE AND DESSICATION ON PHYSIOLOGICAL QUALITY OF BEECH AND SESSILE OAK PLANTING STOCK

Jan Leugner\*, Jarmila Martincová, Evelína Erbanová

Výzkumná stanice Opočno, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Na Olivě 550, 517 73 Opočno, ČR

\*corresponding author: leugner@vulhmop.cz

#### Abstract

Poor survival rate and growth after planting is most commonly associated with water stress. The experiments were focused on the evaluation of water regime in bare-root planting material of beech *Fagus sylvatica* L. and oak *Quercus petraea* Liebl. exposed to desiccation. Used seedlings were overwinter freezer stored or lifted in the spring from the nursery beds. Before planting they were subjected to drying for 0, 2 and 6 hours for beech and 0, 2, 6 and 18 hours for oak. With increasing exposure time, the plant moisture stress values of plants measured by the pressure chamber significantly increased. The water content of shoots and roots decreased, and the water deficit, calculated as the need for water to fully saturation of stem tissues, increased. With the length of the exposure, mortality after planting also increased. The effect of desiccation was much more pronounced in beech compared to oak.

**Keywords:** beech, oak, desiccation, plant moisture stress, performance

#### Abstrakt

Špatná ujímavost a růst po výsadbě je nejčastěji spojena s vodním stresem. Pokusy byly zaměřeny na hodnocení vodního režimu u prostokořenného sadebního materiálu buku lesního a dubu zimního vystaveného vysychání. Použity byly sazenice skladované přes zimu při teplotě pod bodem mrazu a sazenice vyzvedávané na jaře ze záhonů ve školce. Před výsadbou byly vystaveny vysychání po dobu 0, 2 a 6 hodin u buku a 0, 2, 6 a 18 hodin u dubu. S prodlužující se dobou expozice se významně zvyšovaly hodnoty vodního stresu rostlin měřené tlakovou komorou. Snižoval se obsah vody v nadzemních částech a v kořenech a zvyšoval se vodní deficit počítaný jako potřeba vody do plného nasycení pletiv kmínku. S délkou expozice se zvyšovaly i ztráty po výsadbě. Vliv vysychání byl mnohem výraznější u buku lesního v porovnání s dubem zimním.

**Klíčová slova:** buk, dub, vysychání, vodní stres, ujímavost

#### Úvod

Během manipulace v době od vyzvednutí po výsadbu může být sadební materiál poškozován řadou nepříznivých vlivů. Nedostatečná ochrana rostlin před vysycháním mezi vyzvednutím ze záhonů a výsadbou často způsobí poškození, které není zpočátku patrné, ale může výrazně negativně ovlivnit následnou ujímavost a růst (McEvoy, McKay 1997). Poměrně málo je známo o odolnosti k těmto vlivům u listnatých druhů dřevin (McKAY et al. 1999). Vysychání, a to především vysychání nechráněných kořenů (LANDIS et al. 2010, LEUGNER et al. 2012), je jedním z nejvýraznějších stresů působících poškození sazenic (COUTTS 1981, GIRARD et al. 1997). Protože stav nasycení vodou je zásadní pro ujímavost a růst po výsadbě, znalost aktuálního stavu vodního režimu je klíčová při hodnocení fyziologické kvality sadebního materiálu.

Pro ověření použitelnosti některých metod pro hodnocení vodního stresu byly ve Výzkumné stanici v Opočně založeny pokusy se sledováním vodního režimu u prostokořenného sadebního materiálu buku lesního a dubu zimního během vysychání. V posledních letech je v lesních školkách stále více využívána technologie skladování sadebního materiálu přes zimu při teplotách pod bodem

mrazu. Proto byly do hodnocení fyziologické kvality zařazeny skladované i neskladované sazenice obou dřevin. Cílem pokusů bylo vyvolání poškození sazenic a následné zjišťování tohoto poškození různými metodami s následným porovnáním s ujímavostí po výsadbě. Experimenty navazují na podobná šetření u některých druhů jehličnatých dřevin realizovaná v minulých letech (LEUGNER et al. 2015, 2016).

### **Materiál a metodika**

Pro hodnocení fyziologické kvality byl použit sadební materiál buku lesního (*Fagus sylvatica* L.) a dubu zimního (*Quercus petraea* Liebl.), pěstební vzorec obou druhů 1-1, z lesní školky Řečany nad Labem (LESOŠKOLKY s.r.o.). Porovnávány byly sazenice skladované přes zimu ve skladu školky při teplotě pod bodem mrazu (varianta sklad) a sazenice na jaře vyzvednuté ze záhonů ve školce (varianta záhon).

Sadební materiál byl vystaven vysychání po dobu 0, 2 a 6 hodin u buku lesního a 0, 2, 6 a 18 hodin u dubu zimního. Rostliny s nechráněnými kořeny byly volně rozloženy na policích v místnosti se sledovanou teplotou a relativní vlhkostí vzduchu (20 až 24 °C, 20 až 40 %). Hodnocený soubor z každé varianty (dřevina, skladování, vysychání) obsahoval 30 rostlin. Hodnocen byl vodní stres tlakovou komorou, obsah vody v nadzemních částech a v kořenech gravimetricky a vodní deficit jako množství vody potřebné pro plné nasycení segmentu kmínku.

Vodní stres (plant moisture stress PMS) byl hodnocen tlakovou komorou (Model 1000 od PMS Instrument Company, Oregon, USA). Odříznuté terminální části rostlin byly pomocí pryžového těsnění umístěny do tlakové komory s řeznou plochou vyčnívající přes komorové víko. Redukčním ventilem připojeným na zásobník stlačeného dusíku byl následně pomalu zvyšován tlak v komoře, dokud se na řezu neobjevila první kapička vody. Tlak potřebný pro vytlačení kapky vody byl zaznamenán jako hodnota vodního stresu rostliny PMS (CLEARY et al. 1999). Stejnou hodnotu jako PMS, ale se záporným znaménkem, má vodní potenciál  $\psi_w$  (RITCHIE, LANDIS 2005) a představuje sílu, jakou je voda poutána v rostlinných pletivech.

Vodní deficit (water deficit WD) byl hodnocen jako množství vody potřebné do plného nasycení segmentu kmínku (Lopushinsky 1990). Přibližně 2 cm dlouhé segmenty byly odstřiženy z kmínků nad nejnižším přeslenem. Po zvážení byly vloženy do zkumavek s vodou a udržovány ponořené do dalšího dne. Potom byly rychle na povrchu osušeny ubrouskem, zváženy a po vysušení do konstantní hmotnosti byla zjištěna sušina. Vodní deficit byl vypočítán jako rozdíl mezi hmotností po nasycení a před sycením vodou a byl vyjádřen v procentech obsahu vody v nasycených pletivech.

Obsah vody v nadzemních částech a v kořenech byl zjišťován ze zbylých částí rostlin po odebrání vzorků pro ostatní testy, zvláště pro nadzemní části a kořeny. Byl počítán z rozdílu hmotnosti v čerstvém stavu a po vysušení do konstantní hmotnosti při 105 °C a vyjadřován v procentech sušiny.

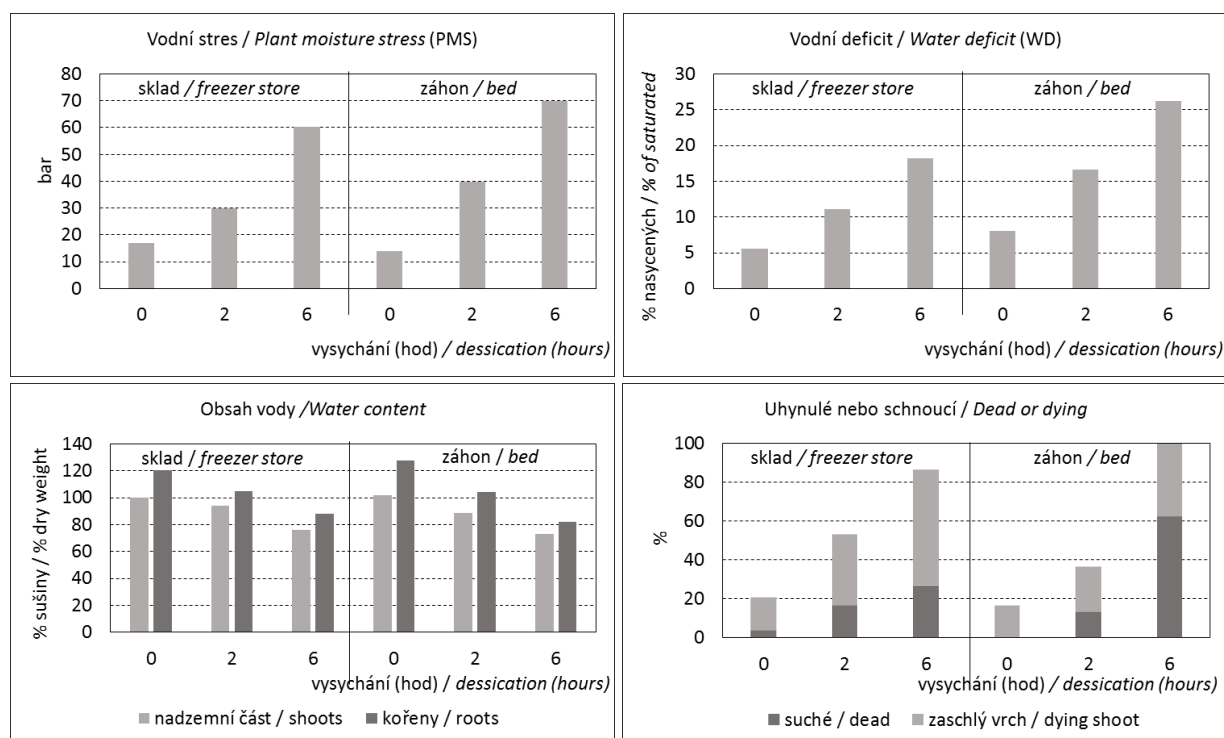
Dalších 30 rostlin z každé varianty bylo použito pro kontrolní výsadby na záhony v objektu výzkumné stanice v Opočně. S výjimkou extrémního letního sucha nebyly výsadby zavlažovány. Po prvním vegetačním období byly hodnoceny ztráty a zdravotní stav sazenic.



## Výsledky a diskuze

### Buk lesní

Vliv skladování a vysychání simulujícího nesprávnou manipulaci je znázorněn na obrázku 1. S prodlužující se dobou expozice se významně zvyšovaly hodnoty vodního stresu rostlin PMS měřených tlakovou komorou. Snižoval se obsah vody v nadzemních částech a v kořenech a zvyšoval se vodní deficit WD počítaný jako potřeba vody do plného nasycení pletiv kmínku.



**Ob. 1:** Vliv vysychání na hodnocené znaky vodního režimu a na ujímavost po výsadbě u sazenic buku lesního (vodní stres, vodní deficit, obsah vody a ujímavost a zdravotní stav po 1. vegetačním období)

**Fig. 1:** The effect of desiccation on the evaluated features of the water regime and survival rate after planting in *Fagus sylvatica* planting stock (plant moisture stress, water deficit, water content and mortality and state of health after 1<sup>st</sup> vegetation period)

Poznatkům o vodním režimu odpovídala i ujímavost kontrolních výsadeb ve venkovních podmínkách. Podíl sazenic uhynulých nebo se zaschlými vrcholy byl vyšší než u nestresovaných rostlin již po expozici dvouhodinovému vysychání a při delším vysychání dosahoval v některých případech až 100 procent. Na kvalitu růstu kontrolních výsadeb pak měly značný vliv i podmínky počasí v době výsadby.

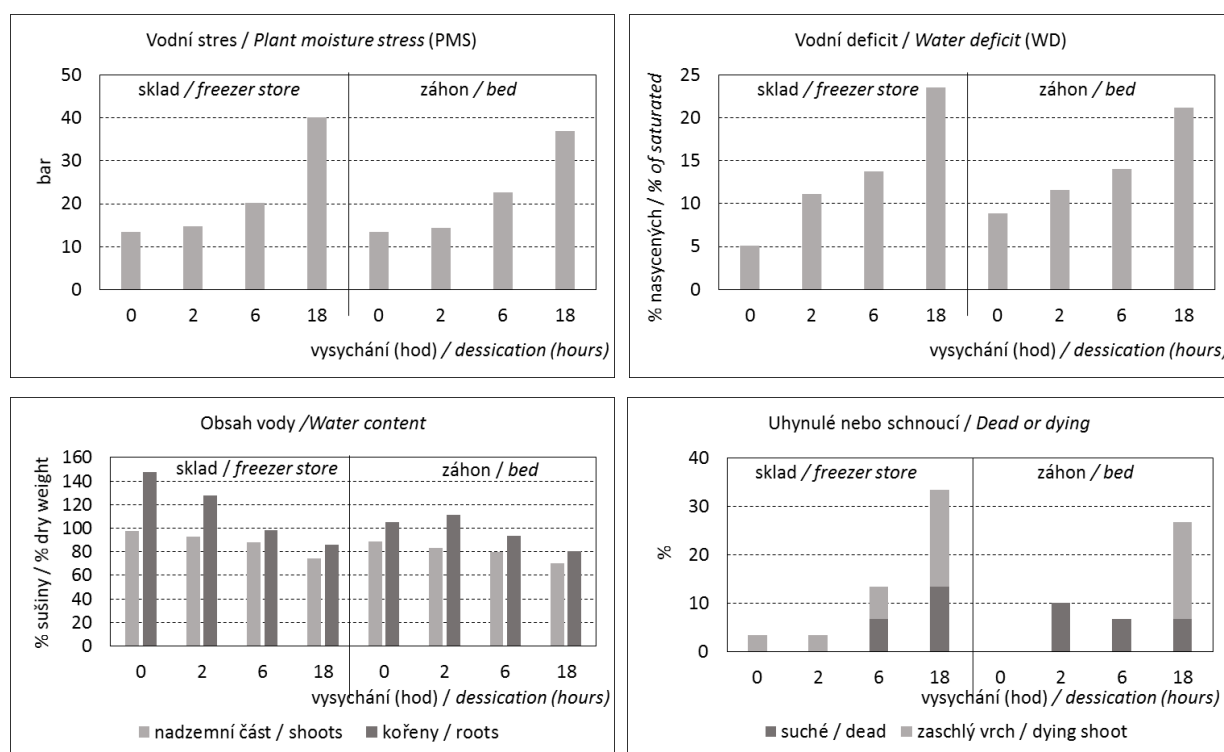
Skutečnost, že u souborů s vysokou mortalitou po výsadbě byly zjištěny i výrazně nepříznivé hodnoty měřených fyziologických znaků, naznačuje použitelnost popsaných metod pro objektivní hodnocení kvality sazebního materiálu vystaveného vysychání během nesprávné manipulace před výsadbou.

Porovnání souborů sazenic skladovaných přes zimu při teplotě pod bodem mrazu a sazenic vyzvedávaných ze záhonů na jaře ukázalo, že dlouhodobé skladování nemělo nepříznivý vliv na kvalitu sazenic buku lesního ani na jejich odolnost ke ztrátám vody.

### Dub zimní

Na rozdíl od buku lesního, u dubu zimního byly pozorovány mnohem menší změny fyziologického stavu během vysychání po dobu 2 a 6 hodin (obr. 2). Výraznější změny vodního režimu byly pozorovány až v případě 18hodinového vysychání dubových sazenic. Rovněž mortalita po výsadbě byla u sazenic dubu vystavených vysychání výrazně nižší než u sazenic buku lesního.

Podobně jako u buku lesního, ani u dubu zimního nezhoršilo skladování při teplotě pod bodem mrazu fyziologickou kvalitu prostokořenných sazenic nebo jejich odolnost k vysychání působícímu během následné manipulace před výsadbou.



**Obr. 2:** Vliv vysychání na hodnocené znaky vodního režimu a na ujímavost po výsadbě u sazenic buku lesního (vodní stres, vodní deficit, obsah vody a ujímavost a zdravotní stav po 1. vegetačním období)

**Fig. 2:** The effect of desiccation on the evaluated features of the water regime and survival rate after planting in *Quercus petraea* planting stock (plant moisture stress, water deficit, water content and mortality and state of health after 1<sup>st</sup> vegetation period)

Výsledky pokusů ukázaly značné rozdíly v odolnosti k vysychání mezi sazenicemi buku lesního a dubu zimního. Vodní stres PMS bukových sazenic dosahoval po 6 hodinách vysychání až 60 barů. U dubu byly změny během vysychání menší, po 6 hodinách byl vodní stres pouze 20 barů a po 18 hodinách vysychání se blížil 40 barům. Také vodní deficit WD se u buku zvýšil na 20 až 25 % během 6 hodin vysychání zatímco u sazenic dubu těchto hodnot dosáhl až po 18 hodinách expozice. Menší ztráty vody během vysychání u sazenic dubu letního v porovnání s bukem a dalšími dřevinami pozorovali i MCKAY et al. (1999).

Změnám fyziologického stavu odpovídaly i ztráty po výsadbě. Zatímco u sazenic buku po 6hodinové expozici vysychání uhynulo až 60 % sazenic a většina ostatních měla zaschlé terminální výhony, u dubu zimního nepřesáhly ztráty 15 % ani po 18hodinovém vystavení nechráněných sazenic vysychání. Poznatky o tom, že dub a jasan jsou odolnější k vysychání v porovnání s jinými listnatými druhy dřevin, uvádějí například MCEVOY a MCKAY (1997) a MCKAY et al. (1999). Někteří autoři

vztahují rozdíly v ujímavosti mezi různými druhy dřevin k intenzitě, kterou sazenice ztrácely vodu (INSLEY 1979). Jiní pozorovali rozdíly v ujímavosti po výsadbě i v případě, kdy sledované druhy dřevin ztrácely vodu se stejnou intenzitou (MURAKAMI et al. 1990). MCKAY et al. (1999) se domnívají, že se pozorované rozdíly v ujímavosti pravděpodobně nevztahovaly ke schopnosti existujícího kořenového systému ihned po výsadbě přijímat vodu, protože buk i dub měly přibližně stejnou hmotnost jemných a postranních kořenů, ale dub měl mnohem lepší ujímavost. Ačkoliv se tyto dva druhy liší v biomase hlavního kořene, má to pravděpodobně malý účinek na jejich schopnost přijímat vodu, protože specifická plocha povrchu hlavního kořene je malá a pletiva jsou silně suberizovaná. Za nejpravděpodobnější vysvětlení rozdílů mezi různými dřevinami považují MCKAY et al. (1999) rozdíl ve schopnosti regenerace. Jasan a dub, které mají větší dřevnaté kořeny než buk a bříza, jsou zřejmě schopnější udržet si schopnost tvorby adventivních kořenů i po poškození vysycháním nebo drsnou manipulací.

Výsledky pokusů se záměrným vysycháním potvrdily možnost zjistit narušení vodního režimu sazenic během manipulace před výsadbou, a to především u buku lesního. U dubu zimního byly změny vodního stresu, vodního deficitu a obsahu vody v kořenech a v nadzemních částech poměrně malé i po 6 hodinách vysychání a touto expozicí nebyla výrazněji ovlivněna ani jejich ujímavost.

Potvrdil se tak předpoklad, že změny fyziologických charakteristik jsou druhově specifické. Obecně jsou jako vysoký vodní stres uváděny hodnoty PMS nad 20 nebo 25 barů (LANDIS et al. 1989, LOPUSHINSKI 1990, RITCHIE, LANDIS 2005). Neplatí to však pro všechny dřeviny. U buku lesního a dubu zimního v našich pokusech byly vysoké ztráty po výsadbě indikovány až hodnotami vyššími než 40 barů. V současné době jsou prováděna měření vzorků sazenic z lesních školek i z dalších cílených experimentů pro získání rozsáhlé databáze hodnot z různých druhů dřevin a typů sadebního materiálu.

## Závěr

Dlouhodobé skladování sazenic buku lesního a dubu zimního při teplotách pod bodem mrazu nemělo negativní vliv na jejich kvalitu v době vyskladnění ani na jejich reakce na následné vystavení vysychání.

Metoda měření vodního stresu PMS pomocí tlakové komory se ukázala jako perspektivní pro zjišťování potenciálního poškození sadebního materiálu vysycháním během nesprávné manipulace v době od vyzvednutí ve školce po výsadbu. Poskytuje výsledky prakticky okamžitě nebo v řádu hodin. Jako perspektivní se ukázalo i zjišťování vodního deficitu z rozdílu obsahu vody před a po dosycení pletiv vodou, které poskytuje výsledky během 3 dnů.

Buk lesní reagoval na vysychání mnohem citlivěji než dub zimní, a to jak zhoršením fyziologických charakteristik, tak vyššími ztrátami po výsadbě.

Pro jiné typy možného poškození sadebního materiálu než ztrátou vody jsou ověřovány další metody hodnocení fyziologického stavu, například měření relativní elektrické vodivosti výluhů z kořenů pro zjišťování poškození mrazem při nesprávném přezimování krytokořenných semenáčků.

Hodnocení různých charakteristik fyziologické kvality sadebního materiálu poskytuje poznatky o okamžitém stavu sazenic. Důležitým faktorem je však i průběh počasí před a po výsadbě. Při výsadbě do vlhké půdy a při následném deštivém počasí jsou sazenice schopné přežít i se silně narušeným vodním režimem a naopak při dlouho trvajícím suchu po výsadbě dochází k velkým ztrátám i u kvalitního sadebního materiálu.

## Literatura

- CLEARY, B., ZAERR, J., HAMEL, J. Guidelines for measuring plant moisture stress with a pressure chamber. Corvallis (USA), PMS Instrument Comp., 1999. 26 s.
- COUTTS, M. P. Effects of root or shoot exposure before planting on the water relations, growth, and survival of Sitka spruce. *Canadian Journal of Forest Research*, 11, 1981. 703-709.
- GIRARD, S., CLÉMENT, A., BOULET-GERCOURT, B., GUEHL J-M. Effects of exposure to air on planting stress in red oak seedlings. *Ann. Sci. For.* 1997. 54: s. 395-401.
- INSLEY, H. Damage to broadleaved seedlings by desiccation. *Arboriculture Research Note* 8, 1979. 4 s.
- LANDIS, T. D., DUMROESE R. K., HAASE, D. L. *The Container Tree Nursery Manual. Volume 7: Seedling processing, storage, and outplanting.* 2010. Dostupné na: <http://www.rngr.net/publications/ctnm/volume-7>
- LEUGNER, J., MARTINCOVÁ, J., JURÁSEK, A. Vliv vysychání během manipulace a prostředí po výsadbě na růst sazenic smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) Karst.). *Zprávy lesnického výzkumu*, 2012. 57 (1): s. 1-7.
- LEUGNER, J., MARTINCOVÁ, J., ERBANOVA, E. Změny vodního potenciálu u sadebního materiálu borovice lesní při vysychání. In: *Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin.* (Sborník recenzovaných prací). 16. – 17. 9. 2015. Praha, Česká zemědělská univerzita v Praze; [Zvolen], Ústav ekológie lesa Slovenskej akadémie vied, 2015. s. 128-131. – ISBN 978-80-813-2567-8 (ČZU); 978-80-89408-23-8 (SAV)
- LEUGNER, J., MARTINCOVÁ, J., ERBANOVA, E. Vztah vodního stresu měřeného tlakovou komorou ke schopnosti obnovy růstu kořenů sazenic smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) Karst. In: *Funkce lesa v měnících se podmínkách prostředí.* Sborník původních vědeckých prací u příležitosti 17. vědecké konference pěstitelů lesa. Dobruška, 30. – 31. 8. 2016. Ed. Kacálek, D., Novák, J., Nováková, K., Součková, J. Strnady, VÚLHM – VS Opočno 2016. s. 21-27. Proceedings of Central European Silviculture. 2016. Volume 6. – ISBN 978-80-7417-112-3
- LOPUSHINSKI, W. Seedling moisture status. In: Rose, R., Campbell, S. J., Landis, T. D. (eds.) *Target Seedling Symposium: Proc., Comb. Meet. West. For. Nursery Assoc.* August 13-17, 1990. Rosenberg, Oregon. Gen. Techn. Rep. RM-200. Ed. Fort Collins (Colorado), Rocky Mount. For. and Range Exp. Stat. 1990. s. 123-138.
- McEVOY, C.; MCKAY, H. Sensitivity of broadleaved trees to desiccation and rough handling between lifting and transplanting. *Miscellaneous Arboriculture Research and Information Note - Arboricultural Advisory and Information Service (AAIS)* 1997. 7 s.
- MCKAY, H.M., JINKS, R.L., McEVOY, C. The effect of desiccation and rough-handling on the survival and early growth of ash, beech, birch and oak seedlings. *Forest Science*, 1999. 56: s. 391-402.
- MURAKAMI, P., CHEN, T. H. H., FUCHIGAMI, L. H. Desiccation tolerance of deciduous plants during postharvest handling. *J. Environ. Hort.* 8, 1990. s. 22-25.
- RITCHIE, G. A., LANDIS, T. D. 2005. Seedling Quality Tests: Plant Moisture Stress. *Forest Nursery Notes*, Summer 2005. USDA Forest Service Cooperative Forestry. Portland, Oregon (USA), 2005. s. 6-12.

## Dedikace

Příspěvek vznikl za podpory Ministerstva zemědělství, institucionální podpora MZE-RO0118 a projektu GS LČR Nalezení provozní metody na ověřování životaschopnosti sazenic při a po výsadbě – aktuální fyziologický stav pro listnaté dřeviny (buk a dub).

## Summary

Insufficient protection of plants from drying out during handling between lifting from beds and planting often causes damage that is not initially noticeable, but can significantly negatively impact subsequent plant survival and growth. In the research station in Opočno, experiments were conducted focusing on the evaluation of the water regime in bare-root planting material of beech *Fagus sylvatica* L. and sessile oak *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. during desiccation. The seedlings used were winter stored at a temperature below freezing point and seedlings lifted in the spring from the nursery beds. Before planting, they were exposed to desiccation on shelves in the laboratory for 0, 2 and 6 hours for beech and 0, 2, 6 and 18 hours for oak. The plant moisture stress (PMS) measured by the pressure chamber, the water content in the above-ground parts and in the roots as the difference between fresh and dry weight in percent of dry weight and the water deficit (WD) as the amount of water needed to fully saturate the stem segment were evaluated. In both species, the plant moisture stress PMS values increased significantly with prolonged exposure time. The water content of shoots and roots decreased and the water deficit WD increased. The proportion of dead seedlings or plants with dry terminal shoots also increased.

The effect of desiccation on the observed water regime characteristics and the subsequent survival was much more pronounced in the beech (Fig. 1), where the PMS values after 6 hours exposition reached up to 60 bar, WD water deficiency increased to 20-25% and after planting up to 60% of seedlings have died and most others have dry terminal shoots. In sessile oak, changes in water regime during exposure were significantly smaller (Fig. 2). After 6 hours of desiccation, PMS was only 20 bar, and after 18 hours of desiccation it was close to 40 bar. The WD water deficit reached 20% after 18 hours of desiccation and the mortality after planting did not exceed 15% even for the longest exposed oak seedlings.

Long-term freezer storage of beech and sessile oak seedlings did not have a negative impact on their quality at the time of planting or on their response to subsequent exposure to desiccation.

The method of measuring the plant moisture stress PMS using a pressure chamber has proven to be promising for detecting potential damage of planting material by desiccation during improper handling at the time from lifting to planting. It gives results almost immediately or within several hours. The detection of the water deficit WD from the difference in water content before and after full watering the tissues appears to be also promising. Its results are available within 3 days.

An important factor for the afforestation success, however, is the course of weather before and after planting. When planting in moist soil and rainy weather the seedlings are able to survive even with a heavily disturbed water regime and, on the contrary, with long-lasting drought after planting, there is a high mortality even in high-quality seedlings.

## ÚČINOK TERMÍNU VÝSADBY A APLIKÁCIE HNOJIVA A HYDROGÉLU NA PREŽÍVANIE, RAST A FLUORESCENCIU CHLOROFYLU VÝSADBY BUKA LESNÉHO A SMREKA OBYČAJNÉHO PO PRVOM VEGETAČNOM OBDOBÍ

### IMPACT OF PLANTING TERM AND FERTILIZER AND HYDROGEL APPLICATION ON SURVIVAL, GROWTH AND CHLOROPHYLL FLUORESCENCE OF EUROPEAN BEECH AND NORWAY SPRUCE PLANTATIONS ONE YEAR AFTER PLANTING

Ivan Repáč\*, Martin Belko, Jaroslav Kmet'

Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, SK

\*corresponding author: repac@tuzvo.sk

#### Abstract

*Bareroot (BR) and containerized (CR) European beech and Norway spruce seedlings were planted in autumn and spring term on the windthrow area in Strážovské vrchy Mts., Slovakia. In spring, seedlings were treated by hydrogel Agrisorb or slow-release fertilizer Silvamix. Spruce survived better than beech, larger-sized 4-year-old BR seedlings of both tree species better than smaller-sized 2-year-old CR seedlings. Autumn planted BR spruce and CR beech seedlings reached lower survival than spring planted ones. Silvamix had positive effect on survival of CR spruce, Agrisorb had negative effect on survival of CR beech. Agrisorb stimulated biomass production and proportion of vital short roots of BR spruce seedlings. Chlorophyll fluorescence measurement revealed under-limit values of Fm, Fv/Fm parameters in all treatments. Results suggest certain effect of planting term and additives on seedling survival depending on tree species and stock type, but only a sporadic effect on seedling growth.*

**Keywords:** European beech, Norway spruce, containerized seedlings, planting term, chlorophyll fluorescence

#### Abstrakt

*Voľnokorenné (VK) sadenice a krytokorenné (KK) semenáčky buka lesného a smreka obyčajného boli vysadené v jesennom a jarnom termíne na ploche po vetrovej kalamite v pohorí Strážovské vrchy. V jarnom termíne bolo k vysadeným sadeniciam a semenáčikom aplikované hnojivo s postupným uvoľňovaním živín Silvamix alebo hydroabsorbent Agrisorb. Smrek prežíval lepšie ako buk, vyspelé štvorročné VK sadenice obidvoch drevín prežívali lepšie ako menej vyspelé dvojročné KK semenáčky. VK smrek a KK buk z jesennej výsadby prežívali horšie ako z jarnej. Silvamix mal pozitívny vplyv na prežívanie KK smreka, Agrisorb negatívny na prežívanie KK buka. Agrisorb stimuloval tvorbu biomasy a zvýšil podiel vitálnych krátkych korieňov VK smreka. Meranie fluorescencie chlorofylu indikovalo miernu stresovú záťaž asimilačného aparátu vo všetkých variantoch. Výsledky poukazujú na určitý vplyv termínu výsadby a prípravkov na prežívanie výsadiieb v závislosti od druhu dreviny a typu sadbového materiálu, ale len na ojedinelý vplyv na rast sadeníc.*

**Kľúčové slová:** buk lesný, smrek obyčajný, krytokorenné semenáčky, termín výsadby, fluorescencia chlorofylu

#### Úvod

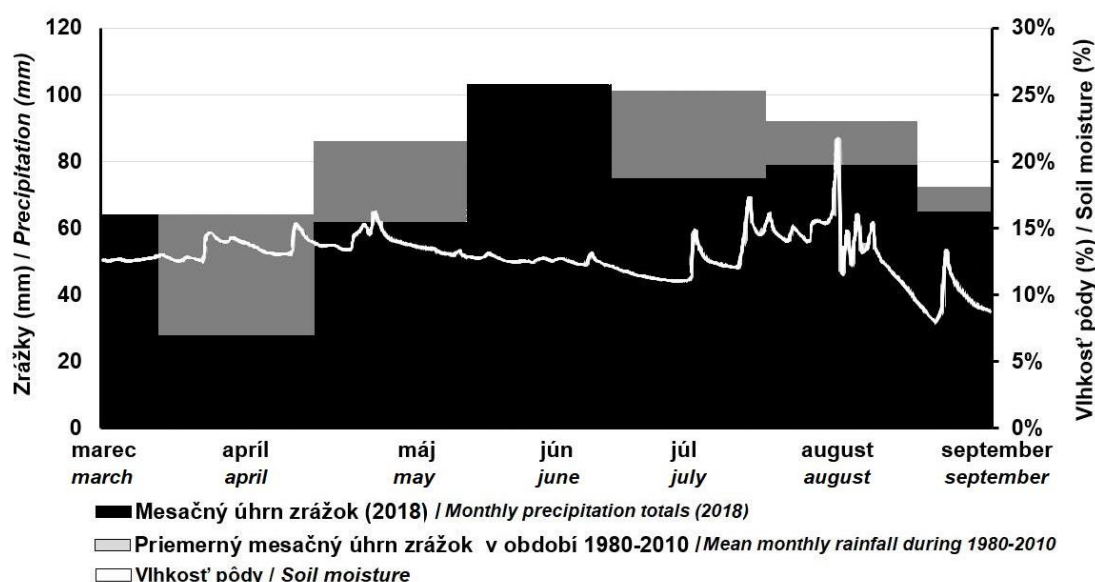
V podmienkach veľkoplošných holín, ktoré vznikli v dôsledku náhleho rozpadu málo diferencovaných komplexov lesa, je dôležitým nástrojom zachovania hospodársky významných druhov drevín v budúcich lesných porastoch výsadba sadeníc. Rýchlosť a rozsah zmeny lesného prostredia na prostredie voľnej plochy zvyšujú riziko neúspechu štandardne používanej technológie výsadby voľnokorenného sadbového materiálu v jarnom termíne (REPÁČ, VENCÚRIK 2015). Otázke rozšírenia zalesňovacieho obdobia výsadbou sadeníc v jesennom termíne bola venovaná pozornosť doma (GUBKA 2001; REPÁČ, BELKO 2018) aj v zahraničí (BARZDAJN 2010; LUORANEN et al. 2018). Viaceré experimenty potvrdili taktiež pozitívny účinok aplikácie rôznych vododržných látok, alebo hnojív s dlhodobým

uvoľňovaním živín na prežívanie, rast alebo fyziologický stav sadeníc (TUČEKOVÁ 2004; BULÍŘ 2006; CROUS 2016). Práve riziko zníženia fyziologickej kvality, ktoré je v procese manipulácie, výsadby a v období po výsadbe nižšie pri krytokorenných semenáčikoch v porovnaní s voľnokorennými sadenicami (GROSSNICKLE, EL-KASSABY 2016), nabáda na širšie uplatnenie krytokorenného materiálu aj v našich podmienkach.

Cieľom tohto príspevku je zhodnotenie vplyvu termínu výsadby, aplikácie hnojiva Silvamix Forte a hydroabsorbenta Agrisorb na prežívanie, rast, vitalitu krátkych koreňov a vybraných parametrov fluorescencie chlorofylu voľnokorenných (VK) sadeníc a krytokorenných (KK) semenáčikov buka lesného (*Fagus sylvatica* [L.] (BK) a smreka obyčajného (*Picea abies* [L.] Karst.) (SM) na výskumnej výsadbovej ploche (VVP) v Strážovských vrchoch po prvom vegetačnom období po výsadbe.

## Materiál a metodika

VVP bola založená na ploche po vetrovej kalamite v Strážovských vrchoch, ktorá je v súčasnosti obhospodarovaná Urbárskym pozemkovým spoločenstvom Čičmany. Geologické podložie je tvorené vápencami a dolomitmi, pôdny typ rendzina, s neutrálnou pôdnou reakciou ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  6,9). Koncentrácia základných prvkov vo vzorkách pôdy odobraných z VVP pred výsadbou: C 10,0%; N 0,6%; C/N 15; P 9,1  $\text{mg.kg}^{-1}$ ; K 95  $\text{mg.kg}^{-1}$ ; Ca 5105  $\text{mg.kg}^{-1}$ ; Mg 1568  $\text{mg.kg}^{-1}$ . Nadmorská výška VVP je 650–670 m, expozícia SZ, sklon 30 %. V drevinovom zložení pôvodného porastu prevládala SM (95%), prímes BK nepresiahla 5%. VVP sa nachádza v dielci, ktorý je lokalizovaný v 5. lesnom vegetačnom stupni (jedľovo-bukovom), skupina lesných typov *Fageto-Aceretum*. Priemerné ročné zrážky sú 921 mm, priemerná ročná teplota 6,44 °C; zrážky a teplota počas vegetačného obdobia 540 mm a 12,65 °C. Teplota vzduchu vo výške 30 cm nad povrchom, vlhkosť pôdy a teplota pôdy v hĺbke 15 cm boli zaznamenávané prostredníctvom senzorov dataloggera Minikin (EMS Brno), umiestnenom pred jesennou výsadbou sadeníc v strede VVP (Obr. 1).



**Obr. 1:** Vývoj vlhkosti pôdy na výsadbovej ploche a porovnanie mesačných úhrnov zrážok počas vegetačného obdobia 2018 a priemerných mesačných úhrnov zrážok v období 1980-2010 na strednom Slovensku.

**Fig. 1:** Soil moisture on the experimental plot and comparison of monthly precipitation totals during growing season 2018 with mean monthly precipitation totals for 1980–2010 period in Central Slovakia.

Na plochu boli vysadené štvorročné (2+2) VK sadenice SM a BK vypestované v lesnej škôlke Urbárskeho pozemkového spoločenstva Čičmany. KK semenáčky obidvoch drevín boli vysadené ako dvojročné (fk2+0), smrek bol vypestovaný v rašelinocelulóзовých tabletách Jiffy a buk v plastových obaloch Plantek. Sadbový materiál obidvoch drevín bol vysadený jamkovou sadbou v jeseni 2017 (koniec októbra) a na jar 2018 (koniec apríla) v rozstupe 1,3 m; hustota 6000 ks.ha<sup>-1</sup>. V dôsledku výskytu ťažbových zvyškov na VVP nebolo možné vždy dodržať pravidelný spon. V jarnom termíne boli popri výsadbe neošetrených vysadené aj sadenice a semenáčky, ku ktorým bolo aplikované hnojivo Silvamix forte® (ECOLAB, Znojmo, Česká republika), alebo hydroabsorbent Agrisorb 500 Micro (Evonik Industries, Essen, Nemecko). Experiment bol založený v znáhodnených blokoch v trojnásobnom opakovaní. V jednom opakovaní (bloku) bolo vysadených 50 ks sadeníc každej dreviny, typu sadbového materiálu a porovnávaného variantu (50 ks × 2 dreviny × 2 typy sadbového materiálu × 4 varianty: jeseň; jar; jar+Silvamix; jar+Agrisorb × 3 bloky = 2400 ks sadeníc).

Hnojivo Silvamix je pomaly rozpustné bezchloridové zásobné hnojivo s vysokým obsahom živín (N, P, K, Mg). Zdrojom pomaly pôsobiaceho N v pôde je ureaform (močovino-aldehydové kondenzáty), živiny sa do pôdy uvoľňujú po dobu 24 mesiacov. V experimente sme použili hnojivo vo forme tabliet s obsahom živín N 17,5 %; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 17,5 %; K<sub>2</sub>O 10,5 %; MgO 9 %. Okolo jednej sadenice sme pravidelne rozmiestnili 3 tablety (hmotnosť 1 tablety 10 g) vo vzdialenosti asi 10 cm od sadenice do jamiek s hĺbkou 3 cm. Agrisorb je práškový hydroabsorbent schopný viazať extrémne množstvo vody (1 g až 300 ml vody), ktorá je prístupná sadeniciam. Koreňové systémy sadeníc boli pred výsadbou namáčané v Agrisorbe gélovej konzistencie, ktorá bola pripravená zmiešaním prípravku s primeraným množstvom vody (500 g na 50 l vody).

Po jesennej výsadbe a ďalej každoročne po skončení vegetačného obdobia (po zdrevnatení výhonkov) bola vykonaná individuálna ochrana sadeníc a semenáčikov proti odhryzu zverou náterom terminálneho výhonka repelentom. Ochrana kultúr proti burine bola vykonaná mechanicky vyžínaním okolo každej sadenice.

Hodnotenie výsadby bolo vykonané po skončení vegetačného obdobia (október). Prežívanie bolo vyjadrené ako percento počtu živých (zdravé + poškodené) z počtu vysadených jedincov, poškodenie ako percento počtu poškodených z počtu prežitých jedincov. Výška kmienka, výškový prírastok a hrúbka kmienka boli merané na všetkých nepoškodených jedincoch. Z každej kombinácie dreviny, typu sadbového materiálu, variantu a opakovania boli vyzdvihnuté 4 jedince. Z očistených koreňových systémov vyzdvihnutých sadeníc a semenáčikov sme z troch rôznych miest (horná, stredná, dolná časť) odobrali vzorky jemných korieňov (niekoľko sekcií dĺžky 4–5 cm, sumárna dĺžka približne 30 cm). Pomocou binokulárnej lupy boli na jemných korieňoch podľa morfológických znakov rozlišované a počítané vitálne a mŕtve krátke korieňky (PEŠKOVÁ et al. 2015). Zo zistených počtov bol stanovený počet krátkych korieňov (vitálnych + mŕtvych) na 1 cm dĺžky jemných korieňov (ks.cm<sup>-1</sup>) a vitalita krátkych korieňov ako percento počtu vitálnych korieňov z celkového počtu korieňov.

Nadzemná a podzemná časť boli samostatne vysušené (70 °C, 48 h) a následne zvážené. Na konci augusta boli v každom variante v rámci kombinácie dreviny a typu sadbového materiálu zmerané parametre fluorescencie chlorofylu prenosným fluorimetrom PEA (Hansatech Instruments Ltd., Kings Lynn, UK) na 5 náhodne vybraných nepoškodených jedincoch. Na jednej sadenici, semenáčku boli vykonané 2 merania. Meranie sa uskutočnilo po 30-minútovej dobe tmavej adaptácie na



vybraných vzorkách asimilačného aparátu pri intenzite saturačného svetla  $2\ 100\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a 1-sekundovom intervale zaznamenávania údajov. Fluorescencia nemá štandardné jednotky merania, fluorescenčný signál je kvantifikovaný relatívnou odpoveďou v bitoch detektorom prijatého spätného vyžiarovania (KMEŤ 1999). Zo zaznamenaných údajov boli automaticky vypočítané parametre pomalej kinetiky fluorescence chlorofylu a:  $F_0$  – minimálna fluorescencia,  $F_m$  – maximálna fluorescencia,  $F_v/F_m$  – maximálna fotochemická efektívnosť.

Získané údaje boli analyzované samostatne v rámci každej kombinácie dreviny a typu sadeníc. Normálne rozdelenie údajov bolo overené prostredníctvom Shapiro-Wilk testu v programe STATISTICA 12 (StatSoft, Inc., Tulsa USA). Parametre (rastové, fluorescence chlorofylu, počet a vitalita krátkych korienkov) spĺňajúce túto a ostatné podmienky použitia analýzy variancie boli analyzované jednofaktorovou analýzou rozptylu (porovnávané varianty: jeseň; jar; jar + Silvamix; jar + Agrisob) v programe SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Významnosť rozdielov medzi variantmi bola posúdená Tuckeyovým testom ( $p \leq 0,05$ ).

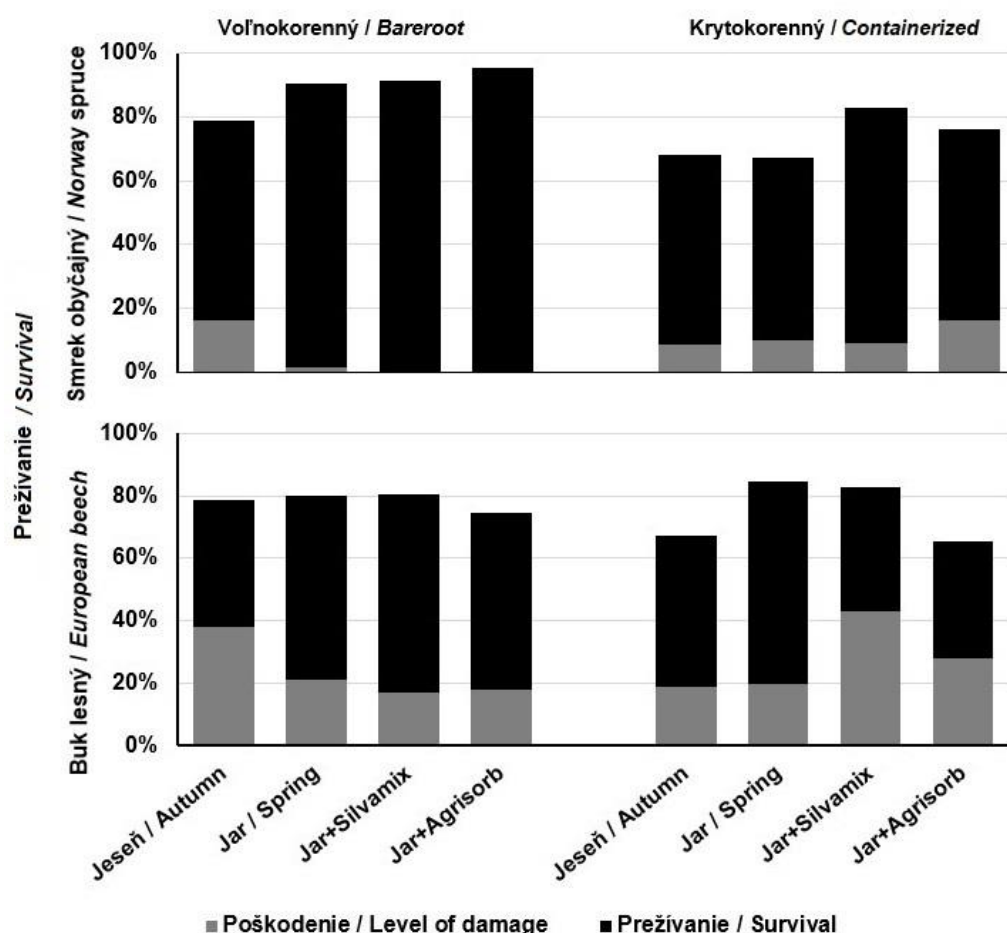
### Výsledky a diskusia

Na konci prvého vegetačného obdobia po založení výsadby sadbový materiál SM prežíval v priemere lepšie (81 %) ako sadbový materiál BK (76 %). VK sadenice dosiahli v priemere lepšie prežívanie (SM 89 %; BK 78 %), ako KK semenáčky (SM 74 %; BK 74 %) (Obr. 2). Zhoršenú schopnosť adaptácie sadbového materiálu BK v porovnaní so SM na podmienky holej plochy pozorovali vo svojich experimentoch viacerí autori (REPÁČ et al. 2011; MARTINÍK et al. 2014; TUČEKOVÁ, TAKÁČOVÁ 2014). Lepšia ochrana koreňov pred poškodením (GROSSNICKLE, EL-KASSABY 2016), ako aj melioračné účinky substrátu v obale (LEUGNER 2009) by mali v prípade KK semenáčikov zmierniť šok po výsadbe a zabezpečiť tak vyššiu ujatosť (LEUGNER 2009; TUČEKOVÁ, TAKÁČOVÁ 2014). Napriek tomu bola vo viacerých experimentoch zaznamenaná horšia ujatosť morfológicky menej vyspelých KK semenáčikov SM v porovnaní s vyspelými VK sadenicami (REPÁČ et al. 2011; KLAVINA et al. 2013). Sadenice VK BK a semenáčky KK SM z jesennej výsadby dosiahli podobné hodnoty prežívania ako výsadby z jarného termínu, ktorý sa však ukázal ako vhodnejší pre VK SM a KK BK (Obr. 2). Na rozdiel od našich výsledkov experimenty GUBKU (2001) a BARZDAJNA (2010) ukázali, že v našich podmienkach môže byť jesenný termín výsadby rovnako úspešný ako jarný. Aplikované prípravky nemali výraznejší vplyv na prežívanie VK sadeníc, spôsobili však výraznejšie rozdiely v prežívaní KK semenáčikov (Obr. 2).

Na konci prvého vegetačného obdobia boli výsadby poškodené najmä zverou. V založených kultúrach zver často vyhľadáva a poškodzuje sadenice menej rozšírených drevín v danej oblasti (FINĐO, PETRÁŠ 2011), čo sme pozorovali aj v našom experimente. Rozsah poškodenia zverou bol vyšší pri sadbovom materiáli BK (26 %), ako pri SM (7 %) (Obr. 2). Rozsah poškodenia VK sadeníc obidvoch drevín vysadených v jesennom termíne bol výrazne vyšší ako pri KK semenáčikoch z jesennej výsadby, ako aj VK sadenicách z jarnej výsadby (Obr. 2). LUORANEN et al. (2018) uvádza, že škody zverou, rovnako ako kvalita výsadby patria medzi dôležité faktory ovplyvňujúce úspech výsadby sadeníc v jesennom termíne.

Termín výsadby ani aplikované prípravky nemali výraznejší vplyv na hrúbku sadeníc. KK SM z jarnej výsadby dosiahol lepší výškový rast než z jesennej (Tab. 1). Hnojivo nemalo žiadny vplyv na výškový rast sadeníc a semenáčikov, čo môže byť zapríčinené krátkym obdobím od jeho aplikácie. Oneskorený účinok hnojiva s postupným uvoľňovaním živín pozorovali vo svojich experimentoch viacerí autori

(KUNEŠ et al. 2004; TUČEKOVÁ 2004; BULÍŘ 2006). V prípade hnojiva Silvamix forte použitého v tomto experimente je výrobcom deklarovaná doba uvoľňovania živín až 24 mesiacov.



**Obr. 2:** Prežívanie a poškodenie prežitých voľnokorenných sadeníc a krytokorenných semenáčikov smreka obyčajného a buka lesného po prvom vegetačnom období po výsadbe v jesennom a jarnom termíne a aplikácii hnojiva Silvamix a hydrogélu Agrisorb na ploche v Strážovských vrchoch.

**Fig. 2:** Survival and damage of bareroot and containerized Norway spruce and European beech seedlings after the first growing season after planting in autumn and spring planting term on the plot in Strážovské vrchy Mts.

VK sadenice SM ošetrené pred výsadbou hydroabsorbentom Agrisorb dosiahli najvyššiu výšku a prírastok, naopak pri KK semenáčikoch bol zaznamenaný skôr negatívny vplyv hydroabsorbentu (Tab. 1). Experimenty zhrnuté v práci CROUSA (2016) poukazujú na značnú premenlivosť úspechu aplikácie hydroabsorbentov v procese zakladania výsadiel. Medzi faktory ovplyvňujúce účinok hydroabsorbentov zaraďuje CROUS (2016) chemické a fyzikálne vlastnosti pôdy, vlastnosti a technológiu použitia hydroabsorbentov, priebeh klimatických charakteristík (najmä zrážky), ako aj faktory spojené s použitým sadbovým materiálom (druh dreveniny, vospelosť, manipulácia pred výsadbou). Rozdielny účinok aplikovaných prípravkov na VK sadenice a KK semenáčiky v našom experimente môže byť spôsobený aj rozdielmi v koreňových systémoch VK sadeníc a KK semenáčikov a ich vývoji po výsadbe (RUNE 2003; TSAKALDINI et al. 2005). V našom experimente sme pozorovali najmä pomalé prerastanie koreňov KK semenáčikov do okolitej pôdy a ich koncentráciu v rašelinovom substráte.

**Tab. 1:** Základné morfológické parametre nadzemnej časti voľnokorenných sadeníc a krytokorenných semenáčikov smreka obyčajného a buka lesného vysadených v jesennom a jarnom termíne po prvom vegetačnom období po výsadbe na plochu v Strážovských vrchoch. Medzi variantmi označenými rovnakým písmenom alebo bez písmena nie je štatisticky významný rozdiel ( $p = 0,05$ )

**Tab. 1:** *Main morphological parameters of aboveground part of bareroot and containerized Norway spruce and European beech seedlings after the first growing season after planting in autumn and spring term on the plot in Strážovské vrchy Mts. Treatment means followed by the same letter or without letter did not differ significantly ( $p = 0.05$ )*

Variant/ Treatment	Hrúbka/ Diameter (mm)	Výška/Stem height (cm)	Prírastok/ Leading sprout lenght (cm)	Hrúbka/ Diameter (mm)	Výška/Stem height (cm)	Prírastok/ Leading sprout lenght (cm)
Smrek obyčajný / Norway spruce			Buk lesný / European beech			
Voľnokorenné sadenice / Bareroot seedlings						
Jeseň / Autumn	7,8 ±1,2	37,8 ±5,3	8,8 ±1,9	6,3 ±1,4	40,8 ±6,7	5,7 ±2,2
Jar / Spring	7,7 ±1,2	37,2 ±5,8	9,0 ±2,1	6,7 ±1,3	41,8 ±7,4	6,7 ±2,4
Jar+Silvamix	7,7 ±1,5	37,2 ±6,3	9,4 ±2,3	6,8 ±1,7	41,8 ±7,2	6,2 ±2,6
Jar+Agrisorb	7,8 ±1,6	39,9 ±7,5	10,4 ±2,9	6,4 ±1,4	40,0 ±6,6	5,2 ±2,4
Krytokorenné sadenice / Containerized seedlings						
Jeseň / Autumn	4,6 ±1,2	28,8 ±5,4	7,6 ±2,4b	5,8 ±1,2	31,9 ±5,2	5,1 ±2,1a
Jar / Spring	4,7 ±1,0	30,6 ±5,7	9,4 ±2,9a	5,6 ±1,0	31,7 ±5,8	4,9 ±1,9ab
Jar+Silvamix	5,3 ±1,3	30,0 ±4,9	8,1 ±2,3a	5,2 ±1,0	30,6 ±5,7	4,8 ±2,4ab
Jar+Agrisorb	5,1 ±1,1	28,9 ±4,8	7,5 ±2,4b	5,0 ±1,0	30,6 ±7,4	3,7 ±1,7b

Vysvetlivky: V tabuľke sú uvedené priemerné hodnoty ± smerodajné odchýlky

Captions: Values in table represent mean ± standard deviation

Rozdiely zaznamenané pri hodnotení výškového rastu boli pozorované aj pri hodnotení hmotnosti sušiny sadbového materiálu. Pri VK SM je to najmä vyššia hmotnosť sušiny sadeníc ošetrených hydroabsorbentom Agrisorb v porovnaní s ostatnými variantmi (Tab. 2). Pri KK SM je to naopak nižšia hmotnosť sušiny semenáčikov vysadených v jesennom termíne, rovnako ako semenáčikov ošetrených hydroabsorbentom (Tab. 2). Aplikované prípravky, ani termín výsadby nemali výraznejší vplyv na hmotnosť sušiny sadbového materiálu BK. Vitalita krátkych korieňkov VK sadeníc obidvoch drevín bola v porovnaní s KK semenáčikmi v priemere o 9 % nižšia (Tab. 2). Z použitých prípravkov sme zaznamenali pozitívny vplyv hydroabsorbentu na vitalitu krátkych korieňkov len pri VK SM. V ostatných kombináciách dreviny a typu sadbového materiálu neboli vo vitalite ani počte krátkych korieňkov medzi porovnávanými variantmi výraznejšie rozdiely. Zhoršenie vitality krátkych korieňkov v dôsledku simulovaného sucha pozorovali PEŠKOVÁ et al. (2015), ktorí hodnotili vplyv simulovaného sucha a pozície stromu v poraste na mykORIZÁCIU jemných korieňkov smreka.

**Tab. 2:** Hmotnosť sušiny koreňov a nadzemnej časti, vitalita a počet krátkych koreňov voľnokorenných sadeníc a krytokorenných semenáčikov smreka obyčajného a buka lesného vysadených v jesennom a jarnom termíne po prvom vegetačnom období po výsadbe na plochu v Strážovských vrchoch. Medzi variantmi označenými rovnakým písmenom alebo bez písmena nie je štatisticky významný rozdiel ( $p = 0,05$ ).

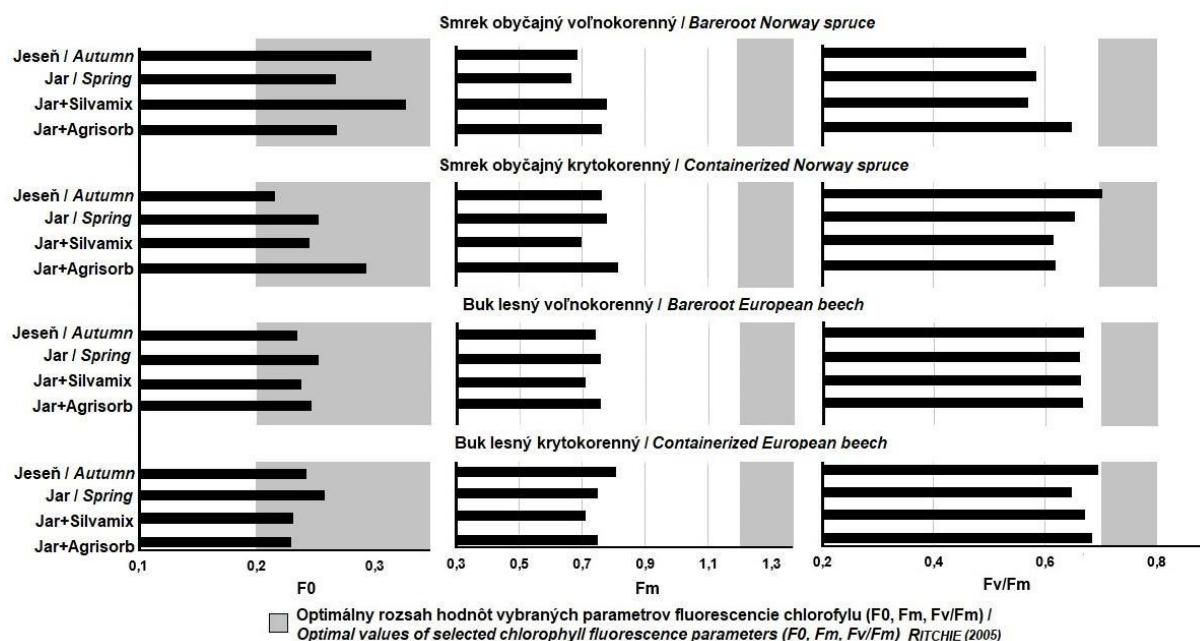
**Tab. 2:** Root system and aboveground part dry weight, vitality and number of short roots of bareroot and containerized Norway spruce and European beech seedlings after the first growing season after planting in autumn and spring term on the plot in Strážovské vrchy Mts. Treatment means followed by the same letter or without letter did not differ significantly ( $p = 0.05$ )

Variant / Treatment	Vitalita krátkych koreňov (%) / Vitality of short roots (%)	Počet krátkych koreňov (ks cm <sup>-1</sup> ) / Short root frequency (No cm <sup>-1</sup> )	Hmotnosť koreňov (g) / Root dry weight (g)	Hmotnosť nadzemnej časti (g) / Aboveground dry weight (g)
Smrek obyčajný voľnokorenný/Bareroot spruce				
Jeseň / Autumn	65,3 ± 3,0b	5,9 ± 1,2	13,3 ± 3,2b	6,9 ± 1,6b
Jar / Spring	64,9 ± 25,3b	5,2 ± 1,8	13,2 ± 3,5b	6,8 ± 1,6b
Jar+Silvamix	71,6 ± 26,9ab	5,7 ± 1,2	13,4 ± 4,0b	7,1 ± 1,9b
Jar+Agrisorb	86,3 ± 12,7a	4,0 ± 0,7	17,1 ± 5,5a	10,1 ± 3,2a
Smrek obyčajný krytokorenný/Containerized spruce				
Jeseň / Autumn	81,9 ± 15,0	5,9 ± 0,6	3,5 ± 1,1b	1,7 ± 0,7
Jar / Spring	77,3 ± 29,5	5,7 ± 0,8	5,4 ± 1,4a	2,3 ± 0,8
Jar+Silvamix	91,7 ± 8,5	5,9 ± 0,8	5,8 ± 1,4a	2,4 ± 0,7
Jar+Agrisorb	80,7 ± 27,2	5,7 ± 1,1	4,9 ± 0,9a	1,9 ± 0,5
Buk lesný voľnokorenný/Bareroot beech				
Jeseň / Autumn	59,7 ± 21,7	9,3 ± 2,0	7,5 ± 2,4	5,2 ± 1,8
Jar / Spring	60,4 ± 22,9	9,7 ± 1,7	7,3 ± 1,5	4,9 ± 0,9
Jar+Silvamix	65,0 ± 16,6	10,8 ± 1,9	7,1 ± 2,2	5,4 ± 1,7
Jar+Agrisorb	67,4 ± 15,5	10,3 ± 2,6	7,4 ± 2,5	5,1 ± 1,2
Buk lesný krytokorenný/Containerized beech				
Jeseň / Autumn	76,6 ± 14,5	8,1 ± 2,4	3,8 ± 1,3	2,2 ± 0,8
Jar / Spring	71,2 ± 17,3	8,3 ± 2,5	3,3 ± 0,9	2,0 ± 0,7
Jar+Silvamix	69,3 ± 18,3	8,1 ± 2,7	3,5 ± 0,9	2,0 ± 1,0
Jar+Agrisorb	70,1 ± 15,9	7,9 ± 2,1	3,2 ± 0,9	2,3 ± 0,9

Vysvetlivky: V tabuľke sú uvedené priemerné hodnoty ± smerodajné odchýlky

Captions: Values in table represent mean ± standard deviation

Meranie fluorescencie chlorofylu vykonané koncom augusta po založení výsadby neodhalilo žiadne štatisticky významné rozdiely medzi hodnotenými variantmi v rámci každej kombinácie dreveniny a typu sadbového materiálu. Priemerné hodnoty vybraných parametrov fluorescencie chlorofylu sa pohybovali v nasledovných intervaloch: F0 (minimálna fluorescencia) 0,216 – 0,326; Fm (maximálna fluorescencia) 0,667 – 0,812; Fv/Fm (maximálna fotochemická efektívnosť) 0,570 – 0,703 (Obr.3). Priemerné hodnoty parametra F0 boli v rozpätí optimálnych hodnôt, parametre Fm a Fv/Fm dosiahli v priemere podlimitné hodnoty (RITCHIE 2005) indikujúce miernu stresovú záťaž asimilačného aparátu vo všetkých hodnotených variantoch (Obr. 3).



**Obr. 3:** Priemerné hodnoty vybraných parametrov fluorescencie chlorofylu voľnokorenných sadeníc a krytokorenných semenáčikov smreka obyčajného a buka lesného v prvom vegetačnom období po výsadbe v jesennom a jarnom termíne na ploche v Strážovských vrchoch. Medzi variantmi označenými rovnakým písmenom alebo bez písmena nie je štatisticky významný rozdiel ( $p = 0,05$ ).

**Fig. 3:** Mean values of selected chlorophyll fluorescence parameters of bareroot and containerized Norway spruce and European beech seedlings in the first growing season after planting in autumn and spring term on the plot in Strážovské vrchy Mts. Treatment means followed by the same letter or without letter did not differ significantly ( $p = 0.05$ ).

## Záver

V prvom roku po založení výsadby na kalamitnej ploche v Strážovských vrchoch sadbový materiál SM prežíval v priemere lepšie ako sadbový materiál BK. Vypelé štvorročné VK sadenice obidvoch drevín dosiahli v porovnaní s menej vyspelými KK semenáčikmi lepšie prežívanie a čiastočne aj výškový rast. Rozdiely v prežívaní medzi VK a KK sadbovým materiálom boli výraznejšie pri SM ako pri BK. Výsadba sadeníc a semenáčikov v jesennom termíne priniesla mierne protichodné výsledky. Nižšie hodnoty prežívania výsadiel z jesenného termínu boli zaznamenané pre VK SM, KK BK, nižší rast bol pozorovaný pri VK BK, v ostatných kombináciách dreviny a typu sadbového materiálu boli hodnoty väčšiny hodnotených parametrov medzi sadenicami vysadenými v rôznom termíne podobné. Aplikácia hnojiva nemala v prvom roku žiadny výrazný vplyv na rast vysadených sadeníc a semenáčikov. Vzhľadom na priaznivé klimatické podmienky (zrážky) v období po založení výsadby bol pozitívny účinok namáčania koreňových sústav sadeníc do hydroabsorbentu Agrisorb na rast VK SM neočakávaný a poukazuje na rôznu odozvu sadeníc a semenáčikov na termín výsadby a aplikáciu prípravkov v závislosti od dreviny a typu sadbového materiálu. Vzhľadom na stále prebiehajúci proces adaptácie sadbového materiálu na podmienky výsadbovej plochy, ako aj na možný oneskorený účinok niektorých sledovaných účinkov, je potrebné pokračovať v hodnotení výsadby.

## Literatúra

BARZDAJN, W. The growth of the Scots pine (*Pinus sylvestris* [L.] culture established at different planting times using container and bare-root seedlings. *Sylwan*, 2010. 154: p. 312-322.

- BULÍŘ P. Growth of Austrian pine (*Pinus nigra* Arnold) treated with soil conditioners on Loket spoil bank. *Journal of Forest Science*, 2006. 52: p. 556-564.
- CROUS, W.,J. Use of hydrogels in the planting of industrial wood plantations. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, 2016. 79(3): p. 197-213.
- FINĎO, S., PETRÁŠ, R. Ochrana lesa proti škodám zverou. Zvolen: Národné lesnícke centrum, 2011. 283 p.
- GROSSNICKLE, C.,S., EL-KASSABY, A.,Y. Bareroot versus container stocktypes: a performance comparison. *New Forests*, 2016. 47: p. 1-51.
- GUBKA, K. Uplatnenie prirodzenej a umelej obnovy v ochranných lesoch 7. LVS v Nízkych Tatrách. In: SLODIČÁK, M., NOVÁK, J., (eds.) *Současné otázky pěstování horských lesů*. Opočno: VÚLHM Opočno, 2001. p. 221-230.
- KLAVINA, D., GAITNIEKS, T., MENKIS, A. Survival, growth and ectomycorrhizal community development of container and bareroot grown *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings outplanted on a forest clear-cut. *Baltic Forestry*, 2013. 19(1): p. 39-49.
- KMEŤ, J. Fluorescencia chlorofylu ako indikátor stresového zaťaženia drevín a jej aplikácia v lesníctve. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 1999. 67 p.
- KUNEŠ, I., BALCAR, V., ČÍŽEK M. Influence of amphibolite powder and Silvamix fertiliser on Norway spruce plantation in conditions of air polluted mountains. *Journal of Forest Science*, 2004. 50: p. 366-373.
- LEUGNER, J., JURÁSEK, A., MARTINCOVÁ, J. Comparison of morphological and physiological parameters of the planting material of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) from intensive nursery technologies with current bareroot plants. *Journal of Forest Science*, 2009. 55 (11): p. 511-517.
- LUORANEN, J., SAKSA, T., LAPPI, J. Seedling, planting site and weather factors affecting the success of autumn plantings in Norway spruce and Scots pine seedlings. *Forest Ecology and Management*, 2018. 419-420: p. 79-90.
- MARTINÍK A., DOBROVOLNÝ, L., HURT, V. Comparison of different forest regeneration methods after windthrow. *Journal of Forest Science*, 2014. 60 (5): p. 190-197.
- PEŠKOVÁ, P., LORENC, F., MODLINGER, V., POKORNÁ, V. Impact of drought and stand edge on mycorrhizal density on the fine roots of Norway spruce. *Annals of Forest Research*, 2015. 58(2): p. 245-257.
- REPÁČ, I., TUČEKOVÁ A., SARVAŠOVÁ I., VENCÚRIK J. Survival and growth of outplanted seedlings of selected tree species on the High Tatra Mts. windthrow area after the first growing season. *Journal of Forest Science*, 2011. 57 (8): p. 349-358.
- REPÁČ I., VENCÚRIK J. Intenzifikácia technológií zakladania lesných kultúr so zameraním na aplikáciu stimulačných prípravkov. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2015. 132 p.
- REPÁČ, I., BELKO, M. Vplyv termínu výsadby a pôdnych kondicionérov na vývin výsadiel buka lesného a smreka obyčajného v podmienkach kalamitnej plochy v pohorí Javorie po druhov vegetačnom období. In: GALLO et al. (eds.) *Proceedings of Central European Silviculture*. Doksy: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2018. p.112-125.
- RITCHIE, G.,A. Chlorophyll fluorescence: What is it and what do the numbers mean. In: RILEY, E., L., et al (eds.) *National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations-2005*. Fort Collins: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2006. p. 34-42.
- RUNE, G. Slits in container wall improve root structure and stem straightness of outplanted Scots pine seedlings. *Silva Fennica*, 2003. 37(3): p. 333-342.

- TSAKALDIMI, M., ZAGAS, T., TSITSONI, T., GANATSAS, P. Root morphology, stem growth and field performance of seedlings of two Mediterranean evergreen oak species raised in different container types. *Plant and Soil*, 2005. 278: p. 85-93.
- TUČEKOVÁ, A. Eliminácia vplyvu extrémov počasia pri zalesňovaní použitím vododržných a biotechnologických (hnojivých) preparátov. In: PEŇÁZ, J., MARTINEK, J. (eds.) Hlavní úkoly pěstování lesů na počátku 21. století. Brno: MZLU Brno, 2004. p. 101-119.
- TUČEKOVÁ, A., TAKÁČOVÁ, E. Aktuálne výsledky umelej obnovy na demonštračnom objekte Husárik na Kysuciach. In: BEDNÁROVÁ, D. (eds.) Aktuálne problémy v zakladaní a pestovaní lesa. Zvolen: Národné lesnícke centrum - Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 2014. p. 86-96.

### PodĎakovanie

Autori ďakujú p. M. Rybárikovi a Urbárskemu pozemkovému spoločenstvu Čičmany za materiálnu podporu a p. J. Povaľačovej, J. Hroncovi a A. Rybárikovi za technické práce.

### Summary

Outplanting seedling performance on sites with unfavorable environmental conditions can be promoted besides others by application of fertilizers, various soil additives, planting term extension or by the use of containerized seedlings. In this study, bareroot and containerized Norway spruce (spruce) and European beech (beech) seedlings were outplanted in autumn (october 2017) and spring planting term (april 2018) on experimental plot on windthrow area in Strážovské vrchy Mts., Slovakia. In spring planting time, root systems of the seedlings were treated either by commercial hydrogel, slow-release fertilizer or remained untreated (control). No soil additive was used in autumn planting time. The experiment was established in a complete randomized block design with three replications. Fifty seedlings were planted in each tree species, stock type, treatment (Autumn, Spring, Spring+slow-release fertilizer Silvamix, Spring+hydrogel Agrisorb) and block combination. The seedlings were planted into the holes at spacing 1.3 × 1.3 m (2,400 seedlings in total). The size of one block (2 tree species, 2 stock types, 4 treatments) and of the whole experimental plot was 0,16 ha and 0,48 ha, respectively. After first growing season, spruce survived better than beech, larger-sized four-year-old bareroot seedlings of both tree species better than smaller-sized two-year-old containerized seedlings. Autumn planted bareroot spruce and containerized beech reached lower survival rates than spring planted seedlings. Bareroot seedlings of both tree species planted in autumn were damaged by game more intensively compared to seedlings planted in spring. Hydrogel application improved growth and proportion of active short roots only for bareroot spruce seedlings. Chlorophyll fluorescence measurement carried out in the second half of growing season detected no significant differences among evaluated treatments for any of the tree species and stock type combination. Under-limit values of selected chlorophyll fluorescence parameters (Fm, Fv/Fm) were recorded regardless of tree species, stock type and treatment. Slow-release fertilizer did not improve growth of the seedlings. Because of unfinished seedling adaptation to the conditions of the planting site, as well as possible delayed effect of some of the treatments, it is necessary to continue in evaluation of experimental plantation in the following years.

## EXPERIMENTÁLNÍ VÝSADBA S TŘEŠŇOVÝMI POLOODROSTKY NOVÉ GENERACE NA ŽIVNÉM A VYSÝCHAVÉM STANOVÍŠTI V LOKALITĚ VINTÍŘOV-SEDEC: INICIÁLNÍ ZHODNOCENÍ UJÍMAVOSTI, RŮSTU A VITALITY

### EXPERIMENTAL PLANTATION WITH NEW GENERATION SEMI-SAPLINGS OF WILD CHERRY ON NUTRIENT-RICH SITE WITH A TENDENCY TO DRY-OUT IN VINTÍŘOV-SEDEC: INITIAL EVALUATION OF SURVIVAL, GROWTH AND VITALITY

Josef Gallo\*, Martin Baláš, Ivan Kuneš, Rostislav Linda

Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra pěstování lesů. Kamýcká 1176, 165 00 Praha-Suchdol, ČR

\*corresponding author: gallo@fld.czu.cz

#### Abstract

*The suitability of wild cherry for reforestation of clear-cuts and gaps in two types of planting stock was tested under the conditions of nutrient-rich forest clear-cut site in Doupovské hory Mts. region. Semi-saplings and standard-sized trees were compared. Initial growth and vitality were evaluated – mortality, total height, height increment, and root collar diameter. Vitality (dry terminal and stem deformation) was visually assessed during the vegetation season.*

*The evaluation of the plantations after first vegetation period showed that the mortality was negligible for both planting stock (zero in case of semi-saplings) and height increment slightly higher in the case of semi-saplings in comparison to standard-sized planting stock (21 vs. 17 cm). Overall, the plantations were highly resistant against weed with the ability to grow through tough weed, which seems to be an advantage in this particular tree species.*

**Keywords:** *Prunus avium, planting stock, reforestation, drought, seedlings*

#### Abstrakt

*Vhodnost poloodrostků třešně ptačí pro zalesňování holin a světlin byla testována v podmínkách živinově bohatého stanoviště v oblasti Doupovských hor, přičemž tyto byly porovnávány se standardními sazenicemi třešně. Byly hodnoceny charakteristiky růstu a vitality – mortalita, celková výška, výškový přírůst a tloušťka kořenového krčku. Vizuálně byla hodnocena vitalita (zaschlý vrchol a deformace kmínku) v průběhu vegetační sezony.*

*Vyhodnocení výsadeb po první vegetační sezoně naznačuje zanedbatelnou mortalitu (nulová v případě poloodrostků) a vyšší přírůst (21 cm oproti 17 cm) v případě poloodrostků v porovnání se sazenicemi standardní velikosti. Celkově výsadby vykazaly vysokou míru rezistence proti buření se schopností buření prorůst, což se zdá být specifickou výhodou třešně ptačí oproti jiným dřevinám.*

**Klíčová slova:** *Prunus avium, sadební materiál, zalesňování, sucho, sazenice*

#### Úvod a problematika

Třešeň ptačí (*Prunus avium* L.) zaujímá rozsáhlý euroasijský areál, ve střední Evropě se vyskytuje roztroušeně spíše v nižších a středních polohách. V porostech tvoří nejvýše malé skupinky, nejčastěji roste jen jako jednotlivá příměs. Preferuje hlubší, živné a vodou dobře zásobené půdy (avšak nikoliv ulehlé, zamokřené či vysychající). Opad má příznivý chemismus. Růst je v příznivých podmínkách v mládí dosti rychlý, později se výrazně zpomaluje. Je náročná na světlo, pro úspěšný růst musí v porostu zaujímat dominantní postavení v nadúrovni, jinak neplodí a ztrácí na přírůstu. V podúrovňovém postavení chřadne a odumírá (MUSIL, MÖLLEROVÁ 2005).

Pro svoje kvalitní dřevo, zejména pro nábytkářství, je třešeň řazena do tzv. cenných dřevin (PODRÁZSKÝ et al. 2002; SPIECKLER et al. 2009;). Vzhledem ke světlomilnosti má sklony ke košatění koruny. Vypěstování kvalitního bezsukého kmene se tedy zpravidla neobejde bez vyvětvování. Musí být však provedeno včas a s přiměřenou intenzitou, aby řezné plochy nebyly příliš velké a aby byl



minimalizován negativní vliv na přírůst (KUPKA 2007; SPRINGMANN et al. 2011). Třešeň ptačí byla předmětem šlechtitelských programů za účelem vypěstování kvalitního kmene (KOBLIHA 2002). Těžba dřeva je často organizačně problematická vzhledem k rozptýlenosti jedinců v mýtním věku (PODRÁZSKÝ et al. 2002).

V Česku se třešeň cíleně pěstuje jen velmi ojediněle. Jako nečetné příklady lze uvést např. dlouhodobě pěstovanou kvalitní třešňovou příměs v bukových porostech kolem Vlárského průsmyku (KULHANOVÁ, LUKÁŠOVÁ 2015), případně nově zakládané porosty v okolí Židlochovic (STEJSKAL, DOVRTĚL 2016).

Třešeň má také velmi dobrý meliorační vliv na půdu a při optimálním zastoupení lze uvažovat o stabilizační funkci (PODRÁZSKÝ, KUPKA 2011). Nezanedbatelná je také estetická a ekologická funkce (zvyšování biodiverzity). Je proto žádoucí vyzkoušet třešeň pro použití při prostorové a druhové diverzifikaci lesních porostů.

Pro tento účel může být v některých případech vhodné použít sadební materiál větších dimenzí. Konkrétně se jedná o tzv. poloodrostky a odrostky nové generace (PONG), což v souladu s normou ČSN 48 2115 (ÚNMZ 2012) jsou prostokořenné poloodrostky o výšce 51–120 cm a odrostky s výškou 121–250 cm, které během pěstování ve školce prošly zpravidla dvojnásobným školkováním, podřezáváním kořenů nebo přesazením do obalu, popřípadě kombinací těchto operací.

Vypělý sadební materiál byl při zakládání lesa testován a upotřebován již od 50. letech 20. století. Jako výhoda se uvádělo zejména snížení pozdějších nákladů na vyžínání a částečně také na ochranu proti zvěři (PEŘINA 1969). Je proto doporučováno využití vypělého sadebního materiálu na zabuřenělých stanovištích (LOKVENC 1978), přičemž z ekonomického hlediska je žádoucí posuzovat až finální cenu zajištěné kultury, nikoliv pouze rozdílnost ceny sadebního materiálu, která je pochopitelně pro vypělý sadební materiál vyšší.

Odrostky se obecně využívají při výsadbách mimo les, např. při výsadbě biokoridorů (JELÍNEK, ÚRADNÍČEK 2010), při revitalizaci mokřadů (DOMOKOŠOVÁ 2006) apod. Podrobněji se u nás technikou produkce sadebního materiálu velkých dimenzí zabývali např. DUŠEK (1984), MAUER (1999), NERUDA (1999). Kromě drobných provozních pokusů (KOTEK et al. 1989; KANTOR, PEKLO 2001; VANĚČEK 2001) se však v lesnickém provozu odrostky a poloodrostky rozsáhleji neuplatnily.

Vypělý sadební materiál se začal více využívat až v poslední době, a to v rámci výzkumných úkolů týmu z Katedry pěstování lesů FLD ČZU a VÚLHM, VS Opočno. Původním cílem byl vývoj a ověření metody odrostků a poloodrostků nové generace. Tento sadební materiál je označován jako nová generace zejména s ohledem na inovativní prvky, které umožňují vytvořit kompaktní, a přitom bohatý kořenový systém, cíleně pěstovaný pro následné sázení do motomanuálně nebo strojově vrtaných jamek o průměru do 20 cm (BURDA et al. 2015). Smyslem této technologie je racionalizace lesnických výsadeb na specifických a problematických stanovištích, jejichž rozloha se odhaduje na cca 1200 ha pozemků ročně (Baláš et al. 2018).

Vypělý sadební materiál se osvědčil při vnášení listnaté příměsi do horských jehličnatých lesů (BALÁŠ, KUNEŠ 2010; KUNEŠ et al. 2011). V podmínkách horských mrazových kotlin (GALLO et al. 2014) vykazoval výrazně lepší zdravotní stav a růst než standardní sazenice (KUNEŠ et al. 2014). Postupně byl sadební materiál vyšších dimenzí v experimentálních výsadbách testován i v nižších a středních polohách za účelem pokrytí co nejširšího spektra stanovištních podmínek. Technologie vypělého sadebního materiálu je nedílně spojena s použitím motorového jamkovače, kterým lze efektivně připravit dostatečně prostorné jamky pro výsadbu (BALÁŠ et al. 2016). V rámci zmiňované výzkumné činnosti byla založena také výsadba popsaná v tomto příspěvku.

Cílem příspěvku je iniciálně zhodnotit rozdíly v růstu a prosperitě poloodrostků a standardních sazenic třešně ptačí po první vegetační sezoně od vysazení v podmínkách živného stanoviště se sklonem k zabuřenění, ohroženého nedostatkem půdní i vzdušné vlhkosti, kde standardní sadební materiál naráží na svoje limity.

### **Materiál a metodika**

Zájmová lokalita se nachází na historickém majetku rodu Thurn-Taxisů, který byl zrestituován během 90. let. Majetek je zařazen do LHC s názvem Vintířov u Radonic a tvoří jej tři celky v celkové rozloze kolem 300 ha. Současným majitelem je pan Karl Ferdinand Thurn-Taxis.

Výzkumná plocha se nachází na východním okraji Doupovských hor v lokalitě Sedlec u Radonic, k. ú. 692280 Mašřov (lokalizace N 50°16,5', E 13°14,93'). Nadmořská výška 423 m, PLO 4 – Doupovské hory, SLT 3B2, mírný SV svah. Klimaticky stanoviště leží v mírně teplé oblasti (QUITT 1971). Podloží tvoří terciérní alkalický bazalt (ČGS 2018), půdu lze charakterizovat jako kambizem eutrofní, často se zvýšeným obsahem skeletu.

Stanoviště má charakter starší holiny o výměře 0,3 ha, vzniklé kolem roku 2005, kde původní zalesnění bylo neúspěšné. Holina je obklopena dospělými smíšenými porosty s pestrou druhovou skladbou, zahrnující dub, borovici, modřín, smrk, lípy, jasan, břízu a další druhy dřevin. Stanoviště bylo silně zabuřeněno, hojně se vyskytoval zejména ostružiník, maliník a trávy (třtiny).

Místy se vyskytovala přirozená obnova listnatých dřevin (javor klen, osika, bříza, dub, třešeň) o výšce cca do 4 m. Jedinci byli většinou tvarově nekvalitní a často poškozené zvěří (ohryz, vytloukání, odírání). Z dřevin keřovitého vzrůstu se vyskytovala zejména líska a bez červený.

Vzhledem k obtížnosti zalesnění pomocí standardních postupů bylo stanoviště vytipováno pro zřízení výzkumné plochy pro sledování ujímavosti a růstu sadebního materiálu velkých dimenzí, konkrétně tzv. poloodrostků a odrostků nové generace. V první etapě (podzim 2016) byla část holiny zalesněna poloodrostky a standardními sazenicemi buku lesního. Prvotní výsledky hodnocení vývoje této výsadby uvádějí GALLO et al. (2018).

Druhá etapa byla realizována 7. prosince 2017 s použitím sadebního materiálu třešně ptačí v dimenzích poloodrostků a standardních sazenic. Před výsadbou bylo provedeno vyžnutí vegetace (traviny, byliny a většina náletových dřevin). Buřeň byla v průběhu první vegetační sezony velmi vitální, neboť podzimní vyžnutí nijak neomezilo její rozvoj během vegetační sezony 2018, přičemž na vrcholu sezony dosahovala výšky kolem 80–120 cm. Sazenice byly pro první zimní období ošetřeny repelentem proti myšovitým hlodavcům. Ještě před samotnou výsadbou bylo provedeno kvalitní ochranné oplocení, proto odpadla nutnost použití repelentu proti zvěři.

Za významnou výhodu vyzpělého sadebního materiálu se považuje jeho větší odolnost vůči konkurující vegetaci, a tím i očekávaná snížená potřeba vyžínání. Proto se ve výzkumné výsadbě nepočítá s cíleným omezováním růstu buřeně. Dochází pouze k sešlapání nechtěné vegetace během pravidelných měření (na konci vegetačního období). Je předpoklad, že buřeň bude na daném stanovišti vyzpělému sadebnímu materiálu tvořit spíše ekologický kryt, pro standardní sazenice však bude konkurencí. Případná redukce dřevinné buřeně může být provedena později podle potřeby.

Sadební materiál tvořily tzv. poloodrostky nové generace a sazenice standardní velikosti třešně ptačí. Celkem bylo vysázeno 320 kusů standardních sazenic a 304 kusů poloodrostků. Všechny tyto rostliny byly následně hodnoceny před a po první vegetační sezoně. Poloodrostky měly následující charakteristiky: PLO 16 – Českomoravská vrchovina, LVS 4, pěstební vzorec 0,5–0,5+1, výšková třída 81–120 cm; standardní sazenice pak: PLO 29 – Nízký Jeseník, LVS 1, pěstební vzorec 1–1, výšková třída 36–50 cm. Udávaná tloušťka kořenového krčku byla 10 cm u poloodrostků a 4 cm u standardních sazenic.

Tyto dva typy sadebního materiálu byly vysázeny střídavě v řadách ve sponu 1×1,5 m. Celková zalesněná plocha byla kolem 0,13 ha. Výsadbové jamky byly připraveny pomocí motorového vrtáku (popis technologie je uveden v publikaci BALÁŠ et al. 2016).

Celkový roční úhrn srážek v roce 2018 byl 440,4 mm. Srážkový úhrn ve vegetační sezoně (březen–září) byl 279,4 mm. Data jsou uvedena v Tabulce 1, společně se srážkovými úhrny od výsadby v prosinci 2017. Data byla převzata z nejbližší meteorologické stanice v Tušimicích (In-pocasi.cz 2019).

**Tab. 1:** Přehled úhrnů srážek v období od výsadby do konce roku 2018

**Tab. 1:** Overview of precipitation sums in the period between outplanting to the end of 2018 (In-pocasi.cz 2019)

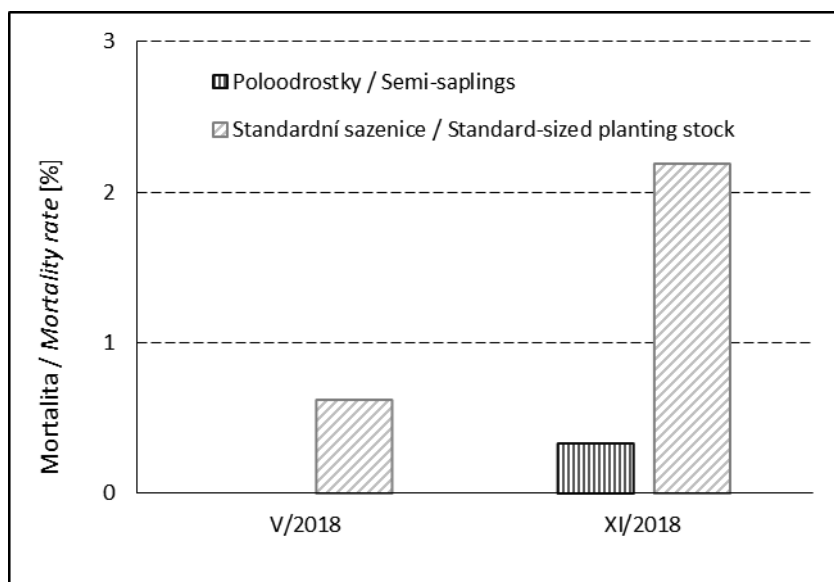
Rok / Year	Měsíc / Month	Měsíční úhrn srážek / Monthly sum of precipitation [mm]
2017	prosinec / December	28.7
2018	leden / January	51.5
2018	únor / February	3.5
2018	březen / March	34.3
2018	duben / April	20.1
2018	květen / May	111.1
2018	červen / June	39.7
2018	červenec / July	14.2
2018	srpen / August	19.7
2018	září / September	40.3
2018	říjen / October	31.2
2018	listopad / November	22.3
2018	prosinec / December	52.5

U experimentální výsadby byla v terénu hodnocena mortalita, výška stromu, tloušťka kořenového krčku, výskyt suchého vrcholu a deformace kmínku (zlom či výrazný ohyb). Výška byla měřena výškoměrnou latí s přesností na centimetry, tloušťka kořenového krčku byla měřena posuvným měřítkem s přesností na milimetry. Data byla zpracována v programu MS Excel 365. Statistické vyhodnocení bylo provedeno pomocí software „R“, s použitím Wilcoxonova testu na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

### Výsledky a diskuse

Procentuálně vyjádřená mortalita po první vegetační sezoně je uvedena na Obr. 1. Celkově ji lze hodnotit jako velmi nízkou až zanedbatelnou. Byla zaznamenána ztráta

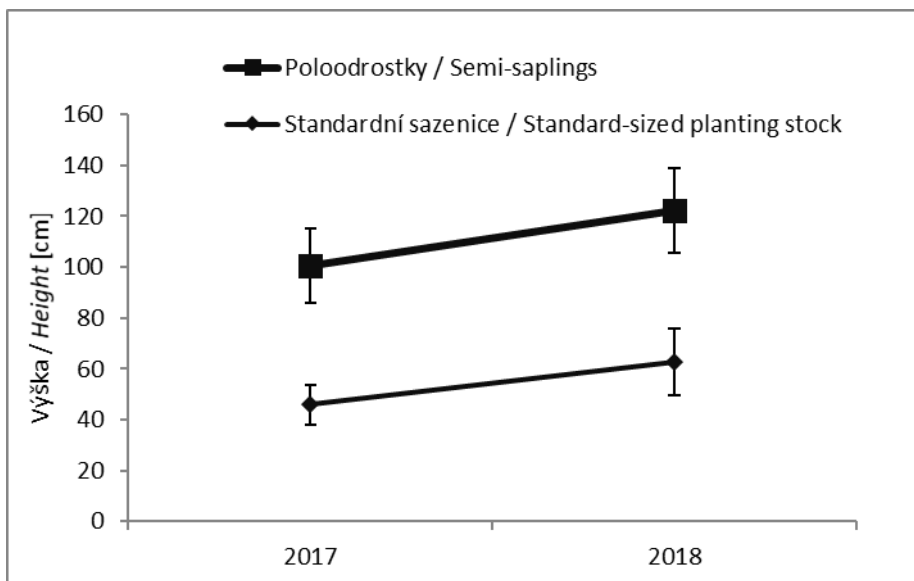
pouze 2 ks (0,6 %) poloodrostků a 7 ks (2,2 %) standardních sazenic. Poloodrostky tedy dosáhly celkově nižší mortality než standardní sazenice. Počet stromků se zaschlým vrcholem byl také velmi nízký (3 ks poloodrostků, 5 ks standardních sazenic), stejně jako se závažnou deformací kmínku (3 ks poloodrostků a 2 ks standardních sazenic). Celkový podíl uhynulých nebo poškozených poloodrostků byl 2,6 % a 4,4 % standardních sazenic.



**Obr. 1:** Mortalita poloodrostků a sazenic běžné velikosti třešně ptačí po prvním zimním období a první vegetační sezoně po výsadbě.

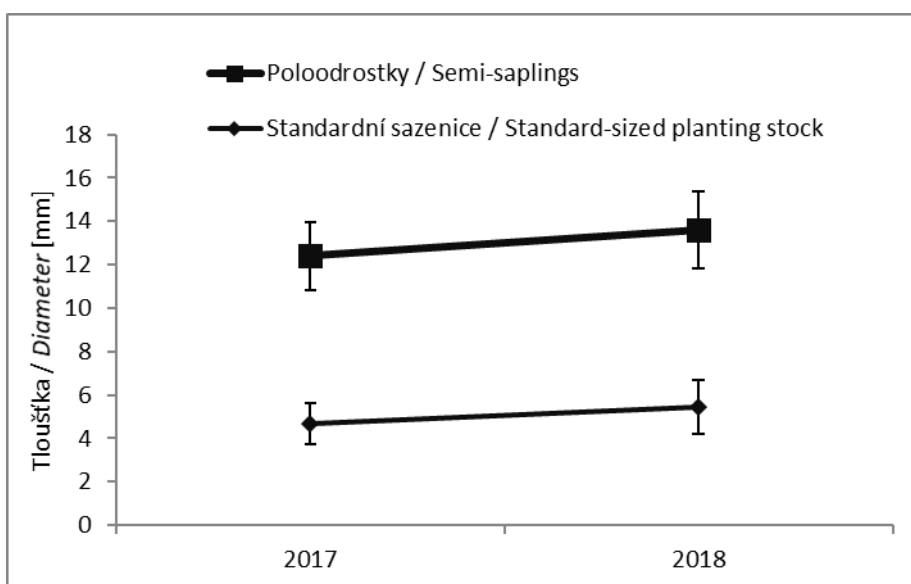
**Fig. 1:** Mortality among semi-saplings and standard-sized transplants of wild cherry after first winter period and after first vegetation season after outplanting.

Z porovnání hodnot průměrné výšky (Obr. 2) vyplývá, že poloodrostky si během první vegetační sezony udržely počáteční výškový náskok oproti standardním sazenicím. Iniciální průměrná výška byla 45,8 cm pro sazenice standardní velikosti a 100,6 cm pro poloodrostky. Po prvním roce dosáhly sazenice průměrně 62,9 cm a poloodrostky 122,1 cm. Průměrná hodnota výškového přírůstu byla 21,5 cm (směrodatná odchylka 12,84) pro poloodrostky a 16,8 cm (směr. odch. 12,52) pro standardní sazenice. Poloodrostky tedy dosáhly vyššího přírůstu, rozdíl je statisticky významný ( $p < 0,001$ ).



**Obr. 2:** Průměrná hodnota iniciální výšky [cm] v roce 2017 po podzimní výsadbě a po první vegetační sezoně od výsadby na podzim 2018. Chybové úsečky znázorňují směrodatnou odchylku.

**Fig. 2:** Mean initial height in 2017 [cm] after outplanting in autumn and mean height after the first vegetation season in autumn 2018. Error bars depict standard deviation.



**Obr. 3:** Průměrná hodnota iniciální tloušťky kořenového krčku [mm] v roce 2017 po podzimní výsadbě a po první vegetační sezoně od výsadby na podzim 2018.

**Fig. 3:** Mean initial root collar diameter in 2017 [mm] after outplanting in autumn and mean height after the first vegetation season in autumn 2018. Error bars depict standard deviation.

Tloušťka byla zhodnocena před začátkem první vegetační sezony po výsadbě a po vegetační sezoně. Z porovnání se vstupními charakteristikami je patrné, že u obou typů sadebního materiálu byl zaznamenán měřitelný tloušťkový přírůst, u standardních sazenic přibližně o 0,8 mm (směrodatná odchylka 1,36), poloodrostků pak přibližně o 1,2 mm (směr. odch. 0,96). Rozdíl je statisticky významný ( $p < 0,001$ ).

## Diskuse

Nižší mortalita a vyšší výškový i tloušťkový přírůst byly u vyspělého sadebního materiálu již z různých podmínek dokladovány (VAN DEN DRIESSCHE 1992; STRUVE et al. 2000; KUNEŠ et al. 2014). Na základě zkušeností z dalších výsadeb, na kterých

se podílel autorský tým, však existoval předpoklad, že na stanovišti limitovaném množstvím srážek bude situace složitější. Na daném stanovišti současně působí faktory ve prospěch a zároveň i neprospěch vyspělého sadebního materiálu.

Teoreticky by zabuřnění mělo hovořit spíše ve prospěch poloodrostků, z důvodu výše posazeného terminálního pupene, a tím možnosti rychleji odrůst konkurující vegetaci. U výsadeb poloodrostků a odrostků se většinou nepočítá s vyžínáním – to je také jedna z jejich hlavních výhod. Pokud však v případě extrémního rozvoje buřně musí být vyžínání přesto aplikováno, mají poloodrostky a odrostky oproti malým sazenicím výhodu v lepší viditelnosti, čímž lze minimalizovat ztráty useknutím. Na druhou stranu vyšší velikost sadebního materiálu je nevýhodou při nedostatečných srážkách a nízké půdní i vzdušné vlhkosti.

Třešeň ptačí je obecně považována za náročnější dřevinu, vyžadující živinově bohatší a vodou dobře zásobenou půdu (MUSIL, MÖLLEROVÁ 2005). V aridním klimatu velmi dobře reaguje na umělé zavlažování (příklad ze Španělska – MOLINA et al. 2016), naopak nesnáší těžké, špatně drenážované půdy se stagnující vodou (příklad ze Švédska – MARTINSSON 2001).

Po vysazení na stanoviště se sníženou dostupností půdní vlhkosti tak lze očekávat výrazný projev šoku z výsadby. Jedinci třešně v předmětné výsadbě (u obou variant počáteční velikosti) však v prvním roce po výsadbě prokázaly vysokou odolnost a vitalitu – s průměrným přírůstem kolem 20 cm, minimální mortalitou a uspokojivým stavem asimilačního aparátu v druhé části vegetační sezony.

Oproti předchozímu roku (2017), kdy byla vlivem sucha poškozena sousední výzkumná výsadba buku lesního (GALLO et al. 2018), nebyly u třešňové výsadby zaznamenány výraznější projevy sucha. Ojedinelé odumření stromků bylo způsobeno zřejmě jinými faktory, než je sucho (např. poškození hlodavci). Rovněž zalehnutí buřně se u sazenic objevovalo jen ojedinele, pokud se vyskytlo, tak jen v místech s bujnějším rozvojem ostružiníku.

K tomuto výsledku jistě přispěl průběh počasí ve vegetační sezoně 2018, která se na většině území Česka nepříznivě projevila jak na vitalitě dospělých porostů, tak na ujmavosti výsadeb. V zájmové oblasti, která běžně trpí nedostatkem srážek, bylo v kritickém jarním období (v květnu a červnu) zaznamenáno několik vydatných přeháněk a bouřek místního charakteru s úhrny řádově v desítkách mm (In-počasi 2019). Přínos přeháněk k omezení sucha byl sice pouze dočasný, ale díky příznivému termínu výskytu přispěly tyto srážky ke zlepšení ujmavosti a růstu stromků po výsadbě.

Zároveň však byla mimořádná tolerance k suchu a intenzivní růstová dynamika již v prvním roce po výsadbě zaznamenána také u další výsadby třešně ptačí, na které se autorský kolektiv podílel. Předběžné vyhodnocení výsadby dubu letního a třešně ptačí v lokalitě Kozí Hory u Dobříše (MIKOLÁŠEK 2019) ukázalo velmi intenzivní přírůst třešně v prvním roce po výsadbě. Naproti tomu dub letní ve stejných podmínkách byl prakticky bez přírůstu (ale také jen s minimální mortalitou). Podobně intenzivní růstová dynamika v prvním roce po výsadbě byla popsána také v případě výsadeb třešně v oblasti Židlochovic (STEJSKAL, DOVRTĚL 2016). Podle těchto, byť zatím nečetných a předběžných, zkušeností lze třešeň považovat za překvapivě odolnou vůči půdnímu suchu, což je v současném období s převahou suchých roků výrazně aktuální. Pro celkový úspěch výsadby budou zřejmě rozhodující následující roky.

Podrobnější zhodnocení rozdílu v přírůstu poloodrostků a standardních sazenic je zatím předčasné, ale po prvním vegetačním lze konstatovat, že poloodrostky si zachovaly (dokonce mírně zvýšily) počáteční výškový i tloušťkový náskok. Podobně

výsledky uvádějí např. DOSTÁLEK et al. (2014), kteří rovněž sledovali odrůstání třešní s různou počáteční velikostí sazenic.

