

# Zborník z konferencie

 **LIGNO  
SILVA** | 2021



28. 9. 2021  
Zvolen

## **ZBORNÍK ODBORNÝCH PRÁC Z KONFERENCIE – LIGNOSILVA 2021**

Názov: LignoSilva 2021

Zostavovatelia:

RNDr. Slávka Tóthová, PhD.

Ing. Tomáš Gergeľ, PhD

Redakčná rada:

Dr. Ing. Tomáš Bucha

RNDr. Slávka Tóthová, PhD.

Ing. Štefan Boháček, PhD.

Vydavateľ: Národné lesnícke centrum - Lesnícky výskumný ústav

Technická úprava: Ing. Tomáš Gergeľ, PhD.

Grafická úprava: Ing. Vojtěch Ondrejka, PhD.

Tlač: Národné lesnícke centrum

Náklad: 60 ks

Rozsah: 195 strán

Rok vydania: 2021

Vydanie: Prvé

Rukopis neprešiel jazykovou úpravou.

©Národné lesnícke centrum, Zvolen 2021

ISBN 978-80-8093-327-2



Národné lesnícke centrum - Lesnícky výskumný ústav  
Výskumný ústav papiera a celulózy a.s.  
a  
Odbor lesníctva Slovenskej akadémie pôdohospodárskych vied

## LIGNOSILVA 2021

ZBORNÍK Z KONFERENCIE

Zvolen  
28. september 2021



EURÓPSKA ÚNIA  
Európsky fond regionálneho rozvoja  
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



MINISTERSTVO  
DOPRAVY A VÝSTAVBY  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

## Obsah

<b>Úvodné slovo .....</b>	<b>5</b>
<b>Výskumná infraštruktúra budovaná v rámci projektu centra excelentnosti LignoSilva v areáli BZ Stráž .....</b>	<b>7</b>
<i>Tomáš Gergel, Tomáš Bucha, Vojtěch Ondrejka</i>	
<b>LignoSilva medzi príkladmi dobrej praxe prestížnej medzinárodnej siete Rosewood 4.0.....</b>	<b>15</b>
<i>Ingrid Kriššáková, Vojtěch Ondrejka, Tomáš Gergel</i>	
<b>Schopnosť dezintegrovaného mladého dreva zadržiavať vodu.....</b>	<b>22</b>
<i>Michal Halaj, Štefan Boháček, Vladimír Ihnát</i>	
<b>Hodnotenie efektov modifikácie povrchu celulózových vlákien a papiera.....</b>	<b>29</b>
<i>Juraj Gigac, Mária Fišerová</i>	
<b>Experimentálne využitie drevného popola v lesoch SR.....</b>	<b>35</b>
<i>Slávka Tóthová, Marián Slamka, Danica Krupová</i>	
<b>Zmeny pH v pôde po aplikácii drevného popola.....</b>	<b>41</b>
<i>Danica Krupová, Ružena Kršiaková, Slávka Tóthová</i>	
<b>Metodika stanovenia chemických vlastností drevného popola .....</b>	<b>46</b>
<i>Ružena Kršiaková, Danica Krupová, Slávka Tóthová</i>	
<b>Udržateľnosť funkcií lesných pôd: ohrozenia a riešenia .....</b>	<b>52</b>
<i>Pavel Pavlenda</i>	
<b>Metodické aspekty zisťovania obsahu živín v lesných pôdach pre hodnotenie ich udržateľného využívania..</b>	<b>59</b>
<i>Danica Krupová, Pavel Pavlenda</i>	
<