Popisovaná výzkumná výsadba je založena jako malý stejnorodý porost, a to z důvodu možnosti sledování růstové dynamiky sadebního materiálu různé počáteční velikosti. V reálných provozních podmínkách by však zřejmě bylo třeba, s ohledem na její vlastnosti, pěstovat třešeň spíše jako jednotlivou příměs v porostech jiných dřevin. Ideální je zastoupení zhruba do 30 % stromů hlavní úrovně, přičemž současně je vhodné podporovat existenci podúrovňového porostu a v případě potřeby aplikovat vyvětvování (PODRÁZSKÝ, KUPKA 2011). Lepší růst třešně ve směsi oproti monokultuře byl zaznamenán také v exotických podmínkách jihoamerického Chile (LOEWE et al. 2013). Každopádně vzhledem ke světlomilnosti je nutné po celou dobu jedince třešně udržovat ve výrazně nadúrovňovém (nebo alespoň úrovňovém) postavení. V případě potřeby je tedy nutné pravidelné uvolňování od konkurujících dřevin (STOJECOVÁ, KUPKA 2009). Jako velmi důležité se dále jeví nutnost zajištění dobré ochrany proti zvěři, neboť třešeň bývá zvěří přednostně vyhledávána a poškozována (LÖF et al. 2014).

Podle zkušeností ze zájmové oblasti (živná stanoviště ohrožená buřením a vysycháním) lze doporučit, pokud je to možné, vyhnout se holosečnému hospodaření. Pokud již musela být provedena holosečná obnova (starší porost se sníženým zakmeněním, kde již došlo k rozvoji buřeně a přirozená obnova se z různých důvodů nezdařila), případně holina vznikla nahodilou těžbou, je nezbytné plochu bezodkladně zalesnit a účinně chránit proti zvěři. Každé zpoždění v zalesnění má za následek zvýšení výškového náskoku buřeně oproti vysazeným stromkům s nutností velmi nákladného vyžínání.

Pokud z jakéhokoliv důvodu dojde k neúspěchu zalesnění, potom prakticky jedinou reálnou možností je použití vyspělého sadebního materiálu v dimenzích poloodrostků (případně odrostků). To byl případ i naší plochy, kterou se po několika dřívějších neúspěšných provozních pokusech podařilo zalesnit až v rámci založení výzkumné plochy.

Pro úplnost je třeba doplnit, že výsadba sadebního materiálu v dimenzích odrostků a poloodrostků by provozně nebyla možná bez uplatnění metody přípravy sadebních jamek pomocí motorového jamkovače – vrtáku (STIHL 2006). Jamkovačem lze relativně snadno vytvořit plnohodnotné jamky, které poskytují dostatek prostoru bohatému a kompaktnímu kořenovému systému velkých sazenic, což by s použitím ručního náradí (sekeromotyky) bylo v požadované kvalitě a rychlosti prakticky nezvladatelné (BALÁŠ et al. 2016).

## **Závěr**

Příspěvek informuje o založení experimentální výsadby, která má za cíl srovnání úspěšnosti zalesnění pomocí poloodrostků nové generace v porovnání se sazenicemi standardní obchodní velikosti, a to v podmínkách suchem ohroženého živného stanoviště s výraznou konkurencí buřeně. Směrodatné výsledky srovnání růstu sadebního materiálu různé počáteční velikosti lze očekávat až po několika letech. Předběžné zhodnocení po první vegetační sezoně ukazuje, že v těchto podmínkách lze třešeň ptačí považovat za nadějnou dřevinu, a to zejména v podobě vyspělého sadebního materiálu. Mortalita byla po první vegetační sezoně velmi nízká. Počáteční výškový náskok poloodrostků se během první vegetační sezony ještě mírně zvýšil díky průkazně většímu výškovému průměrnému přírůstu poloodrostků (21 cm) oproti standardním sazenicím (17 cm). Přestože za nejvýznamnější limitující faktor, který ovlivňuje růst vysazených jedinců, lze

u standardních sazenic považovat konkurenci buřeně (terminály sazenic jsou výrazně pod úrovní konkurující vegetace), byla zjištěna výrazná schopnost třešně ptačí (v dimenzi standardních sazenic) prorůst tuhou a polehlou buření, skládající se zejména z travin a ostružin. Poloodrostky v konkurenci buřeně obstály velmi dobře, jejich poškození útlakem buřeně prakticky nebylo zaznamenáno. Podrobnější zhodnocení vývoje experimentální výsadby třešně ptačí (výškový a tloušťkový přírůst, tvar kmene a koruny) bude možné až v pozdějších letech. Podle předběžných výsledků jsou na daném stanovišti poloodrostky mírně úspěšnější než sazenice standardní velikosti, a to zejména z důvodů mírně nižší mortality a lepší viditelnosti ve vysoké buřeni při případném vyžínání.

## Literatura

- BALÁŠ, M., KUNEŠ, I. Zkušenosti s výsadbou odrostků listnatých dřevin v horských polohách. *Lesnická práce*, 2010. 89 (11): s. 20–22.
- BALÁŠ, M., KUNEŠ, I., NÁROVCOVÁ, J. Zkušenosti s použitím přenosného motorového jamkovače při zakládání lesa. *Zprávy lesnického výzkumu*, 2016. 61 (4): s. 262–270.
- BALÁŠ, M., NÁROVCOVÁ, J., KUNEŠ, I., NÁROVEC, V., BURDA, P., MACHOVIČ, I., ŠIMERDA L. Použití listnatých poloodrostků a odrostků nové generace v lesnictví: Certifikovaná metodika. *Lesnický průvodce 2/2018*, Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 2018. 59 s.
- BURDA, P., NÁROVCOVÁ, J., NÁROVEC, V., KUNEŠ, I., BALÁŠ, M., MACHOVIČ, I. Technologie pěstování listnatých poloodrostků a odrostků nové generace v lesních školkách: Certifikovaná metodika. *Lesnický průvodce 3/2015*, Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 2015. 56 s.
- ČGS. *Geologická mapa 1 : 50 000*. Česká geologická služba. 2018. Dostupné na: <<https://mapy.geology.cz/geocr50>>, [cit. 26–02–2018].
- ČHMÚ. *Historická data*. Český hydrometeorologický ústav. 2019. Dostupné na: <<http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/zakladni-informace>>, [cit. 17–06–2019].
- DOMOKOŠOVÁ, K. Revitalizace ve venkovské krajině. In: *Venkovská krajina*. Hostětín: Centrum Veronica a Brno: Český svaz ochránců přírody, 2006. s. 16–19.
- DOSTÁLEK, J., WEBER, M., FRANTÍK, T. Establishing windbreaks: how rapidly do the smaller tree transplants reach the height of the larger ones? *Journal of Forest Science*, 2014. 60 (1): s. 12–17.
- DUŠEK, V. Pěstování prostokořenných poloodrostků. *Lesnický průvodce*, 1/1984, Jíloviště-Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 1984. 27 s.
- GALLO, J., KUNEŠ, I., BALÁŠ, M., NOVÁKOVÁ, O., DRURY, M. L. Occurrence of frost episodes and their dynamics in height gradient above the ground in the Jizerské hory Mts. *Journal of Forest Science*, 2014. 60 (1): 35–41.
- GALLO, J., BALÁŠ, M., LINDA, R., CUKOR, J., KUNEŠ, I. Iniciální zhodnocení experimentální výsadby s bukovými poloodrostky nové generace na živném a vysýchavém stanovišti v lokalitě Vintřív-Sedlec. In: Baláš, M. et al. (eds.). *Proceedings of Central European Silviculture, Volume 8 – Silviculture in Central Europe*. Praha: ČZU, 2018. s. 39–46.
- In-pocasi.cz. Archiv Tušimice. Dostupné na <<https://www.in-pocasi.cz/archiv/tusimice/>> [cit. 2019-07-18].
- JELÍNEK, B., ÚRADNÍČEK, L. Malé nebo velké sazenice? In: Petrová, A. (ed.), *ÚSES – Zelená páteř krajiny 2010*. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR a Kostelec



- na Hané: Česká společnost pro krajinnou ekologii – regionální organizace CZ–IALE, 2010. s. 56–62.
- KULHANOVÁ, P., LUKÁŠOVÁ, V. Každý lesník si autoritu musí vybudovat sám: rozhovor s Aloisem Indruchem, bývalým správcem lesní správy Vlára. *Lesnická práce*, 94 (8): 2015. s. 510–513.
- KANTOR, P., PEKLO, Z. Hodnocení výsadeb odrostků buku na Školním polesí Hůrky. *Lesnická práce*, 2001, 80 (10): s. 444–446.
- KUNEŠ, I., BALÁŠ, M., MILLEROVÁ, K., BALCAR, V. Vnášení listnaté příměsi a jedle do jehličnatých porostů Jizerských hor: Certifikovaná metodika. *Lesnický průvodce*, 9/2011, Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 2011. 50 s.
- KUPKA, I. Growth reaction of young wild cherry (*Prunus avium* L.) trees to pruning. *Journal of Forest Science*, 2007. 53 (12): s. 555–560.
- KOBLIHA, J. Wild cherry (*Prunus avium* L.) breeding program aimed at the use of this tree in the Czech forestry. *Journal of Forest Science*, 2002. 48 (5): s. 202–218.
- KOTEK, K., HABART, F., NEUMANN, J. Výsadba bukových odrostků na ŠP Hůrka u SLŠ Písek. *Lesnická práce*, 1989, 68 (3): s. 120–124.
- KUNEŠ, I., BALÁŠ, M., ZAHRADNÍK, D., NOVÁKOVÁ, O., GALLO, J., NÁROVCOVÁ, J., DRURY, M. L. Role of planting stock size and fertilizing in initial growth performance of rowan (*Sorbus aucuparia* L.) reforestation in a mountain frost hollow. *Forest Systems*, 2014. 23 (2): s. 273–287.
- LOEWE, V. M., GONZÁLEZ, M., BALZARINI, M. Wild cherry tree (*Prunus avium* L.) growth in pure and mixed plantations in South America. *Forest Ecology and Management*, 2013. 306: s. 31–41.
- LÖF, M., BOLTE, A., JACOBS, D. F., JENSEN, A. M. Nurse trees as a forest restoration tool for mixed plantations: Effects on competing vegetation and performance in target tree species. *Restoration Ecology*, 2013. 22 (6): s. 758–765.
- LOKVENC, T. Problematika zalesňování velkými sazenicemi. *Lesnická práce*, 1978. 57 (4): s. 153–157.
- MARTINSSON, O. Wild cherry (*Prunus avium* L.) for timber production: Consequences for early growth from selection of open-pollinated single-tree progenies in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2001. 16 (2): s. 117–126.
- MAUER, O. Pěstování poloodrostků listnatých dřevin. *Lesnická práce*, 1999. 78 (2): s. 66–69.
- MIKOLÁŠEK, L. Zalesňování specifických stanovišť za pomoci sadebního materiálu větších dimenzí. Bakalářská práce. Praha: KPL FLD ČZU, 2019. 79 s.
- MOLINA, A. J., JOSA, R., MAS, M. T., VERDÚ, A. M. C., LLORENS, P., ARANDA, X., SAVÉ, R., BIEL, C. The role of soil characteristics, soil tillage and drip irrigation in the timber production of a wild cherry orchard under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy*, 2016. 72: s. 20–27.
- MUSIL, I., MÖLLEROVÁ J. Listnaté dřeviny 2 – Přehled dřevin v rámci systému rostlin krytosemenných. Praha: ČZU FLE, 2005. 90 s.
- NERUDA, J. Technika pro produkci a výsadbu velkého sadebního materiálu lesních dřevin. *Journal of Forest Science*, 1999. 45 (1): s. 2–15.
- PEŘINA, V. Příspěvek k používání listnatých odrostků. *Lesnická práce*, 1969. 48 (4): s. 171–176.
- PODRÁZSKÝ, V., KUPKA, I. Use of wild cherry as a site-improving and stabilizing tree species. *Scientia Agriculture of Bohemica*, 2011. 42 (2): s. 69–72.
- PODRÁZSKÝ, V., REMEŠ, J., KARNET P. Hodnotová produkce a půdotvorná funkce třešně ptačí. *Lesnická práce*, 2002. 81 (6): s. 255–257.

- SPIECKLER H. et al. (eds.). *Valuable Broadleaved Forests in Europe: European Forest Institute Research, Report 22*. Leiden (Netherlands): Brill, 2009. 256 s.
- SPRINGMANN, S., ROGERS, R., SPIECKER, H. Impact of artificial pruning on growth and secondary shoot development of wild cherry (*Prunus avium* L.). *Forest Ecology and Management*, 2011. 261: s. 764–769.
- STEJSKAL, J., DOVRTĚL, J. Třešeň ptačí – zajímavá a mnohdy opomíjená dřevina lesa. *Lesu zdar!*, 2016. (1–3): s. 5–12.
- STIHL. Stihl BT 121 – *Instruction Manual*. Andreas Stihl AG & Co, KG, 2006. 65 s. Dostupné na: <<https://www.manualowl.com/m/Stihl/BT-121-Earth-Auger/Manual/368509>>, [cit. 2015-12-14].
- STOJECOVÁ, R., KUPKA, I. Growth of wild cherry (*Prunus avium* L.) in a mixture with other species in a demonstration forest. *Journal of Forest Science*, 2009. 55 (6): s. 264–269.
- STRUVE, D. K., BURCHFIELD, L., MAUPIN, C. Survival and growth of transplanted large- and small-caliper red oaks. *Journal of Arboriculture*, 2000. 26 (3): s. 162–169.
- QUITT, E. Klimatické oblasti Československa. Praha: Academia, 1971. 73 s.
- ÚNMZ. *Česká technická norma: ČSN 48 2115 – Sadební materiál lesních dřevin*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. 24 s.
- VAN DEN DRIESSCHE, R. Absolute and relative growth of Douglas-fir seedlings of different sizes. *Tree Physiology*, 1992. 10 (2): s. 141–152.
- VANĚČEK, J. Jak dosáhnout zajištěné kultury během jednoho dne. *Lesnická práce*, 2001. 80 (7): s. 308–309.

### Poděkování

Příspěvek vznikl v rámci řešení projektu IGA A/19/24. Autoři děkují Lesní správě Vintířov u Radonic a majiteli panu Karlu Ferdinandovi Thurn und Taxis za vstřícnost a spolupráci při založení experimentální výsadby.

### Summary

We tested two different types of planting stocks of wild cherry (*Prunus avium* L.) for reforestation of a clear-cut under the conditions of nutrient-rich site with a heavy weed competition and a tendency to dry-out in Doupovské hory Mts. region. The region is considered as one of the driest in the Czech Republic with yearly sum of precipitation around 350–450 mm (Tab. 1). New generation semi-saplings and standard-sized transplants were compared. The large-sized planting stock is called “new generation” for its specific process of cultivation, including multiple root cutting and the use of modern machinery together with moto-manual preparing of planting holes using of earth augers.

The aim of the paper is to initially assess the differences in growth and prosperity of semi-saplings and standard-sized transplants of wild cherry after the first vegetation season after planting in harsh conditions of weed competition, threatened by lack of soil and air humidity.

In total, 320 individuals of standard-sized transplants and 304 individuals of semi-saplings were planted. Initial growth and vitality were evaluated – mortality, total height, height increment, and root collar diameter. Vitality (dry terminal and stem deformation) was visually assessed during the vegetation season. Statistical evaluation was done using the “R” software – Wilcoxon test at significance level  $\alpha = 0.05$ .

The evaluation of the plantations after first vegetation period showed that the mortality was very low for both planting stocks, only 2 semi-saplings and 7 standard transplants were found (Fig. 1). Total ratio of damaged or dead trees was 2.6% and 4.4% for standard-sized transplants and for semi-saplings, respectively.

Semi-saplings maintained their initial height margin after the first vegetation period (Fig 2.). Height increment was significantly higher in the case of semi-saplings in comparison to standard-sized planting stock (21.5 vs. 16.5 cm). Overall, the plantations were highly resistant against weed with the ability to grow through tough weed, which seems to be an advantage in this particular tree species. Root collar diameter increment was registered in both types of planting stock (Fig. 3), by 0.8 mm and by 1.2 mm for standard transplants and semi-saplings, respectively. The difference was statistically significant.

Lower mortality and higher height and root collar diameter increments have already been documented in various planting conditions for advanced planting stock. However, based on the experience of other plantings, there was a presumption that the situation in a site limited by the amount of precipitation will make the situation more difficult. There are factors in favour and at the same time disadvantageous factors for the advanced planting stock.

Theoretically, the heavy weed competition should speak in favour of semi-saplings, due to the height of the terminal bud, and thus the possibility of growing more rapidly in competition with the vegetation. In the case of planting large-sized planting stock, weeding is usually not foreseen – this is also one of their main advantages. However, if weeding has to be applied in the event of extreme growth of the competing weed, the saplings and semi-saplings have the advantage of better visibility over small seedlings, thus minimizing the cut-off losses. On the other hand, the higher size of the planting stock is a disadvantage in case of insufficient rainfall and low soil and air humidity.

The decisive results of a comparison of the growth of planting stock with different initial size can be expected after several years. Preliminary evaluation after the first growing season shows that under these conditions the wild cherry can be considered as a promising tree species, especially in the form of large-sized planting stock. Mortality was very low after the first growing season. Initial height gains of semi-saplings increased slightly during the first vegetation season due to significantly higher mean height increment of (21.5 cm) compared to standard seedlings (16.8 cm). Although the most important limiting factor that affects the growth of standard transplants can be considered weed (terminals are well below the level of competing vegetation), strong ability of wild cherry (in the size of standard transplants) to grow through mainly from grasses and blackberries was registered. Semi-saplings in the competition did very well, their damage by repression was practically not recorded. More detailed evaluation will be available in several years. According to preliminary results, semi-saplings are slightly more successful than standard transplants at this site.

## K OBNOVĚ VELKOPLOŠNÝCH HOLIN PO KŮROVCOVÉ KALAMITĚ

### ON THE REFORESTATION OF LARGE CLEAR-CUT AREAS AFTER BARK BEETLE CALAMITY

Oldřich Mauer, Kateřina Houšková\*

Ústav zakládání a pěstění lesů, Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 3, 613 00 Brno, ČR

\*corresponding author: katerina.houskova@mendelu.cz

#### Abstract

*Today's bark beetle calamity causes large clear-cut disaster areas. This article shows compact and complex instruction of their reforestation until new plantations don't need any early protection (weeds, insects, game). It is accented an access to stands and fixing their boundary. They are analysed possibilities of site preparation and a choice of species composition. There are specified limits of natural regeneration and regeneration with artificial sowing in the article. It is described a necessary quality of used planting stock, its handling and planting. It is accented a necessity of a stand stabilization and fire precautions already during regeneration. They are described ways of weed and game damage minimization and work with dead standing trees. It is accented a necessity of a change of regeneration work logistics.*

**Keywords:** calamity, disaster area, reforestation, species composition, planting protection

#### Abstrakt

*Dnešní kůrovcová kalamita vyvolala vznik rozsáhlých velkoplošných kalamitních holin. Práce podává ucelený a komplexní návod na obnovu těchto lokalit až do doby zajištění porostů. Je zdůrazněno zpřístupnění a fixace hranic porostů. Jsou rozebrány možnosti přípravy stanoviště a volby dřevinné skladby. Jsou stanoveny limity přirozené obnovy a obnovy sítí. Je popsána nutná kvalita užitého sadebního materiálu, jeho manipulace a výsadby. Je zdůrazněna nutnost mechanické stabilizace porostů a protipožárních opatření již při obnově. Jsou popsány způsoby minimalizace škod buřením, zvěří a práce se stojícími soušemi. Je zdůrazněna nutnost změny logistiky obnovních prací.*

**Klíčová slova:** kalamita, holina, obnova, dřevinná skladba, ochrana kultur

#### Úvod

Zejména v oblasti Moravy byly smrkové porosty postiženy kůrovcovou kalamitou. Důsledkem jsou kalamitní holiny nebo plochy s odumřelými stojícími soušemi. Průběh kalamity byl a je rychlý a velikost odumřelého a odtěženého lesa je pro většinu lesníků něčím naprosto novým. Množství holin, ale zejména jejich výměra, vyvolávají i bezradnost a obavy z realizace jejich opětovné obnovy. Tato bezradnost je navíc umocňována přístupy některých odborných pracovišť, která místo praktických návodů pouze obecně zdůrazňují individuální přístup ke každé obnovované holině. Při zpětném pohledu do historie musíme konstatovat, že nejde o zcela novou věc, neboť velkoplošných holin naše lesnictví již zažilo několik a všechny je úspěšně zvládlo (např. holiny o výměře 400tis. hektarů v době mniškové kalamity, téměř souvislou holinu 34 tisíc hektarů v imisní oblasti Krušných hor). Podobně polští lesníci v podobných podmínkách během čtyř let zalesnili souvislou holinu 12 tisíc hektarů po požáru v 90. letech.

#### Obnova kalamitních holin

Jak kůrovcová kalamita, tak i prolínající se kalamity větrné vyvolaly holiny různých velikostí. Z technologického i biologického hlediska všechny holiny po těžbě neúmyslné do výměry dvou hektarů nečiní při obnově žádné větší problémy a při jejich obnově se volí stejné postupy jako u holin po těžbě úmyslné. V případě, že

jsou tyto malé holiny kryté (díry v porostech), mohou být významným pozitivním aspektem (výhodiskem) při obnově klimaxovými dřevinami.

Velkoplošné holiny se dají úspěšně obnovit stejně jako holiny malé. Při jejich obnově se užívají i principiálně stejné postupy obnovy. Důležité je však splnit tyto aspekty:

- Zalesnit nejlépe do dvou let od vzniku holiny. Jakýkoliv odklad obnovu znesnadní a výrazně prodraží (odklad zalesnění o pět let může zvýšit náklady na zajištěnou kulturu až o čtyři sta procent).
- Nepodléhat krizi, že se to nedá zalesnit.
- Již na počátku stanovit, jaký postup obnovy bude zvolen, jaké porosty mají vzniknout. Změna tohoto zásadního rozhodnutí v průběhu vlastních obnov přináší vždy jenom problémy.
- Úspěch obnov je výrazně limitován kvalitou užitého sadebního materiálu a pečlivostí realizované výsadby (podstatně více než na malých krytých holinách). Než užit nekvalitní sadební materiál, je lépe s obnovou 1 rok počkat.

Při vzniku velkoplošných kalamitních holin je pro další orientaci žádoucí v terénu jasně označit (např. pomocí kúlů) hranice porostů a v případě nutnosti porosty zpřístupnit (i budováním nových cest).

Při obnově kalamitních holin musíme počítat zejména s těmito stanovištními aspekty:

- Změnou klimatických podmínek (zejména větší a extrémní výkyvy teplot vzduchu a vlhkosti půdy, větší rychlost větru), svahy s jižní expozicí a jiné slunné lokality budou z tohoto hlediska pro obnovu horší než svahy se severní expozicí a lokality stíněné.
- Zabuřeněním (problémy bude dělat zejména třtina křovištní).
- Možným zamokřením, erozí.
- Rychlou ztrátou humusových horizontů (za 10 let až o 60 %).
- Možným až kalamitním výskytem škůdců nově založených kultur (klikoroh, chalkograf, zvěř, myšovití, ....).

Rozhodujícími aspekty stanoviště budou expozice a krytí holiny.

Za významnou a nutnou úpravu stanovištních podmínek je třeba považovat omezení rychlosti větru. Toto lze realizovat:

- Ponecháním žebra (i z poškozených porostů) – šířka minimálně 30 m.
- Postavením mechanické zábrany kolmo na směr větru – lze realizovat valy z chemicky ošetřených těžebních zbytků, postavením pro vzduch polopropustných dřevěných plotů (plní současně funkci oplocenky) nebo postavením zásněžek („sněžáků“). Na rovinách výška 2 m, rozestup 40 m.
- Rychlost větru může v prvních letech snižovat i účelně ponechaná vysoká buřeň (zejména při vyžínání v pruzích) nebo pásy vysázených rostoucích dřevin.

Nejzávažnějším problémem obnovy bude volba dřevinné skladby. Téměř všechny kalamitní holiny lze zalesnit ihned cílovou dřevinou, všechny kalamitní holiny lze zalesnit dřevinou přípravnou. Přípravné porosty (jejich uplatnění však lze převážně vidět na stanovištně, zejména klimaticky, extrémních lokalitách a při výměře větší než 10 ha) lze podle vlastní úvahy v dalších letech přeměnit na jinou dřevinou skladbu. Přímá výsadba cílových dřevin bude vždy znamenat vytvoření souvislých stejnověkových porostů. Postupná přeměna přípravných dřevin bude předpokladem pro

vytvoření věkově diferencovaných porostů. Prvních cca třicet let po obnově však budou vždy vytvořeny celoplošně téměř stejnověkové porosty.

Jako přípravné dřeviny lze užít standardní a osvědčené druhy – BŘ, JŘ, OL, OS. Lze je založit přirozeně i uměle. Při přirozené obnově musí být rodičovské stromy vitální, geneticky vhodné, mít co největší korunu, musí být rovnoměrně rozmístěny na obnovované ploše (u dřevin s drobným osivem nutno brát v úvahu i směr převládajících větrů) a musí jich být dostatečný počet – u BŘ a OL minimálně 5 ks/ha u JŘ minimálně 25 ks/ha. Nezbytnými podmínkami úspěšné přirozené obnovy jsou i nezabuřené plochy (do stupně zabuřené 2). Úspěšná přirozená obnova (z hlediska kvality i času) bývá pouze tehdy, když se přípravné dřeviny běžně jako vtroušené dřeviny vyskytují ve většině porostů oblasti (tzn. je zde jejich přirozená obnova běžná) a je realizována skarifikace půdy. Rovněž jejich umělá obnova sjí (v zimě, pomocí větví,...) je ze stejných důvodů velmi riziková, drahá a velmi často neúspěšná. Ve všech aspektech je proto i u přípravných porostů lepší a jistější umělá obnova sadbou. Lze použít jednoleté krytokořenné semenáčky nebo dvouleté prostokořenné sazenice. Přípravné porosty lze podsadbami nebo malými holosečemi rychle a bez větších problémů přeměnit na jinou dřevinou skladbu. Problémem přípravných porostů je jejich založení, ne jejich přeměna.

Jako přípravnou dřevinu lze v současné době použít i smrk ztepilý. Z mnoha našich šetření vyplývá, že na velkoplošných kalamitních plochách ve většině případů odrůstá lépe než bříza, často lépe než olše. Při jeho přeměně v cca třiceti letech může přinést i ekonomický efekt. Velmi dobře odrůstající dřevinou na velkoplošných holinách jsou i javor babyka, dub červený a douglaska tisolistá (ta však v prvních letech vyžaduje krytí).

Dřevinná skladba cílových dřevin je široká (viz. Vyhláška č. 298/2018 Sb.). Vždy je však třeba použít dřeviny ve vazbě na typologické zařazení, velikost a krytí místa výsadby. Na velké otevřené plochy doporučujeme relativně bezproblémové BO, MD, DB, DBZ, HB, ale i JL a JS, lípy často usychají, javory lze úspěšně použít pouze tam, kde je větší množství humusu v půdě. Klimaxové dřeviny je třeba vysazovat pouze přes přípravné porosty, vícefázovou obnovou, úspěšná bývá i současná řadová výsadba klimaxové dřeviny (např. BK, JD, DG) mezi řadami dřevin rychle rostoucích (MD, SM, OL). Jde-li o výsadby do bezprostřední blízkosti stojícího porostu (cca do 30 m od stěny), lze vysadit klimaxovou dřevinu i přímo. Částečné krytí klimaxové dřeviny zajistí i její dvojsadba.

Nemůžeme se spoléhat na přirozené zmlazení cílových dřevin. Při silnějším zabuření a dále jak 30 m od stěny mateřského porostu je velmi málo účinné, rovněž je nutná přítomnost vhodných dřevin (JV, MD, JS). Sukcesi lze připustit ve zvláště chráněných oblastech.

V případě dalších změn (např. klimatických) mohou být všechny dřeviny (i cílové) přeměněny na jinou dřevinou skladbu dříve, než v jejich obmýtí, tzn. nečekat na jejich rozpad. Z toho plyne i doporučení, nečekat až se nyní poškozené porosty (i mladé, i s nízkým stupněm zakmenění) zcela rozpadnou, ale okamžitě zahájit jejich přeměnu (obnovu) a využít jejich krycí funkci. Stejně nevhodné je i čekání, až se odumřelé porosty (stojící souše) rozpadnou. Tyto stromy se začnou rozpadat do tří let (jednotlivé větve mohou padat i dříve), ale zcela se rozpadnou za cca dvanáct let. Do té doby bude nutný absolutní zákaz vstupu do porostu. Tzn., nebude se tam dělat nic, nebo likvidace stojících souší bude realizována kritizovanou metodou shrnováním dozery do valů.

Všechny nově zakládané porosty musí být mechanicky zajištěny. Nejvhodnějším a nejjistějším způsobem jsou zpevňovací žebra. Jejich šířka by měla být minimálně

20 m a jejich orientace taková, aby eliminovala vítr ze všech světových stran. V daných oblastech je nejvhodnější dřevinou pro jejich založení dub.

U všech nově zakládaných porostů musí být realizována všechna protipožární opatření (jde o velké plochy s velkým množstvím buřeneš a listnáčů). Jedná se zejména o zpřístupnění všech porostů pro požární techniku, zakládání pásů pro rychlou těžbu a realizaci pásů bez vegetace. V případě potřeby a ohrožení vyhlásit i zákaz vstupu do lesa.

Příprava stanoviště. V případě vývratů je třeba vrátit „koláče“ do původní polohy. Těžební zbytky lze sice prodat, ale vhodné je i jejich drcení nebo po chemickém ošetření (pouze u jehličnatých dřevin) užití na vytvoření valů. Ponechání těžebních zbytků na ploše (celoplošně) sice může krátkodobě potlačit buřeneš a zlepšit hydrotermální režim půdy, ale současně výrazně znesnadňuje vlastní obnovu a všechny další práce (ožínání apod.). Lze řešit podrcením těchto zbytků (pruhově i celoplošně) těsně před sadbou. Ponechané těžební zbytky jsou úkrytem pro nejrůznější škůdce a jsou zdrojem chorob. V případě, že budou těžební zbytky na ploše ponechány, druh vysazované dřeviny by měl být jiný než dřevina těžebního zbytku. Rozdrcení těžebních zbytků se eliminuje možnost napadení chalkografem, ale výsadba nesmí být realizována do rozdrcené vrstvy těžebních zbytků, nevhodné je i jejich zapracování do půdy. Rozdrcené těžební zbytky téměř vylučují možnost přirozené obnovy na dané holině. V případě, že stanoviště v době obnovy bude silně zabuřenešné, je lepší buřeneš eliminovat dvojstranou orbou a výsadbou do lívanců než pomístnou aplikací herbicidů (tu lze použít na dopravně nepřístupných místech, musí však být opakována).

Pro výsadbu je žádoucí užít nižší sadební materiál, se silným kořenovým krčkem a velkým mykorhizním kořenovým systémem (nepoužívat sadební materiál na spodní hranici kvality podle ČSN 48 2115 Sadební materiál lesních dřevin). Vhodnější je sadební materiál krytokořenný než prostokořenný, zcela nevhodné jsou prostokořenné semenáčky. Rovněž i výsadba prostokořenných poloodrostků je riziková, jejich užití je pro jejich výšku přípustné v mrazových polohách. Kromě kvality je nezbytné zajistit i perfektní manipulaci se sadebním materiálem (dovoz, založení) a výsadbu. V opačném případě dojde k nezdaru a příčina se bude hledat úplně jinde, než kde byla – v lidském faktoru při obnově.

Nejvhodnějším způsobem výsadby je sadba jamková, dobře lze použít i jednomužné motorové vrtáky, ve vhodných terénech výsadbu RZS, pro krytokořenou sadbu lze použít i sázecí hole. Vzhledem k problematickému průběhu počasí je třeba přednostně vysazovat na podzim, při menších mrazech i v zimě. Při výsadbě je vhodné aplikovat hydroabsorbenty nebo použít krytokořenný sadební materiál s hydroabsorbenty. Není přípustné vysazovat rostliny do humusových horizontů nebo vrstvy rozdrcených těžebních zbytků. Všechny rostliny je vhodné při výsadbě poloutápět, u krytokořenných překryt kořenový bal minimálně 4 cm půdy. Při výsadbě nesmí být deformován kořenový systém, jakákoliv deformace je zdrojem rychlého napadení parazitickými houbami a oslabení stromu. Povrch jamky je třeba mulčovat strženým drnem, posekanou buřeneš, vhodné je též užití mulčovacích plachetek.

Nejen pro snazší ošetřování kultur je vhodné výsadbu realizovat v řadovém sponu „do šňůry“, směr řad nesmí být ve směru převládajících větrů. Dřevinou skladbu a její rozmístění můžeme volit tak, abychom vytvořili druhově pestré porosty, které se ale dají bez větších problémů vychovávat. Nevytvářet monokultury, tzn., největší výměra monokulturní skupiny by neměla přesáhnout cca 0,20 ha. V každém porostu (skupině) by ve větším podílu měly být zastoupeny alespoň tři druhy dřevin (každá

cca 30 %). (Nevytvářet monokultury platí i pro přípravné dřeviny – obzvláště břízu, která může být plošně a rychle poškozena suchem, sněhem, mrazovými kýlami.) Smíšené dřeviny – řadové, skupinové a schematické.

Po výsadbě je třeba vždy realizovat startovací hnojení včetně všech preventivních opatření proti výskytu chorob a škůdců jako jsou klikoroh, myšovití, padlí apod.

V mnoha oblastech budou rozhodujícím (klíčovým) faktorem úspěšnosti obnovy škody zvěř. Je proto nezbytné snížit stavy zvěře (zejména spárkaté) na kmenové stavy a realizovat všechna další myslivecká opatření ke snížení škod, zejména bude žádoucí přikrmování zvěře, založení pastevních lesů a linek na odstřel (současně budou řešit i rozčlenění porostů). Výsadby v oblasti nových druhů dřevin bude nutno oplocovat. Tzn., stavět menší oplocenky s dostatečným počtem průchodů pro zvěř, velké oplocenky (i několik desítek hektarů) stavět z obornického pletiva, osvědčily se i pachové a elektrické ohradníky. Bez oplocení bude třeba výsadby chránit repelenty a také používat nové druhy listnatých dřevin proti zimnímu i letnímu okusu.

Zejména na živnějších stanovištích bude vážným problémem i buřeň. Protože neexistuje žádný efektivní způsob ochrany semenáčků z celoplošných sítí nebo přirozeného zmlazení proti negativnímu působení buřene (pouze ruční individuální ožnutí) a semenáčky v prvních letech buřene nepotlačí, bude buřeň dalším limitujícím faktorem uplatnění těchto způsobů obnovy. Jak již bylo zmíněno, bude žádoucí při výsadbě nepřipustit nepravidelné spony a významně využít krycí funkce buřene. Nelze realizovat celoplošné zásahy proti buřeni a nutné je minimalizovat užití herbicidů. V případě výskytu převážně bylinné buřene je vhodné realizovat sežínání na vysoké strniště, v případě výskytu převážně trav vyžínání v pruzích (ne v oblastech, kde se vyskytují mufloni). Pokud možno realizovat všechny způsoby péče s využitím mulčování (buřeni, bioplachetkami). V prvních letech po výsadbě mohou buřeň dobře eliminovat i nadrcené těžební zbytky.

U velkých kalamitních holin, kde přímá obnova sadbou bude trvat dlouhou dobu, nebo nemáme-li sadební materiál, je vhodné ihned založit přípravný porost sítí (zabráníme zejména zabuřeni a zamokření). Vždy je třeba realizovat skarifikaci půdního povrchu (v případě úporné buřene i aplikaci herbicidu) a následně celoplošně vyset olši nebo břízu.

V případě, že plocha silně zabuřeni, nebo bude ovlivněna vodou, bude nutné realizovat postupy běžně uplatňované u silně zabuřených a zamokřených stanovišť.

Úspěšná obnova velkoplošných kalamitních holin bude vyžadovat i změnu logistiky obnov. V případě, že obnova bude naplánována na delší období než tři roky, je vhodné i vybudovat dočasnou školku. V každém případě je nutné v místě obnov vybudovat kvalitní a objemově odpovídající sněžné jámy a krytá centrální založiště. Pro obnovu vyčlenit THP, dopravní prostředky a dělníky (nedělají nic jiného). Pro každý obnovovaný porost odpovědně zpracovat (a dodržet) plán obnov až do doby zajištění kultur.

## Závěr

Při pochůzkách v oblastech postižených kalamitou lze vidět různé přístupy vlastníků lesa k jejich řešení. Od okamžité přípravy stanoviště a obnovy ve smyslu výše uvedeného textu (jsou zde úspěšné jednoleté až čtyřleté výsadby, často se jedná již o zajištěné porosty), až po situaci, že vlastníci lesa nedělají nic a čekají na dotace nebo spoléhají na sukcesi. Mnozí se sice snaží holiny obnovit, ale často používají nekvalitní sadební materiál, nevhodnou dřevinou skladbu, nevhodnou dobu výsadby (je neustále nutno brát v úvahu dlouhodobé sucho). Nebylo by proto od věci



zpracovat jasný a stručný manuál postupu obnovy kalamitních holin v dané oblasti (nižší a střední polohy) a provoznímu personálu přímo ukázat úspěšně obnovené holiny. Ač jsou žel i názory jiné, úkolem lesníků je kalamitní plochy obnovit. V případě, že tak neučiníme – pro les i krajinu uděláme to nejhorší.

### **Poděkování**

Příspěvek vznikl za finanční podpory projektu NAZV QJ 1520080 „Optimalizace umělé obnovy lesa v České republice“ a na základě dlouhodobých zkušeností pracovního týmu autorů jako apel lesnické praxi.

### **Summary**

Nowadays Czech forestry is wrestling with a bark beetle calamity that is a reason of disaster areas creation. This work shows compact and complex instruction of their reforestation until new plantations don't need any early protection (weeds, insects, game). It is necessary to make forest accessible during calamity generation and to fixate stand boundary. It is necessary to regenerate clear-cut calamity areas less than 2 ha with the same techniques as clear-cut areas after planned cutting. It is possible to regenerate all clear-cut areas with the help of preparatory species (we can see their use mainly at extreme sites and areas greater than 10 ha), we can regenerate almost all clear-cut areas right with target tree species. It is possible to use natural regeneration at clear-cut areas without weeds and crushed logging residues and with sufficient in numbers of genetically suitable and generative parent trees (e.g. minimally 5 pcs/ha for birch). We can use birch, rowan, alder, aspen and field maple as preparatory species. We can also use Norway spruce as a preparatory species very well. Oaks, pines, larch and hornbeam are species without any problems in regeneration of large clear-cut areas, limes dry very often, it is possible to use maples only at sites with more organic matter in soil. It is necessary to use minimally 3 woody species at all regenerated clear-cut area. Their mixture should be group (to area of 0.50 ha), line and geometrical. It is not possible to form monocultures even from preparatory species. We can plant climax species after preparatory stands, by two-step regeneration, between line with fast growing species or also by planting of two species together. It is necessary to use planting stock of a very good physiological quality with a thick root collar diameter and large root system with mycorrhiza, preferably containerized, bare-rooted seedlings and large-sized plants shouldn't be used. Autumn and winter planting are desirable. Very careful handling and planting technique are essentially requirements. It is necessary to stabilize new stands mechanically (it is the best with the aid of oak lines) and to assure all necessary fire precautions. It is suitable to use weeds for covering by their cutting just above tops of young trees or in lines. We should realize starting fertilization and all preventative measures against diseases and pests. It is necessary to decrease game damages by reduction of their number, game feeding will be necessary as well as establishment of browsing stands, bio lines, but also building game-proof fences, regenerated blocks and application of repellents against summer and winter browse. It is necessary to cut away dead standing trees and to regenerate disaster areas like other clear-cut areas as soon as possible (it will be the best to 2 years). Successful regeneration of clear-cut disaster areas requires also radical shift of regenerated work logistics.

**Sekce 4**

**VÝCHOVA, PRODUKCE A STRUKTURA LESA**

**Session 4**

**FOREST TENDING, PRODUCTION AND STRUCTURE**

## POKALAMITNÝ VÝVOJ PORASTU V PREBUDOVE NA VÝBERKOVÝ LES

### POST-WINDTHROW DEVELOPMENT OF A STAND IN CONVERSION TO SELECTION FOREST

Jaroslav Vencurik\*, Ladislav Šumichrast, Stanislav Kucbel, Denisa Sedmáková

Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, T.G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, SK

\*corresponding author: jaroslav.vencurik@tuzvo.sk

#### Abstract

*The study analyses the status of a stand in conversion to selection forest (compartment 1629, Forest district Liptovská Osada) before and four years after the windstorm Žofia. Data about the structure and natural regeneration were collected in 2013 (before the windthrow) and in 2018 (after the windthrow) in a permanent research plot of 0.25 ha. The results show that after the accidental disturbance in the relatively differentiated stand, the majority of the lower layer trees as well as the part of middle layer trees remain present. Especially the presence of these stems provides the conditions for subsequent structuralization of the stand and the fulfilment of public-beneficiary forest functions. Enhancement of light conditions after the windthrow resulted in significant changes of tree species composition of natural regeneration even in short timespan of four years. The emergence of pioneer tree species (rowan) in natural regeneration in large densities can have a positive influence on the following development of the next stand generation.*

**Keywords:** conversion to selection forest, windthrow, stand structure, natural regeneration

#### Abstrakt

*Predložená štúdia analyzuje stav porastu v prebudove na výberkový les (dielec 1629, LC Liptovská Osada) pred a štyri roky po vetrovej kalamite Žofia. Údaje týkajúce sa štruktúry a prirodzenej obnovy boli získané v rokoch 2013 (stav pred kalamitou) a 2018 (stav po kalamite) na trvalej výskumnej ploche s výmerou 0,25 ha. Z výsledkov je zrejmé, že po náhodnej disturbancii ostáva v relatívne diferencovanom poraste zachovaná väčšina stromov dolnej, ako aj časť stromov strednej vrstvy. Práve existencia týchto stromov vytvára predpoklad pre následnú štrukturalizáciu porastu a umožňuje plnenie verejno-prospešných funkcií lesa. V dôsledku zlepšenia svetelných podmienok kalamitou dochádza tiež k výrazným zmenám druhového zloženia prirodzenej obnovy, a to už v krátkom časovom období (štyri roky). Plošný nástup prirodzenej obnovy prípravných drevín (jarabiny) môže mať pritom pozitívny vplyv na ďalší vývoj následného porastu.*

**Kľúčové slová:** prebudova na výberkový les, vetrová kalamita, štruktúra porastu, prirodzená obnova

#### Úvod a problematika

Globálna zmena klímy ovplyvňuje negatívne stav a vývoj lesných ekosystémov. Dlhodobé prognózy vypracované pre rôzne regióny Európy poukazujú na postupné zhoršovanie zdravotného stavu lesov, ako aj na podstatné zmeny v rozšírení a raste jednotlivých druhov drevín v najbližších desaťročiach (CAMPOLI *et al.* 2012, NOTHDURFT *et al.* 2012). Tieto procesy môže významne urýchliť aj zvýšená frekvencia a intenzita disturbančných udalostí vyvolaných extrémnym počasím (FRELICH 2002). Je známe, že štrukturované, zmiešané lesy vykazujú v porovnaní s rovnovekými, rovnorodými porastmi lepší odolnostný potenciál, zvlášť keď sú vystavené stresu alebo náhodným disturbanciám (WERMELINGER 2004, HANEWINKEL *et al.* 2014). Celoeurópske tendencie smerujúce k zachovaniu a väčšej stabilite ohrozených lesných ekosystémov v ekologicky a ekonomicky vyváženom stave si preto vyžadujú zásadné zmeny v uplatňovaných koncepciách ich pestovania. V prípade ihličnatých porastov s prímесou buka je vhodný hlavne výberkový hospodársky spôsob (KORPEL, SANIGA 1994, SANIGA, DENDYS 2015). Medzi vysokým lesom s vyrovnanou výškovou štruktúrou a typickým výberkovým lesom existujú rôzne prechodové formy (SCHÜTZ 2001a). Vo výškovo nivelizovaných porastoch

tvorených vývojovo starými stromami s krátkymi korunami, ktoré sa vyznačujú nízkou stabilitou je ich prebudova na výberkový les pomocou následnej generácie porastu zaťažená značným rizikom rozvrátenia týchto porastov škodlivými činiteľmi, predovšetkým vetrom (SANIGA 2018). Prirodzená obnova, ktorá má vznikáť nerovnomerne na celej ploche porastu vo forme hlúčikov alebo malých skupín v priebehu dlhšieho časového obdobia nadobúda v dôsledku rapídneho presvetlenia porastu kalamitou veľkoplošný charakter, čo vo veľkej miere ohrozuje vytvorenie diferencovanej štruktúry porastu (KORPEL, SANIGA 1993). Vzhľadom na relatívne nízke zastúpenie viacvrstvových porastov na Slovensku (Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike 2018) ako aj v Európe (SCHÜTZ 2001b, BONCINA et al. 2002) bol však ich pokalamitný vývoj doposiaľ len málo preskúmaný.

Cieľom tohto príspevku bola analýza vývoja porastu prebudovávaného na výberkový les, ktorý bol v roku 2014 zasiahnutý vetrovou kalamitou Žofia.

### Materiál a metodika

Objektom výskumu v tejto štúdií bola trvalá výskumná plocha v dieľci 1629 (LC Liptovská Osada - štátne), na ktorej sa od 80. rokov minulého storočia realizuje prebudova porastu na výberkový les pomocou následnej generácie. Na výskumnej ploche sa uskutočňoval bádenský clonný rub s obnovnou dobou 40 rokov s cieľom pozvoľného dávkovania svetla zameraného na nepravidelnú prirodzenú obnovu (SANIGA, VENCURIK 2007). V roku 2014 bola výskumná plocha postihnutá vetrovou kalamitou Žofia.

Dielec 1629 je súčasťou demonštračného objektu TU vo Zvolene Donovaly-Mistríky s rozlohou 50,3 ha. Nachádza sa v lesnej oblasti 35A Veľká Fatra, Starohorské vrchy sever, Ždiarska brázda v nadmorskej výške 920 až 980 m n. m. (48°52'N, 19°13'E). Geologické podložie tvorí predovšetkým žula. Prevládajúcimi pôdnymi typmi sú kambizeme a rankrové pôdy. Priemerná ročná teplota sa tu pohybuje od 6,1 do 6,6°C a priemerný ročný zrážkový úhrn od 850 do 950 mm. Dielec je zaradený medzi lesy osobitného určenia, písmeno kategórie f - lesy v zriadených génových základniach lesných drevín. Priemerný sklon je 20%, expozícia severovýchodná. Z typologického hľadiska patrí skúmaný dielec do skupiny lesných typov *Fagetum abietino-piceosum* vst. (ZLATNÍK 1976). Lesné spoločenstvo tvorí predovšetkým smrek obyčajný (*Picea abies* [L.] Karst.), s prímiesou jedle bielej (*Abies alba* Mill.), buka lesného (*Fagus sylvatica* L.) a jarabiny vtáčej (*Sorbus aucuparia* L.).

V roku 1994 bola v dieľci 1629 založená trvalá výskumná plocha s rozmermi 50 × 50 m (0,25 ha), na ktorej boli v nepravidelných časových intervaloch (1994, 1999, 2003 a 2013) vykonávané podrobné merania za účelom sledovania zmien štruktúry porastu a stavu prirodzenej obnovy (SANIGA, VENCURIK 2007, JAĎUŠ 2014). Na celej výskumnej ploche boli merané hrúbky stromov (hrúbka  $d_{1,3} > 8$  cm), ktoré boli evidované podľa jednotlivých druhov drevín. V strede výskumnej plochy sa nachádzal tranzekt s rozmermi 10 × 50 m (500 m<sup>2</sup>). Na ňom sa okrem hrúbok stromov merali navyše aj ortogonálne súradnice stromov, ich výšky a parametre korún (výška nasadenia, korunové projekcie). Evidovala sa tu aj prirodzená obnova drevín v kategóriách s výškou 21–50 cm, 51–80 cm, 81–130 cm a meral sa dorast s výškou  $> 131$  cm a hrúbkou  $d_{1,3} < 8$  cm. Opätovné meranie na obnovennej výskumnej ploche bolo vykonané v roku 2018 podľa vyššie popísanej metodiky.

Zastúpenie drevín v materskom poraste, doraste a prirodzenej obnove bolo komplexne vyjadrené relatívnou významnosťou druhu (COTTAM, CURTIS 1956). Tá sa vypočítala ako priemer relatívnej denzity (percentuálna početnosť dreviny)

a relatívnej dominancie (percentuálne zastúpenie dreveniny z kruhovej základne stromov alebo dorastu, v prípade obnovy zo sumy výšok).

V predložennom príspevku je zahrnuté porovnanie stavu porastu a prirodzenej obnovy pred kalamitou v roku 2013 a po kalamite v roku 2018.

## Výsledky a diskusia

V roku 2013 mala hrúbková štruktúra na výskumnej ploche v dieľci 1629 charakter bimodálneho rozdelenia, ktoré bolo výsledkom pozvoľnej hrúbkovej a výškovej diferenciacie stromov porastu za posledných 40 rokov. Pri porovnaní s navrhnutým modelom výberkového lesa (SANIGA, VENCURIK 2007) sa ešte prejavoval výrazný deficit stromov strednej vrstvy (hrúbkové stupne 22 až 42 cm), a naopak prebytok stromov v hornej vrstve (hrúbkové stupne 50 až 62 cm). Tento stav je však typický pre väčšinu prebudovávaných porastov (KORPEL, SANIGA 1993, SCHÜTZ 2001b). Skutočná zásoba sa pohybovala na úrovni optimálnej zásoby (406, resp. 415 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; Tab. 1 a Obr. 1). Po vetrovej kalamite v roku 2014 bola zdecimovaná horná a časť strednej vrstvy porastu. V dostatočnom počte však prežili stromy najnižších hrúbkových stupňov (10 a 14 cm). Zachovanie dolnej vrstvy diferencovaných lesov po prírodných disturbanciách predstavuje nespornú výhodu oproti rovnovekým porastom, v ktorých po týchto udalostiach vznikajú zväčša rozsiahle, ťažko zalesniteľné kalamitné plochy (ŠTEFANČÍK et al. 2012, SANIGA, DENDYS 2015). Výrazne sa zmenilo aj zastúpenie jednotlivých druhov drevín v poraste vyjadrené prostredníctvom ich relatívnej významnosti. Na úkor smreka sa zvýšila významnosť jedle a buka, keďže tieto dreveniny boli pred kalamitou zastúpené predovšetkým v dolnej a strednej vrstve porastu.

**Tab. 1:** Základné porastové charakteristiky (stromy s hrúbkou  $d_{1,3} > 8$  cm) pred kalamitou (rok 2013) a po kalamite (rok 2018)

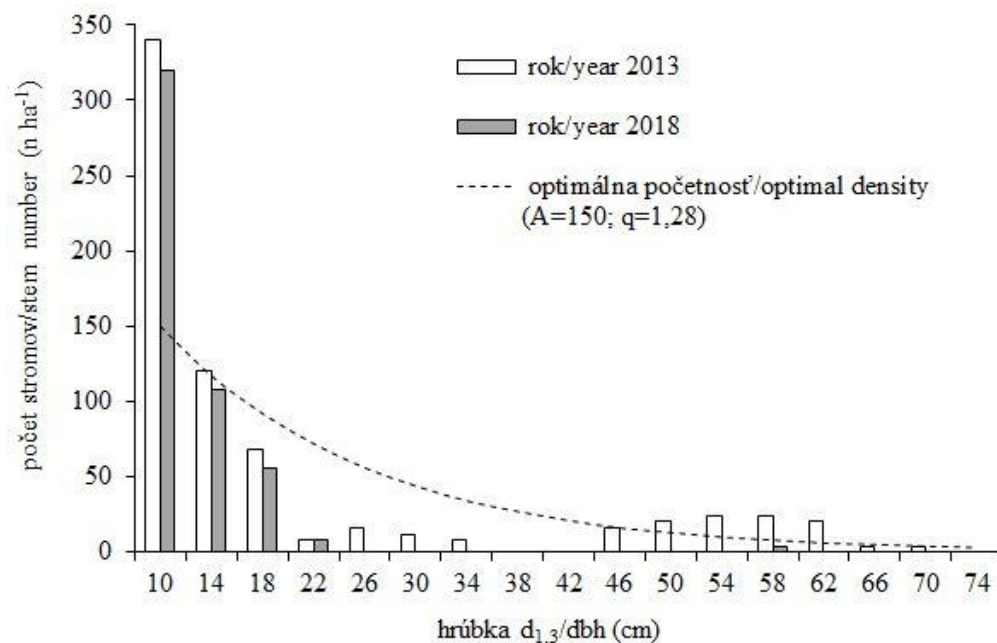
**Tab. 1:** Basic stand characteristics (living trees of dbh > 8 cm) before the windthrow (year 2013) and after the windthrow (year 2018)

	N <sup>1</sup>		G <sup>2</sup>		V <sup>3</sup>		RVD <sup>4</sup>
	n ha <sup>-1</sup>	%	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	%	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	%	%
Rok/Year 2013							
Smrek/Spruce	436	63,7	33,3	92,0	381,6	93,9	67,6
Jedľa/Fir	196	28,7	2,5	6,9	22,7	5,6	24,5
Buk/Beech	52	7,6	0,4	1,1	2,1	0,5	7,9
Spolu/Total	684	100,0	36,2	100,0	406,4	100,0	100,0
Rok/Year 2018							
Smrek/Spruce	196	39,5	3,8	54,0	31,0	62,1	46,2
Jedľa/Fir	232	46,8	2,5	35,7	14,8	29,6	39,7
Buk/Beech	68	13,7	0,7	10,3	4,2	8,3	14,1
Spolu/Total	496	100,0	7,0	100,0	50,0	100,0	100,0
Model	678		39,1		415,5		

<sup>1</sup>N – počet jedincov/stem number, <sup>2</sup>G – kruhová základňa/basal area, <sup>3</sup>V – zásoba/growing stock, <sup>4</sup>RVD – relatívna významnosť druhu/relative importance value

Vetrová kalamita ovplyvnila negatívne aj početnosť dorastu (jedince s výškou > 131 cm a hrúbkou  $d_{1,3} < 8$  cm). Tá poklesla v porovnaní s rokom 2013 až o cca. 50% (Tab. 2). Najčastejšou príčinou mortality týchto jedincov bolo mechanické poškodenie v dôsledku kalamity a jej následného spracovania. Napriek redukcii počtu jedincov dorastu však nedošlo k výraznejším zmenám v relatívnej významnosti jednotlivých druhov. Najzastúpenejšou dreveninou dorastu ostala jedľa, ktorej relatívna

významnosť v súčasnosti dosahuje takmer 60%. V týchto porastoch by mohla byť jedľa v budúcnosti nositeľkou výberkovej štruktúry. V porovnaní so smrekom je jedľa tolerantnejšia k vysokým teplotám a suchu (VAN DER MAATEN-THEUNISSEN *et al.* 2013) a má tiež väčšiu odolnosť voči poškodeniu vetrom a hmyzom (DENGLER 1992, DVORAK *et al.* 2001). Preto jej zvýšené zastúpenie v porastoch prebudovaných na výberkový les môže pozitívne ovplyvniť ich stabilitu. Kľúčovým predpokladom je však eliminácia jej poškodenia zverou (HEUZE *et al.* 2005, KLOPČIČ *et al.* 2017).



**Obr. 1:** Hrúbková štruktúra porastu pred kalamitou (rok 2013) a po kalamite (rok 2018) a model výberkového lesa

**Fig. 1:** Diameter structure of the stand before the windthrow (year 2013) and after the windthrow (year 2018) and the model of selection forest

Najväčšia dynamika zmien po kalamite bola zaznamenaná logicky v prípade prirodzenej obnovy s výškou 20 až 130 cm. Zlepšenie svetelných pomerov viedlo k nárastu počtu jedincov vo všetkých kategóriách (Tab. 3). Veľký potenciál prirodzenej obnovy na kalamitisku v priebehu relatívne krátkeho časového obdobia (3 roky) po katastrofickom rozpade smrekového lesa bol potvrdený aj v TANAP-e (ŠEBEŇ *et al.* 2011). V nami skúmanom poraste bol enormný nárast početnosti zaznamenaný zvlášť v prípade jarabiny, ktorá sa z malého počtu jedincov pred kalamitou stala po štyroch rokoch najvýznamnejšou drevinou prirodzenej obnovy (relatívna významnosť 70%). Výskyt jarabiny môže mať podľa viacerých autorov (MARTINÍK *et al.* 2017, KONÓPKA *et al.* 2019) pozitívny vplyv na rast smreka, jedle a buka. Pionierske dreviny obmedzujú tienením výskyt nežiadúcej prízemnej vegetácie a zlepšujú tiež mikroklimatické podmienky stanovišťa. Prítomnosť jarabiny ako ohryzovej dreviny je výhodná aj z pohľadu ochrany klimaxových drevín proti zveri (KONÓPKA *et al.* 2019). Je známe, že výskyt jarabiny obmedzuje škody spôsobené jeleňou zverou na jedli (EIBERLE, BÜCHER 1989). Práve škody zverou sú popri klimatických faktoroch a nevhodných pestovných opatreniach v súčasnosti považované za jeden z najdôležitejších faktorov odumierania jedle v Európe (AMMER 1996, KLOPČIČ *et al.* 2010).

**Tab. 2:** Štruktúra kategórie dorastu (jedince s hrúbkou  $d_{1,3}$  1–8 cm) pred kalamitou (rok 2013) a po kalamite (rok 2018)

**Tab. 2:** Structure of recruitment (individuals with dbh 1–8 cm) before the windthrow (year 2013) and after the windthrow (year 2018)

Hrúbka $d_{1,3}$ / dbh	Smrek/Spruce		Jedľa/Fir		Buk/Beech		Jarabina/Rowan		Spolu/Total	
	N <sup>1</sup> n ha <sup>-1</sup>	G <sup>2</sup> m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	N <sup>1</sup> n ha <sup>-1</sup>	G <sup>2</sup> m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	N <sup>1</sup> n ha <sup>-1</sup>	G <sup>2</sup> m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	N <sup>1</sup> n ha <sup>-1</sup>	G <sup>2</sup> m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	N <sup>1</sup> n ha <sup>-1</sup>	G <sup>2</sup> m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>
Rok/Year 2013										
1–2 cm	260	0,05	460	0,08	440	0,08	0	0,00	1 160	0,21
2–3 cm	100	0,05	260	0,12	160	0,08	0	0,00	500	0,25
3–4 cm	80	0,08	200	0,19	120	0,12	0	0,00	400	0,39
4–5 cm	40	0,06	80	0,13	0	0,00	0	0,00	120	0,19
5–6 cm	100	0,23	100	0,24	0	0,00	0	0,00	200	0,47
6–7 cm	20	0,07	120	0,40	0	0,00	0	0,00	140	0,46
7–8 cm	0	0,00	60	0,26	0	0,00	0	0,00	60	0,26
Spolu/Total	600	0,54	1260	1,42	720	0,27	0	0,00	2 580	2,23
%	23,3	24,2	48,8	63,6	27,9	12,2	0,0	0,0	100,0	100,0
RVD (%) <sup>3</sup>	23,7		56,3		20,0		0,0		100,0	
Rok/Year 2018										
1–2 cm	40	0,01	140	0,02	140	0,02	20	0,00	340	0,06
2–3 cm	20	0,01	160	0,08	60	0,03	0	0,00	240	0,12
3–4 cm	40	0,04	20	0,02	20	0,02	0	0,00	80	0,08
4–5 cm	20	0,03	60	0,10	40	0,06	0	0,00	120	0,19
5–6 cm	20	0,05	120	0,28	20	0,05	0	0,00	160	0,38
6–7 cm	60	0,20	120	0,40	40	0,13	0	0,00	220	0,73
7–8 cm	20	0,09	120	0,53	20	0,09	0	0,00	160	0,71
Spolu/Total	220	0,43	740	1,43	340	0,41	20	0,00	1 320	2,27
%	16,6	18,7	56,1	63,3	25,8	17,8	1,5	0,2	100,0	100,0
RVD (%) <sup>3</sup>	17,6		59,7		21,9		0,8		100,0	

<sup>1</sup>N – počet jedincov/number of individuals, <sup>2</sup>G – kruhová základňa/basal area, <sup>3</sup>RVD – relatívna významnosť druhu/relative Importance value

**Tab. 3:** Štruktúra prirodzenej obnovy (jedince s výškou < 130 cm) pred kalamitou (rok 2013) a po kalamite (rok 2018)**Tab. 3:** Structure of natural regeneration (individuals with dbh < 130 cm) before the windthrow (year 2013) and after the windthrow (year 2018)

Kategória/ Category	Smrek/Spruce		Jedľa/Fir		Buk/Beech		Jarabina/Rowan		Spolu/Total	
	N <sup>1</sup> n ha <sup>-1</sup>	SumH <sup>2</sup> cm	N <sup>1</sup> n ha <sup>-1</sup>	SumH <sup>2</sup> cm	N <sup>1</sup> n ha <sup>-1</sup>	SumH <sup>2</sup> cm	N <sup>1</sup> n ha <sup>-1</sup>	SumH <sup>2</sup> cm	N <sup>1</sup> n ha <sup>-1</sup>	SumH <sup>2</sup> cm
Rok/Year 2013										
21–50 cm	220	7 700	20	700	0	0	80	2 800	320	11 200
51–80 cm	220	14 300	40	2 600	20	1 300	0	0	280	18 200
81–130 cm	220	23 100	220	23 100	0	0	0	0	440	46 200
Spolu/Total	660	45 100	280	26 400	20	1 300	80	2 800	1 040	75 600
%	63,5	59,7	26,9	34,9	1,9	1,7	7,7	3,7	100,0	100,0
RVD (%) <sup>3</sup>	61,6		30,9		1,8		5,7		100,0	
Rok/Year 2018										
21–50 cm	80	2 800	80	2 800	60	2 100	360	12 600	580	20 300
51–80 cm	60	3 900	20	1 300	60	3 900	280	18 200	420	27 300
81–130 cm	20	2 100	20	2 100	160	16 800	600	63 000	800	84 000
Spolu/Total	160	8 800	120	6 200	280	22 800	1 240	93 800	1 800	131 600
%	8,9	6,7	6,7	4,7	15,6	17,3	68,8	71,3	100,0	100,0
RVD (%) <sup>3</sup>	7,8		5,7		16,4		70,1		100,0	

<sup>1</sup>N – počet jedincov/number of individuals, <sup>2</sup>SumH – suma výšok/sum of heights, <sup>3</sup>RVD – relatívna významnosť druhu/ relative importance value



## Záver

Poznatky z výskumu štruktúry a prirodzenej obnovy porastu prebudovavaného na výberkový les po vetrovej kalamite je možné zovšeobecniť do týchto záverov:

- Dôsledky vetrovej kalamity v štruktúrne diferencovanom poraste nemali tak fatálne následky ako je tomu v prípade rovnovekých porastov. Aj po silnej disturbancii sa tu zachovala pomerne veľká časť stromov dolnej (strednej) vrstvy, čo predstavuje dobrý východiskový stav pre následný vývoj porastu.
- Zlepšenie svetelných podmienok podporilo predovšetkým dynamiku regeneračných procesov jarabiny, ktorá už štyri roky po kalamite dominovala v prirodzenej obnove. Jarabina môže v budúcnosti predstavovať pozitívny element tak z hľadiska ochrany cieľových drevín proti zveri a burine, ako aj z pohľadu štrukturalizácie následného porastu.

## Literatúra

- AMMER, C. Impact of ungulates on structure and dynamics of natural regeneration of mixed mountain forests in the Bavarian Alps. *Forest Ecology and Management*, 1996. 88: s. 43–53.
- BONCINA, A., DIACI, J., CENCIC, L. Comparison of the two main types of selection forests in Slovenia: distribution, site conditions, stand structure, regeneration and management. *Forestry*, 2002. 75: s. 365–373.
- CAMPIOLI, M., VINCKE, C., JONARD, M., KINT, V., DEMARÉE, G., PONETTE, Q. Current status and predicted impact of climate change on forest production and biogeochemistry in the temperate oceanic European zone: Review and prospects for Belgium as a case study. *Journal of Forest Research*, 2012. 17: s. 1–18.
- COTTAM, G., CURTIS, J.T. The use of distance measurements in phytosociological sampling. *Ecology*, 1956. 37: s. 451–460.
- DENGLER, A. *Waldbau. Der Wald als Vegetationsform und seine Bedeutung für den Menschen*. Hamburg und Berlin: Paul Parey Verlag, 1992. 350 s.
- DVORAK, L., BACHMANN, P., MANDALLAZ, D. Sturmschäden in ungleichförmigen Beständen. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 2001. 152: s. 445–452.
- EIBERLE, K., BÜCHER, M. Inderpendenzen zwischen dem Verbiß verschiedener Baumarten in einem Plenterwaldgebiet. *Zeitschrift für Jagdwissenschaft*, 1989. 35: s. 235–244.
- FRELICH, L.E. *Forest dynamics and disturbance regimes*. Cambridge: University Press, 2002. 266 s.
- HANEWINKEL, M., KUHN, T., BUGMANN, H., LANZ, A., BRANG, P. Vulnerability of uneven-aged forests to storm damage. *Forestry*, 2014. 87: s. 525–534.
- HEUZE, P., SCHNITZLER, A., KLEIN, F. Consequences of increased deer browsing winter on silver fir and spruce regeneration in the Southern Vosges Mountains: implications for forest management. *Annals of Forest Science*, 2005. 62: s. 175–181.
- JAĎUĎ, J. *Dynamika štruktúry a regeneračné procesy lesov v rôznej fáze prebudovy na výberkový les: dizertačná práca*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2014. 127 s.
- KLOPČIČ, M., JERINA, K., BONCINA, A. Long-term changes of structure and tree species composition in Dinaric uneven-aged forests: are red deer an important factor? *European Journal of Forest Research*, 2010. 129: s. 277–288.
- KLOPČIČ, M., MINA, M., BUGMANN, H., BONCINA, A. The prospects of silver fir (*Abies alba* Mill.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) in mixed mountain forests

- under various management strategies, climate change and high browsing pressure. *European Journal of Forest Research*, 2017. 136: s. 1071–1090.
- KONÔPKA, B., ŠEBEŇ V., PAJTÍK, J. Sú pionierske dreviny z lesníckeho hľadiska viac nežiaducou vegetáciou alebo prostriedkom biologickej ochrany?! In: Kunca, A. (ed.) *Aktuálne problémy v ochrane lesa*. Zvolen: Národné lesnícke centrum, 2019. s. 125–134.
- KORPEL, Š., SANIGA, M. *Výberný hospodársky spôsob*. Písek: Matica lesnícka, 1993. 127 s.
- KORPEL, Š., SANIGA, M. *Prírode blízke pestovanie lesa*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 1994. 158 s.
- MARTINÍK A., ADAMEC Z., HOUŠKA J. Production and soil restoration effect of pioneer tree species in a region of allochthonous Norway spruce dieback. *Journal of Forest Science*, 2017. 63: s. 34–44.
- NOTHDURFT, A., WOLF, T., RINGELER, A., BÖHNER, J., SABOROWSKI, J. Spatio-temporal prediction of site index based on forest inventories and climate change scenarios. *Forest Ecology and Management*, 2012. 279: s. 97–111.
- SANIGA, M. Konferencia o výberkovom hospodárení v Sliachi roku 1956, historické fakty a dnešná realita. In: Saniga, M. (ed.) *Sliačske poobhliadnutie*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2018. s. 18–25.
- SANIGA, M., DENDYS, P. *Rekonštrukcie smrekových porastov (poznatky a praktické skúsenosti)*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2015. 36 s.
- SANIGA, M., VENCURIK, J. *Dynamika štruktúry a regeneračné procesy lesov v rôznej fáze prebudovy na výberkový les v LHC Korytnica*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2007. 82 s.
- SCHÜTZ, J.P. Opportunities and strategies of transforming regular forests to irregular forests. *Forest Ecology and Management*, 2001a. 151: s. 87–94.
- SCHÜTZ, J.P. *Der Plenterwald und weitere Formen strukturierter und gemischter Wälder*. Berlin: Parey Buchverlag, 2001b. 220 s.
- ŠEBEŇ, V., BOŠELA, M., KULLA, L. Terestrická sieť na sledovanie procesu revitalizácie tatranského kalamitiska a jeho okolia. *Štúdie o Tatranskom národnom parku*, 2011. 10 (43): s. 13–24.
- ŠTEFANČÍK, I., LONGAUER, R., KULLA, L. a kol. *Návrh zásad rekonštrukcií smrekových porastov vrátane návrhu praktických postupov zabezpečenia procesu reprodukcie lesa*. Zvolen: Národné lesnícke centrum, 2012. 54 s.
- VAN DER MAATEN-THEUNISSEN, M., KAHLE, H.P., VAN DER MAATEN, E. Drought sensitivity of Norway spruce is higher than that of silver fir along an altitudinal gradient in southwestern Germany. *Annals of Forest Science*, 2013. 70: s. 185–193.
- WERMELINGER, B. Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus*—a review of recent research. *Forest Ecology and Management*, 2004. 202: s. 67–82.
- ZLATNÍK, A. *Lesnícká fytoecenie*. Praha: SZN, 1976. 495 s.

## PodĎakovanie

Práca vznikla s finančnou podporou grantu VEGA 1/0492/17.

## Summary

The study evaluates the development of a stand in conversion to selection forest after the windstorm in 2014. In the permanent research plot of 0.25 ha in compartment 1629 (Forest district Liptovská Osada), all trees with dbh > 8 cm were registered before the windthrow (year 2013) as well as after the windthrow (year

2018). In the transect of 10 × 50 m (500 m<sup>2</sup>) located in the centre of research plot also the natural regeneration (height < 130 cm) and recruitment (height > 130 cm and dbh < 8 cm) were recorded. Tree species composition in parent stand, recruitment and natural regeneration was quantified by the relative importance value. It was calculated as the average of the relative density (percentage according to stem density) and the relative dominance (percentage according to basal area for parent stand and recruitment or to sum of heights for natural regeneration). The results show that the consequences of the windstorm in the relatively differentiated stand are not that fatal as it would be in the case of even-aged stands. Despite the severe disturbance, the relatively large part of the stems in lower (and partly middle) layer remained preserved and represent favourable starting point for the subsequent development of stand. In the recruitment the most common tree species was fir with the relative importance value reaching almost 60%. Fir should become the main forest stand constituent in the future, especially regarding its higher resistance against the damaging factors in comparison with spruce. The enhancement of the light conditions significantly promoted the dynamics of regeneration processes, above all that of rowan, resulting in its dominance in natural regeneration already four years after the windthrow. For the future development of the stand, rowan can play a positive role regarding the protection of climax tree species (fir, spruce, beech) against the ungulates and ground vegetation as well as regarding the structuralization of the following stand.

## VLIV ÚPRAVY STRUKTURY PŘÍPRAVNÉHO POROSTU NA VODNÍ REŽIM A RŮST VYSÁZENÉ JEDLE BĚLOKORÉ V SRÁŽKOVĚ CHUDÉM OBDOBÍ

### EFFECT OF ADJUSTMENT OF NURSE CROPS STAND STRUCTURE ON WATER REGIME AND GROWTH OF UNDERPLANTED SILVER FIR DURING DRY YEAR

Marie Matoušková<sup>1\*</sup>, Antonín Martiník<sup>2</sup>, Matúš Sendecký<sup>2</sup>, Josef Urban<sup>1, 3</sup>

<sup>1</sup> Ústav lesnické botaniky, dendrologie a geobiocenologie, Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 3, 613 00 Brno, ČR

<sup>2</sup> Ústav zakládání a pěstění lesů, Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 3, 613 00 Brno, ČR

<sup>3</sup> Sibiřská federální univerzita, Krasnojarsk, RUS

\*corresponding author: marie.matouskova@mendelu.cz

#### Abstract

Silver fir was one of the most important tree species in Czech forests until the 19th century. Nowadays its share declined to 1 % but foresters aim to increase this proportion. Silver fir is shade-tolerant, which make it difficult to use this species for reforestation of large-scale clear cuts after disturbance. One of the possible solutions is to use nurse crops stands of pioneer species to improve the microclimate. Here we asses biometry, physiology and mortality of silver-fir seedlings planted under various kinds of the shelter of silver birch, during the dry vegetation season of 2018. The trees were planted in the (i) gap (20×20m) and under (ii) thinned and (iii) control (dense) canopy of twenty years old birch stand of 15m height. The birch stand lowered throughfall by interception and the soil moisture by transpiration. The most water-stressed firs were at control plot (predawn needle water potential -3.5 MPa) and thinned plot (-3.2 MPa) and the least stressed in the gap (-0.8 MPa). While the nurse crops help forest regeneration on waterlogged and hydrologically normal sites, care must be taken on water-limited sites. Here, the small-scale gaps in the nurse crops of birch would be the preferred way for the regeneration of silver fir.

**Keywords:** nurse crops, regeneration, silver birch, silver fir, water stress

#### Abstrakt

Jedle bělokora byla až do 19. století jednou z nejdůležitějších dřevin rozšířených v českých lesích. Její zastoupení pokleslo až na 1 %, ale lesníci se jej snaží zvýšit. Jedle je známá jako v mládí stínomilná, což znesnadňuje její užití při zalesňování na velkých holinách po disturbancích. Proto se nabízí použití přípravných porostů a následná nebo souběžná umělá obnova jedle bělokora. Tato studie se zabývá rozdíly v biometrii, fyziologických parametrech a mortalitě u jedlí vysazených v (i) kotlíku (20x20 m), (ii) zásahu (probirce) a v (iii) kontrole (plně zapojeném) přípravném porostu dvacetiletých bříz o horní výšce 15 m. Experiment proběhl na živném stanovišti, ale v období srážkově chudé vegetační sezóny roku 2018 s cílem zachytit vliv přípravného porostu na vodní režim jedlových sazenic. Přípravné dřeviny ovlivnily úhrn srážek intercepce i půdní vlhkost transpirací. Proto byly nejvíce stresované suchem jedle v kontrole (vodní potenciál jehlic před východem slunce -3,5 MPa) a v zásahu (-3,2 MPa) a nejméně v kotlíku (-0,8 MPa). Zatímco na hydricky normálních a vodou ovlivněných stanovištích přípravné dřeviny pomáhají k obnově lesa, na vysychavých stanovištích je při jejich použití na místě určitá obezřetnost. Na základě výsledků této studie je na vysychavých stanovištích vhodné použití maloplošných kotlíků umístěných v porostu přípravných dřevin.

**Klíčová slova:** bříza bělokora, jedle bělokora, obnova lesa, přípravné dřeviny, vodní stres

#### Úvod a problematika

Jedle bělokora (*Abies alba* Mill.), druh vyskytující se především ve střední a jižní Evropě, byla v minulosti hojně rozšířená, ale již od 19. století její druhové zastoupení klesá. Očividnými důvody tak silného poklesu jsou například nadměrné poškozování zvěří (SENN A SUTER 2003), znečištění vzduchu (ELLING et al. 2009), nevhodný způsob hospodářské úpravy lesů nebo nepříznivé podmínky pro její přirozenou obnovu (DOBROWOLSKA et al. 2017).

Pro lesníky je jedle bělokorá známá jako dřevina v mládí tolerující zastínění; je také dřevinou přirozeně tvořící porosty s bohatou vertikální strukturou, a tedy i dřevinou výběrného hospodářského způsobu. Na druhou stranu je však jedle za určitých podmínek prostředí druhem raných fází sukcese (VOLAŘÍK A HÉDL 2013; DOBROWOLSKA et al. 2017) a je tak schopna úspěšně odrůstat i na nekrytých pastvinách nebo jiných zemědělských půdách, jež nabízejí podobné podmínky jako holiny.

Současné zastoupení jedle v ČR je daleko od přirozené i od cílové druhové skladby, což vede k jejímu dlouhodobému umělému zavádění, ale i k podpoře přirozené obnovy (MARTINÍK A DUŠEK 2016; ZPRÁVA 2016). Limitem jejího úspěšného znovuzavádění je nejčastěji zvěř, a v současnosti i rozsah kalamitních holin, vytvářející podmínky ne zcela vhodné pro přímou kultivaci jedle. Na holinách je totiž stínomilná jedle exponována pro ni nezvykle nadměrnému slunečnímu záření, a s tím i spojené vyšší povrchové teplotě. Pokud je navíc sázena na holinu na stanovišti s nízkým úhrnem srážek nebo s vysychavými půdami, dochází k silnému stresu suchem, přisuškům, poškození jehlic a snížení fotosyntetické kapacity (ŠPULÁK A MARTINCOVÁ 2015). Na stranu druhou se zde nabízí možnost využití pionýrských dřevin k tvorbě přípravných porostů a následná nebo souběžná obnova jedle v podsadbě (POMMERENING A MURPHY 2004; VANĚK A MAUER 2014). Krátkověké přípravné dřeviny jsou lépe přizpůsobeny k růstu na velkoplošných holinách po disturbancích a následně mohou dlouhověkým klimaxovým druhům poskytnout kryt. Společně také tvoří rozmanitější a stabilnější porost (MARTINÍK et al. 2018).

Cílem předkládaného příspěvku je zhodnotit vliv úpravy struktury porostu přípravných dřevin na růst, fyziologickou vitalitu a přežití jedle bělokoré. Hodnoceny jsou jedle rostoucí v podsadbě pod dvěma různými hustotami přípravného porostu břízy bělokoré v porovnání s jedlovými semenáčky vysazenými v maloplošném kotlíku (20x20 m).

### **Materiál a metodika**

Veškerá šetření probíhala na trvale výzkumné ploše Skrchov. Ta leží v Jihomoravském kraji v katastrálním území obce Dolní Smržov (GPS: 49.5943483N, 16.549729E). Celková rozloha výzkumné plochy je 0,75 ha, patří do hospodářského souboru 457 a je zde vylišen soubor lesních typů 3B – bohatá dubová bučina. Průměrná roční teplota se pohybuje mezi 7,1–8°C, celkový úhrn srážek je mezi 601–650 mm (PIŠLOVÁ 2019). Po těžbě jehličnatého porostu zde v roce 1993 vznikla holá plocha, na níž se přirozeně zmladila bříza. V roce 2015 byla horní výška březového porostu 15 m (PIŠLOVÁ 2019). Plocha byla před výsadbou jedle rozdělena na 3 varianty (Tab. 1) – Kontrola, tj. bez probírkového zásahu (A; Control), silný Zásah (B; Thinning) a Kotlík (C; Gap). Kotlík je o rozměrech 20x20 m, Kontrola a Zásah jsou o velikosti 25x25 m, ale jejich vnitřní plocha pro měření je 20x20 m. Na podzim roku 2015 byl proveden probírkový zásah a posléze byla na plochu do každé z variant vysázena jedle bělokorá (pětileté krytokořené sazenice; *Abies alba* Mill.) v počtu 1750 ks·ha<sup>-1</sup>. Výzkumná plocha je oplocena kvůli ochraně semenáčků před okusem zvěří.

**Tab. 1:** Základní charakteristika přípravného porostu dle variant**Tab. 1:** Basic characteristics of analysed variants of nurse crops stand

Varianta <i>Treatment</i>	Před zásahem/ <i>Before thinning</i>		Po zásahu/ <i>After thinning</i>	
	N (ks·ha <sup>-1</sup> )	G (m <sup>2</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	N (ks·ha <sup>-1</sup> )	G (m <sup>2</sup> ·ha <sup>-1</sup> )
A – Kontrola/ <i>Control</i>	3000	28,2	3000	28,2
B – Zásah/ <i>Strong thinning</i>	2575	28,6	1050	18,0
C – Kotlík/ <i>Gap</i>	3275	30,7	0	0

N – Počet stromů na hektar/*Number of trees per hectare*, G – Kruhová výčetní základna na hektar/*Basal area per hectare*

Na trvale výzkumné ploše byla nainstalovaná meteostanice (RTHi, EMS Brno, Česká republika), na každé z variant též srážkoměr (Pronamic, Dánsko) a tři čidla pro měření půdní vlhkosti, teploty půdy a vzduchu (TMS-3, Tomst, Česká republika). Z biometrických údajů byl v letech 2016–2018 zaznamenáván výškový přírůst a mortalita (Pišlová 2019). Během vegetační sezóny roku 2018, v srpnu, byl měřen také vodní potenciál letorostů použitím Scholanderovy tlakové komory (PMS 1000, PMS Instrument Company, USA) na devíti jedlových semenáčcích v každé variantě. Termín terénního měření byl vybrán v druhé půlce na srážky chudého vegetačního období. Úhrn srážek a celkový vývoj počasí byly v průběhu vegetační sezóny porovnávány s dlouhodobými normálami Českého hydrometeorologického ústavu.

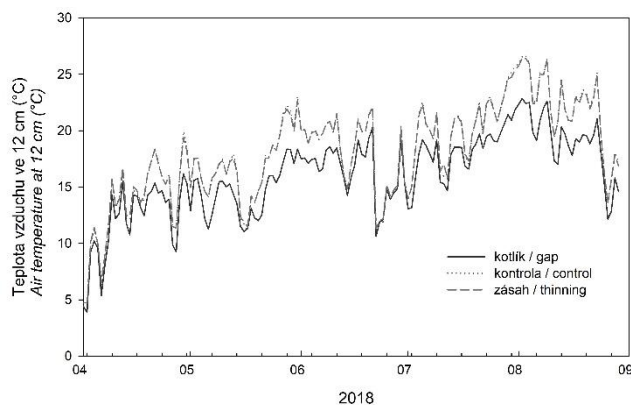
Biometrie a mortalita byla měřena na všech 70 semenáčcích vysazených v každé variantě. Relativní periodický výškový přírůst ( $P$ ) v letech 2016-2018 byl vypočítán využitím následujícího vzorce (1):

$$P (\%) = \left( \frac{h_{2018} - h_{2016}}{h_{2016}} \right) \times 100 \quad (1)$$

kde  $h_{2016}$  je výška jedlových semenáčků v roce 2016 a  $h_{2018}$  je výška jedlových semenáčků v roce 2018, měřené vždy na konci vegetačního období. V případě okusu či usychání korunky semenáčků může dojít i k záporné hodnotě relativního přírůstu.

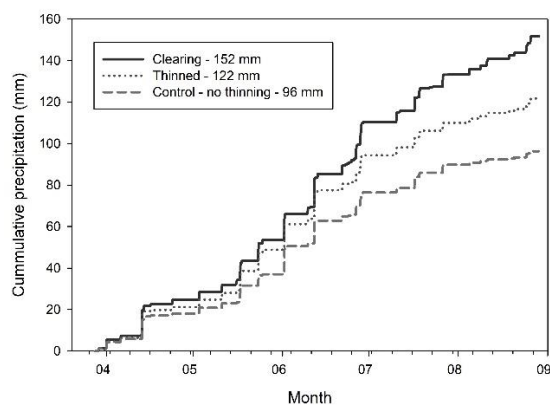
## Výsledky a diskuze

Meteorologická data ukazují, že kryt přípravných dřevin má vliv na teplotu vzduchu. Zatímco v Kontrole a Zásahu nebyla teplota vzduchu příliš rozdílná, v Kotlíku byla průměrná teplota ve 12 cm nad zemí daleko nižší (Obr. 1). Úhrn srážek byl nejvyšší v Kotlíku (152 mm za období duben – začátek září), zatímco nejnižší v Kontrole (96 mm za stejné období; Obr. 2), což zapříčinilo také nejvyšší půdní vlhkost v Kotlíku (Obr. 3). V porovnání s průměrným úhrnem srážek pro zájmovou oblast (601-650 mm za rok (Pišlová 2019)) lze říci, že vegetačního období roku 2018 bylo relativně suché.



**Obr. 1:** Průběh teploty vzduchu ve 12 cm nad povrchem země od dubna do začátku září 2018.

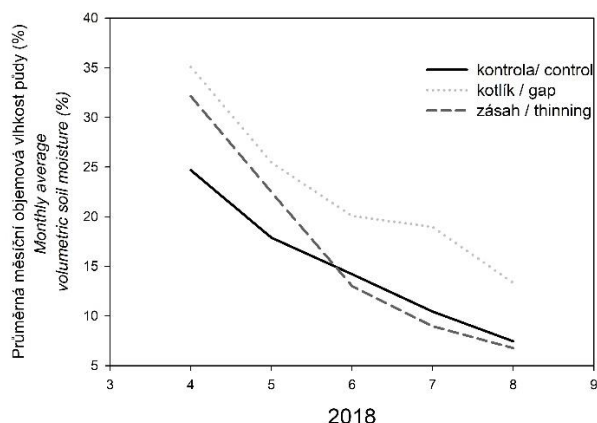
**Fig. 1:** Range of air temperature at the height of 12 cm above the ground surface from April to the beginning of September 2018.



**Obr. 2:** Kumulativní úhrn srážek od počátku olistění bříz (duben) do začátku září 2018.

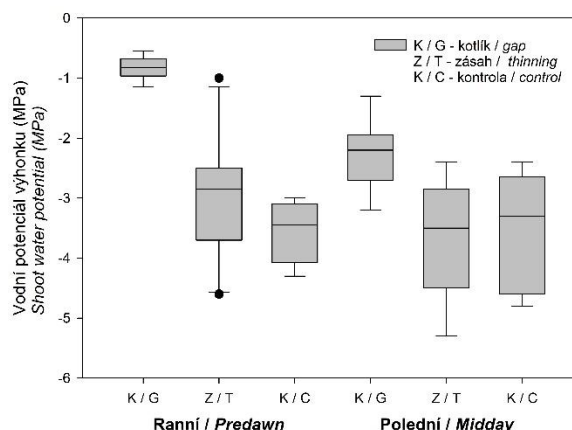
**Fig. 2:** Cumulative precipitation for the period starting with leaf unfolding of birch stand (April) until the beginning of September.

Rozdílný úhrn srážek spolu s odlišnou půdní vlhkostí způsobují také jinou dostupnost vody pro rostliny. Nejvyšší míra vodního stresu (nejnižší hodnoty ranního vodního potenciálu rostliny) jedle byla v srpnu v Kontrole pod plným zápojem břízy (vodní potenciál výhonku = -3,5 MPa), nevýznamně nižší vodní stres byl v Zásahu (-3,2 MPa) a nejmenší vodní stres byl v Kotlíku (-0,8 MPa; Obr. 4). Vodní potenciál u jedle v Kotlíku indikuje mírný až středně silný vodní stres. Vodní potenciál u jedle v podsadbě v Zásahu i v Kontrole indikuje velmi silný vodní stres, hluboko pod bodem vadnutí, konvenčně stanoveným jako -1,5 MPa. V důsledku transpirace se pouze u jedle v Kotlíku během dne výrazněji snížila hodnota vodního potenciálu (na -2,2 MPa). Zato jedle v Kontrole (-3,5 MPa) a v Zásahu (-3,6 MPa) snížily vodní potenciál pouze nepatrně, pravděpodobně pouze v důsledku kutikulární transpirace a reziduální transpirace průduchů (DUURSMA et al. 2019) s cílem ochránit vodní sloupce v cévicích před kavitací. Hodnoty vodního potenciálu mezi -3 a -4 MPa naměřené u jedlových sazenic jsou pro většinu stromů mírného pásu, včetně jedle, na hranici mezi přežitím a mortalitou (CHOAT et al. 2018). Důvodem pro zvýšený vodní stres jedlových semenáčků pod zápojem přípravných dřevin je kombinace nízkého množství srážek kvůli intercepci a úbytku vody v půdě kvůli transpiraci bříz. Sazenice jedle, které ještě nemají vybudovaný dostatečně hluboký kořenový systém, jsou náchylnější k vodnímu stresu, než dospělí jedinci jedle bělokoré, kteří jsou, ve srovnání s ostatními druhy, relativně odolní (ETZOLD et al. 2019). Na druhou stranu může přípravný porost napomoci k vyšší půdní vlhkosti a k lepšímu zásobení živinami prostřednictvím stoku srážek po kmeni a následně preferenčnímu toku po kořenech, které vodu distribuují dál do půdy, aniž by zůstala pouze na půdním krytu či povrchu země (ZAKOPAL 1958; JOHNSON A LEHMANN 2006), čímž mohou příznivě připravovat mikroklima pro následnou podsadbu (MARTINÍK et al. 2018). Zároveň také silný zápoj přípravných dřevin (břízy) poskytuje stín a tím snižuje schopnost podsadby využívat přímé sluneční záření, což může následně zvýšit riziko poškození jehlic po odstranění krytu přípravných dřevin a tím jejich vystavení přímému slunečnímu záření.



**Obr. 3:** Průměrné měsíční hodnoty objemové půdní vlhkosti během vegetační sezóny 2018.

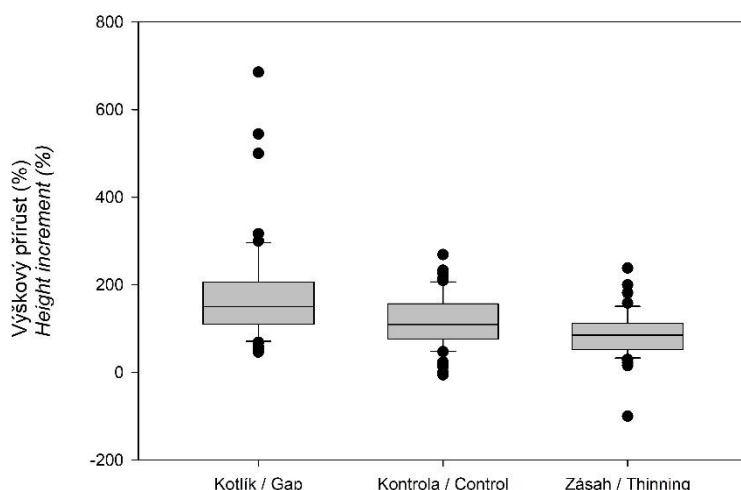
**Fig. 3:** Monthly means of volumetric soil moisture during the growing season 2018.



**Obr. 4:** Ranní a polední hodnoty vodního potenciálu výhonků jedlí v kotlíku, zásahu a v kontrole.

**Fig. 4:** Predawn and midday water potential values of fir shoots at the gap, thinning and control.

Vyšší úhrn srážek, vyšší půdní vlhkost, nižší úroveň vodního stresu v průběhu suché periody vyústily v lepší zdravotní stav a přírůst jedle bělokoré v Kotlíku (PIŠLOVÁ 2019). Měření výškového přírůstu potvrdily, že v letech 2016-2018 nejvíce přirostly jedle v Kotlíku, zatímco nejméně v Zásahu (Obr. 5). Záporný relativní přírůst byl způsoben sesycháním korunky semenáčků jedle. ROBAKOWSKI et al. (2004) také prokázal, že přírůsty jedle jsou vyšší s větší otevřeností zápoje. Podobně hodnocení mortality na konci vegetační sezóny 2018 (PIŠLOVÁ 2019) ukázalo, že nejvíce sazenic jedle přežilo v Kotlíku (92,9 %, tj. 1625 ks·ha<sup>-1</sup>), méně v Kontrole (88,6 %, tj. 1550 ks·ha<sup>-1</sup>) a nejméně v Zásahu (82,9 %, tj. 1450 ks·ha<sup>-1</sup>). Na méně vysychavých plochách, *Tornádo* a *Rakovec*, bylo přežití jedlových sazenic v podrostu břízy 91,8 a 92,9 % (MARTINÍK et al. 2018).



**Obr. 5:** Relativní periodický výškový přírůst sazenic v letech 2016-2018.

**Fig. 5:** Relative periodical height increment in years 2016-2018.

## Závěr

Přípravné dřeviny jsou z praktického hlediska užitečnou volbou pro přípravu mikroklimatu na rozsáhlých holinách po rozličných disturbancích. Výsledky této studie ale naznačují, že přípravné dřeviny mohou mít na odrůstání podsadeb



i negativní vliv, obzvláště na vodou limitovaných stanovištích. Naopak maloplošné kotlíky mají pozitivní vliv na růst a vitalitu jedle bělokoré a jsou tak doporučením vhodným pěstebním opatřením. Otázkou zůstává vhodná volba velikosti, příp. tvaru kotlíku, jejich množství a rozmístění v rámci porostu a také optimálně zvolený věk (výška) přípravných dřevin, kdy dojde k obnově jedle.

## Literatura

- CHOAT, B., BRODRIBB, T. J., BRODERSEN, C. R., DUURSMA, R. A., LÓPEZ, R., MEDLYN B. E. Triggers of tree mortality under drought. *Nature*, 2018. 558(7711): s. 531–539.
- DOBROWOLSKA, D., BONČINA, A., KLUMPP, R. Ecology and silviculture of silver fir (*Abies alba* Mill.): a review. *Journal of Forest Research*, 2017. 22(6): s. 326–335.
- DUURSMA, R. A., BLACKMAN, CH. J., LÓPEZ, R., MARTIN-STPAUL, N. K., COCHARD, H., MEDLYN, B. E. On the minimum leaf conductance: its role in models of plant water use, and ecological and environmental controls. *New Phytologist*, 2019. 221(2): s. 693–705.
- ELLING, W., DITTMAR, CH., PFAFFELMOSER, K., RÖTZER, T. Dendroecological assessment of the complex causes of decline and recovery of the growth of silver fir (*Abies alba* Mill.) in Southern Germany. *Forest Ecology and Management*, 2009. 257(4): s. 1175–1187.
- ETZOLD, S., ZIEMIŃSKA, K., ROHNER, B., BOTTERO, A., BOSE, A. K., RUEHR, N. K., ZINGG, A., RIGLING, A., One Century of Forest Monitoring Data in Switzerland Reveals Species- and Site-Specific Trends of Climate-Induced Tree Mortality. *Frontiers in Plant Science*, 2019.
- JOHNSON, M. S., LEHMANN, J. Double-funneling of trees: Stemflow and root-induced preferential flow. *Écoscience*, 2006. 13(3): s. 324–333.
- MARTINÍK, A., DUŠEK, D. Potenciál mladších jedlových porostů (*Abies alba* Mill.) k přirozené obnově pod chřadnoucím smrkem na severní Moravě. Jedle bělokorá - páteř evropských lesů. 1. vyd. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce s.r.o., 2016, s. 41-47.
- MARTINÍK, A., SENDECKÝ, M., URBAN, J. Survival and early growth of silver fir and pioneer species on two sites in nurse crop regeneration systems in the Czech Republic. *Dendrobiology*, 2018. 80: 81–90.
- PIŠLOVÁ, T. Vliv intenzity výchovného zásahu na formování březového porostu a růst podsady jedle bělokoré. Diplomová práce. *Mendelova univerzita v Brně*, 2019. 61s.
- POMMERENING, A., MURPHY, S. T. A review of the history, definitions and methods of continuous cover forestry with special attention to afforestation and restocking. *Forestry*, 2004. 77(1): s. 27–44.
- ROBAKOWSKI, P., WYKA, T., SAMARDAKIEWICZ, S., KIERZOWSKI, D. Growth, photosynthesis, and needle structure of silver fir (*Abies alba* Mill.) seedlings under different canopies. *Forest Ecology and Management*, 2004. 201(2–3): s. 211–227.
- SENN, J., SUTER, W. Ungulate browsing on silver fir (*Abies alba*) in the Swiss Alps: Beliefs in search of supporting data. *Forest Ecology and Management*, 2003. 181(1–2): s. 151–164.
- ŠPULÁK, O., MARTINCOVÁ, J. The influence of the method of silver fir growing and nutrition on sprouting and chlorophyll fluorescence during spring. *Journal of Forest Science*, 2015. 61(2): s. 80–88.
- VANĚK, P., MAUER, O. Regeneration of Silver fir (*Abies alba* mill.) on clear-cut areas. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 2014. 62(1): s. 267–277.

VOLAŘÍK, D., HÉDL, R. Expansion to abandoned agricultural land forms an integral part of silver fir dynamics. *Forest Ecology and Management*, 2013. 292: s. 39–48.

ZPRÁVA. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky 2016. Ministerstvo zemědělství ČR, 2016. <http://eagri.cz/public/web/mze/lesy/lesnictvi/zprava-o-stavu-lesa-a-lesniho-2016.html>

### Poděkování

Tato projekt byl podpořen prostředky specifického vysokoškolského výzkumu LDF MENDELU (LDF\_PSV\_2018002), projektem NAZV QK1920328 a projektem RNF 18-74-10048.

### Summary

In history, silver fir was one of the most important species of the Czech forests. Nevertheless, the decline of its share was noticed already in the 19<sup>th</sup> century. The main reasons are overbrowsing, air pollution and unsuitable forest management together with unfavourable conditions for its natural regeneration. The shade-tolerant silver fir is mostly known as a species of natural stands with a rich vertical structure, as well as a species of selection systems. On the other hand, fir can be found as one of the species in the first stages of succession. Therefore, there are two main options on how to regenerate silver fir artificially. One is to plant seedlings on a bare land after some calamity or clearcutting and second is to use nurse crops – the regeneration method combining the pioneer and climax species, where the climax species can be introduced at the same time or later than pioneer species. Here we compare physiology, growth and mortality of silver fir seedlings underplanted in 20 years old silver birch forest stand. Original nurse crop stand of silver birch was characterized by 15m of height and basal area of 28.2-30.7 m<sup>2</sup> ha. Three different treatments (Tab. 1) – Gap (20x20 m), Thinning (thinning intensity 40 % of basal area) and Control (without thinning) were compared. The 5 years old containerized silver fir seedlings were planted in 2015 within all treatments. Environmental variables (air temperature, precipitation, soil moisture) and physiological parameters of silver fir needles (shoot water potential) were observed during vegetation season 2018. Biometry and mortality were studied already from the vegetation season 2016 to 2018.

The highest level of water stress of fir seedlings (the lowest value of predawn leaf water potential) occurred in August under the full canopy of birch (shoot water potential = -3.5 MPa), slightly lower was at the thinned plot (-3.2 MPa) while the lowest water stress was in the gap (-0.8 MPa; Fig. 4). The reason for increased water stress of seedlings under the nurse crops was a combination of low throughfall due to interception (throughfall from April to August was 96, 122 and 152 mm on control, thinning and gap, respectively; Fig. 2) and birch transpiration. In line, the highest monthly average soil moisture was found in the gap (Fig. 3). Highest precipitation, soil moisture and lower water stress are suggesting also the differences in vitality and growth rates between treatments. Height increment measurements revealed the highest increment in the gap (Fig. 5) and survival rates after three years were 93, 89 and 83 % for the gap, control and thinned plot, respectively.

Finally, all these results suggest that nurse crops which usually improve well site microclimate for silver fir regeneration may have an adverse effect on the physiology and growth of underplanted seedlings at water limited sites. In contrary, small-scale clearings and gaps have a positive impact on vitality and growth and would be

a recommended silvicultural measure. The optimal size and spatial distribution of the gaps and the optimal age of the nurse crops are questions for future research.

## POSTUPNÁ VÝCHOVA V PŘEHOUSTLÝCH MLADÝCH BŘEZOVÝCH POROSTECH VZNIKLÝCH PO ODUMŘENÍ ALOCHTHONNÍCH POROSTŮ SMRKU ZTEPILÉHO

### GRADUAL PRE-COMMERCIAL THINNING OF DENSE YOUNG SILVER BIRCH STANDS REGENERATED AFTER THE DIEBACK OF ALLOCHTHONOUS NORWAY SPRUCE

Antonín Martiník\*, Matúš Sendecký

Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Ústav zakládání a pěstění lesů, Zemědělská 3, 613 00 Brno, ČR

\* corresponding author: antonin.martinik@mendelu.cz

#### Abstract

*Three-year effects of gradual pre-commercial thinning were analysed within two young birch stands. These stands regenerated by succession after the dieback of allochthonous Norway spruce growing on rich soil at middle altitudes. The pre-commercial thinning was carried out within a period of three years gradually at one-year intervals. The stand densities were reduced from 20 to 3 and from 15 to 2.7 thousand trees per hectare during this experiment. The basal areas of the thinned plots were approximately half of those of the control plots (10 and 14 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>). Birch showed an increase in diameter increment on the thinned plots; this effect was more obvious on the younger plot.*

**Keywords:** birch, thinning, diameter increment

#### Abstrakt

*Ve dvou mladých porostech s převahou břízy je analyzován vliv postupné výchovy na strukturu porostu a přírůstové poměry břízy. Šetření byla prováděna v sedmi a desetiletých porostech vniklých spontánní sukcesí po odumření nepůvodních smrkových porostů na živných stanovištích středních poloh. Výchovné zásahy byly prováděny opakovaně v ročních intervalech po dobu 3 let. Zásahy došlo k snížení počtu jedinců z přibližně 20 000, resp. 15 000 na 3 000 a 2 700 jedinců na hektar. Výčetní kruhová základna na plochách s opakovaným zásahem se pohybuje asi na polovině hodnot zjištěných na plochách bezzásahových – tj. kolem 10, resp. 14 m<sup>2</sup>/ha. Zvýšený přírůst ponechaných bříz na zásahových plochách byl výraznější v mladším porostu.*

**Klíčová slova:** bříza, výchova, tloušťkový přírůst

#### Úvod a problematika

V souvislosti s probíhajícími globální změnou klimatu a často velkoplošným rozpadem rozsáhlých smrkových porostů je diskutována otázka širšího využití porostů pionýrských dřevin (KULLA, SITKOVÁ 2012; SOUČEK *et al.* 2016; NOVÁK *et al.* 2017). Kromě funkce přípravné se uvažuje rovněž o produkčním využití těchto porostů (ŠPULÁK *et al.* 2016; MARTINÍK *et al.* 2017). Za nosnou pionýrskou dřevinu v oblasti alochtonních smrčín lze považovat břízu bělokorou (*Betula pendula* Roth), která se v postižených oblastech často spontánně zmlazuje a vytváří porosty variabilní struktury (HUTH, WAGNER 2006; ŠPULÁK *et al.* 2014; MARTINÍK, ADAMEC 2016). Hospodářské využití těchto porostů závisí od jejich struktury, resp. hustoty, dřevinné skladby, zdravotního stavu a dosavadní pěstební péče (MARTINÍK *et al.* 2017).

Tam, kde uvažujeme o hodnotové produkci porostů pionýrských dřevin, bude hlavním ukazatelem dostatečný počet geneticky, resp. morfologicky kvalitních jedinců rovnoměrně rozmístěných po ploše porostu (MARTINÍK *et al.* 2018). Současně by měli takto vytypovaní jedinci vykazovat dostatečnou vitalitu, která je nejčastěji vyjádřena podílem zelené koruny (HYNYNEN *et al.* 2010; HEIN *et al.* 2009). Délka, resp. podíl zelené koruny je rovněž ukazatelem ohrožení mladých březových porostů těžkým

sněhem (HYNYNEN *et al.* 2010; MARTINÍK *et al.* 2017). Za vitální a odolné lze považovat jedince s celkovou délkou zelené koruny kolem 50 % z celkové výšky, resp. délky kmene. Vážným rizikem mladých pěstebně zanedbaných porostů je jejich náhlé uvolnění, které může vést k silnému poškození ponechaných jedinců sněhovým závěsem (MARTINÍK, MAUER 2012).

Oblastí s vysokým potenciálem využití obnovy břízy po alochtonních smrčinách je severní Morava. Na řadě míst se již v současnosti vyskytují rozsáhlé nárosty, mlaziny ale i tyčkoviny, často zcela nebo jen s nedostatečně provedenou porostní výchovou. Výsledkem jsou porosty s vysokou hustotou a se sníženou stabilitou i vitalitou břízy (MARTINÍK *et al.* 2017). Aktuální praktickou otázkou je, jak tyto pěstebně zanedbané březové porosty dokáží zareagovat na opožděnou výchovu?

Za účelem eliminace negativ spojených s náhlým uvolněním přehoustlých březových porostů byl založen experiment s postupnou výchovou. Při ní dochází k postupným (opakovaným) výchovným zásahům, v konkrétním případě s jednoletým pěstebním intervalem.

Cílem předkládaného příspěvku je prezentovat zkušenosti a předběžné výsledky postupné výchovy mladých březových porostů. Dílčími cíli příspěvku jsou: a) srovnání produkčních ukazatelů (tloušťkový přírůst a počet jedinců) na plochách s postupnou výchovou a plochách kontrolních; b) analyzovat dopady postupné výchovy podle věku březových porostů.

## **Materiál a metody**

Šetření se uskutečnilo ve dvou porostech (TVP Hlubočec a TVP Březiny) reprezentující dvě lokality severní Moravy (Tab. 1). Oba porosty vznikly přirozenou obnovou, resp. spontánní sukcesí po alochtonních smrčinách. V případě lokality Březiny, vznikla rozsáhlá holina po větrné kalamitě Kyril v roce 2007; na Hlubočci se jednalo o postupné dlouhodobé chřadnutí a následný chronický rozpad smrkových porostů. Na podzim r. 2015 byly v obou porostech založeny dvě varianty s odlišným výchovným režimem – jedna s postupnou výchovou, druhá bez zásahu. Výchozí struktura porostu byla na obou variantách obdobná. Velikost ploch byla 10 × 10 m s výjimkou plochy kontrolní na lokalitě Březiny, kde z důvodů vysoké hustoty dřevin byla plocha poloviční tj. 5 × 10 m. Koncepte výchovného zásahu v roce 2015 byla na obou plochách s výchovou shodná – jednalo se o první, negativní zásah, kdy za účelem zpřehlednění porostu byl zásah umístěn jak do úrovně, tak podúrovně. Síla zásahu v obou případech převyšovala 60 % původního počtu jedinců (Tab. 3). V následujících dvou letech byl na variantách s výchovou proveden pozitivní zásah s cílem uvolnění korun vybraných (nadějných) jedinců. Z důvodu eliminace rizika poškození sněhem byly tyto zásahy provedeny na jaře r. 2017 a 2018.

Vlastní výzkumná šetření zahrnovala opakovanou každoroční inventarizaci dřevin a měření výčetní tloušťky (DBH – cm) u všech jedinců s výškou nad 2 m. Při výchovných zásazích byla zjišťována celková délka kmene odstraněných jedinců, na jejímž základě bylo možné stanovit horní výšku porostu jako výšku rovnající se průměrné délce kmene deseti procent nejdelších jedinců. V roce 2018 byly zbylé stromy na variantách s výchovným zásahem oklasifikovány nejprve podle Schädelinovy a následně překlasifikovány dle modifikované dánské klasifikace (např. KANTOR *et al.* 2012). Podle ní byly: A stromy nejvitálnější břízy zařazené dle Schädelina jako 111, nebo 112; stromy D jednak méně vitální břízy hodnoceny 111, nebo 112, bezprostředně konkurující jedincům téhož ohodnocení, jednak ty oklasifikovány dle Schädelina 122, 212, 211, 221, 222; stromy C vesměs podúrovňové a nadějným jedincům nekonkurující, ustupující břízy a konečně stromy

B všechny ostatní škodící úrovňové a ustupující břízy. Dílčí výstupy ze založených ploch, kde byla mj. analyzována délka živé koruny vybraných vzorníků bříz, byly součástí řešení již obhájené diplomové práce (Konečný 2018).

Pro jednotlivé roky a varianty byla zjištěna výčetní kruhová základna (m<sup>2</sup>/ha) a průměrná tloušťka (cm). Vypočtena byla síla zásahu a běžný přírůst na výčetní kruhové základně. Analyzován byl vztah mezi výčetní tloušťkou a celkovým běžným přírůstem bříz podle variant. K hodnocení rozdílů mezi variantami a plochami bylo využito popisné statistiky a komentářů.

**Tab. 1:** Charakteristika vybraných porostů

**Tab. 1:** Characteristics of research plots

Lokalita (TVP) <i>Research plots</i>	PLO <i>natural forest area</i>	SLT <i>forest site type*</i>	Věk <i>age 2015 [years]</i>	Horní výška <i>top height 2015 [m]</i>	Velikost porostu <i>stand area [ha]</i>	Zastoupení dřevin dle počtu <i>species composition [%]</i>
Březiny	32 – Podbeskydská pahorkatina	3 H	8	7	0,25	BR / birch 100 %
Hlubočec	29 – Nízký Jeseník	4 B	13	10	0,30	BR / birch 82 %, JR / rowan 15 %, SM / spruce 3 %

\* (VIEWEGH *et al.* 2003)

## Výsledky a diskuse

Jedním z důvodů založení experimentu s postupnou výchovou mladých březových porostů byla obava před poškozením sněhem, k němuž v zájmové oblasti často dochází po silném zásahu nebo naopak v porostech přehoustlých zcela bez výchovy (MARTINÍK, MAUER 2012). V konkrétním případě se jednalo o husté mladé porosty vzniklé spontánní sukcesí, doposud bez výchovných zásahů. Výchozí hustota analyzovaných porostů kolem 15 (Hlubočec), resp. 20 (Březiny) tis. jedinců na hektar, přitom výrazně převyšovala doporučené hodnoty pro porosty podobného věku (PAŘEZ, CHROUST 1988; HYNYNEN *et al.* 2010).

PAŘEZ, CHROUST (1988) doporučují první výchovný zásah v období zapojování březových mlazin s redukcí hustoty na cca 6 tis. jedinců na hektar. Pěstební doporučení z regionů s dlouholetou tradicí pěstování břízy jdou přitom s prvními zásahy ještě na nižší hektarové počty (CAMERON 1996; HYNYNEN *et al.* 2010). Ve věku prvních probírek kolem patnácti let při výšce porostu cca 12–13 m by mělo dojít k poklesu počtu jedinců rámcově na 7–900 ks/ha (HYNYNEN *et al.* 2010). Porost na Hlubočci dosahoval probírkových parametrů na konci experimentu (Tab. 2), přitom početnost bříz na zásahové ploše byla více než trojnásobná oproti výše uvedeným doporučením (Tab. 3). Na Březinách je porost asi o tři roky mladší a při horní porostní výšce kolem 10 m (r. 2018) byl hektarový počet jedinců na zásahové ploše snížen výchovnými zásahy na 3 000 ks (Tab. 3).

**Tab. 2:** Průměrná tloušťka (DBH<sub>m</sub>) břízy na variantách TVP Březiny a Hlubočec v jednotlivých letech  
**Tab. 2:** Mean diameter at breast height (DBH<sub>m</sub>) of birch for selected variants and years on the research plots Březiny and Hlubočec

Lokalita (TVP) Research plots	Varianta Variant	Průměrná tloušťka – DBH <sub>m</sub> (cm) ± SD Mean diameter – DBH <sub>m</sub> (cm) ± SD			
		2015	2016	2017	2018
Březiny	Zásah Thinning	4,10 ± 1,12	5,03 ± 1,44	5,49 ± 1,66	6,35 ± 2,07
	Kontrola Control	2,25 ± 1,30	2,66 ± 1,55	2,91 ± 1,66	3,16 ± 1,83
Hlubočec	Zásah Thinning	5,36 ± 1,50	5,96 ± 1,94	6,32 ± 2,24	7,29 ± 2,49
	Kontrola Control	3,54 ± 1,57	3,91 ± 1,68	4,16 ± 1,82	4,58 ± 1,98

SD – směrodatná odchylka/standard deviation

**Tab. 3:** Vývoj počtu jedinců a výčetní základny na variantách (kontrola, zásah) TVP Březiny a Hlubočec v letech 2015–2018

**Tab. 3:** Development of number of trees and basal area for selected variants (control, thinning) on research plot Březiny and Hlubočec during years 2015 – 2018

	Lokalita (TVP) Research plots	Varianta Variant	Roky/years					
			2015	2016	2016pz	2017	2017pz	2018
Počet stromů Number of trees [ks/ha] [pcs/ha]	Březiny	Zásah Thinning	5 100	5 100	3 600	3 600	3 000	2 900
		Kontrola Control	21 400	21 000	21 000	20 800	20 800	19 400
	Hlubočec	Zásah Thinning	4 400	4 400	3 300	3 300	2 800	2 800
		Kontrola Control	15 200	14 900	14 900	13 200	13 200	11 100
Kruhová výčetní základna Basal area [m <sup>2</sup> /ha]	Březiny	Zásah Thinning	7,21	10,56	7,72	9,55	7,81	10,15
		Kontrola Control	11,31	15,62	15,62	18,31	18,31	20,01
	Hlubočec	Zásah Thinning	10,67	14,18	10,17	11,35	9,86	12,62
		Kontrola Control	17,93	18,59	18,59	20,84	20,84	22,31

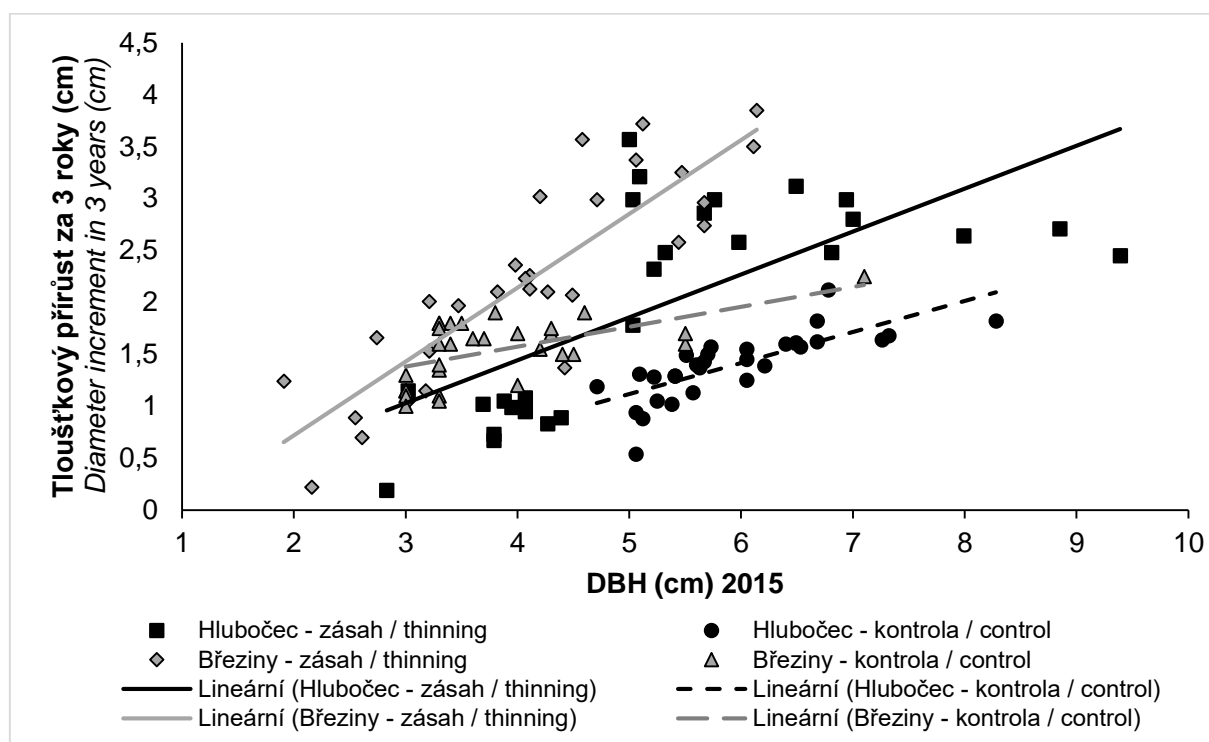
pz – po zásahu/after thinning

Podle údajů z růstových tabulek (ČERNÝ, PAŘEZ 1998), dosahují březové porosty první bonity ve věku patnácti let horní výšku 13,2 m při hektarových počtech 3600 ks/ha. Porostní výška v obou analyzovaných porostech naznačuje, že se jedná o porosty prvního bonitního stupně. Horní výška na Hlubočci při posledním šetření se pohybovala kolem 12,5 m a na Březinách byla asi o 2 m nižší.

Hektarové počty, a to jak dle růstových tabulek (ČERNÝ, PAŘEZ 1998), tak ty z analyzovaných porostů jsou tak výrazně nad hodnotami doporučovanými při pěstování orientovaném na hodnotovou produkci břízy (CAMERON 1996; HYNENEN *et al.* 2010). Cílem pěstebních doporučení je v relativně krátké době vypěstovat jedince dosahující parametrů cenných sortimentů bez znehodnocení dřeva jádrovými hnílobami (HEIN *et al.* 2009). K tomu je zapotřebí dostatečný růstový prostor pro vybrané jedince rostoucí s uvolněnou a dlouhou korunou. Délka koruny zjištěná v průběhu experimentu (KONEČNÝ 2018) byla na obou plochách i variantách velmi

variabilní, podle sociálního postavení; často však nedosahovala požadovaných 50 % z celkové délky kmene. V porostech, resp. na zásahových plochách bylo přitom pozorováno prodlužování korun ponechaných jedinců jako reakce na uvolnění.

Výčetní kruhová základna na plochách zásahových dosáhla po třech letech od zahájení experimentu přibližně polovičních hodnot ploch kontrolních a asi dvou třetinových hodnot tabulkových (ČERNÝ, PAŘEZ 1998). Výchovní zásah se na obou zásahových plochách projevil ve zvýšeném tloušťkovém přírůstu ponechaných jedinců (Obr. 1). Zvýšený přírůst ponechaných jedinců následně vedl ke srovnatelnému nebo dokonce i většímu přírůstu na výčetní základně oproti plochám kontrolním (Tab. 4). Dynamika přírůstu na zásahových plochách tak naznačuje oprávněnost prováděných zásahů.



**Obr. 1:** Celkový běžný tloušťkový přírůst za roky 2015–2018 na TVP Březiny a Hlubočec  
**Fig. 1:** Total current diameter increment on the research plots Březiny and Hlubočec during years 2015–2018

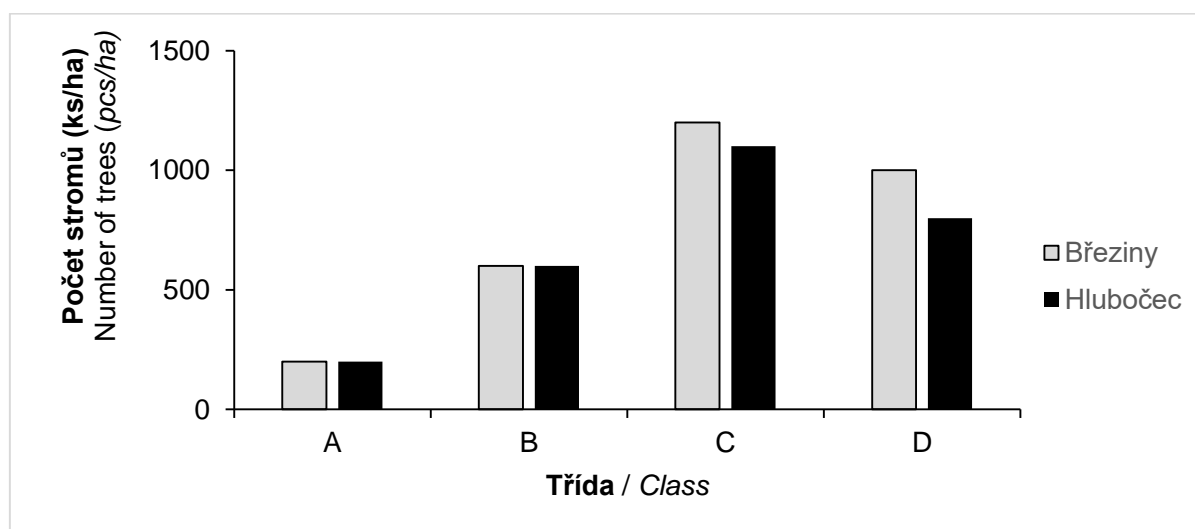


**Tab. 4:** Síla zásahu vyjádřená dle výčetní základny (G v %) a přírůst na výčetní základně (%) pro jednotlivé roky a varianty na TVP Březiny a Hlubočec

**Tab. 4:** The intensity of thinning (calculated from basal area, in %) and basal area increment (%) for selected variants and years on the research plots Březiny and Hlubočec

Lokalita (TVP) Research plots	Varianta Variant	Roky / Years					
		2016		2017		2018	
		síla intensity (%)	přírůst increment (%)	síla intensity (%)	přírůst increment (%)	síla intensity (%)	přírůst increment (%)
Březiny	Zásah Thinning	-	45,7	26,9	22,4	18,2	30,4
	Kontrola Control	0	31,0	0	22,0	0	15,1
Hlubočec	Zásah Thinning	-	31,5	28,3	10,4	13,2	27,7
	Kontrola Control	0	8,3	0	9,3	0	10,1

Předpokladem dosažení hodnotové produkce je dle výše uvedeného dostatečný počet kvalitních jedinců bříz (MARTINÍK *et al.* 2018). Individuální posouzení (Schädelinova klasifikace) kvalitativních parametrů stromu v porostech včetně jejich prostorového rozmístění po ploše (modifikovaná dánská klasifikace) ukázaly na shodný počet – 200 ks kvalitních bříz na hektar (Obr. 2). Uvedené množství spadá do rozpětí cílového počtu jedinců břízy pro hodnotovou produkci (HEIN *et al.* 2009; HYNYNEN *et al.* 2010). V případě poškození těchto jedinců v průběhu vývoje porostu existuje na plochách zásahových náhrada v části jedinců hodnocených stupněm D. Naopak břízy hodnocené třídou B, budou z porostu v příštích cca dvou až čtyřech letech postupně odstraněny. Následující probírkové zásahy budou v porostech probíhat v 5–10 letých intervalech, dle aktuálního stavu a potřeb porostů (následná obnova, uvolnění korun vybraných jedinců).



**Obr. 2:** Počet bříz na zásahových plochách TVP Březiny a Hlubočec dle dánské klasifikace v roce 2018

**Fig. 2:** Number of birch trees for thinned plots according to Danish classification on the research plots Březiny and Hlubočec

Šetření dále naznačila příznivější reakci bříza na uvolnění v porostu mladším (Březiny), a to především u jedinců s větší výčetní tloušťkou (Obr. 1). Při akceptaci

podobnosti přírodních podmínek (SLT 3H a 4B) je tak patrný zásadní vliv věku jako faktoru ovlivňující reakci břízy na uvolnění (HYNENEN *et al.* 2010). V konkrétních případech se jednalo o porosty ve stádiu, kdy lze pěstebními zásahy usměrnit růst dřevin v porostu směrem k hospodářským cílům. Naopak zanedbání pěstební péče je v tomto věku neslučitelné s dopěstováním břízy k optimální hodnotové produkci (CAMERON 1996; HEIN *et al.* 2009). Pro obdobné podmínky uvádí např. PIŠLOVÁ (2019) pouze nepatrnou reakci břízy i na silné uvolnění v porostech ve věku kolem 20 let.

V průběhu experimentu bylo zaznamenáno poškození sněhem pouze na přelomu let 2017-18, kdy byla část jedinců na zásahové ploše na Hlubočci poškozena sněhovým závěsem (ohyb). U většiny poškozených jedinců došlo po těžkém závěsu již v předjaří k napřímení kmene, část jedinců byla odstraněna při výchovném zásahu. Průběžné odstranění méně stabilních jedinců je nespornou výhodou postupné výchovy oproti jednorázovému zásahu.

Další výhodou postupné výchovy březových porostů v tomto věku je celkově vyšší výtěž z takto vychovávaných porostů. Méně hodnotné složky jsou z porostu odstraňovány, až když začínají vadit vybraným jedincům, a přitom do té doby mohou přirůstat. Oba porosty se nacházejí v oblasti, kde je o samovýrobu dříví pro energetické účely zájem a bříza patří mezi v tomto směru žádané dřeviny. Přes uvedené výhody naráží výše naznačený postup na současnou provozní praxi (nedostatek času na praktické pěstování lesa).

## Závěr

Jako postupná výchova mladých přehoustlých březových porostů je představena opakovaná výchovná seč. Kombinovaným zásahem, prováděným v jednoletých intervalech je v porostech posílena mechanická stabilita, zvýšen tloušťkový přírůst vybraných jedinců, optimalizována dřevoprodukční funkce a naplňovány předpoklady po dosažení hodnotové produkce. Výsledky přitom potvrzují pozitivní vliv dřívějších zásahů na přírůstové poměry břízy. Uvedená metoda je podmíněna vhodnými socioekonomickými podmínkami (více času na praktické pěstování lesů, odborně zaškolený personál, zájem o samovýrobu).

## Literatura

- CAMERON, A. D. Managing birch woodlands for the production of quality timber. *Forestry*, 1996. 69 (4): s. 357-371.
- ČERNÝ, M., PAŘEZ, J. *Růstové tabulky dřevin České republiky. Modřín, jedle, jasan, bříza, olše černá, topol, habr, akát, douglaska*. Jílové u Prahy: Ústav pro výzkum lesních ekosystémů, 1998. 119 s.
- HEIN, S., WINTERHALTER, D., WILHELM, G. J., KOHNLE, U. Wertholzproduktion mit der Sandbirke (*Betula pendula* Roth): waldbauliche Möglichkeiten und Grenzen. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*, 2009. 180 (9-10): s. 206-219.
- HUTH, F., WAGNER, S. Gap structure and establishment of Silver birch regeneration (*Betula pendula* Roth.) in Norway spruce stands (*Picea abies* L. Karst.). *Forest Ecology and Management*, 2006. 229 (1-3): s. 314-324.
- HYNENEN, J., NIEMISTÖ, P., VIHERRÄ-AARNIO, A., BRUNNER, A., HEIN, S., VELLING, P. Silviculture of birch (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.) in northern Europe. *Forestry*, 2010. 83 (1): s. 103-119.
- KANTOR, P., VRŠKA, T., DOBROVOLNÝ, L., NOVÁK, J. *Pěstění lesů skripta* - učební text. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2012. 153 s.

- KONEČNÝ, J. *Vliv pěstebních opatření na strukturu mladého březového porostu* [online]. Brno, 2018 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <<https://theses.cz/id/zinhdo/>>. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta.
- KULLA, L., SITKOVÁ, Z. *Rekonštrukcie nepôvodných smrekových lesov: poznatky, skúsenosti, odporúčania*. Zvolen: Národné lesnícke centrum - Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 2012. 207 s.
- MARTINÍK, A., MAUER, O. Snow damage to birch stands in Northern Moravia. *Journal of Forest Science*, 2012. 58 (4): s. 181-192.
- MARTINÍK, A., ADAMEC, Z. Rozdíly ve struktuře mladých březových porostů vzniklých na holině a pod porostem v oblasti chřadnoucích smrčín na Severní Moravě. *Zprávy lesnického výzkumu*, 2016. 61 (4): s. 271-278.
- MARTINÍK, A., ADAMEC, Z., KREJZA, J. *Struktura, produkce a stabilita mladých porostů s převahou břízy a osiky vzniklých sukcesí po alochtonním smrku v oblasti Nízkého Jeseníku*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2017. 70 s.
- MARTINÍK, A., SENDECKÝ, M., KREJZA, J., ADAMEC, Z. Předpoklady hodnotové produkce břízy bělokoré v sukcesních porostech na Severní Moravě. *Zprávy lesnického výzkumu*, 2018. 63 (3): s. 165-172.
- NOVÁK, J., DUŠEK, D., KACÁLEK, D., SLODIČÁK, M., SOUČEK, J. *Pěstební postupy pro březové porosty 1. a 2. lesního vegetačního stupně*. Certifikovaná metodika. Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 2017. Lesnický průvodce 13/2017. 28 s.
- PAŘEZ, J., CHROUST, L. *Modely výchovy lesních porostů*. Lesnický průvodce 4/1988. Jíloviště Strnady: VÚLHM, 1988. 83 s.
- PIŠLOVÁ, T. *Vliv intenzity výchovného zásahu na formování březového porostu a růst podsady jedle bělokoré* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <<https://theses.cz/id/rr3j7r/>>. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta.
- SOUČEK, J., ŠPULÁK, O., LEUGNER, J., PULKRAB, K., SLOUP, R., JURÁSEK, A., MARTINÍK, A. *Dvoufázová obnova lesa na kalamitních holinách s využitím přípravných dřevin - certifikovaná metodika*, Lesnický průvodce 10/2019. Strnady: VÚLHM, 2016. 35 s.
- ŠPULÁK, O., SOUČEK, J., LEUGNER, H. Variabilita struktury mladých převážně březových porostů vzniklých sukcesí na holinách kalamitního charakteru. In: Štefančík, I. (ed.): *Proceedings of Central European Silviculture*. Zvolen: Národné lesnícke centrum, 2014. s. 68-74.
- ŠPULÁK, O., SOUČEK, J., LEUGNER, J. Nadzemní biomasa, živiny a spalné teplo v mladém sukcesním porostu přípravných dřevin. *Zprávy lesnického výzkumu*, 2016. 61 (2): s. 132-137.
- VIEWEGH, J., KUSBACH, A., MIKESKA, M. Czech forest ecosystem classification. *Journal of Forest Science*, 2003. 49 (2): s. 85-93.

## Poděkování

Příspěvek vznikl díky finanční podpoře projektu NAZV 2502/SZ4190011, Komplexní řešení obnovy a pěstování lesa v oblastech s rychlým velkoplošným hynutím lesa QK1920328.

## Summary

Global climatic change and new knowledge lead to change of silviculture strategies. More space is given to natural processes and species composition close

to natural one. In this view, pioneer species are recommended as a first steps of forest regeneration after disturbance events.

In this paper there were analyzed three-year effects of gradual pre-commercial thinning within two (Březiny, Hlubočec) young birch stands. These stands regenerated by succession after the dieback of allochthonous Norway spruce growing on rich soil at middle altitudes. The estimated age of these stands was 8 and 13 years at the beginning of the experiment. The upper heights of these stands were 7 and 10 m (Tab. 1). Two variants were established within both stands – thinning treatment and control treatment. The thinning treatment consists of gradual thinning within a period of one year.

The thinning intensity for the thinning treatment was reduced during the observed period (Tab. 4). The stand densities were reduced from 20 to 3 (Březiny) and from 15 to 2.7 (Hlubočec) thousand trees per hectare during this experiment (Tab. 3). The thinning and time also led to an increase in the mean diameter (DBH) of birch trees (Tab. 2). The basal areas (BA) of the thinned plots were approximately half of those of the control plots. On the other hand, the increment of BA was higher in the thinned plots (Tab. 4). Birch showed an increase in the diameter increment on the plots affected by thinning; this effect was more obvious on the Březiny plot. The number and distribution of quality birch trees in the thinned plots was sufficient for high quality timber production (Fig. 2).

The method of gradual thinning can be recommended as a silviculture tool for targeting high quality birch trees in younger dense silver birch stands. The use of this method improves stand stability and ensures optimal production capacity of these birch stands.

## VPLYV VÝCHOVY NA VÝVOJ DUBOVÉHO PORASTU (*QUERCUS PETRAEA* (MATTUSCH.) LIEBL.) POSTIHNUITÉHO V MINULOSTI HROMADNÝM HYNUTÍM

### EFFECT OF TENDING ON DEVELOPMENT OF OAK STAND (*QUERCUS PETRAEA* (MATTUSCH.) LIEBL.) AFFECTED BY MASS DECAY IN THE PAST

Igor Štefančík

Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, T. G. Masaryka 22, 960 01 Zvolen, SK  
e-mail: igor.stefancik@nlcsk.org

#### Abstract

*The paper deals with 45-year results of the research on height structure, growth and development of 93-year old sessile oak stand affected by mass decay in the past. The experiment consists of two plots with different thinning intensity (weak and moderate) as well as control plots (with no treatment). The attention was paid to quantitative aspect being represented by the basic production parameters (number of trees, basal area, merchantable volume, current annual periodical basal area increment) and qualitative aspect representing the number of target (crop) trees. The results after 45 years of the research showed minimal differences between the plots with different thinning methods by delayed tending (started at the age of 48 years). As for the qualitative production, which considered to be as the first-rate indicator in oak stands, better results were found on tended plots in comparison with control plot.*

**Keywords:** oak, height structure, growth, development, quantitative production, crop trees

#### Abstrakt

*Príspevok sa zaoberá zhodnotením 45-ročných výsledkov výškovej štruktúry, rastu a vývoja 93-ročného dubového porastu postihnutého v minulosti hromadným hynutím. Objektom výskumu boli dve plochy s rozdielnou intenzitou vykonaných prebierok (miernou a strednou) a kontrolná plocha (bez zásahov). Pozornosť sa venovala kvantitatívnej stránke reprezentovanej základnými produkčnými parametrami (počet stromov, kruhová základňa, objem hrubiny, bežný ročný prírastok periodický na kruhovej základni) a kvalitatívnej stránke reprezentovanej počtom cieľových stromov. Výsledky po 45-ročných sledovaniach z kvantitatívneho hľadiska ukázali minimálne rozdiely medzi rozdielne vychovávanými plochami (s oneskorenou výchovou, ktorá začala až vo veku 48 rokov). Z aspektu kvalitatívne produkcie, ktorý je prvoradým v dubových porastoch sme zistili lepšie výsledky na vychovávaných plochách v porovnaní s kontrolnou plochou.*

**Kľúčové slová:** dub, výšková štruktúra, rast, vývoj, kvantitatívna produkcia, cieľové stromy

#### Úvod a problematika

Dub letný a zimný majú v lesoch Slovenska podiel 10,5 % porastovej pôdy, pričom najvyšší výskyt evidujeme v 8. až 10. vekovom stupni (ZELENÁ SPRÁVA 2018). Pritom ich pôvodné zastúpenie bolo 17 %, resp. výhľadové sa uvádza 17,5 % (VLADOVIČ 2003). V dôsledku nepriaznivých dopadov klimatickej zmeny sú oblasti s prevahou dubových porastov hlavne v ostatných rokoch vo zvýšenej miere vystavené nepriaznivému pôsobeniu sucha, resp. nedostatku atmosférických zrážok. V dôsledku toho sú dubové porasty často fyziologicky oslabované, čo sa navonok prejavuje znížením ich vitality a tolerancie voči rôznym škodlivým činiteľom. V súčasnosti je to mniška veľkohlavá (*Lymantria dispar* L.), ktorá v roku 2019 môže ohroziť silným žerom až holožerom cca 2300 lesných porastov (ZÚBRIK et al. 2019).

Treba podotknúť, že aj v minulosti boli dubové porasty z času na čas ohrožované nepriaznivým účinkom rôznych faktorov, naposledy významnejšie na prelome 70. a 80. rokov minulého storočia tracheomykóznym ochorením hubového pôvodu, ktoré sa v odbornej literatúre označovalo ako hromadné hynutie dubov (JAKUCS 1988; THOMAS ET AL. 2002). Aj keď toto ochorenie bolo známe v rôznych krajinách Európy už aj v dávnejšej minulosti (LEONTOVÝČ ET AL. 1987; JAKUCS 1988; MALAISSE

et al. 1993; SIWECKI, UFNALSKI 1998; THOMAS et al. 2002), v uvedenom období, a to nielen na Slovensku, nadobudlo charakter kalamity. Táto skutočnosť podnietila výskumníkov jednak objasniť príčiny a faktory spôsobujúce tento fenomén, resp. hľadať možnosti ochrany, či zmiernenia negatívnych dopadov tejto epifytácie. Na Slovensku bolo výsledkom viacročného výskumu vydanie najmä dvoch významných monografií (ČAPEK ET AL. 1985, KOLEKTÍV AUTOROV 1987), kde boli zhrnuté všetky dovtedajšie výsledky výskumu a praktické poznatky danej problematiky, ktoré našli aj realizáciu v lesníckej praxi vo forme „Metodických pokynov MLVH SSR pre hospodárenie v dubových porastoch postihnutých hromadným hynutím“ (MLVH SSR 1984).

Okrem chemických postrekov postihnutých dubových porastov roztokom kyseliny bóritej sa určitá nádej zameraná na zmiernenie nepriaznivých dopadov hromadného hynutia dubov vkladala aj do pestovných opatrení, osobitne výchovy porastov, ktorá mala za cieľ dôsledné odstraňovanie odumierajúcich a odumretých (s najväčším stupňom poškodenia) postihnutých jedincov (ČAPEK ET AL. 1985). V rámci výchovy sa odporúčalo prednostne aplikovať zdravotný (sanitárny) výber, pri ktorom sa odstraňovali uhynuté a silne poškodené stromy (ŠTEFANČÍK 1987). Okrem toho sa v prebierkových porastoch neodporúčalo uskutočňovať tvarový výber, t.z. úmyselne ťažiť zdravé jedince, resp. v mladinách tak isto, pokiaľ ročné percento odumierania prevyšovalo 5 % (ŠTEFANČÍK 1987).

Cieľom tohto príspevku je zhodnotiť a porovnať niektoré kvantitatívne a kvalitatívne zmeny za obdobie 45-ročnej výchovy v dubovom poraste, ktorý bol v minulosti postihnutý hromadným hynutím. Hlavným zámerom bolo najmä posúdenie vývoja cieľových stromov, ktoré sú v dubových porastoch hlavnými nositeľmi hodnotovej produkcie.

### **Materiál a metodika**

Objektom výskumu bola séria trvalých výskumných plôch (TVP) duba zimného (*Quercus petraea* (Mattusch.) Liebl.) nachádzajúceho sa v Novačanoch (Lesy Jasov, s.r.o) na východnom Slovensku. Porast vznikol prirodzeným spôsobom z veľkoplošnej clonnej obnovy a pri založení výskumných plôch Ing. L. Baksom, CSc. v roku 1974 mal porast 48 rokov. Do založenia výskumných plôch sa nevykonávala takmer žiadna výchova alebo len slabá podúrovňová prebierka. Korunový zápoj bol dokonalý a zakmenenie malo hodnotu 0,9 až 1,0 (BAKSA 1975).

TVP sa nachádzajú v nadmorskej výške 300 m; expozícia JV; sklon 0 až 10 °; 2. lesný vegetačný stupeň, Hospodársky súbor lesných typov (HSLT) 208 – sprašové bukové dúbravy, Hospodársky súbor (HS) 25 – živné bukové dúbravy, lesný typ (LT) 2306 – lipnicová buková dúbrava s chlpaňou, skupina lesných typov (slt) *Fageto-Quercetum* (FQ).

Predmetná séria TVP sa skladá z troch čiastkových plôch (P-1, P-2, P-0), pričom každá má výmeru 0,21 ha. Na ploche (označenej ako P-1) sa z hľadiska fytotechniky realizuje akostná úrovňová prebierka s pozitívnym výberom, pričom z hľadiska biologickej racionalizácie sa aplikuje metóda cieľových stromov (CS). Pri prvom zásahu (slabej sily – 10 % z kruhovej základne) sa každý CS uvoľnil odstránením jedného „najkonkurenčnejšieho“ úrovňového alebo nadúrovňového jedinca, resp. výnimočne medziúrovňového (vrastavého) stromu iba vtedy, keď poškodzoval korunu CS. Iba v rámci 3. zásahu sa v nevyhnutnej miere (zdravotný výber) zasiahlo aj v podúrovni porastu.

Na druhej čiastkovej ploche označenej ako P-2 sa pri prvom zásahu (silnejšom v porovnaní s plochou P-1, 22 % z kruhovej základne) aplikovala rovnako pozitívna

úrovňová prebierka s metódou cieľových stromov, ale s alternatívou pri ktorej sa každý CS uvoľnil odstránením dvoch „najkonkurenčnejších“ úrovňových alebo nadúrovňových jedincov alebo medziúrovňových stromov z vyššie uvedených dôvodov. Rovnako ako na ploche P-1 sa iba pri 3. a 4. zásahu v nevyhnutnej miere zasiahlo aj v podúrovni porastu. Na oboch zasahovaných (vychovávaných) plochách sa od 2.zásahu zvolilo iné kritérium uvoľňovania CS, a to podľa tzv. voľnosti koruny po jej obvode tak, aby sa dosiahlo uvoľnenie koruny na 75 až 100 % po každom hodnotení, resp. zásahu. Tretia čiastková plocha je kontrolná, t.z. bez úmyselných zásahov (označená ako P-0).

Pri založení TVP sa na dvoch plochách vykonal prebierkový zásah (tretia plocha je kontrolná bez zásahu). V rokoch 1981 – 1982 lesná prevádzka počas tzv. akcie hromadného hynutia duba vykonal najnevyhnutnejší zásah so zdravotným výberom. Neskôr v roku 1984 sa vo vtedy 58-ročnom poraste vykonal druhý zásah (rozdielnou silou) a odvtedy sa v pravidelných 5-ročných intervaloch (1989, 1994, 1999, 2004, 2009, 2014, 2019) uskutočnili komplexné biometrické merania aj so zásahom. Doteraz sa vykonal 9 biometrických meraní vrátane zásahu na vychovávaných plochách. Výsledky z prvého merania spracoval BAKSA (1975) a výsledky z druhého merania obsahujúce aj hodnotenie zdravotného stavu na týchto plochách boli publikované v práci ŠTEFANČÍK (1987).

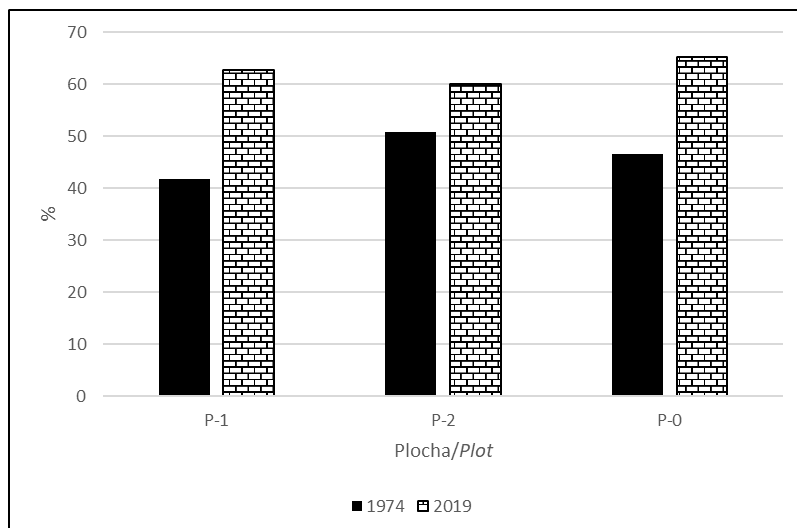
Na všetkých čiastkových plochách sa uskutočnili štandardné biometrické merania a hodnotenia znakov kmeňa a koruny. V rámci nich sa okrem kvantitatívnych parametrov (hrúbka  $d_{1,3}$ , výška stromov a nasadenia koruny, šírka korún) klasifikovali stromy aj podľa pestovnej a hospodárskej klasifikácie so zameraním na cieľové stromy (ŠTEFANČÍK 1984).

Výškové krivky boli vyrovnané Michailoffovou funkciou (MICHAILOFF 1943) a objem hrubiny sa vypočítal podľa rovníc PETRÁŠA, PAJTÍKA (1991). Podkladový materiál bol spracovaný štandardnými biometrickými a štatistickými metódami s použitím softvérového balíka QC Expert (KUPKA 2013), resp. pre zisťovanie štatistickej významnosti rozdielov jednofaktorová analýza variancie ANOVA a tiež bežných vzorcov pre výpočet parametrov kvantitatívnej produkcie (SCHEER, SEDMÁK 2014).

## **Výsledky a diskusia**

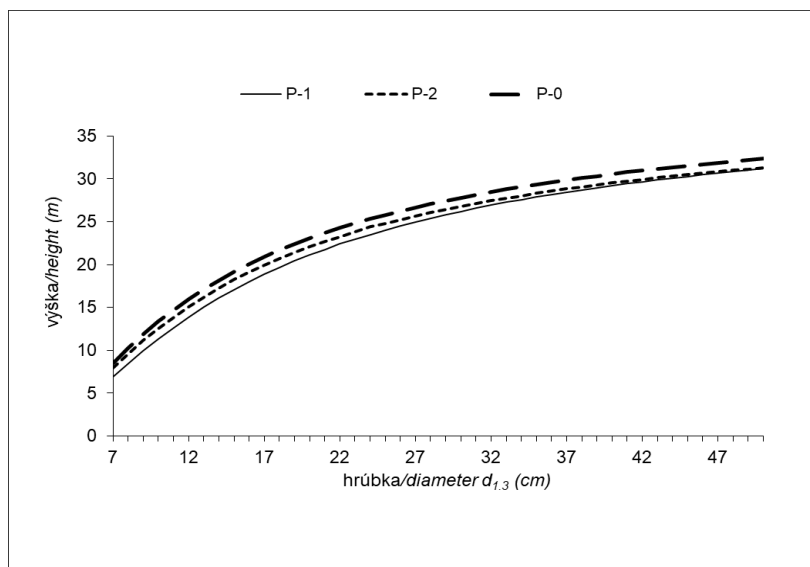
### **Výšková štruktúra**

Výškovú štruktúru sledovaných plôch sme zisťovali ako relatívnu početnosť v stromových triedach, pričom z pestovného hľadiska je dôležitý najmä podiel stromov v úrovni porastu (1.+2. stromová trieda). Z Obr.1 vyplýva, že na začiatku výskumu vo veku porastu 48 rokov bolo na všetkých troch plochách (P-1, P-2, P-0) zastúpenie porastovej úrovne nasledovné (41,7 %; 50,8 % a 46,6 %).



**Obr. 1:** Podiel porastovej úrovne (1.+2. stromová trieda) na začiatku výskumu a v súčasnosti  
**Fig. 1:** Proportion of the crown level of the stand (1<sup>st</sup>+2<sup>nd</sup> tree class) at the beginning of the research and at the present time

Po 45. rokoch bol podiel úrovňových jedincov na všetkých plochách viac-menej vyrovnaný, pričom sa zvýšil, a to na ploche P-1 o 21,1 %, na P-2 len o 9,2 %, resp. kontrolnej ploche o 18,7 %. Súvisí to so skutočnosťou, že v rámci prvého (mierneho zásahu) sa na ploche P-2 odstránilo oveľa viac úrovňových stromov v porovnaní s plochou P-1 (slabý zásah). Zo súčasným zastúpením porastovej úrovne korešponduje aj priebeh výškových kriviek (Obr.2), keď najvyššie hodnoty boli na kontrolnej ploche. Tieto hodnoty zodpovedajú aj našim zisteniam na iných TVP v dubových porastoch (ŠTEFANČÍK 2012).



**Obr. 2:** Výškové krivky vo veku 93 rokov  
**Fig. 2:** Height curves at the stand age of 93 years

### Kvantitatívna produkcia

Vývoj základných porastových charakteristík uvádzame v tab.1. Na začiatku výskumu bol počet stromov na jednotlivých plochách značne rozdielny, resp. najmenej ich bolo trochu paradoxne na kontrolnej ploche. Z hľadiska počtu stromov síce boli tieto plochy nehomogénne, ale z aspektu kruhovej základne i objemu



hrubiny splnili požadované kritériá (ŠMELKO, SABOL 1979). Preto pre ich objektívnejšie porovnávanie sme zvolili indexovú metódu.

**Tab. 1:** Vývoj porastových charakteristík

**Tab. 1:** Development of stand characteristics

Plocha <i>Plot</i>	Vek <i>Age</i>  (roky) (years)	Počet stromov <i>Number of trees</i>  (ks.ha <sup>-1</sup> )	Kruhová základňa <i>Basal area</i>  (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Objem hrubiny <i>Merchantable volume</i>  (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Stredná Mean	
					hrúbka <i>diameter</i> d <sub>1,3</sub> (cm) (d <sub>g</sub> )	výška <i>height</i> (m) (h <sub>g</sub> )
P – 1	48*	2329	23,7	160	11,4	14,8
	58	1491	25,4	230	14,7 <sup>a</sup>	18,7 <sup>N</sup>
	83	734	30,4	352	23,0 <sup>N</sup>	21,8 <sup>a</sup>
	93	524	31,5	418	27,7 <sup>N</sup>	25,3 <sup>a</sup>
P – 2	48*	1905	24,3	173	12,7	15,3
	58	1186	24,2	228	16,1 <sup>b</sup>	19,3 <sup>N</sup>
	83	667	30,5	368	24,1 <sup>N</sup>	22,7 <sup>ab</sup>
	93	547	33,4	460	27,9 <sup>N</sup>	26,0 <sup>ab</sup>
P – 0	48*	1790	21,7	155	12,4	15,5
	58	1090	24,1	226	16,8 <sup>bc</sup>	19,1 <sup>N</sup>
	83	676	33,6	420	25,2 <sup>N</sup>	23,9 <sup>b</sup>
	93	590	37,4	528	28,4 <sup>N</sup>	27,2 <sup>b</sup>

Vysvetlivky: P-1 plocha so slabým zásahom; P-2 plocha s miernym zásahom; P-0 kontrolná plocha  
*Explanatory notes: P-1 plot with weak thinning; P-2 plot with moderate thinning; P-0 control plot*

Poznámka: Hodnoty s rovnakými písmenami sú štatisticky nevýznamné na hladine významnosti  $\alpha=0,05$

*Note: The values with the same letter are not significant on the level of  $\alpha=0.05$*

\* - údaje prevzaté zo záverečnej správy BAKSA (1975)

\* - data were taken from final report BAKSA (1975)

Z údajov vyplýva, že za obdobie 45 rokov bol najväčší úbytok (77,5 % z počtu stromov) na ploche s počiatočným slabým zásahom (P-1), a najmenší (67,0 %) na kontrolnej ploche. Porovnanie absolútnych hodnôt s údajmi iných TVP poukázalo na ich vyšší počet napr. v 57-ročnom dubovom poraste Veľká Stráž II, kde na zasahovaných plochách sa počet stromov pohyboval v rozpätí 1586 až 2079 ks.ha<sup>-1</sup> a na kontrolných plochách 2106 a 2267 ks.ha<sup>-1</sup> (ŠTEFANČÍK 2012). Podobne aj CHROUST (2007) zistil v 58-ročnom dubovom poraste na kontrolnej ploche 1537 jedincov na hektár, čo je vyšší počet oproti našim údajom v rovnakom veku (1090 ks.ha<sup>-1</sup>), ktorý potvrdzuje zvýšenú mortalitu jedincov v dôsledku hromadného hynutia v minulosti.

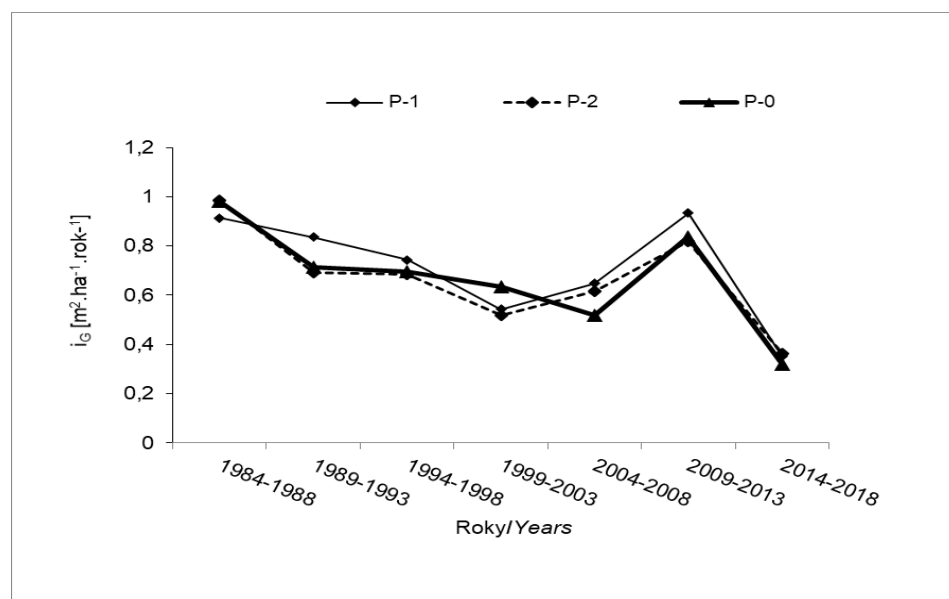
Pri porovnávaní kruhovej základne sme najintenzívnejší rast zaznamenali na kontrolnej ploche (P-0), čo korešponduje nielen s najvyšším počtom stromov, ale aj s najnižším úbytkom stromov za sledované obdobie 45 rokov. Aj pri tejto veličine boli hodnoty v absolútnom vyjadrení oveľa nižšie, ako porovnateľné údaje z iných TVP. Napr. v už spomenutom poraste na TVP Veľká Stráž II vo veku 57 rokov bola kruhová základňa na zasahovaných plochách 27,4 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> až 31,3 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, resp. na kontrolných plochách 37,5 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> a 39,1 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> (ŠTEFANČÍK 2012), čo vyplýva z ich vyššieho počtu stromov. Hodnoty CHROUSTA (2004) uvádzané pre dubový porast vo veku 73 rokov, v oblasti predhoria Orlických hôr sú tiež vyššie (už vo veku o 10 rokov mladšom), a to na kontrolnej ploche 34,7 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, na ploche s podúrovňovou

výchovou 35,4 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>. Na ploche so Schädelinovou akostnou prebierkou (vychovávanou metódou cieľových stromov) to bolo 31,2 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> a 32,5 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>. DONG et al. (1997) zistili vo veku 59 rokov na dvoch plochách pri variante s 80 ks cieľových stromov na 1 ha počet 1557 a 1652 ks.ha<sup>-1</sup> a kruhovú základňu 23,3 a 26,6 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>.

Porovnanie objemu hrubiny poukázalo na rovnaký trend, keď hodnoty na skúmanej TVP Novačany vo veku 58 rokov (226 až 230 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>) boli opäť nižšie ako naše zistenia na TVP Veľká Stráž II, ktoré činili 241 až 289 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> na zasahovaných plochách a 336 a 357 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> na kontrolných plochách (ŠTEFANČÍK 2012). Taktiež nižšie boli aj oproti údajom DONGA et al. (1997), ktorí uvádzajú 251 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, ale na druhej strane boli takmer rovnaké s tými, ktoré zistil CHROUST (2004), a to 359 až 419 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, ale vo veku porastu o 10 rokov mladšom oproti TVP Novačany.

Porovnanie vyššie uvedených parametrov s rastovými tabuľkami (HALAJ a kol. 1987) pre absolútnu výškovú bonitu 26, priemernej zásobovej úrovne ukázalo pre hlavný porast vo veku 95 rokov kruhovú základňu 35,4 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> a zásobu 364 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, d<sub>g</sub> 30,3 cm a h<sub>g</sub> 25,6 m, čo sú (okrem zásoby a strednej výšky) vyššie hodnoty ako nami zistené na TVP Novačany (dokonca pri nižšom počte stromov na hektár), najmä čo sa týka kruhovej základne a to aj pri zohľadnení súčasného zakmenenia (0,8-0,9) na TVP Novačany.

Hodnoty bežného ročného prírastku periodického na kruhovej základni (i<sub>G</sub>) boli takmer vždy najvyššie na ploche P-1, resp. na ploche P-2 a kontrolnej ploche boli takmer totožné (Obr.3). Rozdiely neboli veľké ani významné.



**Obr. 3:** Bežný ročný prírastok periodický na kruhovej základni  
**Fig. 3:** Current annual periodical increment on basal area

Sila (intenzita) zásahov na ploche P-2 (vo veku 63-73 rokov) bola o málo silnejšia v porovnaní s plochou P-1. Celková intenzita zásahov za celé obdobie 45 rokov (bez zásahov lesnej prevádzky a samopriedierania v rokoch 1975-1984) bola podľa kruhovej základne na ploche P-1 43,7 %, kým na ploche P-2 to činilo 53,2 %. Neskôr v kmeňovinách vo veku 83-93 rokov už mierne prevažovala sila zásahov na ploche P-1.

Vzhľadom na to, že tieto porasty boli značne pririedené už v minulosti, sila ostatných zásahov (vo veku 73 až 93 rokov) neprevyšovala 5 % (z kruhovej

základne) a to na oboch zasahovaných plochách. Podobne aj celkovú produkciu (podľa kruhovej základne) sme zistili najvyššiu na ploche P-1 (slabý prvý zásah), ktorá činila 50,3 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> a najnižšiu (47,6 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>) na ploche s miernym prvým zásahom (P-2), i keď rozdiel medzi touto plochou a kontrolnou bol minimálny.

### Kvalitatívna produkcia

V tab. 2 uvádzame vývoj cieľových stromov (CS), ktoré sú hlavnými nositeľmi kvality porastu, osobitne v dubových porastoch, a na ktoré sa pestovateľ zameriava v prvom rade, lebo v hospodárskych lesoch predstavujú kvalitatívnu a hodnotovú produkciu.

**Tab. 2:** Vývoj cieľových stromov

**Tab. 2:** Development of crop (target) trees

Plocha <i>Plot</i>	Vek <i>Age</i>	Počet stromov <i>Number of trees</i>	Kruhovú základňa <i>Basal area</i>		Objem hrubiny <i>Merchantable volume</i>		Stredná <i>Mean</i>	
			(m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	% z hl. porastu <i>Out of main stand</i>	(m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	% z hl. porastu <i>Out of main stand</i>	Hrúbka <i>diameter</i> d <sub>1,3</sub> (cm) (d <sub>g</sub> )	Výška <i>Height</i> (m) (h <sub>g</sub> )
P – 1	48*	162	2,8	13,3	22	15,5	14,9	15,9
	58	124	3,8	14,9	37	16,2	19,7 <sup>bc</sup>	19,7 <sup>N</sup>
	83	138	10,2	34,0	131	37,6	30,7 <sup>N</sup>	25,9 <sup>bc</sup>
	93	133	12,6	40,0	180	43,1	34,7 <sup>N</sup>	27,8 <sup>a</sup>
P – 2	48*	148	3,1	16,1	24	18,7	16,2	16,1
	58	86	2,9	11,9	28	12,4	20,6 <sup>ab</sup>	19,9 <sup>N</sup>
	83	138	11,1	37,5	146	40,3	32,1 <sup>N</sup>	26,3 <sup>ab</sup>
	93	138	14,1	42,2	208	45,2	36,1 <sup>N</sup>	28,6 <sup>a</sup>
P – 0	48*	133	2,6	11,9	23	14,7	15,8	17,8
	58	67	2,6	10,9	26	11,6	22,2 <sup>a</sup>	20,0 <sup>N</sup>
	83	110	9,0	27,9	123	29,9	32,3 <sup>N</sup>	26,7 <sup>a</sup>
	93	100	10,1	26,9	153	29,0	35,8 <sup>N</sup>	29,6 <sup>bc</sup>

Vysvetlivky ako pri tab. 1

For explanation see tab. 1

Na začiatku výskumu bol počet CS najvyšší na ploche s vtedajším slabým zásahom (P-1) so 162 ks.ha<sup>-1</sup> a najnižší na kontrolnej ploche so 133 ks.ha<sup>-1</sup>. Po 45 rokoch mali vychovávané plochy vyšší počet CS (133 a 138 ks.ha<sup>-1</sup>), kým na kontrolnej ploche ich zostalo 100 ks.ha<sup>-1</sup>. Vzhľadom na už spomenutú skutočnosť, že ide o porast v minulosti postihnutý hromadným hynutím duba možno považovať množstvo dopestovaných CS zatiaľ za plne postačujúce, najmä na vychovávaných plochách. Zodpovedá to aj údajom z literatúry, napr. BAKSA (1975) v závislosti od rubnej doby a cieľovej hrúbky uvádza 100 až 320 jedincov na 1 ha. KORPEL (1974) odporúča 150 budúcich rubných stromov na ha, pričom konštatuje, že v porastoch starších ako 40 rokov by nemal byť vyšší ako 300 ks na 1 ha. DONG et al. (1997) považujú za dostatočný počet 80 - 100 CS na 1 ha a podobne aj ROY (1975) uvažuje s nízkym počtom CS (70 ks.ha<sup>-1</sup>). Pre porovnanie uvádzame, že na inej TVP Veľká Stráž II sa podarilo vo veku 57 rokov dopestovať 120 až 160 ks.ha<sup>-1</sup> CS v závislosti od intenzity výchovy (ŠTEFANČÍK 2012). Priaznivý účinok selektívnej výchovy na

kvalitu CS v 80-90 ročnom poraste duba zimného konštatuje aj PINTARIČ (1998), ktorý predpokladá, že na konci rubnej doby (160 rokov) porastu po 5-6 prebierkach budú zo zásoby  $380 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  tvoriť 25 % najkvalitnejšie sortimenty (dýharenské výrezy).

Okrem kvantitatívnych parametrov CS je dôležitým pestovateľským ukazovateľom aj ich podiel, ktorý tvoria z hlavného porastu. Z údajov v tab.2 vidno opäť ich vyšší podiel na vychovávaných plochách (40,0 a 42,2 % podľa kruhovej základne), resp. 43,1 a 45,2 % podľa objemu hrubiny oproti 26,9 % a 29,0 % na kontrolnej ploche.

Pokles počtu CS pri 2. meraní bol spôsobený tým, že mnohé CS kvôli zdravotnému hľadisku stratili kritériá požadované na takúto kategóriu jedincov. Neskôr, po revitalizácii porastu boli znovu zaradené ako CS prípadne nahradené inými (zdravými jedincami), ktorých počet bol však v období 1983-1985 na ploche obmedzený. Vtedy sa na ploche s miernym zásahom (P-2) v dôsledku horšieho zdravotného stavu znížila ich početnosť viac ako na ploche so slabým zásahom (ŠTEFANČÍK 1987).

### Záver

Výsledky kvantitatívnej produkcie na TVP Novačany naznačujú, že za 45 rokov v poraste, ktorý bol v minulosti postihnutý hromadným hynutím duba sa z hľadiska kvantitatívneho prejavili určité rozdiely (aj keď nie veľké) medzi rôznou intenzitou vychovávanými plochami. Zdôvodnenie vidíme v tom, že ide o porast, ktorého vývoj bol v minulosti poznačený hromadným hynutím, resp. tracheomykóznym ochorením, ktoré prakticky rovnako postihovalo všetky porasty bez ohľadu na ich výchovu. Druhým závažným momentom je skutočnosť, že s výchovou sa začalo veľmi neskoro (až vo veku takmer 50 rokov), takže možno hovoriť o poraste so zanedbanou výchovou v mladinách a prakticky aj žrdkovinách. Hlavne pre listnaté porasty je známa skutočnosť, že ani intenzívnou výchovou v neskorších rastových fázach nemožno z kvantitatívneho hľadiska „dohnať straty“ navyše pri spolupôsobení tak významného faktora, akým bol zhoršený zdravotný stav, resp. hromadné hynutie duba. Vzhľadom na doterajší vývoj porastu nebolo možné vypestovať počet cieľových stromov porovnateľný so „zdravotne nepostihnutými“ porastami. Avšak aj tak sa prejavil kladný vplyv výchovy, keď na zasahovaných plochách bol ich počet vyšší oproti kontrolnej ploche. V rubnom veku bude počet CS nižší ako v „zdravých porastoch“, kde sa predpokladá dopestovanie 150 až 200 CS na 1 ha.

### Literatúra

- BAKSA, L. *Výchova dubových porastov. (Záverečná správa)*. Zvolen: VÚLH, 1975. 112 s.
- ČAPEK, M., ET AL. *Hromadné hynutie dubov na Slovensku*. Bratislava: Príroda, 1985. 112 s.
- DONG, P.H., MUTH, M., ROEDER, A. Traubeneichen - Durchforstungsversuch in den Forstämtern Elmstein-Nord und Fischbach. *Forst und Holz*, 1997. 52: s. 34-38.
- HALAJ, J., ET AL. *Rastové tabuľky hlavných drevín ČSSR*. Bratislava: Príroda, 1987. 362 s.
- CHROUST, L. Opočenské zkušenosti s výchovou dubových porostů. *Lesnická Práce*, 2004. 83 (6): s. 299-301.
- CHROUST, L. Quality selection in young oak stands. *Journal of Forest Science*, 2007. 53: s. 210-221.
- JAKUCS, P. Ecological approach to Forest Decay in Hungary. *Ambio*, 1988. 17 (4): s. 267-274.

- KOLEKTÍV AUTOROV. *Problematika hynutia dubov na Slovensku*. Vedecké práce VÚLH vo Zvolene, 36: Bratislava: Príroda, 1987. 355 s.
- KORPEL, Š. Prebierky v dubových porastoch a možnosti ich racionalizácie. *Lesnícky časopis*, 1974. 20: s. 185-204.
- KUPKA, K. *QC.Expert 3.1. Uživatelský manuál*. Pardubice: TryloByte Ltd., 2013. 266 s.
- LEONTOVYČ, R., PATOČKA, J., GRÉK, J. Výskyt a význam hromadného hynutia dubov vo svete a na Slovensku. In: *Vedecké práce VÚLH vo Zvolene*, Bratislava: Príroda, 1987. 36: s. 13-32.
- MICHAILOFF I. Zahlenmässiges Verfahren für die Ausführung der Bestandeshöhenkurven. *Forstwissenschaftliches Centralblatt und Tharandter Forstliches Jahrbuch*, 1943. 6: s. 273-279.
- MALAISSÉ, F., BURGEON, D., DEGREEF, J., DEOM, B., VAN DOREN, B. Le dépérissement des chenes indigenes en Europe occidentale. Note 1. – *Symptômes de perte de vitalité*. *Belg. Journ. Bot.*, 1993. 126 (2): s. 191-205.
- MLVH SSR, 1984. Metodické pokyny Ministerstva lesného a vodného hospodárstva SSR pre hospodárenie v dubových porastoch postihnutých hromadným hynutím. Bratislava, 26.1.1984. 11 s.+ prílohy 9 s.
- PETRAŠ R., PAJTÍK J. Sústava česko-slovenských objemových tabuliek drevín. *Lesnícky časopis*, 1991. 37 (1): s. 49-56.
- PINTARIČ, K. Perspektíve šuma hrasta kitnjaka u Bosni. *Šumarski List*, 1998. 122 (9/10): s. 399-406.
- ROY, F.X. La désignation des arbres de place dans les futaies de chêne destinées a fournir du bois de tranchage. *Rev. For. Franc.*, 1975. 27: s. 50-60.
- SCHEER L., SEDMÁK R. *Biometria*. Zvolen: Technická univerzita, 2014. 310 s.
- SIWECKI, R., UFNALSKI, K. Review of oak stand decline with special reference to the role of drought in Poland. *Eur. J. For. Path.*, 1998. 28: s. 99-112.
- ŠMELKO, Š., SABOL, F. Zhodnotenie metód na overovanie homogenity pokusných plôch v biometrickom výskume. *Acta Facultatis Forestalis Zvolen*, 1979. XXI: s.183-199.
- ŠTEFANČÍK, I. Growth characteristics of oak (*Quercus petraea* (Mattusch.) Liebl.) stand under different thinning regime. *Journal of Forest Science*, 2012. 58 (2): s. 67-78.
- ŠTEFANČÍK, L. Úrovňová voľná prebierka - metóda biologickej intenzifikácie a racionalizácie selekčnej výchovy bukových porastov. In: *Vedecké práce VÚLH vo Zvolene*. Bratislava: Príroda, 1984. 34: s. 69-112.
- ŠTEFANČÍK, L. Výchova dubových porastov postihnutých hromadným hynutím. In: *Vedecké práce VÚLH vo Zvolene*. Bratislava: Príroda, 1987. 36: s. 285-296.
- THOMAS, F.M., BLANK, R., HARTMANN, G. Abiotic and biotic factors and their interactions as causes of oak decline in Central Europe. *For. Path.*, 2002. 32: s. 277-307.
- VLADOVIČ, J. *Oblastné východiská a princípy hodnotenia drevinového zloženia a ekologickej stability lesov Slovenska*. Lesnícke štúdie č.57/2003. Bratislava: Príroda, 2003. 160 s.
- ZELENÁ SPRÁVA. *Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike za rok 2017*. Bratislava: Zvolen: MPRV SR, NLC, 2018. 65 s.
- ZÚBRIK, M., KUNCA, A., GALKO, J., RELL, S., VAKULA, J., LEONTOVYČ, R., GUBKA, A., NIKOLOV, CH. Stojíme pre ďalšou kalamitou mnišky veľkohlavej? *Les & Letokruhy*, 2019. 75 (2): s. 28-29.

## PodĎakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja Slovenskej republiky na základe zmluvy č. APVV-15-0032 a projektu „Výskum a vývoj na podporu konkurencieschopnosti slovenského lesníctva – SLOV-LES (2019-2021)“, financovaný z rozpočtovej kapitoly MPRV SR.

## Summary

The assessment of 45-year old results of investigation focused on growth responses, height structure and production in 93 years old sessile oak stand on PRP Novačany, which was affected by tracheomycosis in a consequence of mass decay in the past, showed the following results:

- From height structure point of view, the proportion of crown level of the stand (1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> tree class) was found more or less balanced (Fig. 1). After 45 years, the proportion increased on all plots, whereby by 21.1% on P-1 and/or 18.7% on control plot, whilst only by 9.2% on P-2, respectively. The above-mentioned result related to fact, that by the first (moderate) thinning, much more co-dominant trees were removed on P-2 plot in comparison with plot P-1 (weak thinning). The highest values according to height curves were found for control plot (Fig. 2).
- In the initial stage of the research, number of trees (N) was much different between plots. Surprisingly, the lowest N was found on control plot. The highest decrease (77.5%) was found on plot treated by the first weak thinning (P-1) and the lowest (67.0%) on control plot during the period of 45 years.
- A comparison of basal area (G) and merchantable volume ( $V_{7b}$ ) showed the highest values on control plot (P-0), the lowest ones on P-1 plot, what also corresponds to the lowest decrease of trees during the investigated (45 years) period (Table 1).
- Current annual periodical basal area increment showed the highest values (in most cases) on P-1 plot. The course for both P-2 and control plots were almost the same (Fig.3). However, the differences between plots were insignificant.
- Number of target (crop) trees in the initial stage of the research was found the highest on plot with weak thinning (P-1) /162 individuals per hectare/ and the lowest on control plot (133 trees per hectare). After 45 years, the order was not changed. Plots managed by tending had practically the same number of crop trees (138 or 133 individuals per hectare), while only 100 crop trees per hectare on control plot (Table 2).
- The thinning intensity (according to G) ranged from 11.5% to 1.2% on plot P-1 and 22.1% to 1.0% on plot P-2. Total intensity of thinning (according to G) during the whole period of 45 years (without intervention by practise and self-thinning during the period of 1975-1984) was found 43.7% on plot P-1 and 53.2% on P-2, respectively.
- Based on the above-mentioned results, after 45 years of investigation in sessile oak stand affected by tracheomycosis, in a consequence of mass decay in the past, it should be concluded that from quantitative point of view the tended plots, although tending delayed (started in stand age of 48 years), did not show favourable results in comparison with control, however, the differences were minimal. On the other hand, we found better outcomes on treated plots contrary to control plot from qualitative point of view, which has to be considered the first-rank criterion in oak stands.

## ZMENA VPLYVU OBJEMU KORUNY NA OBJEM KMEŇA STROMOV BUKOVÉHO PRÍRODNÉHO LESA V ZÁVISLOSTI OD VEGETAČNÉHO GRADIENTU

### CHANGING THE IMPACT OF THE CROWN VOLUME ON THE STEM VOLUME OF BEECH OLD-GROWTH FORESTS IN RELATIONSHIP TO VEGETATION GRADIENT

Denisa Sedmáková\*, Milan Saniga

Katedra pestovania lesa, Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, Masarykova 24, 960 53  
Zvolen, SK

\*corresponding author: denisa.sedmakova@tuzvo.sk

#### Abstract

*In the paper, we present the results of the analysis of two beech old-growth forests, which represent growth optimum /NPR Stučica/ and the upper limit of natural beech distribution /NPR Skalná Alpa/. The aim of our analysis was to verify the hypothesis of the influence of the vegetation gradient and the forest developmental stage on the relationship of the beech stem volume to its assimilation capacity. When individual crown volumes increased by 1%, the increase of stem volumes was 10% smaller in the growth-limiting conditions than in the growth optimum. In individual developmental stages, a smaller proportion of the explained variability and greater variability of the values in the growth optimum were found compared to the growth-limiting environment with the exception of the initial stage. The strength of correlation between the crown and stem volumes was lower in the limiting conditions of NNR Skalná Alpa than in the beech optimum in NPR Stučica. A series of permanent research plots in NNR Stučica, representing the 5<sup>th</sup> "Fir-Beech" vegetation zone, also revealed a slightly higher determination coefficient ( $R^2 = 0,77-0,84$ ). In the both study sites, the closest correlation between the crown and stem volumes was confirmed in the decaydevelopmental stage.*

**Keywords:** old-growth forests, European beech, crown volume, stem volume, tree allometry

#### Abstrakt

*Príspevok prezentuje výsledky analýzy dvoch bukových pralesov, ktoré predstavujú jeho rastové optimum /NPR Stučica/ a hornú hranicu rozšírenia buka /NPR Skalná Alpa/. Cieľom analýzy bolo overenie hypotézy vplyvu vegetačného gradientu a vývojového štádia pralesa na vzťah závislosti objemu kmeňa stromov buka od jeho asimilačnej kapacity. Jedince buka pri 1% relatívnom náraste objemu koruny reagujú približne o 10%-nižším relatívnym objemovým prírastkom kmeňa v rastovo limitujúcich podmienkach v porovnaní s jedincami v optimálnych rastových podmienkach. V rámci jednotlivých vývojových štádií bol zistený menší podiel vysvetlenej variability a väčšia variabilita hodnôt v rastovom optime v porovnaní s rastovo limitným prostredím. Výnimkou bolo štádium dorastania. Tesnosť korelácie medzi objemom koruny bukov a objemom ich kmeňov v NPR Skalná Alpa mala nižšie hodnoty ako v NPR Stučica. Na sérii trvalých výskumných plôch v 5. jedľovo-bukovom lesnom vegetačnom stupni sa potvrdil mierne vyšší stupeň koeficientu determinácie ( $R^2$  bol v rozpätí od 0,77–0,84). Podobne ako v NPR Skalná Alpa sa aj v tomto pralese potvrdila najvyššia tesnosť korelácie vo vývojovom štádiu rozpadu.*

**Kľúčové slová:** prírodný les, buk lesný, objem koruny, objem kmeňa, závislosť

#### Úvod a problematika

Produkčné charakteristiky lesných ekosystémov Slovenska hlavne objem ich hrubiny sú veľmi variabilné. Závisia od druhu dreviny (SANIGA *et al.* 2013a), tolerancie drevín a štruktúry (SANIGA, VENCÚRIK 2008) ale aj od asimilačnej kapacity stromu (SANIGA *et al.* 2013b). Bukové pralesy Slovenska, ktoré sú dlhodobu sledované (KORPEL' 1995), ale aj ďalšie nové vedecké zdroje (SANIGA *et al.* 2014, SANIGA *et al.* 2018, SANIGA *et al.* 2019 ) potvrdili významne rozdielne ukazovatele objemu ich hrubiny. Na túto produkčnú charakteristiku má vysoko významný vplyv asimilačná kapacita koruny, tzn. že objem kmeňa je od uvedeného ukazovateľa podstatne

závislý. Výsledky práce (SANIGA, VENCÚRIK 2007) potvrdili, že v prípade drevín tolerantných na svetlo spoločne smreka a jedle s autonómnym postavením vo výberkovom lese ako najbližšej štruktúre ku prírodnému lesu, je závislosť medzi objemom korún tzn. kapacitou asimilačného aparátu a objemom ich kmeňov pomerne tesná. Okrem autonómneho postavenia jedincov oboch drevín od strednej vrstvy v tejto porastovej štruktúre je príčinou vysokej tesnosti korelácie regulácia štruktúry výberkového lesa výberkovým rubom (SCHÜTZ 2001, SCHÜTZ 2002, SCHÜTZ *et al.* 2006a,b). V prípade prírodných lesov je otázka korelačných vzťahov medzi produkčnými charakteristikami determinovaná hlavne ich drevinovou štruktúrou a vývojovým štádiom. Pri rôznych drevinách má tento ukazovateľ pomerne veľký diapazón. V prípade jelšového prírodného lesa sa potvrdila pomerne slabá tesnosť korelácie medzi asimilačnou kapacitou koruny a objemom kmeňa. Dôvodom bolo jednak preriedenie korún stromov jelše a veľký výkon transpirácie, ku ktorým sa pridružuje kolísanie hladiny spodnej vody (SANIGA *et al.* 2013a). Okrem špecifických podmienok tohto prírodného lesa sa pri raste a produkcii prírodných lesov na skúmanej závislosti podieľa ich vývojové štádium (SANIGA *et al.* 2013b, SANIGA *et al.* 2019). Poznatky z bukových pralesov Slovenska potvrdili, že vývojové štádium má vplyv na tesnosť korelácie medzi objemom koruny ako nezávislou premennou a objemom kmeňa (SANIGA *et al.* 2019). Z rozboru výsledkov možno vysloviť názor, že na skúmaný vzťah a jeho tesnosť by mala vplývať aj nadmorská výška (vegetačný gradient), v ktorej sa bukové pralesy nachádzajú.

V matematickom vyjadrení závislosti, regresný koeficient  $b$  vyjadruje sklon priamky pri grafickom znázornení vzťahu medzi objemom koruny a kmeňa. Zovšeobecnenie koeficienta bez ohľadu na ekologické a environmentálne podmienky rastu, prípadne jeho nadhodnotenie, vedie prílišnému zjednodušeniu alometrických väzieb (NIKLAS 2004). V skutočnosti, je veľkosť regresného koeficienta špecifická pre jednotlivé druhy drevín (PRETZCH *et al.* 2015), závisí od kompetície (PURVES *et al.* 2007) a veku (GENET *et al.* 2011).

Cieľom príspevku je overenie hypotézy vplyvu vegetačného gradientu na alometrický vzťah medzi objemom kmeňov a asimilačnou kapacitou jedincov buka v rovnakých vývojových štádiách v prírodných lesoch nachádzajúcich sa v rastovom optime a na hornej hranici rozšírenia tejto dreviny.

## Materiál a metodika

Predmetom analýzy boli série 6 trvalých výskumných plôch /TVP/, ktoré boli založené v NPR Stužica /rastové optimum buka/ a NPR Skalná Alpa /horná hranica prirodzeného rozšírenia buka/ na Slovensku.

NPR Stužica s výmerou 761,49 ha sa nachádza v orografickom celku Bukovské vrchy na rozhraní Slovenska, Poľska a Ukrajiny. Nadmorská výška v rezervácii varíruje v rozhraní 650–900 m, priemerná ročná teplota dosahuje 5–6°C a ročný úhrn zrážok predstavuje 850–1000 mm. Rezervácia spadá do oblasti flyšového pásma. Prevládajúcim pôdnym typom je kambizem. Pôda je hlboká, mierne humózná, kyprá, s vyšším obsahom skeletu. Z hľadiska drevinového zloženia v celej rezervácii dominuje buk (*Fagus sylvatica* L.), ktorý sa na tvorbe štruktúry podieľa sám, alebo spoločne s jedľou (*Abies alba* Mill.), prípadne javorom horským (*Acer pseudoplatanus* L.). Územie rezervácie z pohľadu vertikálneho členenia spadá do 4. až 6. lesného vegetačného stupňa. Dominantnými skupinami lesných typov sú *Fagetum typicum* (33% výmery rezervácie), *Fageto-Aceretum humile* (23%), *Fageto-Aceretum* (20%), *Abieto-Fagetum* nižší stupeň (10%), *Fraxineto-Aceretum* (8%) a *Abieto-Fagetum* vyšší stupeň s podielom 6% (KORPEL 1989). V roku 1971 bola



v NPR Stužica založená sieť 3 trvalých výskumných plôch (TVP) s výmerou 0,5 ha (71,5 × 70 m). TVP sa nachádzajú v slt. *Abieto-Fagetum* nižší stupeň v nadmorskej výške 780–860 m. Dominantné typy: *Filices-Asperura odorata-Senecio nemoerensis*. V rámci každej plochy bol vylíšený tranzekt s rozmermi 10 m × 70 m, na ktorom sa realizoval podrobnejší zber údajov, ktoré sa využili na analýzu skúmaných vzťahov.

NPR Skalná Alpa (s max. nadm. výškou 1 463,2 m) je jednou z vrcholových častí orografického celku Veľká Fatra s výmerou 524,55 ha v súčasnosti predstavuje komplex zachovalých spoločenstiev lesov vyššieho montánneho stupňa i kosodreviny subalpínskeho stupňa. Lesné ekosystémy sú výrazne rôznoveké a v nižšie položených častiach pozostávajú z buka, jedle, smreka a javora horského. KORPEL (1989). Prírodná rezervácia Skalná Alpa predstavuje v rámci smrekového lesného vegetačného stupňa prírodný smrekovo-bukový les s prímiesou javora horského. Geologické podložie je tvorené vápencami a dolomitmi. Na týchto horninách z pôdných typov prevažujú rendziny s prítomnosťou kremeňa v jemnozemi až do 12%. Táto skutočnosť potvrdzuje poznatok o tzv. všeobecnom zaprášení pôd. Pre NPR Skalná Alpa sú charakteristické nasledovné klimatické charakteristiky: priemerná ročná teplota je 4°C, priemerné ročné zrážky sa pohybujú od 1000 do 1200 mm, z toho vo vegetačnej dobe padne v priemere 600–650 mm. Výsledky sú prezentované z troch TVP založených v roku 1982 podľa vývojových štádií pralesa podľa metodiky KORPELA (1989) s výmerou 0,50 ha v slt. *Fageto-Piceetum* nižší stupeň (FP nst.) s časovým intervalom merania 10 rokov.

Predmetom analýzy v oboch NPR boli stromy na TVP a ich tranzektach o rozmeroch 10 m x 70 m. Na jednotlivých stromoch boli merané nasledovné dendrometrické znaky:

- vektory rozmiestnenia stromov hrubších ako 7 cm x, y s presnosťou na 0,1 m;
- hrúbka  $d_{1,3}$  živých stromov s presnosťou na 1 mm;
- výška stromov s presnosťou na 0,5 m;
- výška nasadenia koruny s presnosťou na 0,5 m;
- projekcia korún stromov  $x_1-x_4$  s presnosťou na 0,1 m;

Vyhodnotená bola databáza údajov za všetky dekády merania. Pre stanovenie objemu koruny boli použité vzorce JURČA (1968):

$$C_k = \frac{\pi}{8} \cdot b^2 \cdot l \text{ pre listnaté dreviny, a } C_k = \frac{\pi}{12} \cdot b^2 \cdot l \text{ pre ihličnaté dreviny.}$$

Kde:  $l$  – dĺžka koruny  
 $b$  – šírka koruny

Pre určenie objemu kmeňa boli použité tabuľky PETRÁŠ, PAJTÍK (1991). Pri analýze vzťahu medzi objemom korún stromov ( $C_k$ ) a objemom kmeňa ( $V$ ) bol použitý všeobecný tvar rovnice:

$$\ln(V) = a + b * \ln(C_k)$$

Aby sme mohli popísané alometrické vzťahy v rastovom optime a na hornej hranici rozšírenia buka v rovnakom vývojovom štádiu porovnať, vykonali sme test zhody dvoch lineárnych modelov (MELOUN, MILITKÝ 1994). Na testovanie zhody regresných parametrov  $b_1$ ,  $b_2$  dvoch lineárnych modelov ( $\ln(V_1) = b_1 * \ln(C_{k1}) + a_1$ ,  $\ln(V_2) = b_2 * \ln(C_{k2}) + a_2$ ) bol použitý Chowov test založený na testovacím kritériu

$$F_{Ch} = \frac{(RSC - RSC_1 - RSC_2)(n - 2m)}{(RSC_1 + RSC_2)(m)}$$

$$n=n_1+n_2, m=2$$

RSC – reziduálny súčet štvorcov modelov  $\ln(V_1) - (RSC_1)$ ,  $\ln(V_2) - (RSC_2)$  a zloženého modelu  $\ln(V) - (RSC)$ ;  $n_1, n_2$  – počet meraní, prípadov v modeli  $\ln(V_1)$  a  $\ln(V_2)$ ,  $m = 2$ , čo zodpovedá počtu testovaných modelov.

Testovali sme hypotézu  $H_0: b_1 = b_2$

V prípade zhody rozptylov  $\sigma_1 = \sigma_2$  má  $F_{Ch}$  F-rozdelenie s  $m$  a  $(n-2m)$  stupňami voľnosti. Ak sa rozptyly porovnávaných regresných modelov nezhodujú, použilo sa Fisherovo-Snedecorovo rozdelenie, ale s  $m$  a  $r$  stupňami voľnosti, kde  $r$  je:

$$r = \frac{[(n_1 - m)\sigma_1^2 + (n_2 - m)\sigma_2^2]}{(n_1 - m)\sigma_1^4 + (n_2 - m)\sigma_2^4}$$

V prípade, že platí  $F_{Ch} < F_{0,95}$  s  $(m, n-2m)$  stupňami voľnosti (prípadne s  $m$  a  $r$ ) možno považovať testované regresné modely za zhodné. Pre test zhody dvoch rozptylov bol použitý F-test. Testovali sme hypotézu  $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$

## Výsledky

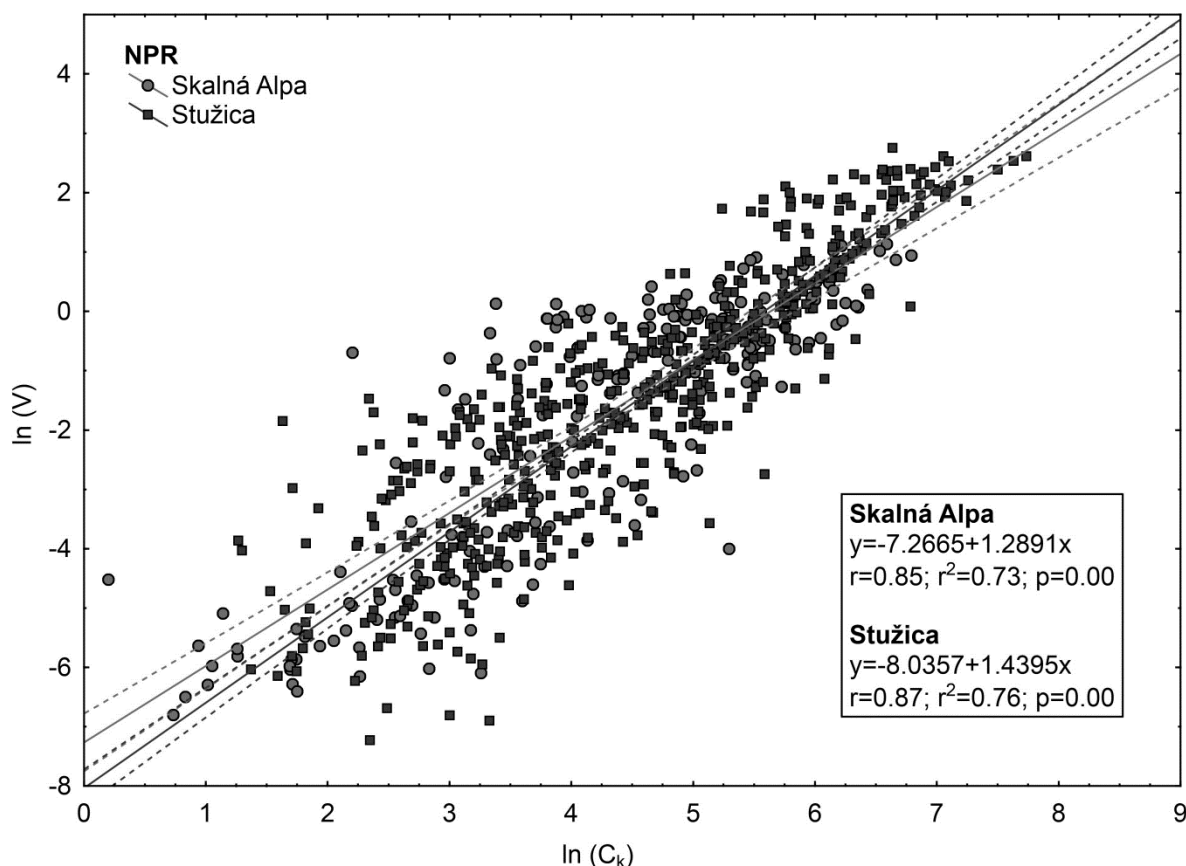
V oboch NPR vykázali jedince buka v pomere k relatívne veľkému objemu koruny stredne vysoké hodnoty regresných koeficientov (obr. 1), nepresahujúce v literatúre zovšeobecnene používaný regresný koeficient 1,5. V prírodnom lese NPR Skalná Alpa, ktorý predstavuje hornú hranicu rozšírenia buka lesného na Slovensku regresné koeficienty vykazujú s malým rozdielom signifikantne nižšie hodnoty v porovnaní s NPR Stučica. V priemere možno konštatovať, že relatívne zväčšenie koruny o 1% vyvolá 1,29% nárast objemu kmeňa v NPR Skalná Alpa a 1,44% nárast v NPR Stučica, čo predstavuje 10% rozdiel. Významné rozdiely boli potvrdené celkovo medzi NPR ako aj medzi jednotlivými vývojovými štádiami, s výnimkou štádia dorastania, kde oba regresné modely možno považovať za zhodné (Tab. 1). V tesnosti korelácie a teda v podiele variability vysvetlenej modelmi neboli zistené rozdiely medzi lokalitami a vývojovými štádiami, s výnimkou štádia optima. Variabilita hodnôt medzi lokalitami bola podobná, pričom v rámci vývojového štádia dorastania a optima, jedince buka vykázali významný rozdiel vo variabilite hodnôt.

**Tab. 1:** Základné charakteristiky a regresné modely pre objemu korún a objem kmeňov buka**Tab. 1:** Basic characteristics and regression models for crown volume and stem volume of beech

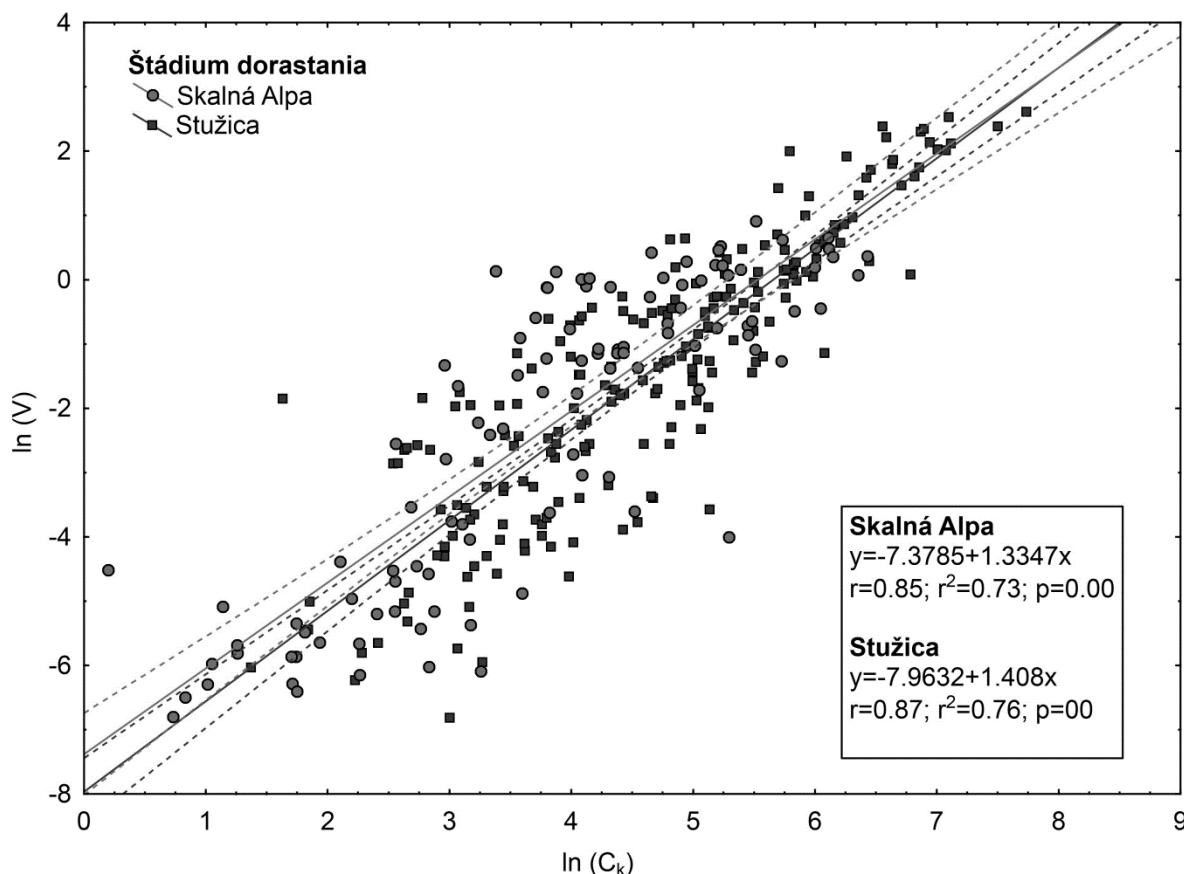
VŠ DS	NPR NNR	N	$C_k \pm SD$ (m <sup>3</sup> )	$V \pm SD$ (m <sup>3</sup> )	Regresný model Regression model	R	R <sup>2</sup>	$\sigma$
Dorastanie Initial	SKA1 STU6	107 209	105±133 221±312	0,463±0,56 1,253±2,48	$y = -7,3785 + 1,3347x$ $y = -7,9632 + 1,408x$	0,85 0,87	0,73 0,76	1,244* 1,019
Optimum Optimal	SKA2 STU5	39 149	243±195 185±277	1,058±0,73 1,320±2,98	$y = -1,5944 + 0,2894x^*$ $y = -7,4879 + 1,3444x$	0,52* 0,86	0,27 0,75	0,487* 1,082
Rozpad Decay	SKA3 STU4	54 193	133±168 180±249	0,412±0,63 1,222±2,27	$y = -7,9804 + 1,3362x^*$ $y = -7,85 + 1,4203x$	0,90 0,89	0,82 0,79	0,952 1,049
Spolu Together	SKA STU	200 561	140±164 134±248	0,565±0,66 1,252±2,53	$y = -7,2665 + 1,2891x^*$ $y = -8,0357 + 1,4395x$	0,85 0,87	0,73 0,76	1,199 1,134

Pozn.: Všetky modely a ich koeficienty sú štat. významné ( $p < 0,00$ ). Významné rozdiely medzi Národnou prírodnou rezerváciou (NPR) Skalná Alpa (SKA) a Stučica (STU) a medzi jednotlivými vývojovými štádiami (VŠ) sú označené \*. N-počet meraní, SD-smerodajná odchýlka,  $y = \ln(V)$ ;  $x = \ln(C_k)$ , R-korelačný koeficient, R<sup>2</sup>- koeficient determinácie,  $\sigma$ -smerodajná chyba odhadu. Číslo pri označení NPR zodpovedá číslu trvalej výskumnej plochy.

Note: All models and their coefficients are statistically significant ( $p < 0,00$ ). significant differences between National Nature Reserve (NNR) Skalná Alpa (SKA) and Stučica (STU) and between developmental stages (DS) are marked by \*. N-number of measurements, SD-standard deviation,  $y = \ln(V)$ ;  $x = \ln(C_k)$ , R-correlation coefficient, R<sup>2</sup>- determination coefficient,  $\sigma$  – standard error. A number following the abbreviation of NNR refers to the number of permanent research plot.

**Obr.1:** Závislosť medzi objemom koruny ( $C_k$ ) a objemom kmeňa ( $V$ ) dreveny buk v prírodnom lese NPR Skalná Alpa a NPR Stučica**Fig. 1:** Relationship between crown volume ( $C_k$ ) and stem volume ( $V$ ) of beech in the old-growth forest NPR Skalná Alpa and NPR Stučica

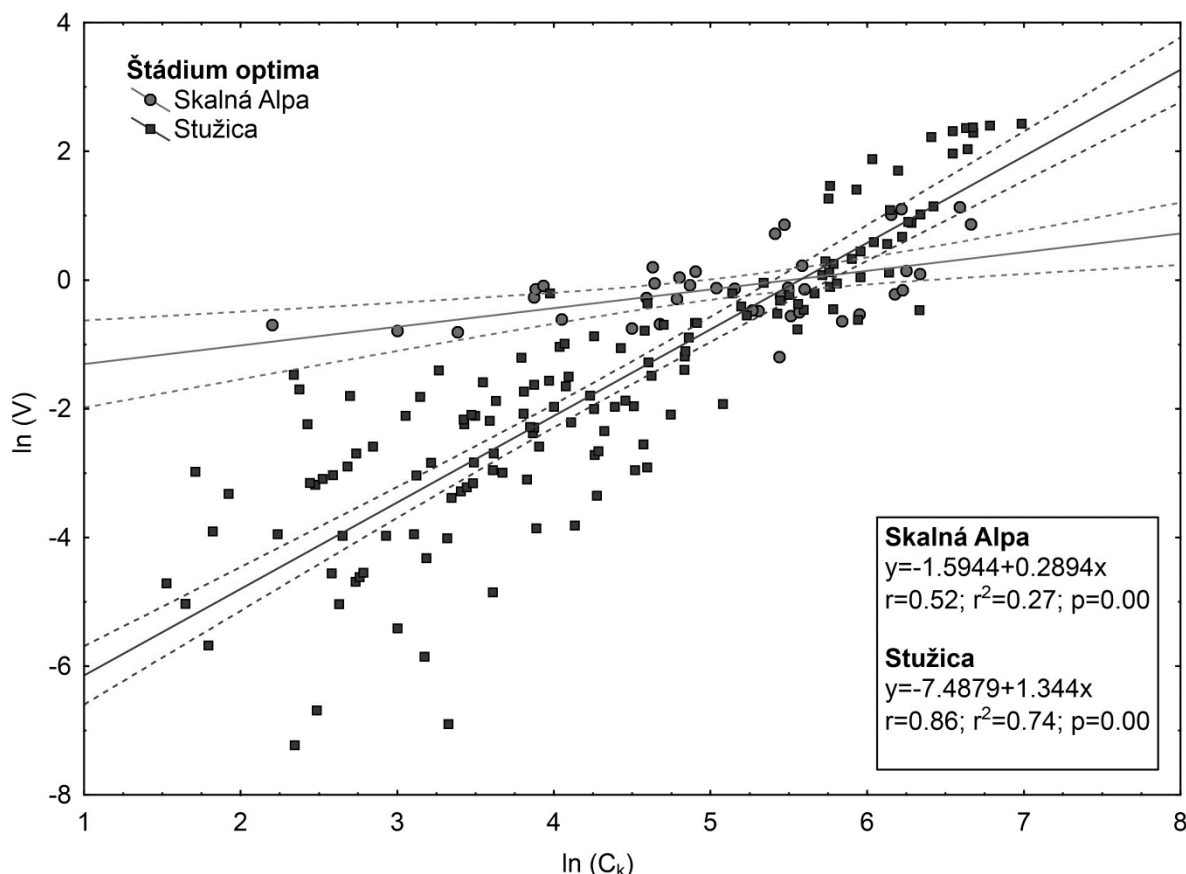
Rozbor vzťahu v štádiu dorastania (obr. 2) vykazuje v obidvoch lokalitách pomerne silný typ lineárnej závislosti ( $r = 0,85$ , resp.  $0,87$ ). Koeficient determinácie potvrdil, že 73, resp. až 76% sa podieľa asimilačná kapacita koruny buka na objeme kmeňa. Významne vyššiu variabilitu hodnôt vykázali jedince v NPR Skalná Alpa. V tomto štádiu v hornej vrstve odumierajú zostatky stromov predchádzajúcej generácie pralesa, ktoré sú viac menej autonómne, na druhej strane v strednej vrstve je veľký konkurenčný tlak medzi drevinami, čo podstatne vplýva na rastovú energiu korún stromov, ktorá sa následne prejavila vo väčšej variabilite objemu kmeňa.



**Obr. 2:** Závislosť medzi objemom koruny ( $C_k$ ) a objemom kmeňa ( $V$ ) dreveny buk v štádiu dorastania v prírodnom lese NPR Skalná Alpa (TVP 1) a NPR Stučica (TVP 6)

**Fig. 2:** Relationship between crown volume ( $C_k$ ) and stem volume ( $V$ ) of beech in the initial stage of the old-growth forest NNR Skalná Alpa (PRP1) and NNR Stučica (PRP 6)

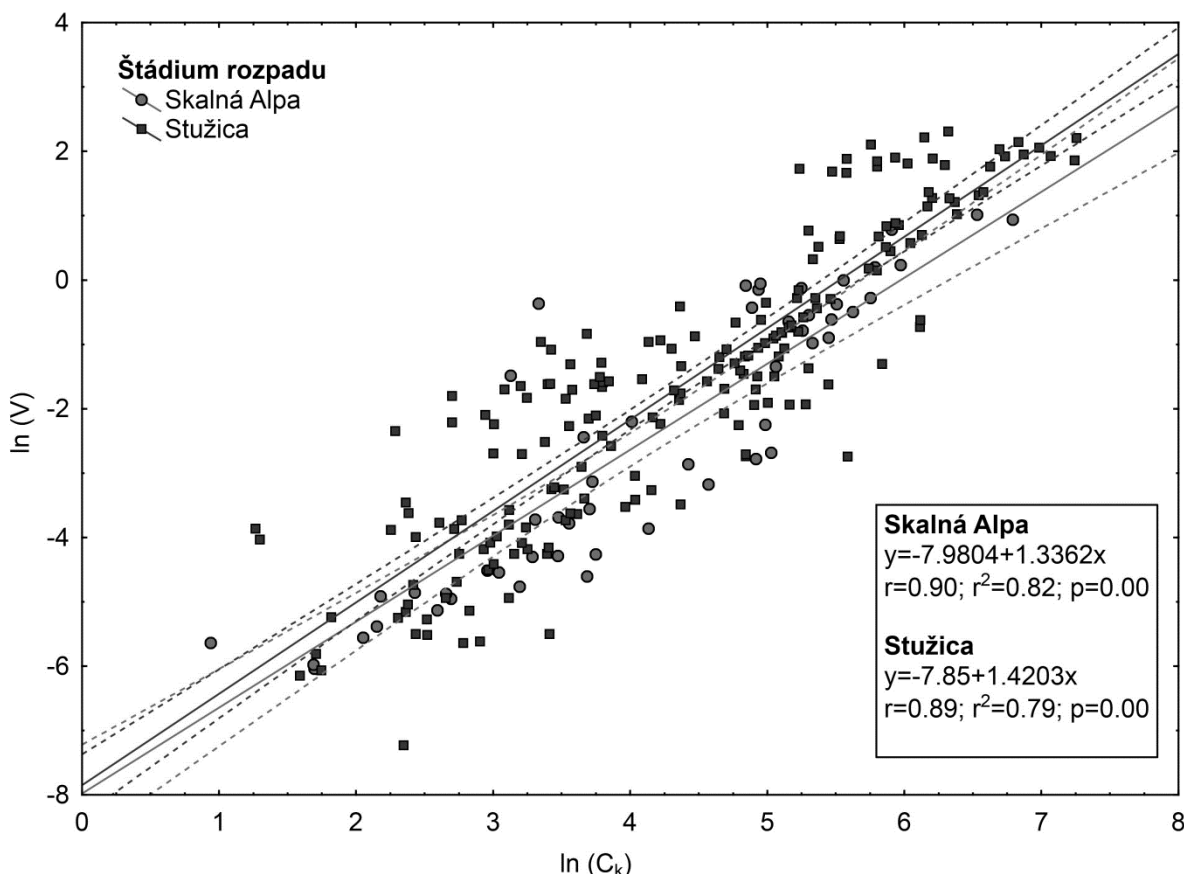
Rozbor závislosti v štádiu optima (obr. 3) ukazuje pomerne výrazný rozdiel medzi modelmi ako aj odlišnú tesnosť korelácie medzi skúmanými produkčnými veličinami. Korelačný koeficient v NPR Skalná Alpa  $r = 0,52$  s koeficientom determinácie  $r^2 = 0,27$  ukazuje menej tesný vzťah v štádiu optima. Oproti tomu významne nižšiu variabilitu hodnôt teda nižšiu chybu odhadu v porovnaní s NPR Stučica. Buk ako drevina úrovne v korunovom priestore je v štádiu optima pod silným konkurenčným tlakom, čo spôsobuje nižšiu variabilitu objemov korún a kmeňov.



**Obr. 3:** Závislosť medzi objemom koruny ( $C_k$ ) a objemom kmeňa ( $V$ ) drevín smrek a buk v štádiu optima v prírodnom lese NPR Skalná Alpa (TVP 2) a NPR Stučica (TVP 5)

**Fig. 3:** Relationship between crown volume ( $C_k$ ) and stem volume ( $V$ ) of beech and spruce in the optimal stage of the old-growth forest NNR Skalná Alpa (PRP 2) and NNR Stučica (PRP 5)

Rozbor závislostí sledovaných produkčných charakteristík v štádiu rozpadu (Fig. 4) potvrdil tesnejší vzťah v porovnaní s ostatnými štádiami vývoja. Pri drevine buk bol  $r = 0,90$  s koeficientom determinácie 0,82. Uvedené hodnoty tesnosti korelácie potvrdili, že v tomto štádiu pralesa sú koruny stromov buka drevín v autonómnejšom postavení, čo vytvára predpoklad ich väčšieho podielu účasti na prírastkových procesoch kmeňa. Postavenie korún stromov tejto dreviny, s plným osvetlením jej hornej tretiny dostáva celý asimilačný proces do väčšej aktivity, čím je jej podiel na prírastkových procesoch kmeňa väčší. Medzi NPR bol opakovane zistený malý, významný rozdiel medzi lineárnymi modelmi.



**Obr. 4:** Závislosť medzi objemom koruny ( $C_k$ ) a objemom kmeňa ( $V$ ) dreviny buk v štádiu rozpadu v prírodnom lese NPR Skalná Alpa (TVP 3) a NPR Stučica (TVP 4)

**Fig. 4:** Relationship between crown volume ( $C_k$ ) and stem volume ( $V$ ) of beech in the decay stage of the old-growth forest NNR Skalná Alpa (PRP 3) and NNR Stučica (PRP 4)

## Diskusia a záver

Výsledky potvrdili, že objem koruny buka má silný významný vplyv na objem jeho kmeňa. Výnimkou je štádium optima, kde buk v NPR Skalná Alpa vykazuje stredne silný vzťah medzi sledovanými produkčnými ukazovateľmi. Významne vyššie regresné koeficienty v rastovom optime buka naprieč všetkým vývojovým štádiám z časti vysvetľuje jeho významne vyššiu objemovú produkciu hrubiny v NPR Stučica. Vplyv ekologického profilu, výškového gradientu a úživnosti stanovišťa na rastovú aktivitu stromov jednotlivých drevín je najlepšie vyjadrená prostredníctvom ich výšky. Buk lesný nachádzajúci sa v bukovom pralesi Skalná Alpa dosahuje výrazne nižšie hodnoty výšok ako v pralesoch nachádzajúcich sa v bukovom optime NPR Stučica (SANIGA *et al.* 2013b, SANIGA *et al.* 2019). Uvedená skutočnosť sa odráža najmä v nižších horných výškach pralesa. Vypočítaná horná výška pralesa Skalná Alpa na jednotlivých plochách nepresahuje 30,3 m (SANIGA *et al.* 2013b). Pre porovnanie v NPR Rožok, ktorý predstavuje rastové optimum pre túto drevinu je horná výška pralesa až 40,9 m (BUGOŠOVÁ 2011). Analýza vzťahu medzi objemom kmeňov a korún buka lesného potvrdila výsledky získané z ďalších skúmaných bukových pralesov Slovenska (SANIGA *et al.* 2014, SANIGA *et al.* 2018, SANIGA *et al.* 2019). Analyzované vzťahy v oboch v danom príspevku porovnávaných národných prírodných rezerváciách môžeme považovať za tesné. Spomínaní autori uvádzajú pre závislosť medzi objemom kmeňov a korún pri drevine buk hodnoty koeficientu determinácie  $R^2$ , v intervale od 0,27 do 0,82 v závislosti od vývojového štádia

pralesa. Najväčšia tesnosť korelácie sa zistila v štádiu rozpadu. Najväčší rozdiel medzi zostavenými regresnými modelmi bol zistený v štádiu optima. Pomerne nízka tesnosť vzťahu, ale menšie kolísanie hodnôt v NPR Skalná Alpa v porovnaní s NPR Stužica bolo pravdepodobne spôsobené silnejšou kompetíciou v štádiu optima a čiastočne výrazne heterogénnejších ekologických podmienok na hornej hranici rozšírenia buka. Domnievame sa, že podobné výsledky ako v NPR Skalná Alpa by bolo možné očakávať aj v NPR Stužica. Rozdiel v zistení medzi lokalitami je možné vysvetliť tým, že TVP5 v NPR Stužica klasifikovaná ako štádium optima v roku 1971 sa v súčasnosti nachádza skôr v počiatočnom štádiu rozpadu. Hypoteticky sa teda možno domnievať, že pri rozšírení meraní v optimálnych podmienkach rastu o TVP v optime, by sme mohli konštatovať podobné zistenia ako v NPR Skalná Alpa. Následne by bolo možné preukázať, že okrem vplyvu druhu dreviny, kompetície a veku významnú úlohu v odhadovaní parametrov regresných modelov zohráva aj vývojové štádium a s tým spojená štruktúra prírodného lesa. Preukázali sme tiež malý no významný vplyv vegetačného gradientu na alometrický vzťah a tesnosť závislosti objemu kmeňa od asimilačnej kapacity stromov buka v prírodných lesoch nachádzajúcich sa v jeho rastovom optime a na hornej hranici jeho rozšírenia.

### Literatúra

- BUGOŠOVÁ, L. *Štruktúra, textúra, produkcia a regeneračné procesy bukového pralesa NPR Rožok*. Dizertačná práca, Zvolen: TU Zvolen, 2011. 111 s.
- GENET, A., WERNSDÖRFER, H., JONARD, M., PRETZSCH, H., RAUCH, M., PONETTE, Q., NYS, C., LEGOUT, A., RANGER, J., VALLET, P., SAINT-ANDRÉ, L. Ontogeny partly explain the apparent heterogeneity of published biomass equations for *Fagus sylvatica* in central Europe. *Forest Ecology and Management* 2011. 261 (7): s. 1188–1202.
- JURČA, J. *Pěstební analytika*, Praha: SPN, 1968. 302 s.
- KORPEL, Š. *Pralesy Slovenska*. Bratislava: SAV, 1989. 329 s.
- MELOUN, M., MILITKÝ, J. *Statistické zpracování experimentálních dat*. Praha: Plus, 1994. 840 s.
- NIKLAS, K. J. Plant allometry: is there a grand unifying theory? *Biological Reviews* 2004. 79: s. 871–889.
- PETRÁŠ R. PAJTIK J. Sústava esko-slovenských objemových tabuliek drevín. *Lesnícky časopis* 1991. 37,(1): s. 49–56.
- PRETZSCH, H., BIBER, P., UHL, E., DAHLHAUSEN, J., RÖTZER, T., CALDENTEY, J., KOIKE, T., CON, T. VAN, CHAVANNE, A., SEIFERT, T., TOIT, B. DU, FARNDEN, C., PAULEIT, S. Crown size and growing space requirement of common tree species in urban centres, parks, and forests. *Urban Forestry & Urban Greening* 2015. 14: s. 466–479.
- PURVES, D. W., LICHSTEIN, J. W., PACALA, S. W. Crown plasticity and competition for canopy space: a new spatially implicit model parameterized for 250 North American tree species. *PLoS ONE*, 2007. 9: e870.
- SANIGA, M., VENCÚRIK, J., *Dynamika štruktúry a regeneračné procesy lesov v rôznej fáze prebudovy na výberkový les v LHC Korytnica*. Vedecká monografia, Zvolen: TU Zvolen, 2007. 82 s.
- SANIGA, M., VENCÚRIK, J., *Dynamika zmeny štruktúry a regeneračných procesov bukového výberkového lesa*. *Acta Facultatis Forestalis Zvolen Slovakia*, 2008. 50(2): s. 45–54.

- SANIGA, M., PITTNER, J., KUCBEL, S., BLAŽO, J. *Štruktúra, produkcia, regeneračné procesy jelšového prírodného lesa v NPR Šur*. Vedecká monografia, Zvolen: TU Zvolen, 2013a. 65 s.
- SANIGA, M., ZRAK, J., PITTNER, J., BALANDA, M. *Štruktúra, produkcia, regeneračné procesy a disturbančný režim prírodného lesa v NPR Skalná Alpa*. Vedecká monografia, Zvolen: TU Zvolen, 2013b. 68 s.
- SANIGA, M., BUGOŠOVÁ, L., KUCBEL, S., JALOVIAR, P., PITTNER, J. *Štruktúra, distribúcia dendromasy, disturbančný režim a regeneračné procesy bukového pralesa NPR Rožok (30 ročná štúdia)*. Vedecká monografia, Zvolen: TU Zvolen, 2014. 61 s.
- SANIGA, M., PITTNER, J., KUCBEL, S., JALOVIAR, P., SEDMÁKOVÁ, D., VENCURIK, J. *Štruktúra, produkcia bio-a nekromasy a regeneračné procesy bukových pralesov NPR Havešová a Kyjov /časová štúdia/*. Vedecká monografia, Zvolen: TU Zvolen, 2018. 42 s.
- SANIGA, M., PITTNER, J., KUCBEL, S., FILÍPEK, M., JALOVIAR, P., SEDMÁKOVÁ, D., VENCURIK, J. *Dynamické zmeny štruktúry, regeneračné procesy a zmena objemu mŕtveho dreva v rámci vývojového cyklu bukového pralesa NPR Stučica /časová štúdia/*. Vedecká monografia, Zvolen: TU Zvolen, 2019. 61 s.
- SCHÜTZ, J. P. *Der Plenterwald und weitere Formen strukturierter und gemischter Wälder*. Berlin: Parey Buchverlag, 2001. 220 s.
- SCHÜTZ, J. P. Silvicultural tools to develop irregular and diverse forest structures. *Forestry*, 2002. 75: s. 329–337.
- SCHÜTZ, J. P. Modelling the demographic sustainability of pure beech plenter forests in Eastern Germany. *Annals of Forest Science*, 2006a. 63: s. 93–100.
- SCHÜTZ, J. P., GÖTZ, M., SCHMID, W., MANDALLAZ, D. Vulnerability of spruce (*Picea abies*) and beech (*Fagus sylvatica*) forest stands to storms and consequences for silviculture. *European Journal of Forest Research*, 2006b. 125: s. 291–302.

## PodĎakovanie

Príspevok vznikol s podporou Agentúry na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-14-0014.

## Summary

The paper presents the results of the impact the influence of the vegetation gradient and the forest developmental stage on the relationship of the beech stem volume to its assimilation capacity. Were examined of two beech old-growth forests, which represent growth optimum /NNR Stučica/ and the upper limit of natural beech distribution /NNR Skalná Alpa/. When individual crown volumes increased by 1%, the increase of stem volumes was 10% smaller in the growth-limiting conditions than in the growth optimum. In individual developmental stages, a smaller proportion of the explained variability and greater variability of the values in the growth optimum were found compared to the growth-limiting environment with the exception of the initial stage. The strength of correlation between the crown and stem volumes was lower in the limiting conditions of NNR Skalná Alpa than in the beech optimum in NNR Stučica.



## VLIV SMRKOVÉ ETÁŽE NA TLOUŠŤKOVÝ PŘÍRŮST BOROVÝCH POROSTŮ NA STANOVIŠTI CHUDÁ BORO VÁ DOUBRAVA V SUCHÝCH LETECH

### IMPACT OF THE NORWAY SPRUCE SUBCANOPY ON DBH OF SCOTCH PINE STANDS ON THE NUTRIENT POOR OAK WITH PINE FOREST SITE IN DRY YEARS

Ondřej Špulák

Výzkumná stanice Opočno, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i., Na Olivě 550, 517 73 Opočno, ČR  
e-mail: spulak@vulhmop.cz

#### Abstract

*Climate extremes of the last years cause worsening of the health status and dying of many tree species on various sites. For stabilization of the future forest generations, establishment of mixed forest is recommended. Apart from benefits, mixed forest can also bring risks arising from the intra-specific competition. To verify influence of the subcanopy spruces on the diameter increment of pine, increment cores in mature stands were taken. On the nutrient poor oak with pine forest site, pines in three series of stand parts i) with spruce subcanopy and ii) where subcanopy was harvested were cored (at least 30 per each stand part) and tree ring widths were analysed. The analysis proved negative influence of the spruce on diameter increment of the pines. The probable cause presents root competition of species for soil water on sites with deep groundwater levels out of the reach of the roots. Flat root system of spruce benefits form the opportunity to uptake water earlier even in low precipitation events. For improvement of health status of pines in uncertainty of future climate, removal of subcanopy spruces should be considered.*

**Keywords:** Scotch pine, Norway spruce, diameter increment, precipitation, soil water, roots

#### Abstrakt

*Vlivem klimatických výkyvů posledních let dochází k odumírání porostů řady dřevin na mnoha stanovištích. Doporučovaným opatřením pro stabilizaci příští generace lesa je tvorba smíšených porostů. Kromě benefitů však porostní směsi mohou přinášet také rizika spojená se vzájemnou konkurencí dřevin. Pro ověření vlivu smrkové etáže na přírůst borovice byly na stanovišti chudá borová doubrava odebrány vývrtky ve třech porostních sériích v dospělých porostech, zahrnujících vždy část s etáží smrku a část, v které byl smrk odstraněn. V každé porostní části bylo odebráno minimálně 30 vývrtů a byla u nich stanovena tloušťka jednotlivých letokruhů. Analýza prokázala negativní vliv přítomnosti smrku v podúrovni borových porostů na tloušťkový přírůst borovice. Příčinou bude kořenová konkurence o půdní vláhu na stanovišti s hladinou půdní vody mimo reálný dosah kořenů. Na takovém stanovišti se stává plochý kořenový systém smrku výhodou, neboť je schopen využít i nízké srážkové úhrny dřívě, než se dostanou do prostoru, v kterém mají hlavní jemné kořeny borovice. Pro zlepšení zdravotního stavu borovic v období klimatických změn stojí za úvahu odstranění smrkové etáže.*

**Klíčová slova:** borovice lesní, smrk ztepilý, tloušťkový přírůst, srážky, půdní voda, kořenová konkurence

#### Úvod a problematika

Stupňující se klimatické výkyvy posledních let oslabují lesní porosty na mnoha stanovištích (RAMSFIELD et al. 2016). Ve střední Evropě je zhoršování zdravotního stavu, které často v kombinaci s vlivem biotických patogenů vede až k rozpadu porostů, nejvíce patrné u smrku ztepilého, naší hospodářsky nejvýznamnější a tak nejrozšířenější dřeviny (MZE 2018). Nevyhýbá se však ani řadě dalších dřevin. Smrk se zdá být vůči oslabení kombinací faktorů sucho a vysoké teploty vzduchu predisponován mělkým kořenovým systémem (KACÁLEK et al. 2017), avšak na některých stanovištích odumírání postihuje i hlubokokořenící dřeviny, jako je borovice (LUBOJACKÝ et al. 2019).

Pro zmírnění nejistot plynoucích z nepředvídatelného vývoje klimatu a jeho vlivu na jednotlivé dřeviny je stále častěji doporučováno zakládání stanoviště odpovídajících porostních směsí (e.g. DEL RIO et al. 2017). Nepříznivé podmínky vedoucí k odumření jedné dřeviny ve smíšených porostech tak nutně nemusejí znamenat jejich rozvrácení a celkovou ztrátu produkce.

Na přirozených borových stanovištích východní části PLO 17 – Polabí často vznikají smíšené porosty borovice a smrku. Zatímco borovice má původ v cílené obnově porostů nejčastěji na holé ploše a tvoří jejich kostru, smrk pochází z období přirozené obnovy pod porostem ve fázi prosvětlování porostu borovice v průběhu odrůstání. Bývá tak minimálně o 30 let mladší a tvoří spodní etáž, za dobu obmýtí se do úrovně dostane jen výjimečně v případě včasného vzniku větší porostní mezery. Oslabení borovic posledních let se na mnoha lokalitách těchto stanovišť projevuje jak zvýšenou defoliací, tak intenzivním šířením jmelí. Podúrovňový smrk však dosud až na výjimky oslabení nevykazoval. Protože růstový prostor nadzemních částí obou dřevin je oddělený, lze příčinu spatřovat v konkurenci v kořenovém prostoru. Otázkou je míra a hospodářský význam tohoto jevu.

Cílem příspěvku je proto pomocí srovnání tloušťkového vývoje borovic ověřit význam konkurenčního působení smrkové etáže borových porostů na stanovišti 1M - borová doubrava.

## Materiál a metodika

Pro analýzy byly založeny tři experimentální série na majetku Městských lesů Hradec Králové a.s. (východní část PLO 24 – Polabí), které vždy tvoří dvojice porostních částí (porostních skupin), z nichž v jedné bylo v letech 2012 až 2013 provedeno kompletní odstranění smrkové etáže, v druhé byl smrk zachován (Tab. 1). Stanoviště vybraných porostů jsou charakteristická mocným písčitým půdním horizontem s hladinou spodní vody v hloubce až 8 m a jsou zařazena do SLT 1M. Smrk o výšce do 10 m v jednotlivých porostech tvořil přibližně 20 % počtu a maximálně 5 % výčetní kruhové základny.

**Tab. 1:** Základní charakteristiky experimentálních sérií.

**Tab. 1:** Basic data on sets of experimental plots.

Série	Porost	Varianta	Věk	Stanoviště	Nadm. výška	Zásah* (rok)
<i>Experimental set</i>	<i>Forest stand</i>	<i>Treatment</i>	<i>Age</i> (2019)	<i>Site</i>	<i>Elevation</i>	<i>Intervention*</i> (year)
A	224A10	BO+SM	102	1M7	261 m	2013
	224A11	BO	111			
B	210C11	BO+SM	112	1M7	256 m	2013
		BO	112			
C	223B12	BO+SM	122	1M3	258 m	2012
	215D12	BO	115			

\* tzn. odstranění smrkové etáže; i.e. reduction of spruce subcanopy

Na závěr vegetační doby 2018 byl v prsní výšce západní části kmene na min. 30 náhodně vybraných stromech z každé porostní části proveden odběr kmenových vývrtů Preslerovým nebozezem. Pro vývrty byly vyhledávány stromy bez napadení jmelím. Celkem bylo analyzováno 206 vývrtů. Vývrty byly vysušeny při pokojové teplotě, naskenovány ve vysokém rozlišení (1200 dpi), následně proměřeny pomocí programu Letokruhy (verze 2.2). V rámci jednotlivých experimentálních sérií byla data přírůstků v jednotlivých letech statisticky analyzována pomocí t-testu v prostředí R (R Core Team 2018), rozdíly byly považovány za průkazné, jestliže

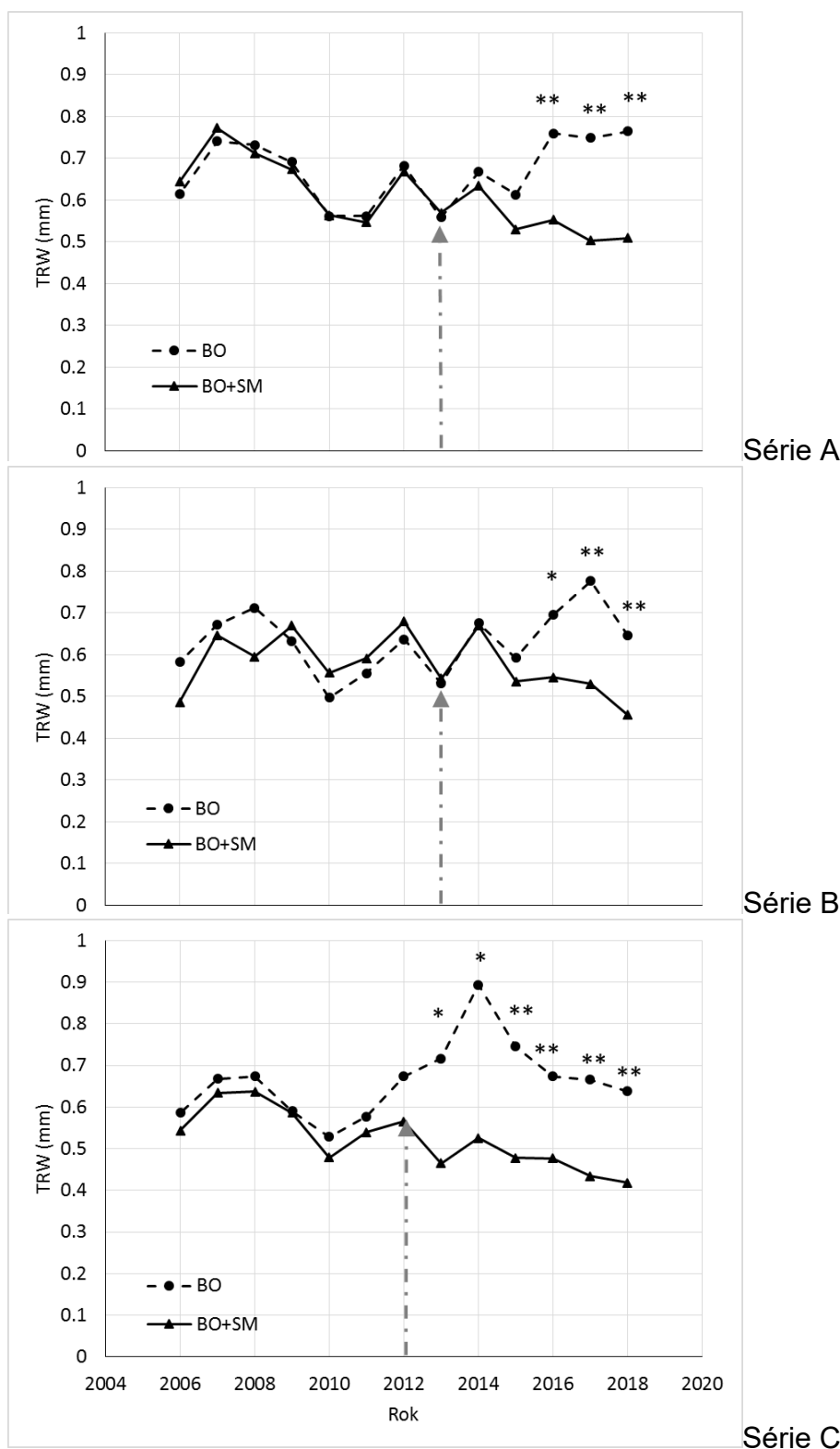
$p < 0,05$ . Rámcová data o vývoji klimatu byla převzata od ČHMÚ (ČHMI 2019a, 2019b).

### Výsledky a diskuze

Analýza přírůstů borovic prokázala statisticky průkazné zvýšení tloušťkového přírůstu u stromů ve všech porostních částech, ve kterých byla v roce 2012 či 2013 etáž smrku odstraněna (obr. 1). U série A a B ke statisticky průkaznému zvýšení přírůstu došlo čtvrtým rokem po zásahu, vzájemné oddalování hodnot průměrného přírůstu letokruhů obou porostních částí však lze pozorovat již dříve. Jako spouštěcí faktor průkazných rozdílů se jeví extrémně suchý rok 2015, v kterém v královéhradeckém kraji ve vegetační době průměrně spadlo pouze okolo 60 % dlouhodobého normálu, zatímco průměrné teploty byly, podobně jako v okolních letech, nadnormální (obr. 2). Při tak nízkých srážkách mohl rozdíl v dostupnosti srážek a půdní vláhy pod porostem vlivem přítomnosti smrků hrát klíčovou roli. Porosty jsou totiž vzhledem k hloubce podzemní vody a charakteru půdy (ŠPULÁK et al. 2018) na všech analyzovaných lokalitách odkázané na vodu pocházející ze srážek, kterých však v posledních letech ubývá nebo jsou výrazně nevyrovnané (ČHMÚ 2019a). Lze předpokládat, že na takovýchto stanovištích přírůst závisí zejména na rozložení srážek ve vegetační době. Naproti tomu na půdách s vyšší vodní kapacitou REMOND et al. (2017) na *Pinus edulis* zjistili výraznou korelaci přírůstu s množstvím srážek v zimě.

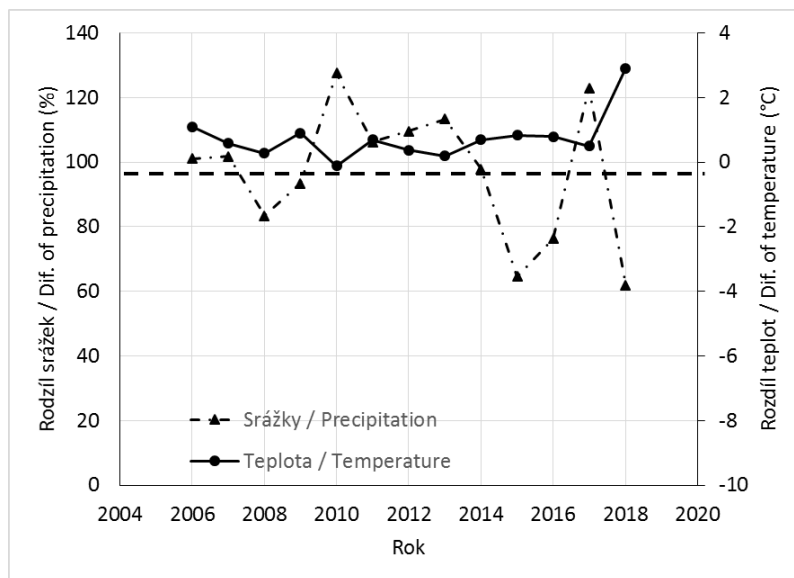
U mírně starší série C se průkazný rozdíl projevil již v roce následujícím po odstranění smrku. A to i přesto, že ze sumárních hodnot byla vegetační doba toho roku teplotně i srážkově příznivá (obr. 2). Z východního směru byla k ploše BO v této experimentální sérii v roce 2009 přičleněna holina, čímž se zvýšilo pronikání bočního světla do porostu. Tento faktor však nebude příčinou časnějších rozdílů, neboť při odběru vývrťů byly vybírány stromy ve vzdálenosti minimálně jedné porostní výšky od porostního okraje. Kromě toho lze předpokládat spíše negativní efekt navýšení intenzity bočního světla pod porostem na tloušťkový přírůst, a to kvůli zvýšení výparu z půdy a případně též proudění vzduchu, a tím dílčí redukci množství srážek vstupujících do půdy (cf. FLEMMING 1987).

Zatímco v sérii A měl průměrný tloušťkový přírůst varianty BO v letech následujících po odstranění smrků rostoucí trend, u zbývajících sérií spíše stagnoval. Naproti tomu přírůst varianty BO+SM měl v průběhu let ve všech třech sériích klesající tendenci.



**Obr. 1:** Průměrný přírůst letokruhů (TRW) borovic na jednotlivých experimentálních sériích. BO – porostní část, v které byla smrková etáž odstraněna (zásah označen šipkou); BO+SM – část s etáží smrku. Statisticky průkazné rozdíly jsou zvýrazněny (\* značí  $p < 0,05$ , \*\* značí  $p < 0,001$ ; t-test).

**Fig. 1:** Average tree ring width (TRW) at the sets of experimental plots. BO – plot with removed spruce undergrowth (dashed arrow represents year of harvest); BO+SM – plot with the undergrowth. Statistical significant differences are expressed by \* ( $p < 0.05$ ) and \*\* ( $p < 0.001$ ); t-test.



**Ob. 2:** Podíl srážek ve vegetačním období (duben až říjen) vůči dlouhodobému srážkovému normálu 1981-2010 (%) a rozdíl průměrných teplot ve vegetačním období v jednotlivých letech vůči teplotnímu normálu 1981-2010 (°C) pro Královéhradecký kraj (zdroj dat ČHMÚ).

**Fig. 2:** Average share of precipitation in vegetation period (from April to October; %) and the difference of average temperature (°C) in vegetation period to the long-term precipitation and temperature normal 1981-2010 for the district of Hradec Králové (data source CHMI).

Deficit vody vede ke změnám v metabolismu jehličí až jejich opadu (SANCHO-KNAPIK et al. 2017). Na vliv vzájemné kořenové konkurence o průsakovou vodu do půdy, z které smrky vycházejí vítězně, lze usuzovat také z rámcového porovnání olistění borovic a smrků v těchto smíšených porostech v roce 2015 a dále. Z šetření tak vyplývá, že na stanovištích s podzemní vodou mimo dosah kořenů mohou dřeviny s povrchovým kořenovým systémem lépe a dříve využívat nepravidelně rozložené a nízké srážky a ve smíšených porostech tím redukovat vodu disponibilní pro hlubokokořenní dřeviny. Určité několikaleté zpoždění změn v tloušťkovém přírůstu se dá vysvětlit kontinuitou asimilačního aparátu jehličnanů a v případě příznivějších vlhkostních poměrů jeho postupnou regenerací (BOUZIDI et al. 2019), tedy zvyšováním fotosynteticky aktivní plochy koruny. Vliv defoliace v kombinaci se suchem na snížení radiálního přírůstu byl pozorován i u dalších borovic, jako je borovice přímořská (JACQUET et al. 2014).

## Závěr

Z analýzy vyplývá, že při zvyšování biodiverzity porostů borovice přirozenou obnovou smrku pod porost vzniká v pozdějším věku nebezpečí poklesu přírůstu borovic. Tloušťkový přírůst borovic v dospělém věku je již nízký, proto přímý hospodářský efekt limitování přírůstu vlivem smrku nemusí být v krátkodobém horizontu patrný. Přírůst je však mj. odrazem vitality a zdravotního stavu, proto, zvláště v případě výskytu klimaticky nepříznivých let, může smrková etáž přispívat ke zhoršování zdravotního stavu borovic. Z analýz vyplývá, že uvolnění borových porostů od smrkové podúrovně v dospělém věku se může na stanovištích s půdní vodou mimo reálný dosah kořenů stát preventivním opatřením zvyšujícím pravděpodobnost zachování produkce borových porostů až do doby plánovaného obmýtí.

Cílový stav smíšených porostů je tedy třeba uvážit z více hledisek (biodiverzita, zdravotní stav, produkce dřevin, stabilita...). V případě směsí borovice

s hlubokokořenícími dřevinami, zvláště pokud jsou součástí porostní úrovně, lze předpokládat konkurenci v kořenovém prostoru nižší, než je tomu u podrostu smrku.

## Literatura

- BOUZIDI, H. A., L. BALDUCCI, J. MACKAY AND A. DESLAURIERS. Interactive effects of defoliation and water deficit on growth, water status, and mortality of black spruce (*Picea mariana* (Mill.) BSP). *Annals of Forest Science* 76(1). 2019, s. 1-12.
- ČHMÚ 2019a: Územní srážky. URL <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky#>. Cit: 2019-05-20
- ČHMÚ 2019b: Územní teploty. URL <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty#>. Cit: 2019-05-20
- DEL RIO, M., H. PRETZSCH, R. RUIZ-PEINADO, E. AMPOORTER, P. ANNIGHOFER, I. BARBEITO, K. BIELAK, G. BRAZAITIS, L. COLL, L. DROSSLER, M. FABRIKA, D. I. FORRESTER, M. HEYM, V. HURT, V. KURYLYAK, M. LOF, F. LOMBARDI, E. MADRICKIENE, B. MATOVIC, F. MOHREN, R. MOTTA, J. OUDEN, M. PACH, Q. PONETTE, G. SCHUTZE, J. SKRZYSZEWSKI, V. SRAMEK, H. STERBA, D. STOJANOVIC, M. SVOBODA, T. M. ZLATANOV, A. BRAVO-OVIEDO. Species interactions increase the temporal stability of community productivity in *Pinus sylvestris-Fagus sylvatica* mixtures across Europe. *Journal of Ecology*, 105(4): s. 1032-1043.
- FLEMMING, G. Wald, Wetter, Klima. Einführung in die Forstmeteorologie. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, 1987. 120 s.
- GEA-IZQUIERDO, G., B. VIGUERA, M. CABRERA AND I. CANELLAS. Drought induced decline could portend widespread pine mortality at the xeric ecotone in managed mediterranean pine-oak woodlands. *Forest Ecology and Management* 320, 2014: s. 70-82.
- JACQUET, J. S., BOSCH, A., O'GRADY, A., JACTEL, H.: Combined effects of defoliation and water stress on pine growth and non-structural carbohydrates. *Tree Physiology*, 2014, 34(4): 367-376.
- KACÁLEK, D., MAUER, O., PODRÁZSKÝ, V., SLODIČÁK, M., et al. Meliorační a zpevňující funkce lesních dřevin. Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti v nakladatelství Lesnická práce, 2017. 300 s.
- LUBOJACKÝ, J., LORENC, F., LIŠKA, J., KNÍŽEK, M.: Hlavní problémy v ochraně lesa v Česku v roce 2018 a prognóza na rok 2019. *Zpravodaj ochrany lesa*, 2019. 22: s. 14-19.
- MZE: Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2017. Ministerstvo zemědělství ČR, 2018. 116 s.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2018, URL <https://www.R-project.org/>.
- RAMSFIELD, T. D., BENTZ, B. J., FACCOLI, M., JACTEL, H., BROCKERHOFF, E. G.: Forest health in a changing world: effects of globalization and climate change on forest insect and pathogen impacts. *Forestry*, 2016, 89(3): s. 245-252.
- REDMOND, M. D., KELSEY, K. C., URZA, A. K., BARGER, N. N.: Interacting effects of climate and landscape physiography on pinon pine growth using an individual-based approach. *Ecosphere*, 2017 8(3).
- SANCHO-KNAPIK, D., SANZ, M. A., PEGUERO-PINA, J. J., NIINEMETS, U., GIL-PELEGRIN, E.: Changes of secondary metabolites in *Pinus sylvestris* L. needles under increasing soil water deficit. *Annals of Forest Science*, 2017, 74(1): 1-10.
- ŠPULÁK, O., KACÁLEK, D., LEUGNER, J. Hydrické poměry na stanovišti chudého boru – založení experimentu a první výsledky. In: M. Baláš, V. Podrázský, J. Gallo (eds.) *Proceedings of Central European Silviculture*. Vol. 8.: Pěstování lesů ve střední

Evropě. Sborník vědeckých prací u příležitosti 19. mezinárodního setkání pěstitelů lesa střední Evropy. Doksy, 4.–5. 9. 2018. Praha, Česká zemědělská univerzita v Praze 2018, s. 166–173.

VIEWEGH, J., KUSBACH, A., MIKESKA, M. Czech forest ecosystem classification. *Journal of Forest Science*, 2003, 49: 74–82.

### Poděkování

Výsledek vznikl za podpory Ministerstva zemědělství, institucionální podpora MZE-RO0118, a projektu GS LČR 01/2019 „Diferenciace stanovišť a hospodaření v porostech borovice, dubu a buku pro zmírnění nepříznivých dopadů environmentální změny“. Děkuji také pracovníkům Městských lesů Hradec Králové, a.s. za vstřícný přístup a dlouhodobou spolupráci.

### Summary

Changing climate of the last years causes worsening of the health status and dying of many tree species on various sites. As a measure for the future forest stabilization, establishment of mixed forest is often recommended. Apart from benefits coming from diversified resistance and resilience of each species to various environmental stresses, mixed forest can also bring risks arising from the inter-specific competition. Mostly, trees with flat root system as Norway spruce are more sensitive to climate extremes. However, recent worsening of the health status afflicts also pine forests. In mature mixed stands of lowland region of Eastern Bohemia, increased defoliation of Scotch pine is in contrast with still stabilized health of its subcanopy spruce. The aim of the paper is to verify influence of the subcanopy spruces on pine in mixed stands. Diameter increment was analysed, for growth dynamic is largely the consequence of the health status of the tree.

In 2018, increment cores were taken at the breast height of min. 30 pine trees of three duplets in mature mixed pine-spruce stands. The forest site type of the stands was oak with pine (1M, see Viewegh et al. 2003), all analysed stands grow on sandy soil with groundwater in high depths completely out of reach of the roots. At each experimental duplet (set), pines were cored in stand parts i) with spruce subcanopy and ii) where subcanopy was harvested in 2012 or 2013 (Tab. 1). The spruce of max. 10 m in height represented max. 20 % of number and 5 % of basal area of the stands. The cores were dried, scanned and analysed in Letokruhy software (version 2.2). The data were statistically analysed in R (R Core Team 2018) by t-test.

The analyses proved relative increase of the tree ring width (TRW) of pines in each stand part where spruces were harvested (Fig. 1). The difference was significant since 4<sup>th</sup> year after the removal of spruces in A and B experimental sets. The trigger of the differentiation of the TRW seem to be extremely dry year of 2015 with high temperatures (Fig. 2). In the third duplet (C), significant increase of TRW was affirmed already next year after the spruce removal. Radial growth of all stand parts with spruce was decreasing.

The analysis proved negative impact of the subcanopy spruces on diameter increment of the pines. This was probably caused by root competition for soil water on the sites with deep groundwater level, which is out of the reach of the roots. Flat root system of spruce benefits, even in low precipitation events, form the opportunity to uptake water earlier than pines. Reduction of the subcanopy spruces in mature pine forests on oak with pine nutrient poor site (1M, see Viewegh et al. 2003) with deep ground water can help to keep pine production till the planned time of harvest. Making and maintaining of target mixtures of tree species should be considered from

many points of view (biodiversity, health status, production, stability...). In stand mixtures of pine with species rooting in more depth than spruce does, less root competition for water can be found.



## TLOUŠŤKOVÝ PŘÍRŮST DOSPĚLÝCH JEDINCŮ BOROVICE LESNÍ PO SILNÉM UVOLNĚNÍ

### STEM DIAMETER INCREMENT OF MATURE SCOTS PINE TREES AFTER RELEASE CUT

Brichta Jakub\*, Bílek Lukáš, Vacek Zdeněk

Česká zemědělská univerzita, Fakulta lesnická a dřevařská, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchdol, ČR

\*corresponding author: brichtaj@fld.czu.cz

#### Abstract

*This article deals with individual tree diameter increment of mature Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees after release cut. The study is focused mainly on individual seed trees. Measurement was done altogether in 22 forest stands at three different forest administrations (State Forest of the Czech Republic: LS Choceň, LS Nasavrky a LS Plasy). By Pressler auger 104 trees were sampled in total. Increment cores were further analyzed in dendrochronological laboratory. By comparing tree ring widths 10 years before and 10 years after release cut, there mature trees of Scots pine were found responding to that partial logging in stem diameter increment for more than half of the trees. Nevertheless, the Student's t-test confirmed statistically significant increment only in one third of tree individuals. The study proved, that mature trees of Scots pine reacted to release cut very quickly; i.e. during one or two years after the partial logging. The period with an elevated stem diameter increment last for 18 years on average. The reaction of stem diameter increment of individual Scots pine trees can be expected on the natural pine habitats at lowlands (Target management unit- CHS 13) and on the acidic soils at lowlands and also uplands (CHS 23 and 43). At these sites, 50 % probability for elevated stem diameter increment could be expected.*

**Keywords:** Standard trees, light increment, dendrometric characteristics

#### Abstrakt

*Tento článek se zabývá vlivem uvolnění na tloušťkový přírůst dospělých jedinců borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.). Studie byla zaměřena především na jedince ve formě semenných výstavek. Sběr dat proběhl v rámci tří lesních správ, LČR, s. p.: LS Choceň, LS Nasavrky a LS Plasy, celkem ve 22 porostech. Pomocí Presslerova přírůstového nebozezu byly odebrány vývrty ze 104 stromů. Tyto vývrty byly dále analyzovány s ohledem na tloušťky jednotlivých letokruhů v dendrochronologické laboratoři. Dle porovnání tlouštěk letokruhů 10 let před uvolněním a 10 let po uvolnění bylo zjištěno, že dospělí jedinci borovice reagovali na uvolnění hospodářsky významným navýšením na tloušťkovém přírůstu ve více než polovině případů, dle Studentova t-testu statisticky významného navýšení přírůstu dosáhla třetina stromů. Výzkum odhaluje, že dospělé borovice reagují na uvolnění velmi rychle, a to takřka bezprostředně či do dvou let po momentu uvolnění. Průměrná doba reakce zvýšeného tloušťkového přírůstu byla vyčíslena na 18 let. Přírůstovou reakci dospělých jedinců lze očekávat na přirozených borových stanovištích (CHS 13) a na kyselých stanovištích nižších a středních poloh (CHS 23 a 43). Na těchto stanovištích je možné počítat s minimálně 50 % pravděpodobností výrazného světlostního přírůstu.*

**Klíčová slova:** Výstavky, světlostní přírůst, dendrometrické charakteristiky

#### Úvod a problematika

Vedle vlivu klimatické změny a populačních gradací podkorního hmyzu je jedním z klíčových důvodů zhoršeného stavu lesů v ČR velký podíl stejnověkých monokultur zakládaných v minulosti (MARTINÍK & DUŠEK 2015). V poslední době jako reakce na tento nepříznivý stav prochází lesnictví celou řadou ideových proměn (HLÁSNÝ et al. 2014, JONÁŠOVÁ 2013, SOUČEK & TESAŘ 2008, BÍLEK et al. 2017), které v prostředí střední Evropy nacházejí společný jmenovatel v tzv. přírodě blízkém pěstování lesů (PBPL) (VACEK & PODRÁZSKÝ 2006). Třebaže se dnes dle zásad PBPL v ČR na celé řadě majetků již hospodaří, zdají se v případě světlomilných dřevin možnosti vytvářet diversifikované a stabilní porosty omezenější než v případě dřevin stínomilných.

Borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) zaujímá v současné době na území České republiky více než 16 % z celkové rozlohy lesů a je zde po smrku ztepilém (*Picea abies* /L./ Karst.) druhou nejvýznamnější hospodářskou dřevinou (MZE 2017). Vzhledem k probíhající klimatické změně a posunu ekologického optima dřevin se pravděpodobně zejména v nižších a středních polohách bude její význam nadále zvyšovat (HLÁSNÝ et al. 2011). Nicméně na těchto často suchem ohrožených stanovištích bude nutná modifikace převažujícího holosečného hospodaření s cílem zvýšit stabilitu lesních ekosystémů a v maximální míře využívat přirozených procesů pro zvolené pěstební a hospodářské cíle (BRANG et al. 2014, DRÖSSLER et al. 2017).

V případě borového hospodářství je v posledních desetiletích zřejmý trend zvyšovat podíl přirozené obnovy. Lze jí docílit holosečně v blízkosti stěny mateřského porostu nebo za pomoci semenných výstavků či clonným obnovním způsobem (BÍLEK et al. 2017). Přirozená obnova pak představuje významnou úsporu na zalesnění a zajištění lesního porostu (SIMONSEN 2013), zvýšení biodiverzity lesního ekosystému (GAZTELURRUTIA et al. 2017, SIMONSEN 2013), lepší hospodaření s vodou (MONTERO et al. 2001), udržení stávající genetické informace (SIMONSEN 2013) a zlepšuje pohled veřejnosti na lesní hospodářství.

Vedle výše uvedených efektů sledujeme díky rozvolnění korunového zápoje u clonné obnovy a výstavkového hospodářství i zvýšení odolnosti borových porostů proti abiotickým i biotickým činitelům (SATHOLF et al. 2015, CHURCHILL et al. 2013, MERLIN et al. 2015). Podobně jako porosty různověké (BOTTERO & VACCHIANO 2015), rozvolněné borové porosty vykazují i lepší odolnost vůči suchu (GAZTELURRUTIA et al. 2017). Důvody lze spatřovat v tom, že v plně zapojených porostech vysoká míra korunové a kořenové konkurence zvyšuje stres suchem (RAÚL SÁNCHEZ-SLAGUERO et al. 2015). Naopak jedinci v porostech řidších mají lépe vyvinutou korunu, vykazují vyšší přírůst a mají i vyšší mechanickou stabilitu (SATHOLF & AMMER 2015). Nezanedbatelným přínosem pak může být světlostní přírůst dospělých jedinců borovice (CHROUST 2002, SVOBODA et al. 2015, SOUČEK 2006, BATELKA 1984).

S ohledem na přírůst uvolněných jedinců lze obecně říci, že dřeviny stín snázející v dospělosti reagují na uvolnění výrazněji nežli dřeviny světlomilné (SIMON & VACEK 2008, SVOBODA et al. 2015). Ačkoli je borovice, podobně jako dub, výrazně světlomilná dřevina, ve starším věku reaguje na uvolnění prokazatelně menším tloušťkovým přírůstem nežli dub (KADAVÝ 2009). Někteří autoři (VALINGER 1992, SOUČEK 2006, SVOBODA et al. 2015) však s ohledem na borovici lesní naopak hovoří o silné pozitivní reakci na uvolnění, především pak o efektu světlostního přírůstu na vypěstování cenných silných sortimentů. Možnost reakce na uvolnění je v prvopočátku mimo větší oslunění koruny dána zejména zásobením vodou. Na sušších stanovištích se pak tedy projeví nižší tloušťkový přírůst (DRAGOUN et al. 2015).

Cílem tohoto příspěvku bylo vyhodnotit tloušťkový přírůst výstavků borovice lesní, stanovit jeho hospodářskou významnost a vymežit začátek a délku trvání zvýšeného tloušťkového přírůstu.

## Metodika

### **Charakteristika zájmového území**

Studie byla realizována na majetku státního podniku Lesy ČR, s. p. ve 22 porostech na území 3 lesních správ (LS). V případě revírů Kunětická hora a Choceň (LS Choceň) se jednalo o přírodní lesní oblast (PLO) 17 – Polabí, v případě revíru Slatiňany (LS Nasavrky) PLO 31 – Českomoravské mezihorí, revír Špankov (LS Plasy) se nacházel v PLO 6 – Západočeská pahorkatina.

S ohledem na stanovištní podmínky bylo měřeno především v rámci CHS 13, 23, 43, 25, 45 a 27. Většina dat však byla získána pro CHS: 13, 23 a 43, ostatní stanoviště tak mají spíše doplňkový charakter. Podstatná část měřených vzorků se nacházela na SLT: 0Q, 0P, OK, 2M, 2P, 2K, 2I a 3I.

### **Sběr dat**

U každého stromu byly zaznamenány GPS souřadnice a příslušnost k porostní skupině. Výčetní tloušťka stromu byla odvozena z měření obvodovým pásmem s přesností na mm, výška stromu a výška nasazení koruny byla změřena výškoměrem Forestor Vertex IV (Haglöf, Švédsko) s přesností na 0,1 m, průmět koruny byl změřen pásmem jako vzdálenost okraje koruny ve směru čtyř světových stran s přesností na dm. S pomocí Presslerova přírůstového nebozezu byl ve výšce 1,3 m směrem na sever odebrán vývrt do středu stromu. Celkem byly zaznamenány charakteristiky 104 výstavků borovice. Ve většině případů byl moment uvolnění zjištěn ze známých dat lesní hospodářské evidence. V porostech, u nichž nebylo možné dohledat termín těžebního zásahu, byl tento moment odvozen na základě rozdílu věku vrchní a spodní etáže či kultury.

### **Zpracování a analýza dat**

Pro analýzu vývrtů vybraných jedinců bylo použito dendrochronologické datování, a to s využitím softwaru TSAP-Win (RINNTECH®). Pomocí měřicího stolu LINTAB™ (RINNTECH®) byly měřeny tloušťky jednotlivých letokruhů s přesností na 0,01 mm. Po provedení základního datování byla data výjimečně opravena o chybějící letokruhy v softwaru CDendro (Cybis.se). Z důvodu zachování trendu konkrétních přírůstů nebyla prováděna detrendace. Data letokruhových sérií byla prostřednictvím programovacího jazyka v matematickém softwaru R (R Core Team 2014) převedena do textových souborů, následně pak do databáze v MS Excel.

Pro zjištění reakce na uvolnění byla u všech 104 vzorků porovnána průměrná šířka letokruhu za periodu 10 let před uvolněním a 10 po uvolnění (včetně roku uvolnění). Pro produkčně významné navýšení byla stanovena hodnota zvýšení přírůstu alespoň o 10 %. Statistická významnost reakce na uvolnění byla posuzována párovým Studentovým t-testem pro dva výběry s různým rozptylem, a to na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . Statistické analýzy byly provedeny v programu R (R Core Team 2014).

Dále byla zkoumána míra zvýšeného tloušťkového přírůstu. Ze souboru 62 pozitivně reagujících jedinců (s navýšením tloušťkového přírůstu alespoň 10 %), bylo vybráno 52, u kterých bylo možné porovnat desetileté periody před a po uvolnění. Míra navýšení přírůstu byla odvozena na základě rozdílu průměrné šířky letokruhů po uvolnění a před uvolněním. Tloušťky letokruhů před a po uvolnění byly dále přepočteny na změnu výčetní tloušťky stromů za 10 let. Začátek a konec přírůstové reakce byl určen jako moment, kdy přírůst po uvolnění (odvozen jako klouzavý průměr tří let) překročil, resp. poklesl pod hodnotu průměrné tloušťky 10 letokruhů před uvolněním.

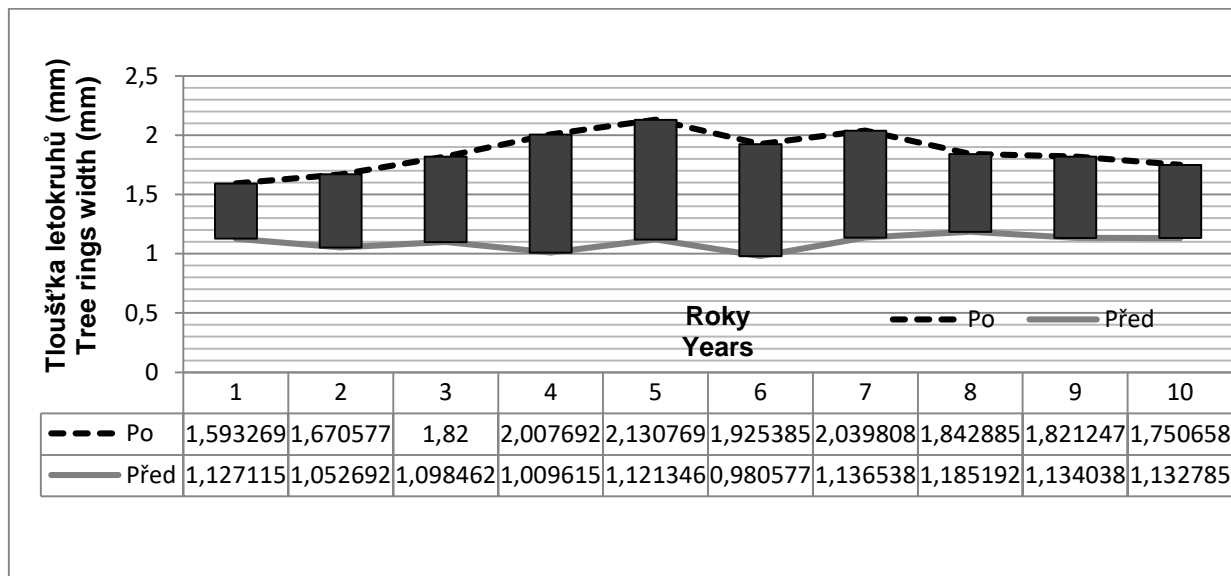
## **Výsledky**

### **Reakce výstavků borovice na uvolnění**

Ze 104 analyzovaných jedinců je u 77 z nich (74 %) patrný vyšší tloušťkový přírůst po uvolnění, 27 jedinců (26 %) vyšší přírůst po uvolnění nevykazuje. Ze zmíněného souboru 77 stromů 62 jedinců vykázalo hospodářsky významné navýšení přírůstu o více než 10 %. Soubor 62 stromů byl dále zmenšen na 52 jedinců, tedy o ty,

u kterých nebylo možné měřit letokruhy po celých 10 let po momentu uvolnění (nedávno uvolněné). Statistiky signifikantní zvýšení přírůstu pak bylo zaznamenáno pouze u 32 jedinců.

Průměrné zvýšení tloušťky letokruhů u 52 vzorků s produkčně významným navýšením dosahuje + 0,76 mm (+ 70 % oproti přírůstu před uvolněním) (Fig. 1).

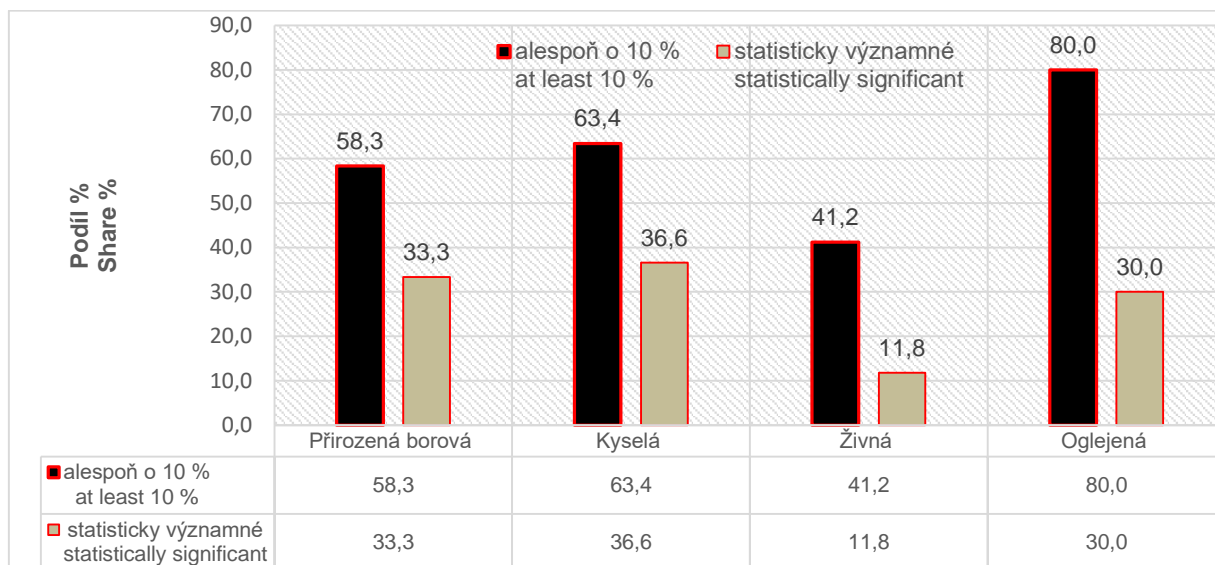


**Obr. 1:** Křivky znázorňující průměrnou tloušťku letokruhu pro jednotlivé roky 10 let před a 10 let po uvolnění.

**Fig. 1:** Curves of average width of tree rings for each year during 10 years before and 10 years after the partial logging.

### Reakce na uvolnění pro jednotlivá stanoviště

Na přirozených borových stanovištích reagovalo alespoň 10 % zvýšením přírůstu 21 jedinců z počtu 36 měřených, tj. 58,3 %, na kyselých stanovištích pak 26 ze 41 (63,4 %), na živných stanovištích 7 ze 17 jedinců (41,2 %) a 8 z 10 (80 %) jedinců vykazovalo zvýšený přírůst na oglejených stanovištích. Počet vzorků se statisticky významným zvýšením přírůstu je pak následující: přirozená borová stanoviště – 12 (33,3 %), kyselá stanoviště – 15 (36,6 %), živná stanoviště – 2 (11,8 %) a oglejená stanoviště – 3 jedinci (30 %) (Fig. 2).



**Obr. 2:** Podíl pozitivně reagujících jedinců alespoň o 10 % a podíl jedinců se statisticky signifikantní reakcí ze souboru měřených jedinců na různých stanovištích.

**Fig. 2:** The share of trees with positive reaction of at least 10 % and trees with statistically significant reaction from a set of individuals measured at different forest sites.

S přihlédnutím k množství vzorků lze spolehlivě vyhodnotit pouze kyselá a přirozená borová stanoviště. Na těchto stanovištích na uvolnění pozitivně reagovala více než polovina jedinců, statisticky signifikantní navýšení přírůstu pak vykazuje více než třetina vzorků.

### **Rychlost nástupu, doba trvání a míra pozitivní reakce po uvolnění**

Šířka letokruhů před uvolněním dosahuje u jedinců s hospodářsky významným navýšením tloušťkového přírůstu průměrně 1,10 mm a šířka letokruhů po uvolnění 1,86 mm. Tloušťkový přírůst z hlediska výčetní tloušťky jedince tak dosáhl kumulativně za celou periodu 10 let před uvolněním v průměru 22 mm, zatímco za dobu 10 let po uvolnění, tloušťkový přírůst v průměru 37 mm.

Rychlost nástupu a doba trvání světlostního přírůstu byla sledována pro jedince s navýšením tloušťkového přírůstu alespoň o 10 % a s jednoznačně určenou dobou uvolnění ( $n = 36$ ). U 22 (61,11 %) vzorků bylo patrné zvýšení přírůstu bezprostředně po uvolnění, 11 (30,55 %) jedinců pak vykázalo reakci 1 rok po uvolnění a 3 jedinci (8,33 %) až 2 roky po uvolnění. U jedinců, kde nebylo možné přesně stanovit rok uvolnění se zvýšený tloušťkový přírůst dostavil zpravidla do 4 let.

Doba trvání reakce (zvýšeného tloušťkového přírůstu) byla zjištěna v rozmezí 2-65 let, průměrně však 18 let se střední hodnotou 14 let. Délka trvání zvýšeného tloušťkového přírůstu se liší od charakteru stanoviště a míry uvolnění. Průměrná doba trvání této reakce dosahuje na přirozených borových stanovištích (CHS 13); 19 let se střední hodnotou 17 let, kdežto na kyselých stanovištích (CHS 23 a 43); 17 let se střední hodnotou 9 let.

### **Diskuze**

Dle různých autorů lze s výrazným světlostním přírůstem dospělých jedinců počítat pouze u dřevin stín snášejících, narozdíl od borovice, kde je tento přírůst slabý (SIMON & VACEK 2008, TESAR 2010, SVOBODA et al. 2015). V rámci šetření však bylo zjištěno, že dospělí jedinci borovice na uvolnění reagovaly hospodářsky

významným navýšením tloušťkového přírůstu, a to ve více než v polovině případů, statisticky významné navýšení přírůstu pak vykazovala třetina vzorků. Oproti průměrnému přírůstu na výčetní tloušťce za periodu 10 let před uvolněním – 22,06 mm, činí průměrný přírůst na výčetní tloušťce za 10 let po uvolnění 37,20 mm. Průměrná hodnota světlostního přírůstu za dobu 10 let po uvolnění pro 62 jedinců s pozitivní reakcí, oproti růstu před uvolněním, dosahuje +15,14 mm (tj. +70 %). V konstatování světlostního přírůstu se výsledek práce shoduje například s tvrzením SOUČKA (2006), který uvádí, že na kvalitních borovicích lze po uvolnění docílit zvýšení přírůstu, a to především formou clonných sečí nebo odtěžením porostu až do podoby výstavků. Dle BATELKY (1984) je vliv rozvolnění zápoje dospělého borového porostu na tloušťkový přírůst (s cílem podsadby či přirozené obnovy) rovněž významný a ponechané borovice mohou vykazovat zvýšení tloušťkového přírůstu až o 50 %. V případě našich šetření bylo dokonce u několika jedinců zjištěno, že vlivem uvolnění se tloušťkový přírůst zvýšil až o více než 200 %. Tento extrémní jev byl patrný právě u jedinců s výrazně potlačeným růstem (úzké letokruhy) v době před uvolněním; jako důsledek následného výrazného uvolnění.

Rychlost nástupu reakce dospělých borovic na prosvětlení posoudil SVOBODA et al. (2015) jako velmi pomalou. WAGENKNECHT (1962) v CHROUST (2002) dokonce tvrdí, že efekt uvolnění se na výčetní tloušťce projevuje až po dlouhé době při předržení uvolněných jedinců. V rámci práce však byla zaznamenána velmi rychlá reakce na uvolnění, kdy většina pozitivně reagujících jedinců vykazovala hospodářsky významný světlostní přírůst bezprostředně či do dvou let po realizovaném uvolnění. K podobnému výsledku došel také VALINGER et al. (2000), který zaznamenal výrazný světlostní přírůst dospělých jedinců borovice v prvních 4 letech po uvolnění.

Batelka (1984) vyčíslil dobu zvýšené přírůstové reakce na maximálně 10 let. VALINGER et al. (2000) uvádí, že ačkoli se výrazná reakce na uvolnění vytrácí po 8 letech, zvýšený tloušťkový přírůst je patrný ještě 4 roky poté. V našem případě byla průměrná doba zvýšené tloušťkové reakce na základě uvolnění stanovena na 18 let. Při uvolnění korunového zápoje dochází díky zmenšení intercepce k pronikání většího množství srážek do porostu. Větší přísun vláhy a slunečního záření zlepšují růstové poměry, zrychlují koloběh živin a celkově působí pozitivně na lesní ekosystém (CHROUST 1997). Nicméně studie odhalila, že světlostní přírůst mateřského porostu (výstavků) iniciovaný právě uvolněním korunového zápoje, se výrazně zpomalil či zcela ustal průměrně po 18 letech, respektive v takovém období, kdy spodní etáž dorůstá stadia tyčkoviny. Můžeme se tedy domnívat, že se tak děje přirozeně proto, že následný porost především prostřednictvím svých kořenů konkuruje porostu mateřskému (RAÚL SÁNCHEZ-SLAGUERO et al. 2015), a tedy zpomaluje jeho přírůst.

Největšího podílu, tj. 80 % jedinců, jež vykazovaly hospodářsky významný světlostní přírůst, dosáhla oglejená stanoviště (CHS 27), kde bylo ovšem měřeno pouze 10 výstavků. Na živných stanovištích (CHS 25 a CHS 45) tento podíl činil 41 %, tedy nejméně, nicméně opět z nepříliš rozsáhlého souboru (7 ze 17 jedinců). Jako relevantní výsledky lze označit 58 % (21 z 36 jedinců) podíl reagujících jedinců na přirozených borových stanovištích (CHS 13) a 63 % (26 ze 41) podíl na stanovištích kyselých (CHS 23 a CHS 43). Právě na přirozených borových stanovištích (CHS 13) je borovice v přirozené dřevinné skladbě bezkonkurenční (MIKESKA 2006), tedy zde můžeme obecně pozitivní reakci očekávat. Nicméně světlostní přírůst byl patrný i na stanovištích kyselých (CHS 23 a 43), třebaže zde borovice nenalézá ekologická optima. PLÍVA (1987) potvrzuje, že se borovici lesní daří i zde, což souhlasí se zjištěním výrazného světlostního přírůstu. Na stanovištích CHS 13, 23 a 43 lze tedy

i v budoucnu počítat s velkým významem borovice, kdy zjištěné výsledky naznačují možnost využívat světlostního přírůstu při obnově či diferenciaci porostní struktury.

Takřka shodné výsledky pak dokládá BEBBER et al. (2004) ve studii, která se zabývala světlostním přírůstem borovice vejmutovky (*Pinus strobus* L.). Borovice vejmutovka dle BEBBERA et al. (2004) reaguje zvýšeným tloušťkovým přírůstem za 3 roky po uvolnění, a to průměrně 68 % (1,03 mm) světlostním přírůstem.

## Závěr

Z celkového souboru měření vykazala více než polovina jedinců hospodářsky významný světlostní přírůst po uvolnění, statisticky signifikantní přírůst z toho však vykazala pouze třetina borovic. Na přirozených borových stanovištích reagovalo na uvolnění hospodářsky významně 58 % stromů, na kyselých stanovištích pak 63 %. U těchto jedinců byl tento přírůst oproti přírůstu před uvolněním vyšší v průměru o 70 %. Průměrná doba trvání zvýšené přírůstové reakce pak byla stanovena na 18 let, konkrétně: průměrně 19 let (se střední hodnotou 17 let) pro přirozená borová stanoviště (CHS 13) a 17 let (resp. 9 let) pro stanoviště kyselá (CHS 23 a 43).

## Zdroje

- BATELKA, J. Reakce borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) na uvolnění v předobnovním období a možnosti využití ke zvýšení celkové objemové produkce. *Lesnictví*, 1984. 1: s. 33-44.
- BEBBER, D. P., THOMAS, S. C., COLE, W. G., & BALSILLIE, D. Diameter increment in mature eastern white pine *Pinus strobus* L. following partial harvest of old-growth stands in Ontario, Canada. *Trees*, 2004. 18(1): s. 29-34.
- BÍLEK, L., REMEŠ, J., ŠVEC, O., VACEK, Z., ŠTÍCHA, V., VACEK, S. & JAVŮREK, P. Ekologicky orientované pěstování porostů v podmínkách nižších až středních poloh. Strnady, VÚLHM. *Lesnický průvodce*, 2017. 9/2017. ISBN 978-80-7417-149-9.
- BOTTERO, D., CASTAGNERI A., MOTTA, R., VACCHIANO, G. Repeated spring precipitation shortage alters individual growth patterns in Scots pine forests in the Western Alps. *Trees*, 2015. 29(6): s. 1699–1712.
- BRANG P., SPATHELF P., LARSEN J. B. et al. Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change, *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 2014. 87(4): s. 492–503.
- BRICHTA J. Vliv uvolnění na tloušťkový přírůst dospělých jedinců borovice lesní. Praha, 2018. Diplomová práce. *Česká zemědělská univerzita v Praze. Fakulta lesnická a dřevařská. Katedra pěstování lesů*, 2018.
- DUŠEK, D., NOVÁK, J. & SLODIČÁK, M. Experimenty s výchovou borovice lesní na jižní Moravě – Strážnice III. *Zprávy lesnického výzkumu*, 2011. 56(4): s. 283-290.
- DRAGOUN, L., STOLARIKOVÁ, R., MERGANIČ, J., ŠÁLEK, L. & KRYKORKOVÁ, J. Porovnání vlivu příměsí na růstové veličiny, strukturu a stabilitu porostu borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) na antropogenních půdách sokolovského regionu/Influence of admixed tree species on growth, structure and stability of Scots pine stands on anthropogenic soils of the Sokolov region. *Forestry Journal*, 2015. 61(1): s. 44-51.
- DRÖSLER, L. et al. Natural regeneration in a multi-layered *Pinus sylvestris*-*Picea abies* forest after target diameter harvest and soil scarification, 2017. 1(14).
- GAZTELURUTIA, M., OVIEDO A., PRETZSCH, H., LÖF, M., RUIZ-PEINADO, R. A review of thinning effects on Scots pine stands. From growth and yield to new challenges under global change. *Forest Systems*, 2017. ISSN 2171-5068, 26(2).

- HLÁSNÝ, T., HOLUŠA, J., ŠTĚPÁNEK, P., TURČÁNI, M., POLČÁK, N. Expected impacts of climate change on forests: Czech Republic as case study. *Journal of Forest Science*, 2011, 57, 10: s. 422–431.
- HLÁSNÝ, T., MÁTYÁS, C., SEIDL, R., KULLA, L., MERGANIČOVÁ, K., TROMBIK, J., & KONÓPKA, B. Climate change increases the drought risk in Central European forests: What are the options for adaptation? *Forestry Journal*, 2014. 60(1): 5-18.
- CHROUST, L. Ekologie výchovy lesních porostů. Opočno: VÚLHM-VS, 1997. 277 s.
- CHROUST, L. Jak dál ve výchově borových porostů? In: *Borovice – semenářství, školkařství, pěstování. Sborník referátů z celostátního semináře*. Mimoň, Sest. J. Janota. Praha, Česká lesnická společnost, 2002. 47–51.
- CHURCHILL D.J., LARSON A.J., DAHLGREEN M.C., FRANKLIN J.F., HESSBURG P.F., LUTZ J.A. Restoring forest resilience: from reference spatial patterns to silvicultural prescriptions and monitoring, *Forest Ecology and Management*, 2013. 291: s. 442–457.
- JONÁŠOVÁ, M. Přírodní disturbance – klíčový faktor obnovy horských smrčín, *Živa*, 2013. 5: s. 216–219.
- KOLIBÁČ, P. & JELÍNEK, M. *Realizace přírodě blízkého hospodaření v lesích*, AOPK, 2011. ISBN: 978-80-87457-17-7.
- MARTINÍK, A. & DUŠEK, D. Potenciál mladších jedlových porostů (*Abies alba* Mill.) k přirozené obnově pod chřadnoucím smrkem na severní Moravě, *Zprávy lesnického výzkumu*, 2015. 60: s. 267-273.
- MERLIN, M., PEROT, T., PERRET, S., KERBOULEWSKY, N., VALLET, P. Effects of stand composition and tree size on resistance and resilience to drought in sessile oak and Scots pine, *Forest Ecology and Management*, 2015. 339: s. 22–33.
- MIKESKA M., VACEK S., PRAUSOVÁ R., SIMON J., MINX T., PODRÁZSKÝ V. et al. *Typologické vymezení, struktura a management přirozených borů a borových doubrav v ČR*. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce, 2008. 447 s. ISBN 978-80-87154-20-5.
- MONTERO, G., I. CANELLAS, C., OORTEGA, M., DEL RIO, M. Results from a Thinning experiment in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) natural regeneration stand in the Sistema Ibérico Mountain Range (Spain). *Forest Ecology and Management*, 2001. 145(1–2): s. 151–61.
- MORCH, M. *Gradace kůrovce na revíru Slatiňany po větrné kalamitě Ivan v roce 2008, 2013*, Praha, Česká zemědělská univerzita v Praze.
- MUSIL, I. & HAMERNÍK, J. *Jehličnaté dřeviny: přehled nahosemenných i výtrusných dřevin: lesnická dendrologie 1*. Praha, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2003. 177 s. ISBN 80-213-0992
- MZE, Č. R. *Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2016, 2017*. [online].
- SÁNCHEZ-SALGUERO, R., LINARES, J.C., CAMARERO, J.J., MADRIGAL-GONZÁLEZ, J., HEVIA, A., SÁNCHEZ-MIRANDA, Á., BALLESTEROS-CÁNOVAS, J., ALFARO-SÁNCHEZ, R., GARCÍA-CERVIGÓN, A I., BIGLER, CH., RIGLING, A. Disentangling the effects of competition and climate on individual tree growth: A retrospective and dynamic approach in Scots pine. *Forest Ecology and Management*, 2015. 358: s. 12-25.
- SIMON, J. & VACEK, S. *Hospodářská úprava lesů: výkladový slovník hospodářské úpravy lesů*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008. ISBN 978-80-7375-140-1.
- SIMONSEN, R. Optimal regeneration method – planting vs. natural regeneration of Scots pine in northern Sweden. *Silva Fennica*, 2013. 47 (2): 928., s. 23.



- SLOUP, M. & LEHNEROVÁ, L. Effect of early tending measures on the growth and development of young pine stand from natural regeneration. *Zprávy lesnického výzkumu*, 2016. 61(3): s. 213-222.
- SOUČEK, J. Úprava druhové skladby borových porostů. *Lesnická práce*, 2006. 85: 07/06.
- SOUČEK J., TESAŘ V. Metodika přestavby smrkových monokultur na stanovištích přirozených smíšených porostů. Recenzovaná metodika. *Lesnický průvodce*, 2008. 4: 37 s.
- SPATHELF, P., BOLTE, A., VAN DER MAATEN, E. Is close-to-nature silviculture (CNS) an adequate concept to adapt forests to climate change? *Landbauforschung*, 2015. 65: s. 161–170
- SPATHELF, P. & CHRISTIAN A. Forest management of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Northern Germany-a brief review of the history and current trends. *Forstarchiv*, 2015. 86(3): s. 59–66.
- SPEER, J. H. *Fundamentals of tree-ring research*. University of Arizona Press, 2010.
- SVOBODA, J., DOHNANSKÝ, T. & KOTEK, K., et al. *Program trvale udržitelného hospodaření v lesích*. Hradec Králové: Lesy České republiky, s.p., 2015. ISBN 978-80-86945-27-9.
- VACEK, S., & PODRÁZSKÝ, V. *Přírodě blízké lesní hospodářství v podmínkách střední Evropy*. Kostelec nad Černými lesy: ÚZPI Praha, 2006. ISBN 80-213-1561-X, 74 p.
- VALINGER, E. Effects of thinning and nitrogen fertilization on stem growth and stem form of *Pinus sylvestris* trees. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1992. 7(1-4): s. 219-228.
- VALINGER, E., ELFING, B., & MÖRLING, T. Twelve-year growth response of Scots pine to thinning and nitrogen fertilisation. *Forest Ecology and Management*, 2000. 134(1-3): s. 45-53.
- VANNINEN, P. Allocation of above-ground growth in *Pinus sylvestris* – impacts of tree size and competition. *Silva Fennica*, 2004. 38(2): 155–166.
- WEISE, U., EEHRING, A. *Growth and value yield of two-aged conifer stands in Baden-Württemberg. Mitteilungen der Forstlichen Versuchs-in*. Forschungsanstalt, 1993.

## Poděkování

Výzkum byl podpořen z prostředků Fakulty lesnické a dřevařské, ČZU v Praze, projekt IGA 2019: *Udržitelný lesnický management definovaný na základě harmonizace jednotlivých složek lesních ekosystémů v kontextu probíhající klimatické změny* (č.p.: B\_19\_05).

## Summary

The study is focused on the diameter growth of individual Scots pine seed trees after release cut. Measurement was done in different forest sites in three forest administrations (State Forest of the Czech Republic: LS Choceň, LS Nasavrky a LS Plasy). By Pressler auger 104 trees were sampled in total. Increment cores were further analyzed in dendrochronological laboratory. By comparing tree ring widths 10 years before and 10 years after the release cut, more than half of the trees responded to that partial logging by increased diameter increment. Nevertheless, the Student's t-test confirmed statistically significant increment only in one third of tree individuals. The study proved, that mature trees of Scots pine reacted to release cut very quickly; i.e. during one or two years after the partial logging. The tree rings width before release cut was in average 1.10 mm and tree rings width after the release cut

was in average 1.86 mm. The period with an elevated stem diameter increment lasted for 18 years on average. Higher diameter increment of Scots pine trees can be expected on natural pine sites (Target management unit - CHS 13) and on acidic sites in lower and middle elevations (CHS 23 and 43). For example on natural pine sites is a 58% probability of elevated stem diameter increment, in the case of acidic sites in lower and middle elevations it is 68% probability.

## HMOTNOSŤ SUŠINY A SPALNÉ TEPLA NADZEMNEJ BIOMASY STROMOV BOROVICE LESNEJ (*PINUS SYLVESTRIS* L.)

### THE WEIGHT OF DRY MATTER AND CALORIFIC VALUE OF ABOVE-GROUND TREE BIOMASS OF SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.)

Rudolf Petráš<sup>1\*</sup>, Julian Mecko<sup>1</sup>, Ján Kukla<sup>2</sup>, Margita Kuklová<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav, T. G. Masaryka 22, Zvolen, SK,

<sup>2</sup>Ústav ekológie lesa Slovenskej akadémie vied, Štúrova 2, Zvolen, SK

\*corresponding author: rudolf.petras@nlcsk.org

#### Abstract

*The weight of dry matter and the calorific value content of Scots pine trees were derived in this work. The empirical material consists of biomass samples from 10 trees of Scots pine growing in forest stands of Slovakia. A total of 80 samples were collected for the weight of dry matter, of which 30 were intended for wood and bark, 10 for small-wood and 10 for twigs and needles. Samples of only half the number of trees were used for the calorific value. The weight of dry matter and calorific value of the above-ground tree biomass was derived depending on their diameter and height. The weight of dry matter and calorific value of tree biomass increases with their diameter and height. With tree heights of 10, 20 and 30 m and diameter of 30, 50 and 60 cm, the dry matter has weight about 190, 850 and 1700 kg. The calorific value content is approximately 4, 18 and 35 GJ for the same tree dimensions. The proportion of woody fraction is of decisive importance in the weight of dry matter and calorific value.*

**Keywords:** pine, biomass, wood, bark, small-wood, needles

#### Abstrakt

*V práci sa odvodila hmotnosť sušiny a obsah spálneho tepla pre stromy borovice sosny. Empirický materiál tvoria vzorky biomasy z 10 stromov borovice sosny rastúcich v lesných porastoch Slovenska. Pre hmotnosť sušiny sa odobralo celkom 80 vzoriek z čoho je po 30 vzoriek pre drevo a kôru, 10 vzoriek pre tenčinu a 10 vzoriek pre tenké konáriky a ihličie. Pre spalné teplo sa použili vzorky len z polovičného počtu stromov. Hmotnosť sušiny a spálneho tepla nadzemnej biomasy stromov sa odvodila v závislosti od ich hrúbky a výšky. Hmotnosť sušiny a spalné teplo biomasy stromov sa s ich hrúbkou a výškou zvyšujú. Pri výškach stromov 10, 20 a 30 m a hrúbkach 30, 50 a 60 cm má sušina približne 190, 850 a 1700 kg. Obsah spálneho tepla dosahuje pri rovnakých dimenziách stromov približne 4, 18 a 35 GJ. V hmotnosti sušiny a spálneho tepla má rozhodujúci význam podiel drevnej frakcie.*

**Kľúčové slová:** borovica, biomasa, drevo, kôra, tenčina, ihličie

#### Úvod a problematika

Biomasa stromov je charakteristická nielen svojimi fyzikálnymi, mechanickými a chemickými vlastnosťami, ale aj obsahom energie, ktorá sa v nej nakumulovala pri fotosyntetickej asimilácii a môže sa z nej neskôr uvoľniť ako spalné teplo. V prípade širšieho využívania biomasy na energetické účely je potrebné poznať jej obsah pre celé stromy, ale aj pre ich jednotlivé časti. Pri zisťovaní množstva spálneho tepla je možné postupovať priamo, keď sa deštrukčnou metódou stanoví čerstvá a suchá hmotnosť biomasy konkrétnych stromov podľa jednotlivých frakcií a následne aj obsah spálneho tepla (OSZLÁNYI 1986). Vzhľadom na jej vysokú prácnosť nie je možné spracovať väčší a reprezentatívnejší experimentálny materiál. Prístupnejšie a efektívnejšie je nadviazať na doterajšie poznatky o množstve biomasy stromov, ktoré sú v lesníctve vyjadrené v objemových jednotkách [m<sup>3</sup>]. Sú to všeobecne známe modely objemových tabuliek stromov lesných drevín. Sú v tvare matematických funkcií a simulujú objem nadzemnej biomasy celých stromov, ale aj ich hlavných častí ako sú drevo, kôra a konáre (PETRÁŠ, PAJTIK 1991). Z tohto dôvodu sa môžu efektívne využiť pri prepočte objemu biomasy na jej hmotnosť

a následne aj kapacitu spalného tepla. K tomu je potrebné poznať konvenčnú hustotu [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ], ale aj spalné teplo [ $\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$ ] biomasy, najlepšie podľa jej základných zložiek.

V doterajšom výskume vlastností biomasy sa najpočetnejšie výsledky dosiahli pri hustote dreva a väčšina autorov ich spája s jeho mechanickými vlastnosťami. NIEMZ, SONDEREGGER (2003) odvodili z mnohých literárnych podkladov takéto spojenie pre 103 drevín. Najnižšiu hustotu majú mäkké listnaté dreviny za ktorými nasledujú ihličnaté a tvrdé listnaté. POŽGAJ et al. (1997) udávajú hustotu sušiny dreva pre smrek, jedľu a topoľ  $370 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , borovicu  $440 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , buk  $560 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a agát s hrabom  $600\text{--}650 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Niektorí autori (POŽGAJ et al. 1997; HUSCH et al. 2003; REPOLA 2006; PETRÁŠ et al. 2010) konštatujú, že hustota dreva sa mení nielen s drevinou, ale aj s vertikálnou alebo radiálnou polohou na kmeni a v korune stromov. Hustotu dreva ovplyvňuje aj šírka letokruhov (PETTY et al. 1990, VAVRČIK, GRYC 2012), podiel jarného a letného dreva (WIMMER 1991) a vek stromu (FABISIAK et al. 2003). MATOVIČ, ŠLEZINGEROVÁ (1992), GRYC et al. (2011) konštatujú, že hustota konárov s kôrou je významne vyššia ako dreva z kmeňov. I keď sú uvádzané výsledky významné, pre presnejšie prepočty biomasy celých stromov z objemových na hmotnostné jednotky je potrebné poznať jej hustotu podľa všetkých komponentov. Konkrétne hustotu hrubého dreva, jeho kôry a konárov (PETRÁŠ et al. 2010).

Čiastkové výsledky sú aj pri spalnom teple jednotlivých frakcii biomasy. ELLENBERG (1986, p. 331) in PRETZSCH (2009, p. 90) uvádzajú hodnoty pre smrekové a bukové drevo kmeňa, konáre a korene s kôrou. KLAŠNJA, KOPITOVICH (1999) udávajú spalné teplo pre drevo vrbu a agáta, pričom hodnoty pre kôru sú nižšie. OSZLÁNYI (1986) stanovil spalné teplo pre drevo, kôru a listy hraba, javora poľného, duba zimného a duba cera v pomerne širokom rozpätí. PETRÁŠ et al. (2013a) odvodili pre topoľové klony priemerné hodnoty spalného tepla dreva  $18,4 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ , tenkej kôry  $18,0 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$  a hrubej kôry (borky)  $17,8 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ . LARCHER (2003) udáva, že dreviny sú bohatšie na energiu ako bylinné druhy a všeobecne platí, že energetický obsah závisí priamoúmerne od obsahu uhlíka v substancii. Z rastlinných substancií majú najväčší obsah energie lignín  $26,4 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ , lipidy  $38,9 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$  a terpény až  $46,9 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ .

Na podklade výsledkov domáceho výskumu spalného tepla topoľových klonov (PETRÁŠ et al. 2013a, 2013b, JAMNICKÁ et al. 2014) pokračuje v súčasnosti výskum s rovnakým zameraním pre ďalších 11 hospodársky významných lesných drevín. Výskum začína hustotou základných frakcií nadzemnej dendromasy stromov (drevo a kôra z hrubiny, tenčina, ihličie), pokračuje kapacitou ich spalného tepla a v záverečnej fáze aj produkciou spalného tepla celých stromov a porastov.

Cieľom predkladanej práce je preskúmať hustotu a obsah spalného tepla v nadzemnej biomase borovicových stromov podľa základných frakcií drevo, kôra, tenčina, ihličie a odvodiť ich hodnoty pre celé stromy.

## **Materiál a metodika**

Experimentálny materiál sa získal z 10 zrúbaných stromov (tab. 1). Stromy sa vybrali z hlavných rastových oblastí borovice lesnej na Slovensku. Štyri stromy sú zo Záhorskej nížiny (Gbely) a po jednom strome z Malých Karpát (Smolenice), Zvolenskej kotliny a z oblasti Spiša (Smolník, Stratená, Hranovnica, Kropachy). Skúmané stromy sú s hrúbkou 24–51 cm, výškou 23–30 m, vekom 85–108 rokov. Podľa týchto hodnôt môžeme konštatovať, že majú parametre dospelých stromov. Rástli od nížinných až po horské polohy s nadmorskou výškou 165–940 m. Kvalita stanovišťa na ktorých stromy rástli je pri väčšine nadpriemerná a vyjadruje ju bonitný index porastu v rozsahu 24–30 (HALAJ, PETRÁŠ 1998).

**Tab. 1:** Charakteristiky zrúbaných stromov podľa hrúbok, výšok, veku stromov, bonity, nadmorskej výšky a lokality porastov

**Tab. 1:** Characteristics of felled trees by diameter, height, age of trees, site index, altitude and stand location

Číslo stromu	d <sub>1,3</sub> (cm)	h (m)	Vek	Bonita	Nadm. výška (m)	Lokalita
<i>Tree number</i>	<i>dbh (cm)</i>	<i>height (m)</i>	<i>Age</i>	<i>Site index</i>	<i>Altitude (m)</i>	<i>Locality</i>
14	24	25	105	24	350	Zvolen
27	26	27	90	30	275	Smolenice
29	35	23	88	26	165	Gbely
30	40	26	85	26	165	Gbely
31	36	27	87	26	165	Gbely
33	36	26	85	26	165	Gbely
54	39	28	90	30	940	Smolník
62	46	25	108	24	930	Stratená
75	51	30	101	30	850	Hranovnica
83	47	30	87	28	735	Krompachy
Spolu <i>In total</i>	24 - 51	23 - 30	85 - 108	24 - 30	165 - 940	

Z každého stromu sa odrezali 4 vzorky dreva s kôrou. Prvá vzorka bola z päty kmeňa, druhá z prostrednej časti kmeňa (približne pod korunou stromu) a tretia z korunovej časti kmeňa. Všetky tri vzorky z kmeňa sa rozdelili na drevo a kôru. Pre reprezentatívnejšie zastúpenie vzoriek kôry sa v miestach, kde sa pílili kotúče, nalúpali z povrchu kmeňov vzorky kôry. Štvrtá vzorka bola z hlavných konárov v prostrednej časti koruny. Na tejto vzorke zostalo spolu drevo s kôrou. Reprezentuje celú tenčinu, t. j. drevo s kôrou tenšie ako 7 cm. Okrem týchto štyroch vzoriek sa z každého stromu odobrala aj vzorka tenkých konárikov obrastených ihličím. Z nich sa vytvorila samostatná vzorka pre ihličie a rovnako pre tenké konáriky. Zo všetkých 10 stromov sa odobralo spolu 80 vzoriek, z toho pre drevo a kôru po 30, pre tenčinu a tenké konáriky s ihličím po 10 vzoriek.

Konvenčná hustota sa stanovila pre drevo, kôru a tenčinu zo všetkých 10 stromov. Ich objem sa zmeral 1–2 dni po ich odobratí v kalibrovaných odmerných valcoch s objemom 2000 ml s presnosťou  $\pm 1$  ml. Objem tenkých konárikov obrastených ihličím sa nestanovoval. Veľké kotúče z kmeňov sa pred meraním rozsekali radiálnym smerom na menšie trojuholníkové časti. Skúmané vzorky mali objem dreva v rozpätí 1122-1549 ml, kôry 981-1302 ml a tenčiny 437-1247 ml. Všetky vzorky a aj konáriky s ihličím sa potom vysušili na konštantnú hmotnosť pri teplote  $103 \pm 2$  °C. Hmotnosť sa stanovila s presnosťou  $\pm 0,01$  g. Pri dreve bola v rozpätí 417-741 g, kôre 363-551 g, tenčine 220-413 g, tenkých konárikoch 182-381 g a ihličí 267-437 g. Konvenčná hustota každej vzorky sa vypočítala podľa vzorca:

$$\rho_k = \frac{m_0}{V_s} \quad (1)$$

kde:  $\rho_k$  – konvenčná hustota ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ),  
 $m_0$  – hmotnosť sušiny (kg),  
 $V_s$  – saturovaný objem ( $\text{m}^3$ ).

Spalné teplo sa stanovilo pre všetky vzorky, ale len z 5 stromov. Podľa tab. 1 sú to čísla stromov 14, 27, 29, 33 a 75. Ich vzorky sa po vysušení pomleli na jemný púder. Na kalorimetri IKA C-4000 (program C-402, norma DIN 51900) sa urobili z každej vzorky 2 stanovenia a z nich sa vypočítala priemerná hodnota [ $J \cdot g^{-1}$ ].

Preskúmala sa variabilita meraných hodnôt konvenčnej hustoty a spálneho tepla. Použila sa k tomu analýza variancie ANOVA prostredníctvom počítačového programu QC-Expert (KUPKA 2013). Na podklade jej výsledkov a štatistických testov sa odvodili výsledné hodnoty hustoty a spálneho tepla základných frakcií biomasy (tab. 2). Pri hustote [ $kg \cdot m^{-3}$ ] pre drevo, kôru a tenčinu (PETRÁŠ et al. 2019a) a pri spalnom teple [ $J \cdot g^{-1}$ ] pre drevo, kôru, tenčinu, tenké konáriky a ihličie (PETRÁŠ et al. 2019b). Priemerná hodnota spálneho tepla kôry sa vypočítala ako jednoduchý priemer z troch vertikálnych polôh na kmeni bez ohľadu nato, že borka v prízemných častiach má štatisticky významne vyššie hodnoty.

**Tab. 2:** Hustota a spalné teplo nadzemnej biomasy podľa frakcií (priemer a smerodajná odchýlka)  
**Tab. 2:** Density and calorific value of above-ground biomass by fractions (mean and standard deviation)

Frakcia	Drevo	Kôra	Tenčina	Konáriky	Ihličie
<i>Fraction</i>	<i>Wood</i>	<i>Bark</i>	<i>Small-wood</i>	<i>Twigs</i>	<i>Needles</i>
Hustota ( $kg \cdot m^{-3}$ )	417	333	406	-	-
<i>Basic density (<math>kg \cdot m^{-3}</math>)</i>	$\pm 36$	$\pm 57$	$\pm 33$	-	-
Spalné teplo ( $J \cdot g^{-1}$ )	20596	20961	20856	21857	22196
<i>Calorific value (<math>J \cdot g^{-1}</math>)</i>	$\pm 253$	$\pm 1124$	$\pm 188$	$\pm 188$	$\pm 253$

Hmotnosť sušiny a spalné teplo nadzemnej biomasy stromov sa odvodili v závislosti od ich hrúbky a výšky podľa jednotlivých frakcií a spolu ako súčin ich objemu a hustoty a následne aj spálneho tepla:

$$ST(d, h) = \sum v_i \cdot \rho_i \cdot ST_i \cdot 10^{-9} \quad (2)$$

kde:  $ST(d, h)$  – spalné teplo (GJ) stromu v závislosti od jeho hrúbky a výšky spolu pre  $i$ -te frakcie (drevo, kôra a tenčina),  
 $v_i$  – objem ( $m^3$ )  $i$ -tej frakcie podľa modelov objemových tabuliek (PETRÁŠ, PAJTÍK 1991),  
 $\rho_i$  – priemerná hustota ( $kg \cdot m^{-3}$ )  $i$ -tej frakcie (tab. 2),  
 $ST_i$  – priemerné spalné teplo ( $J \cdot g^{-1}$ )  $i$ -tej frakcie (tab. 2).

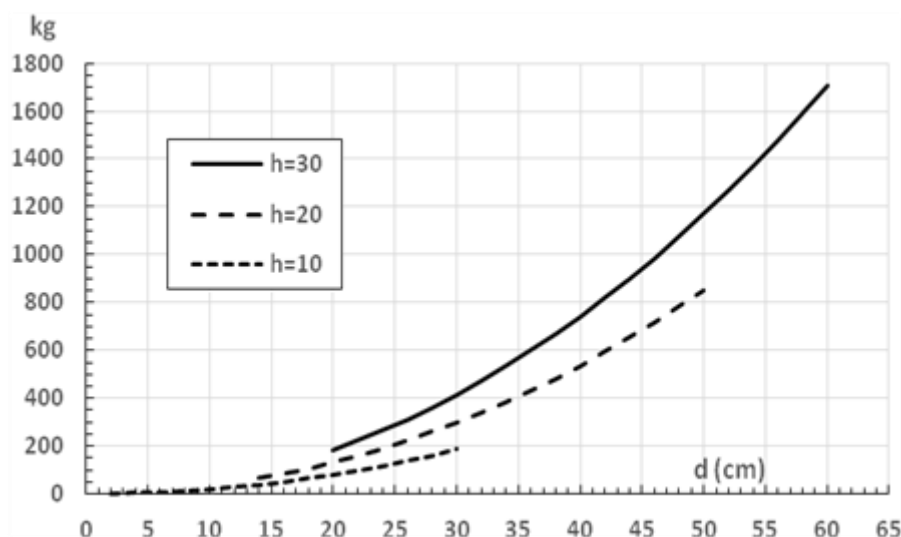
Tenké konáriky a ihličie nie sú súčasťou modelov objemových tabuliek. Preto sa použili modely ich suchej hmotnosti v závislosti od hrúbky a výšky stromov (PETRÁŠ et al. 1985). Spalné teplo tenkých konárikov a ihličia stromov sa odvodilo súčinom ich modelovej suchej hmotnosti (PETRÁŠ et al. 1985) a priemerných hodnôt spálneho tepla (tab. 2). Ich súčet so spalným teplom podľa vzťahu (2) dáva kapacita spálneho tepla nadzemnej biomasy celého stromu.

## Výsledky a diskusia

### Hmotnosť sušiny

Hmotnosť sušiny nadzemnej biomasy stromov sa s ich vyššou hrúbkou a výškou zvyšuje exponenciálne (obr. 1). Pri výškach stromov 10, 20 a 30 m a hrúbkach 30, 50

a 60 cm dosahuje približne 190, 850 a 1700 kg. Je výsledkom množstva biomasy vyjadreného objemom, ale aj jej hustotou (tab. 2). V hmotnosti sušiny biomasy je rozhodujúci podiel drevnej frakcie, ktorý sa zvyšuje s vyššou hrúbkou a výškou stromov. Pri stromoch hrúbky 20 cm a výšky 10 m dosahuje približne 65 %, ale pri hrúbke 40 cm a výške 30 m je to až 85 %. Zvyšných 35 % alebo 15 % pripadá na ostatné frakcie. Pri menších dimenziách stromov má tenčina a zelené konáriky po 14 % a kôra 7% podiel. Pri väčších dimenziách má tenčina a kôra po 6 % a zelené konáriky len 3 %.

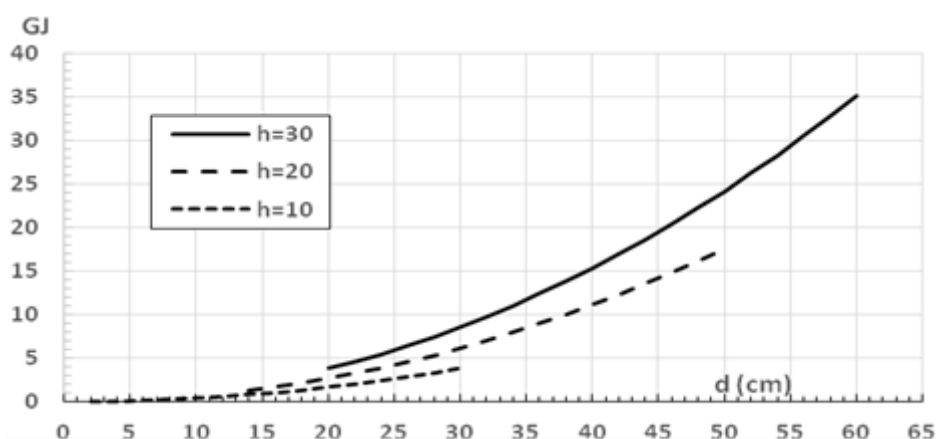


**Obr. 1:** Hmotnosť sušiny nadzemnej biomasy stromov borovice v závislosti od hrúbky  $d$  (cm) a výšky  $h$  (m)

**Fig. 1:** Weight of dry matter of above-ground pine tree biomass depending on diameter  $d$  (cm) and tree height  $h$  (m)

### Spalné teplo

Aj obsah spálneho tepla v sušine nadzemnej biomasy stromov sa s ich vyššou hrúbkou a výškou zvyšuje (obr. 2). Pri výškach stromov 10, 20 a 30 m a hrúbkach 30, 50 a 60 cm dosahuje približne 4, 18 a 35 GJ. Je výsledkom množstva suchej biomasy [kg] podľa frakcií, a ich spálneho tepla [ $J.g^{-1}$ ]. I keď má frakcia dreva najmenší obsah spálneho tepla na 1 g sušiny (tab. 2), má v spalnom teple celého stromu najvyšší podiel a zvyšuje sa s vyššou hrúbkou a výškou stromov. Pri stromoch hrúbky 20 cm a výšky 10 m dosahuje približne 64 %, ale pri hrúbke 40 cm a výške 30 m je to až 84 %. Zvyšných 36 % alebo 16 % pripadá na ostatné frakcie. Pri menších dimenziách stromov má tenčina a zelené konáriky po 14 % a kôra 8 % podiel. Pri väčších dimenziách má tenčina a kôra po 6 % a zelené konáriky len necelé 3 %.



**Obr. 2:** Obsah spalného tepla v sušine nadzemnej biomasy stromov borovice v závislosti od ich hrúbky  $d$  (cm) a výšky  $h$  (m)

**Fig. 2:** The calorific value of the dry matter of above-ground pine tree biomass depending on their diameter  $d$  (cm) and height  $h$  (m)

Odvedená hmotnosť sušiny a spalného tepla nadzemnej biomasy borovicových stromov je závislosťou od ich hrúbky a výšky veľmi podobná ich objemu. V závislosti od hrúbky stromu sa ich hodnoty zvyšujú exponenciálne a od výšky približne lineárne.

Po spracovaní dostupných literárnych poznatkov sa nám nepodarilo získať podobné výsledky nielen pre borovicové stromy, ale ani pre stromy iných drevín. Z tohto dôvodu môžeme len z našich poznatkov konštatovať, že prípadné rozdiely môžu nastať z troch príčin. Z rozdielov v objeme, hustote a spalnem teple podľa skúmaných frakcií. Objem základných frakcií, t. j. dreva, kôry a tenčiny stromov je podľa modelov objemových tabuliek (PETRÁŠ, PAJTIK 1991) funkciou ich hrúbky a výšky. Podľa týchto modelov sa určuje v lesníckej praxi ich objem nielen na stojacích stromoch, ale aj ich porastové zásoby. Rozhodujúcim parametrom je hrúbka stromov, keď s jej vyššími hodnotami sa objem jednotlivých frakcií zvyšuje exponenciálne. S výškou stromov je tento vzťah približne lineárny. Vzhľadom nato, že modely objemových tabuliek boli zostavené z viac ako 1600 borovicových stromov považujeme ich za veľmi stabilné. Priemerná hustota bola odvodená z 10 stromov a spalné teplo len z 5 stromov. Z tohto hľadiska je ich stabilita menšia. PETRÁŠ et al. (2019a, 2019b) podrobnejšie preskúmali variabilitu oboch veličín a konštatujú, že štatisticky významné rozdiely nie sú len medzi drevom a tenčinou. Pri spalnem teple nie sú významnejšie rozdiely medzi tenkými konárkami, ihličím a kôrou z prízemných častí kmeňov (borkou). Z praktického hľadiska však bolo potrebné vytvoriť priemerné hodnoty oboch veličín pre také frakcie ako sú usporiadané v modeloch objemových tabuliek. Teda také ako sa uvádzajú v tab. 2. Podľa ich variačných koeficientov (tab. 2) môžeme konštatovať, že pri hustote sú variačné koeficienty pre drevo a tenčinu v úzkom rozpätí 8,1 – 8,6 %. Pri spalnem teple je variabilita pre všetky frakcie okrem kôry ešte nižšia. Variačné koeficienty sú v rozpätí 0,9 – 1,2 %. Vyššia variabilita pre kôru je spôsobená tým, že do jedného priemeru sa zlúčila kôra zo všetkých troch vertikálnych polôh na kmeni a tie sú pri borovici veľmi heterogénne. Variačný koeficient hustoty kôry je 17,1 % a spalného tepla 5,4 %.

Vzhľadom na relatívne malé rozdiely v hustote a spalnem teple medzi skúmanými frakciami biomasy má potom pre biomasu celého stromu najväčší význam objem alebo hmotnosť každej frakcie. Rozhodujúci je však podiel dreva. Jeho vlastnosti, napr. podiel jadrovej alebo beľovej časti, šírka letokruhov s rozlíšením jarného alebo



letného dreva a pod. nebolo možné z malého rozsahu experimentálneho materiálu podrobnejšie preskúmať. Autori si uvedomujú tento nedostatok, ale vzhľadom na vysokú prácnosť jeho získavania a relatívne krátku dobu riešenia celého výskumného projektu nebolo možné jeho rozsah zväčšiť.

## Záver

Hmotnosť sušiny a spalného tepla nadzemnej biomasy stromov sú veľmi dôležité parametre pri hodnotení efektívnosti jej prírodnej produkcie a možnostiach jej hospodárskeho využitia. Z dosiahnutých výsledkov je možné prevziať nielen metodiku ich odvodenia, ale aj hodnoty na ich odhad pre konkrétne stromy. Pokiaľ sa objem alebo hmotnosť biomasy prebrali zo starších zdrojov, hustota sušiny a jej spalné teplo sú originálne z riešeného projektu. Uplatňovanie výsledkov je možné na dvoch úrovniach. Na úrovni jednotlivých stromov na základe ich výšky a hrúbky a po prepočte cez počet stromov aj na úrovni celých porastov. Táto úroveň môže byť efektívna pri hodnotení a porovnávaní produkcie biomasy lesných spoločenstiev s inými suchozemskými, ale aj vodnými spoločenstvami. Prítom by sa mohla hodnotiť nielen produkcia sušiny, ale aj spalného tepla. Produkcia sušiny a spalného tepla lesných porastov sa bude riešiť v nadväzujúcej etape s predpokladom ukončenia do polroka 2021.

## Literatúra

- ELLENBERG, H. *Vegetation Mitteleuropas mit dem Alpen: In kausaler, dynamischer und historischen Sicht*. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer, 1986.
- FABISIAK, E., DROGOSZEWSKI, B., KOCJAN, H., MARCINKOWSKA, A., MOLINSKI, W., ROSZYK, E. Selected physical properties of larch wood (*Larix decidua* Mill.) from plantation. *Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW, Forestry and Wood Technology*, 2003. 53: p. 90-95.
- GRYC, V., HORÁČEK, P., ŠLEZINGEROVÁ, J., VAVRČÍK, H. Basic density of spruce wood with bark, and bark of branches in locations in the Czech Republic. *Wood Research*, 2011. 56(1): p. 23-32.
- HALAJ, J., PETRÁŠ, R. *Rastové tabuľky hlavných drevín*. Bratislava: Slovak Academic Press, 1998. 325 s.
- HUSCH, B., BEERS, T., W., KERSHAW, J., A.. *Forest Mensuration*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2003. 443 pp.
- JAMNICKÁ, G., PETRÁŠOVÁ, V., PETRÁŠ, R., MECKO, J., OSZLÁNYI, J. Energy production of poplar clones and their energy use efficiency. *iForest*, 2014. 7: p. 150-155.
- KLAŠNJA, B., KOPITOVICH, Š. Quality of wood of some willow and robinia clones as fuelwood. *Drevársky Výskum*, 1999, 44(2): p. 9-18.
- KUPKA, K. *QC.Expert 3.1. Uživatelský Manuál*. Pardubice: Trylobyte, Ltd., 2013. 266 s.
- LARCHER, W. *Physiological Plant Ecology*. Berlin: Ecophysiology And Stress Physiology Of Functional Groups. Springer, 2003. 513 pp.
- NIEMZ, P., SONDEREGGER, W. Untersuchungen zur Korrelation ausgewählter Holzeigenschaften untereinander und mit der Rohdichte unter Verwendung von 103 Holzarten. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 2003. 154(12): p. 489-493.
- MATOVICH, A., ŠLEZINGEROVÁ, J. Konvenční hustota dřeva větví smrku obecného (*Picea abies* Karst.). In: *Les, drevo, ekológia, Sekcia 4. Štruktúra a vlastnosti dreva v technologickom využití*. Zvolen: Technická univerzita, 1992. s. 53-59.

- OSZLÁNYI, J. Analýza produkcie biomasy a jej energetického ekvivalentu stromovej vrstvy v piatich lesných ekosystémoch. *Biologické práce*, Bratislava: VEDA, 1986. 32(1): 157 s.
- PETRÁŠ, R., KOŠÚT, M., OSZLÁNYI, J. Listová biomasa stromov smreka, borovice a buka. *Lesnícky časopis*, 1985. 31(2): s. 121-136.
- PETRÁŠ, R., PAJTÍK, J. Sústava česko-slovenských objemových tabuliek drevín. *Lesnícky Časopis*, 1991, 37(1): s. 49-56.
- PETRÁŠ, R., MECKO, J., NEUSCHLOVÁ, E. Density of basic components of above-ground biomass of poplar clones. *Wood Research*, 2010. 55 (4): p. 113-122.
- PETRÁŠ, R., MECKO, J., OSZLÁNYI, J., PETRÁŠOVÁ, V., JAMNICKÁ, G. Landscape of danube inland-delta and its potential of poplar bioenergy production. *Biomass And Bioenergy*, 2013a. 55: p. 68-72.
- PETRÁŠ, R., MECKO, J., PETRÁŠOVÁ, V. Energy potential in production of fast-growing poplar clones in Slovak regions. *Acta Regionalia et Environmentalica*, 2013b. 10 (2): p. 53-56.
- PETRÁŠ, R., MECKO, J., KRUPOVÁ, D., SLAMKA, M. Aboveground biomass basic density of softwoods tree species. *Wood Research*, 2019a. 64(2): p. 205-212.
- PETRÁŠ, R., MECKO, J., KUKLA, J., KUKLOVÁ, M.: Calorific value of basic fractions of above-ground biomass for scots pine. *Acta Regionalia et Environmentalica*, 2019b. (v tlači)
- PETTY, J.A., MACMILLAN, D.C., STEWARD, C.M. Variation of density and Growth Ring Width in Stems of Sitka and Norway Spruce. *Forestry*, 1990. 63(1): p. 39-49.
- POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. Bratislava: Príroda, 1997. 485 s.
- PRETZSCH, H. *Forest Dynamics, Growth and Yield*. Berlin: Heidelberg, Springer, 2009. 664 pp.
- REPOLA, J. Models for vertical wood density of Scots pine, Norway spruce and birch stems, and their application to determine average wood density. *Silva fennica*, 2006. 40(4): p. 673-685.
- VAVRČÍK, H., GRYC, V. Analysys of the annual ring structure and wood density relations in english oak and sessile oak. *Wood Reseach*, 2012. 57(4): p. 573-580.
- WIMMER, R. Beziehungen zwischen Jahrringparametern und Rohdichte von Kiefernholz. *Holzforschung und Holzverwertung* 1991. 43(4): p. 79-82.

## Pod'akovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-16-0344.

## Summary

The weight of dry matter and the calorific value of the above-ground biomass of trees is a very important parameter in assessing the effectiveness of its natural production and the possibilities of its economic use. In Slovak conditions, PETRÁŠ et al. (2013a, 2013b) evaluated them in detail on the example of poplar clones. The weight of dry matter and calorific value for basic fractions such as the wood, bark, small-wood, twigs and needles was derived in this work and values for whole trees were determined as well. The empirical material (Table 1) was taken from 10 pine trees growing in the forest stands of Slovakia. A total of 80 samples were collected for the weight of dry matter, of which 30 were intended for wood and bark, 10 for small-wood and 10 for twigs and needles. Only half of the samples number was used for the calorific value evaluation.

The weight of dry matter and calorific value of the above-ground tree biomass was derived depending on their diameter and height by individual fractions and together as the product of their volume, density and consequently their calorific value by the relation (2). The model of trees volume was taken from volume equations (PETRÁŠ, PAJTIK 1991); density and calorific value of above-ground tree biomass by fractions (Table 2) are according to PETRÁŠ et al. 2019b.

The weight of dry matter and calorific value of the above-ground tree biomass increases with their diameter and height (Fig. 1, Fig. 2). With tree heights of 10, 20 and 30 m and diameter of 30, 50 and 60 cm, the dry matter has weight about 190, 850 and 1700 kg. The calorific value content (Fig. 2) amounts to approximately 4, 18 and 35 GJ for the same tree dimensions. The proportion of woody fraction is of decisive importance in the weight of dry matter and calorific value. Although the wood fraction has the smallest calorific value content per gram of dry matter (Table 2), it has the highest proportion in the calorific value of the whole tree and increases with higher tree diameter and height.

## ČASOVÁ VARIABILITA SMREKA OBYČAJNÉHO (*PICEA ABIES* [L.] KARST.) V PRÍRODNOM SMREKOVOM SUBALPÍNSKOM LESE NPR ZADNÁ POĽANA

### TEMPORAL VARIABILITY OF NORWAY SPRUCE (*PICEA ABIES* [L.] KARST.) IN THE NATURAL SUBALPINE SPRUCE FOREST OF THE NATIONAL RESERVE ZADNÁ POĽANA

Peter Jaloviar, Pavel Ďurica\*

Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, Katedra pestovania lesa, T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, SR

\*corresponding author: p.durica4@gmail.com

#### Abstract

*In the current period, the vitality of native subalpine forests has been significantly reduced in Slovakia. Their insufficient stability and disrupted of natural regeneration were identified as key problem. Climate changes and ensuing bark insect's outbreak have been the most significant disturbance factor. The aim of this work is to analyse the structure of a subalpine spruce forest and to identify its dynamics tracking changes in diameter structure of living trees and standing snags after 5 years of observation. The research was carried out in the National Nature Reserve Zadná Poľana, where repeated inventory was accomplished on 20 circular permanent research plots, with the area of 1,000 m<sup>2</sup> each, in 2013 and 2018. Our research shows that despite of a seeming constancy, the tree counts have changed dynamically in a spruce forest ecosystem over the relatively short study time.*

**Keywords:** Norway spruce, old-growth forest, stand structure, disturbance regime

#### Abstrakt

*V súčasnom období sa na území Slovenska výrazne prejavuje znižovanie vitality vysokohorských smrekových porastov. Ako kľúčový problém bola identifikovaná nestabilná štruktúra týchto porastov a stagnácia ich regeneračných procesov. Rozhodujúcim disturbančným faktorom sa stávajú klimatické zmeny a podkôrny hmyz. Cieľom práce bola analýza porastovej štruktúry a identifikácia jej zmien, prostredníctvom zmeny hrúbkovej štruktúry živých stromov a suchých kmeňov smreka v časovom horizonte piatich rokov (2013–2018). Objektom výskumu je NPR Zadná Poľana, kde bola v roku 2018 vykonaná opakovaná inventarizácia v existujúcej permanentnej sieti kruhových 20 výskumných plôch s výmerou po 10 árov. Výsledky tejto práce poukazujú na to, že napriek zdanlivej nemennosti je v ekosystéme smrekového prírodného lesa viditeľná dynamika početnosti aj za pomerne krátke obdobie výskumu.*

**Kľúčové slová:** smrek obyčajný, prírodný les, štruktúra porastu, disturbančný režim

#### Úvod a problematika

Hustota lesného porastu vyjadrená počtom stromov na jednotku plochy je taxačná veličina, ktorá v závislosti na veku porastu, jeho druhovom zložení a charaktere stanovišťa umožňuje jednoduchú charakteristiku jeho stavu z hľadiska produkcie a vitality. V hospodárskych lesoch je regulácia hustoty porastu základným nástrojom formovania budúcej štruktúry. V prírodných lesoch, ponechaných bez priamych ľudských zásahov do ekosystému je hustota stromovej zložky exaktnou charakteristikou najmä ich vitality. Časovú aj priestorovú variabilitu hustoty porastu významne ovplyvňuje manažment lesného ekosystému. Znižovanie počtu stromov s rastúcim priemerným vekom porastu je všeobecným znakom pre systém lesa vekových tried. Pre porasty trvalo tvorivého lesa – napríklad trvalo viacetážové alebo výberkové porasty je cieľom manažmentu udržanie počtu stromov v relatívne malom (modelovom) rozpätí počas dlhého obdobia. Podobnú dlhodobú dynamiku počtu stromov majú prírodné lesy s režimom s častých disturbancií nízkej intenzity. Naopak, menej časté, ale silné disturbancie, aké sú bežné v smrekových prírodných

lesoch vedú k výrazným zmenám počtu stromov počas dlhých období životného cyklu.

Smrek obyčajný (*Picea abies* [L.] Karst.) je v celom priestore strednej a západnej Európy hospodársky mimoriadne dôležitou drevinou. Vzhľadom na jednoduchý spôsob obhospodarovania rovnorodých smrečín vyplývajúcich z jeho rastových vlastností a produkčného potenciálu je pochopiteľné, že súčasné rozšírenie smrekových rovnorodých porastov ďaleko presahuje jeho ekologické optimum (BURSCHEL HUSS 1997, TEUFFEL *et al.* 2004). Prírodné smrekové lesy sa však na Slovensku zachovali iba ako fragmenty porastov v 7. lesnom vegetačnom stupni (Ivs.). Napriek podobným klimatickým podmienkam predstavujú horské smrečiny heterogénnu zmes porastových štruktúr s rozdielnou dynamikou vývoja a disturbančným režimom. KUCBEL (2014) popisuje viacero trajektórií vývoja prírodných smrečín, ktoré zahŕňajú striedanie porastových štruktúr od unimodálnych a výškovo nivelizovaných až po klesajúce resp. obrátene sigmoidné a bimodálne štruktúry s výraznou výškovou a hrúbkovou diferenciáciou. Najfrekvencovanejší typ hrúbkovej štruktúry prírodných smrečín na Slovensku je unimodálny, naopak najzriedkavejší je výskyt dvojrcholových štruktúr (KUCBEL 2014).

Dôležitou súčasťou ekosystému horských smrečín a zároveň znakom, ktorý ich odlišuje od prírody blízkyh manažovaných porastov je prítomnosť stojacich a ležiacich odumretých stromov (KEETON 2006). Odumieranie stromov jednotlivo alebo v rôzne veľkých plošných rámcoch modifikuje štruktúru zostávajúceho porastu a je tiež hlavným faktorom určujúcim budúci vývoj (FRANKLIN *et al.* 1987). Odhliadnuc od silných exogénnych disturbancií, ktorých výsledkom je veľkoplošný rozpad ekosystému má mortalita v klimaxových ekosystémoch typický priebeh s vysokou mortalitou podúrovňových (najmladších) stromov a nadúrovňových stromov dosahujúcich hranicu fyzického veku (GOFF, WEST 1975). Pri takejto mortalite síce v dlhodobom časovom rámci nedochádza k významným zmenám početnosti živých a odumretých stromov, ale vnútorná dynamika stromovej zložky, charakterizovaná odumieraním konkrétnych stromov a ich prechodom cez kategóriu odumretých stojacich stromov do ležiaceho moderového dreva môže byť výrazná aj v krátkodobom časovom horizonte.

Cieľom tohto príspevku je charakterizácia zmien početností živých a odumretých stromov v smrekovom prírodnom lese. Pre presnú kvantifikáciu zmien sme sa zamerali na zistenie rozdielov v početnostiach a hrúbkovom rozdelení živých a stojacich odumretých stromov a na interakcie medzi obidvomi kategóriami.

## **Materiál a metodika**

### **Výskumný objekt**

Výskumný objekt sa nachádza v NPR Zadná Poľana (48,63 N; 19,48 E), ktorá je súčasťou horského masívu Poľany. Jedná sa o typický neaktívny stratovulkán s hlavným hrebeňom obklopujúcim kalderu. Poľana sa nachádza v centrálnej časti Slovenskej republiky a je súčasťou orografického celku Slovenské stredohorie. Geologické podložie tvoria andezitové pyroklastiká a andezitové aglomerované tufy. Najviac plošne zastúpeným pôdnym typom sú andozemné kambizeme. Vyvinuli sa aj iné pôdne typy, ktoré sú prítomné v menšom rozsahu, konkrétne sa jedná o andozemné rankre a pseudoglejové kambizeme.

Podnebie horského masívu Poľana je ovplyvňované masami teplého vzduchu z Panónskej nížiny. Z tohto dôvodu sú letné teploty vyššie v porovnaní s ostatnými horskými oblasťami západných Karpát. Podľa výskumu ŠKVARENINU (2004) je tu v nadmorskej výške 1400 m n. m. priemerná ročná teplota 2,5–3,0 °C, úhrn zrážok

1105 mm a snehová pokrývka sa vyskytuje 188 dní. Vrchol masívu Poľany (1458 m n. m.) je dlhodobou modelovým objektom pre výskum vysokohorských smrečín (KORPEL 1989; SANIGA 2005; SANIGA *et al.* 2005).

Trvalé výskumné plochy sú situované v dielcoch 526 a 527, ktorých súhrnná výmera je 50,4 ha. Jedná sa o smrekový prírodný les v 7. lesnom vegetačnom stupni (Ivs.). Nadmorská výška sa pohybuje v rozmedzí od 1200 do 1458 m n. m. Priemerný sklon svahu je 60–65%. Prirodené smrekové spoločenstvá patria do skupiny lesných typov (slt) *Acereto-Piceetum* a *Sorbeto-Piceetum*.

#### **Metodika merania a spracovania dát**

Sieť TVP pozostáva z 20 kruhových plôch systematicky rozmiestnených vo vzdialenosti 100 m v skúmaných dielcoch 526 a 527 (Obr. 1). Výmera každej plochy je 10 a ( $r = 17,85$  m). TVP boli založené a trvalo zastabilizované v roku 2013 Katedrou pestovania lesa Technickej univerzity vo Zvolene.



**Obr.1:** Rozmiestnenie trvalých výskumných plôch v skúmaných dielcoch 526 a 527

**Fig.1:** The deployment of permanent research plots in the studied forest compartments 526 and 527

Na TVP boli v roku 2013 zachytené pozície všetkých stromov, ktorých hrúbka  $d_{1,3}$  bola väčšia ako 8 cm, prostredníctvom technológie Field-Map. Na každom strome stojacom na ploche boli určené alebo zmerané nasledovné znaky:

- druh dreviny
- stav stromu (živý / suchý stojaci)
- hrúbka stromu  $d_{1,3}$  (mm)

V roku 2018 boli vykonané opakované merania a doplnené pozície všetkých stromov hrubších ako 2 cm ( $d_{1,3}$ ): bola zachytená ich pozícia v rámci kruhovej TVP a premerané všetky vyššie uvedené biometrické parametre, plus boli zaznamenané aj ďalšie nasledovné znaky

- výška stromu  $h$  (0,1 m)
- výška nasadenia koruny (0,1 m)
- súradnice okrajov koruny (cm)

Z meraných veličín boli vypočítané základné taxačno-dendrometrické znaky porastu. Objem jednotlivých stromov bol vypočítaný podľa dvojparametrických rovníc publikovaných v práci PETRÁŠ, PAJTIK (1991). Vzhľadom na to, že výška v roku 2013 nebola meraná, do výpočtu objemu stromov jednotlivo, bola použitá vyrovnaná výška

odvodená z Michajlovovej funkcie z merania hrúbky a výšky v roku 2018. Aby bola zachovaná možnosť porovnania, rovnako boli použité vyrovnané výšky aj pri výpočte objemov za rok 2018.

Údaje o počte stromov v rokoch 2013 a 2018 sa hodnotili metódami popisnej štatistiky. Významnosť rozdielov medzi hodnotami priemerných početností medzi uvedenými rokmi sa hodnotili pomocou Studentovho t-testu. Významnosť rozdielov medzi rozdeleniami hrúbkových početností v oboch rokoch sa testovala pomocou Kolmogorov-Smirnovovho testu. Všetky štatistické výpočty boli počítané v štatistickom balíku Statistica 10.

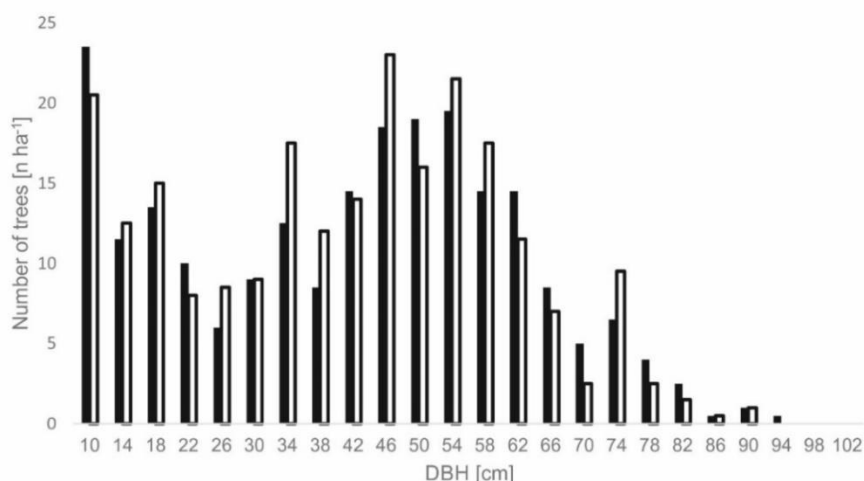
## Výsledky

V drevinovom zložení porastu je okrem smreka zastúpená jarabina, buk, javor a jedľa. Smrek je dominantnou drevinou, ostatné dreviny tvoria spolu len 12% z celkového počtu jedincov, ale menej ako 3% zo zásoby a kruhovej základne (Tab. 1). Početnosť živých jedincov hrubiny smreka sa na skúmaných plochách v prírodnom smrekovom lese v roku 2013 pohybovala od 140 ks ha<sup>-1</sup> o 510 ks ha<sup>-1</sup> s celkovým priemerom 231,0 ± 20,5 ks ha<sup>-1</sup> ( $\bar{x} \pm SE$ ). V roku 2018 sa na jednotlivých plochách zväčšilo variačné rozpätie početností na 390 ks ha<sup>-1</sup> (110–500 ks.ha<sup>-1</sup>) pri súčasnom miernom znížení celkového priemerného počtu na 223 ± 20,0 ks.ha<sup>-1</sup>.

**Tab. 1:** Zmeny veľkosti kruhovej základne a zásoby (živé stromy smreka s hrúbkou >8 cm) v časovom horizonte piatich rokov

**Tab. 1:** Changes in the basal area and growing stock of live spruce trees (DBH >8 cm) in the 5-year time period

rok year	G(m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )				V(m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )			
	$\bar{x}$	S <sub>x</sub>	min	max	$\bar{x}$	S <sub>x</sub>	min	max
2013	37.32	10.47	20.28	52.91	356.5	107.3	182.1	534.9
2018	37.66	10.93	22.08	58.71	363.0	112.8	206.4	593.6



**Obr. 2:** Zmena hrúbkovej štruktúry živých kmeňov smreka v rámci skúmaného obdobia v NPR Zadná Poľana v jednotlivých hrúbkových triedach

**Fig. 2:** Change of diameter structure of living spruce trees over the research period in the National Nature Reserve in individual diameter classes

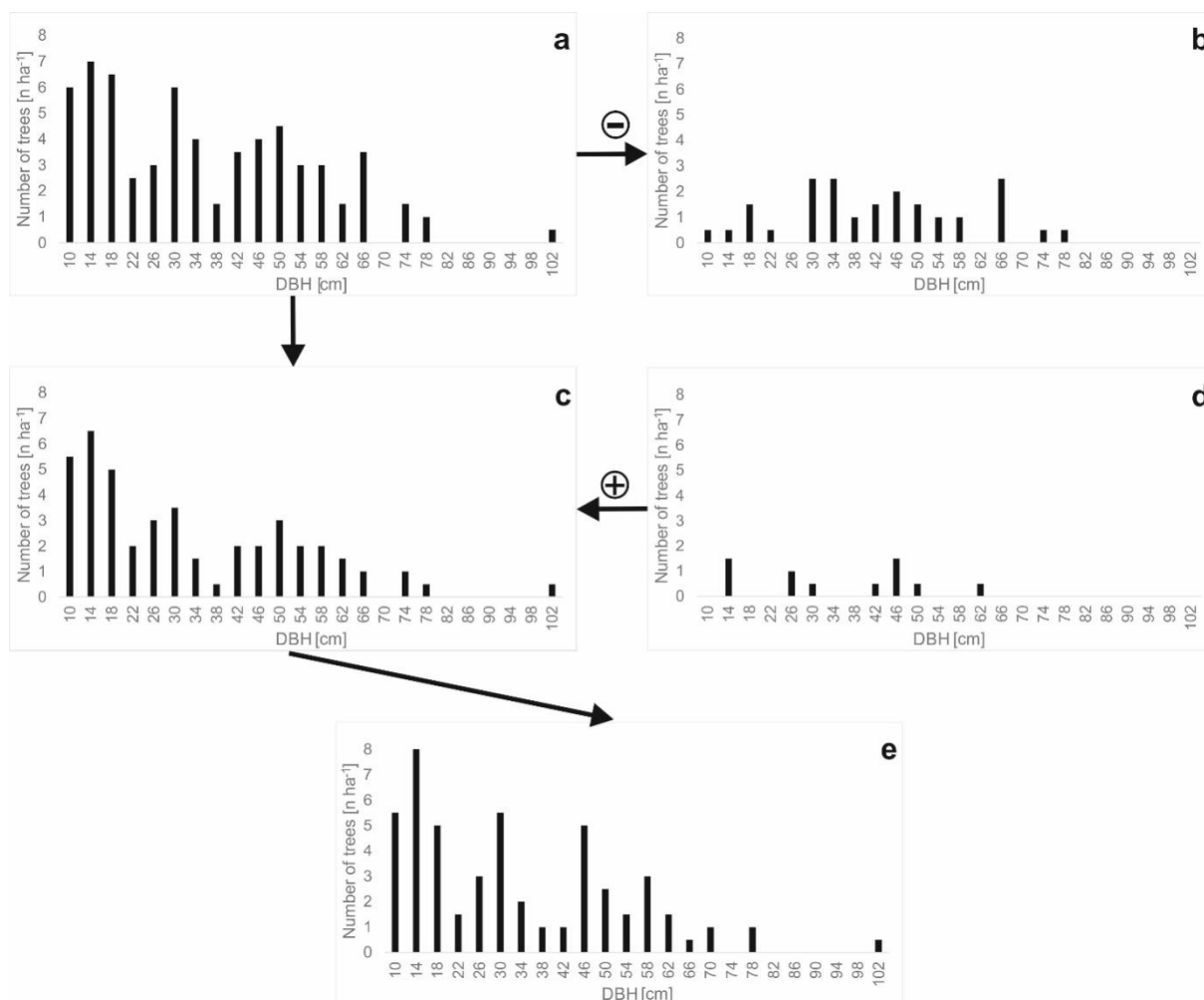
Rozdelenie hrúbkových početností má v oboch rokoch merania výrazne bimodálny charakter s prvým modusom v hrúbkovej triede 10 cm a druhým v triede

46 cm (v roku 2013) resp. 54 cm (v roku 2018). Napriek značným rozdielom v niektorých hrúbkových triedach sa rozdelenia hrúbkových početností v jednotlivých rokoch merania líšia navzájom iba náhodne (Obr. 2).

So zmenami početností živých stromov súvisia zmeny v kategórii odumretých stojacich stromov (Obr. 3). Dynamika relatívnych zmien v tejto kategórii je vyššia v porovnaní s kategóriou živých stromov. Kým celková početnosť živých smrekov klesla o 3,3%, početnosť odumretých stojacich stromov za 5-ročné obdobie klesla o viac ako jednu pätinu. Dynamika zmien početnosti je však v tejto kategórii ešte vyššia, pretože za sledované obdobie zostalo stáť iba 68,8% počtu ( $62,5 \text{ ks.ha}^{-1}$ ) pôvodných stojacich suchých smrekov, zvyšok bol vyvrátený vetrom. Zo súčasného počtu ( $49 \text{ ks.ha}^{-1}$ ) je 12% stojacich stromov, ktoré vyschli za obdobie posledných 5 rokov.

Mortalita smreka spôsobená odumieraním nastojato (vyschnutím) mala za sledované obdobie nízku intenzitu ( $6 \text{ ks.ha}^{-1}$ ). Z pôvodného súboru živých smrekov v roku 2013 teda odumrelo len 2,6%. Hrúbková štruktúra celého súboru suchárov v obidvoch má klesajúce rozdelenie, ale v samotnej mortalite (Obr. 3d) nedominuje jednoznačne žiadna hrúbková trieda.





**Obr. 3:** Zmena rozdelenia hrúbkových početností odumretých stojacich kmeňov smreka v rámci skúmaného obdobia (2013–2018) v NPR Zadná Poľana

a – Východiskové rozdelenie hrúbkových početností, stav v čase prvého merania (2013)

b – Odumreté stojace kmene, ktoré do roku 2018 prešli do kategórie odumretého ležiaceho dreva (nekromasa)

c – Zostávajúce suché kmene (odumreté do merania v roku 2013)

d – Stojace kmene odumreté počas sledovaného obdobia piatich rokov (2014–2018)

e – Rozdelenie hrúbkových početností suchých stojacich kmeňov v roku 2018

**Fig. 3:** The change of diameter distribution of spruce standing dead trees in the research period (2013–2018) in NPR Zadná Poľana

a – Diameter distribution in 2013

b – Standing dead trees fallen down and assigned to the category “deadwood”

c – Residual dead trees (dead to year 2013)

d – Standing trees dead during the 5-year study period (2013–2018)

e – Diameter distribution of standing dead trees in 2018

## Diskusia

Základné taxačné charakteristiky – zásoba porastu a kruhová základňa porastu sa nachádzajú v rozpätí hodnôt, ktoré vo svojich prácach uvádzajú LEIBUNDGUT (1993), HOLEKSA *et al* (2007), ZIELONKA (2006), SVOBODA, POUŠKA (2008). V závislosti od stanovištných podmienok sa priemerné zásoby pohybujú v rozpätí od 270 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> do 550 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> a priemerné kruhové základne od 35 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> do 55 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. Zmena zásoby a kruhovej základne za 5-ročné obdobie (Tab. 1) predstavuje priemerný ročný prírastok 1,30 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Kladné decenálne zmeny zásob smrekových prírodných lesov na Slovensku nepresahujú hodnoty 20% aktuálnej zásoby porastu.

Podľa syntézy zostavenej KUCBELOM (2014) bol decenálny objemový prírastok, ktorý presahoval viac ako 10% aktuálnej zásoby zaznamenaný len dvakrát počas celého obdobia systematického výskumu pralesov na Slovensku. Naopak, záporné zmeny spôsobené rýchlym odumieraním môžu dosiahnuť až 80% (HOLEKSA *et al.* 2017).

Zistený nízky podiel ostatných drevín, v rámci ktorých dominuje jarabina je charakteristický pre smrekové prírodné lesy s maloplošným disturbančným režimom. Ich prosperovanie je obmedzené len na relatívne krátke obdobia nasledujúce po disturbančnej udalosti, pričom *Sorbus aucuparia* je na rozdiel od ostatných pionierskych drevín schopná prežívať pod zapojeným smrekovým porastom aj niekoľko dekád (HOLEKSA *et al.* 2017, ŽYWIEC *et al.* 2012) a vytvárať tak početnú rezervu prirodzeného zmladenia. Po vytvorení porastovej medzery je obnova schopná odrásť, ale za krátky čas, kým ju nepredrastie smrek dosiahne len malé dimenzie. Toto je príčinou rozdielneho zastúpenia vypočítaného zo zásoby prípadne z kruhovej základne (3%) a z počtu kmeňov (12%). Podobne ako jarabina, aj ostatné dreviny, ktoré sa vyskytujú v poraste sú tolerantné voči dlhodobému zatieneniu a ich výskyt je viazaný na prevažne maloplošný disturbančný režim, ktorý je charakteristický pre celú NPR Zadná Poľana. Smrekovec v horskom masíve Poľany prirodzene chýba a žiadny relevantný zdroj tu neuvádza jeho výskyt, ktorý by indikoval veľkoplošný rozpad smrečín v minulosti.

Pozorovali sme bimodálne rozdelenie hrúbkových početností (Obr. 2) je najmenej častým typom rozdelenia a podľa KUCBELA (2014) sa vyskytovalo iba v 14% prípadov analyzovaných štruktúr vysokohorských smrekových lesov. Najčastejšie sa vyskytujúcou hrúbkovou štruktúrou smrekového pralesa je unimodálna (ZIELONKA, MALCHER 2009, SZEWCZYK *et al.* 2011), ktorá je výsledkom a zároveň aj predpokladom pre výskyt silných disturbančných udalostí s veľkým plošným rozsahom. Naopak, bimodálne, alebo obrátene sigmoidné štruktúry sú nielen plošne, ale aj časovo obmedzené a nie sú vzhľadom na biologické vlastnosti a rastové schopnosti smreka trvalo udržateľné.

Odumieranie smreka pozorované v našom prípade je jednotlivé a spolu s nízkou intenzitou (6 ks ha<sup>-1</sup>) konzervuje bimodálnu štruktúru porastu. Vzhľadom na nízku intenzitu spôsobenú hlavne krátkym obdobím pozorovania, nie je možné jasne identifikovať dominantný typ mortality. Hrúbková štruktúra živých stromov v NPR Zadná Poľana implikuje tzv. „U-shaped“ mortalitu (GOFF, WEST 1975), t. j. odumieranie tenkých a potlačených smrekov ako výsledok konkurencie spolu s najhrubšími stromami úroveň dosahujúcich hranicu maximálneho fyzického veku. V našom prípade (Obr. 3d) odumierali stromy z celého hrúbkového rozpätia. Odumieranie stromov nastojato, ktoré je zväčša spôsobené hmyzom znamená ročnú mieru mortality 0,52% počtu živých stromov z roku 2013. Jedná sa o nízku hodnotu, v ktorej nie je zahrnutá mortalita v dôsledku vyvrátenia živých stromov vetrom. Táto má podľa našich zistení približne rovnakú intenzitu – napriek tomu sa stále jedná o veľmi nízke hodnoty. Podľa WOODSA (2004) je krátkodobá mortalita v prírodných lesoch v rovnovážnej etape ich vývoja vždy podhodnotená oproti mortalite za dlhé obdobie. Dlhodobá mortalita, zahrňujúca aj menej časté ale silné disturbančné udalosti, sa spolu s mortalitou počas dlhších etáp rovnovážneho stavu vyznačuje vysokou časovou variabilitou. Samotná zmena početnosti a hrúbkovej štruktúry suchých stojacich stromov nie je na prvý pohľad veľká. Dynamika zmien v rámci tejto skupiny je však významná a bez podrobnej analýzy založenej na sledovaní vývoja konkrétnych stromov v čase, resp. obmedzenej iba na sumarizáciu početností, zostáva skrytá.

## Záver

Prírodné lesy sú považované za ekosystémy s najvyššou mierou rezistencie voči vonkajším disturbanciám. Zmeny v hrúbkovej štruktúre živých jedincov smreka neboli výrazné. Za pozorované obdobie z celkového počtu živých stromov došlo k nepatrnému poklesu o 3,3%. Výsledky analýzy hrúbkových početností potvrdili výskyt bimodálneho typu rozdelenia. Na základe toho je možné predpokladať, že sa jedná o smrekový prírodný les s disturbančným režimom charakterizovaným výskytom slabých disturbancií. Pre potvrdenie týchto skutočností je potrebná verifikácia dlhším meraním.

Výraznejšia dynamika štruktúry sa naopak prejavila v kategórií stojacich odumretých jedincov smreka. Mortalita smrekov a ich prechod z kategórie živých stromov do kategórie odumretých je za pozorované obdobie veľmi nízka. Ročná miera mortality je na úrovni 0,52%. Prezentovaná práca vytvára priestor pre dôkladnejší popis disturbančného režimu zohľadňujúci ďalšie faktory, ktoré ho ovplyvňujú. Taktiež je vytvorený priestor pre analýzu prírodzenej obnovy, nakoľko regeneračné procesy vysokohorských smrečín sú charakteristické veľkým množstvom špecifik.

## Použitá literatúra

- BURSCHEL, P., HUSS, J. Grundriss des Waldbaus. Parey Buchverlag: (1997) 29–66 p.
- FRANKLIN, J., F., SHUGART H. H., HARMON M. E. Tree Death as an Ecological Process. *BioScience* 37: (1987) 550–556 p.
- GOFF, F. G., WEST, D.: Canopy-understory interaction effects on forest population structure. *Forest Science* 21: (1975) 98–108 p.
- HOLEKSA, J., JALOVIAR, P., KUCBEL, S., SANIGA, M., SVOBODA, M., SZEWCZYK, J., SZWAGRZYK, J., ZIELONKA, T., ZYWIEC, M.: Models of disturbance driven dynamics in the West Carpathian spruce forests. *Forest Ecology and Management* 388: (2017) 79–89 p.
- HOLEKSA, J., SANIGA, M., SZWAGRZYK, J., DZIEDZIC, T., FERENC, S., WODKA, M.: Altitudinal variability of stand structure and regeneration in the subalpine spruce forests of the Poľana biosphere reserve, Central Slovakia. *European Journal of Forest Research* 126: (2007) 303–313 p.
- KEETON, W.S.: Managing for late-successional /old-growth characteristics in northern hardwood-conifer forests. *Forest Ecology and Management* 235: (2006) 129–142 p.
- KORPEL, Š.: Pralesy Slovenska. Veda Bratislava: (1989) 332 p.
- KUCBEL, S.: Časová a priestorová variabilita štruktúry vysokohorských smrekových lesov Slovenska. Habilitačná práca, TU vo Zvolene: (2004) 101 p.
- LEIBUNDGUT, H.: Europäische Urwälder. Verlag Paul Haupt Bern: (1993) 260 p.
- PETRÁŠ, R., PAJTÍK, J.: Sústava československých objemových tabuliek drevín, *Lesnícky časopis* 37(1): (1991) 49–56 p.
- SANIGA M.: Štruktúra a regeneračné procesy smrekového pralesa NPR Zadná Poľana. *Acta Facultatis Forestalis* 47: (2005) 175–186 p.
- SANIGA M., HOLEKSA J., SZWAGRZYK J.: Štruktúrna diverzita smrekového prírodného lesa v národnej prírodnej rezervácii Zadná Poľana. *In: Biosférická rezervácia Poľana po pätnástich rokoch* Technická univerzita vo Zvolene: (2005) 115–119 p.

- SVOBODA, M., POUSKA, V.: Structure of a Central-European mountain spruce old-growth forest with respect to historical development. *Forest Ecology and Management* 255: (2008) 2177–2188 p.
- SZEWczyk, J., SZWAGRZYK, J., MUTER, E.: Tree growth and disturbance dynamics in old-growth subalpine spruce forests of the Western Carpathians. *Canadian Journal of Forest Research* 41: (2011) 938–944 p.
- ŠKVARENINA, J., MINDÁŠ, J., STŘELCOVÁ, K.: Bioclimatological and ecophysiological research in Biosphere Reserve Poľana. In: SLÁVIKOVÁ D., PAVLÍK M. (eds) Trvalo udržateľné využívanie lesa vo vzťahu k ekologickej stabilite krajiny Biosférickej rezervácie – Chránenej krajinskej oblasti Poľana vo Zvolene 29.04.2004, Vydavateľstvo Technickej univerzity vo Zvolene: (2004) 49-63 p.
- TEUFFEL, V., HEINRICH K., BAUMGARTEN, B.: Present Distribution of Secondary Norway Spruce in Europe. (2004) In: SPIECKER et al. (eds.): *Norway Spruce Conversion*. Brill, Leiden, Boston, 63–96 p.
- WOODS, K. D.: Intermediate disturbance in a late-successional hemlock-northern hardwood forest. *Journal of Ecology* 92: (2004)464–476. *Canadian Journal of Forest Research* 41: (2011) 938–944 p.
- ZIELONKA, T.: Quantity and decay stages of coarse woody debris in old-growth subalpine spruce forests of the western Carpathians, Poland. *Canadian Journal of Forest Research* 36: (2006) 2614–2622 p.
- ZIELONKA, T., MALCHER, P.: The dynamics of a mountain mixed forest under wind disturbance in the Tatra Mountains, central Europe—a dendroecological reconstruction. *Canadian Journal of Forest Research* 39: (2009) 2215–2223 p.
- ŽYWIEC, M., HOLEKSA, J., WESOŁOWSKA, M., SZEWczyk, J., ZWIJACZ-KOZICA, T., KAPUSTA, P.: *Sorbus aucuparia* regeneration in a coarse-grained spruce forest – a landscape scale *J. Veg. Sci.*, 24: (2012) 735-743 p.

### PodĎakovanie

Práca vznikla s finančnou podporou projektov VEGA 1/0492/17 „*Regeneračné procesy zmiešaných listnatých a vysokohorských smrekových prírodných lesov a možnosti ich využitia pri konverzii hospodárskych smrečín*“ a IPA TU Zvolen 06/2019.

### Summary

The aim of this paper is an evaluation of diameter distribution of living and dead spruce trees and temporal variability of their structure within the frame of 5-year time period (2013 - 2018). The research plots are situated in the forest compartments no. 526 and 527 in the National Nature Reserve Zadná Poľana. The data was collected on grid of 20 circular permanent research plots with area of 1,000 square metres (radius 17.85 m) established in a regular 100 m × 100 m grid. The positions of all trees with diameter  $d_{1.3} > 8$  cm were recorded in 2013 used Field – Map technology. Repeated inventory was carried out after 5 years in 2018.

Spruce is the dominant tree species while mountain ash, beech, sycamore maple and fir account for less than 3% of growing stock and basal area. The values of basic stand characteristics (growing stock, basal area) were within the range typical for high-mountain spruce ecosystems. The remarkable bimodal shape of diameter distribution was observed in the case of living spruce trees. A total number of trees decreased by 3.3% during the 5-year study period.

Significant dynamics was revealed in the category of standing dead trees. Number of trees in this category decreased by one fifth. The mortality with no specific cause

was (6 pcs.ha<sup>-1</sup>). Only 2.6% of living trees died in 5-year period 2013–2018. A mortality caused primarily by bark insects coming within the frame of whole diameter frequencies spectre and reaches 0.52% intensity per year. This low mortality is associated with a short study time. In spite of seeming overall constancy of the studied forest, the dead spruce structure has changed considerably. Based on result we can conclude that its disturbance regime is characterized by frequent low intensity disturbances.

## PÉČE A VÝCHOVA MLADÝCH POROSTŮ S TŘEŠNÍ PTAČÍ – ZKUŠENOSTI A DOPORUČENÍ Z NIŽŠÍCH OBLASTÍ JIŽNÍ MORAVY

### SILVICULTURE OF YOUNG STANDS WITH WILD CHERRY – EXPERIENCE AND RECOMMENDATION FROM LOWER ALTITUDES OF SOUTH MORAVIA

Matuš Sendecký, Mikuláš Žalek, Monika Sklenářová, Ivo Březina, Antonín Martiník\*

Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Ústav zakládání a pěstění lesů, Zemědělská 3, 613 00 Brno, ČR

\*corresponding author: antonin.martinik@mendelu.cz

#### Abstract

*The paper deals with silviculture perspective of six young stands with wild cherry. Three stands (age 13, 8, 2 years) are located in the Židlochovice Forest Enterprise, the remaining stands (age 10, 7, 2 years) are located in the TFE Křtiny. The stands in Židlochovice represent a floodplain forest on rich sites of oak vegetation zone. The stands in TFE Křtiny represent a rich, drier soil of oak and beech-oak vegetation zone. The results showed that pruning led to decrease diameter increment. Further, intercropping stimulated early growth of cherries trees. Insufficiently developed or totally defective lower story together with bayonet cherry growth limit the successful cultivation of wild cherry in research areas.*

**Keywords:** wild cherry, silviculture, pruning, intercropping

#### Abstrakt

*V článku je hodnocena pěstební perspektiva šesti mladých porostů s třešní ptačí. Tři porosty ve věku 13, 8 a 2 roky jsou lokalizovány na LZ Židlochovice, zbylé tři ve věku 10, 7 a 2 roky se nacházejí na ŠLP Křtiny. Porosty na LZ Židlochovice reprezentují lužní a bohatší stanoviště dubového lesního vegetačního stupně (LVS). Porosty na ŠLP Křtiny reprezentují bohatá, sušší stanoviště dubového a buko-dubového LVS. Výsledky prokázali negativní vliv vyvětrování na tloušťkový přírůst. Naopak polaření vedlo k rychlejšímu odrůstání třešně v porostech. Nedostatečně vyvinutá, nebo zcela chybující spodní etáž spolu s bajonetovým růstem třešně limitují úspěšné pěstování této dřeviny v zájmových oblastech.*

**Klíčová slova:** třešeň ptačí, pěstování, vyvětrování, polaření

#### Úvod a problematika

Třešeň ptačí (*Prunus avium* L.) se běžně vyskytuje jako přimíšená nebo vtroušená dřevina na řadě stanovišť ČR. Jedná se přitom o druh, který není považován za původní v rámci celé České republiky, nicméně v současnosti hlavně o dřevinu hospodářský velice perspektivní (KUPKA 2005; STOJECOVÁ 2008; VÍTKOVÁ 2018). Pro cílový hospodářský soubor (CHS) – 21, 25, 41, 45, 51, 55 je pak třešeň uvedena jako dřevina meliorační a zpěňující (Vyhl. 289/2018). Z hospodářského, resp. dřevoproductivního hlediska lze za neoptimálnější stanoviště pro pěstování této dřeviny považovat nutričně dobře zásobené půdy v teplejších oblastech s příznivými vláhovými poměry (ÚRADNÍČEK et al. 2001; STOJECOVÁ 2008). Biologické vlastnosti třešně ptačí nutně vedou ke specifickým postupům při jejím zavádění a pěstování (KACÁLEK et al. 2014; MAUER, HOUŠKOVÁ 2016).

Třešeň nelze obvykle pěstovat jako monokulturu, tato dřevina by měla tvořit jednotlivou příměs v horních etážích (vrstvách) smíšených porostů. Jako optimální dřeviny spodní etáže (vrstvy) jsou doporučovány především stín snášející listnáče jako je buk, habr, nebo lípa případně i javor (KUPKA 2005; KACÁLEK et al. 2014; STEJSKAL, DOVRTĚL 2016). To platí i v případech, že třešeň pěstujeme v plantážích. Kromě přítomnosti stínících dřevin se pěstování třešně na vysoce jakostní dříví neobejde bez vyvětrování (SPRINGMANN et al. 2011; MAUER, HOUŠKOVÁ 2016).

Vyvětčováním sice snížíme množství asimilačních orgánů, a tedy i tloušťkový přírůst, na stranu druhou dosáhneme čistého kmene do požadované výšky. Vyvětčování rovněž může podněcovat výškový přírůst, který je důležitý v raných fázích růstu porostu, resp. třešně (ŽALEK 2018). Po dosažení nezavětveného kmene je druhou fází pěstování třešně péče o korunu (MAUER, HOUŠKOVÁ 2016).

Cílem předkládaného příspěvku je zhodnotit dosavadní výzkumné zkušenosti z pěstování třešně ptačí v zájmových oblastech, kterými jsou Lesní závod Židlochovice a Školní lesní podnik „Masarykův les“ (ŠLP) Křtiny. Dílčí cíle tohoto článku jsou následující:

- zhodnotit vliv vyvětčování na tloušťkový a výškový přírůst třešně ptačí;
- analyzovat vliv polaření na odrůstání třešně ptačí;
- posoudit pěstební předpoklady vybraných porostů a zhodnotit jejich hospodářské perspektivy.

## Materiál a metody

### Zájmové oblasti a porosty

Terénní šetření probíhala v šesti experimentálních porostech s dominantním zastoupením třešně ptačí lokalizovaných do dvou zájmových oblastí – LZ Židlochovice (I) a ŠLP Křtiny (II). Vybrané porosty reprezentují přírodní podmínky přírodní lesní oblasti (PLO) 35 a 30, resp. CHS 19 a 25. V současnosti se jedná o porosty ve stádiu kultur až tyčkovin, přitom všechny vznikly umělou obnovou – výsadbou (Tab. 1).

**Tab. 1:** Charakteristika zájmových oblastí a experimentálních porostů

**Tab. 1:** Characteristics of research area and experimental stands

Oblast <i>Locality</i>	Označení <i>Mark</i>	PLO <i>Natural forest area</i>	Porost <i>Stand</i>	SLT <i>Forest type</i>	Založení porostu <i>Year of establishment</i>
Židlochovice	I	35 – Jihomoravské úvaly	1	1 S	2005
			2	1 L	2010
			3	1 L	2016
ŠLP	II	30 – Dražanská vrchovina	1	1 B	2011
			2	2 H	2008
			3	2 B	2016

### Založení experimentů a sběr dat

V experimentálních porostech I–1, I–2, II–1 a II–2, resp. jejich reprezentativních částech byly na jaře roku 2017 vybrány vzorníky třešní, přičemž část z nich byla vyvětvena (V), část ponechaná bez vyvětvení (stromy kontrolní – K). Počet vzorníků nebyl ve všech porostech, ani pro jednotlivé varianty totožný a pohyboval se v rozpětí od 13 do 83 (Tab. 2). Rovněž výška vyvětvení nebyla jednotná a lišila se podle výšky stromu, kvality kmene a koruny. Především v porostech 1 a 2 na ŠLP Křtiny odpovídala výška vyvětvení vzhledem k celkově nízké kvalitě kmene (vidličnatost, bajonetový vzrůst, košatění korun) potenciální výšce hodnotného (rovného) kmene. Když to situace dovozovala, byly vzorníky vyvětveny až na poslední přeslen (na špičák). Vyvětčování probíhalo na přelomu června a května. Před vyvětvením, resp. na začátku vegetační sezóny 2017 byly u všech vzorníků změřeny základní dendrometrické parametry, tedy celková výška a výčetní tloušťka. Oba tyto parametry byly následně změřeny po dvou vegetačních sezónách, tj. na konci roku 2018. Při měřeních byla dále posuzována celková hospodářská perspektiva porostu,

resp. třešně. Pozornost byla zaměřená na kvalitu kmene, tvorbu sekundárních výhonů a hojení řezných ran.

Vliv polaření na odrůstání třešně byl hodnocen v porostu I–3. Za tím účelem bylo v porostu prováděno polaření na polovině jeho plochy, druhá polovina byla ošetřována standardně (mechanická i chemická likvidace buřeně). Hodnocena výška nadzemní částí a tloušťka kořenového krčku (5 cm nad zemí) na začátku (jaro 2017) a na konci sledovaného období (podzim 2018). V obou porostních částech (variantách) byla třešeň vyvětvována na špičák, tedy s odstraněním všech bočních a přeslenových větví.

V porostu II–3 byl založen pokus hodnotící vliv opakovaného vyvětvění, po jednom a po dvou letech, na růst třešně. V porostu, kde byly v roce 2017 vyvětvěny všechny třešně na špičák, byla v následujícím roce (2018) část třešní opětovně vyvětvěna, část ponechána bez zásahu (s vyvětvěním těchto třešní se uvažuje v roce následujícím). Na konci roku 2018 byly hodnoceny rozdíly v ročním výškovém a tloušťkovém přírůstu pro skupinu třešní vyvětvěných a nevyvětvěných.

Ke statistickému zhodnocení vybraných biometrických veličin (vyvětvění/polaření vs kontrola) byl použitý studentův t-test. Veškeré analýzy byly provedeny ve statistickém programu R (R DEVELOPMENT CORE TEAM 2017).

**Tab. 2:** Postavení třešně ptačí v experimentálních porostech

**Tab. 2:** Position of wild cherry in the experimental stands

Lokalita <i>Locality</i>	Porost <i>Stands</i>	Velikost porostu <i>Stand area</i> [ha]	Spon <i>Spacing</i>	Zastoupení TR <i>Wild cherry composition</i> [%]	Ostatní dřeviny <i>Other trees</i>	Hodnocené stromy <i>Measured trees</i> [ks/pcs]	
						V	K
I	1	2,32	4 × 5	70	AK, BB, LP	83	41
	2	1,92	5 × 5	10	JS, KL, DB	30	27
	3	1,15	3 × N	30	KL, JS, TP	19 <sup>a</sup>	16 <sup>b</sup>
II	1	0,40	2 × 1	50	BK, HB, LP	38	19
	2	0,26	2 × 1	95	LP, HB	24	13
	3	6,90	2 × 1	60	JD, SM, HB	80	99

I – Židlochovice; II – ŠLP Křtiny II – Židlochovice; II – TFE Křtiny

N – v řadě nepravidelně/irregular in line

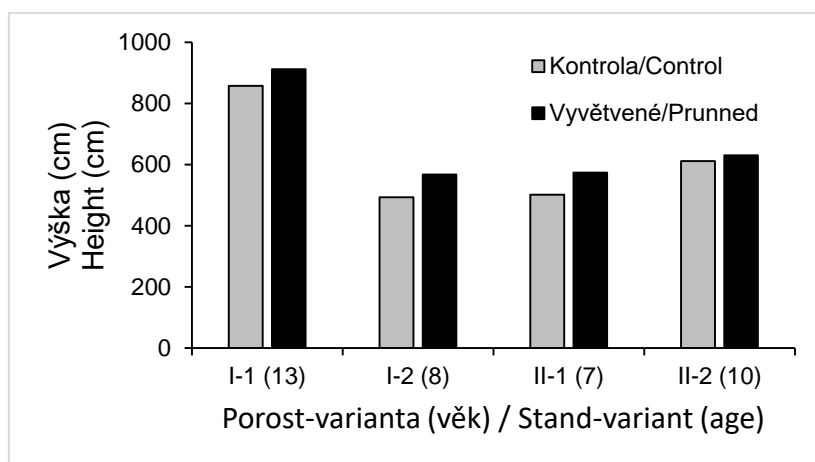
AK – *Robinia pseudoacacia*, BB – *Acer campestre*, BK – *Fagus sylvatica*, HB – *Carpinus betulus*, JD – *Abies alba*, JS – *Fraxinus* spp. KL – *Acer platanoides*, LP – *Tilia cordata*, SM – *Picea abies*, TP – *Populus canescens*, TR – *Prunus avium*

V – vyvětvěné/pruned trees, K – kontrola/control, a - polařená část/intercropped part, b - nepolařená část/non-intercropped part

## Výsledky a diskuze

Přes různý věk analyzovaných porostů je patrná odlišná dynamika odrůstání třešní v porostech (Obr. 1). Výše uvedené rozdíly mohou souviset jak s podmínkami stanoviště, tak s použitým sadebním materiálem a odlišnou péčí o založené porosty (MAUER, HOUŠKOVÁ 2016). Zájmové porosty se nacházejí spíše v sušších oblastech, kde třešeň i přes dostatek živin nenachází své produkční optimum (INDRUCH 1985; ÚRADNÍČEK et al. 2001, VÍTKOVÁ 2018). Na stranou druhou absence záplav na lužních stanovištích vede k vyšší perspektivě pěstování třešně právě v oblasti sušších luhů (BLAHA 2007; STEJSKAL, DOVRTĚL 2016). V nižších polohách ŠLP Křtiny lze, vzhledem k zhoršeným vláhovým poměrům, očekávat u třešně nižší bonity (www.klimatickazmena.cz).





**Obr. 1:** Průměrná výška třešňí v zájmových oblastech v roce 2018  
**Fig. 1:** Mean height of cherries on research areas in year 2018

Výška vyvětvení v prvním a druhém porostu obou lokalit byla velmi variabilní a s výjimkou porostů II-2 často přesahovala 4 metry (Obr. 1–2). Uvedená výška může být cílovou především pro podmínky ŠLP Křtiny, které reprezentují nižší bonity třešně. Výsledky šetření přitom potvrdili, že vyvětvování nemá negativní vliv na výškový přírůst (Tab. 3). Naproti tomu byl dle předpokladu KUPKA (2007), SPRINGMANN et al. (2011), potvrzen negativní vliv vyvětvování na přírůst tloušťkový (Tab. 3).

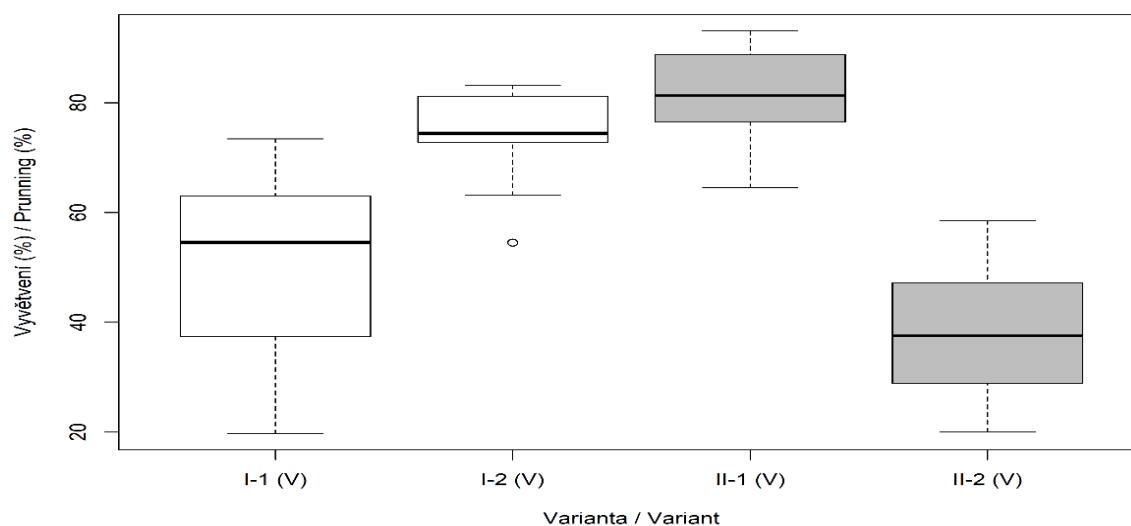
Výčetní tloušťky vzorníků v porostech víceméně odpovídají výšce, resp. věku porostů (Obr. 1–3). Jedince nad 7 cm, resp. 10 cm nalezneme jen v nejstarším 13-letém porostu I-1 (Obr. 3). Předjímat přírůstové poměry v analyzovaných porostech je obtížné vzhledem k očekávané dynamice přírůstků, reakci na zvětšující se koruny a probíhající klimatickou změnu (PRETZSCH 2009, MAUER, HOUŠKOVÁ 2016, www.klimatickazmena.cz).

Přesto lze, vzhledem k aktuálnímu stavu porostů (Obr. 3), očekávat u nejvzácnějších jedinců dosažení požadovaných dimenzí, tj. kolem 40 cm, a to ve věku doporučeném pro sklizeň intenzivně pěstované třešně ptačí, tedy mezi 40–60 lety (MAUER, HOUŠKOVÁ 2016, VÍTKOVÁ 2018). Současně byla (vlastní pozorování) kvalita porostu 1 a 2 na ŠLP Křtiny spíše slabá. Na stranu druhou, především na ŠLP Křtiny byla v porostech zaznamenána celkově nižší kvalita třešňí. Perspektivní jedinci zde s výjimkou nejmladšího porostu, nebyli rovnoměrně rozmístěni po celé ploše porostu v odpovídajících rozestupových vzdálenostech.

Také vitalita hodnocena tloušťkovým přírůstkem potlačených, ale perspektivních jedinců vzbuzuje určité obavy - viz Tab. 4. Celkově nižší kvalita třešňí byla zaznamenána také v porostu I-2, zde však na rozdíl od obou starších porostů ve Křtinách (II-1,2) lze počítat s dalšími hospodářskými dřevinami, a to javorem mléčem a dubem letním. Příčin nižší kvality porostů ve Křtinách může být hned několik – sadební materiál, poškození biotickými a abiotickými činiteli, špatná péče o kultury. Nejčastější vadou je zde bajonetový kmen, který vzniká jako reakce na poškození terminálního pupene. Důvod vzniku této vady, kterou MAUER, HOUŠKOVÁ (2016) pokládají za limitní pro úspěšné dopěstování třešně, může být kromě nevhodného původu, také poškození mrazem, škůdci nebo zvěří. Uvedená problematika vyžaduje další výzkum zaměřený na příčiny a eliminace tohoto jevu.

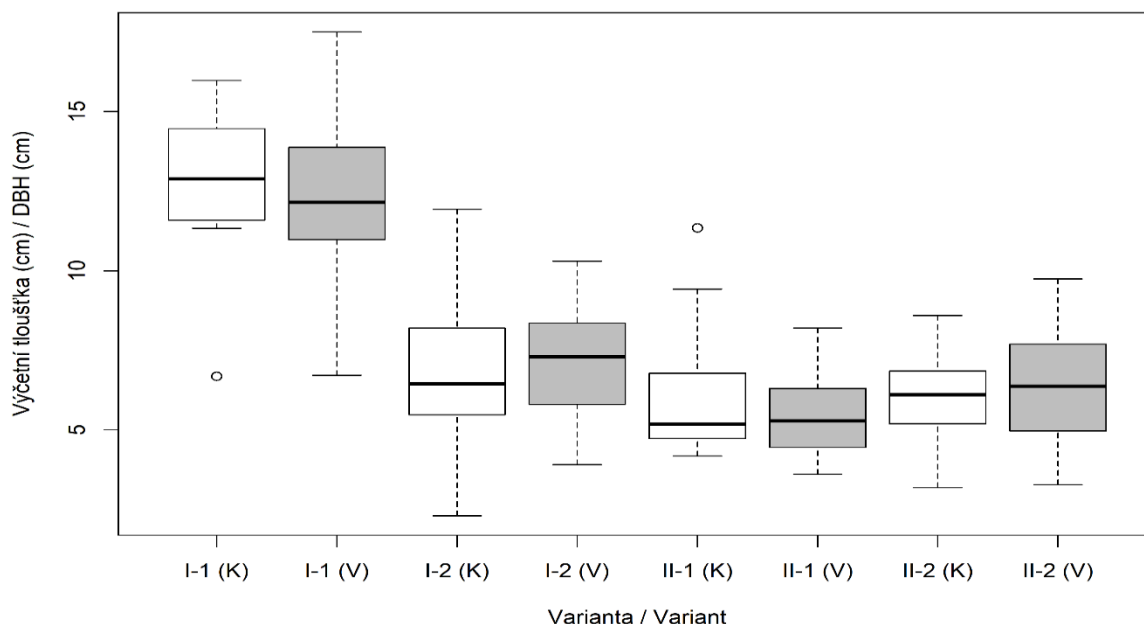
V experimentálních porostech, resp. na kmenech třešňí se často vyskytovaly sekundární výhony, které rovněž znehodnocují kvalitu kmene (SPRINGMANN et al. 2011). K jejich odstranění jsou nezbytné opakované zásahy, které výrazně zvyšují

ekonomickou nákladovost pěstování třešně. Sekundární výhonu na kmenech třešní vznikají jako reakce na uvolnění zápoje a osvětlení kmenů (SPRINGMANN et al. 2011, vlastní pozorování). K zamezení vzniku sekundárních výhonu je nezbytné vytvářet bohatou spodní etáž (vrstvu) z krycích stín, snášejších dřevin (KUPKA 2001; MAUER, HOUŠKOVÁ 2016). Funkce a výskyt těchto dřevin byla nedostatečná v obou porostech na Židlochovicích a zcela, nebo úplně, tyto dřeviny chyběly v porostech na ŠLP Křtiny.



**Obr. 2:** Relativní výška vyvětvení (%) třešní v experimentálních porostech

**Fig. 2:** Relative height of pruned cherry trees (%) in experimental stands



**Obr. 3:** Výčetní tloušťka v roce 2018 pro vyvětvené (V) a nevyvětvené (K) třešně v experimentálních porostech

**Fig. 3:** Diameter at breast height (DBH) of pruned cherries (V) and non-pruned (K – control) cherries in the experimental stands in 2018

**Tab. 3:** Hodnoty a statistická významnost rozdílu relativních (%) tloušťkových a výškových přírůstu pro skupiny vyvětvených a nevyvětvených třešní v experimentálních porostech

**Tab. 3:** Values and statistically significant different in relative (%) diameter and height increment of variants pruned non-pruned cherry trees in the experimental stands

Varianta Variant	Průměrní tloušťkový přírůst (cm) Mean diameter increment (cm)			Průměrní výškový přírůst (cm) Mean height increment (cm)		
	kontrola control	vyvětvené pruned	p-hodnota p-value	kontrola control	vyvětvené pruned	p-hodnota p-value
I-1	16,74	12,65	0,02372	6,87	8,15	0,4817
I-2	47,20	35,23	0,01424	27,41	29,47	0,4577
II-1	19,41	11,95	0,00000	14,00	20,30	0,00018
II-2	20,56	12,03	0,01339	24,94	22,86	0,4251

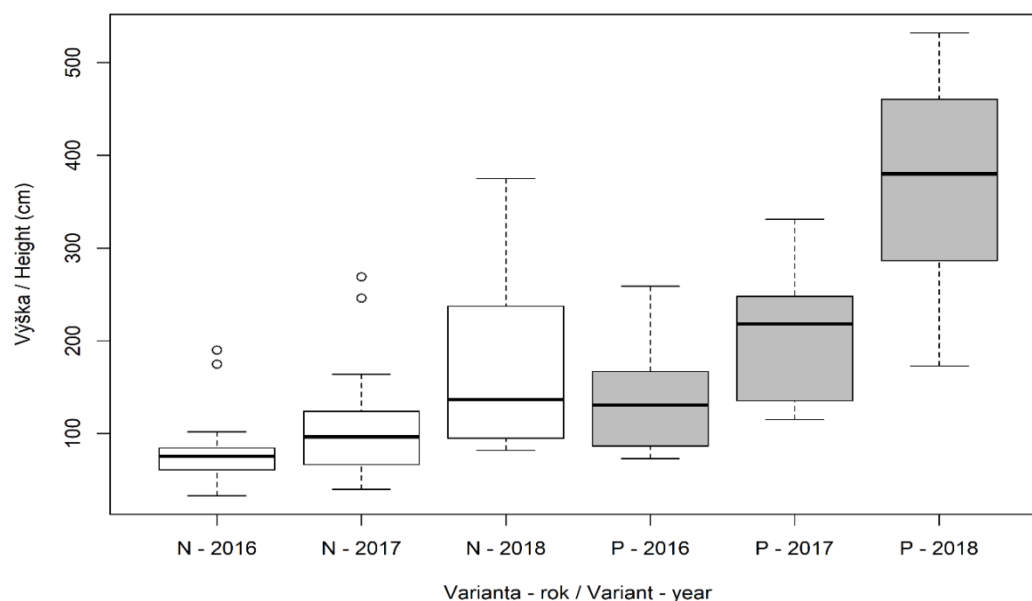
**Tab. 4:** Tloušťkový přírůst pro skupinu třešní vyvětvených (V) a nevyvětvených (K) v období 2016–2018

**Tab. 4:** Diameter increment of pruned (V) and non-pruned (K – control) cherries during years from 2016 to 2018

Varianta Variant	Tloušťkový přírůst (cm) / Diameter increment (cm)							
	Průměr / Mean		SD		Min		Max	
	K	V	K	V	K	V	K	V
I-1	1,75	1,38	0,385	0,593	0,98	0,48	2,32	3,12
I-2	1,97	1,75	0,525	0,426	0,77	1,05	2,78	2,73
II-1	1,17	0,65	0,439	0,295	0,25	0,05	2,05	1,15
II-2	1,07	0,70	0,542	0,387	0,06	0,12	1,85	1,47

SD – směrodatná odchylka/standard deviation, K – Kontrola/control, V – Vyvětvené/pruned

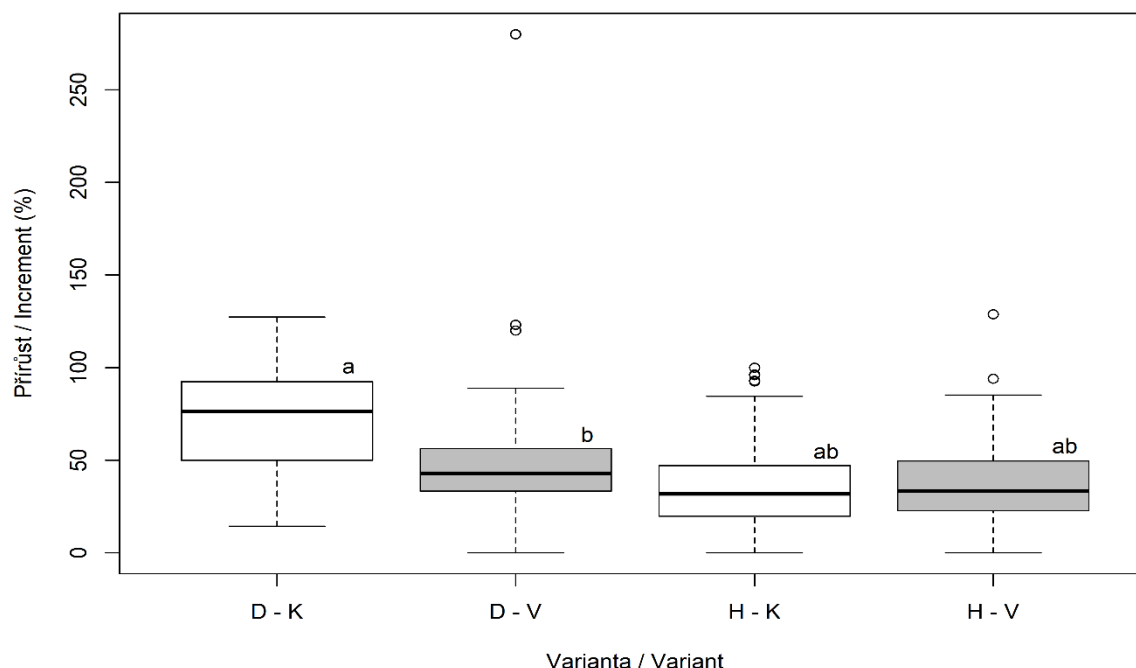
Analýza přírůstových poměrů v mladém porostu v Židlochovicích (I–3 viz Obr. 4) prokázala pozitivní vliv polaření na odrůstání třešně. Jedná se o dlouhodobě známou skutečnost u většiny hospodářských dřevin, především na lužních stanovištích (SUTUMA 1996). Širší uplatnění této činnosti však vzhledem k současné socio-ekonomické situaci nelze příliš očekávat.



**Obr. 4:** Vývoj výšek třešní na polařené (P) a nepolařené (N) částí porostu Židlochovice I–3

**Fig. 4:** Development of cherry trees on intercropped (P) and non-intercropped (N) part of stand Židlochovice I–3

Přírůstové poměry v mladém porostu na ŠLP Křtiny (II–3, viz Obr. 5) potvrdili již uvedenou skutečnost snižujícího se tloušťkového přírůstu jako reakce na vyvětvení. Potřeba dosažení požadovaných dimenzí za relativně krátkou produkční dobu, tak vede k úvaze provádění vyvětřování s nižší intenzitou. Ta může být dosažena buď v delších (dvou až tříletých intervalech) anebo s využitím selektivního vyvětřování silných větví (SPRINGMANN et al. 2011).



**Obr. 5:** Tloušťkový (D) a výškový (H) přírůst pro skupinu třešňí vyvětvených (V) a nevyvětvených (K) v roce 2018 - ŠLP II–3

**Fig. 5:** Diameter (D) and height (H) increment of pruned and non-pruned (control) cherry trees in 2018 – stand ŠLP II–3

## Závěr a doporučení

Intenzivní pěstování uměle založených porostů s třešňí ptačí v zájmových porostech, stejně jako kdekoli jinde, vyžaduje dodržování všeobecných zásad a zohlednění místních podmínek. Východiskem takto zaměřeného pěstování je sadební materiál vhodného (ověřeného původu), dále optimální dřevinná a prostorová skladba obnovovaného (zakládáného) porostu a důsledná pěstební péče. Bez dostatečného počtu a rozmístění výchovných dřevin, které již velice záhy začnou vytvářet krycí etáž (vrstvu), bude další úspěšné pěstování třešně obtížné ne-li nemožné. Z důvodu předběžné opatrnosti lze doporučit při zakládání intenzivních lesních kultur pestřejší dřevinnou skladbu, tvořenou nikoli jednou, hlavní hospodářskou dřevinou, ale minimálně dvěma. Totéž platí pro dřeviny výchovné. V sušších oblastech, kde třešně pravděpodobně dosáhnou nižších bonit, lze doporučit nižší vyvětřování; to je možné provádět selektivním způsobem – odstraňování pouze silných větví. Všude tam, kde to je možné, lze doporučit v raných fázích růstu porostů polaření, jako opatření vedoucí k rychlejšímu odrůstání nově založených kultur s třešňí ptačí.

## Literatura

- BLAHA, T. Forest management systems of floodplain forests in the Forest Enterprise Židlochovice (LZ LČR Židlochovice). In: Hobza, P. (ed.) *Forest management systems and regeneration of floodplain forest sites*. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2007. s. 9-18.
- INDRUCH A. *Zakládání a výchova listnatých porostů*. Praha: SZN, 1985. 142 s.
- KACÁLEK, D., DUŠEK, D., NOVÁK, J., LEUGNER J., BARTOŠ J. Pěstování třešně ptačí (*Prunus avium* [L.]) na bývalé zemědělské půdě: přehled poznatků. In: Štefančík, I. (ed.) *Proceedings of Central European Silviculture*. Zvolen: Národné lesnícke centrum, 2014. s. 157-162.
- Klimatická změna. Dostupné online na: <https://www.klimatickazmena.cz/cs/> [online 11.6.2019]
- KUPKA, I. Influence of different treatment on wild cherry seedlings performance. *Journal of Forest Science*, 2001. 47 (11): s. 486-491.
- KUPKA, I. Growth reaction of young wild cherry (*Prunus avium* L.) trees to pruning. *Journal of Forest Science*, 2007. 53: s. 555-560.
- KUPKA, I. Třešeň ptačí – vtroušená, nebo hlavní dřevina? *Lesnická práce*, 2015. 84 (8): s. 14-15.
- MAUER, O., HOUŠKOVÁ, K. *Zakládání a výchova porostů třešně ptačí (Prunus avium [L.] L.)*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2016. 6 s.
- PRETZSCH, H. *Forest dynamics, growth and yield: From measurement to model*. Berlín Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. 664 s.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM R: A language and environment for statistical computing. 2017, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Dostupný na: <http://www.R-project.org/>.
- SPRINGMANN, S., ROGERS, R., SPIECKER, H. Impact of artificial pruning on growth and secondary shoot development of wild cherry (*Prunus avium* L.). *Forest Ecology and Management*, 2011. 261: s. 764-769.
- STEJSKAL, J., DOVRTĚL, J. Třešeň ptačí – zajímavá a mnohdy opomíjená dřevina lesa. *Lesu zdar*. 2016. 1-3/16. 5-12 s.
- STOJECOVÁ, R. Obnova a pěstování třešně ptačí v podmínkách ŠLP Kostelec nad Černými lesy a Lesního statku Březno. Praha, 2008. Disertační práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra pěstování lesů. 206 s.
- SUTUMA, E. Potenciální úloha agrolesnictví při zlepšení systému využití půdy a ochrany životního prostředí. Brno 1996. Disertační práce. MZLU-LDF, Katedra pěstování a zakládání lesa. 137 s.
- ÚRADNÍČEK, L., MADĚRA, P., KOLIBÁČOVÁ, S., KOBLÍŽEK, J., ŠEFL, J. *Dřeviny České republiky*. Písek: Matice Lesnická, 2001, 333 s.
- VÍTKOVÁ, K. Ekonomické aspekty pěstování třešně ptačí (*Prunus avium* L.) s ohledem na podmínky Přírodních lesních oblastí 30 – Dražanská vrchovina a 35 – Jihomoravské úvaly. Brno, 2018. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta. 64 s.
- Vyhláška č. 298/2018 Sb. Vyhláška o zpracování oblastních plánů rozvoje lesů a o vymezení hospodářských souborů. Dostupný na: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2018-298>
- ŽÁLEK, M. Postavení a výchova třešně ptačí v porostu ve stavu převodu na les střední (ŠLP Křtiny - polesí Vranov) [online]. Brno, 2018 [cit. 2019-06-11]. Dostupné z: <<https://theses.cz/id/1irdtp/>>. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta.

## **Poděkování**

Příspěvek vznikl díky finanční podpoře projektu TAČR 2503/ST4180091 – Agrolesnictví – šance pro regionální rozvoj a udržitelnost venkovské krajiny. Číslo projektu TL01000298.

## **Summary**

The paper deals with silviculture perspective of six young stands with wild cherry established by planting. Three stands (age 13, 8, 2 years) are located in the Židlochovice Forest Enterprise, the remaining stands (age 10, 7, 2 years) are located in the TFE Křtiny. The stands in Židlochovice represent a floodplain forest on rich soil of oak vegetation zone. The stands in TFE Křtiny represent a rich, drier soil of oak and beech-oak vegetation zone.

The effect of pruning on diameter and height increment was analyzed in two older stands of both sites during two-year period (stands i.d.: I-1,2; II-1,2, see Tab. 2). The one-year effect of pruning on height and diameter increment was evaluated in the youngest stand in Training Forest Enterprise (TFE) Křtiny (II-3, see Tab. 2). The impact of intercropping on the early growth of wild cherry was analyzed in the youngest stand in the Židlochovice Forest Enterprise (I-3). All measurements were done during seasons 2017 – 2018.

Results showed negative impact of pruning on the diameter increment, due to reduction of assimilation apparatus (Tab. 3, 4; Fig. 5). The effect of pruning on height increment is unambiguous (Tab 3, 4; Fig 5). Intercropping led to faster growth of young cherries in the analyzed stand (Fig. 4).

The limit of the successful cultivation of wild cherry within research areas, were deficiency of nurse species in lower story and bayonet growth of terminal shoot.

## PRIESTOROVÁ DISTRIBÚCIA NAJVÝZNAMNEJŠÍCH NEPÔVODNÝCH DREVÍN V PODMIENKACH SLOVENSKEJ REPUBLIKY

### SPATIAL DISTRIBUTION OF MOST IMPORTANT NON-NATIVE TREES IN THE CONDITIONS OF THE SLOVAK REPUBLIC

Martin Slávik\*, Jozef Vladovič

Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav, T. G. Masaryka 22, 960 92 Zvolen, SR

\*corresponding author: martin.slavik@nlcsk.org

#### Abstract

*The paper summarizes the basic knowledge of spatial distribution and assessment of habitat-ecological conditions of the most the most common non-native trees plants in Slovakia. The maps show the occurrence of black locust, northern red oak, black walnut, European black pine, and Douglas fir shows. Edaphic-trophic (ecological) grids were chosen for the assessment of individual site-ecological conditions, which schematically illustrate the areal and spatial occurrence of typological units in their area, their diversity, vertical and edaphic-trophic arrangement. Their development was based on the digital layer of the typological forest maps of Slovakia (as of 2014), which was evaluated in the ArcGIS environment together with selected JPRLs with the occurrence of individual woody plants (concrete status in 2018).*

**Keywords:** allochthonous tree species, species composition, forest types group, spatial distribution

#### Abstrakt

*Príspevok sumarizuje základné poznatky o priestorovej distribúcii a posúdení stanovištne-ekologických podmienok jednotlivých najviac rozšírených hospodársky využiteľných introdukovaných drevín na Slovensku. Na mapových podkladoch znázorňuje výskyt agáta bieleho, duba červeného, orecha čierneho, borovice čiernej a douglasky tisolistej. Pri posudzovaní individuálnych stanovištne-ekologických podmienok boli zvolené edaficko-trofické (ekologické) mriežky, ktoré schematicky znázorňujú plošný a priestorový výskyt typologických jednotiek v posudzovanom území, ich pestrosť, vertikálne a edaficko-trofické usporiadanie. Pri ich tvorbe sa vychádzalo z digitálnej vrstvy typologických máp lesov Slovenska (stav k r. 2014), ktoré sa vyhodnocovalo v prostredí ArcGIS spolu s vybranými JPRL s výskytmi jednotlivých drevín (stav v roku 2018).*

**Kľúčové slová:** Nepôvodné dreviny, zastúpenie drevín, skupiny lesných typov, priestorová distribúcia

#### Úvod a problematika

Napriek skutočnosti, že lesné ekosystémy predstavujú najzachovalejšiu a zároveň najmenej ovplyvnenú časť našej krajiny, v minulosti prechádzali a aj v súčasnom období naďalej prechádzajú značnými zmenami. Jednou z hlavných príčin zmien v lesných porastoch, jednak v ich druhovej, vekovej aj priestorovej štruktúre bola v nedávnom historickom období spôsobená predovšetkým požiadavkami odberateľov drevenej suroviny, ktorí, svojim záujmom, respektíve nezaujmom o konkrétnu drevinu, dokázali do istej miery ovplyvniť drevinovú skladbu lesných porastov. Tento fakt je evidentný najmä v blízkosti historických banských miest, kde bola exploatácia lesnej ťažby najvyššia. Usmernenie optimálneho drevinového zloženia na týchto lokalitách, ale aj na ostatných, aj človekom menej narušených porastoch, kladie nové výzvy. Otázka optimalizácie drevinovej skladby v našich lesoch je veľmi žiaduca, jednak vzhľadom ku klimatickej zmene, extrémne narastajúcim kôrovcovým holinám, pri súčasnom riešení pozitívnej ekonomickej bilancie a zachovaní, prípadne zvýšení účinku ostatných funkcií lesa. Jednou z možností, ktorá môže pomôcť tieto úlohy splniť je využitie nepôvodných (introdukovaných) drevín.

V prípade porovnania výskytu nepôvodných drevín v lesoch Slovenska s inými európskymi krajinami, zistíme, že zastúpenie introdukovaných drevín v našich porastoch je minimálne, predstavuje necelých 2,5 % podielu lesného pôdneho fondu.

Najväčšiu plochu zaujíma agát biely, ktorý rastie na cca 33 719 ha, čo reprezentuje približne 1,7% lesného pôdneho fondu. Jeho výskyt je však viazaný prevažne na pôdne nepriaznivé stanovištia. Druhým, najviac zastúpeným nepôvodným listnatým druhom na Slovensku je dub červený, jeho výskyt je približne 2 250 ha porastovej plochy, teda približne 0,12%. Ako pomerne zaujímavý druh so širokým využitím aj na Slovensku sa ukazuje orech čierny, aj keď jeho výskyt v súčasnosti predstavuje menej ako tri stotiny percenta lesnej pôdy (535 ha). Z ihličnatých drevín sa na najväčšej ploche (viac ako 9 000 ha) vyskytuje borovica čierna, predstavuje to takmer 0,47 % lesného pôdneho fondu. Pomaly sa zvyšuje aj redukovaná plocha duglasky tisolistej, táto sa vyskytuje v súčasnosti na 1 100 ha (0,06 % LPF) (VLADOVIČ, SEDLIAK 2017).

Cieľom našej práce bolo vypracovať rámcovú schému typologického a ekologického posúdenia výskytu najzastúpenejších introdukovaných drevín na Slovensku.

### **Materiál a metodika**

Typologické a ekologické posúdenie výskytu vybraných introdukovaných drevín bolo uskutočnené na základe konkrétnych údajov a východiskovej analýzy súčasného stavu – aktuálneho zastúpenia a priestorovej distribúcie jednotlivých drevín v lesoch Slovenska so súčasným zohľadnením oblastného územného členenia na lesné oblasti (VLADOVIČ ET AL. 1994). Analyzovanie ich priestorového rozšírenia ako východísk pre posudzovanie stability a udržateľnosti bolo konkretizované k jednotkám lesníckej typológie na základe uplatnenia prostriedkov a metód GIS na báze ArcGIS.

Za základný rámec pre posudzovanie stanovištne-ekologických podmienok prostredia sme zvolili edaficko–trofické (ekologické) mriežky, ktoré schematicky znázorňujú plošný a priestorový výskyt typologických jednotiek v posudzovanom území, ich pestrosť, vertikálne a edaficko-trofické usporiadanie. Vychádzali sme z digitálnej vrstvy typologických máp lesov Slovenska (NLC Zvolen, 2014), ktoré sme vyhodnocovali v prostredí ArcGIS spolu s vybranými JPRL s výskytmi jednotlivých drevín z podkladov programov starostlivosti o lesy (PSL, NLC Zvolen, 2018).

Pri hodnotení distribúcie jednotlivých introdukovaných drevín v lesných porastoch Slovenska sme rozpracovali systém na zisťovanie a posúdenie charakteristík druhovej a priestorovej štruktúry drevinovej zložky, vrátane ďalších podkladov vo vzťahu k stanovištne-ekologickým podmienkam prostredia, posudzovaniu ekologickej stability a udržateľnosti lesných spoločenstiev s výskytom vybraných introdukovaných drevín na dvoch hierarchických úrovniach: 1. Plošná úroveň – pre lesy Slovenska (SK) a pre lesné oblasti (LO); 2. Podrobná porastová a bodová úroveň – v jednotlivých vybraných reprezentatívnych lesných porastoch (JPRL) a ich segmentoch (SG), na pokusných plochách výskumu (PP) a výskumných a monitorovacích plochách (VP).

Na mapových podkladoch výskytu jednotlivých drevín (obr. 1, 3, 5, 7, 9) sú zvýraznené všetky jednotky priestorového rozdelenia lesov (JPRL) so súčasným výskytom konkrétnej introdukovanej dreviny bez limitu jej plošného zastúpenia v JPRL, preto schematicky zobrazený a úmyselne zvýraznený výskyt predmetných drevín sa javí vizuálne na väčšej výmere.

### **Výsledky a diskusia**

Na najväčšej ploche, takmer 70 %, zo všetkých introdukovaných drevín na Slovensku sa vyskytuje agát biely *Robinia pseudacacia*, ktorý rastie na cca



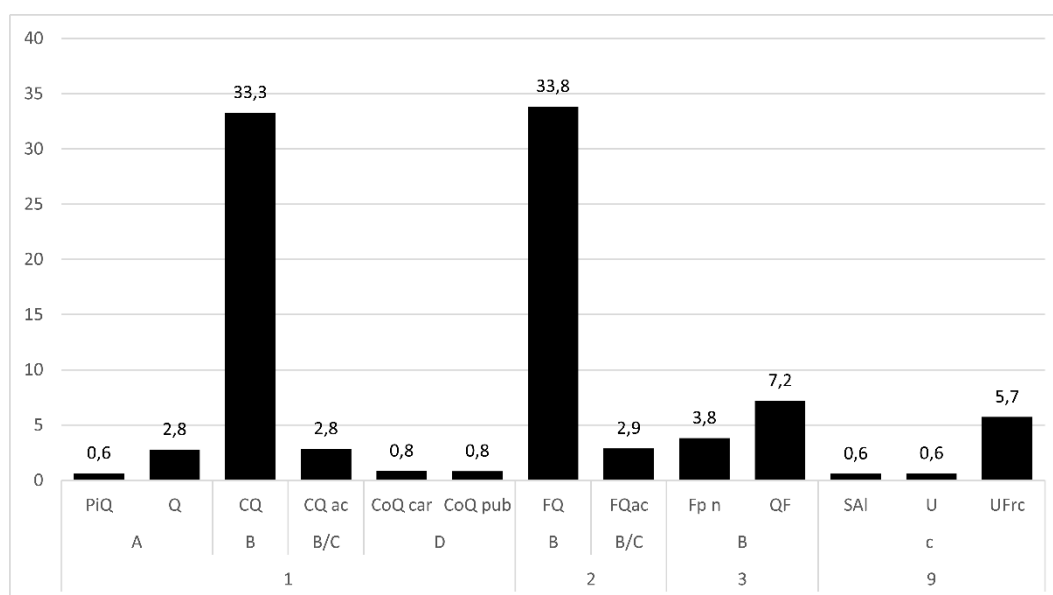
33 719 ha, čo predstavuje približne 1,7% z porastovej plochy lesov Slovenska. Jeho výskyt je však viazaný prevažne na pôdne nepriaznivé stanovišťa. Vzhľadom k tomu, že je mimoriadne prispôsobivý ku geologickému podložiu, dokáže rásť na extrémnych lokalitách a osídľovať aj degradovanú pôdu, v minulosti bol hojne vysádzovaný, pričom pre svoju schopnosť rýchleho množenia pňovou aj koreňovou výmladnosťou sa na určitých lokalitách stal mimoriadnou ekologickou hrozbou. Ťažisko jeho výskytu v podmienkach Slovenska sú predovšetkým nížiny, v niektorých prípadoch však vystupuje až do nadmorskej výšky 800 m. Centrom jeho rozšírenia (obr. 1) sú piesčité pôdy južného a juhozápadného Slovenska. Rýchlemu šíreniu tejto dreviny na Slovensku napomáha, okrem mimoriadnej prispôsobivosti rôznym pôdnym a klimatickým podmienkam aj jeho výrazný alelopatický vplyv na okolitý porast (MALOVÁ 2018 ET AL.). Ťažisko jeho výskytu na Slovensku, podľa obr. 2, je predovšetkým v skupinách lesných typov (SLT) *Carpineto-Quercetum* (CQ) a *Fageto-Quercetum* (FQ), pričom sumárne na týchto dvoch skupinách lesných typoch sa vyskytuje viac ako 67 % všetkých porastov s agátom na Slovensku.

Z hľadiska posúdenia aktuálneho výskytu agáta bieleného podľa vegetačných stupňov (VS) prevažuje: 1. dubový VS (41,3 %), 2. bukovo-dubový VS (37,6 %), 3. dubovo bukový VS (12 %). V azonálnych – hydrických súboroch SLT sa nachádza 8,4 % porastovej plochy s aktuálnym výskytom agáta.



**Obr. 1:** Lokalizácia aktuálneho výskytu agáta bieleného (biela koloráž) na Slovensku a v lesných oblastiach na podklade modelu terénu

**Fig. 1:** Location of the current occurrence of black locust in Slovakia in forest areas on the basis of terrain model



**Obr. 2:** Aktuálny výskyt agáta bieleho v skupinách lesných typov (edaficko-trofických radoch a vegetačných stupňoch) v %

**Fig. 2:** Actual occurrence of black locust in forest type groups (edaphic-trophic rows and vegetation stages) in %

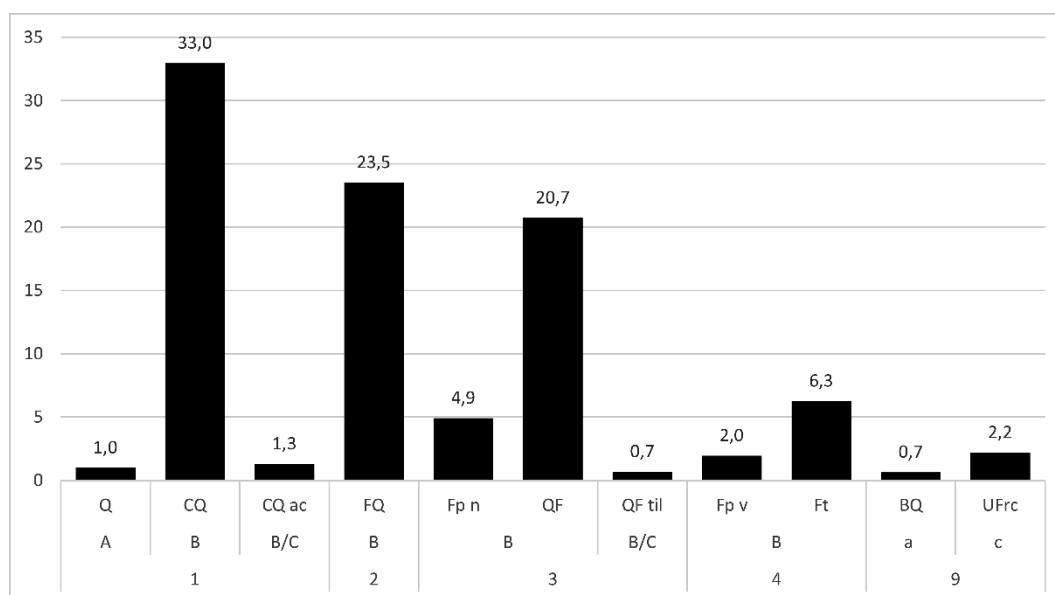
Druhým najviac zastúpeným nepôvodným druhom na Slovensku je dub červený *Quercus rubra*. Vyskytuje sa približne na 2 250 ha porastovej plochy, čo predstavuje 0,12% zastúpenie. Jeho výskyt je viazaný jednak na pôdy kvalitné, kde bol v minulosti pestovaný predovšetkým v plantážach, za účelom maximalizácie produkcie drevnej suroviny, ale aj na nepriaznivých, degradovaných pôdach, kde mal za úlohu plniť predovšetkým mimoprodukčnú, melioračnú funkciu. Ako ukazuje obr. 3, skutočný výskyt na Slovensku tomuto aj zodpovedá. Je viazaný predovšetkým na nižšie polohy východného Slovenska, Juhoslovenskú kotlinu a oblasti Záhorskej a Podunajskej nížiny. Ťažisko výskytu duba červeného na Slovensku, podľa obr. 4, je predovšetkým v SLT *Carpineto-Quercetum* (CQ) – Hrabová dúbrava (33 %), a *Fageto-Quercetum* (FQ) – Buková dúbrava (23,5 %) a na *Querceto-Fagetum* (QF) – Dubová bučina (20,7 %). Sumár výskytu v týchto troch skupinách lesných typoch sa nachádza viac ako 77 % porastovej plochy s výskytom duba červeného na Slovensku.

Z hľadiska posúdenia aktuálneho výskytu duba červeného podľa vegetačných stupňov (VS) prevažuje: 1. dubový VS (35,9 %), 3. dubovo-bukový VS (26,9 %) a 2. bukovo-dubový VS (24,3 %).



**Obr. 3:** Lokalizácia aktuálneho výskytu duba červeného na Slovensku a v lesných oblastiach na podklade modelu terénu

**Fig. 3:** Location of the current occurrence of northern red oak in Slovakia in forest areas on the basis of terrain model

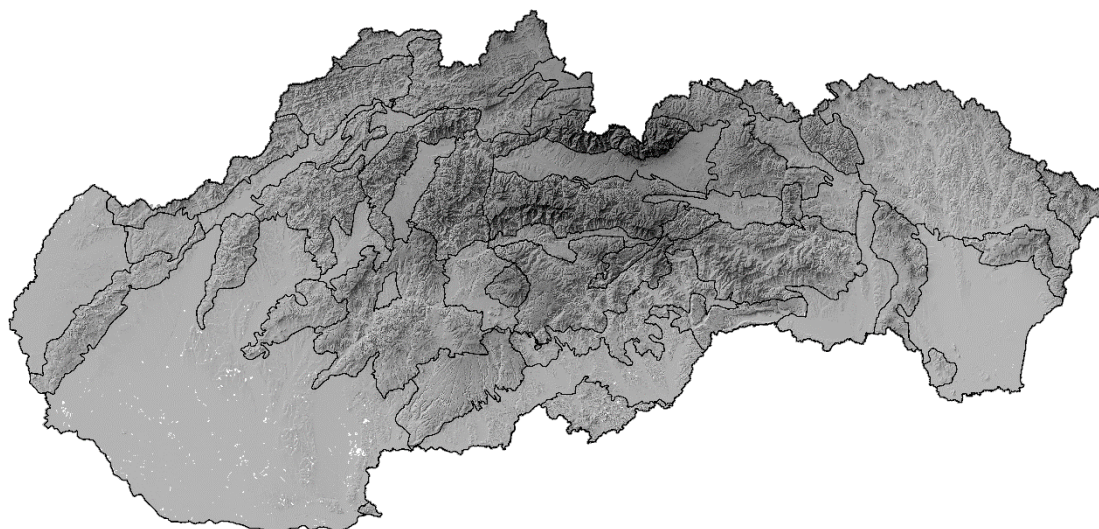


**Obr. 4:** Aktuálny výskyt duba červeného v skupinách lesných typov (edaficko-trofických radoch a vegetačných stupňoch) v %

**Fig. 4:** Actual occurrence of northern red oak in forest type groups (edaphic-trophic rows and vegetation stages) in %

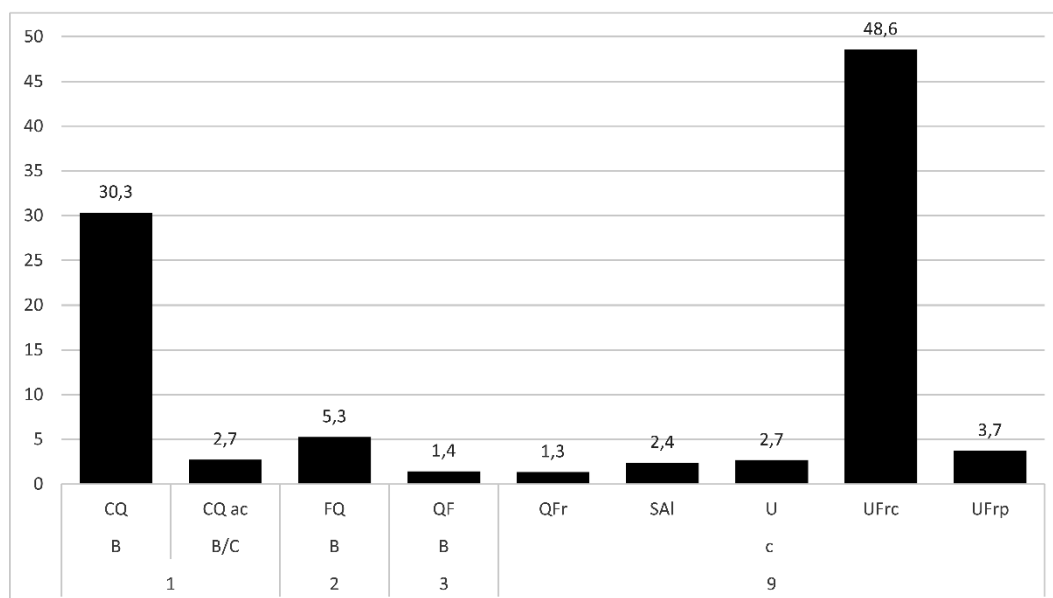
Ako pomerne zaujímavý druh so širokým využitím aj na Slovensku sa ukazuje orech čierny *Juglans nigra*, napriek tomu, že jeho výskyt je v súčasnosti predstavuje menej ako tri stotiny percenta lesnej porastovej pôdy (535 ha). Orech čierny je drevina s vysokými nárokmi na obsah živín v pôde, rovnako vyžaduje aj dostatok fyziologicky prístupnej vody. Preto je rozšírený predovšetkým v oblastiach s kvalitnou, prevzdušnenou a dobre drenážovanou pôdou, predovšetkým v oblasti Podunajskej nížiny a Východoslovenskej nížiny (obr. 5). V súčasnom období, v dobe rozmachu agrolesníckych technológií sa jedná o jednu z najviac perspektívnych drevín na tento spôsob využitia. Pri pohľade na obr. 6 je zřejmé, že orech čierny sa

na Slovensku vyskytuje predovšetkým ako súčasť lužných spoločenstiev v SLT *Ulmeto-Fraxinetum carpineum* (UFr c) – Brestová jasenina s hrabom (48,6 %), *Ulmeto-Fraxinetum populeum* (UFr p) – Brestová jasenina s topoľom (3,7 %). Z toho istého obrázku vyplýva, že na menej výživných a vlhovo menej priaznivých lokalitách sa vyskytuje predovšetkým v SLT *Carpineto-Quercetum* (CQ) – Hrabová dúbava (30,3 %).



**Obr. 5:** Lokalizácia aktuálneho výskytu orecha čierneho na Slovensku a v lesných oblastiach na podklade modelu terénu

**Fig. 5:** Location of the current occurrence of black walnut in Slovakia in forest areas on the basis of terrain model



**Obr. 6:** Aktuálny výskyt orecha čierneho v skupinách lesných typov (edaficko-trofických radoch a vegetačných stupňoch) v %

**Fig. 6:** Actual occurrence of black walnut in forest type groups (edaphic-trophic rows and vegetation stages) in %

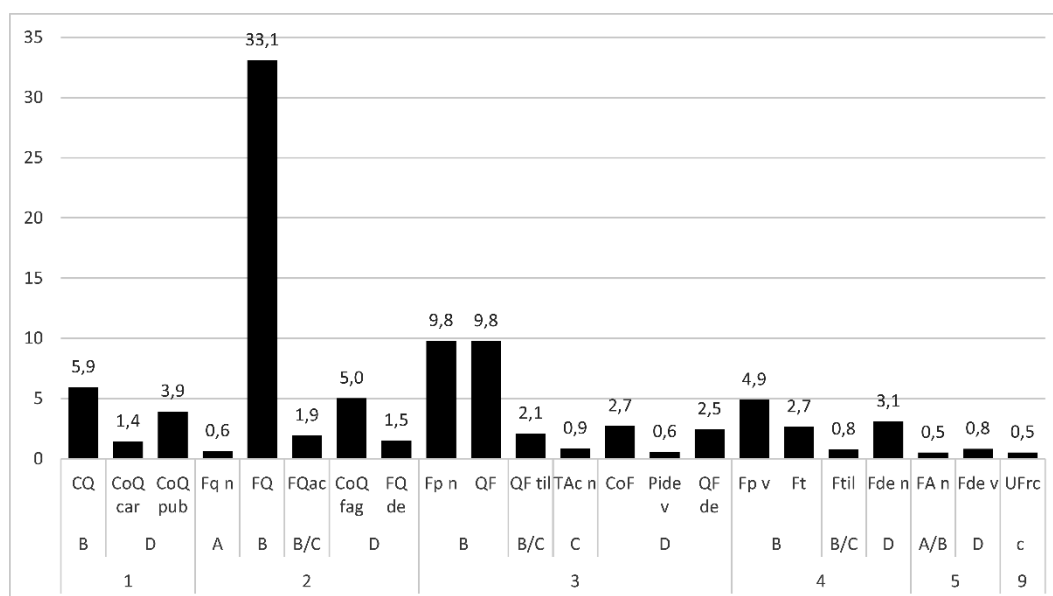
Z ihličnatých introdukovaných drevín sa na najväčšej ploche (viac ako 9 000 ha) na Slovensku vyskytuje borovica čierna *Pinus nigra*, čo predstavuje takmer 0,47 %

lesnej porastovej plochy. Na Slovensko bola introdukovaná začiatkom 16. storočia ako okrasná, parková drevina, neskôr našla svoje využitie aj v lesníctve ako alternatíva miesto borovice lesnej poškodzovanej mimoriadne sypavkou borovicovou. Ako teplomilná drevina sa vyskytuje predovšetkým v južných častiach Slovenska, v pohoriach vybiehajúcich do nížin a nižšie položených kotlín, na vápencových podkladoch vystupuje aj do vyšších nadmorských výšok (obr. 7). Najväčšie percentuálne zastúpenie borovice čiernej na Slovensku (obr. 8) je práve v teplých oblastiach 2. dubovo-bukového vegetačného stupňa (42,7 %), 1. dubového VS (12,3 %) a 3. bukovo-dubového VS (28,9 %) predovšetkým v SLT *Fageto-Quercetum* (FQ) – buková dúbrava (33,1 %).



**Obr. 7:** Lokalizácia aktuálneho výskytu borovice čiernej na Slovensku a v lesných oblastiach na podklade modelu terénu

**Fig. 7:** Location of the current occurrence of European black pine in Slovakia in forest areas on the basis of terrain model



**Obr. 8:** Aktuálny výskyt borovice čiernej v skupinách lesných typov (edaficko-trofických radoch a vegetačných stupňoch) v %

**Fig. 8:** Actual occurrence of European black pine in forest type groups (edaphic-trophic rows and vegetation stages) in %

Aktuálny výskyt duglasky tisolistej *Pseudotsuga menziesii* v lesoch Slovenska je približne 0,06 %. Nachádza sa na 1 112 ha skutočnej porastovej plochy (stav k r. 2016). Jej priestorovú distribúciu v lesných porastoch na Slovensku schematicky zobrazuje obrázok 9., kde sú zvýraznené všetky jednotky priestorového rozdelenia lesov (JPRL) so súčasným zastúpením predmetnej dreviny. Výškové optimum tejto dreviny na Slovensku je v rozmedzí nadmorských výšok 300-800 m, čomu približne odpovedá aj jej skutočné rozšírenie.

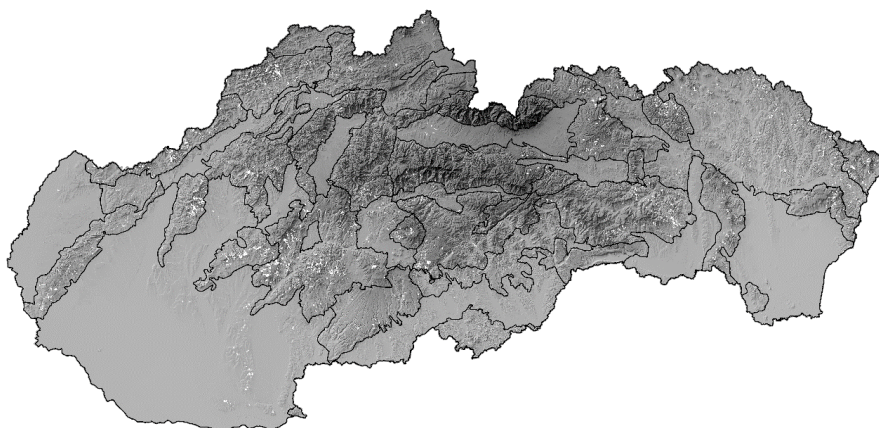
Z prvotnej predbežnej analýzy priestorovej distribúcie JPRL s výskytom duglasky vo vzťahu k rozšíreniu typologických jednotiek na Slovensku (obr. 10) vyplýva prevaha súčasného výskytu duglasky tisolistej v skupinách lesných typov *Fagetum typicum* (Ft) – Typická bučina (21,8 %), *Querceto-Fagetum* (QF) – Dubová bučina (17,4 %), *Fagetum pauper inferiora* (Fp n) – Bučina, nižší stupeň (14,7 %), *Fagetum pauper superiora* (Fp v) – Bučina, vyšší stupeň (13,3 %), *Abieto-Fagetum inferiora* (AF n) – Jedľová bučina, nižší stupeň (6,7 %), *Fageto-Quercetum* (FQ) – Buková dúbrava (5,5 %), *Carpineto-Quercetum* (CQ) – Hrabová dúbrava (3 %), *Fagetum tiliosum* (Ftil) – Lipová bučina (2,8 %).

Z hľadiska posúdenia aktuálneho výskytu duglasky tisolistej podľa vegetačných stupňov (VS): prevažuje 4. bukový VS 40,1 %; ďalej nasleduje 3. dubovo-bukový VS 34,5 %; 5. jedľovo-bukový VS 14 %; 1. dubový VS 3,1 %; 6. smrekovo-bukovo-jedľový VS 1,9 %.

Pri posúdení aktuálneho výskytu duglasky tisolistej podľa edaficko-trofických radov výrazne dominuje B mezotrofný rad 83 %; nasleduje A/B prechodný medzirád 7 % a B/C prechodný medzirád 5,7 %; C nitrofilný rad 1,2 %.

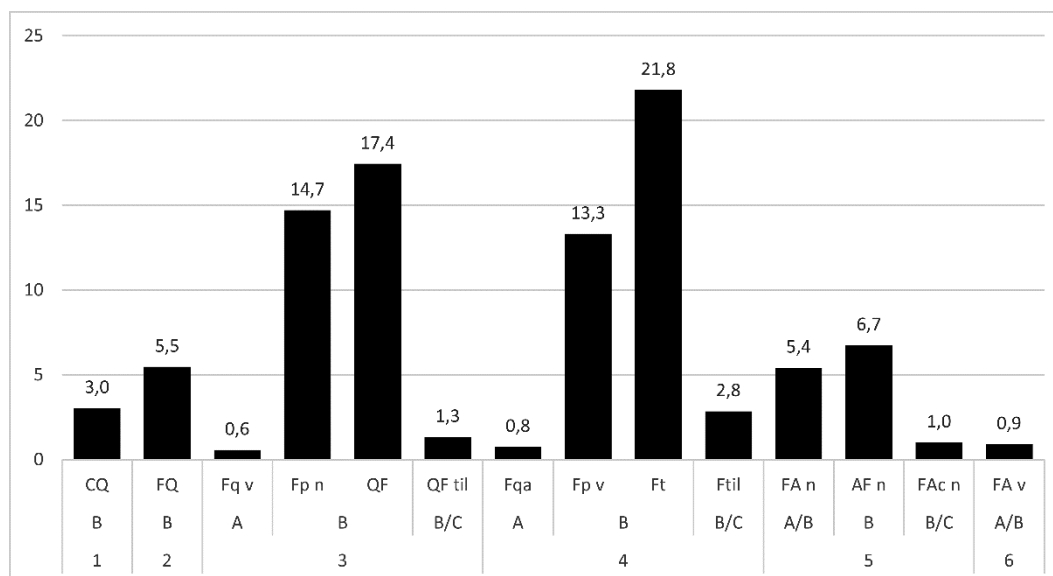
Hodnotením rastu a ekologického vplyvu agáta bieleho na domáce dreviny sa v Európe zaoberalo viac autorov: Podľa KOWARIKA 1990 sa môže táto drevina, napriek vysokej diverzite bylinného podrastu, stať vážnou hrozbou, predovšetkým pôsobením jeho korunovej vrstvy. Na Slovensku bol agát biely vysadený v rokoch 1710-1720 s širším lesníckym využitím v roku 1801 (BENČAĽ 1982).

V podmienkach Slovenska sa dub červený pestuje od polovice 19. storočia (BENČAĽ 1982). Z produkčného hľadiska sú, podľa ŠTEFANČÍKA 2018 možnosti úspešného pestovania duba červeného predovšetkým na HSLT 108 – sprašové hrabové dúbravy, HSLT 111 – živné hrabové dúbravy a v HS 25 – živné bukové dúbravy.



**Obr. 9:** Lokalizácia aktuálneho výskytu duglasky tisolistej na Slovensku a v lesných oblastiach na podklade modelu terénu

**Fig. 9:** Location of the current occurrence of Douglas fir in Slovakia in forest areas on the basis of terrain model



**Ob. 10:** Aktuálny výskyt duglasky tisolistej v skupinách lesných typov (edaficko-trofických radoch a vegetačných stupňoch) v %

**Fig. 10:** Actual occurrence of Douglas fir in forest type groups (edaphic-trophic rows and vegetation stages) in %

Nami zistený percentuálny podiel duglasky na Slovensku odpovedá údajom upadávaným väčšinou autorov, ktorí sa danou drevinou na Slovensku zaoberali. ŤAVODA a LENGYELOVÁ 1998; ŤAVODA 2007; ŠMIDRIAK 2010 odhadovali percentuálne zastúpenie duglasky tisolistej na Slovensku na približne 0,065 %. Podľa CHLEPKA et al. (1996) a SLÁVIKA (2018) sú pre duglasku na Slovensku optimálne podmienky v nadmorských výškach 300 až 800 m, predovšetkým v 3. dubovo-bukovom až 4. bukovom lesnom vegetačnom stupni a taktiež na vlhkejších stanovištiach 2. bukovo-dubového lesného vegetačného stupňa, ale pestuje sa prakticky od nadmorskej výšky 200 do 1 300 m. Jej výskyt limituje, okrem iného ročný minimálny úhrn zrážok 600 mm. Najlepšie jej vyhovujú živné stanovištia s hlbokými, vlhkými pôdami.

## Záver

Plocha lesov, na ktorej sa pestujú na Slovensku introdukované dreviny je malá, redukované predstavuje necelých 50 000 ha, čo v prepočte predstavuje 2,48 %. Najzastúpenejšou nepôvodnou drevinou je u nás agát biely, pričom podstatná časť jeho výmery je na nekvalitných stanovištiach, kde drevina plní prevažne melioračnú funkciu. Rovnako, aj dub červený, ako druhá najzastúpenejšia listnatá drevina, sa na čiastočne využíva produkčne a rovnako aj ako drevina zlepšujúca pôdne podmienky, teda melioračná. Orech čierny svojou plošnou výmerou na Slovenku (535 ha) nepatrí medzi mimoriadne významné, ale vzhľadom ku spoločenským objednávkam, tvorbe krajiny, predovšetkým agrolesníckym systémom, je predpoklad, že jeho zastúpenie bude značne narastať. Z introdukovaných ihličnatých drevín je v slovenských lesoch najzastúpenejšia borovica čierna, taktiež v značnej miere využívaná k meliorácii, predovšetkým na vápencových podkladoch. Veľmi veľkú perspektívu ma duglaska tisolistá, ktorej širšiemu využitiu a záujmu odberateľov zatiaľ bráni malá redukovaná výmera (1 100 ha), dôsledkom čoho je množstvo disponibilnej suroviny tejto dreviny veľmi nízke. Je predpoklad, že nárastom plošného zastúpenia tejto dreviny môžu produkčné danosti tejto dreviny veľmi výrazne pomôcť

k očakávanej bilancii drevnej suroviny a to ako z hľadiska celkového objemu, tak i podielu ekonomicky zaujímavejších sortimentov (SLÁVIK et al. 2017).

### Literatúra

- BENČAĽ, F. Atlas rozšírenia cudzokrajných drevín na Slovensku a rajonizácia ich pestovania. Bratislava: Veda, 1982. s. 87–88
- CHLEPKO V., et al. Biologické aspekty zásad hospodárenia a nápravné opatrenia v lesných oblastiach Slovenska. (Záverečná správa), Zvolen, LVÚ, 1996, 109 s.
- KOWARIK, I. Some response of flora and vegetation to urbanization in central Europe. 1990. Urban Ecology. s. 45-74
- MAĽOVÁ, M., SUJOVÁ, K., LONGAUEROVÁ, V., TÚČEKOVÁ, A. Agát biely hospodárska drevina s inváznym charakterom. In: Kunca A. *Aktuálne problémy v ochrane lesa*. NLC Zvolen, 2018 s. 139 -143. Zborník referátov z 27. ročníka medzinárodnej konferencie, ktorá sa konala 1. a 2. februára 2018 v Novom Smokovci
- NLC Zvolen, 2014: Digitálna typologická mapa lesov Slovenska.
- NLC Zvolen, 2018: Lesnícky geografický informačný systém. Verzia 10.07.2018. NLC Zvolen <http://gis.nlcsk.org/lgis/>
- SLÁVIK, M., 2018: Využitie douglasky na Slovensku z produkčného a ekologického hľadiska v dobe prebiehajúcej klimatickej zmeny: In: Štefančík, I., Bednárová, D. (eds.): *Aktuálne otázky zakladania a pestovania lesa*. Zvolen, NLC-LVÚ, 2018, s. 54-63
- SLÁVIK M., VIEWEGH J., PODRÁZSKÝ V. Douglaska tisolistá – významná drevina pro vytváření porostních směsí s vysokým produkčním a environmentálním potenciálem. In: Sušková M. (ed.) Zborník príspevkov z vedeckej konferencie Lesné semenárstvo, škôlkarstvo a umelá obnova lesa 2017, Liptovský Ján, s. 58 – 64
- ŠMIDRIAK V. Možnosti využitia dreviny douglasky tisolistej /*Pseudotsuga menziesii* (Mirbel/Franco) v Slovenskej republike. Zvolen, DF TU Zvolen. 2010, 110 s.
- ŠTEFANČÍK, I. Rast a pestovanie duba červeného (*Quercus rubra* L.) s produkčnou funkciou na TVP Dudince. In: Štefančík, I., Bednárová, D. (eds.): *Aktuálne problémy v zakladaní a pestovaní lesa*. Zvolen, NLC-LVÚ, 2018, s. 42-53.
- ŤAVODA P., LENGYELOVÁ A. Výber, reprodukcia a testovanie potomstiev domácich populácií douglasky a jedle obrovskej. (Záverečná správa), Zvolen, LVÚ, 1998, 74 s.
- ŤAVODA P. Ekologické nároky a rozšírenie douglasky tisolistej na Slovensku. In: *Ekológia a environmentalistika 2007*, Zvolen: 194–202.
- VLADOVIČ, J., ET AL., 1994: Lesné oblasti Slovenska. Lesoprojekt Zvolen, 500 s.
- VLADOVIČ, J., SEDLIAK, M., 2017: Ekologické prístupy a súvislosti posudzovania stavu zachovalosti lesov. s. 143-147, In: Sitková, Z., Pavlenda, P. (eds.): *Dlhodobý ekologický výskum a monitoring lesov: súčasné poznatky a výzvy do budúcnosti*. Zvolen, Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 150 s.

### PodĎakovanie

Príspevok vznikol vďaka finančnej podpore projektov APVV-17-0416 „Možnosti využitia vybraných introdukovaných drevín z ekologického a produkčného hľadiska na lesných a poľnohospodárskych pôdach Slovenska v meniacich sa klimatických podmienkach“ a projektu „Výskum a vývoj na podporu konkurencieschopnosti slovenského lesníctva – SLOV-LES, projekt financovaný z rozpočtovej kapitoly MPRV SR. Príspevok vznikol aj s podporou projektu: Centrum excelentnosti pre podporu rozhodovania v lese a krajine, aktivita 3.4, ASFEU, ITMS: 26220120069



(10% podiel), v rámci operačného programu Výskum a vývoj, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

### **Summary**

The area of Slovakian forests where non-native woody plants are grown is small; it represents less than 50,000 ha, which is 2.48%. The most common non-native wood species is black locust, it is represented by approximately 1.7%, it occurs in lowlands mostly on poor, degraded soils, where woody plants provide an amelioration function predominantly. The second most represented deciduous tree species is northern red oak sharing 0.12% of the forested area, is partly used for production as well as soil improver. Black eastern black walnut is bound mainly to the lowlands and has approximately 0.03% representation. Among the introduced coniferous trees, Austrian pine is the most common in Slovakia, and it is also used to a great extent for amelioration purposes, especially on limestone substrates. Douglas-fir seems to be a very promising species, which wider use and interest of stakeholders is still hampered by a small reduced area (1,100 ha), which results in the very low amount of available wood. It is assumed that increasing share of this woody plant, showing such production characteristics and properties of wood, can significantly help to the expected wood raw material balance, both in terms of the total volume and the share of more commercially interesting products.

## PĚSTEBNÍ MOŽNOSTI ZMÍRNĚNÍ DOPADŮ CHŘADNUTÍ JASANŮ ZPŮSOBENÉHO INFEKČÍ *HYMENOSCYPHUS FRAXINEUS* – PŘEDBĚŽNÉ VÝSLEDKY

### SILVICULTURAL OPTIONS FOR MITIGATION OF ASH DIEBACK CAUSED BY *HYMENOSCYPHUS FRAXINEUS* – PRELIMINARY RESULTS

Roman Longauer<sup>1,2\*</sup>, Antonín Martiník<sup>1</sup>, Jiří Rozsypálek<sup>1</sup>, Petr Martinek<sup>1</sup>,  
Michal Prouza<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, ČR,

<sup>2</sup>Národní lesnické centrum, Lesnický výzkumný ústav, T.G. Masaryka 22, 960 92 Zvolen, SK

\* corresponding author: longauer@mendelu.cz

#### Abstract

Options for mitigation of ash dieback by means of silvicultural measures were tested at the series of 16 experimental stands representing riverine, lowland and upland limestone sites. In each stand, thinning plots with different intervention intensity (high and low intensity) and timing (winter, summer) were established along with a non-intervention reference plot. The subsequent field assessment focused at the effect of the intensity and timing of silvicultural intervention on the progress of ash dieback, and also on the associated role of size, quality and sociological position of ash trees. The ash dieback symptoms were scored on trees short before and in regular intervals after thinning. The first results after 2 vegetation seasons show that particularly the high-intensity sanitary thinning significantly slowed down the ash dieback in comparison with non-intervention reference plots.

**Keywords:** ash dieback, sanitary thinning, intensity and timing of intervention, position of a tree

#### Abstrakt

V sérii 16 pokusných porostů na lužních, chlumních a náhorních stanovištích na vápencovém podloží jsme sledovali možnosti zmírnění symptomů chřadnutí jasanů pěstebními opatřeními. V každém pokusném porostu bylo vytyčeno několik pokusných variant, v nichž byly provedeny pěstební zásahy (kombinující probírku a zdravotní výběr), které se lišili intenzitou (nízkou a vysokou) a dobou provedení (zima, léto). Následná terénní šetření jsme zaměřili na hodnocení efektu intenzity a časování pěstebních zásahů na další rozvoj symptomů chřadnutí a na roli, kterou při tom hraje výchozí tloušťka a sociologické postavení jedinců jasanu. Zdravotní stav jedinců jasanu byl hodnocen bezprostředně před a v pravidelných intervalech po provedení pěstebních zásahů. Předběžné hodnocení série pokusů po 2 sezónách od provedení zásahů prokazují významné zpomalení chřadnutí jasanů po provedení silnějších výchovných zásahů ve srovnání s bezzásahovými plochami.

**Klíčová slova:** chřadnutí jasanu, zdravotní probírka, intenzita a časování zásahu, postavení stromu

#### Úvod a problematika

Od prvních potvrzených případů odumírání jasanů v severovýchodním Polsku a jihozápadní Litvě v letech 1992 až 1996 (KOWALSKI, ŁUKOMSKA 2005) se chřadnutí jasanů velmi rychle rozšířilo do větší části přirozeného areálu jasanu ztepilého, a také do severních částí areálů j. úzkolistého a j. manového. Bezprostředním původcem chřadnutí jasanů je invázní houba voskovička jasanová (*Hymenoscyphus fraxineus*) pocházející z Dálného východu, kde byla již dřív popsána jako *Lambertiella albida* (ZHAO et al. 2012). Přestože *H. fraxineus* napadá všechny věkové třídy jasanu ztepilého, nejintenzivnější poškození a nejvyšší mortalita byla pozorována u mladých jedinců (PLIURA et al. 2011).

Klíčovým problémem pěstování jasanu v dnešní době je skutečnost, že doposud není znám účinný prostředek ke zmírnění dopadu infekce *H. fraxineus* a postup ke zpomalení či zastavení choroby (LENZ et al. 2016), což je běžná situace u infekčních chorob způsobených invazivními zavlečenými patogeny (SKOVSGAARD et al. 2017). Existuje několik fungicidů (DAL MASO et al. 2014) a jiných chemických přípravků

(DEFRA 2016), které inhibují růst *H. fraxineus*, které jsou použitelné v lesních školkách nebo k individuální ochraně. Jejich využití ve větším rozsahu v lesních porostech omezuje nutnost opakování aplikace pro dostatečnou účinnost, ekonomické náklady i ekologické zátěže. Použití látek fungicidní povahy v porostech není vhodné i vzhledem k možným negativním účinkům na přirozenou mykoflóru lesních stanovišť, nerovnováze makro- a mikro-nutrientů v půdním prostředí. Vztahuje se to i na použití močoviny na opadlé listí, zabraňující tvorbě apotécií a tím šíření infekce (HAUPTMANN et al. 2015). Uvedené metody lze použít pro individuální ochranu cenných dřevin v krajině a v městském prostředí.

Možnosti využití péstebních opatření ke zmírnění chřadnutí jasanů v lesních porostech podporují poznatky o biologii *H. fraxineus* a faktorech ovlivňujících šíření a intenzitu jeho infekce, důkazy o vysoké míře dědičného ovlivnění odolnosti jedinců jasanu. Rychlost a intenzitu chřadnutí jasanů dle publikovaných prací ovlivňují:

- Počasí, klima a mikroklima, následně nadmořská výška, sklon terénu, vodní režim stanoviště. Na reprodukci *H. fraxineus* má kromě přízemní vlhkosti vliv i rychlost rozkladu opadu, zejména řapíků listů, na kterých vytváří apothécia. Houba je také citlivá na teploty nad 30 °C, jeho rozvoj v infikovaných pletivech hostitele omezují teplé a suché periody v letním období (KOWALSKI, BARTNIK 2010, HAUPTMAN et al. 2013).
- Dřevinové složení a koncentrace hostitelské dřeviny, věk, konkurence a sociální postavení stromů.
- Přítomnost dalších organismů spojených s chřadnutím jasanů, v souvislosti s bazálními nekrotami hlavně druhů rodu *Armillaria*.

Velký počet autorů zabývajících se aspekty chřadnutí jasanů v lesních porostech (KOWALSKI, HOLDENRIEDER 2008, (SKOVSGAARD et al. 2010, Schumacher 2011, MCKINNEY et al. 2011, KIRISITS, FREINSCHLAG 2012, KOLTAY et al. 2012, GROSS et al. 2014a, MCKINNEY et al. 2014) potvrdila vyšší napadení mladších porostů, jejichž koruny jsou v kratší vzdálenosti od zdroje infekčního inokula v opadance. Mortalita je nejvyšší u stromů úrovňových až podúrovňových potlačených (SKOVSGAARD et al. 2010). K závěru, že zpočátku infekce odumírají mladší a potlačené jedinci došli také VACEK et al. (2015) a ROSENVALD et al. (2015). Negativní korelaci mezi výškou stromu a stupněm infekce prokázali také Havrdová (2015) a MCKINNEY et al. (2011). BAKYS et al. (2013) prokázal, že v přehoustlých porostech je oslabena vitalita jedinců, kteří pak více trpí na infekci patogenem. Fatální (mortalitní) je poškození vrchních partií koruny v hustě zapojených porostech. Silnější poškozování pomaleji rostoucích a lepší stav rychleji rostoucích jedinců lze u mladších jasanů vysvětlit individuální rozdíly v odolnosti vůči dlouhodobé infekci (MCKINNEY et al. 2011). Na druhou stranu v korunách vyšších nadúrovňových stromů kromě snížené koncentrace inokula *H. fraxineus* roli hrají významnou roli také odlišné mikroklimatické podmínky, méně příznivé pro uchycení a rozvoj infekce (GROSS et al. 2014b).

Přítomnost geneticky podmíněné tolerance (hyposensitivity) jasanu vůči infekci *H. fraxineus* byla prokázána v pokusech s proveniencemi, potomstvy i klony (genotypy). U proveniencí z různých částí areálu dosáhla dědivost ( $h^2$ ) v míře poškození korun hodnot 0,37 až 0,92 (PLIURA et al. (2011), u potomstev z volného opylení (KJAER et al. 2012). Mezi rodiči a jejich plnosesterskými potomstvy byly později prokázány genetické korelace dosahující hodnot 0,85 u intenzity infekce korun a 0,73 u velikosti nekrot po záměrné inokulaci (LOBO et al. 2015). Většina studií ovšem uvádí, že částečnou vysokou a trvalou tolerancí vůči *H. fraxineus* se ve stávajících populacích jasanů vyznačuje jen 1-7% jedinců (MCKINNEY et al. 2011, 2014; PLIURA et al. 2011; KJÆR et al. 2012; STENER 2013; Enderle et al. 2015;

Havrdová et al. 2016). Výskyt hypovirulentních jedinců vyznačujících se částečnou odolností vůči *H. fraxineus* uvedení autoři dokládají snad ve všech studovaných populacích jasanu. Jediným dosud známým řešením situace je identifikace a využití takovýchto jedinců cestou přirozené obnovy a k získání odolnějšího sadebního materiálu. Než se ovšem uplatní nová generace odolnějších jasanů, je z důvodu zachování jasanu a řadě praktických důvodů nezbytná realizace opatření zmírňujících rychlost chřadnutí jasanů a rozsah dopadů ve stávajících lesních porostech uváženými pěstebními a obnovními zásahy.

### **Materiál a metodika**

Výzkumu možností zmírnění chřadnutí jasanů pěstebními opatřeními uskutečňujeme na 16 lokalitách (lesních porostech) s dostatečně homogenní východiskovou strukturou a rozlohou. Většina lokalit (14) se nachází na Moravě a spadají pod následující organizační jednotky LČR: LZ Židlochovice (6); LS Strážnice (4); LS Černá Hora (2). Lokalita Křenovice je ve vlastnictví obce Křenovice a Mikulčice vlastní Forest-Agro spol. s r.o. Hrušky. Ve středních Čechách se pokusné lokality nacházejí v Českém krasu na LČR LS Nižbor (Karlštejn 1 a 2).

Ze 16 sledovaných porostů je 11 na lužních stanovištích, 2 na živných stanovištích nižších středních poloh a 3 jsou na vápencovém podloží. Z celkového počtu 7 porostů vzniklo přirozenou obnovou a 9 bylo založeno uměle.

Věk experimentálních porostů se v době založení pokusu pohyboval od 6 do 40 let, většina z nich je v růstové fáze tyčkovin a tyčovin. Ve 12 porostech jasan pochází převážně z umělé obnovy a na 4 z obnovy přirozené.

V každém porostu bylo vyznačeno několik pokusných variant za podmínky, že v každé variantě se na začátku pokusu nacházelo alespoň 100 úroveňových a nadúroveňových jedinců jasanu. Ve variantách byly provedeny pěstební zásahy, jež se navzájem liší intenzitou (3 stupně) a časováním (zimní nebo letní). Aplikované pěstební zásahy měly charakter probírky v kombinaci se zdravotním výběrem. V každém porostu je přítomna nejmíň jedna kontrolní varianta bez zásahu.

**Intenzita zásahů:** Při slabém zásahu se odstranily jen chřadnoucí stromy, které byly v desetistupňové škále zdravotního stavu hodnoceny stupni 7 až 10. Silným zásahem byly odstraněny stromy poškozené a chřadnoucí stromy ve stupních zdravotního stavu 5 až 10. Po extrémně silném zásahu v porostu zůstaly jen zdravé stromy se stupněm zdravotního stavu 1 a 2.

**Časování zásahů:** Zimní zásahy byly provedeny v období mimo vegetační sezónu, obvykle od listopadu do dubna. Letní zásah byl proveden v době vegetace, obvykle od května do září.

V experimentálních porostech byly založeny varianty lišící se intenzitou (3-5 variant) a časováním (letní a zimní zásah) pěstební (výchovného, resp. zdravotního) zásahu, přičemž v každém porostu byly založeny min. 3 a max. 7 variant. V rámci variant byly označeny řady resp. očíslovány všechny stromy (z přirozené obnovy), což umožňuje jednoznačnou identifikaci opakovaně hodnocených jedinců.

V každé pokusné variantě byla před pěstebními zásahy provedena inventarizace všech přítomných stromů. Byla změřena jejich výčetní tloušťka (s vyznačením měřístě), provedena klasifikace pěstební hodnoty a sociálního postavení. Intenzita chřadnutí jedinců byla hodnocena prostřednictvím jejich zařazení do tříd zdravotního stavu (Tab. 1).

**Tab. 1:** Stupnice pro hodnocení zdravotního stavu jasanu pod vlivem *H. fraxineus* s klíčovými kvantitativními a kvalitativními rozdíly mezi stupni zdravotního stavu.

**Tab 1:** Scale for the assessment of ash dieback caused by infection of *H. fraxineus* with key quantitative and qualitative differences between individual health classes.

Stupeň zdravotn. stavu Health condition class	Koruna: vitalita a architektura Crown: vitality and architecture	Suché větve v koruně dle pozice – řádu <sup>1)</sup> Dead branches as ordered in the crown <sup>1)</sup>	Adventivní výhony <sup>2)</sup> Adventitious shoots <sup>2)</sup>	Nekrózy v důsledku infekce Necroses caused by the infection
1 zcela zdravý /fully healthy	plná vitalita, přirozená koruna / full vitality, natural crown	nejsou / no	nejsou / no	nejsou / no
2 zdravý / healthy	plná vitalita, mírně narušená koruna / full vitality, few irregularities	koncové větve V. řádu do 10 % / peripheral V <sup>th</sup> order branches < 10 %	nejsou / no	nejsou / no
3 mírné poškození / light damage	mírně oslabená vitalita, narušená koruna / reduced vitality, visible deformations	V. řád /V <sup>th</sup> order/ < 50 % IV.řád /IV <sup>th</sup> order/ < 25 % III.řád /III <sup>th</sup> order/ < 10 %	< 5 % větví IV. řádu /< 5% branches of IV <sup>th</sup> order	jen jednotlivě z předešlých let / individually, from previous years
4 zjevné poškození / visible damage	zřetelně oslabená vitalita, narušená koruna / vitality visibly reduced, deformed crown	V. řád /V <sup>th</sup> order/ > 50 % IV.řád /IV <sup>th</sup> order/ < 50 % III.řád /III <sup>th</sup> order/ < 25 % II. řád /II <sup>nd</sup> order/ < 10 %	< 25 % větví IV. a III. řádu /< 25 % branches of IV <sup>th</sup> & III <sup>th</sup> order	letošní jednotlivě na větvích IV. a III. řádu, starší na suchých větvích / fresh individually on IV <sup>th</sup> & III <sup>th</sup> order branches, older on dead branches
5 střední poškození / medium damage	zřetelně oslabená, silně narušená k. vitalita / reduced, quite irregular crown	V. řád /V <sup>th</sup> order/ > 90 % IV.řád /IV <sup>th</sup> order/ > 50 % III.řád /III <sup>rd</sup> order/ < 50 % II. řád /II <sup>nd</sup> order/ < 25 %	< 50 % na větvích III. a II. řádu /< 50 % on III <sup>rd</sup> & II <sup>nd</sup> order branches	letošní hromadně na větvích IV. a III. řádu / fresh common on the branches of IV <sup>th</sup> & III <sup>rd</sup> order
6 silné poškození / strong damage	snížená vitalita / koruna zničená / low vitality, just a crown torso	V. a IV. řádu uschly /V <sup>th</sup> and IV <sup>th</sup> order dead III.řád /III <sup>rd</sup> order/ > 50 % II. řád /II <sup>nd</sup> order/ < 50 % I. řád /I <sup>st</sup> order/ < 10 %	převažují, jsou i z větví I. řádu /prevail, also on I <sup>st</sup> order branches	letošní hromadně již i na větvích II. řádu / fresh common on II <sup>nd</sup> order branches
7 velmi silné poškození / very strong damage	výrazně snížená, v koruně jen shluky výmladků / quite low vitality, only shoots in the crown	V. a IV. řádu uschly / V <sup>th</sup> and IV <sup>th</sup> order dead III. řádu téměř suché / III <sup>rd</sup> order mostly dead II. a I. řád > 50 % / II <sup>nd</sup> & I <sup>st</sup> order > 50 %	jen nepravidelné shluky v koruně /just irregular clusters in crown	letošní hromadně i na větvích I. řádu a kmene / fresh common on I <sup>st</sup> order branches and stem
8 odumírající / declining	uschlá koruna, zbytková vitalita / crown dry, trunk still alive	všechny větve uschlé/ /no branches alive	jen z kmene /just from stem	letošní na kmene i výmladcích / current year on stem and suckers
9 odumřelý / dead	uschlá koruna / crown dead		bazální výmladky /basal suckers	starší patrné / older visible
10 odumřelý z jiných důvodů / declined due to other factors			- -	Chybí / Absent

1): Větve I. - V. řádu jsou vymezeny v závislosti na vzdálenosti od kmene stromu. Kmen představuje větvení 0. řádu, první nosné větve vycházející z kmene jsou I. řádu, ty se větví ve větve II. a III. řádu, periferní jsou větve IV. řádu a koncové větve V. řádu.

2): Adventivní (sekundární výhony, výmladky) vznikají prorašením spících a adventivních pupenů nejčastěji v reakci na stres (ztrátou části / prosvětlením koruny, snížením vitality).

1): The 1<sup>st</sup> to V<sup>th</sup> order of branches is determined according to their position from stem: the 1<sup>st</sup> order are primary branches from the stem, extending into the II<sup>nd</sup> and III<sup>rd</sup> order branches. The peripheral branches are the IV<sup>th</sup> order while sprouts are the V<sup>th</sup> order branches.

2): Adventitious (secondary sprouts, suckers) originate from emerging dead and adventitious buds, mostly in response to the stress due to the loss of a section of crown, its thinning and loss of vitality

Pěstební hodnota a sociální postavení stromů byly hodnoceny Jurčovou klasifikací, která rozděluje stromy v probírkových porostech do 6 tříd:

- nadúrovňoví jedinci A1 - předrůstavé kvalitní a A2 – ostatní,
- úrovňoví jedinci B1 - nadějní a B2 - ostatní (tj. obrostlík, vidličnatý, křivý),
- podúrovňoví jedinci C1 - živí a C2 - uschlí.

Klasifikace jedinců do tříd zdravotního stavu byla provedena metodikou ROZSYPÁLKA (2015), která je součástí certifikované metodiky KUČERA et al. (2017). Stupnice zdravotního stavu uvedená v Tabulce 1 je zkrácenou verzí metodiky s uvedením klíčových identifikačních znaků jednotlivých stupňů. Po provedení pěstebních zásahu byla u všech variant klasifikace zdravotního stavu zopakována jednou ročně koncem zimy až začátkem jara do období nástupu rašení.

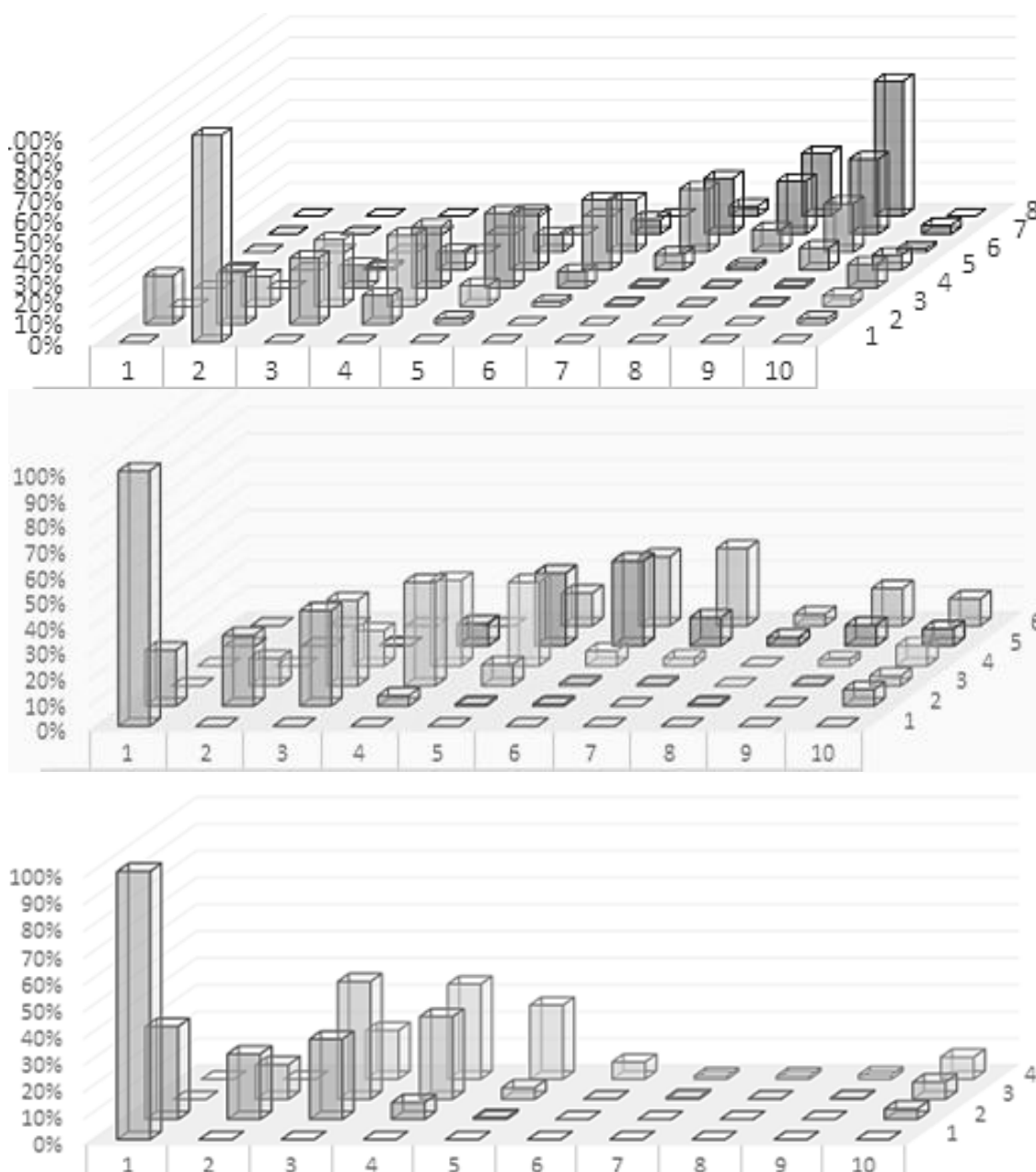
Pro vyhodnocení významnosti rozdílů mezi pokusnými variantami ve dvou a více úrovních (časování pěstebního zásahu, jeho intenzita, vliv stanoviště, vývojové fáze atd.) byla použita analýza variance. O použití parametrických metod ANOVA bylo rozhodnuto dle splnění předpokladů pro jejich použití, tj. že základní soubor má normální rozdělení (k ověření byl použit Shapirův-Wilkův test normality) a rozptyly ve výběrových souborech se shodují (použit byl Levenův test shody rozptylů). Na výpočty a tvorbu grafů byl použit program STATISTICA 12 (StatSoft CR s.r.o., Praha).

## Výsledky

Při úvodním hodnocení se průměrný stupeň zdravotního stavu jasanů pohyboval od 4,3 do 7,5 z desetistupňové škály. V pokusných porostech tedy převládali jedinci zjevně, středně a silně zasaženy chřadnutím. Po provedení zdravotního výběru, spočívajícího v odstranění chřadnutím nejvíce zasažených jedinců, se zdravotní stavu ve variantách se silným zásahem zlepšil v průměru o 2,4 stupně a po slabém zásahu o 1,8 stupně.

Klíčovým indikátorem efektu pěstebního zásahu byla míra zlepšení nebo zhoršení zdravotního stavu ponechaných jedinců jasanu oproti jejich východiskovému stavu. Změny stavu po 2 letech od provedení pěstebních zásahů uvádíme na Obr. 1 pro kontrolní varianty bez zásahu, varianty se slabým a varianty se silným pěstebním zásahem.

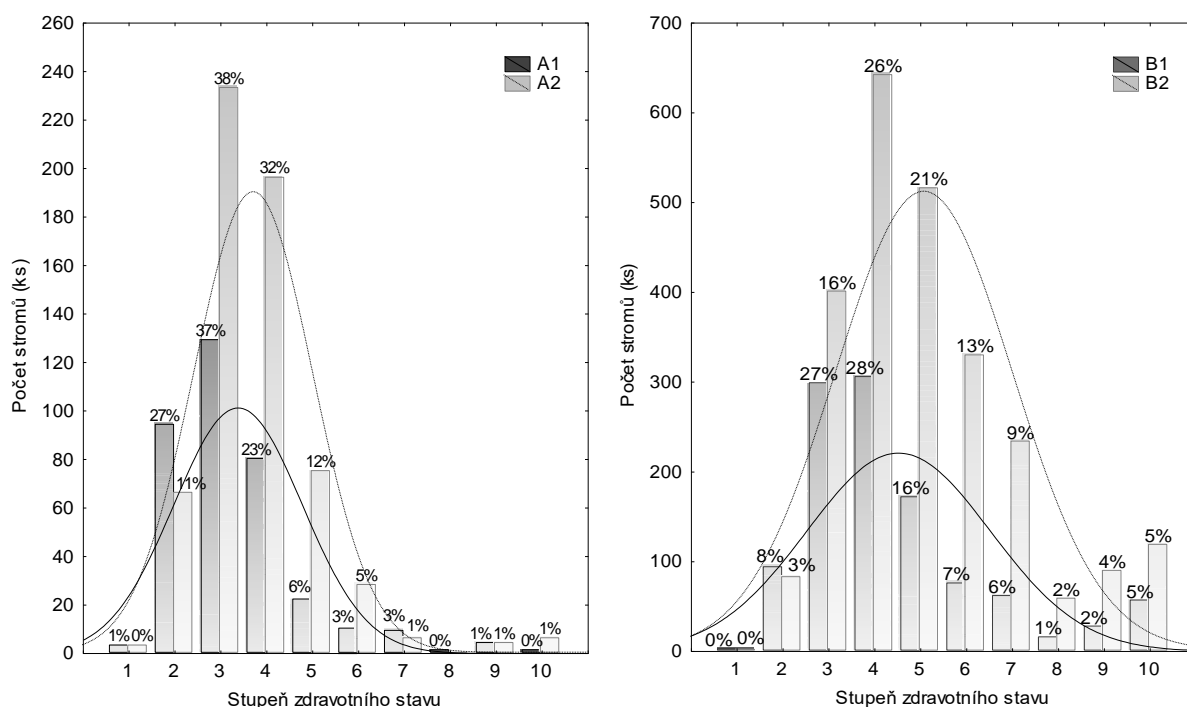
Po dvou letech od provedení zásahů bylo na kontrolních variantách porostů zjištěno průměrné zhoršení zdravotního stavu od 0,3 do 1,4 stupně zdravotního stavu. Ke zhoršení zdravotního stavu došlo především u jedinců, kteří se již v době zahájení pokusů vyznačovali stupni zdravotního stavu 4 – zjevné, 5- střední a 6 – silné poškození. Naopak, setrvalý stav nebo zlepšení byly zjištěny zejména u vitálních jasanů (stupně 1, 2 a 3) vyznačujících se také lepším výchozím sociálním postavením a větším výčetním průměrem. Výjimkou z tohoto pravidla jsou jen vitální jasany, které uhynuli v důsledku sekundárních patogenních faktorů - lýkohuba a bazálních nekrot.



**Obr. 1:** Změny třídy zdravotního stavu na konci období sledování oproti výchozí situaci pro a) Kontrolní varianty bez zásahu, b) Varianty se slabým zásahem - ponechané třídy zdr. stavu 1 až 6 a c) Varianty se silným zásahem - ponechané třídy zdr. stavu 1 až 4. Směr změny (osa x) a její relativní velikost (osa y, %) oproti východiskové třídě zdravotního stavu (uvedené na ose z) je zobrazena v řádkách v odstínech šedi.

**Fig. 1:** Shifts between the initial health condition and situation 2 years after thinning across the a) non-intervention control variants, b) low-intensity thinning with declining and dead trees (class 6-10) removed, and c) intensive thinning with all damaged trees (class 5-10) removed. Direction of the change (axe x) and its relative extent (axe y, %) to the initial health condition class (axe z) displayed in horizontal lines.

Bez ohledu na varianty pokusu bylo nejvyšší průměrné zhoršení zaznamenáno u porostů ve východiskovém věku 15 až 25 let, tj. v tyčovinách. Větší míra poškození byla zaznamenána na vápencových stanovištích, co přes omezený počet lokalit v oblasti Českého krasu a Moravské krasu naznačuje větší labilitu jasanů na extrémnějiších, přesychavých náhorních stanovištích.



**Obr. 2:** Výchozí četnosti nadúrovňových (A1 a A2 – vlevo) a úrovňových (B1 a B2 - vpravo) jasanů ve třídách zdravotního stavu.

**Fig. 2:** Initial frequency distributions of dominant ((A1 and A2 – left) and co-dominant (B1 a B2 – right) ashes in the health condition classes.

Výsledky šetření prokázaly významnou roli sociálního postavení jasanů v porostech. V největší míře se chřadnoucí jasanů vyskytují ve spodních vrstvách porostů, v důsledku ztráty přírůstu vlivem odumření periferních větví a vyčerpání dlouhodobou infekcí *H. fraxineus*. Naopak, nadúrovňoví dominantní jedinci vykazují menší poškození infekcí. Co se týče kvalitativních tříd, přestože většina perspektivních, méně poškozených jasanů byla zařazena k pěstebně vhodným, relativně vysoký podíl mezi nimi měli i jasanů pěstebně nevyhovujících.

Co se týče hypotéz o vlivu intenzity a časování pěstebních opatření na dynamiku vývoje, tj. změnu zdravotního stavu jasanu ve sledovaném období, vliv výchovných zásahů na zmírnění chřadnutí jasanů se za dvouleté sledování projevil ve většině pokusných porostů (viz. Tab. 2).



**Tab. 2:** Výsledky analýzy rozptylu pro „Změny po 1. roce“ a „Změny po 2 letech“ v pokusných porostech vlivem různé intenzity zásahu, časování, růstové fáze, způsobu vzniku porostu a typu stanoviště. Varianty intenzity zásahu (kontrola, slabá, silná, extrémně silná) a časování (letní, zimní a kontrola) jsou seřazeny zleva doprava od nejpříznivější po nejméně žádoucí změnu zdravotního stavu. Výsledek Duncanova testu homogenity variant indikují znaménka „≥“ = překryv a „>“ = větší než. Současně byla hodnocena významnost vlivu (kovariance) výchozího sociálního postavení a výchozího výčetního průměru (\*\* – P > 99%, \* ns – nevýznamný vliv).

**Tab. 2:** Results of the variance analysis for dependent variables „Response after 1 year“ and „Response after 2 years“ due to the thinning intensity, thinning time, growth stage, origin of a stand and forest site type. Regarding the response, the thinning intensity variants (high intensity, light, no-thinning reference) and thinning season (summer, winter, no thinning reference) are ordered from in the left-right direction from the most to the least favourable situation. Results of Duncan´ multiple range tests of variants are indicated by the signs „≥“ = overlap and „>“ = better than. Results of the co-variance tests for factors „initial social position“ and „initial breast-height diameter“ are also presented (\*\* P > 99%, \* ns = non-significant).

Sledovaný vliv: Studied factor:	Intenzita zásahu silný-slabý-kontrola Thinning intensity high (Si) - light (Sl) - control (K)			Časování zásahu letní-zimní-kontrola Thinning time Summer (Let) - Winter (Zim) - Control (K)		Růstová fáze: mlazina - tyčkovina - tyčovina Stand stage: thicket (Ml) - thin-pole (Tck) - pole (Tyc)		Vznik porostu přiroz.– umělou obnovou Stand origin natural (Prir) - artificial (Umela) regeneration		Stanoviště lužní-náhorní Site type riverine (Luzní) - upland (Nahorní)
	Způsob hodnocení ANOVA Type of ANOVA	Spolu jednofakt.* Altogether, single-factor	Letní jednofakt. Summer thinning, single-factor	Zimní jednofakt. Winter thinning, single-factor	Spolu jednofakt. Altogether, single-factor	Lužní umělá obn. jednofakt. Riverine artif.stands, single-factor	Lužní umělá obn. jednofakt. Riverine artif. stands, single-factor	Lužní umělá obn. hierarch ** Riverine artif. stands, hierarchical	Spolu jednofakt. Altogether, single-factor	Lužní tyčk. jednofakt. Riverine Tck, single-factor
<b>Změna po 1. roce Response after 1 year</b>	Extr>Si=Sl=K	Extr>Si>Sl≥K	Si=Sl=K	Let≥Zim≥K	Let=Zim>K	Ml >Tčk =Tyč	Tčk >Tyč	Přir > Umělá	Přir > Umělá	Lužní > Náhorní
<i>Sociální postavení Social position</i>	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
<i>Výčetní průměr DBH</i>	ns	ns	**	**	**	**	**	ns	**	ns
<b>Změna po 2 letech Response after 2 years</b>	Extr>Si>Sl=K	Extr>Si>Sl≥K	Si=K>Sl	Let=Zim>K	Let=Zim>K	Ml=Tčk=Tyč	Tčk >Tyč	Přir > Umělá	Přir = Umělá	Lužní > Náhorní
<i>Sociální postavení Social position</i>	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
<i>Výčetní průměr DBH</i>	**	ns	ns	**	**	**	**	ns	**	ns

Intenzita probírkového zásahu měla na chřadnutí ponechaných jasanů statisticky významný zpomalující účinek v 11-ti z celkového počtu 15 pokusných porostů. V devíti případech měli průkazný vliv silné zásahy a ve dvou se zásahy slabé. Statisticky významný efekt pěstebních zásahů byl prokázán v naprosté většině pokusných porostů vzniklých umělou obnovou a v porostech na lužních stanovištích. Tedy v porostech s homogennější výchozí strukturou i stanovištními podmínkami. Na druhé straně efekt nebyl prokázán ve třech ze čtyř porostů na náhorních stanovištích s vápencovým podložím.

Načasování pěstebního zásahu do zimního nebo letního období při rámcovém hodnocení za všechny porosty spolu (Tab. 2) statisticky významně zdravotní stav ponechaných jasanů neovlivnilo. V detailnějším hodnocení 7 pokusných porostů se všemi čtyřmi kombinacemi pokusných variant (letní a zimní zásah v letním i zimním provedení) se vliv časování projevil statisticky významně po roku jen v jednom porostu po dvou letech ve dvou případech. Výsledek navíc nebyl konzistentní: v jednom měl pozitivní efekt letní a ve druhém zimní zásah.

Způsob založení pokusů umožnil hodnotit vliv výchozího sociálního postavení, výčetní tloušťky, růstové fáze (mlazina, tyčkovina, tyčovina) a typu stanoviště (lužního, náhorního) na pozdější zdravotní stav jedinců jasanu. Jak je vidět z Tabulky 2, výchozí sociální postavení významně ovlivnilo změnu zdravotního stavu u všech hodnocení. Čím bylo lepší, tím bylo zhoršení zdravotního stavu menší. Výchozí výčetní průměr měl podobný vliv, významný ovšem byl jen ve dvou třetinách hodnocení. Ve vztahu k růstové fázi se pozitivní efekt zásahu projevil v sestupném pořadí mlazina – tyčkovina – tyčovina. Na lužních stanovištích v porostech z umělé obnovy byla odezva tyčkovin příznivější než tyčovín. Co se týče způsobu vzniku porostu, jasan reagoval na pěstební zásah příznivěji v porostech z přirozené než umělé obnovy a ve vztahu k typu stanoviště měl příznivější odezvu v luzích než na náhorních stanovištích.

## Diskuse a závěry

Hodnocené období od uskutečnění výchovných zásahů je stále krátké a z výsledků lze vyvozovat jen předběžné závěry. Ověření vhodnosti aplikovaných pěstebních zásahů pro zmírnění dopadů chřadnutí jasanu v probírkových porostech tedy vyžaduje pokračování hodnocení pokusů po dobu alespoň dalších dvou let.

Z rozboru problematiky chřadnutí jasanu způsobené patogenem *H. fraxineus*, uvedené v úvodu i z výsledků řešeného projektu je zřejmé, že vliv pěstebních opatření typu probírek může mít na náchylné jedince jasanů pouze dočasný zmírňující efekt. Podíl hypovirulentních jedinců vyznačujících se relativní odolností je totiž nízký a představuje jen několik procent výchozího počtu jedinců. Pěstební péče o porosty s významným zastoupením jasanu (nad 30%) je přesto objektivně potřebná zejména v porostech ve fázi tyčkovin, tyčovín a tenčí kmenoviny. Kromě ekologického hlediska je důvodem zpomalení prosvětlování porostů a jejich zabuřeňování, v tenčích kmenovinách je možnost vyhnout se celoplošné předčasné obnově a také dosáhnout přirozeného zmlazení jasanu nebo jiných dřevin. Právě přirozená obnova je považována za efektivním způsob zvýšení podílu infekci tolerantních jedinců jasanu v další generaci (DOUGLAS et al. 2013; METZLER et al. 2013; CLARK, WEBBER (2017); ENDERLE et al. (2017). V přirozených zmlazeních, která jsou v přízemní vrstvě s vlhčím mikroklimatem pod silným infekčním tlakem, lze totiž očekávat nejrychlejší přirozenou selekci většího počtu tolerantních jedinců. Dočasně zlepšení stavu sice infikovaných no stále vitálních jasanů probírkovými zásahy prodlužuje jejich životnost a zvyšuje šanci dosažení přirozené obnovy. V (hypo-

tetickém) případě oslabení virulence nepůvodního patogena po jeho infekci u nás se vyskytujícími parazity a škůdci připadá v úvahu i jejich dlouhodobější přežití.

Nejefektivnější způsob využití jedinců s ověřenou tolerancí vůči *H. fraxineus* je zakládání semenných sadů (MCKINNEY et al. 2014, LOBO et al 2015, SKOVSGAARD et al. 2017). Založení a dopěstování plodících klonových sadů ovšem vyžaduje cca 10 let a další léta trvá, než budou jejich odolná potomstva zavedeny do lesních porostů ve větším rozsahu. U klonových sadů je omezující podmínkou také technická náročnost a náklady spojené s jejich založením. Přesto i v tomto případě, je do doby, než bude odolnější materiál zaveden ve větším rozsahu, nezbytné realizovat opatření zmírňující dopad choroby uváženými zásahy diferencovanými dle místní situace (SKOVSGAARD et al. 2009; THOMSEN, SKOVSGAARD 2012; METZLER et al. 2013). Zvýšenou mortalitu v porostech způsobuje vnitrodruhová konkurence, přehoustlý zápoj (HAVRDOVÁ 2015), intenzivní zásahy v probírkových porostech s sebou nesou i úskalí. BAKYS et al. (2013) neprokázali statisticky významnou odchylku v odumírání jasanu způsobeném *H. fraxineus* v závislosti na hustotě porostu (zakmenění) v mladých stejnověkových porostech paušálně. Paradoxně nejvyšší podíl vadnoucích (odumírajících) stromů byl pozorován na plochách s nejmenší hustotou stromů na hektar, tj. v porostech s nejintenzivnějšími probírkami. PROSPERO et al. (2006) a LAMOUR et al. (2007) uvádějí jako problém probírek vytvoření ideálních podmínek pro rozvoj *Armillaria* sp. vytvořením substrátu pro jejich rozvoj (pařezy, kořeny). Důsledkem intenzivních probírek bývá navíc četné mechanické poškození ponechaných jedinců.

Na závěr uvádíme předběžný návrh postupu při probírkových zásazích v jednotlivých porostních stádiích, resp. růstových fázích. Pro rozhodnutí, které jedince v porostu ponechat a které ne, je důležitým ukazatelem kromě zdravotního stavu také věk (porostní fáze) a dřevinové složení porostu.

V porostech s převahou nebo významným podílem (nad 30%) jasanu musí mít převážně formu zdravotního výběru, který do značné míry nahrazuje výběr pěstební.

V porostech do fáze mlaziny, a to včetně, lze doporučit odstranění všech jedinců hodnocených stupněm zdravotního stavu 4 a více. V porostech středně starých, lze doporučit odstranění jasanů hodnocených stupněm zdravotního stavu 5-10. Ponechání by měli být jedinci hodnoceni stupněm jedna a dva. U jasanů hodnocených stupni 3 a 4 je velmi pravděpodobné postupné zhoršování zdravotního stavu v následujících letech. S ohledem na sílu zásahu, resp. počet zbylých jedinců, lze tyto jasanu v první fázi v porostu ponechat a provést jejich odstranění přibližně po pěti letech od prvního zásahu. V dospělých porostech by přednostně měly být odstraňovány všechny jasanu hodnoceny stupněm zdravotního stavu 3 a více. Ponechání by tak měli být pouze jedinci výrazně odolní vůči patogenní houbě s nepozměněnou architekturou koruny stupně 1 a 2. V případě porostů s větší hustotou jedinců lze především v porostech starších kromě zdravotního výběru aplikovat také zušlechťovací výběr. Schematicky lze postup v porostech různých vývojových fázích naznačit následovně:

Vývojová fáze porostu	Výchovný zásah	Stupně zdrav. stavu jedinců		Komentář
		-ponechaných	-odstraněných	
<b>Mlaziny</b>	Vzhledem k vysokému počtu jedinců JS převažuje zdravotní negativní	1 – 3	4 – 10	Po zásahu možné vylepšování nebo doplňování.
<b>Tyčkoviny</b> <b>Tyčoviny</b>	S ohledem na hustotu jedinců JS lze aplikovat kombinovaný výběr	1 – 4 (1 – 2)*	5 – 10 (3 – 10)*	Postupné přeměny výchovou nebo obnovou / podsadby.
<b>Kmenoviny</b>	Upřednostnění zdravých a dle možnosti kvalitních jedinců	1 a 2	3 – 10	Rekonstrukce za vy-užití škály dřevin, žádoucí je při.obnova ponechaných JS.

\* - o odstranění se rozhoduje dle stavu jasanů, hustoty a dřevinového složení porostu.

S ohledem na koncepci zásahu (zdravotní výběr) by jejich provedení měla předcházet terénní pochůzka. Jejím cílem bude zjištění zdravotního stavu porostu, a tím i odvození síly zásahu. Terénní pochůzka je nejlépe provádět *na jaře* v období rašení jasanů, kde je nejsnáze možné stanovit zdravotní stav jednotlivých stromů. Síla zásahu se může v porostech vzhledem ke zdravotnímu stavu jasanu a počtu neperspektivních jedinců pohybovat rámcově od deseti procent až k velice vysokým hodnotám. Tam, kde vzniknou po zásazích porostní mezery nebo se vytvoří řediny, je nezbytné zahájit následnou obnovu. Zásahy by měly být provedeny neodkladně. Pouze v případě výrazně zhoršeného zdravotního stavu (vysoké procento neperspektivních jasanů) lze zásah odložit na časný podzim, kdy na provedení zásah může plynule navazovat obnova porostu (rekonstrukce).

## Summary

Options for mitigation of the ash dieback by means of targeted silvicultural measures were tested in the series of 16 experimental thinning-stage stands with substantial (50-100%) proportion of ash. The stands represented riverine, lowland and upland limestone sites where ash occurs naturally. In each stand, variants with different intensity (high or low with pre-defined health condition threshold) and timing (winter, summer) were established along with a non-intervention reference plot.

Subsequent field assessments focused on the effect of silvicultural intervention on the progress of ash dieback and on the associated role of the size and sociological position of ash trees. The ash dieback symptoms were scored on individual trees short before thinning, one year and two years after thinning.

Our data show that the high-intensity sanitary thinning slowed the progress of ash dieback in comparison with non-intervention references plots. A difference between the effects of winter and summer thinning were observed only one year after thinning, however. Responses of younger thin-pole stands were more favorable in comparison with older stands. Besides, stands originating in natural regeneration responded better to the thinning than artificially regenerated ones. When site types were compared, ash trees on riverine and lowland sites responded more favorably than those growing on upland sites. The latter can be explained by the broader variety and severity of factors influencing tree condition in the upland sites, particularly regarding the summer

drought in 2016 and 2017. Our results after 2 vegetation seasons are deemed only preliminary. Evaluation of the effects of different thinning intensities will require further assessments and final inventory at least 3 years after thinning.

## Literatura

- BAKYS, R., VASAITIS, R., SKOVSGAARD, J. P. *Patterns and severity of crown dieback in young even-aged stands of European ash (Fraxinus excelsior L.) in relation to stand density, bud flushing phenotype and season. Plant Prot. Sci.* 3: (2013) 120-126 p.
- CLARK, J., WEBBER, J. *The ash resource and the response to ash dieback in Great Britain. In: Dieback of European Ash (Fraxinus spp.)- Consequences and Guidelines for Sustainable Management. The Report on European Cooperation in Science & Technology (COST) Action FP1103 FRAXBACK, Swedish University of Agricultural Sciences: (2017) 228-237 p.*
- DAL MASO, E., COCKING, J., MONTECCHIO, L.: *Efficacy tests on commercial fungicides against ash dieback in vitro and by trunk injection. Urban Forestry & Urban Greening* 13: (2014) 697-703 p.
- DOUGLAS, G. C., PLIURA, A., DUFOUR, A., ET AL. *Common Ash (Fraxinus excelsior)*. In: PÂQUES L.E., ed. *Forest Tree Breeding in Europe: current state-of-the-art and perspectives Series: Managing Forest Ecosystems (Book 25)*. Springer Dordrecht: (2013) 403-462 pp.
- ENDERLE, R., NAKOU, A., THOMAS, K., METZLER, B. *Susceptibility of autochthonous German Fraxinus excelsior clones to Hymenoscyphus pseudoalbidus is genetically determined. Annals of Forest Science* 72: (2015) 183–193 p.
- ENDERLE, R., BUßKAMP, J. AND METZLER, B. *Growth Performance of Dense Natural Regeneration of Fraxinus excelsior under Attack of the Ash Dieback Agent Hymenoscyphus fraxineus. Baltic Forestry* 23(1): (2017) 218-228 p.
- DEFRA (ED.) *Results from Preliminary Screening of Approved Fungicides for Efficacy Against Hymenoscyphus fraxineus (Chalara fraxinea), the cause of Ash Dieback. Defra Report: (2016) 4 pp.*
- FREINSCHLAG, C., *Untersuchungen zum Eschentriebsterben in Eschen-Samenplantagen in Österreich [Investigations on ash dieback in ash seed plantations in Austria]*. Master Thesis, BOKU Wien, Austria: (2013) 110 [+18] pp.
- HAUPTMAN, T., PIŠKUR, B., DE GROOT, M., OGRIS, N., FERLAN, M. A JURC, D. *Temperature effect on Chalara fraxinea: heat treatment of saplings as a possible disease control method. Forest Pathology* 43: (2013) 360-370 p.
- HAVRDOVÁ, L. *Analýza vybraných faktorů ovlivňujících výskyt Chalara fraxinea v prostředí*. Disertační práce. ČZU Praha: (2015) 106 p.
- HAVRDOVÁ, L., ZAHRADNÍK, D., ROMPORTL, D., PEŠKOVÁ, V. AND ČERNÝ, K. *Environmental and silvicultural characteristics influencing the extent of ash dieback in forest stands. Baltic Forestry* 23(1): (2017)168-182 p.
- HRABĚTOVÁ, M., ČERNÝ, K., ZAHRADNÍK, D. AND HAVRDOVÁ, L. 2016. Efficacy of fungicides on *Hymenoscyphus fraxineus* and their potential for control of ash dieback in forest nurseries. *Forest Pathology* 45: (2016) 156-171 p.
- KIRISITIS, T., FREINSCHLAG, C. *Ash dieback caused by Hymenoscyphus pseudoalbidus in a seed plantation of Fraxinus excelsior in Austria. J. Agric. Ext. Rural Dev.* 4: (2012) 184–191 p.
- KOWALSKI, T., ŁUKOMSKA, A. *Studies on Fraxinus excelsior L. dieback in Włoszczowa Forest Unit stas. Acta Agrob.* 59: (2005) 429–440 p.

- KOWALSKI, T.; BARTNIK, C. *Morphological variation in colonies of Chalara fraxinea isolated from ash (Fraxinus excelsior L.) stems with symptoms of dieback a effects of temperature on colony growth a structure. Acta Agrobot. 63: (2005) 99–106 p.*
- KOWALSKI, T. A., HOLDENRIEDER, O. *A new fungal disease of ash in Europe (in German). Schweiz. Z. Forstwes. 159: (2008) 45–50 p.*
- KOLTAY, A., SZABO, I., JANIK, G.: *Chalara fraxinea incidence in Hungarian ash (Fraxinus excelsior) forests. J. Agr. Ext. Rud. Dev. 4 (2012) 236-238 p.*
- GROSS, A., HOLDENRIEDER, O., PAUTASSO, M., QUELOZ, V. A SIEBER, T. N. *Hymenoscyphus pseudoalbidus, the causal agent of European ash dieback. Pathogen profile. Molecular Plant Pathology 15: (2014) 5-21 p.*
- KJÆR, E. D., MCKINNEY, L. V., NIELSEN, L. R., HANSEN, L. N., HANSEN, J. K., *Adaptive potential of ash (Fraxinus excelsior) populations against the novel emerging pathogen Hymenoscyphus pseudoalbidus. Evol. Appl. 5: (2012) 219–228 p.*
- KUČERA A., VAVŘÍČEK D., SMRČEK S., ROZSYPÁLEK J., DUNDEK P., PECHÁČEK J., PETRUŽÁLKOVÁ L. *Možnosti tlumení a revitalizace chřadnoucích porostů s jasanem ztepilým ohrožených chorobou Chalara fraxinea s využitím organických přípravků s fungicidními vlastnostmi a minerálních hnojiv na bázi dusíku a síry. Certifikovaná metodika, léčebný a památkový postup, 1. vydání, Mendelova univerzita v Brně: (2017) 116 pp.*
- LENZ H. D., BARTHA, B., STRABER, L., LEMME, H. *Development of Ash Dieback in South-Eastern Germany a the Increasing Occurrence of Secondary Pathogens. Forests 7: (2016) 41 pp.*
- LOBO, A., MCKINNEY, L. V., HANSEN, J. K., KJAER, E. D., NIELSEN, L. R. *Genetic variation in dieback resistance in Fraxinus excelsior confirmed by progeny inoculation assay. Forest Path. 45: (2015) 379–387p.*
- MCKINNEY, L. V., NIELSEN, L. R., HANSEN, J. K., KJÆR, E., D. *Presence of natural genetic resistance in Fraxinus excelsior (Oleraceae) to Chalara fraxinea (Ascomycota): an emerging infectious dinase. Heredity 106: (2011) 788–797 p.*
- MCKINNEY, L. V., NIELSEN, L. R., COLLINGE, D. B., THOMSEN, I. M., HANSEN, J. K., KJAER, E. D. *The ash dieback crisis: genetic variation in resistance can prove a long-term solution. Plant Pathology 63: (2014) 485-499 p.*
- METZLER, B., BAUMANN, M., BAIER, U., HEYDECK, P., BRESSEM, U., LENZ, H. D. *Bundesweite Zusammenstellung: Handlungsempfehlungen beim Eschentriebsterben [Nationwide compilation: recommended actions regarding ash dieback]. AFZ-Der Wald 68 (5): (2013) 17-20 p.*
- PLIŪRA, A., LYGIS, V., SUCHOCKAS, V., BARTKEVIČIUS, E. *Performance of twenty four European Fraxinus excelsior populations in three Lithuanian progeny trials with a special emphasis on resistance to Chalara fraxinea. Baltic Forestry 17: (2011) 17–34 p.*
- PROSPERO, S., HOLDENRIEDER, O., RIGLING, D. *Rhizomorph production and stump colonization by co-occurring Armillaria cepistipes and Armillaria ostoyae: anexperimental study. Forest Path 36(1): 2006) 21–31 p.*
- ROZSYPÁLEK, J. *Infekční biologie Chalara fraxinea a faktory ovlivňující fruktifikaci teleomorfy Hymenoscyphus pseudoalbidus jako zdroje infekce nekrózy jasanů. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně: Lesnická a dřevařská fakulta: (2015) 107 pp.*
- SCHUMACHER, J. *The general situation regarding ash dieback in Germany a investigations concerning the invasion a distribution strategies of Chalara fraxinea in woody tissue. OEPP/EPPO Bulletin 41: (2011) 7–10 p.*

- SKOVSGAARD, J. P., THOMSEN, I. M., SKOVSGAARD, I. M., MARTINUSSEN, T. *Associations among symptoms of dieback in even-aged stands of ash (Fraxinus excelsior L.)*. *For. Pathol.* 40: (2010) 7–18 p.
- SKOVSGAARD, J. P., WILHELM, G. J., THOMSEN, I. M., METZLER, B., KIRISITS, T., HAVRDOVÁ, L., ENDERLE, R., DOBROWOLSKA, D., CLEARY, M., CLARK, J. 2017. *Silvicultural strategies for Fraxinus excelsior in response to dieback caused by Hymenoscyphus fraxineus*. *Forestry* 90 (2017) 455–472 p.
- STENER, L. G. *Clonal differences in susceptibility to the dieback of Fraxinus excelsior in southern Sweden*. *Sc. J. For. Res.* 28: (2013) 205–216 p.
- THOMSEN, I. M., SKOVSGAARD, J. P. *Silvicultural strategies for forest stands with ash dieback*. *Forstschutz Aktuell* 55: (2012) 18–20 p.
- ZHAO, Y. J., HOSOYA, T., BARAL, H. O., KAKISHIMA, M. *Hymenoscyphus pseudoalbidus, the correct name for Lambertella albida reported from Japan*. *Mycotaxon.* 122: (2012) 25-41 p.

### **Dedikace**

Práce vznikla díky finanční podpoře projektu Grantové služby LČR č. 8/2015 „Pěstební možnosti zmírnění chřadnutí jasanů způsobeného houbou *Hymenoscyphus fraxineus* (*Chalara fraxinea*)“

**Sekce 5**

**BIOLOGIE, EKOLOGIE A FUNKCE LESA**

**Session 5**

**FOREST BIOLOGY, EKOLOGY AND FUNCTIONS**



## VNÚTRODRUHOVÁ VARIABILITA POPULÁCIÍ *QUERCUS PUBESCENS* WILLD. NA ÚZEMÍ SLOVENSKA

### INTRASPECIFIC VARIABILITY OF *QUERCUS PUBESCENS* WILLD. POPULATIONS IN THE AREA OF SLOVAKIA

Ivan Lukáčik<sup>1</sup>, Zuzana Parobeková<sup>1\*</sup>, Marian Ďuriš<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Katedra pestovania lesa, Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, T.G. Masaryka 24, 96001 Zvolen, SK

<sup>2</sup> Pozemkový a lesný odbor, Okresný úrad Zvolen, Študentská 12, 96001 Zvolen, SK

\*corresponding author: parobekova@tuzvo.sk

#### Abstrakt

*The structure and species composition of forest steppe communities are the result of long-term development, ways of individual woody plants spreading and the competitive relationships between them. Individual populations also differ considerably due to site conditions. The aim of this work is to assess the intraspecific variability of Quercus pubescens Willd. populations, based on the morphological features of the leaves. Six permanent research plots (PRP) (50 x 50 m) were established on the territory of three orographic units. In evaluating the morphological features of the leaves, selected quantitative features were measured on each established PRP on 30 leaves of each tree: leaf length, leaf blade length, leaf blade width, leaf stem length, number of lobes. The results of the morphological features evaluation pointed to their great variability. This is probably closely related to the possible occurrence of other Quercus species from the Dascia section or their hybrids in the studied areas.*

**Keywords:** forest steppe communities, morfological features, ecotype

#### Abstrakt

*Štruktúra a druhové zloženie lesostepných spoločenstiev sú výsledkom dlhodobého vývoja, spôsobov šírenia jednotlivých drevín a kompetičných vzťahov medzi nimi. Jednotlivé populácie sa výrazne diferencujú aj vplyvom stanovištných podmienok. Cieľom tejto práce je posúdiť vnútrodruhovú variabilitu populácií Quercus pubescens Willd. na základe morfologických znakov listov. Na území troch orografických celkov bolo založených 6 trvalých výskumných plôch (TVP) (50 x 50 m). Pri hodnotení morfologických znakov listov sa na každej založenej TVP merali vybrané kvantitatívne znaky na 30 listoch každého stromu: dĺžka listu, dĺžka listovej čepele, šírka listovej čepele, dĺžka listovej stopky, počet lalokov a lalôčikov. Výsledky hodnotenia morfologických znakov listov duba plstnatého poukázali na ich veľkú premenlivosť, čo však pravdepodobne úzko súvisí s možným výskytom aj ďalších druhov rodu Quercus zo sekcie Dascia, prípadne ich hybridov v skúmaných oblastiach.*

**Kľúčové slová:** lesostepné spoločenstvá, morfologické znaky, ekotyp

#### Problematika

Lesostepné spoločenstvá sa vyskytujú v najteplejších oblastiach od nížin do pahorkatín v nadmorských výškach do 400 m n. m. v prvom, ojedinele aj v druhom lesnom vegetačnom stupni (ĎURIŠ, LUKÁČIK 2010). Priemerné ročné teploty sa pohybujú v rozpätí 7,5 – 8,5 °C, výnimočne aj viac. Priemerné úhrny zrážok patria k najnižším a spravidla nepresahujú 650 mm. Vegetačné obdobie trvá 165 – 170 dní (KOLIBÁČOVÁ et al. 1999). Vznik týchto spoločenstiev úzko súvisí s geologickým podložím a mikroklimatickými podmienkami územia. Vyznačujú sa pôsobením kombinácie ekologických faktorov prostredia, ktorými sú najmä nízka vzdušná vlhkosť, nedostatok vody v pôde, vysoké teploty a vysoká intenzita slnečného žiarenia (DAVID et al. 2007). V našich podmienkach nejde o klimaxovú vegetáciu, ale o extrazonálny výskyt (CHYTRÝ 1995). Jednou z najdôležitejších drevín týchto spoločenstiev je dub plstnatý (*Quercus pubescens* Willd.), ktorý sa tu vyskytuje spolu s ďalšími zástupcami svojho rodu (napr. *Quercus cerris* L., *Quercus virgiliana* Ten.,

*Quercus frainetto* Ten., *Quercus dalechampii* Ten.). Súčasná štruktúra a druhové zloženie lesostepných spoločenstiev sú výsledkom dlhodobého vývoja, spôsobov šírenia jednotlivých drevín a kompetičných vzťahov medzi nimi. Zo vzťahov drevina a prostredie je zrejmé, že jednotlivé populácie sa diferencujú aj podľa stanovištných podmienok (MAGIC 2000).

Systematické triedenie dubov je zložité a líši sa podľa jednotlivých autorov. V minulosti bolo vypracovaných viacero systémov triedenia. Na Slovensku sa zaužíval systém podľa SCHWARZA 1936, ktorý rozdelil rod *Quercus* do troch podrodov, v rámci ktorých vyčlenil 15 sekcií. Hoci je na Slovensku v súčasnosti vylíšených 9 základných druhov dubov, ktoré sú zaradené do štyroch sekcií – *Roburoides*, *Robur*, *Dascia* a *Eucerris* (MAGIC 1974, 1975), v lesníckej praxi sú rozlišované len štyri druhy. Ostatným druhom sa nevenuje prakticky žiadna pozornosť pravdepodobne z dôvodov ich zložitej determinácie. Jednou z hlavných príčin veľkej variability dubov je ich široká vnútrodruhovú premenlivosť, ktorá často eliminuje medzidruhovú rozdiely. Okrem toho je vylíšených veľké množstvo ekotypov, ktoré sa morfológicky, ale aj geneticky prispôbili stanovištným podmienkam.

V súčasnom období klimatických zmien viacero autorov (napr. WALTHER et al. 2002, PENUELAS, BROADA 2003) pozoruje posun rozmiestnenia druhov biómov smerom k pólom resp. do vyšších nadmorských výšok. Samotná migrácia druhov je najčastejším spôsobom reakcie drevín na prebiehajúce klimatické zmeny (BREDA et al. 2006, ČABOUN, PRIWITZER 2012). Vertikálnej migrácii druhov venuje v poslednom období pozornosť viacero autorov. PENUELAS, BROADA (2003) dokumentujú inváziu stalo-zelených druhov dubov do vyššie položených vlhších lokalít opadavých lesov v severovýchodnom Španielsku. Známe je aj nahrádzanie porastov borovice lesnej dubom plstnatým v suchých vnútrozemských kotlinách centrálnej časti Álp (GIMMI et al. 2010, RIGLING et al. 2013). Uvedení autori na základe zistených skutočností predpokladajú rozširovanie ďalších teplo a suchomilných druhov dubov na naše územie a ich rastúci význam pri zabezpečovaní pôdochranných a vodohospodárskych funkcií, preto je dôležité ich dôsledné taxonomické vylíšenie.

Cieľom tejto práce je posúdiť vnútrodruhovú variabilitu populácií *Quercus pubescens* Willd. na základe morfológických znakov listov.

## **Metodika**

### **Stanovištné pomery**

Spoločenstvá lesostepí sa nachádzajú na južných expozíciách, v teplých a suchých oblastiach. Väčšinou sú podmienené edaficky, zaberajú extrémnejšie reliéfové tvary s plytkými pôdami typu rendzín a rankrov. Stromovité dreviny hlavnej úrovne väčšinou nevytvárajú plný zápoj (LUKÁČIK, ĎURIŠ 2012). Tvoria riedke porasty, v ktorých sa vyskytujú pestré trávovité spoločenstvá. Charakteristická je aj veľká druhová diverzita v kríkovitej a bylinnej vrstve (STANOVÁ, VALACHOVIČ, 2002).

### **Krupinská planina**

Územie leží v subprovincii Vnútrotných Západných Karpát, v oblasti Slovenské stredohorie. Pôdy sa vytvorili na genetickom podklade zvetralín vulkanických hornín. Z pôdných druhov majú najväčšie zastúpenie hlinité pôdy so stredným obsahom skeletu, ílovito hlinité a piesočnato - hlinité pôdy. Väčšina pôd je bezskeletnatá až slabo skeletnatá. Zastúpené sú najmä kambizeme, hojne rozšírené sú aj

ilimerizované pôdy, ktoré spolu s oglejenými pôdami tvoria charakteristické súbory pôdných typov (HRAŠKO et al. 1991).

Vegetačný kryt tvoria lesné spoločenstvá dubových lesov, z drevín najmä *Quercus pubescens*, *Quercus cerris*, *Quercus petraeae*, *Quercus dalechampii*, *Quercus virgiliana*, *Sorbus torminalis*, *Cerasus mahaleb*. Bylinnú a trávnu synúziu reprezentujú druhy dubových teplomilných lesov (DAROLA et al. 1984).

### **Strážovské vrchy**

Strážovské vrchy sa nachádzajú v západnej časti Slovenska. Patria do pásma jadrových pohorí vnútorných Karpát. Prevládajúcim pôdnym typom sú rendziny. Najčastejšie sa vyskytuje rendzina typická, na strmých svahoch sa vyvinula rendzina sutinová. V okolí Rokoša a Drieňového vrchu sa vyvinuli na usadeninách zvetralín slieňov a splachoch kambizeme rubefikované (hnedé pôdy nenasýtené) (HRAŠKO et al. 1991).

Drevinovú zložku v typických lesostepných spoločenstvách tu tvoria najmä druhy *Quercus pubescens*, *Quercus cerris*, *Acer campestre*, *Sorbus torminalis*, *Sorbus aria*, *Fraxinus ornus*, *Pyrus pyraeaster*, *Malus sylvestris* po okrajoch *Quercus petraea*, a *Carpinus betulus*. V bylinnej etáži sa vyskytujú najmä kalcifilné stepné a lesostepné druhy (FUTÁK 1966).

### **Považský Inovec**

Prevažná časť územia patrí do Vnútorných Západných Karpát. Z geologického hľadiska má Považský Inovec veľmi rozmanitú skladbu. Prevládajúcim pôdnym druhom sú ilovito – hlinité pôdy, z pôdných typov prevládajú kambizeme, ktoré sa vyskytujú hlavne na lesných stanovištiach. Na karbonátových a bázických horninách sú najčastejšie zastúpené rendziny, hnedé pôdy nasýtené, pôdy ilimerizované až oglejené. ktoré sa vyskytujú v menšej miere. Pôdy typu rendzina sa vyskytujú na karbonátových horninách na nelesných stanovištiach (HRAŠKO et al. 1991).

V zložení vegetácie Považského Inovca prevládajú vo vyšších polohách horské druhy, ale v nižších polohách na výhrevných svahoch tvorených karbonátovými horninami sa nachádzajú druhy teplo až suchomilnej panónskej flóry. Na úpätí pohoria sa zachovali zvyšky dúbav s *Quercus petraea*, *Quercus cerris*, *Acer campestre*, *Ulmus carpinofoia* a na xerofilnejších miestach s *Quercus pubescens*. Xerothermná nelesná vegetácia sa vyznačuje značnou zonáciou. Dominujú spoločenstvá zväzov *Festucion pallentis* a *Festucion valesiaceae* (MAGLOCKÝ 1979).

### **Zakladanie plôch a zber dát**

Výber plôch sa uskutočnil na základe vlastných pochôdzok priamo v teréne. Na území Krupinskej planiny bola založená trvalá výskumná plocha (TVP) Beluja, na území Strážovských vrchov TVP Chalmová, Drieňov vrch a Uhrovec a na území Považského Inovca TVP Sochoň 1 a Sochoň 2. V rámci každej plochy sa urobil jej podrobný popis (Tab.1). Rozmery jednotlivých TVP boli spravidla 50 x 50 metrov (0,25 ha). Každá plocha bola stabilizovaná označenými drevenými kolíkmi a farebnými páskami.

**Tab. 1:** Popis základných charakteristík trvalých výskumných plôch**Tab.1:** Description of the basic characteristics of permanent research plots

TVP <sup>1</sup>	Nadmorská výška <sup>2</sup> (m)	Expozícia <sup>3</sup>	Sklon <sup>4</sup> (%)	Skupina lesných typov <sup>5</sup>
1. Beluja	246	J	60	<i>Corneto-Quercetum pubescentosum</i>
2. Chalmová	250	JV	60	<i>Corneto-Quercetum pubescentosum</i>
3. Drieňov vrch	380	JZ	25	<i>Corneto-Quercetum carpineum</i>
4. Uhrovec	417	J	20	<i>Corneto-Quercetum carpineum</i>
5. Sochoň 1	413	J	60	<i>Corneto-Quercetum</i>
6. Sochoň 2	435	J – JZ	20	<i>Corneto-Quercetum pubescentosum</i>

<sup>1</sup>- permanent research plot, <sup>2</sup>-altitude, <sup>3</sup>- exposure, <sup>4</sup>- slope, <sup>5</sup>- forest community

Pri hodnotení morfológických znakov listov sa postupovalo podľa MAGICA (1975) a POŽGAJA, HORVÁTHOVEJ (1986). Na každej založenej TVP sa merali vybrané kvantitatívne znaky: dĺžka listu, dĺžka listovej čepele, šírka listovej čepele, dĺžka listovej stopky, počet lalokov a lalôčikov.

Všetky merané znaky listov sa merali s presnosťou na 1 mm. Listy sa odoberali zo spodnej až strednej tretiny koruny stromu z južnej strany. Po odobratí sa listy zaherbarizovali. Znaky pre každého jedinca sa zisťovali meraním tridsiatich listov. Tento výberový súbor bol dostatočný na štatistické vyhodnotenia, bolo možné použiť štatistické testy a odhady založené na normálnom rozdelení. Veľkosť hodnôt a variabilita kvantitatívnych znakov sú prezentované cez aritmetické priemery ( $\bar{x}$ ), smerodajné odchýlky ( $S_x$ ) a variačné koeficienty ( $S_x\%$ ). Hodnoty boli spracované pomocou jednofaktorovej analýzy variácie (one-way ANOVA, STATSOFT INC. 1999).

## Výsledky

### Dĺžka listu

Priemerná dĺžka listu duba plstnatého zo všetkých meraných listov bola 9,6 cm, a kolísala v rozpätí od 5,4 cm do 15,5 cm (tab. 2). Z výsledkov jednofaktorovej analýzy variácie vidieť (tab. 3), že faktor plochy má štatisticky významne vplyv na priemernú dĺžku listov na jednotlivých plochách. Duncanovým testom bolo potvrdené, že najvyššie priemerné hodnoty dĺžky listov boli namerané na TVP 2 (10,7 cm) v Strážovských vrchoch a TVP 5 (9,9 cm) v Považskom Inovci. Naopak, jedna z najnižších hodnôt bola vypočítaná na TVP 4 (8,8cm) v Strážovských vrchoch.

**Tab. 2:** Priemerné hodnoty a štatistické charakteristiky dĺžky listov duba plstnatého**Tab. 2:** Average values and statistical characteristics of the leaves length

TVP <sup>1</sup>	Rozpätie <sup>2</sup> min – max (cm)	Aritmetický priemer <sup>3</sup> ( $\bar{x}$ )	Smerodajná odchýlka <sup>4</sup> ( $S_x$ )	Variačný koeficient <sup>5</sup> ( $S_x\%$ )	*
1	7,2 – 12,1	9,2	1,3	14,2	ab
2	8,0 – 14,6	10,7	1,3	14,3	c
3	5,4 – 15,5	9,5	1,9	20,1	ab
4	5,7 – 12,7	8,8	1,6	18,2	a
5	5,5 – 13,5	9,9	1,8	17,7	bc
6	5,5 – 14,3	9,5	1,7	18,1	ab
Priemer <sup>3</sup>	5,4 – 15,5	9,6	1,7	17,9	

<sup>1</sup>- permanent research plot, <sup>2</sup>- interval, <sup>3</sup>- arithmetic average, <sup>4</sup>- standard deviation, <sup>5</sup>- variation coefficient,

\* – písmena označujú štatisticky významný rozdiel medzi hodnotami, hodnoty bez písmen neboli štatisticky významne rozdielne na hladine  $p = 0,05$ , ANOVA / letters denote significance of difference between values, values without letters are not significantly different at  $p = 0,05$ , ANOVA

**Tab.3:** Výsledky analýzy variancie dĺžky listov duba plstnatého**Tab. 3:** Results of analysis of variance of the leaves length

Zdroj variability <sup>1</sup>	Suma štvorcov odchýlok <sup>2</sup>	Počet stupňov voľnosti <sup>3</sup>	F	Hladina významnosti <sup>4</sup>
Plocha <sup>5</sup>	62,53	5	4,676	0,000496
Reziduál <sup>6</sup>	465,32	174		

<sup>1</sup>- source of variability, <sup>2</sup>- sum of deviation squares, <sup>3</sup>- degrees of freedom, <sup>4</sup>- significance level, <sup>5</sup>- permanent research plot, <sup>6</sup>- residual

### Dĺžka listovej čepele

Priemerná dĺžka listovej čepele zo všetkých meraných listov dosiahla hodnotu 8,4 cm a kolísala v rozpätí od 4,6 cm do 13,5 cm (tab. 4). Výsledky jednofaktorovej analýzy variancie potvrdili významný vplyv faktora plochy na priemernú dĺžku listov (tab. 5). Z výsledkov Duncanovho testu je zrejmé, že najväčšie priemerné hodnoty dĺžky listov boli jednoznačne namerané na TVP 2 (9,3 cm) v Strážovských vrchoch a jedna z najnižších hodnôt bola vypočítaná opäť na TVP 4 (7,7cm) v Strážovských vrchoch.

**Tab. 4:** Priemerné hodnoty a štatistické charakteristiky dĺžky listových čepeľí duba plstnatého**Tab. 4:** Average values and statistical characteristics of the leaf blade length

TVP <sup>1</sup>	Rozpätie <sup>2</sup> min – max (cm)	Aritmetický priemer <sup>3</sup> ( $\bar{x}$ )	Smerodajná odchýlka <sup>4</sup> ( $S_x$ )	Variačný koeficient <sup>5</sup> ( $S_x\%$ )	*
1	5,8 – 10,5	8,1	1,2	15,4	ab
2	6,7 – 11,9	9,3	1,3	14,3	c
3	4,9 – 13,5	8,4	1,8	21,5	ab
4	5,2 – 11,8	7,7	1,5	19,0	a
5	4,6 – 12,2	8,6	1,6	18,2	b
6	5,0 – 12,8	8,4	1,6	18,9	ab
Priemer <sup>3</sup>	4,6 – 13,5	8,4	1,6	18,7	

<sup>1</sup>- permanent research plot, <sup>2</sup>- interval, <sup>3</sup>- arithmetic average, <sup>4</sup>- standard deviation, <sup>5</sup>- variation coefficient,

\* – písmena označujú štatisticky významný rozdiel medzi hodnotami, hodnoty bez písmen neboli štatisticky významne rozdielne na hladine  $p = 0,05$ , ANOVA / letters denote significance of difference between values, values without letters are not significantly different at  $p = 0,05$ , ANOVA

**Tab.5:** Výsledky analýzy variancie dĺžky listov duba plstnatého**Tab. 5:** Results of analysis of variance of the leaf blade length

Zdroj variability <sup>1</sup>	Suma štvorcov odchýlok <sup>2</sup>	Počet stupňov voľnosti <sup>3</sup>	F	Hladina významnosti <sup>4</sup>
Plocha <sup>5</sup>	46,8	5	4,118	0,001468
Reziduál <sup>6</sup>	359,47	174		

<sup>1</sup>- source of variability, <sup>2</sup>- sum of deviation squares, <sup>3</sup>- degrees of freedom, <sup>4</sup>- significance level, <sup>5</sup>- permanent research plot, <sup>6</sup>- residual

### Šírka listovej čepele

Priemerná šírka listovej čepele dosiahla hodnotu 5,4 cm s variačným rozpätím 22,2 % (tab. 6).

Z výsledkov analýzy variancie pre priemernú šírku listovej čepele duba plstnatého vyplynulo, že faktor plochy nemá štatisticky významný vplyv na túto veličinu, pretože priemerná šírka listovej čepele nadobúda na všetkých založených plochách podobné hodnoty (tab. 7). Zistené rozdiely majú preto len náhodný charakter.

**Tab. 6:** Priemerné hodnoty a štatistické charakteristiky šírky listových čepelí duba plstnatého na TVP 4 – TVP 9**Tab. 6:** Average values and statistical characteristics of the leaf blade width

TVP <sup>1</sup>	Rozpätie <sup>2</sup> min – max (cm)	Aritmetický priemer <sup>3</sup> ( $\bar{x}$ )	Smerodajná odchýlka <sup>4</sup> ( $S_x$ )	Variačný koeficient <sup>5</sup> ( $S_x\%$ )	*
1	3,5 – 7,7	5,2	1,1	20,6	
2	3,8 – 8,1	5,5	1,0	18,1	
3	3,4 – 11,2	5,7	1,7	29,8	
4	3,2 – 7,9	4,9	1,1	23,1	
5	3,3 – 8,4	5,6	1,0	18,6	
6	3,2 – 7,0	5,3	1,0	18,5	
Priemer <sup>3</sup>	3,2 – 11,2	5,4	1,2	22,2	

<sup>1</sup>- permanent research plot, <sup>2</sup>- interval, <sup>3</sup>- arithmetic average, <sup>4</sup>- standard deviation, <sup>5</sup>- variation coefficient,

\* – písmena označujú štatisticky významný rozdiel medzi hodnotami, hodnoty bez písmen neboli štatisticky významne rozdielne na hladine  $p = 0,05$ , ANOVA / letters denote significance of difference between values, values without letters are not significantly different at  $p = 0,05$ , ANOVA

**Tab. 7:** Výsledky analýzy variancie šírky listových čepelí duba plstnatého**Tab. 7:** Results of analysis of variance of the leaf blade width

Zdroj variability <sup>1</sup>	Suma štvorcov odchýlok <sup>2</sup>	Počet stupňov voľnosti <sup>3</sup>	F	Hladina významnosti <sup>4</sup>
Plocha <sup>5</sup>	13,302	5		
Reziduál <sup>6</sup>	241,368	174	1,1918	0,093643

<sup>1</sup>- source of variability, <sup>2</sup>- sum of deviation squares, <sup>3</sup>- degrees of freedom, <sup>4</sup>- significance level, <sup>5</sup>- permanent research plot, <sup>6</sup>- residual

### Dĺžka listovej stopky

Priemerná dĺžka stopky na založených TVP bola 1,2 cm s rozpätím od 0,4 cm po 2,4 cm. Miera variability tohto znaku je 30,0 % (tab. 8).

Z výsledkov jednofaktorovej analýzy variancie vyplynulo, že faktor plochy mal štatisticky významný vplyv na priemernú dĺžku listových stopiek (tab. 9). Podľa výsledkov Duncanovho testu môžeme konštatovať, že hodnoty dĺžky listovej stopky namerané na Krupinskej planine (TVP 1) patrili do homogénnej skupiny s najnižšími hodnotami. Najvyššie hodnoty boli namerané v Považskom Inovci (TVP 5 a 6) a na ploche (TVP 2) v Strážovských vrchoch.

**Tab. 8:** Priemerné hodnoty a štatistické charakteristiky dĺžky listových stopiek duba plstnatého**Tab. 8:** Average values and statistical characteristics of the leaf stem length

TVP <sup>1</sup>	Rozpätie <sup>2</sup> min – max (cm)	Aritmetický priemer <sup>3</sup> ( $\bar{x}$ )	Smerodajná odchýlka <sup>4</sup> ( $S_x$ )	Variačný koeficient <sup>5</sup> ( $S_x\%$ )	*
1	0,5 – 2,4	1,1	0,4	39,0	a
2	0,8 – 1,8	1,3	0,3	22,3	bc
3	0,5 – 2,0	1,1	0,3	28,1	ab
4	0,4 – 2,0	1,1	0,4	31,3	ab
5	0,7 – 2,3	1,4	0,4	27,6	c
6	0,5 – 1,8	1,3	0,3	26,7	bc
Priemer <sup>3</sup>	0,4 – 2,4	1,2	0,4	30,0	

<sup>1</sup>- permanent research plot, <sup>2</sup>- interval, <sup>3</sup>- arithmetic average, <sup>4</sup>- standard deviation, <sup>5</sup>- variation coefficient,

\* – písmena označujú štatisticky významný rozdiel medzi hodnotami, hodnoty bez písmen neboli štatisticky významne rozdielne na hladine  $p = 0,05$ , ANOVA / letters denote significance of difference between values, values without letters are not significantly different at  $p = 0,05$ , ANOVA

Tab. 9: Výsledky analýzy variancie dĺžky listových stopiek duba plstnatého  
 Tab. 9: Results of analysis of variance of the of the leaf stem length

Zdroj variability <sup>1</sup>	Suma štvorcov odchýlok <sup>2</sup>	Počet stupňov voľnosti <sup>3</sup>	F	Hladina významnosti <sup>4</sup>
Plocha <sup>5</sup>	2,1864	5	3,544	0,004467
Reziduál <sup>6</sup>	21,4713	174		

<sup>1</sup>- source of variability, <sup>2</sup>- sum of deviation squares, <sup>3</sup>- degrees of freedom, <sup>4</sup>- significance level, <sup>5</sup>- permanent research plot, <sup>6</sup>- residual

### Počet lalokov listovej čepele

Priemerný počet lalokov hodnotených listov bol desať a pohyboval sa od 6 do 14 (tab. 10).

Z výsledkov analýzy variancie pre priemerný počet lalokov duba plstnatého, podobne ako pri priemernej šírke listovej čepele, vyplynulo, že faktor plochy nemá štatisticky významný vplyv na túto veličinu, a priemerný počet lalokov nadobúdal na založených plochách v celku podobné hodnoty (tab. 11). Z tohto dôvodu neboli zistené rozdiely testované Duncanovým testom.

Tab. 10: Priemerné hodnoty a štatistické charakteristiky počtu lalokov duba plstnatého

Tab. 10: Average values and statistical characteristics of the leaf lobes number

TVP <sup>1</sup>	Rozpätie <sup>2</sup> min – max (cm)	Aritmetický priemer <sup>3</sup> ( $\bar{x}$ )	Smerodajná odchýlka <sup>4</sup> ( $S_x$ )	Variačný koeficient <sup>5</sup> ( $S_x\%$ )	*
1	5 – 13	9	2,2	24,5	
2	7 – 12	9	1,2	13,6	
3	8 – 12	10	1,1	11,1	
4	6 – 14	10	2,0	20,0	
5	6 – 14	10	1,8	18,6	
6	7 – 14	10	1,8	18,2	
Priemer <sup>3</sup>	6 – 14	10	1,7	17,7	

<sup>1</sup>- permanent research plot, <sup>2</sup>- interval, <sup>3</sup>- arithmetic average, <sup>4</sup>- standard deviation, <sup>5</sup>- variation coefficient,

\* – písmena označujú štatisticky významný rozdiel medzi hodnotami, hodnoty bez písmen neboli štatisticky významne rozdielne na hladine  $p = 0,05$ , ANOVA / letters denote significance of difference between values, values without letters are not significantly different at  $p = 0,05$ , ANOVA

Tab. 11: Výsledky analýzy variancie počtu lalokov duba plstnatého

Tab. 11: Results of analysis of variance of the leaf lobes number

Zdroj variability <sup>1</sup>	Suma štvorcov odchýlok <sup>2</sup>	Počet stupňov voľnosti <sup>3</sup>	F	Hladina významnosti <sup>4</sup>
Plocha <sup>5</sup>	20,04	5	1,326	0,255068
Reziduál <sup>6</sup>	525,87	174		

<sup>1</sup>- source of variability, <sup>2</sup>- sum of deviation squares, <sup>3</sup>- degrees of freedom, <sup>4</sup>- significance level, <sup>5</sup>- permanent research plot, <sup>6</sup>- residual

### Diskusia a záver

Problematika premenlivosti drevín sa na Slovensku začala študovať vo väčšom rozsahu až v posledných desaťročiach (PAGAN 2000). Odlišnosti sa môžu prejavovať v celkovom vzhľade jedincov, v rozdieloch v jednotlivých vegetatívnych alebo generatívnych orgánoch, ich rozmeroch, v tvare a členení listov ako aj v iných, voľným okom ľahko postrehnuteľných rozdieloch. Okrem toho aj vo vnútorných fyziologických vlastnostiach, v časovom prejave životných procesov, prítomnosti farbív, odolnosti proti škodlivým anorganickým a organickým činiteľom.

Podľa POŽGAJA a HORVÁTHOVEJ (1986) za najdôležitejšie diferenciačné znaky listov v systematike rodu *Quercus* možno považovať dĺžku a šírku listovej čepele a dĺžku listovej stopky. LUKÁČIK (2006) považuje pri systematickom zatriedovaní duba

plstnatého za dôležité diferenčné znaky najmä dĺžku listovej čepele a laločnatosť listov. Na základe uvedených skutočností sme pri morfológických znakoch listov preto zisťovali premenlivosť dĺžky listu, dĺžky listovej čepele, šírky listovej čepele, dĺžky stopky listu a počtu lalokov. Hodnoty sme porovnávali s výsledkami prác POŽGAJA (1980), POŽGAJA, HORVÁTHOVEJ (1986) a HORVÁTHOVEJ (2005), ktorí sa problematike premenlivosti listov rodu *Quercus* v sekcii *Dascia* na území Slovenska dlhodobo venovali.

Priemerná dĺžka listu bola na založených TVP 9,6 cm, a pohybovala sa od 5,4 cm do 15,5 cm s variačným rozpätím 17,1 %. Priemerná dĺžka listovej čepele bola 8,4 cm, čo je o 1,5 cm viac v porovnaní s hodnotami, ktoré uvádza POŽGAJ (1980), POŽGAJ, HORVÁTHOVÁ (1986), HORVÁTHOVÁ (2005). Miera variability tohto znaku je 17,9 % čo je porovnateľné s uvedenými autormi, priemerné hodnoty sa však nachádzajú v rozpätí 4,6 cm – 13,5 cm, zatiaľ čo HORVÁTHOVÁ (2005) uvádza rozpätie 4,4 – 9,4 cm. Obidva znaky, dĺžka listu a dĺžka listovej čepele, nadobúdali najvyššie hodnoty na lokalite Chalmová (TVP 2) v Strážovských vrchoch a najnižšie hodnoty na lokalite Uhrovec (TVP 4) opäť v Strážovských vrchoch.

Priemerná dĺžka stopky listovej čepele bola podobná, ako uvádza POŽGAJ (1980) a má hodnotu 1,2 cm, s variačným rozpätím 30,0 %. HORVÁTHOVÁ (2005) uvádza priemernú dĺžku listovej stopky 0,9 cm.

Výsledky hodnotenia spomínaných morfológických znakov listov duba plstnatého poukázali na ich veľkú premenlivosť, čo pravdepodobne úzko súvisí s možným výskytom aj ďalších druhov rodu *Quercus* zo sekcie *Dascia*, prípadne ich hybridov v skúmaných oblastiach. Morfológické znaky duba plstnatého, a to nielen pri listoch, sú veľmi premenlivé (MATYÁS 1970, MAGIC 1975, POŽGAJ 1980, POŽGAJ, HORVÁTHOVÁ 1986). Tento taxón patrí k najpremenlivejším z rodu *Quercus*. Jeho variabilita sa vysvetľuje areálom výskytu, vzájomným krížením jednotlivých druhov, nedostatočnými reprodukčnými bariérami a existenciou množstva ekotypov (OSTROLUCKÁ, KRIŽO 1989, BALLIAN et al. 2010). V rámci našich hodnotení, hodnoty jednotlivých znakov sú dôležité najmä z hľadiska determinácii duba plstnatého, ktorý sa často vyskytuje aj s ďalšími druhmi južnej Európy, najmä s dubom jadranským (*Quercus virgiliana*) a dubom balkánskym (*Quercus frainetto*).

Menej premenlivými znakmi boli šírka listovej čepele a počet lalokov na listovej čepeli. Priemerná šírka listovej čepele bola 5,4 cm čo je o 1,0 – 1,2 cm väčšia ako uvádzajú POŽGAJ (1980), POŽGAJ, HORVÁTHOVÁ (1986), HORVÁTHOVÁ (2005). Interval v ktorom sa nachádza 68 % všetkých hodnôt je podľa uvedených autorov 3,5 – 5,9 cm. V našom prípade je tento interval oveľa širší a celkový interval bol až 3,2 cm – 11,2 cm s variačným rozpätím 22,2 %. Hodnota priemerného počtu lalokov na listovej čepeli duba plstnatého bol 10 a kolísal od 6 – 14. HORVÁTHOVÁ (2005) uvádza priemerný počet lalokov 8. Tieto hodnoty mohli byť ovplyvnené jednak čiastočne odlišnými stanovištnými podmienkami jednotlivých lokalít, ale mohlo tu dôjsť aj k vyšpecifikovaniu samostatného ekotypu, keďže vyššie uvedená autorka za zameriavala hlavne na oblasť Malých Karpát, ktoré sú samostatnou geomorfologickou jednotkou. Tejto problematike bude preto potrebné venovať zvýšenú pozornosť v následných plánovaných výskumoch.

Biomorfologická klasifikácia skúmaného druhu bude slúžiť ako základ pre jeho taxonomické hodnotenie. Zároveň bude poskytovať informácie pre vyselektovanie najodolnejších ekotypov, ktoré bude potenciálne možné využiť pri zmiernení dopadu klimatických zmien na lesné ekosystémy pri zalesňovaní nepriaznivých stanovišť.



## Literatúra

- BALLIAN, D., MEMISEVIC, M., BOGUNIC, F., BASIC, N., MARKOVIC, M., KAJBA, D. Morphological variability of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in the region of Croatia and Western Balkans. *Sumarski list*, 2010. 7 – 8: s. 371 – 386.
- BREDA, N., HUC, R., GRANIER, A., DREYER, E. Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. *Annals of Forest Science*, 2006. 63: s. 625-644.
- DAROLA, J. *Projekt na vyhlásenie chráneného územia Čebovská lesostep*. Banská Bystrica: Krajské stredisko štátnej pamiatkovej starostlivosti a ochrany prírody, 1984. 12 s.
- DAVID, S., KALIVODA, H., KALIVODOVÁ, E., ŠTEFFEK, J. a kol. *Xerothermné biotopy Slovenska. Edícia Biosféra. Série vedeckej literatúry, Vol. A3*, Bratislava: Biosféra, 2007. 78 s.
- ĎURIŠ, M., LUKÁČIK, I. Lesostepné spoločenstvá vo vybranej oblasti Krupinskej planiny. *Acta facultatis forestalis*, 2010. 54 (2): s. 71 – 87.
- FUTÁK, J. *Flóra Slovenska*. Bratislava: Slovenská Akadémia vied, 1966: 602 s.
- ČABOUN, V., PRIWITZER, T. Nové výsledky vo výskume a uplatňovaní drevín. In: Barta, M., Ferus, P.; Konôpková, J. (eds.) *Dendrologické dni v Arboréte Mlyňany SAV 2012*, Bratislava: Arborétum Mlyňany SAV, 2012. s. 19-28.
- GIMMI, U., WOHLGEMUTH, T., RIGLING, A., HOFFMANN, C.W., BÜRGI, M. Land-use and climate change effects in forest compositional trajectories in a dry Central-Alpine valley. *Ann. For. Sci.*, 2010. 67: s. 701.
- HORVÁTHOVA, E. *Rozšírenie, ekológia a premenlivosť duba plstnatého (Quercus pubescens Willd.) v Malých Karpatoch*. Diplomová práca. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2005. 63 s.
- HRAŠKO, J., LINKEŠ, V., NĚMĚČEK, J., NOVAK, P., ŠALY, R., ŠURINA B. *Morfologenetický klasifikačný systém ČSFR*. Bratislava: Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy v Bratislave, 1991. 76 s.
- CHYTRÝ, M. Predbežný prehľad spoločenstev teplomilných doubrav jižní Moravy a západného Slovenska. *Zpr. Čes. Bot. Společ.*, 1995: s. 61-68.
- KOLIBÁČOVÁ, S., MADĚRA, P., ÚRADNÍČEK, L. Dřeviny lesostepí a teplomilných doubrav ČR. *Živa*, 1999. 5: s. 204-207.
- LUKÁČIK, I. Dub plstnatý (*Quercus pubescens* Willd.) v Malých Karpatoch. *Stabilizace funkcí lesa v biotopech narušených antropogenní činností*, 2006. s. 39-47.
- LUKÁČIK, I., ĎURIŠ, M. Rastové charakteristiky dominantných druhov drevín v lesostepných spoločenstvách Krupinskej planiny a Strážovských vrchov. In: Saniga, M., Kucbel, S., Jaloviar, P. (eds.): *Pestovanie lesa v strednej Európe*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2012. s. 181-191.
- MAGIC, D. Poznávame ďalšie druhy dubov v našich lesoch, *Les*. 1974. 30: s. 244-252.
- MAGIC, D. Taxonomické poznatky z doterajšieho výskumu dubov v Západných Karpatoch. *Biologia*, 1975. 30. s. 65-74.
- MAGIC, D. 2000: Premenlivosť dubov a niektoré ich nové taxóny na Slovensku. In: Lipták, I., Lukáčik, I. (eds.) *Arboréta – premenlivosť a introdukcia drevín*. Zvolen: Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 2000. s. 27-37.
- MAGLOCKÝ, Š. *Xerothermná vegetácia v Považskom Inovci*. Bratislava: Veda, 1979. 132 s.
- MATYÁS, V. Taxa nova *Quercetum Hungariae*. *Acta Bot. Acad. Hung.*, 1970. 16 (3-4): s. 329-361.

- PAGAN, J. Význam poznatkov o vnútrodruhovej premenlivosti drevín. In: Lipták, I., Lukáčik, I. (eds.) *Arboréta – premenlivosť a introdukcia drevín*. Zvolen: Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 2000. s. 22-26.
- PEÑUELAS, J., BOADA, M. A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain). *Global Change Biology*, 2003. 9: s. 131-140.
- POŽGAJ, J. K voprosu izučenia duba pušistogo (*Quercus pubescens* Willd.) v Slovensku, *Folia dendrologica*, 1985. 12. s. 43-66.
- POŽGAJ, J. Výskum pôvodných druhov rodu *Quercus* L. na Slovensku v posledných desaťročiach. In: Karas, J., Kobliha, J. (eds.) *Perspektivy lesníckej dendrologie a šlechtění lesních dřevin*. Praha: ČZU, 2004. s. 57-75.
- POŽGAJ, J., HORVÁTHOVÁ, J. Variabilita a ekológia druhov rodu *Quercus* L. na Slovensku. *Acta dendrologica*, 1986. s. 1-150.
- RIGLING, A., BIGLER, C., EILMANN, B., FELDMEYER-CHRISTE, E., GIMMI, U., GINZLER, C., GRAF, U., MAYER, P., VACCHIANO, G., WEBER, P., WOHLGEMUTH, T., ZWEIFEL, R., DOBBERTIN, M. Driving factors of a vegetation shift from Scots pine to pubescent oak in dry Alpine forests. *Glob. Chang. Biol.*, 2013. 19:229-240.
- STANOVÁ, V., VALACHOVIČ, M. *Katalóg biotopov Slovenska*. Bratislava: Inštitút aplikovanej ekológie pre Štátnu ochranu prírody SR, 2002. 225 s.
- SCHWARZ, O. *Monographie der Eichen Europas und des Mittelmeergebietes*. Berlin: Dahlem bei Berlin, 1936. 176 s.
- WALTHER, G.R., POST, E., CONVEY, P., MENZEL, A., PARMESAN, C., BEEBEE, T.J., FROMENTIN, J.M., HOEGH-GULDBERG, O., BAIRLEIN, F. Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 2002. 416: s. 389-395.

## Pod'akovanie

Príspevok bol financovaný z prostriedkov projektu VEGA č. 1/0564/19.

## Summary

The structure and species composition of forest steppe communities are the result of long-term development, ways of individual woody plants spreading and the competitive relationships between them. Individual populations also differ considerably due to site conditions (MAGIC 2000). The aim of this work is to assess the intraspecific variability of *Quercus pubescens* Willd. populations, based on the morphological features of the leaves. Six permanent research plots (PRP) (50x50 m) were established on the territory of three orographic units – Krupinská planina, Strážovské vrchy, Považský Inovec.

In evaluating of the morphological features of the leaves, selected quantitative features were measured on each established PRP: leaf length, leaf blade length, leaf blade width, leaf stem length, number of lobes (according to MAGIC 1975, POŽGAJ, HORVÁTHOVÁ 1986). Thirty leaves were taken from the bottom to the middle third of the crown from each tree, from the south side. The intervals and variability of the quantitative features were presented via arithmetic means, standard deviations and coefficients of variation. The values were processed using a one-way analysis of variance (one-way ANOVA, STATSOFT INC. 1999).

The results of the morphological features evaluation pointed to great variability of the leaf length, leaf blade length and leaf stem length. This was probably closely related to the possible occurrence of other *Quercus* species from the *Dascia* section or their hybrids in the studied areas. The width of the leaf blade and the number of lobes on the leaf blade were less variable features.

The biomorphological classification of this species serve as a basis for its taxonomic assessment and it provide information for the selection of the most resistant ecotypes that can potentially be used to mitigate the impact of climate change on forest ecosystems in afforestation of adverse sites.

## SLUNEČNÍ CYKLY JAKO ZÁKLADNÍ FAKTOR OVLIVŇUJÍCÍ PŘIROZENOU DYNAMIKU POROSTŮ BUKU LESNÍHO

### SUNSPOT CYCLES AS THE UNDERLAYING FACTOR OF EUROPEAN BEECH NATURAL DEVELOPMENT

Václav Šimůnek\*, Zdeněk Vacek, Ram Sharma, Stanislav Vacek

Česká zemědělská univerzita, Fakulta lesnická a dřevařská, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchdol, ČR

\*corresponding author: simunek@fld.czu.cz

#### Abstract

*The growth dynamics of beech forests are becoming a key chapter in forest research during the time of global climate change, while the new findings from other disciplines can benefit forest-scientific activity. One of the neglected chapters are the sunspot activity and their influence on the Earth's surface and forest stands, which can be examined by dendrochronological analysis. The subject of this study deals with the growth dynamics and development of European beech stands in the eastern part of Giant Mountains (Krkonosé) in the area of Rýchory. The dendrochronological analysis is the main tool for this study of autochthonous European beech (*Fagus sylvatica* L.) in which the 66 dendrochronological samples were analysed for this work. The samples were taken in naturally developed beech stands that had been without influence of forest management since 1963. The research plots are going true a small natural developmental cycle in which the half of the investigated stands goes true stage of optimum (homogeneous) and other part true stage of destruction/regeneration (heterogeneous). The results show that the sunspot area has a significant effect on the tree-ring growth of the European beech stands, while the homogeneous beech stands are more affected (51%) than heterogeneous beech stands (28%), in which the heterogeneous beech stands has better resistance to frost and air pollution load.*

**Keywords:** sunspot area, tree-ring growth, dendrochronology, Central Europe, *Fagus sylvatica* L.

#### Abstrakt

*Růstová dynamika porostů buku lesního se v době klimatické změny stává klíčovou kapitolou lesnického výzkumu, přičemž nové poznatky i z jiných oborů a disciplín mohou obohatit tuto lesnicko-vědeckou činnost. Jednou z opomíjených kapitol jsou sluneční skvrny a jejich vliv na zemský povrch a lesní porosty, které mohou být zkoumány dendrochronologickou analýzou. Tato práce se zabývá studiem dynamiky a vývoje porostů buku lesního ve východních Krkonoších v oblasti Rýchor. Nástrojem této studie je dendrochronologická analýza autochtonního buku lesního (*Fagus sylvatica* L.). Pro tuto práci bylo použito celkem 66 analyzovaných dendrochronologických vývrtů. Vzorky byly odebrány v homogenních bučinách procházejících přírodním vývojem od roku 1963, přičemž dle malého vývojového cyklu se jedná o stádium optima a v heterogenních bučinách o stádium dorůstání/rozpadu. Výsledky ukazují, že sluneční skvrny mají signifikantní efekt na dynamiku porostů buku lesního a přitom nejlépe reagují homogenní porosty (51 %) a následně heterogenní porosty (28 %), které vykazují lepší odolnost vůči mrazům a imisní zátěži.*

**Klíčová slova:** plocha slunečních skvrn, radiální růst, dendrochronologie, centrální Evropa, *Fagus sylvatica* L.

#### Úvod a problematika

Sluneční skvrna je definována jako tmavá oblast na slunečním povrchu, kde dochází ke smyčkovému výboji magnetického pole z nitra slunce (HATHAWAY, 2015) a je také dokázáno, že periodický výskyt slunečních skvrn má vliv na atmosféru zemského povrchu (ABBOTT et JUHL, 2016). Sluneční cykly probíhají v 11 letých intervalech a jsou přímo propojené s výskytem slunečních skvrn, které ovlivňují aktivitu slunečního ozáření zemské magnetické mřížky (BONEV et al., 2004). Výskyt slunečních skvrn je spojen s vývojem klimatu, což bylo dokázáno již od středověku (CECCHINI et al., 1996; KOCH et al., 2007; PAULSEN et al., 2003). Sluneční skvrny jsou

také propojeny s fluktuacemi ledovců během holocénu (BERGER, 2010; KOCH et al., 2007) a mají také vliv na průtok řeky Amazonky (BAKER et al., 2018), což úzce souvisí s EL Nino efektem (Dong et al., 2018; Perone et al., 2016). Aktivita slunečních skvrn je také spojena s teplotami zemského povrchu (SUNKARA a TIWARI, 2016) a atmosféry ve větších nadmořských výškách (>1500m) – (KUMAR et al., 2018). Mnoho prací dokazuje reálný vliv aktivity slunečních skvrn na srážky a teploty (BAKER et al., 2018; MALINIEMI et al., 2018; MAUAS et al., 2016), což se přímo odráží na změně globálního klimatu, přičemž toto působení může být také rozptýleno dalšími vlivy (GUPTA et al., 2015). Sluneční skvrny též v atmosféře ovlivňují radioisotopy  $^{14}\text{C}$  a  $^{10}\text{Be}$ , které chemickou reakcí oxidují přes  $^{14}\text{N}$  a  $^{16}\text{O}$  na  $\text{CO}_2$ , který může být zpracován rostlinami (BEER et al., 1990; HATHAWAY, 2015; STUIVER et GROOTES, 1980). V souvislosti s přírůstem dřevin byly v minulosti provedeny výzkumy, které potvrzují jak negativní (SUROVY et al., 2010; SUROVÝ et al., 2002), tak i pozitivní spojitost výskytu slunečních skvrn a radiálního růstu (LEAVITT et BANNISTER, 2009; MOSELEY, 1941; WANG a ZHANG, 2011).

U buku lesního dosud nebyla žádná podobná studie publikována a celkově se o spojitosti slunečních skvrn a přírůstu lesních dřevin mnoho neví. Ve spojitosti s bukem lesním jsou známé fakty, že buk lesní je ovlivněn nejvíce průměrnými teplotami a poté srážkami (KRÁLÍČEK et al., 2017; ŠIMŮNEK et al., 2019; SLANAŘ et al., 2017). Dalším důležitým faktem pro tuto práci je větší citlivost buku lesního vůči  $\text{CO}_2$  než je tomu u jiných dřevin, což potvrzují i další výzkumy (CONTE et al., 2018; KOVÁČ et al., 2018). Dále byla naše zkoumaná oblast ovlivněna imisní kalamitou (například oxidy síry a dusíku) v letech 1965 až 1986 (KRÁL et al., 2015; MATĚJKA et al., 2010). Díky přírodním podmínkám a dobře doložitelnému vlivu člověka na lesní dřeviny v námi zkoumané oblasti vznikly přirozeně se vyvíjející bučiny, které prochází všemi stádii malého vývojového cyklu, což zde bylo dobře zdokumentováno (ŠIMŮNEK et al., 2019; VACEK et al., 2010; VACEK et al., 2016).

Tato studie by měla zjistit spojitost mezi slunečními skvrnami, srážkami, teplotami a přírůstem buku lesního v různých stádiích vývoje lesa od založení Krkonošského národního parku v roce 1963. Hlavním cílem této práce je porovnání již zmíněné sluneční aktivity a klimatických faktorů u homogenních (stádium optima) a heterogenních bučin (stádia rozpadu a dorůstání) od roku 1986, kdy autochtonní bukové porosty ve zkoumané oblasti byly ponechány samovolnému vývoji.

## **Materiál a metodika**

### **Charakteristika zájmového území**

Zkoumané území je umístěno ve východních Krkonoších v oblasti zvané Rýchory. Výzkumné plochy se nacházejí v I. zóně ochrany přírody Krkonošského národního parku nedaleko města Žacléř, a to poblíž hranic s Polskem. Do této práce jsou zahrnuté 4 výzkumné plochy: dvě z Boberské stráně a dvě z Dvorského lesa. Výzkumné plochy z Boberské stráně mají homogenní strukturu porostu a procházejí dle malého vývojového cyklu stádium optima. Nachází se v nadmořské výšce od 940 do 960 m na svahu s jihovýchodní expozicí o sklonu  $29^\circ$ . Na těchto plochách je hlavní dřevinou buk lesní (*Fagus Silvatica* L., 97 %), dále je vtroušen javor klen (*Acer pseudoplatanus* L., 2 %) a jeřáb ptačí (*Sorbus aucuparia* L., 1 %). Výzkumné plochy z Dvorského lesa mají opět hlavní dřevinou buk lesní (98 %) a vtroušený smrk ztepilý (*Picea abies* /L./ Karst., 2%) a nachází se ve výšce od 740 do 760 m na svahu s jihovýchodní expozicí o sklonu  $9^\circ$ . Průměrné roční teploty se pohybují okolo  $5,2^\circ\text{C}$  a průměrný roční úhrn srážek je 870 mm. Počet dní vegetačního období se pohybuje okolo 120 dní s průměrnou teplotou  $11,9^\circ\text{C}$  a úhrnem srážek 640 mm.

Fytocenologicky jsou výzkumné plochy řazeny od květnatých bučin (*Fagion* Luquet 1926, podsvazu *Eu-Fagenion* Oberdorfer 1957) po acidofilní horské bučiny (*Luzulo-Fagenion* Oberdorfer 1957). Bukové porosty jsou autochtonního původu a jsou ponechány bez zásahů již od roku 1963. Výzkumné plochy jsou o velikosti 50 × 50 m a byly založeny v roce 1980. Tyto výzkumné plochy byly již dříve hodnoceny v publikacích (ŠIMŮNEK et al., 2019; S. VACEK et al., 2013, 2015). Další charakteristiky jsou uvedeny v Tab. 1.

**Tab. 1:** Základní charakteristiky výzkumných ploch

**Tab. 1:** Basic research plots characteristics

Research plots	Development cycle	GPS	Altitude (m)	Exposure	Tree species	Mean height (m)	Mean thickness (cm)	Forest type	Stand stocking
Výzkumné plochy	Vývojové stádium	Souřadnice	Nadmoř. výška (m)	Expozice	Druh dřeviny	Průměrná výška (m)	Průměrná tloušťka (cm)	Lesní typ	Zakmenění
	Rozpad Dorůstání								
Heterogenní Heterogeneous	Destruction Recovery	50°38'47.5"N 15°52'15.2"E	940 - 960	SE JV	FS PA	24 28	41 45	6Z	0.8
Homogenní Homogeneous	Optimal Optimum	50°40'07.6"N 15°52'58.1"E	740 - 760	NE SV	FS PA SA	27 31 26	28 40 27	6K	0.9

Vysvětlivky/Notes: 6S - *Piceeto-Fagetum mesotrophicum* (Nutrient-medium Spruce-Beech); 6B - *Piceeto-Fagetum eutrophicum* (Nutrient-rich spruce-beech) Dřeviny/Species<sup>2</sup>: FS – *Fagus sylvatica* L., PA – *Picea abies* (L.) Karst., AP – *Acer pseudoplatanus* L.

### Sběr dat

Pro dendrochronologickou analýzu byl na čtyřech výzkumných plochách o velikosti 50×50 m (0,25 ha) proveden sběr dendrochronologických vzorků. Všechny vzorky byly odebrány presslerovým nebozezem kolmo na tečnou rovinu stromu ve směru vrstevnice, tak aby byl odebrán dendrochronologický vývrt ke středu kmene. Pro odběr vzorků byly vybrány zdravé stromy silnější >25 cm ve výčetní výšce. Stromy pro odběr byly vybrány náhodným výběrem pomocí RNG výběru z programu MS Excel. Vývrty byly měřeny mikroskopem Olympus za použití měřického stolu LINTAB (Rinntech, 2010). Ukládání dendrochronologických dat bylo provedeno v softwaru TSAP-Win (Rinntech, 2010) a následné krosdatování bylo provedeno v softwaru Cdendro (Cybis Elektronik & Data, b.r.), tak aby index CC>35, kdy bylo nakonec využito pro zpracování dat 66 vzorků z 82 odebraných vzorků, které splňovaly hranici indexu CC. Více popisných informací struktury porostů a vzorků se nachází v Tab. 1, která byla odvozena ze šetření z roku 2018 technologií Field map (IFER-Monitoring and Mapping Solutions Ltd.). Základní popisné informace dendrochronologie vzorků jsou zobrazeny v Tab. 2.

Klimatická data (srážky a teploty) byla použita z nejbližší meteorologické stanice Českého hydrometeorologického ústavu z Pece pod Sněžkou, která se nachází 14 km od výzkumných ploch v nadmořské výšce 656 m (GPS 50°18'24"N, 16°21'07"E). Rozmezí zkoumaných klimatických dat bylo stanoveno od roku 1976 do 2017. Data o aktivitě slunečních skvrn byla použita z webových stránek NASA/NOAA (National Aeronautics and Space Administration/ National Oceanic Atmospheric Administration) (HATHAWAY et al., 2017).

**Tab. 2:** Základní charakteristiky dendrochronologické analýzy pro vzorky z výzkumných ploch  
**Tab. 2:** Basic dendrochronological characteristics for samples of research plots

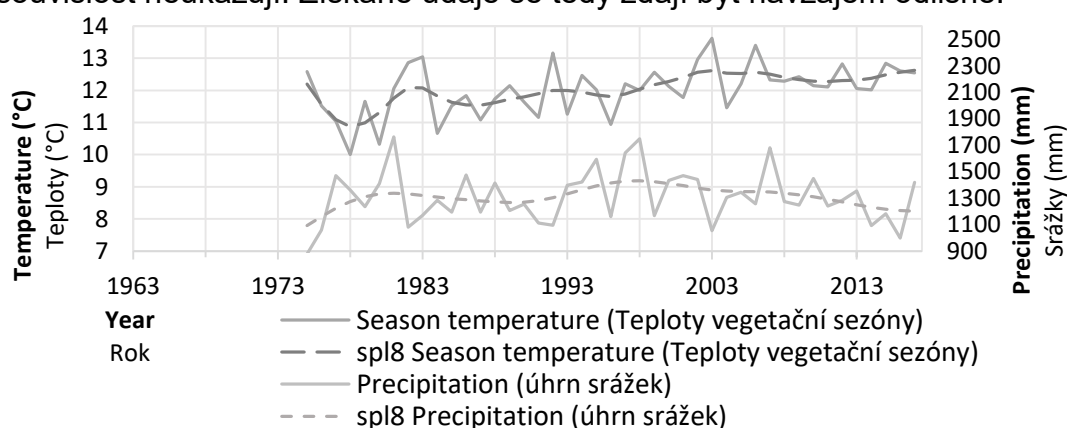
Research plots	Number of cores	Age range of sampled trees (year)	Range height of sampled trees (m)	Mean growth (mm)	Median of tree rings	Standard deviation
Výzkumné plochy	Počet vzorků	Věkové rozpětí vzorků (roky)	Rozpětí vzorkovaných stromů (m)	Průměrný přírůst (mm)	Medián přírůstu	Směrodatná odchylka
Heterogenní Heterogeneous	33	80 - 230	17 - 28	1.02	0.95	0.53
Homogenní Homogeneous	33	150 - 230	23 - 32	1.04	0.97	0.53

### Analýza dat

Zpracování dat dendrochronologické analýzy bylo provedeno v programu R (R Core Team, 2018), za použití balíčku „dplr“ a „signal“, díky kterým byla provedena negativně exponenciální detrendace s proloženým splinem 1/3 věku ke každému vzorku, čímž došlo k odstranění věkového trendu (BUNN a MIKKO, 2018a) se zachováním krátkodobých nízkofrekvenčních klimatických vlivů (SHUMILOV et al., 2011). Následně jednotlivé zdetrendované křivky stromů byly zprůměrovány, tyto křivky byly poté vyhlazeny pomocí vloženého osmiletého „splinu“ pro odstranění krátkodobých vlivů do 8 let (BUNN a MIKKO, 2018b). Pearsonova korelace mezi srážkami, teplotami a slunečními skvrnami byla provedena v programu Statistica 12 (StatSoft, Tulsa, OK, USA).

### Výsledky a diskuze

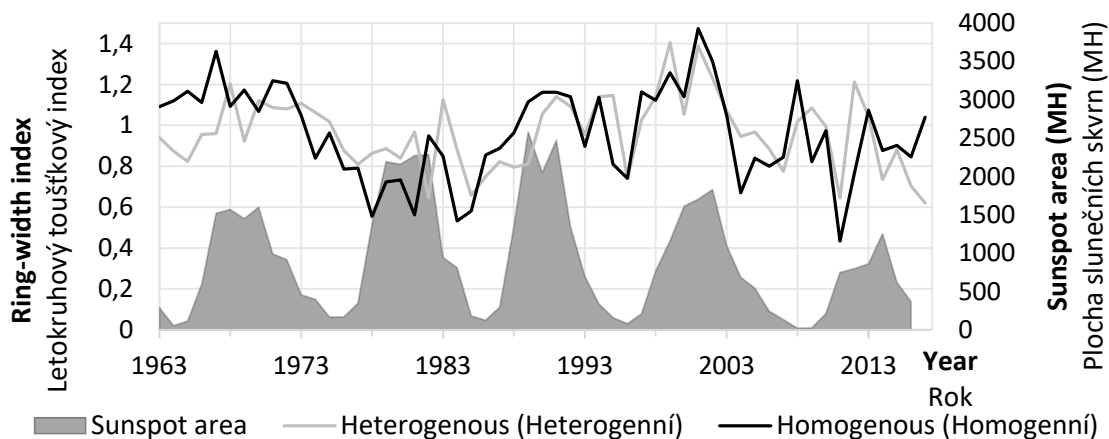
Aktivita slunečních skvrn a klimatické údaje, které jsou spojeny s radiálním růstem buku lesního, nevykazují podobnost, což popisují obrázky 1, 2 a tabulka 3. Klimatické údaje v jiných publikacích, ale dokládají, že aktivita slunečních skvrn je propojena například se srážkami přes monzunové deště (WANG a ZHANG, 2011), ale toto naše údaje vizuálně ani korelačně neprokazují. Aktivita slunečních skvrn může sledované plochy ovlivnit, protože bylo v minulosti dokázáno, že od výšky 1500 m n. m. jsou teploty propojené se slunečními skvrnami (KUMAR et al., 2018), ale opět získaná data tuto souvislost neukazují. Získané údaje se tedy zdají být navzájem odlišné.

**Obr. 1:** Teploty ve vegetační sezóně a celkový úhrn srážek; spl8 – 8 letý spline proložený datovou křivkou

**Fig. 1:** Season temperature and year precipitation; spl8 – 8 year spline added from data curve

Přírůst buku lesního převedený na index bez věkového trendu zobrazují obr. 2 a 3, kde jsou přírůsty heterogenních a homogenních bučin ve vztahu k průměrné roční velikosti slunečních skvrn. Na první pohled je patrné, že sluneční skvrny ovlivňují

heterogenní i homogenní bukové porosty, což doposud nebylo zjištěno, ale v minulosti byly provedeny výzkumy, které potvrzují vztah slunečních skvrn a tloušťkového přírůstu dřevin (MOSELEY, 1941; SINCLAIR et al., 1993), ale doposud nebylo zjištěno, v jakém měřítku jsou sluneční skvrny propojeny s růstem stromů. V posledních letech na našich výzkumných plochách docházelo k pozdním mrazům (rok 2011), které rozptylovaly efekt slunečních skvrn na homogenní i heterogenní porosty, což souhlasí i s literaturou (Králíček et al., 2017). Další důležitý faktor, který ovlivnil lesní porosty, byl vliv imisní kalamity, což je patrné v letech 1975 až 1986, kdy toto bylo zkoumáno v minulosti (MATĚJKA et al., 2010; SLANAŘ et al., 2017; ŠPULÁK a SOUČEK, 2010; S. VACEK et LEPŠ, 2006).



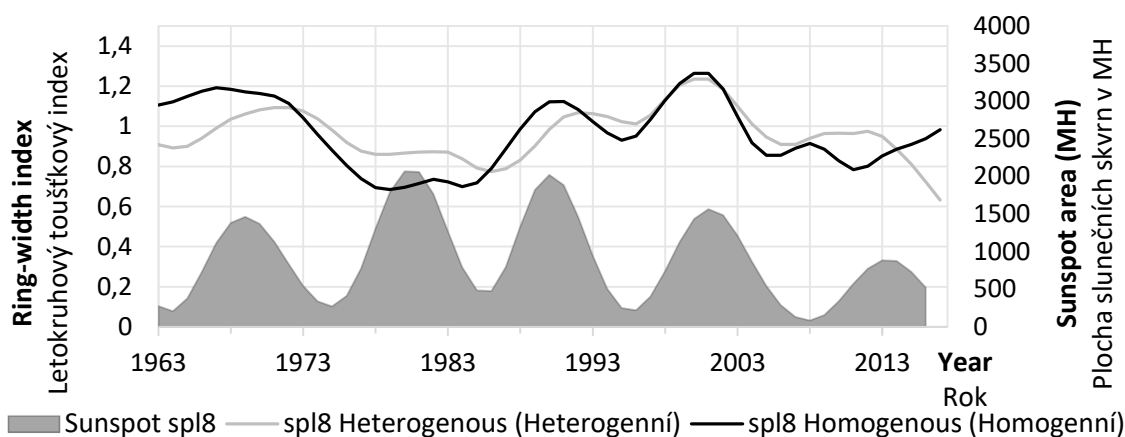
**Obr. 2:** Letokruhový tloušťkový index buku lesního a průměrná roční plocha slunečních skvrn v MH (miliontinach sluneční hemisféry) od roku 1963 do 2017

**Fig. 2:** Ring-width index of European beech and mean year sunspot area in MH (millionth of hemisphere) from 1963 to 2017

V případě odstranění a vyhlazení krátkodobých vlivů osmiletým splinem (obr. 3) vidíme, že přírůstová křivka heterogenních i homogenních bučin více reaguje na 11 letou cyklicitu slunečních skvrn. Krátce od založení Krkonošského národního parku v roce 1963 vidíme, že došlo k velkému negativnímu zásahu do přírůstu buku lesního, ale i v této době si můžeme všimnout malé reakce na sluneční aktivitu, což je patrné v letech od roku 1980 do 1984. Největší reakce na sluneční skvrny je patrná od roku 1986, kdy na zkoumaných plochách přestala úplná činnost člověka a porosty se začaly samovolně vyvíjet. Na sluneční skvrny nejlépe reagují homogenní porosty buku lesního, ale zároveň také trpí největším poškozením mrazy, což potvrzuje i literatura (ŠIMŮNEK et al., 2019). Heterogenní porosty buku reagují na sluneční skvrny s menšími výkyvy a také dochází k menším odezvám na negativní vlivy, což je zřejmé zejména v období imisní kalamity nebo v letech s pozdními mrazy (rok 2011).

Nejmarkantnější číselná ukázka aktivity slunečních skvrn je uvedena v tab. 3, kdy dochází k velkému 20 % rozdílu mezi heterogenními ( $r = 0,51$ ) a homogenními bučinami ( $r = 0,28$ ). V případě dalších klimatických faktorů, které mají vliv na přírůst buku lesního, jsou teploty druhým hlavním činitelem v růstu buku, což bylo zkoumáno také v minulosti (S. VACEK a HEJCMAN, 2012), ale bez zmínek o slunečních skvrnách. V rámci klimatických faktorů více reagují na teploty i srážky heterogenní porosty, ale u homogenních porostů dochází k většímu vlivu slunečních skvrn.





**Obr. 3:** Letokruhový tloušťkový index buku lesního a průměrná roční plocha slunečních skvrn v MH (miliontinách sluneční hemisféry) proložené 8 letým splinem (spl8) od roku 1963 do 2017

**Fig. 3:** Ring-width index of European beech and mean year sunspot area in MH (millionth of hemisphere) splined by 8 year (spl8) from 1963 to 2017

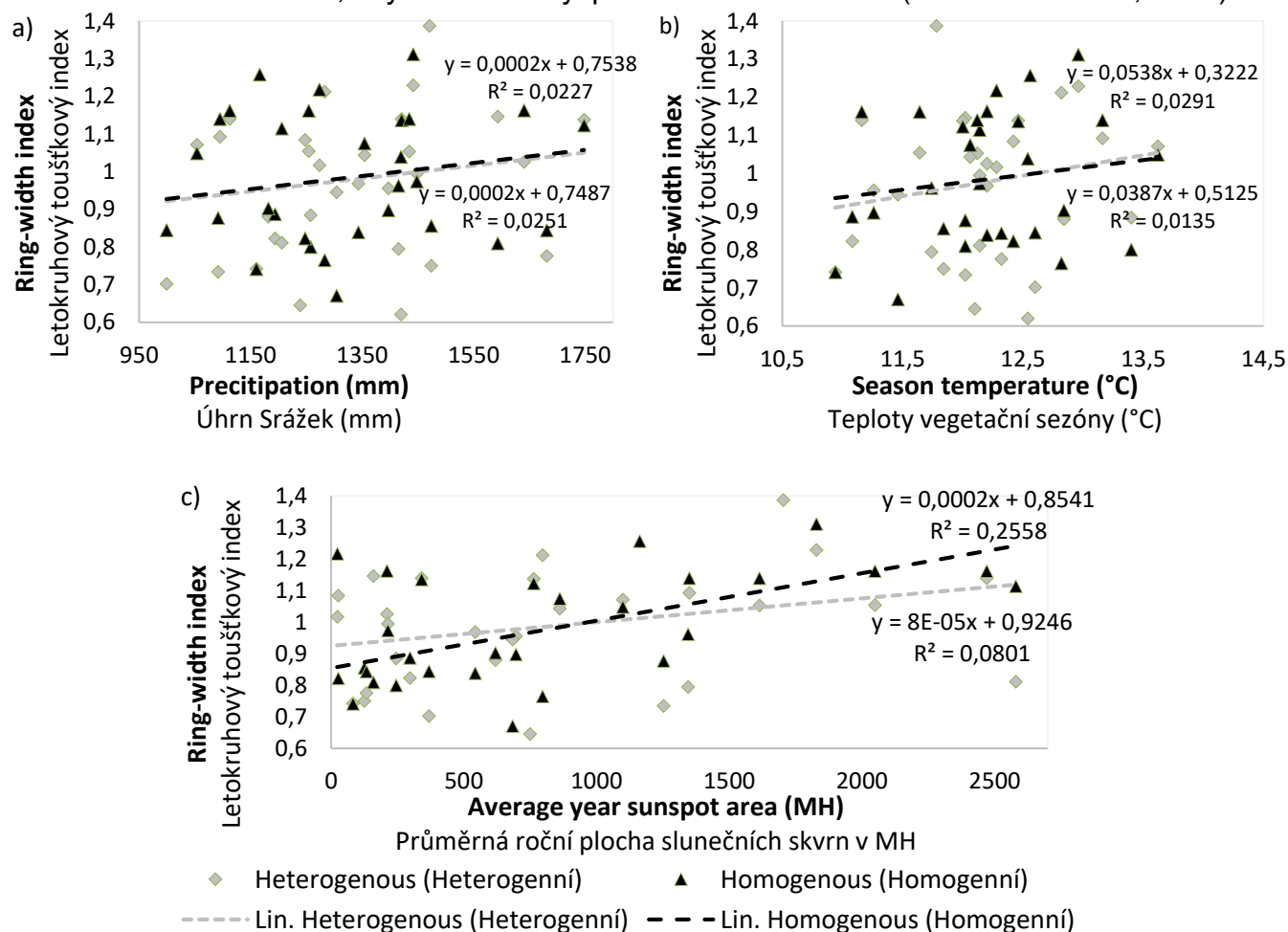
**Tab. 3:** Pearsonova korelační tabulka vztahů mezi tloušťkovým přírůstem, sezónními teplotami, srážkami a slunečními plochami od 1986 do 2017 (signifikantní údaje ( $p < 0.05$ ) jsou tučně)

**Tab. 3:** Pearson's correlation table between tree-ring growth, season temperature, precipitation and sunspot area from 1986 to 2017 (significant values ( $p < 0.05$ ) are in bold)

	Letokruhový tloušťkový index homogenní bučiny <i>Ring-width index homogenous beech stand</i>	Letokruhový tloušťkový index heterogenní bučiny <i>Ring-width index heterogeneous beech stand</i>	Plocha slunečních skvrn <i>Sunspot area</i>	Úhrn srážek <i>Precipitation</i>
Plocha slunečních skvrn <i>Sunspot area</i>	<b>0.51</b>	<b>0.28</b>		
Úhrn srážek <i>Precipitation</i>	<b>0.15</b>	<b>0.16</b>	-0.34	
Teploty <i>Temperature</i>	<b>0.16</b>	<b>0.18</b>	-0.02	-0.11

Klimatické faktory, které ovlivňují růst buku lesního v letech od 1986 do 2017, jsou patrné z obr. 4. Teploty a srážky vykazují podobné hodnoty regresního modelu  $R^2$ , což značí vztah k přírůstu obou hodnot. V případě aktivity slunečních skvrn vidíme odlišnost mezi reakcemi heterogenních a homogenních bučin, kdy více reagují stejnorodé bučiny ve vztahu ke zvyšujícím se slunečním skvrnám. Lineární regresní model slunečních skvrn vůči přírůstu značí rozdílný koeficient determinace, kdy homogenní bučiny ( $R^2 = 0,26$ ) vykazují nižší  $R^2$  než heterogenní bučiny ( $R^2 = 0,08$ ). Celková reakce buku lesního na sluneční skvrny je v této práci přisuzována citlivosti na  $CO_2$ , což bylo dokázáno (KOVÁČ et al., 2018) i ve vztahu ke změně klimatu (REZAIE et al., 2018). Samotné sluneční skvrny ovlivňují radioisotopy  $^{14}C$  a  $^{10}Be$ , které komplikovaným procesem oxidují na  $CO_2$ , který může být zpracován rostlinami (BEER et al., 1990; HATHAWAY, 2015; STUIVER a GROOTES, 1980). Možné využití těchto poznatků se nabízí v kombinaci s vědeckými pracemi z astronomie, kdy v roce 2008 byla publikována práce, která předpokládala snížení aktivity slunečních skvrn (VOLOBUEV a MAKARENKO, 2008) a tato předpověď se také vyplnila, přičemž od té doby došlo shodou okolností ke snížení přírůstu bukových porostů na Rýchorách ve východních Krkonoších. Během nižší sluneční aktivity od roku 2008 došlo také

k jarním mrazům, což může souviset s předpokládaným snížením teplot během slunečního minima, kdy tento fakt byl publikován v minulosti (LOCKWOOD et al., 2017).



**Obr. 4:** Souvislost slunečních skvrn, sezónních teplot a ročního úhrnu srážek na přírůst buku lesního od roku 1986 do 2017 přičemž: a) vliv srážek na letokruhový přírůst; b) vliv teplot na letokruhový přírůst; c) vliv slunečních skvrn na přírůst v MH (miliontínách sluneční hemisféry)

**Fig. 4:** Relationship of sunspot activity, season temperature and year precipitation to ring-width index of European beech from 1986 to 2017 in which: a) Influence of year precipitation to ring-width index; b) Influence of season temperature to ring-width index; c) Influence of mean year sunspot area in MH (millionth of hemisphere)

## Závěr

Aktivity slunečních skvrn významně ovlivňují autochtonní bukové porosty ve východních Krkonoších. Ze získaných dat vyplývá, že vliv slunečních skvrn na bukové porosty je větší, než je tomu u sezónních teplot nebo úhrnu ročních srážek. Homogenní porosty jsou ovlivněny slunečními skvrnami více než heterogenní porosty, ale zároveň porosty, které procházejí stádiem dorůstání a rozpadu jsou méně citlivé na negativní účinky imisní zátěže a jarních mrazů. Tato práce doplňuje nové poznatky o globální změně klimatu, kdy tyto informace mohou být také využity pro budoucí predikování radiálního růstu a produkce lesních dřevin.

## Literatura

ABBOTT, D., JUHL, R. ScienceDirect New historical records and relationships among 14 C production rates, abundance and color of low latitude auroras and sunspot abundance q. *Advances in Space Research*, 2016. 58 (11): s. 2181–2246.

- BAKER, J. C. A., GLOOR, M., BOOM, A., NEILL, D. A., CINTRA, B. B. L., CLERICI, S. J., BRIENEN, R. J. W. Questioning the Influence of Sunspots on Amazon Hydrology: Even a Broken Clock Tells the Right Time Twice a Day. *Geophysical Research Letters*, 2018. 45 (3): s. 1419–1422.
- BEER, J., BLINOV, A., BONANI, G., FINKEL, R. C., HOFMANN, H. J., LEHMANN, B., OESCHGER, H., SIGG, A., SCHWANDER, J., STAFFELBACH, T., STAUFFER, B., SUTER, M., WÖTFLI, W. Use of  $^{10}\text{Be}$  in polar ice to trace the 11-year cycle of solar activity. *Nature*, 1990. 347 (6289): s. 164–166.
- BERGER, W. H. On glacier retreat and drought cycles in the Rocky Mountains of Montana and Canada. *Quaternary International*, 2010 215 (1–2): s. 27–33.
- BONEV, B. P., PENEV, K. M., SELLO, S. Long-Term Solar Variability and the Solar Cycle in the 21st Century. *The Astrophysical Journal*, 2004. 605 (1): s. 81–84.
- BUNN, A., MIKKO, K. Chronology Building in dplR, 2018a .
- BUNN, A., MIKKO, K. Time Series Analysis in dplR, 2018b.
- CECCHINI, S., GALLI, M., NANNI, T., RUGGIERO, L. Solar variability and ring widths in fossil trees. *Nuovo Cimento della Societa Italiana di Fisica C.*, 1996. 19 (4): s. 527–536.
- CONTE, E., LOMBARDI, F., BATTIPAGLIA, G., PALOMBO, C., ALTIERI, S., LA PORTA, N., MARCHETTI, M., TOGNETTI, R. Growth dynamics, climate sensitivity and water use efficiency in pure vs. mixed pine and beech stands in Trentino (Italy). *Forest Ecology and Management*, 2018. 409 (September 2017): s. 707–718.
- Cybis Elektronik & Data, S. (b.r.) Cybis CDendro & CooRecorder. . Saltsjobaden.
- DONG, L., FU, C., LIU, J., ZHANG, P. Combined Effects of Solar Activity and El Niño on Hydrologic Patterns in the Yoshino River Basin, Japan. *Water Resources Management*, 2018. 32 (7): s. 2421–2435.
- GUPTA, R., GIL-ALANA, L. A., YAYA, O. S. Do sunspot numbers cause global temperatures? Evidence from a frequency domain causality test. *Applied Economics*, 2015. 47 (8): s. 798–808.
- HATHAWAY, D. H. 2015. The solar cycle. *Living Reviews in Solar Physics*. 12 (1).
- HATHAWAY, D. H., ADAMS, M., WEBER, R. 2017. Royal Observatory, Greenwich - USAF/NOAA Sunspot Data. . Získáno z <https://solarscience.msfc.nasa.gov/greenwch.shtml>
- KOCH, J., CLAGUE, J. J., OSBORN, G. D. Glacier fluctuations during the past millennium in Garibaldi Provincial Park, southern Coast Mountains, British Columbia. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 2007. 44 (9): s. 1215–1233.
- KOVÁČ, D., VESELOVSKÁ, P., KLEM, K., VEČEŘOVÁ, K., AČ, A., PEÑUELAS, J., URBAN, O. Potential of photochemical reflectance index for indicating photochemistry and light use efficiency in leaves of European beech and Norway spruce trees. *Remote Sensing*, 2018. 10 (8).
- KRÁL, J., VACEK, S., VACEK, Z., PUTALOVÁ, T., BULUŠEK, D., ŠTEFANČÍK, I. Structure, development and health status of spruce forests affected by air pollution in the western Krkonoše Mts. in 1979–2014. *Forestry Journal*, 2015. 61 (3): s. 175–187.
- KRÁLÍČEK, I., VACEK, Z., VACEK, S., REMEŠ, J., BULUŠEK, D., KRÁL, J., ŠTEFANČÍK, I., PUTALOVÁ, T. 2017. Dynamics and structure of mountain autochthonous spruce-beech forests: Impact of hilltop phenomenon, air pollutants and climate. *Dendrobiology*, 2017. 77: s. 119–137.
- KUMAR, V., DHAKA, S. K., PANWAR, V., SINGH, N., RAO, A. S., MALIK, S., YODEN, S. Detection of solar cycle signal in the tropospheric temperature using COSMIC data, 2018. 115 (12).
- LEAVITT, S. W., BANNISTER, B. Dendrochronology and radiocarbon dating: The

- laboratory of tree-ring research connection. *Radiocarbon*, 2009. 51 (1): s. 373–384.
- LOCKWOOD, M., OWENS, M., HAWKINS, E., JONES, G. S., USOSKIN, I. Frost fairs, sunspots and the Little Ice Age. *SOLAR ASTRONOMY: LITTLE ICE AGE. Astronomy & Geophysics*, 2017. 58 (2): s. 217–223.
- MALINIEMI, V., ASIKAINEN, T., MURSULA, K. Decadal variability in the Northern Hemisphere winter circulation: Effects of different solar and terrestrial drivers. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2018. 179 (February): 40–54.
- MATĚJKA, K., VACEK, S., PODRÁZSKÝ, V. Development of forest soils in the Krkonoše Mts. in the period 1980–2009. *Journal of Forest Science*, 2010. 56 (11): s. 485–504.
- MAUAS, P. J. D., BUCCINO, A. P., FLAMENCO, E. 2016. Solar activity forcing of terrestrial hydrological phenomena. *Proceedings of the International Astronomical Union*, 2016. 12 (328): s. 180–191.
- MOSELEY, E. L. Sun-spots and Tree Rings. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 1941. 35: s. 376.
- PAULSEN, D. E., LI, H. C., KU, T. L. Climate variability in central China over the last 1270 years revealed by high-resolution stalagmite records. *Quaternary Science Reviews*, 2003. 22 (5–7): s. 691–701.
- PERONE, A., LOMBARDI, F., MARCHETTI, M., TOGNETTI, R., LASSERRE, B. Evidence of solar activity and El Niño signals in tree rings of *Araucaria araucana* and *A. angustifolia* in South America. *Global and Planetary Change*, 2016. 145: s. 1–10.
- REZAIE, N., D'ANDREA, E., BRÄUNING, A., MATTEUCCI, G., BOMBI, P., LAUTERI, M. Do atmospheric CO<sub>2</sub> concentration increase, climate and forest management affect iWUE of common beech? Evidences from carbon isotope analyses in tree rings. *Tree Physiology*, 2018. 38 (8). s. 1110–1126.
- Rinntech 2010. TSAP-WINTM: Time series analysis and presentation for dendrochronology and related applications. . Heidelberg, Germany. Získáno z <http://www.rinntech.com>
- SHUMILOV, O., TIMONEN, M., KANATJEV, A. G. Palaeovolcanos , Solar activity and pine tree-rings from the Kola Peninsula ( northwestern Russia ) over the last 560 years Palaeovolcanos. *International Journal of Environmental Research*, 2011. 5 (4): s. 855–864.
- ŠIMŮNEK, V., VACEK, Z., VACEK, S., KRÁLÍČEK, I., VANČURA, K. Growth variability of European beech ( *Fagus sylvatica* L. ) natural forests : Dendroclimatic study from Krkonoše National Park. *Central European Forestry Journal*, 2019. 65. s. 3–11.
- SINCLAIR, A. R. E., GOSLINE, J. M., HOLDSWORTH, G., KREBS, C. J., BOUTIN, S., SMITH, J. N. M., BOONSTRA, R., DALE, M. Can the solar cycle and climate synchronize the snowshoe hare cycle in Canada? Evidence from tree rings and ice cores. *The American Naturalist*. 1993, 141 (2): s. 173–198.
- SLANAŘ, J., VACEK, Z., VACEK, S., BULUŠEK, D., CUKOR, J., ŠTEFANČÍK, I., BÍLEK, L., KRL, J. Long-term transformation of submontane spruce-beech forests in the Jizerské hory Mts.: Dynamics of natural regeneration. *Central European Forestry Journal*, 2017. 63 (4): s. 212–224.
- ŠPULÁK, O., SOUČEK, J. The Sibyla model and development of beech forests affected by air pollution. *Central European Journal of Biology*. 2010 5 (3): s. 317–383.
- STUIVER, M., GROOTES, P. M. Trees and the ancient record of heliomagnetic cosmic ray flux modulation, 1980: s. 165–173.
- SUNKARA, S. L., TIWARI, R. K. Wavelet analysis of the singular spectral reconstructed

- time series to study the imprints of solar-ENSO-geomagnetic activity on Indian climate. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 2016. 23 (5): s. 361–374.
- SUROVY, P., DOROTOVIC, I., KARLOVSKY, V., LOUSADA, J. L., RODRIGUES, J. C., RYBANSKY, M., FLEISCHER, P. Impact of solar activity on the growth of pine trees (Pinus cembra: 1610 - 1970; Pinus pinaster: 1910 - 1989). In: *Proceedings of the 20th Slovak National Solar Physics Meeting*, 2010: s.184–188.
- SUROVÝ, P., RIBEIRO, N. A., EVORA, U. DE, PEREIRA, J. S., SUPERIOR, I., LISBON, D. A. Influence of solar activity cycles on cork growth – a hypothesis. 2002: s. 67–72.
- Team R Core 2018. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria.
- VACEK, S., BÍLEK, L., SCHWARZ, O., HEJCMANOVÁ, P., MIKESKA, M. Effect of Air Pollution on the Health Status of Spruce Stands Effect of Air Pollution on the Health Status of Spruce Stands. *Mountain Research and Development*, 2013. 33 (1): s. 40–50.
- VACEK, S., HEJCMAN, M. Natural layering, foliation, fertility and plant species composition of a Fagus sylvatica stand above the alpine timberline in the Giant (Krkonoše) Mts., Czech Republic. *European Journal of Forest Research*, 2012. 131 (3): s. 799–810.
- VACEK, S., HŮNOVÁ, I., VACEK, Z., HEJCMANOVÁ, P., PODRÁZSKÝ, V., KRÁL, J., PUTALOVÁ, T., MOSER, W. K. Effects of air pollution and climatic factors on Norway spruce forests in the Orlické hory Mts. (Czech Republic), 1979–2014. *European Journal of Forest Research*, 2015. 134 (6): s. 1127–1142.
- VACEK, S., LEPŠ, J. Spatial dynamics of forest decline: the role of neighbouring trees. *Journal of Vegetation Science*, 2006- 7 (6): s. 789–798.
- VACEK, S., NOSKOVÁ, I., BÍLEK, L., VACEK, Z., SCHWARZ, O. Regeneration of forest stands on permanent research plots in the Krkonoše Mts . *Journal of Forest Science*, 2010. 56 (11): s. 541–554.
- VACEK, Z., VACEK, S., PODRÁZSKÝ, V., KRÁL, J., BULUŠEK, D., PUTALOVÁ, T., BALÁŠ, M., KALOUSKOVÁ, I., SCHWARZ, O. Structural diversity and production of alder stands on former agricultural land at high altitudes. *Dendrobiology*, 2016. 75: s. 31–44.
- VOLOBUEV, D. M., MAKARENKO, N. G. Forecast of the decadal average sunspot number. *Solar Physics*, 2008. 249 (1): s. 121–133.
- WANG, X., ZHANG, Q. BIN. Evidence of solar signals in tree rings of Smith fir from Sygera Mountain in southeast Tibet. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 201173 (13): s. 1959–1966.

## Poděkování

České zemědělské univerzity v Praze, Fakulty lesnické a dřevařské (IGA č. A19/22).

## Summary

This study describes the influence of sunspot area and climatic factors (temperatures, precipitation) on the tree-ring growth of naturally developed beech stands in the eastern part of Giant Mountains (Krkonoše). The researched area under is located in the first protection zone of Krkonoše National Park, which was founded in 1963 in which the air pollution load started affecting the forests in the area which culminated in the years 1975 to 1985. The beech stands were left without forest management, after the air pollution load which lead to natural development of European beech stands in the area from 1986 until nowadays. This study used dendrochronological analysis from 4 research plots of European beech stands in which the 66 samples from the level and above-ground trees were used. Every

measured tree of the dendrochronological sample from analysis had index larger than  $CC > 35$ . This study focused on two naturally developed stages of European beech forests. Homogeneous beech stands at the stage of optima and heterogeneous beech stands at the stage of regeneration and destruction. The results show that climatic data are not similar to each other, which indicating that there is no link between climatic data and sunspot area. All beech stands correlate significantly to the sunspot area and then to the season temperature and subsequently to precipitation. The homogenous beech stands significantly correlate with sunspots up to 51% between years 1986 and 2017. The season temperature and precipitation show less significant correlation on homogeneous beech stands. However, the homogenous stands are more influenced by negative effects such as spring frosts and air pollution load. The heterogeneous beech stands indicate the less response to spring frosts and air pollution calamity, and also the less significantly correlate with sunspot area activity between 1986 and 2017, however the sunspot area (28%) shows a higher correlation than season temperature (18%) and precipitation (16%) on the tree-ring growth. The global climate change is closely connected to sunspot area activity and it belongs to the one of the most important factors that indicate the influence of the sun to the earth's surface. This study can be helpful in research of forestry, forest ecology and it can even support in astronomy studies.

## FUNGUJE LÍPA SRDČITÁ JAKO POMOČNÁ A MELIORAČNÍ DŘEVINA PŘI PĚSTOVÁNÍ JEDLE BĚLOKORÉ?

### DOES SMALL-LEAVED LINDEN NURSE SILVER FIR AND IMPROVE SOIL?

Jan Bartoš, Dušan Kacálek\*, Jan Leugner

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Výzkumná stanice Opočno, Na Olivě 550, 517 73 Opočno, ČR

\*corresponding author: kacalek@vulhmop.cz

#### Abstract

*The study dealt with influence of small-leaved linden on line-mixed silver fir performance and also soil improving capability of linden in such mixture on former agricultural soil. To renew silver fir artificially is a more complex issue compared to regeneration of other tree species. This study dealt with artificial line-mixing of silver fir with small-leaved linden. The objective of the experiment was to establish the mixture showing both production capability and soil-improving function. In 17-year-old stand, the fir affected the slenderness ratio negatively. First thinning of linden had to be conducted earlier so as to mitigate mechanical damage to fir. Forest floor higher in phosphorus and potassium were found under pure fir compared to mixture. Topsoil showed greater pools of all four nutrients under mixed linden with fir.*

**Keywords:** *silver fir, small-leaved linden, nursing tree species, performance, soil-improving function*

#### Abstrakt

*Studie řeší vliv příměsí lípy srdčité na růst jedle bělokoré a vliv opadu lípy na biomelioraci zalesněné půdy. Umělá obnova jedle bělokoré je ve srovnání s ostatními dřevinami relativně náročná. Umělá obnovy jedle, vysázené v řadovém smíšení s lípou byl tématem této studie. Cílem bylo založit produkčně stabilní porost jedle s příměsí lípy, který má zároveň meliorační schopnosti. Po 17 letech růstu přimíšená lípa negativně ovlivnila štíhlostní kvocient. První výchovný zásah s cílem redukovat rychleji rostoucí lípu je třeba provést dříve, než začne ošlehávat jedlí. Zásoby hlavních živin ve vrstvě opadu pod jednotlivými variantami ukázaly trend vyšší akumulace fosforu a částečně také draslíku pod nesmíšenou jedlí ve srovnání se směsí jedle a lípy. Ve svrchním minerálním horizontu A je zřejmý trend vyšší zásoby všech čtyřech prvků v půdě pod směsí lípy a jedle.*

**Klíčová slova:** *jedle bělokorá, lípa srdčitá, přípravná dřevina, prosperita, meliorační funkce*

#### Úvod

Příspěvek se zabývá vlivem příměsí lípy srdčité na růst jedle bělokoré a meliorační funkcí této směsi ve srovnání s nesmíšenou jedlí. Zastoupení jedle v současné druhové skladbě lesů ČR je významně nižší oproti přirozené i cílové druhové skladbě. Jedním z důvodů tohoto stavu, je relativně větší náročnost dopěstování jedle z umělé obnovy ve srovnání s ostatními dřevinami. Například v prvních letech po výsadbě je jedle náchylná na poškození pozdním mrazem a až do stádia tyčovin je velmi atraktivní pro spárkatou zvěř. Od směsí lesních dřevin můžeme, nicméně, očekávat jak vzájemné podpůrné, tak kompetiční efekty na produkci a lesní prostředí (viz např. SIMARD et al. 2006, LU et al. 2018). Jedle je v mládí výrazně tolerantní k zástínu a zároveň obtížněji snáší výsadbu na nezastíněné holiny. U lípy jsme předpokládali srovnatelné růstové parametry s jedlí a tím i převahu pomocné funkce její příměsí nad kompetičním vlivem. Kromě toho, na základě zahraničních i domácích zkušeností je lípa hodnocena jako dřevina s vynikající meliorační funkcí v porovnání s ostatními domácími dřevinami (NEYRINCK et al. 2000, AUGUSTO et al. 2002, PODRÁZSKÝ et al. 2002, HAGEN-THORN et al. 2004, TESAŘ et al. 2011, DUŠEK et al. 2011). Naproti tomu jedle, ačkoliv je novelizovanou vyhláškou č. 298/2018 Sb. (dříve č. 83/1996 Sb.) řazena také mezi meliorační dřeviny, neukazuje příliš odlišné humusové a půdní charakteristiky od smrku ztepilého (TŘEŠTÍK, PODRÁZSKÝ 2017).

Cílem příspěvku bylo posoudit vliv řadové příměsi lípy srdčité na růstové parametry jedle bělokoré po výsadbě. Druhým dílčím cílem bylo zjištění vliv opadu lípy na vlastnosti nadložního humusu a svrchní minerální půdy.

### **Materiál a metodika**

Prosperita jedle v řadovém smíšení s lípou byla sledována na dvou lokalitách. Starší výsadbový experiment na výzkumné ploše (VP) „Bystré“ se nachází v PLO 26 – Předhoří Orlických hor na SLT 4S. VP vznikla v roce 2001 v katastru obce Bystré v Orlických horách zalesněním svažité louky. Lokalita má severozápadní expozici s nadmořskou výškou 510 m n. m. Geologické podloží je tvořeno fylity a zelenými břidlicemi novoměstské série orlicko-kladské klenby (OPLETAL, DOMEČKA 1983). VP Bystré je ze třech stran obklopena lesními porosty, zčásti založenými v 60. letech 20. století na zemědělské půdě a zčásti staršími lesy ve věku 80 – 100 let. Před výsadbou byla na celé ploše provedena příprava půdy naoráním asi 35 cm širokých pásů zemědělským pluhem. Stržením ca 5 cm drnu se snížila pracnost ručního kopání jamek (35 × 35 cm) sekeromotykou. V tomto experimentu byla lípa vysázena v řadovém smíšení s jedlí, aby jí poskytovala bočním krytem korun ochranu před plným osluněním, případně i mrazovými škodami. Nesmíšená jedle byla vysázena na jaře 2001 na dvou ploškách o celkové výměře 2 arů v hektarovém počtu 4 tisíce jedinců ve čtvercovém sponu 1,6 m. Pravidelně se střídající řady jedle a lípy byly vysázeny o rok později (jaro 2002) na plošku o velikosti 2,2 arů v průměrném hektarovém počtu 6 tisíc jedinců (výsadbový spon ca 1,2 × 1,4 m). V roce 2018 bylo na VP Bystré při prvním výchovném zásahu odebráno celkem 28 vzorníků jedle a 24 vzorníků lípy. U vzorníků byla po metrových sekcích změřena tloušťka kmene pro výpočet objemu. Výchovný zásah provedený ve smíšené variantě cílil na odstranění předrůstavých, jedli omezujících jedinců lípy. Průměrná výška lip odstraněných výchovným zásahem činila 840 cm a jejich kruhová výčetní základna dosahovala 4,7 m<sup>2</sup>/ha.

Na podzim v roce 2018 byly odebrány vzorky opadu a svrchního minerálního horizontu na VP Bystré pod jedlí v řadovém smíšení s lípou (varianta JD v LP) a pod nesmíšenou jedlí (varianta JD). Vzorky pokryvného humusu (horizonty L, F, H) byly odebírány jako směsný vzorek pomocí kovového rámečku 25 × 25 cm za účelem kvantifikace. Z každé varianty bylo odebráno vždy 5 vzorků.

Druhou zájmovou lokalitou je VP „Ošerov“ v PLO – 25 Orlické hory. Experimentální výsadba je vzdálena vzdušnou čarou ca 7 km od VP Bystré. Nachází se v katastrálním území Deštné v Orlických horách v lokalitě „Deštnská stráž“. Stanovištně náleží do SLT 6K. Průměrná nadmořská výška VP činí 780 m. Od roku 2018 je zde sledována umělá obnova nesmíšené jedle v porovnání s odrůstáním řadové směsi jedle a lípy (výsadba v roce 2012). V kultuře byly očíslováni jedinci na dvou arových ploškách; u každého byla změřena výčetní tloušťka a výška. K výsadbě na VP byl použit standardní prostokořenný sadební materiál.

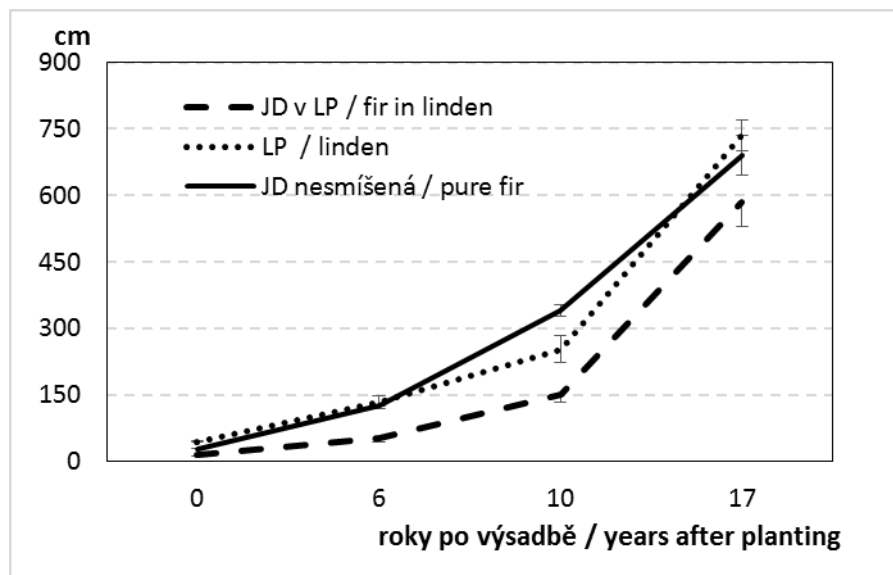
Na jednotlivých VP byla měřena celková výška, výčetní tloušťka a vypočítána kruhová základna u obou dřevin. Vzhledem k tomu, že design výsadeb nezahrnoval opakování, k vyhodnocení růstových charakteristik byly využity prostředky popisné statistiky, jako jsou aritmetický průměr a konfidenční interval vypočítané v MS Excel. Rozdíly výčetní kruhové základny jsou prezentovány jako suma v metrech čtverečních za variantu či dílčí část varianty včetně vytěžených jedinců lípy. Také odběry vzorků humusu a svrchní minerální půdy byly realizovány na páru nereplikovaných ploch. Koncentrace fosforu, draslíku, vápníku a hořčíku byly přepočítány na zásoby na metr čtvereční.



## Výsledky

### Prosperita výsadeb na VP Bystré

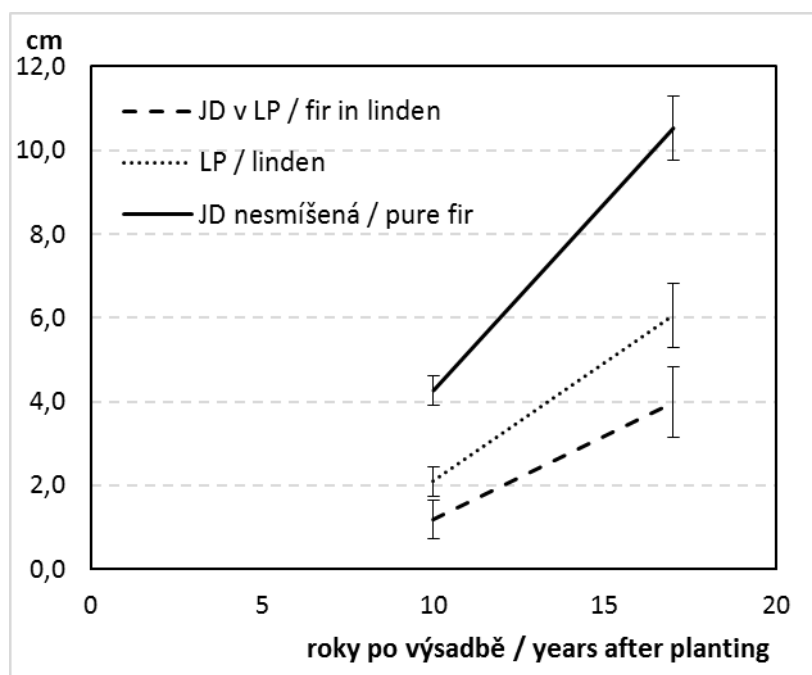
Čistá jedle byla po celou dobu sledování vyšší ve srovnání s jedlí ve smíšené variantě. Lípa ve směsi byla vyšší než její jedlová příměs. Patnáct let po výsadbě začala výška lípy předstihovat také nesmíšenou jedli (obr. 1).



**Obr. 1:** Porovnání výškového růstu (osa y) nesmíšené jedle (JD) s jedlí v řadovém smíšení s lípou na VP Bystré; jedle ve směsi s lípou byla nižší po celou dobu sledování než nesmíšená jedle; chybové úsečky znázorňují intervaly spolehlivosti 95%

**Fig. 1:** Comparison of pure fir (JD nesmíšená) with line-mixed fir (JD v LP) height growth (y axis) at the Bystré study site; line-mixed fir showed lower height compared to pure fir over the investigated period; error bars denote 95% confidence intervals

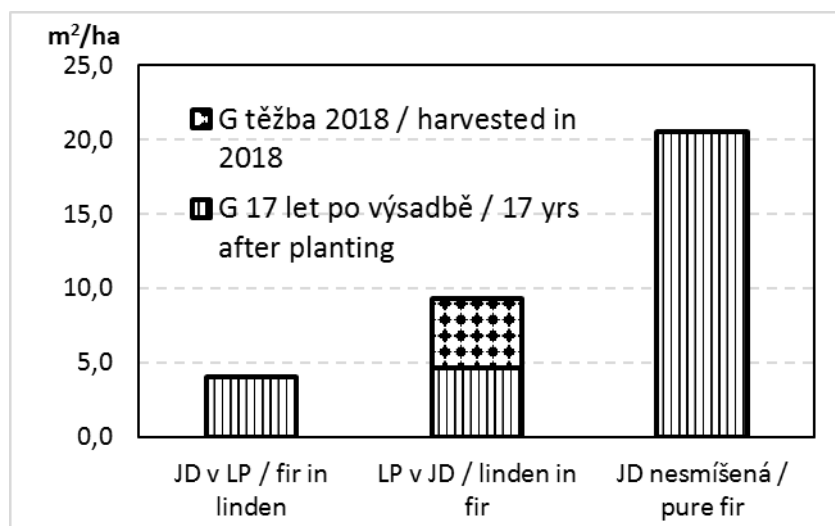
Tloušťkový růst jedle byl příměsí lípy limitován ještě výrazněji. Jedle ve směsi byla mezi 10. a 17. rokem věku tenčí než s ní smíšená lípa a čistá jedle (obr. 2). Proto byl průměrný štíhlostní kvocient dvaceti nejvyšších jedinců jedle příznivější u nesmíšené jedle (h/d 86), zatímco jedle ve směsi byly přeštíhlené (h/d 99). To se potvrdilo během zimního období 2018/19, kdy došlo k vyvrácení nebo zlomení několika jedlí smíšených řadově s lípou v důsledku působení mokrého sněhu a větru.



**Obr. 2:** Porovnání tloušťkového růstu (osa y) čisté jedle (JD nesmíšená) s jedlí v řadovém smíšení s lípou (JD v LP) na VP Bystré; příměs lípy (LP) růstově omezovala jedli (JD v LP); chybové úsečky znázorňují intervaly spolehlivosti 95%

**Fig. 2:** Comparison of pure fir (JD nesmíšená) with line-mixed fir (JD v LP) diameter growth (y axis) at the Bystré study site; linden (LP) over-competed fir (JD v LP); error bars denote 95% confidence intervals

Nesmíšená jedle vykázala po 17 letech vývoje porostu nejvyšší kruhovou výčetní základnu (G) 20,5 m<sup>2</sup>/ha. Naopak řadová příměs lípy jedli natolik omezovala, že hodnota G celé směsi dosáhla pouze 13,4 m<sup>2</sup> a u samotné přimíšené jedle jsme konstatovali čtyřikrát nižší hodnotu (4,7 m<sup>2</sup>) než u nesmíšené jedle (obr. 3).



**Obr. 3:** Výčetní kruhová základna (osa y) JD smíšené s LP a kontrolní nesmíšené varianty JD po 17 letech na VP Bystré; kostkovaný sloupec znázorňuje provedení výchovný zásah

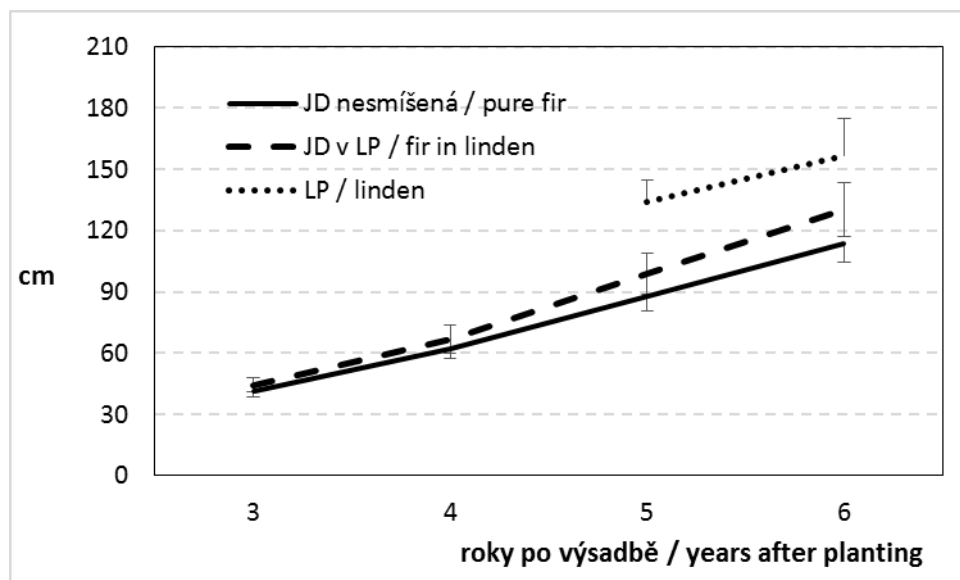
**Fig. 3:** Basal area (y axis) of 17-year-old treatments; captions: JD v LP – fir mixed; LP v JD – linden mixed; checkered top of bar – removed linden G after thinning in 2018; JD nesmíšená – pure fir;

Z výsledků analýz odebraných vzorníků jedle a lípy vyplynulo, že po 17 letech tvořila zásoba jedle v řadovém smíšení s lípou 17,7 m<sup>3</sup>/ha. Přimíšená lípa

vyprodukovala 47,4 m<sup>3</sup>/ha. Nesmíšená JD přitom akumulovala za stejný časový úsek zásobu 67,0 m<sup>3</sup>/ha, což byla srovnatelná hodnota se sdruženou zásobou směsi lípy a jedle činící 65,1 m<sup>3</sup>/ha.

#### **Prosperita výsadeb na VP Ošerov**

Z prvních výsledků vyplývá, že po 6 letech růstu předstihuje lípa výškou jak jedlí ve směsi, tak i jedlí nesmíšenou. V tomto případě se jeví, že příměs lípy mírně navýšila průměrnou výšku jedle (obr. 4).

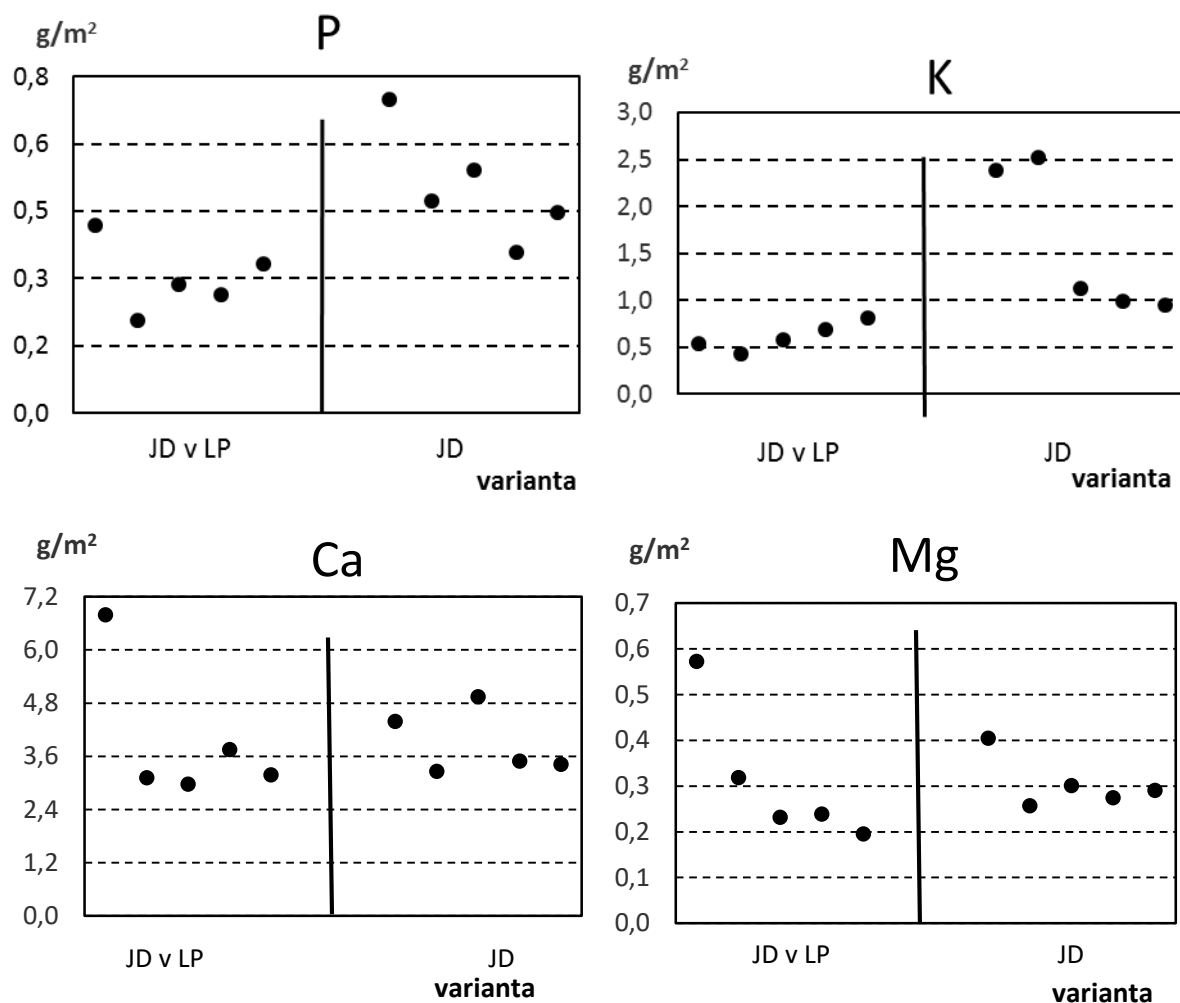


**Obr. 4:** Porovnání průměrné výšky (osa y) nesmíšené jedle (JD) s jedlí v řadovém smíšení s lípou (JD v LP) na VP Ošerov šest let po výsadbě; příměs lípy mírně navýšila výšku jedle ve směsi; chybové úsečky znázorňují interval spolehlivosti 95%

**Fig. 4:** Mean height growth (y axis) of pure fir (JD nesmíšená), line-mixed fir (JD v LP) and linden (LP) at Ošerov study site six years after planting; the highest linden slightly increased mean height of the line-mixed fir; error bars denote 95% confidence intervals

#### **Meliorační funkce příměsi lípy na VP Bystré**

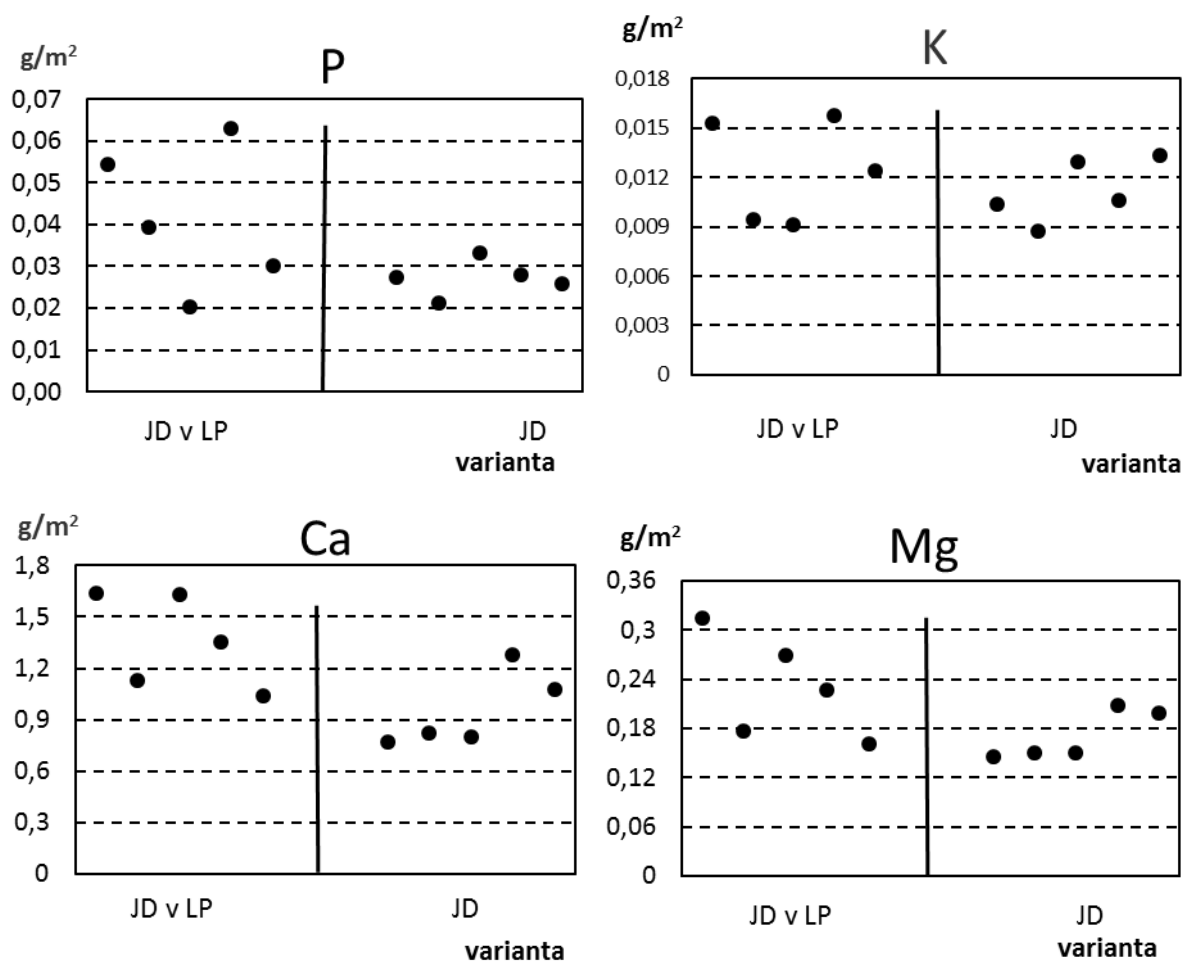
Zásoby hlavních živin ve vrstvě opadu pod jednotlivými variantami ukázaly trend vyšší akumulace fosforu a částečně také draslíku pod nesmíšenou jedlí ve srovnání se směsí jedle a lípy. Pokud jde o vápník a hořčík, pouze jeden vzorek opadu ukazoval na zvýšenou zásobu obou živin pod smíšenou variantou (obr. 5).



**Obr. 5:** Porovnání chemických rozborů L horizontu jedle smíšené s lípou (JD v LP) a nesmíšené jedle (JD) na VP Bystré 17 let po výsadbě

**Fig. 5:** Nutrient pools in litter layers of fir with linden (JD v LP) and pure fir (JD) at Bystré study site 17 years after planting

Podle analýz svrchního minerálního horizontu A na VP Bystré 17 let po výsadbě je zřejmý trend vyšší zásoby všech čtyřech prvků v půdě pod směsí lípy a jedle (obr. 6).



**Obr. 6:** Porovnání chemických rozborů A horizontu JD smíšené s LP a nesmíšené JD na VP Bystré 17 let po výsadbě

**Fig. 6:** Properties of topsoil of fir with linden (JD v LP) and pure fir (JD) at Bystré study site

## Diskuse

Rozdílná růstová dynamika jedle a lípy, která byla zjištěna na obou výzkumných plochách vede k nutnosti včasných výchovných zásahů pro udržení růstového prostoru pro pomaleji rostoucí (cílovou) dřevinu. Jemější formy smíšení lesních dřevin vyžadují větší nároky na výchovné zásahy obecně. To se potvrdilo i na VP Bystré, kde došlo v důsledku opožděného výchovného zásahu v předrůstající lípě ke zpomalení růstu cílové dřeviny jedle. To potvrzuje i nepříznivější vývoj štíhlostíniho kvocientu v této variantě a evidované škody na jedincích jedle po odstranění konkurující lípy. Naopak příznivý vliv přimíšené lípy na výškový přírůst jedle v prvních letech po výsadbě se ukazuje na všech VP v lokalitě „Deštenská stráž“. Zde však lípa zatím mechanicky neovlivňuje terminální výhony jedle a ani zásadním způsobem neomezuje růstový prostor jedlí. Zde tedy převládají pozitivní efekty smíšení těchto dvou dřevin. Pro další pozitivní vliv je proto nutné včas provést první výchovný zásah. To znamená dříve než rychleji odrůstající lípa přímo omezuje růst jedle ve směsi,

Pozitivní působení lípy na vlastnosti humusu a půdy spočívalo zejména v návratu opadu bohatšího bazickými živinami tj. vápníkem a hořčíkem. K podobným závěrům dospěli také NEYRINCK et al. (2000), AUGUSTO et al. (2002), HAGEN-THORN et al. (2004), DUŠEK et al. (2011), PODRÁZSKÝ et al. (2002) a HOBBIIE et al. (2006).

Příznivější humusové charakteristiky jsou výsledkem spolupůsobení půdní bioty jako např. žížal (NEYRINCK et al. 2000, HOBBIÉ et al. 2006).

AUGUSTO et al. (2002) popisuje vyšší vliv na půdu, pokud jde o index nasycení pod listnáči v porovnání s nižší hodnotou u jehličnanů (borovice, smrk). RAULUND - RASMUSSEN A VEJRE (1995) poukazují na více kyselý opad těchto druhů ve srovnání s listnáči. To se týká také listnatých dřevin a jedlovce východního ve studii FINZI et al. (1998). Tyto studie upozorňují na důležitost opadavých stromů, což naznačují i výsledky v této studii. HAGEN-THORN et al. (2004) zjistili, že nejlepší meliorační dřevinou, zvyšující pH a koncentraci vápníku v půdě je lípa. Také naše výsledky potvrzují, že je lípa jednou z nejlepších melioračních dřevin.

### Závěry

Využití řadové směsi jedle s lípou na VP Bystré se negativně projevilo nižší průměrnou výškou jedlí ve směsi a přeštíhlením jedle.

Lípa potvrdila schopnost vyprodukovat ve směsi větší množství biomasy než přimíšená jedle. Tuto biomasu je nutné částečně odstranit při včasném prvním výchovném zásahu uvolňujícím jedli od přerůstajících lip tak, aby nebyly nadále omezovány v růstu.

Pozitivní vliv lípy na odrůstání jedle byl zjištěn na lokalitě Deštenská stráž, kde byl zaznamenán zvýšený přírůst jedle ve směsi ve srovnání s nesmíšenou variantou.

Lípa ve směsi s jedlí měla meliorační účinky na svrchní minerální půdu VP Bystré.

### Literatura

- AUGUSTO, L., RANGER, J., BINKLEY, D., ROTHE, A. Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. *Annals of Forest Science*, 2002. 59: s. 233-253.
- DUŠEK, D., NOVÁK, J., SLODIČÁK, M., KACÁLEK, D. Srovnání charakteristik nadložního humusu pod porosty smrku a lípy na bývalé zemědělské půdě. In: *Proceedings of Central European Silviculture. Opočno 28. – 29. 6. 2011*. Ed. D. Kacálek et al. Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti – Výzkumná stanice Opočno, 2011. s. 203-208.
- FINZI, A. C., CANHAM, CH. D., VAN BREEMEN, N. Canopy tree-soil interactions within temperate forests: species effects on pH and cations. *Ecological Applications*, 1998. 8: s. 447-454.
- HAGEN-THORN, A., CALLESEN, I., ARMOLAITIS, K., NIHLGÅRD, B. The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land. *Forest Ecology and Management*, 2004.195: s. 373-384.
- LU, H., MOHREN, G.M.J., DEL RÍO, M., SCHELHAAS, M.-J., BOUWMAN, M., STERCK, F.J. Species Mixing Effects on Forest Productivity: A Case Study at Stand-, Species- and Tree-Level in the Netherlands. *Forests*, 2018, 9, 713; doi:10.3390/f9110713
- NEYRINCK, J., MIRTICHEVA, S., SIOEN, G., LUST, N. Impact of *Tilia platyphyllos* Scop., *Fraxinus excelsior* L., *Acer pseudoplatanus* L., *Quercus robur* L. and *Fagus sylvatica* L. on earthworm biomass and physico-chemical properties of a loamy topsoil. *Forest Ecology and Management*, 2000.133, (3): s. 275-286.
- OPLETAL M., DOMEČKA K. (eds.). Synoptic geological map of the Orlické hory Mts. Geological Survey 1983, Prague.
- PODRÁZSKÝ, V., REMEŠ, J., KARNET, P. Hodnotová produkce a půdotvorná funkce třešně ptačí. *Lesnická práce*, 2002. 81: s. 255-257.

- RAULUND-RASMUSSEN, K., VEJRE, H. Effect of tree species and soil properties on nutrient immobilization in the forest floor. *Plant and Soil*, 1995. 168-169: s. 345-352.
- SIMARD, S. W., RADOSEVICH, S. R., SACHS, D. L., HAGERMAN, S. M. Evidence for competition and facilitation trade-offs: effects of Sitka alder density on pine regeneration and soil productivity. *Canadian Journal of Forest Research*, 2006. 36: s. 1286-1298.
- TESAŘ, V., BALCAR, V., LOCHMAN, V., NEHYBA, J., *Přestavba lesa zasaženého imisemi na Trutnovsku*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2011. 176 s.
- TŘEŠTÍK M., PODRÁZSKÝ V., Meliorační funkce jedle bělokoré (*Abies alba* Mill.): případová studie. *Zprávy lesnického výzkumu*, 2017. 62, (3): s. 182-188.
- Vyhláška č. 289/2018 Sb. „o zpracování oblastních plánů rozvoje lesů a o vymezení hospodářských souborů“. Příloha č. 2.

### Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory Ministerstva zemědělství, institucionální podpora MZE-RO0118.

### Summary

The study dealt with the performance of line mixture with two woody species, small-leaved linden and silver fir. Silver fir is not a common tree species in Czech forests. Line-mixed design of silver fir and small-leaved linden treatment was compared compared with pure stand of silver fir treatment. The performance of trees was estimated using characteristics such as height and diameter growth, h/d ratio and standing volume of sample trees. Five samples of forest floor per treatment were taken. 17-year-old plantations showed a negative impact on the mixed linden height and h/d ratio. Also basal area of the pure fir treatment was higher compared to mixed fir with linden; no overyielding has occurred in 17-year-old mixed plantation. From performance point of view, linden did not nurse the fir. On the other hand, linden contributed to slightly different properties of forest floor and topsoil. Pools of phosphorus and potassium seemed to be higher under pure fir. Calcium and magnesium were almost the same. In topsoil, all nutrients seemed to be slightly higher under mix with linden compared to pure fir. Mixed treatment represented a cheaper way how to get the established plantation. Up-to-date results confirm a suitability of linden in artificial mixtures. There is, however, also a need to release fir earlier so as to avoid overtopping by linden leading to reduced growth of firs. Late thinning in linden rows negatively affected fir's mean height and h/d ratio (99 compared 86 in pure firs) at lower site of Bystré. Positive impact of linden on fir performance was found at higher site of Deštenská stráň where height increments of fir were supported by presence of linden; i.e. a weak nursing effect was found. When mixed, linden showed its ability to produce more above-ground biomass compared to pure fir. Positive soil improving effects of linden on soils are likely to support also fir in mixed stands over longer time.

## RELATION BETWEEN EFFECTIVE PLANT AREA INDEX AND THE AGE OF SCOTS PINE STANDS

### VZTAH MEZI EFEKTIVNÍM INDEXEM PLOCHY POVRCHU NADZEMNÍ ČÁSTI VEGETACE A VĚKEM POROSTŮ BOROVICE LESNÍ

Černý Jakub\*, Bednář Pavel

Research Station at Opočno, Forestry and Game Management Research Institute, Na Olivě 550, 517 73 Opočno, CZ

\*corresponding author: cerny@vulhmop.cz

#### Abstract

Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) belongs to important coniferous tree species in Europe, and low demands for water and nutrients characterise it. It represents tree species occurring at extreme sites whose wider distribution is predicted with more frequent variations in climatic extremes. Thus, Scots pine becomes of immense importance under current changing environmental conditions due to its pioneer character, drought adaptability, and tolerance to higher air temperatures. In this paper, the development of photosynthetically active leaf area expressed by the effective plant area index (PAI) related to the age of stands was studied. The whole study was performed in 10 fully stocked Scots pine stands in conditions of the Czech Republic. In each of stand, the effective plant area index was estimated by LAI-2200 PCA (LI-COR, NE, USA) and LaiPen LP 100 (PSI, Czech Republic). The strong linear regressions at significant level ( $p < 0.001$ ) were proved for both used instruments ( $y = -0.016x + 3.074$ ,  $R^2 = 0.24$ ; and  $y = -0.0166x + 3.826$ ,  $R^2 = 0.31$  for LAI-2200 PCA and LaiPen LP 100, respectively). PAI of Scots pine stands, defined as projected plant surface area per unit horizontal ground surface, significantly decrease with increasing age of the stand for both used instruments.

**Keywords:** Scots pine; effective plant area index (PAI); age class; LAI-2200 PCA; LaiPen LP 100

#### Abstrakt

Borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) patří mezi nejrozšířenější druhy dřevin v Evropě a je charakterizována nízkými nároky na vodu a živin. Borovice je dřevinou extrémních lokalit, jejichž rozšíření je predikováno s častějšími výkyvy klimatických extrémů. Vzhledem ke svému pionýrskému charakteru, toleranci vůči suchu a vyšším teplotám vzduchu, nabývá borovice velkého významu v současných měnících se podmínkách prostředí. V tomto příspěvku byl studován vývoj fotosynteticky aktivní listové plochy vyjádřené efektivním indexem plochy povrchu nadzemních částí vegetace (PAI), který byl vztažen k věku porostu, v 10 plně zakmeněných stejnověkových porostech borovice lesní v podmínkách České republiky. V každém porostu byl stanoven efektivní index plochy povrchu nadzemních částí vegetace přístroji LAI-2200 PCA (LI-COR, NE, USA) a LaiPen LP 100 (PSI, ČR). Pro oba použité přístroje byl prokázán statisticky významný ( $p < 0,001$ ) lineární regresní vztah ( $y = -0,016x + 3,074$ ,  $R^2 = 0,24$  pro LAI-2200 PCA a  $y = -0,0166x + 3,826$ ,  $R^2 = 0,31$  pro LaiPen LP 100). PAI borových porostů, který je definován jako projekční plocha povrchu rostlin na jednotku povrchu půdy, klesalo s narůstajícím věkem porostu; a to pro oba použité metodické přístupy stanovení PAI.

**Klíčová slova:** borovice lesní; efektivní index plochy povrchu rostliny (PAI); věková třída; LAI-2200 PCA; LaiPen LP 100

#### Introduction

Global climate change has been causing a noticeable increase in summer heatwaves in the temperate zone in the last five years. In this period, evident decrease and redistribution of an amount of precipitations and increase in mean air temperatures were proved (IPCC 2018). These factors are accompanying by rising frequency and intensity of extreme climatic events such as extraordinary droughts (SMITH 2011; TIMOFEEVA et al. 2017) which have been afflicting the European region several times during last decades (REBETEZ et al. 2006). The drought substantially affects forest ecosystems not only by decreased wood production but also by



reduced resistance of tree species against damages caused by secondary biotic or abiotic factors such as various bark beetles or defoliators, causing subsequent mortality various tree species (ALLEN et al. 2010; MERLIN et al. 2015).

The Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) is naturally spreading from Spain in the west (5°W longitude) to northern Manchuria and the Sea of Okhotsk (130°E) in the east and from northern Scandinavia (70°N, latitude) up to Turkey (38°N; OLEKSYN et al. 2002). It covers 24% of the total forested area in Europe (75 million km<sup>2</sup>; STANNERS, BOURDEAU 1995) and represents ecological and economic value (ARCHIBOLD 1995). Its distribution underwent continual latitudinal and altitudinal changes during postglacial history (SINCLAIR et al. 2008), so it is the tree species with the most extended geographical area. Within its natural distribution area, mean annual temperatures vary between -10°C (Yakutiya, Russia) and above 13°C (southern Europe; OLEKSYN et al. 2002). Its pioneer growth strategy and ecological plasticity makes Scots pine one of the most widespread coniferous tree species in the Czech Republic, where its representation is around 16% of the total forest cover (MZE 2014).

Photosynthetic uptake, as the key process within biomass production, commences with the absorption of photosynthetically active radiation (APAR) by green foliage tissues (LARCHER 1988). For that reason, the assessment of an amount of bearing photosynthetically active foliage by forest stand is necessary. Since the plant area index (PAI) include an amount of photosynthetically active foliage (LAI) and woody materials (WAI) where  $PAI = LAI + WAI$  (ČERNÝ et al. 2018a), the PAI relate to the age of stand can be used to quantification of an amount of bearing green foliage in both deciduous (HOLST et al. 2004) as well as coniferous stands (LÓPEZ-SERANO et al. 2000). PAI and LAI defined as the unit projected area of blocking elements per unit of the soil ground surface (CHEN, BLACK 1992) are dimensionless parameters expressed as m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup> (ZARATE-VALDEZ et al. 2012). Furthermore, the indices can evaluate the vitality of forest stands (POKORNÝ, STOJNIC 2012). Therefore, the PAI of Scots pine stands related to the severe drought period occurred within the last years in the Czech Republic have become of significant meaning in the silvicultural and physiological studies. Within this paper, PAI as the direct product of both applied optical instruments (LAI-2200 PCA and LaiPen LP 100) involving no corrections of foliage due to needle clumping were used.

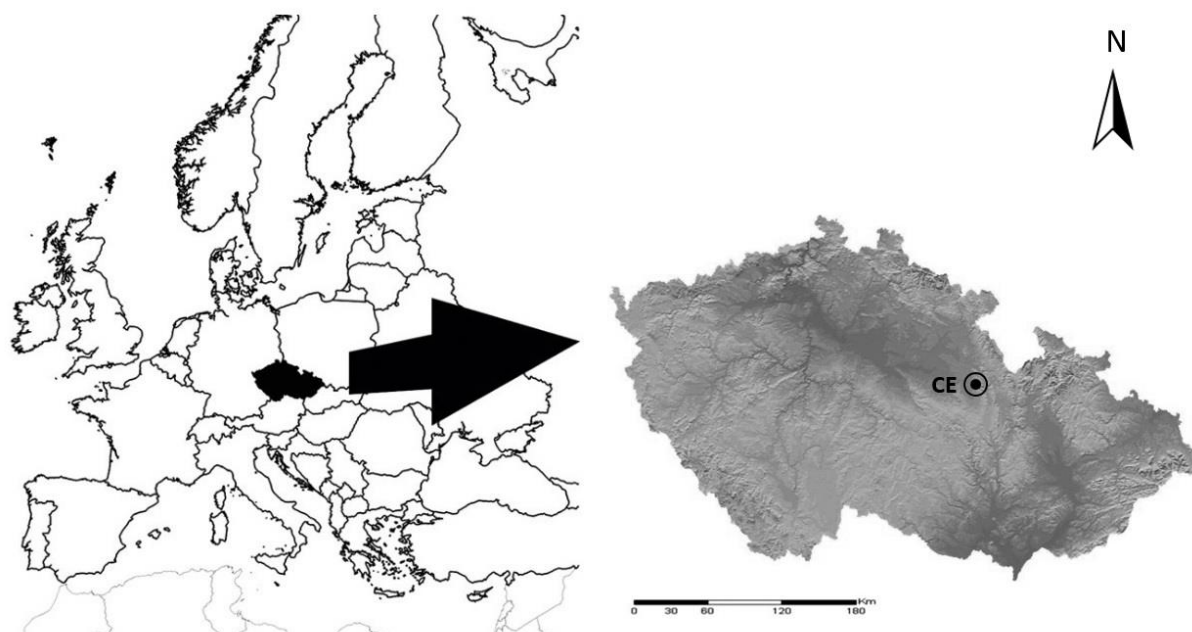
Objectives of this paper were: (i) to estimate PAI, defined as projected plant surface area per unit horizontal ground surface, by two different instruments (LAI-2200 PCA, LaiPen LP 100) based on the same methodological principle within the Scots pine stands along its age gradient; (ii) to compare PAI among particular age groups; and (iii) to assess dependency and regression relationship between age and PAI values measured by two distinct optical instruments.

## Material and method

### Site description

At the end of 2015 growing season, all measurements were taken within Forest Management-František Kinský estate (CE) in ten pure fully stocked Scots pine stands along the age gradient. In all stands, no silvicultural treatment was performed in five years before measurement. Studied stands were located in the vicinity of town Čermná nad Orlicí (50°4'35'' N; 16°7'56'' E; Fig. 1). The stands were 9, 12, 27, 30, 42, 66, 74, 94, 103, and 115-year old. The forest types in the study area ranged from 1M (*Pineto-Quercetum oligotrophicum arenosum*) via 1P (*Betulo-Quercetum variohumidum acidophilum*) and 2Q (*Quercetum abietinum variohumidum*)

*oligotrophicum*) up to 3G (*Abieto-Quercetum piceosum paludosum mesotrophicum*) according to VIEWEGH et al. (2003).



**Fig. 1:** Location of the study area in the Czech Republic. CE depict Forest Management-František Kinský estate.

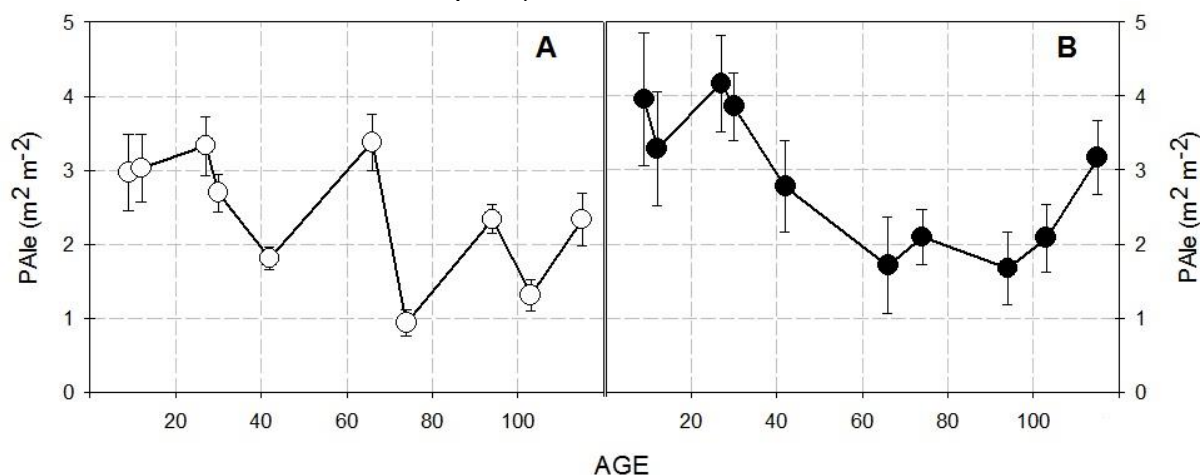
#### **Paie evaluation**

LAI-2200 PCA (LI-COR, NE, USA) and LaiPen LP 100 (PSI, Czech Republic) were used for evaluation of PAIe in the field. PAIe, as the direct product of both optical devices, involves effective leaf area index (LAIe) with no correction of needle clumping (i.e.,  $PAIe = WAI + LAIe$ ), whereas PAI is comprised by woody material and corrected leaf area due to clumping (i.e.,  $PAI = WAI + LAI$ ). In each studied stand, one randomly placed 50 m x 50 m plot was established in October 2015. Although the most of European tree species reach its PAIe maximum value around the turn of June and July (e.g., ČERNÝ et al. 2018a), all measurements were performed in autumn under the standard course of foliage senescence. Within each plot, two mutually perpendicular transects were placed. Each of them incorporated 25 equidistant measuring points for below-canopy readings (i.e., 50 measuring points in total per one studied stand). Sufficiently extensive clearings area located near to the studied stands (maximum distance of 1 km away; FLECK et al. 2016) were used for above-canopy readings for both instruments. For both devices, the below-canopy readings were simultaneously performed within transects mentioned above at 1.3 m above the ground (ČERNÝ et al. 2018b) under windless conditions and standard overcast sky conditions (RICH 1990). For LAI-2200 PCA, the restriction view cap of 180° was used to avoid the operator from sensors' field of view and to respect the open area shape and size (the same view cap was used for the second pair-unit applied for below-canopy readings according to ČERNÝ et al. 2019). For LaiPen LP 100, the possible shading by the operator was solved using view cap orientation firmly fixed by the producer. File Viewer (FV2200; LI-COR, NE, USA) and FluorPen version 1.0.5.1 (PSI, Czech Republic) software were used for an evaluation of the raw data upload from LAI-2200 PCA and LaiPen LP 100, respectively. PAIe values coming from LAI-2200 PCA were assessed for the first three rings (i.e., zenith angle of 43°) according to KÜBNER, MOSANDL (2000).

All statistical analysis was performed using SigmaPlot® version 13.0 (Systat Software Inc., CA, USA) software at the confidence level of 0.95 throughout the presented study. The relation between PAle and age of stands were investigated using linear regressions model.

## Results

Means and standard deviation of PAle values of studied Scots pine stands estimated using LAI-2200 PCA, and LaiPen LP 100 along different age classes are presented in Fig. 2. Instruments provided different results since they produced significantly different values of PAle in stands ranged from 30 to 103 years. Significant differences have not been confirmed between both methods in the thickets and small pole stages (i.e., < 30-year old stands). The lowest PAle values were observed within the fourth age group (61-80 years). On the contrary, maximum PAle differed between used instruments where the maximum PAle values were revealed in the fourth (61-80 years) and the second (21-40 years) age group for LAI-2200 PCA and LaiPen LP 100, respectively. If we compared PAle values in ascending order of age groups separately for each instrument, thus the first two age groups (1-40 years) show not significantly different PAle values obtained using LAI-2200 PCA, whereas PAle values coming from LaiPen LP 100 were not significantly different even up to 103-year old stand (i.e., almost rotation of the maximum volume production in conditions of studied plots).



**Fig. 2:** Effective plant area index of investigated Scots pine stands obtained by LAI-2200 PCA (A) and LaiPen LP 100 (B). PAle: effective plant area index. Empty and filled circles are mean values of PAle coming from an LAI-2200 PCA and LaiPen LP 100, respectively. Whiskers are standard deviations.

The linear regressions at significant level ( $p < 0.001$ ) were found among the age of stands and PAle estimated by both devices ( $y = -0.016x + 3.074$ ,  $R^2 = 0.24$ ; and  $y = -0.0166x + 3.826$ ,  $R^2 = 0.31$  for LAI-2200 PCA and LaiPen LP 100, respectively). Generally, PAle of Scots pine stands decrease with increasing age class for both used instruments.

## Discussion and conclusion

PAle values in fully stocked Scots pine stands along their age gradient ranged between 0.94 - 3.37  $m^2 m^{-2}$  and 1.67 - 4.17  $m^2 m^{-2}$  for LAI-2200 PCA and LaiPen LP 100, respectively. LAI values of Scots pine varied from 1.5 (XIAO et al. 2005) up to 2.3 (BEQUET et al. 2012). Observed intervals in the presented study fit reasonably well within this range, and an interval of LAI values (1.7-2.3  $m^2 m^{-2}$ ) measured by

BEQUET et al. (2012) who carried out his study within ten Scots pine stands with different age in Belgium. However, if we take into account our average PAle values for all studied stands ( $2.41 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ ;  $2.88 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  for LAI-2200 PCA and LaiPen LP 100, respectively) and BEQUETS' et al. (2012) mean LAI value ( $1.99 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ ), higher values in the presented study were observed. This fact can be explained by using a correction factor for the elimination of needle clumping by BEQUET et al. (2012), whereas effective plants area indices (PAle) with no corrections of needle clumping were used in this study (BRÉDA 2003). Furthermore, POKORNÝ AND MAREK (2000) found that the woody elements (WAI) contribute to PAI in Norway spruce stands, particularly by 8 - 10 %. This fact also confirmed KUCHARIK et al. (1999) who observed WAI contribution of 30 - 50 % in a boreal forest. Therefore, PAle values noted in this paper can be higher than the results of the studies mentioned above. On the contrary, SUNI et al. (2003) found very similar values to PAle obtained by LAI-2200 PCA ( $2.0 - 2.2 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  vs  $1.5 - 2.2 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ ) within the third age group of Scots pine stands in central Finland. In immature Scots pine stands (81-100 years), SCHELHAAS et al. (2004) noted LAI ranged from 1.5 to  $2.1 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  in the Netherland, where their results are also in line with our observation in this age group where mean PAle value estimated by LaiPen LP 100 was  $1.67 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ . ZIMMERMANN et al. (2000) observed a mean LAI value of  $1.55 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  in 67-year old Scots pine forests naturally regenerated after a fire in Central Siberia. His findings are in accordance with our observation in the fourth age group (61 – 80 years) where we noted average PAle value of  $1.71 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  by LaiPen LP 100 device.

BEQUET et al. (2012) proved that corrected LAle values are significantly linked to stand and tree age, which is related to results of both instruments used in the presented study ( $p < 0.001$ ). In this study, decreasing trends of linear regressions were observed in both cases. The general correlation between leaf area (PAle) and forest productivity, including the basal area of the stand was proved (e.g., VOSE, ALLEN 1988). Under these circumstances, SONOHAT et al. (2004) found the same trend of PAle values related to the stand age as it was revealed in this paper. The decreasing trend confirmed YODER et al. (1994) who stated that wood production, which is tightly related to photosynthetically active leaf area, generally declining with increasing age of forest stands.

Furthermore, the same decreasing regression relationship for LAle values was found by POKORNÝ AND STOJNIC (2012) in pure Norway spruce stands along its age gradient at the middle and mountainous altitudinal zones in the conditions of the Czech Republic. However, they found differences between corrected LAle and PAle dependence on age of forest stand. LAle already decreased but PAle as the sum of WAI and LAle can even increase after ca 60 years of stand age since stem and branch surface proportion within PAle increase with age.

As PAle represents an interface between the vegetation and the atmosphere (interception area of rainfall), the finding may be useful for forest managers who can modify canopy (PAle) of Scots pine through silvicultural treatments such as cleanings or thinning and regulate it by that an amount of precipitation reaching the forest floor which become vast importance especially during severe summer heatwaves. Since PAle involving leaf area (LAle), an amount of assimilation apparatus can be indirectly evaluated using PAle. Therefore, the significant decreasing linear trend of PAle values with increasing age of the stand which was found in this study indicates that LAle values of Scots pine stands should also be related to the stand age. It can be assumed that LAle values will also decrease with increasing age in Scots pine stands. For forest practice, this information is essential from the viewpoint of

maintaining the optimal leaf area value in Scots pine stands with various age by silvicultural treatments. Moreover, the fact about the dependency of PAI on the age of the stand should be taken into consideration during evaluation of vitality of Scots pine stands.

## References

- ALLEN CD, MACALADY AK, CHENCHOUNI H et al. (2010): A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* 259(4): 660-684.
- ARCHIBOLD OW (1995): *Ecology of world vegetation*. Chapman and Hall, London
- BEQUET R, KINT V, CAMPIOLI M et al. (2012): Influence of stand, site and meteorological variables on the maximum leaf area index of beech, oak and Scots pine. *European Journal of Forest Research* 131: 283-295.
- BRÉDA NJJ (2003): Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *Journal of Experimental Botany* 54 (392): 2403-2417.
- ČERNÝ J, HANINEC P, POKORNÝ R (2018a): Leaf area index estimated by direct, semi-direct, and indirect methods in European beech and sycamore maple stands. *Journal of Forestry Research* (online version). doi: 10.1007/s11676-018-0809-0
- ČERNÝ J, KREJZA J, POKORNÝ R, BEDNÁŘ P (2018b): LaiPen LP 100 – a new device for estimating forest ecosystem leaf area index compared to the etalon: A methodologic case study. *Journal of Forest Science* 64(11): 455-468.
- ČERNÝ J, POKORNÝ R, HANINEC P, BEDNÁŘ P (2019): Leaf area index estimation using three distinct methods in pure deciduous stands. *Journal of Visualized Experiments* (in print).
- CHEN JM, BLACK TA (1992): Defining leaf-area index for non-flat leaves. *Plant, Cell and Environment* 15(4): 421-429.
- FLECK S, RASPE S, ČATER M et al. (2016): Leaf area measurements. Manual Part XVIII. In: *Manual of methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests*. Hamburg, UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre.
- HOLST T, HAUSER S, KIRCHGÄBNER A et al. (2004): Measuring and modelling plant area index in beech stands. *International Journal of Biometeorology* 48: 192-201.
- IPCC (2018): Summary for Policymakers. In: V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner et al. (eds.) *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp.
- KÜBNER R, MOSANDL R (2000): Comparison of direct and indirect estimation of leaf area index in mature Norway spruce stands of eastern Germany. *Canadian Journal of Forest Research* 30(3): 440-447
- KUCHARIK CJ, NORMAN JM, GOWER ST (1999): Characterization of radiation regimes in non-random forest canopies: theory, measurements, and a simplified modelling approach. *Tree Physiology*, 19(11). 695-706.
- LARCHER W (1988) *Fyziologická ekologie rostlin [Physiological plant ecology]*. Praha, Academia, 368 p. (in Czech)

- LÓPEZ-SERANO FR, LANDETE-CASTILLEJOS T, MARTINEZ-MILLÁN J et al. (2000): LAI estimation of natural pine forest using a non-standard sampling technique. *Agriculture and Forest Meteorology* 101: 95-111.
- MERLIN M, PEROT T, PERRET S, KORBOULEWSKY N, VALLET P (2015): Effects of stand composition and tree size on resistance and resilience to drought in sessile oak and Scots pine. *Forest Ecology and Management* 339: 22-33.
- MZe (2014): Report on the status of forestry in the Czech Republic of 2013. Ministry of Agriculture of the Czech Republic, Prague (in Czech)
- OLEKSYN J, REICH PB, ZYTKOWIAK R et al. (2002): Needle nutrients in geographically diverse *Pinus sylvestris* L. populations. *Annals of Forest Science* 59(1): 1-18.
- POKORNÝ R, MAREK MV (2000): Test of accuracy of LAI estimation by LAI-2000 under artificially changed leaf to wood area proportions. *Biologia Plantarum*, 43(4). 537-544.
- POKORNÝ R, STOJNIĆ S (2012): Leaf area index of Norway spruce stands in relation to age and defoliation. *Beskydy* 5(2): 173-180.
- RICH PM (1990): Characterizing plant canopies with hemispherical photographs. *Remote Sensing Reviews* 5: 13-29.
- REBETEZ M, MAYER H, DUPONT O et al. (2006): Heat and drought 2003 in Europe: a climate synthesis. *Annals of Forest Science* 63: 659-577.
- SINCLAIR WT, MORMAN JD, ENNOS RA (2008): The postglacial history of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in western Europe: evidence from mitochondrial DNA variation. *Molecular Biology* 8(1): 83-88.
- SCHELHAAS MJ, NABUURS GJ, JANS W et al. (2004): Closing the carbon budget of a cost pine forest in The Netherlands. *Climatic Change* 67:309-328.
- SMITH MD (2011): An ecological perspective on extreme climatic events: a synthetic definition and framework to guide future research. *Journal of Ecology* 99(3): 656-663.
- SONOHAT G, BALANDIER P, RUCHAUD F (2004): Predicting solar radiation transmittance in the understory of even aged coniferous stands in temperate forests. *Annals of Forest Science* 61: 629-641.
- STANNERS D, BOURDEAU P (1995): Europe's environment: The dobris assessment report. European Environmental Agency, Copenhagen, 676 p.
- SUNI T, RINNE J, REISSEL A et al. (2003): Long-term measurements of surface fluxes above a Scots pine forest in Hyytiälä, souther Finland, 1996-2001. *Boreal Environment Research* 8: 287-301.
- TIMOFEEVA G, TREYDTE KS, BUGMANN H et al. (2017): Long-term effects of drought on tree-ring growth and carbon isotope variability in Scots pine in a dry environment. *Tree Physiology* 37(8):1028-1041.
- VIEWEGH J, KUSBACH A, MIKESKA M (2003): Czech forest ecosystem classification. *Journal of Forest Science* 49(2): 85-93.
- VOSE JM, ALLEN HL (1988): Leaf-area, stemwood growth, and nutrition relationships in Loblly pine. *Forest Science* 34: 547-563.
- XIAO C-W, JANSSENS IA, CURIEL YUSTE J, CEULEMANS R (2005): Variation of specific leaf area and upscaling to leaf area index in mature Scots pine. *Trees-Structure and Function* 20: 304-310.
- YODER BJ, RYAN MG, WARING RH, SCHOETTLE AW, KAUFMANN MR (1994): Evidence of reduced photosynthetic rates in old trees. *Forest Science* 40(3): 513-527.

ZARATE-VALDEZ JL, WHITING ML, LAMPINEN BD et al. (2012): Prediction of leaf area index in almonds by vegetation indexes. *Computers and Electronics in Agriculture* 85: 24-32.

ZIMMERMANN R, SCHULZE E-D, WIRTH CH et al. (2000): Canopy transpiration in a chronosequence of Central Siberian pine forests. *Global Change Biology* 6: 25-37.

### **Acknowledgements**

Authors thank technician workers for their helping during field measurements. This work was funded by the Ministry of Agriculture of the Czech Republic, institutional support MZE-RO0118 and the National Agency of Agricultural Research (Project No. QK1810126).

## EVALUATION OF ABIOTIC DISTURBANCE AGENTS ON NORWAY SPRUCE MECHANICAL STABILITY IN MONOCULTURES IN KOCANDA FOREST DISTRICT

### ZHODNOCENÍ VLIVU ABIOTICKÝCH FAKTORŮ NA MECHANICKOU STABILITU MONOKULTUR SMRKU ZTEPILÉHO V PODMÍNKÁCH LESNICKÉHO ÚSEKU KOCANDA

Bednář Pavel\*, Černý Jakub

Forestry and Game Management Research Institute, Research Station at Opočno, Na Olivě 550,  
517 73 Opočno, CZ

\*corresponding author: pavelbednar13@seznam.cz

#### Abstract

*The presented paper deals with windbreakages and their impact on forest stands of studied area represented by pure even-aged Norway spruce stands. The monitored area has been affected by wind, snow or rime damages for many decades. There are many different factors influencing how the specific forest stand is vulnerable or resistant to a possible threat. These stands have been under a long-term process of transformation since 1996; the effect of abiotic factors can be incorporated into the forest stands' transformation process. The most significant abiotic disturbance agent in observed forest stands was proved to be a strong wind. The extent and character of the windbreakages in investigated forest stands and parallelly to evaluate an occurrence, intensity and ways of effect of strong wind within examined area. The influence of the relief was significant within observed area and effected both volume of salvage fellings and the vulnerability of certain area, while we could not confirm significance of slope exposure and site conditions. Significant influence on damages was related with different age classes as well as well as the synergy effect between wind and snow cover.*

**Keywords:** Norway spruce monocultures, windbreakage, salvage felling, windstorm, strong breeze, damages of forest

#### Abstrakt

*Předložený příspěvek se zabývá analýzou větrných polomů a jejich dopadem na lesní porosty studovaného území. Větrné kalamity, ale i další jako např. sněhové či jinovatkové, postihují sledované území dlouhodobě. Do jaké míry je konkrétní porost náchylný nebo naopak relativně rezistentní k možnému ohrožení je závislé na celé řadě faktorů. Tyto porosty jsou přibližně od roku 1996 v dlouhodobém procesu přestaveb a poznatky o působení abiotických činitelů mohou být do systému přestaveb účelně zakomponovány. Jako nejvýznamnější abiotický faktor ohrožující smrkové porosty na sledovaném území byl prokázán bořivý vítr. Při hodnocení rozsahu a charakteru větrných polomů ve zdejších porostech byla souběžně provedena analýza výskytu, intenzity a formy působení silného větru na daném území. Vliv reliéfu na daném území byl významným faktorem, který ovlivňoval výši nahodilých těžeb, i senzitivitu daných porostů, zatímco vliv expozice svahu, ani stanovištních podmínek nebyl na daném území prokazatelný. Prokázán byl signifikantní vliv věkového stupně; i synergické působení větru s dalšími povětrnostními vlivy, konkrétně se sněhovou pokrývkou.*

**Klíčová slova:** smrkové hospodářství, větrný polom, nahodilá těžba, vichřice, silný vítr, poškození lesa

#### Introduction

Forest damage caused by wind and snow represents a severe economic problem concerning forestry in Europe (PELLIKKA, JÄRVENPÄÄ 2003). Especially windstorms are a significant source of disturbances of forests across Europe (FISHER et al. 2013), as the consequence of the global climate changes (SEIDL et al. 2011). Wind damages lead to a substantial loss of economic value (HANEWINKEL et al. 2013) so, one of the key issues for mitigating risks of wind damage in forest stands is to predict wind occurrence and its main direction in particular area.



In the Bohemian-Moravian highland, pure even-aged Norway spruce stands are still threatened by windbreakages, which are often accompanied by snowbreakages and rimebreakage, particularly during winter period. Most of the windstorms come in winter (40%), in autumn (25%), in summer (22%), and the least in spring (13%).

Winter windstorms last longer (even a few days) and affect wider areas. Autumn windstorms are usually accompanied by snowing. Summer windstorms are represented by thunderstorms (or even hailstorms) and its duration is relatively short when they usually do not last for longer than 15-25 minutes, and it affects smaller areas where they can also cause severe damages (KŘÍSTEK et al., 2002).

The wind with a velocity of stormy breeze (more than  $17.2 \text{ m s}^{-1}$ ) represents the greatest danger and risks for the forest management. Indisputably, the most severe disaster within the region of Žďár nad Sázavou was caused by combination of both abiotic factors, mainly by wind and heavy snow, on 27<sup>th</sup> October 1930; where initial estimations calculated over  $660,000 \text{ m}^3$  of timber from salvage felling (on the former area of 12,090 ha).

Nevertheless,  $463,000 \text{ m}^3$  of timber were produced until July 1931 (it was only from forests of the forest estate with an area of 5,624 ha after the Second Land Reform). Disrupted and heavily sparse forest stands were damaged by snowbreakages and windbreaks in few subsequent years, mainly by considerable rimebreakage and following windstorm. During 1930-1933, the total volume of salvage felling was  $304,916 \text{ m}^3$  in the forest administration Cikháj and represented in average  $151 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  of salvage felling timber within the former forest administration area of 2,015 ha. Decrease of living stock was accompanied with sudden deforestation of almost 30% of the forest estate area (the total area clearings was 1,600 ha from 5,624 ha).

Although the mentioned example is extraordinary in its scope, large-scale disasters occurred regularly: in 1967, 1974, 1976, 1982, 1984, and 2005 since the 1930s. The occurrence of smaller windbreaks is standard issue in the mentioned area, so it significantly contributed to the transformation of Norway spruce monocultures in this area.

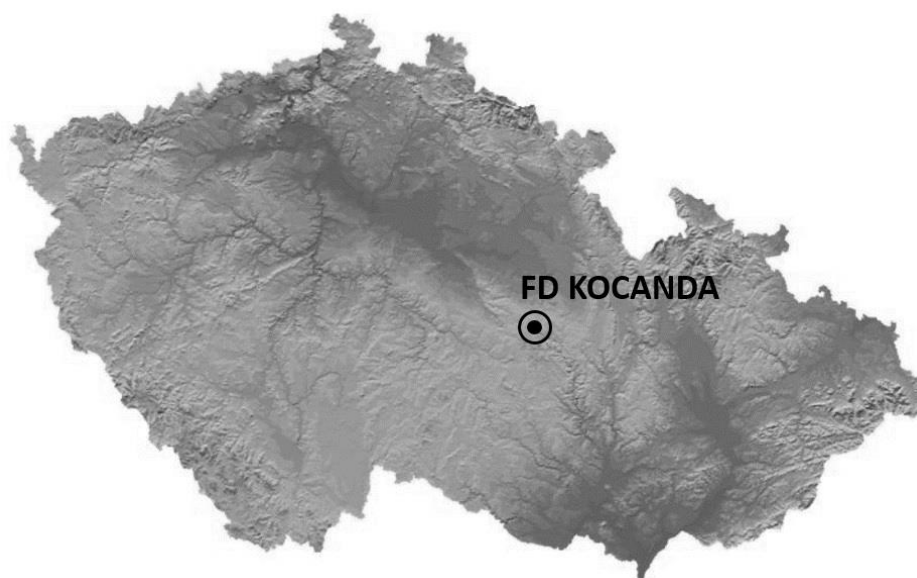
At least 6–7 million ha of pure Norway spruce stands in Europe are located outside their natural range (TEUFFEL et al. 2004) and thus modern and sustainable forest management is aiming at the conversion of pure conifer monocultures towards natural broadleaves of mixed forest stands (MOSANDL and KÜSNER 1999). To transform such stands, it has both ecological and economic reasons (HANEWINKEL 2001) when one of typical threats of those monocultures are serious disturbances caused both by biotic and abiotic agents. The transformation has two aspects: i) a change in the species composition from pure to mixed stands; ii) a change in the stand structure from regular, even-aged stands to more irregular, uneven-aged stands (HANEWINKEL 2001).

With detailed analysis of salvage fellings we wanted: (i) to evaluate the effect of weather conditions (included wind direction), the slope exposure on the volume of salvage felling, and (ii) to connect site conditions, age classes and relief effect on the mechanical stability/vulnerability of Norway spruce stands.

## Material and method

The study was conducted in the Forest District (hereinafter FD) Kocanda (Fig. 1). The investigated area was 470.96 ha (the original area of the FD Kocanda, which was also reduced by the area of mixed, uneven-aged forest stands and stands of the

National Natural Preserve Žákova hora, *i.e.*, those excluded from forest stands' transformation) and the altitude ranged between 654 and 810 m a. s. l.



**Fig. 1:** Localisation of the study site in the Czech Republic. FD: Forest district.  
**Obr. 1:** Lokalizace zájmového území v rámci České republiky. FD: Lesnický úsek

The analysis was performed on the dataset obtained from eight windbreaks which affected the study area since 1997. For these events detailed records were available about the volume of salvage felling and meteorological characteristics: the duration of windstorm; the direction of the strongest flurry; fluctuations in the direction of the wind during its occurrence and detailed description of the weather that prevailed on particular day (*i.e.*, mean air temperature of the day, the snowfall, horizontal rainfall). The main characteristic of the snow load on the forest stands is the water value of snow (it indicates the number of millimetres of water dissolved from the current amount of snow).

Full salvage felling records related to particular forest stand group - the smallest spatial entity of Forest Management Plans - were required for the analysis, provided by the local forester Jiří Bína. Data about stand characteristics such as the set of forest site types, an area, and tree species composition were extracted from the Forest Management Plan. All of the forest stand groups were analysed except for the first age class, forest stands in the National Natural Preserve Žákova hora and stands with other tree species composition than the pure Norway spruce stands. The meteorological data were obtained from the Czech Hydrometeorological Institute database, Meteorological Station Svratouch located close to the investigated area.

All statistical analysis was performed using STATISTICA® version 10.0 (StatSoft Inc., OK, USA) software at the confidence level of  $p < 0.05$ . Statistical analysis of slope exposure, forest site conditions, and age classes was used for comprehensive data processing. To consider different growing stock of forest stands of different age, a ratio was calculated. The volume of the salvage felling ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) was divided by the growing stock ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) and then this ratio of salvage felling was used for further analysis. Shapiro–Wilks test of normality was applied. Analysis of variance (ANOVA), Kruskal-Wallis test, and Dunn test was applied.

## Results and discussion

Wind events from 1996 (including) to I. Q. 2008 (*i.e.* to 31<sup>st</sup> March 2008) are summarised in Table 1. The analysis includes wind- (and snow-) breakages, characteristic by subsequent salvage fellings with volume higher than 200 m<sup>3</sup>.

Eight different events when windstorms caused the salvage felling of at least 200 m<sup>3</sup> (on the area of 470.96 ha) occurred during investigated period of more than 12 years. Six of them ranged from 200 – 1000 m<sup>3</sup> while one of them exceeded 2500 m<sup>3</sup> and one of them exceeded even 6500 m<sup>3</sup> of salvage felling. Six of them were coming from ca. west and north-west sector ((250°) 270° – 310°) while two of them were coming from south (180°) or south-east (150°), respectively. Both spring and summer periods represented fairly calm periods when the only windstorm occurred in summer (in July). By contrast, autumn and winter period represented a part of the year when windstorms were coming frequently (Tab. 1). All of observed windstorms were combined with precipitation– represented by raining or showing (Tab. 2).

**Tab. 1:** Weather characteristics of investigated windstorms and hurricanes.

**Tab. 1:** Vybrané charakteristiky povětrnostních podmínek během zkoumaných vichřic a orkánů.

Date <i>Datum</i>	Time of the strongest flurry <i>Čas nejsilnějšího poryvu větru</i>	Direction of the strongest flurry [°] <i>Směr nejsilnějšího poryvu větru [°]</i>	Speed of the strongest flurry [m s <sup>-1</sup> ] <i>Rychlost nejsilnějšího poryvu větru [m s<sup>-1</sup>]</i>	Salvage felling [m <sup>3</sup> ] <i>Nahodilá těžba [m<sup>3</sup>]</i>
17.12. 1997	11:28	150	30.0	238
21.7. 2002	16:03	280	33.1	208
(27.)	(22:20)	(270)	(32.6)	
28.10. 2002	00:18	280	38.2	303
(20.)	(23:45)	(180)	(31.2)	
21. 2. 2004	16:42	180	37.9	260
(22.)	(02:24)	(180)	(32.0)	
19.11. 2004	10:05	270	31.2	204
16.12. 2005	16:00	300	38.8	6711
(18.)	(22:32)	(250)	(39.5)	
19.1. 2007	04:06	290	39.9	2607
1.3. 2008	21:07	310	37.7	873

Note: Values in parentheses are indicated when there were sustained winds for more than one day. In such cases, the values in parentheses are from the previous or the next day when the wind did not reach the maximum of the wind event, but exceeded 50 km/h.

*Poznámka: Hodnoty v závorkách jsou uvedeny tehdy, pokud daná vichřice nebo orkán trval déle, než jeden den. V takovém případě jsou v závorkách uvedeny maxima dne předešlého, nebo následujícího dni, ve kterém se vyskytlo celkové maximum za celou dobu trvání vichřice či orkánu (avšak pouze pokud takové vedlejší maximum bylo vyšší než 50 km/h).*

### The effect of synergy with other weather conditions

The effect of other weather conditions can dramatically increase the severity of forest disturbance when strong wind acts. It is mainly an issue of the physical load when a precipitation represent some certain load, as well; or the issue of changes of wood physical features caused by different temperatures.

Only one event from the set of windbreakages took place in summer, while others took place in winter or autumn, *i.e.*, the period from October to early March. During

this period there was a higher risk of a synergic effect between high wind and some of the other weather conditions (Table 2). The influence of horizontal rainfall could be ruled out, as it was not detected during the monitored events. Frost was recorded in four cases, but in three of them, temperatures were close to the freezing point or slightly above it. More significant freezing occurred only during the windstorm that occurred in 1997.

According to the analysis, snow can play a significant role in determining the extent of a disturbance. In two cases, the snow cover was only up to 10 cm high. In the first case (17<sup>th</sup> December 1997) the snow depth was 9 cm (a total water value of 15.3 mm), and in the second case (9<sup>th</sup> February 2004) 9 cm, (the final total water value was 13.6 mm), respectively. In both cases, snow cover was so small that it could not cause any significant increase in damage, as the load caused by the snow was 15.3 and 13.6 kg m<sup>-2</sup>, respectively.

A completely different situation occurred during the wind calamity on 16<sup>th</sup> December 2005. In the morning, snow depth was 27 cm (a total water value of 44 mm), making it heavier. During the monitored day, its load was approximately 44 kg m<sup>-2</sup>. Over the next twenty-four hours, an additional 11 cm of wet snow fell (its total water value was 10.4 mm). A cumulative load of nearly 55 kg m<sup>-2</sup> caused the most significant damages to the stands of the entire set of the eight analysed disturbance events. At the same time there was exclusive damage to the 2<sup>nd</sup> Age Class (11 - 20 years), that has not been evidenced during any other seven analysed disruptions. This observation confirms the significance of the synergic effect of snow, especially in young, homogeneous and even-aged stands of Norway spruce, which is supported by the mechanics of these stands. As stated by POLENO, VACEK et al. (2007), by applying physical calculations, it was found that stands up to a stem thickness (DBH) of approximately 12 (14) cm can resist maximum crown loads of approximately 100 kg. However, this calculation of POLENO, VACEK et al. (2007) is only a general model that can vary through different forest stands (even pure and even-aged) e.g. due to different tending and tending intensity resulting into different structure, height-diameter ratio, growth habit, openness of the stand canopy, LAI etc. On the other hand, it still provides some general overview about potential maximal load of those pure even-aged pole stands. Given the area of crown projection (as well as the low level of permeability in Norway spruce canopy of such stands), a load of 55 kg m<sup>-2</sup> would be very significant; in case of an effect of the force of a destructive wind (cyclone intensity), the breaking strength of these stands would be quickly exceeded. In the analysed set, the synergic effect of snow and the destructive wind is apparent. This is also matched by the highest level of stand damage (or the extent of incidental felling) during an event with the deepest snow coverage.

**Tab. 2:** Weather characteristics in individual disruptions.**Tab. 2:** *Povětrnostní charakteristiky během daných větrných událostí.*

Date <i>Datum</i>	Snow cover [cm] <i>Sněhová pokrývka [cm]</i>	Water value [mm H <sub>2</sub> O] <i>Vodní hodnota [mm H<sub>2</sub>O]</i>	Precipitation <i>Srážky</i>	Temperature [°C] <i>Teplota [°C]</i>			Wind direction [°] <i>Směr větru [°]</i>	Max. speed of the wind since the start [hours] <i>Výskyt nejsilnějšího poryvu od začátku [hodiny]</i>	Lifetime [hours] <i>Doba trvání [hodiny]</i>
				Min. <i>Min.</i>	Max. <i>Max.</i>	Mean <i>Prům.</i>			
17. 12. 1997	9	15	0.1 cm snowing	-13.4	-8.6	-9.0	130-150	5	48
21. 7. 2002	0	-	1.4 mm raining	12.6	25.0	18.1	280	<1	<1
28. 10. 2002	0	-	4.1 mm raining	2.4	5.3	3.8	270-310	(4), 5	12
21. 2. 2004	5; 9*	11.0; 13.6	4 cm snowing = 2.6 mm H <sub>2</sub> O	-5.4	-1.8	-4.1	170-190	(2), 21, (29)	37
19. 11. 2004	0	-	2 cm snowing = 1.3 mm H <sub>2</sub> O	-4.9	4.3	-2.3	240-300	2	4
16. 12. 2005	27; 38*	44.0; 54.4	11 cm snowing = 10.4 mm H <sub>2</sub> O	-3.5	1.0	-1.9	250-320	6	10
19. 1. 2007	0	-	2.2 mm raining	1.7	11.1	3.3	230-320	(13), 18	21
1. 3. 2008	0	-	10.8 mm raining and snowing	1.1	6.7	3.1	250-310	17	20

Note: Values in parentheses are indicated for "Max. speed of the wind since the start (hours)" when there were sustained winds for more than one day. In such cases, the values in parentheses are from the previous or the next day when the wind did not reach the maximum of the wind event, but exceeded 50 km/h.

*Poznámka: Hodnoty v závorkách jsou uvedeny tehdy, pokud daná vichřice nebo orkán trval déle, než jeden den. V takovém případě jsou v závorkách uvedeny maxima dne předešlého, nebo následujícího dni, ve kterém se vyskytlo celkové maximum za celou dobu trvání vichřice či orkánu (avšak pouze pokud takové vedlejší maximum bylo vyšší než 50 km/h).*

### ***The effect of slope exposure on salvage cut***

In the analysed set of wind events, six calamities hit the territory from the west (or within the range of southwest to the northwest). Destructive winds occurred twice from the southern sector (once directly from the south, once from the southeast). The data from the monitored period (more than 12 years) also show that no monthly wind maximums were occurring in the interval of 10° to 120°. Nevertheless, despite possible expectations, the statistical analysis of the data did not confirm any effect of slope exposure to the extent of incidental felling.

### ***The effect of forest site conditions on salvage cut***

There are a total of six ecological ranges in the monitored area. The *acidic* ecological range is dominant (accounting for almost 46% of the studied area); the peat ecological range has the smallest share (0.3% of the area). This fact also implies a significant non-uniformity in the assessment of the habitat's impact. The total area of ecological ranges influenced by water (*i.e.*, ecological ranges *enriched by water, gleyed, waterlogged or peat*) is over 41%. In this case, it can be stated that the area of acidic habitats, and all those that are significantly affected by water, is identical. It is, therefore, possible to compare the incidental fellings in acidic habitats and in habitats in which water is a major site-dominating factor. Despite these general assumptions, no significance of the effect of ecological ranges was found within the monitored area of FD Kocanda.

### ***The effect of age classes on salvage cut***

The statistical analysis revealed a significant mechanical instability of the 2<sup>nd</sup> age class (which is statistically very different from the 4<sup>th</sup>, 5<sup>th</sup> and 6<sup>th</sup> age classes), although in this case, there was also the described synergic effect of the snow load in the disturbance that occurred on 16<sup>th</sup> December 2005. Smaller mechanical stability was found in the 3<sup>rd</sup> age class (a significant difference compared to the 5<sup>th</sup> age class). Furthermore, it was shown that the 5<sup>th</sup> age class was significantly the most mechanically stable in in all studied cases; partially increased stability was statistically proven in the 4<sup>th</sup> and 6<sup>th</sup> age classes (both being significantly different from the unstable 2<sup>nd</sup> age class). Due to the small area of the old stands, the evaluation included all stands aged above 121 years as a group of age class 13+. The created group, however, also included stands older than 170 years; often in the form of stand residues (also, as a result of the previous development and management measures taken – especially due to damage caused by logging and wood skidding – with an increased share of rot). This 13+ age class showed a somewhat reduced level of mechanical stability that was significantly different from the 5<sup>th</sup> age class. However, due to the described heterogeneity of the group, no specific conclusions can be provided.

### ***The relief effect on salvage cut***

From the perspective of damage to stands caused by wind calamities, the performed analysis indicates a significant relief effect in the FD Kocanda. It demonstrates an occurrence of damage regardless of slope exposure (leeward damage was more common even in the case of destructive wind from the southern sector). The analysis also found a higher intensity of damage caused by calamities in stands situated around the ridge of Žákova hora, despite that this area is dominated by acidic habitats, which are generally considered mechanically stable (e.g. VICENA 1964; KŘÍSTEK et al., 2002). This does not mean, however, that the damage would

increase in proportion to the altitude of the terrain. The relief effect proved to be more complex and diverse. Sections 201 and 203 could serve as an example. Both these sections are located in a valley between two steep peaks (Žákova Hora hill and Otroková hill). This relatively small territory has habitats of four ecological ranges. Regardless of the variety of habitat conditions and exposure, this territory has regularly been disrupted, with the most considerable degree of damage always taking place in the narrowest point between the two sides of the peaks. With more opening of the valley, there was less damage. The effect where the wind exerts more pressure on the sides of the valley is very significant here.

Another good example can be seen in stands 202Bb and 202Ee. Despite its very favourable position (on the eastern foothill of Žákova Hora), the area was affected by a destructive southern wind, and even repeatedly by destructive western winds. An effect of overflow (a squall line) and turbulent winds, modified by relief, must have taken place.

### Conclusion

Based on the results, we can state that the effect of relief was the most important factor influencing the forest stands' disturbance regime caused by the windstorms on studied area.. This is proved both by the occurrence of damage regardless of the slope exposure (even in the case of windbreaks from the south which occur more often on leeward sides of the slope than on slopes oriented to the south) and also simultaneously higher intensity of damages caused by windbreakages in forest stands located around the ridge of Žákova hora, even in the generally mechanically most stable ecological series – *acidic*. However, it does not mean that damages increased only proportionally with an altitude, but it is caused by intensely undulated relief of the terrain in the studied area as well as in its tight surroundings. It is mainly about the steeply rising hillsides of Otroková hill, Žákova hora hill, Křivý javor hill, and Tisůvka hill peaks etc. This relief effect can result in various specific phenomena such as the “narrow effect” (when the wind exerts more pressure on the sides of the narrow valley – as intensively as it is narrow), the wind reflection from opposite hillsides, heavy turbulent winds, etc. Therefore, the relief effect was more varied e.g. in compartments 201 (mainly stands b, c) and 203, (primarily the stand c). Both compartments were clamped in a narrow valley between two steep peaks. In the relatively small area, forest types of four ecological series (acidic, nutrient rich, waterlogged, and gleyed) were represented there. Regardless of the variety of site conditions and exposure this part, it was intensely affected by wind. The highest degree of windbreaks was observed at the most narrow point between the two hillsides. Damages were diminishing with the gradual opening of the valley. Thus, there is a noticeable “narrow effect” of the wind flow. Stands 202 b, e were the next appropriate example. They were affected by wind from south and mainly repeatedly by wind from west in spite of its position at the northeast hillside of Žákova hora hill. In this case, the causation can be seen in the occurrence of an overflowing and turbulent wind modified by the surrounding undulated relief; at the particular site even amplified by a less mechanically stable set of forest site types 6P (*Acidic Spruce-Fir; Piceeto-Abietinum variohumidum acidophilum*).

Among the factors that were studied from the viewpoint of their predisposition to damage by wind, the effect of the age of the stands was proved: the 5<sup>th</sup> age class (partly also the 4<sup>th</sup> and the 6<sup>th</sup>) can be assessed as the mechanically stable. The 2<sup>nd</sup> age class was characterised by a high degree of lability under synergy effect of high snow cover and strong wind. In the observed area, the influence of the snow

load and wind action on the volume of the salvage felling was also shown (e.g. disaster from 16<sup>th</sup> December 2005).

In the same time, it should be especially underlined that presented results represent only a situation of specific area and are based on a mid-term observation of a few disturbance events. Thus, it should not be considered as a disagreement with generally valid knowledges about the mechanical stability of forest stands. However, based on the example of FD Kocanda it was proved that within particular area the local features (like mainly the specificity of the relief) have to be taken into account when this locally specific conditions of each location can overlap general windbreakages' mechanisms and regime and consequently may change otherwise generally valid knowledge.

## References

- FISHER A., MARSHALL P., CAMP A. (2013): Disturbances in deciduous temperate forest ecosystems of the northern hemisphere: their effect on both recent and future forest development. *Biodiversity Conversation* 22: 1863-1893.
- HANEWINKEL M., CULLMANN D., SCHELHAAS M., NABUURS G., ZIMMERMANN N. (2013): Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. *Nature Climate Change* 3: 203-207.
- KŘÍSTEK J. (2002): Ochrana lesů a přírodního prostředí. Písek, Matice lesnická (in Czech)
- MOSANDL, R., and KÜSSNER, A. (1999): Conversion of pure pine and spruce forests into mixed forests in eastern Germany: some aspects of silvicultural strategy. In: *Management of Mixed-Species Forest: Silviculture and Economics*. A.F.M. Olsthoorn, H.H. BARTELINK, J.J.GARDINER, H. PRETZCH, H. J. HEKHUIS, A. FRANC (eds). IBN Science Contribution, Vol. 15, pp. 742 208-218.
- PELIKKA P., JÄRVENPÄÄ E. (2013): Forest stand characteristics and wind and snow induced forest damage in boreal forest. In: B. RUCK (ed): *Proceedings of the International Conference on Wind Effects on Trees*, 16-18 September, 2003, Karlsruhe, Germany, 269-276 pp.
- POLENO Z., VACEK S. et al. (2007): Teoretická východiska pěstování lesů II. Kostelec nad Černými lesy, *Lesnická práce* (in Czech)
- SEIDL R., SCHELHAAS M., LEXER M. (2011): Unraveling the drivers of intensifying forest disturbance regimes in Europe. *Global Change Biology* 17: 2842-2852.
- TEUFFEL, K. et al. (2004): Present distribution of secondary Norway spruce in Europe. In: *Norway spruce conversion - options and consequences*. H. SPIECKER, et al. (eds). European Forest Institute Research Report, Leiden, Boston, Brill. 164, 63-96.
- VICENA I. (1964): Ochrana proti polomům. 1. vyd. Praha, Státní zemědělské nakladatelství, 178 p. (in Czech)

## Acknowledgements

Authors are indebted to the local forester Jiří Bína for providing full and detailed documentation about the occurrence of disasters from studied area. This work was supported by the Ministry of Agriculture of the Czech Republic, institutional support MZE-RO0118 and the National Agency of Agricultural Research (Project No. QK1810443).



## OSCILACE HYDROKLIMATICKÝCH CHARAKTERISTIK MALÉHO LESNÍHO POVODÍ VE VTAHU KE KLIMATICKÉMU A HYDROLOGICKÉMU SUCHU

### OSCILLATION OF HYDRO-CLIMATIC CHARACTERISTICS IN SMALL FORESTED CATCHMENT FROM CLIMATIC AND HYDROLOGICAL DROUGHT POINTS OF VIEW

Vladimír Černohous, František Šach, Dušan Kacálek\*, Jitka Richterová

Výzkumná stanice v Opočně, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti ve Strnadlech, Na Olivě 550, ČR

\*corresponding author: kacalek@vulhmop.cz

#### Abstract

*This study dealt with 10-year and 25-year lasting periods of oscillating hydro-climatic characteristics such as air temperature, atmospheric precipitation, catchment runoff and sum of total evapotranspiration and groundwater recharge. Short-term mass curves of precipitation, runoff and air temperatures showed a break-point response to drought after 2013; precipitation and runoff decreased, temperature increased and total evapotranspiration with groundwater recharge did not change. Long-term oscillations showed also decreased precipitation and runoff, increased air temperature and no trend in sum of evapotranspiration and groundwater recharge.*

**Keywords:** forested catchment; drought; hydrologic budget; water loss trends; Orlické hory Mts.

#### Abstrakt

*Příspěvek se zabývá 10letými a 25letými periodami oscilací hydroklimatických charakteristik jako teplota vzduchu, ovzdušné srážky, odtok z povodí a suma celkového výparu s odtokem vody do hydrogeologických struktur. Podle krátkodobých součtových čar pro srážky, odtoky a teploty vzduchu reagovaly hydroklimatické poměry náhlou změnou na projevy sucha po roce 2013; srážky a odtoky poklesly, teploty růstly, celková evapotranspirace s odtoky do hydrogeologických struktur se nezměnila. Také dlouhodobé řady ukázaly pokles srážek a odtoků, nárůst teplot vzduchu a evapotranspiraci s odtokem do hydrogeologických struktur bez výrazného trendu.*

**Klíčová slova:** lesní povodí; sucho; hydrologická bilance; trendy úbytku vody; Orlické hory

#### Úvod a problematika

Dlouholeté trendy hydroklimatických prvků – teplot vzduchu, atmosférických srážek a soustředěného odtoku ve vodoteči – byly na studovaném malém povodí U Dvou louček (UDL) v Orlických horách již představeny v publikaci ŠACH et al. (2018). Vzhledem k výkyvům klimatu (oteplování) je účelné provést posouzení současného vývoje hydroklimatických prvků za dobu 2014 – 2018 se stejně dlouhým předchozím obdobím 2009 – 2013, a to s cílem poznání krátkodobějších trendů soudobých výkyvů. Ty mohou mít v řádu jednotek let větší význam pro hydropedologické a následné růstové poměry lesa v krajině než déle trvající trendy v řádu desítek let.

#### Materiál a metodika

##### *Místo výzkumu*

Malé lesní povodí UDL se nachází ve vrcholové partii Orlických hor (Česká republika, 50.2200417N, 16.4966722E). Nadmořská výška povodí je 880 m až 950 m, průměrná výška podle hypsografické křivky činí 922 m n. m. Průměrné roční srážky a teploty za období 1996 až 2016 činí 1 273 mm a 4,8°C. Povodí je vějířovité, má délku rozvodnice 2 290 m a délku údolnice 530 m. Rozloha povodí činí 32,6 ha. Povodí vykazuje proměnlivý sklon, v dolní části 7,5°, ve střední 8,5° a v horní 4,3°. Průměrný sklon vypočtený z průběhu vrstevnic je 6,4°. Údolnice má sklon 5,4°.

Jihozápadní expozice povodí přechází v okrajových částech v jihovýchodní a západní. Vodoteč odvodňující povodí je tvořena dvěma rameny. Pravé je 340 m dlouhé a má sklon 5,9°, levé rameno o sklonu 5,3° je dlouhé 300 m. Na podkladu rul a svoru se v povodí vyvinuly půdy typu kambizem, humusový podzol a rašelinná půda. Čtvrtina rozlohy povodí je ovlivněna vysokou hladinou podzemní vody (protékající voda a prameniště). Trvalé zamokření se vyskytuje na 5,5 ha, dočasné zamokření v letním půlroku nepřekračuje výměru 5 ha. Mimo období zamokření půdního profilu se objemová vlhkost půdy pohybuje od 30 do 60 %. V zimním půlroku je půdní profil nasycen vodou na polní kapacitu v celém povodí. Plocha vzrostlého buk-smrkového (*Fagus sylvatica* – *Picea abies*) porostu (průměrný věk 80 let) činila v roce 1991 6,8 ha (21 % plochy) a do roku 2018 vlivem dalšího rozpadu smrkových ekosystémů poklesla na 3,4 ha (10,5 %). Zbývající plocha povodí je bývalou imisní holosečí s různověkou smrkovou tyčkovinou (44 % plochy s věkem 12 – 26 let) až tyčovinou (42,5 % plochy s věkem 27 – 32 let) o střední výšce okolo 15 m. Cestní síť v povodí má hustotu 62 m.ha<sup>-1</sup> a je tvořena zemními odvozními a přibližovacími cestami. Odvodňovací opatření, sledující obnovení funkčnosti existující sítě vodních toků a podchycení odtoku z pramenišť a bezodtokových míst, se uskutečnilo na ploše větší než 2 ha. Délka 60 až 80 cm hlubokých, ručně kopaných, odvodňovacích příkopů přitom dosáhla ca 500 m.

#### **Získávání, zpracování a hodnocení dat**

K získávání vstupních dat charakterizujících vodní režim půd a odtokový režim povodí se měří srážky osmi staničními srážkoměry a dvěma ombrografy napojenými na automatickou meteostanici. Zjišťovány jsou i další charakteristiky pedoatmosféry. Průtok ve vodoteči je kontinuálně sledován od léta 1990. Sledován je také látkový tok ve vodoteči a v porostních srážkách. V zimním období jsou intervalově i kontinuálně sledovány výška, objemová hmotnost a vodní ekvivalent sněhové pokrývky. Hodnocené hydroklimatické charakteristiky vychází ze zjednodušené rovnice vodní bilance:

$$HS - Q_c - (IET + Q_{gr}) = 0 \text{ [mm]}$$

Kde HS jsou atmosférické srážky na povodí představující vstupní položku bilance, zatímco výstupními položkami jsou:  $Q_c$  jako odtok z povodí v závěrečném profilu, IET jako suma intercepce, evaporace a transpirace a  $Q_{gr}$  jako odtok vody do mělkých (zvětralinový plášť „ortorul“) i hlubších (systém puklin v pevném horninovém podloží) hydrogeologických struktur, které můžeme označit také jako zvodně.

Vývoj teplot vzduchu, atmosférických srážek, soustředěného odtoku ve vodoteči a celkového výparu včetně perkolace do hydrogeologických struktur, tzv. ztrát (Tab. 1) za současné období (2014 – 2018) byl porovnán se stejně dlouhým obdobím předchozím (2009 – 2013). Komparace dvou pětiletých oscilací byly provedeny pomocí krátkodobých trendů (ŠVIHLA et al. 2016). Pro studované povodí UDL byly také nově prezentovány doplněné dlouhodobé pětadvacetileté trendy hydroklimatických prvků (1993 – 2018). Statistická analýza trendů byla provedena ve statistickém systému UNISTAT 5 prostřednictvím testu shody regresních přímek na hranici spolehlivosti 95 %. Nulová hypotéza konstatovala, že regrese lineárních trendů jsou identické. Alternativní hypotéza, že regrese lineárních trendů nejsou identické, byla přijímána na hladině významnosti  $P \leq 0,05$ .

**Tab. 1:** Klimatickohydrologické prvky na povodí U Dvou louček v hydrologických letech vlhčích 2009 – 2013 a navazujících sušších 2014 – 2018 (celkové srážky, odtok a ztráty v mm, průměrná teplota vzduchu ve °C)

**Tab. 1:** Climatic and hydrologic components in the U Dvou louček catchment during wetter 2009 – 2013 water years and following dryer 2014 – 2018 ones (total precipitation, runoff and losses in mm, mean air temperature in °C)

Srážky / Precip.		Odtok / Runoff		Teplota / Air Temper.		Ztráty / Losses	
2009-2013	2014-2018	2009-2013	2014-2018	2009-2013	2014-2018	2009-2013	2014-2018
1420,5	1156,4	659,8	513,7	4,7	6,0	760,7	642,7
1569,0	1080,3	859,5	428,1	3,9	5,7	709,5	652,2
1386,7	1323,5	628,0	478,4	4,6	5,9	758,7	845,1
1449,5	1394,0	914,8	519,4	4,6	4,9	534,7	874,6
1521,8	995,7	900,7	577,8	4,1	6,0	621,1	417,9
$\Sigma$ 7347,5	$\Sigma$ 5949,9	$\Sigma$ 3962,8	$\Sigma$ 2517,4	$\Sigma$ 21,9	$\Sigma$ 28,5	$\Sigma$ 3384,7	$\Sigma$ 3432,5
Ø 1469,5	Ø 1190,0	Ø 792,6	Ø 503,5	Ø 4,4	Ø 5,7	Ø 676,9	Ø 686,5

## Výsledky a diskuse

Informace o hydroklimatu v hydrologických letech 2009 – 2013 a 2014 – 2018 podávají obr. 1 až 4 a Tab. 1. Vzájemný odstup srážek, odtoků a průměrných teplot vzduchu mezi oběma periodami ukázaly statistické testy shody regresních přímk trendů jako významný (obr. 1, 2, 4). Odstup čar celkového výparu IET včetně perkolace do hydrogeologických struktur byl mezi oběma periodami nevýznamný (obr. 3). Pozn. autorů: perkolace do hydrogeologických struktur v povodí UDL stojí za povšimnutí neboť dosahuje v průměru 17 % ročních efektivních, tj. porostních srážek).

Srážky za periodu 2014 – 2018 byly oproti periodě 2009 – 2013 nižší o 1398 mm, to je v průměru o 280 mm za hydrologický rok. Žádný hydrologický rok v pětiletí 2014 – 2018 nevykázal srážky vyšší než v pětiletí 2009 – 2013. Suma průměrných teplot vzduchu stoupla mezi oběma pětiletími z 21,9 °C na 28,5 °C, to je v průměru o 1,3 °C za hydrologický rok. Vývoj celkového výparu IET včetně perkolace do hydrogeologických struktur zůstal během desetileté řady měření v rámci variačního rozpětí 418 – 765 mm a interkvartilového rozpětí 631 – 722 mm v podstatě bez lomového bodu a žádnou tendenci vzestupnou ani sestupnou tento prvek neukázal (obr. 3). Suma odtoku ve vodoteči klesla mezi oběma pětiletími z 3 963 mm na 2 517 mm, to je v průměru o 289 mm ročně. (Tab. 1).

Jednoduché součtové čáry srážek, odtoků, teplot vzduchu a celkového výparu IET s perkolací do hydrogeologických struktur (obr. 1 až 4) svými zlomy označují významné změny trendů mezi obdobími 2009 – 2013 a 2014 – 2018. Indikují pokles srážek a odtoků, vzestup teplot vzduchu a beztrendovost oscilací celkového výparu včetně perkolace do hydrogeologických struktur.

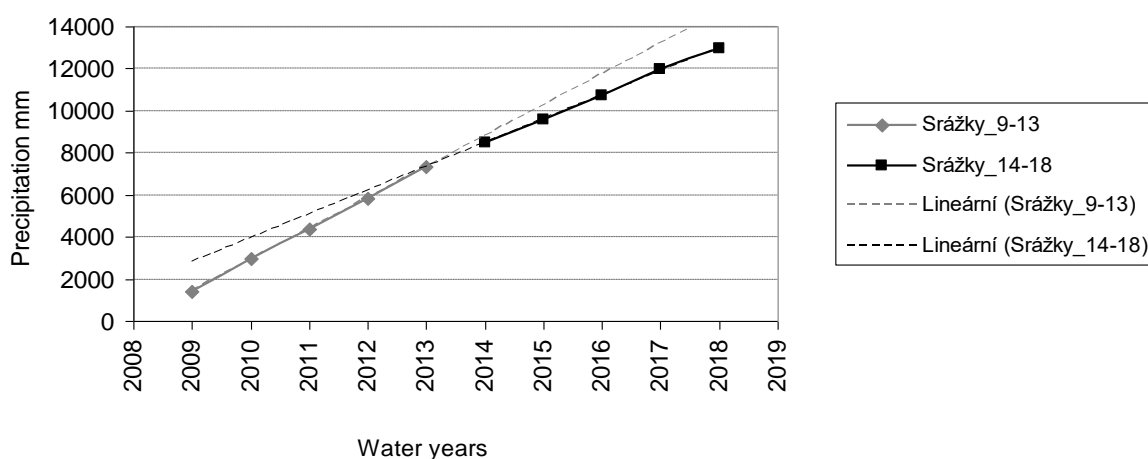
Při komparaci s jinými pracemi můžeme konstatovat, že naše výsledky dobře zapadají do nejvýznamnějších prací ohledně sucha v krajině (FANTA, PETŘÍK et al. 2014, KRAJSKÝ ÚŘAD JIHMORAVSKÉHO KRAJE 2016, ČHMÚ 2018). Práce potvrzují vzestup teplot vzduchu, ale i snižování odtoků. Zatímco naše měření prokázala dlouhodobější mírný pokles srážek, práce FANTA, PETŘÍK et al. 2014 zmiňuje mírné zvýšení ročního srážkového úhrnu oproti standardnímu období 1961–1990. To ovšem neplatí o suché periodě 2014 – 2018 (ČHMÚ 2018). Na rozdíl od našich výsledků ohledně poklesu srážek, uvádí publikace FANTA, PETŘÍK et al. (2014) celorepublikové mírné zvýšení srážek za posledních 20 let, ale současně i vyšší

výpar a proto poklesávající odtok. Naproti tomu horské poměry našich šetření výpar limitují delším obdobím nižších teplot, proto při nižších srážkách ubývá i odtok.

Výkyvy klimatu (oteplování) bylo vzhledem k přírodnímu vývoji účelné hodnotit v rámci co nejdelšího období (ŠACH et al. 2018). Současně však bylo smysluplné porovnat aktuální vývoj hydroklimatických prvků za nejbližší kratší periodu 2014 – 2018 (suché období shodující se v podstatě s prací ČHMÚ 2018) se stejně krátkou periodou předchozí 2009 – 2013. Cílem poznání krátkodobých trendů bylo ohodnotit význam soudobých výkyvů, které se již projeví chřadnutím lesních dřevin zejména jehličnanů s následným napadením podkorním hmyzem. Oscilace v řádu jednotek let tak ukázaly větší význam pro hydrologické a následné růstové poměry lesa v krajině než oscilace v řádu desítek let. Pokles srážek a odtoků, vzestup teplot vzduchu a bez výrazného trendu oscilací celkového výparu včetně perkolace do hydrogeologických struktur indikuje budoucí krátkodobý výhled konzistentně s dlouhodobým. Dlouhodobý vývoj (obr. 5 až 10) v kratších oscilacích během 25 let (1993 – 2018) rovněž směřoval k nárůstu teplot a poklesu srážek a odtoků. Obdobné bylo rovněž kolísání IET včetně perkolace do hydrogeologických struktur bez významné rozdílnosti trendů. Dlouhodobé lineární trendy lze však přijímat jen jako orientační, protože exaktně nepředstavují průběh hydroklimatických prvků vzhledem k silnému ovlivnění počátečními a koncovými hodnotami.

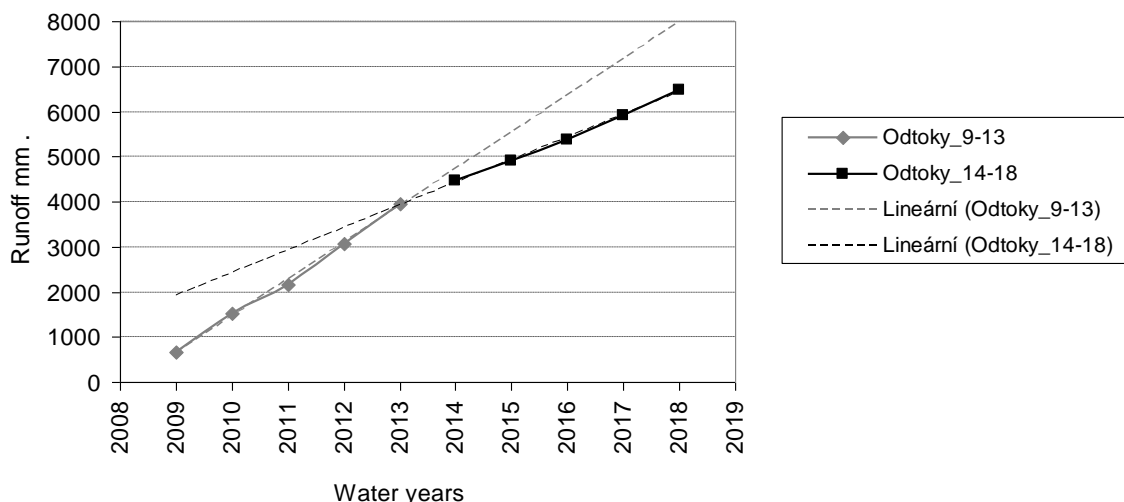
## Závěr

V následujících letech bude žádoucí adekvátně vývoji teploty vzduchu, atmosférických srážek a odtoků z povodí ve vodoteči přizpůsobovat druhovou skladbu a strukturu lesních porostů v rámci krajiny (KACÁLEK et al. 2017, 2018, NOVÁK et al. 2017). Cílem bude udržení dostupnosti vláhy pro mízní tok a transpirační proud dřevin v lesních porostech při současném zabezpečení dostatečných odtoků jak ve vodotečích, tak do hydrogeologických struktur akumulujících hloubkové podzemní vody.



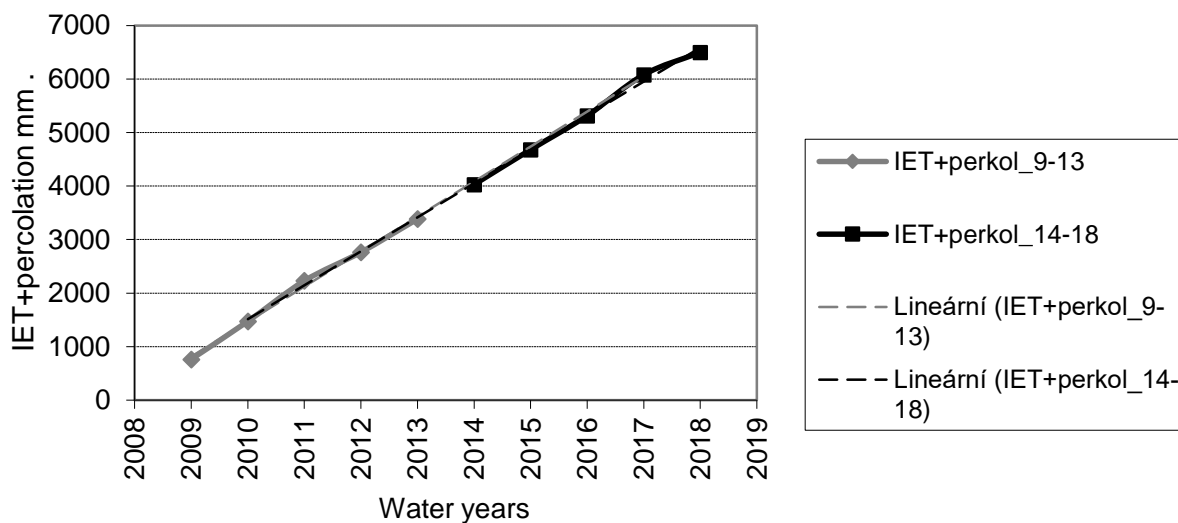
**Obr. 1:** Součtová čára srážek na povodí UDL pro hydrologické roky 2009 až 2018; zlom součtové čáry indikuje pokles srážek v období po roce 2013 (nulová hypotéza, že regrese lineárních trendů jsou identické, se s pravděpodobností  $p = 0,0000$  zamítá)

**Fig. 1:** Mass curve of precipitation on the UDL catchment in 2009 – 2018 water years; the break of mass curve indicates precipitation decrease during period after 2013 (linear trends are not identical on significance level of  $p = 0.0000$ )



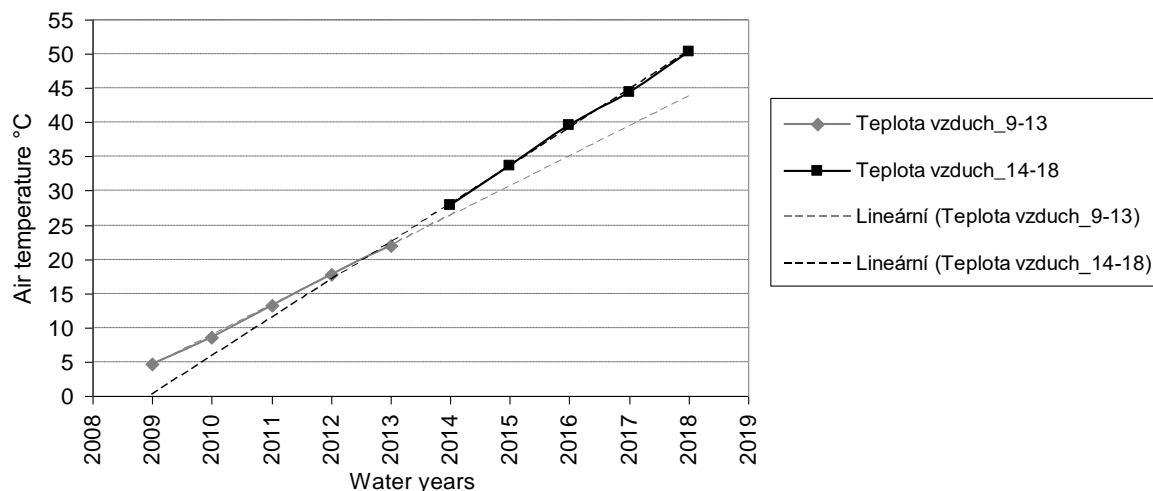
**Obr. 2:** Součtová čára odtoků z povodí UDL pro hydrologické roky 2009 až 2018; zlom součtové čáry indikuje pokles odtoků v období po roce 2013 (nulová hypotéza, že regrese lineárních trendů jsou identické, se s pravděpodobností  $p = 0,0000$  zamítá)

**Fig. 2:** Mass curve of runoff from the UDL catchment in 2009 – 2018 water years; the break of mass curve indicates runoff decrease during period after 2013 (linear trends are not identical on significance level of  $p = 0.0000$ )



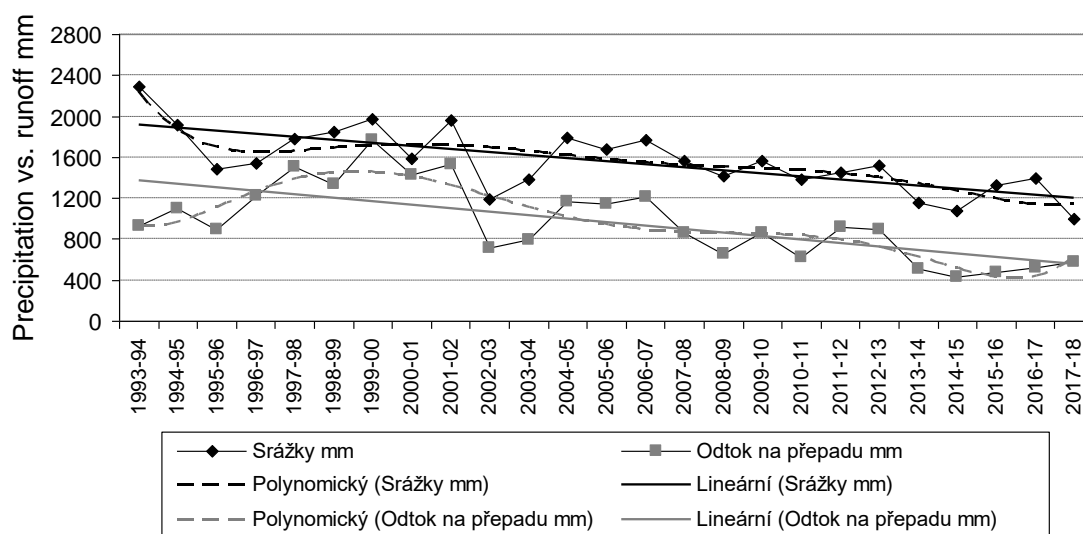
**Obr. 3:** Součtová čára celkového výparu včetně perkolace do hydrogeologických struktur v povodí UDL pro hydrologické roky 2009 až 2018; sumy výparu a odtoku do hydrogeologických struktur nereagovaly na změny srážek, odtoků a teplot (nulovou hypotézu, že regrese lineárních trendů jsou identické, nelze s pravděpodobností  $p = 0,3660$  zamítnout)

**Fig. 3:** Mass curve of vaporization including percolation into hydrogeology structures on the UDL catchment in 2009 – 2018 water years; the total vaporization including percolation did not response changes of precipitation, runoff and air temperature (linear trends are identical on significance level of  $p = 0.3660$ )



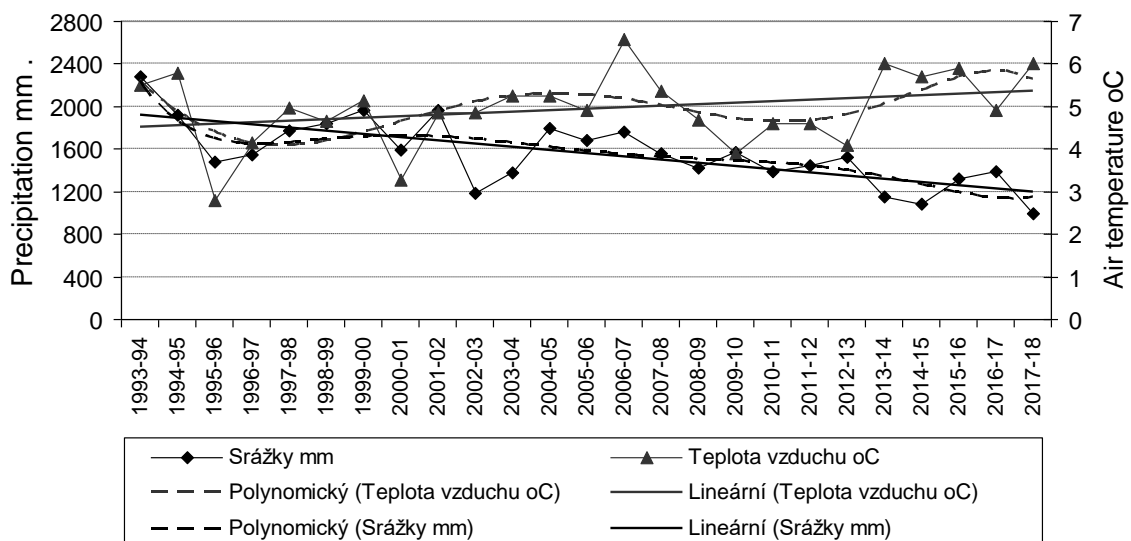
**Obr. 4:** Součtová čára průměrné teploty vzduchu v povodí UDL pro hydrologické roky 2009 až 2018; zlom součtové čáry indikuje zvýšení teplot v období po roce 2013 (nulová hypotéza, že regrese lineárních trendů jsou identické, se s pravděpodobností  $p = 0,0000$  zamítá)

**Fig. 4:** Mass curve of air temperature on the UDL catchment in 2009 – 2018 water years; the break of mass curve indicates air temperature increase during period after 2013 (linear trends are not identical on significance level of  $p = 0.0000$ )



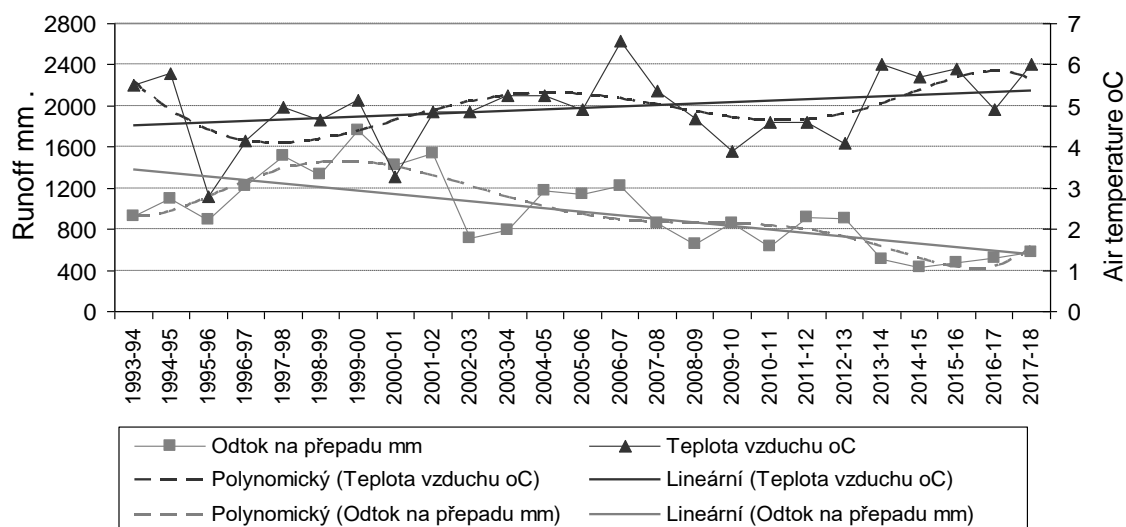
**Obr. 5:** Trendy oscilací srážek a odtoků na experimentálním povodí UDL v hydrologických letech 1994 až 2018 (lineární trendy jsou identické na hladině významnosti  $p = 0,0609$ )

**Fig. 5:** Trends of precipitation and runoff oscillations on the experimental UDL catchment in 1994 – 2018 water years (linear trends are identical on significance level of  $p = 0.0609$ )



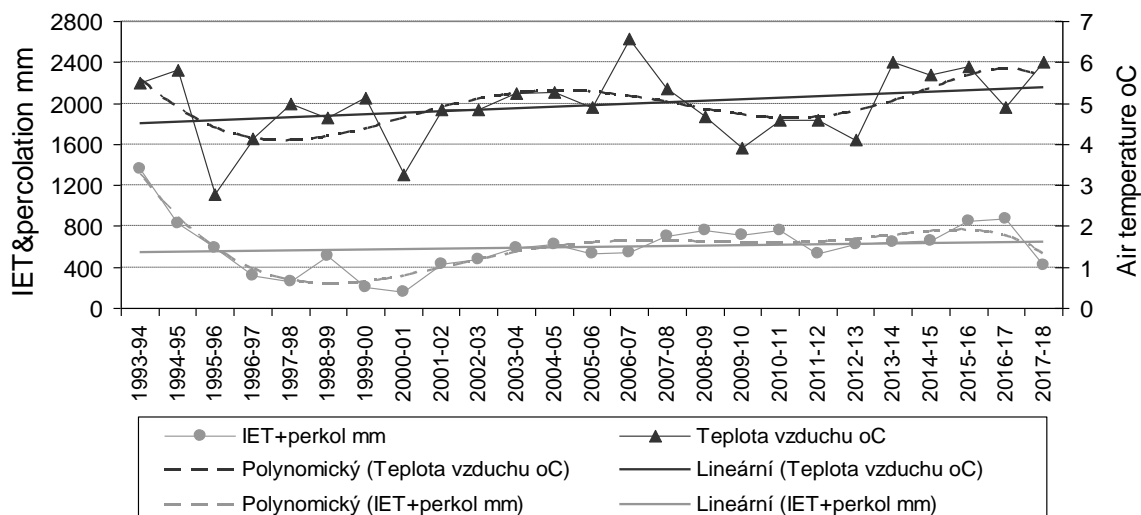
**Obr. 6:** Trendy oscilací teplot vzduchu a srážek na experimentálním povodí UDL v hydrologických letech 1994 až 2018 (lineární trendy nejsou identické na hladině významnosti  $p = 0,0001$ )

**Fig. 6:** Trends of air temperature and precipitation oscillations on the experimental UDL catchment in 1994 – 2018 water years (linear trends are not identical on significance level of  $p = 0.0001$ )



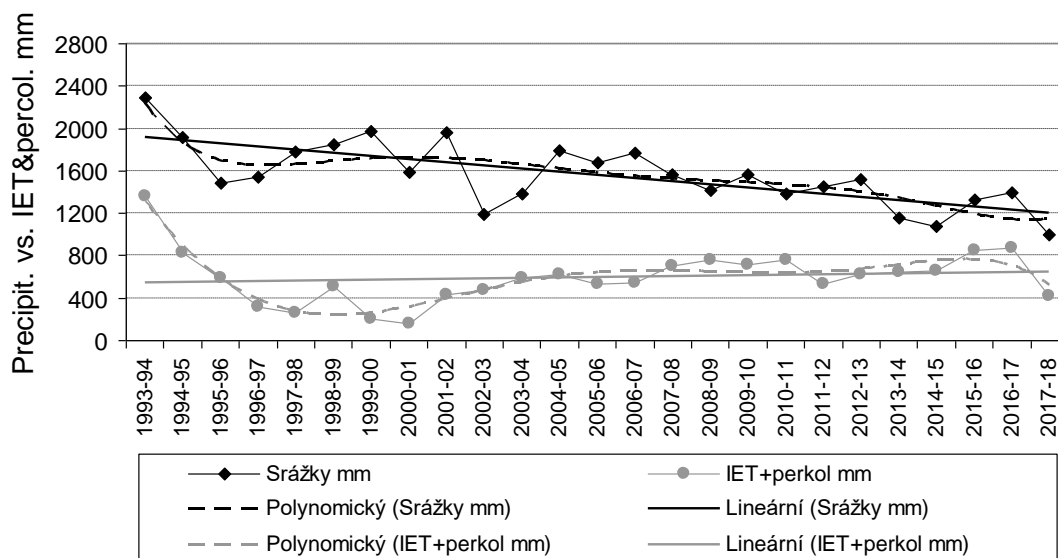
**Obr. 7:** Trendy oscilací teplot vzduchu a odtoků na experimentálním povodí UDL v hydrologických letech 1994 až 2018 (lineární trendy nejsou identické na hladině významnosti  $p = 0,0000$ )

**Fig. 7:** Trends of air temperature and runoff oscillations on the experimental UDL catchment in 1994 – 2018 water years (linear trends are not identical on significance level of  $p = 0.0000$ )



**Obr. 8:** Trendy oscilací teplot vzduchu a celkového výparu IET s perkolací do hydrogeologických struktur na experimentálním povodí UDL v hydrologických letech 1994 až 2018 (lineární trendy jsou identické na hladině významnosti  $p = 0,9907$ )

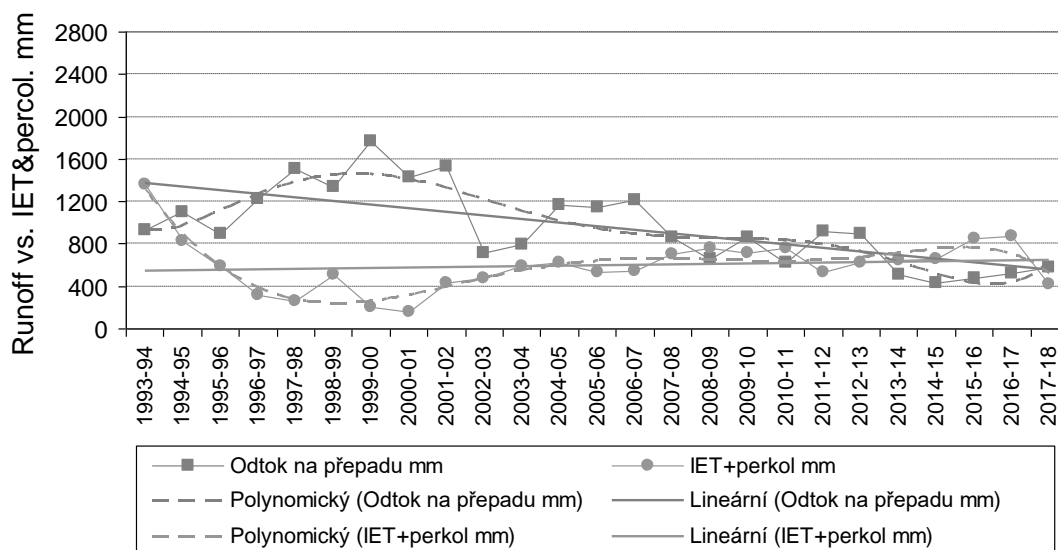
**Fig. 8:** Trends of air temperature and total vaporization including percolation into hydrogeologic structure oscillations on the experimental UDL catchment in 1994 – 2018 water years (linear trends are identical on significance level of  $p = 0.9907$ )



**Obr. 9:** Trendy oscilací srážek a IET s perkolací na experimentálním povodí UDL v hydrologických letech 1994 až 2018 (lineární trendy nejsou identické na hladině významnosti  $p = 0,0323$ )

**Fig. 9:** Trends of precipitation and total vaporization including percolation into hydrogeologic structure oscillations on the experimental UDL catchment in 1994 – 2018 water years (linear trends are not identical on significance level of  $p = 0.0323$ )





**Obr. 10:** Trendy oscilací odtoků a IET s perkolací na experimentálním povodí UDL v hydrologických letech 1994 až 2018 (lineární trendy nejsou identické na hladině významnosti  $p = 0,0030$ )

**Fig. 10:** Trends of runoff and total vaporization including percolation into hydrogeologic structure oscillations on the experimental UDL catchment in 1994 – 2018 water years (linear trends are not identical on significance level of  $p = 0.0030$ )

## Literatura

- ČHMÚ. *Suché období 2014-2017: vyhodnocení, dopady a opatření*. 1. vyd. Praha, Český hydrometeorologický ústav 2018. 88 s.
- FANTA J., PETŘÍK P. (eds.). *Povodně a sucho: krajina jako základ řešení*. Sborník příspěvků ze seminářů komise pro životní prostředí Akademie věd ČR konaných ve dnech 8. října 2013 a 5. června 2014. Praha-Průhonice, Botanický ústav Akademie věd ČR 2014. 133 s.
- KACÁLEK D. et al. *Meliorační a zpevňující funkce lesních dřevin*. [Soil improving and stabilising functions of forest trees]. Zprac. Kacálek D., Mauer O., Podrázský V., Slodičák M. a kol. Spolupracovali: Houšková K., Špulák O., Souček J., Novák J., Jurásek A., Leugner J., Dušek D. Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti v nakladatelství Lesnická práce 2017. 300 s. – ISBN 978-80-7458-102-1 (Lesnická práce); 978-80-7417-148-2 (VÚLHM)
- KACÁLEK D., LEUGNER J., JURÁSEK A. Nové poznatky o meliorační a zpevňující funkci lesních dřevin. [New knowledge on soil improving and stabilizing function of forest tree species]. In: *Moderní školkařské technologie a jejich využití v lesnictví. III. Současné trendy v umělé obnově lesa*. Sborník příspěvků z celostátního semináře. Hrubá Voda 29. – 30. května 2018. Sest. P. Martinec. Tečovice, Sdružení lesních školkařů ČR 2018, s. 27-31. – ISBN 978-80-906781-2-5
- KRAJSKÝ ÚŘAD JIHMORAVSKÉHO KRAJE. *Sucho v krajině*. Brno, Asociace pro vodu v krajině ČR 2016. 88 s.
- NOVÁK J., HLÁSNÝ T., MARUŠÁK R., DUŠEK D., SLODIČÁK M. *Využití dubů při adaptaci lesů ČR na změnu klimatu - pěstování a hospodářská úprava lesa*. Certifikovaná metodika. Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti 2017. Certifikované metodiky pro praxi. Lesnický průvodce, ISSN 0862-7657; 11/2017. 49 s.

ŠACH F., ČERNOHOUS V., ERBANOVA E., KACÁLEK D. Trend zátěže dusíkem postihující zájmovou oblast Orlických hor. [Trend of nitrogen load affecting the special-interest region of the Orlické Hory Mts.]. *Zprávy lesnického výzkumu*, 2018, 63 (3): 222-235.

ŠVIHLA V., ŠACH F., ČERNOHOUS V. Vliv holých sečí či rychlého velkoplošného rozpadu lesa na celkový odtok za vegetační období. [Influence of clearcuttings of impact of rapid broad disintegration of a forest on total run-off by growing seasons]. *Zprávy lesnického výzkumu*, 2016, 61 (2):138-144.

### Poděkování

Výsledek vznikl za podpory Ministerstva zemědělství, institucionální podpora MZE-RO0118 a z podpory výzkumu a vývoje z veřejných prostředků MZe projektu NAZV QK1810415 „Vliv dřevinné skladby a struktury lesních porostů na mikroklima a hydrologické poměry v krajině“.

### Summary

25-year trends of air temperature, atmospheric precipitation and streamflow in small forested catchment U Dvou louček (UDL) (Czech Republic, 50.2200417N, 16.4966722E) have been presented by Šach et al. (2018). Given the proved climatic oscillation (warming), there was also a need to compare shorter hydro-climatic trend in 2014 – 2018 (see also following period) with preceding 2009 – 2013 period (see Švihla et al. 2016). These relatively quick changes were supposed to impact on soil and growing conditions even more than decades-lasting trends. The UDL mean altitude is 922 m a. s. l. The fantail catchment area with 2,290 m water parting and 530 m valley line lengths totals 32.6 ha. The slopes were 7.5° in lower part and 8.5° in middle part to 4.3° in upper part of the UDL catchment; mean slope based on contour lines is 6.4° and valley line slope is 5.4°. S-W aspect turns into S-E and W aspects in marginal parts. The UDL catchment is drained via two-channel stream. The right channel is 340 m long with slope of 5.9 degrees, the left one is 300 m long with slope of 5.3°. One quarter of the UDL area is affected by non-stagnating high groundwater table level. Permanent waterlogging occurs within 5.5 ha, other 5-ha part experiences a temporary waterlogging in summer half-year. In non-waterlogged conditions, volume soil moisture ranges 30 – 60%. In winter half-year, the soil is saturated to field capacity within the all UDL catchment. 80-year-old spruce with beech forest had covered 6.8 ha (21% of catchment area) in 1991 before being affected by gradual decline of spruce which resulted in 3.4 ha (10.5% of catchment area) in 2018. The catchment is mostly covered with young spruce small-pole (44%) and pole (42.5%) stages stands within the former clearing due to air pollution. Hauling and skidding roads density is 62 m.ha<sup>-1</sup>. Five hundred meters long drainage ditches were dug out in order to restore stream function, to concentrate runoff from head-water areas and to prevent waterlogging within 2 ha of the catchment area. Presented hydro-climatic characteristics are based on simple water budget equation:  $P - Q_c - (IET + Q_{gr}) = 0$  [mm], where P is precipitation in the catchment, Q<sub>c</sub> is water flow from the catchment, IET is sum of interception, evaporation and transpiration and Q<sub>gr</sub> is water flow into both shallow (loose weathered gneiss) and deeper (consolidated gneiss fissures) hydrogeological structures i.e. aquifers. In period of 2014 – 2018 precipitation decreased by 1,398 mm compared to preceding 5-year period which was a mean difference of 280 mm per hydrological year. None of 2014 – 2018 hydrological years showed precipitation exceeding those of 2009 – 2013

hydrological years (Tab. 1, Fig. 1). Sum of streamflow runoff decreased from 3,963 mm in 2009 – 2013 years to 2,517 mm in the following 5-year period, which is a mean decrease amounting 289 mm annually (Fig. 2). Total vaporization (IET) plus hydrogeological aquifer recharge outputs remained within 418 – 765 mm range and interquartile range of 631 – 722 mm showing no break-point of trend over 10 years (Fig. 3). Sum of mean air temperature values increased from 21.9 °C in preceding 5-year period to 28.5 °C in the following 5-year period, which is in average 1.3 °C per hydrological year (Fig. 4). The following 5-year trends of hydro-climatic characteristics indicated a shift to warmer and drier conditions compared to preceding 5-year period. The site is naturally both cooler and wetter which was reflected in no significant effect on sum of IET and percolation into hydrogeological aquifers. Therefore we need not be worried about water available for transpiration nor groundwater recharge. Long-term linear trends (see Figs. 5 – 10) showed similar development as the short ones. The longer trend the greater bias due to initial and terminal values. The management goal is to retain enough water for forest use and also to maintain runoff both in streams and into both shallow and deeper underground storage.



Název: Proceedings of Central European Silviculture

Editoři: Kateřina Houšková, David Jan

Vydavatel: Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno

Tisk: Vydavatelství Mendelovy univerzity v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno

Vydání: první, 2019

Počet stran: 315

Náklad: 120 ks

ISBN 978-80-7509-669-2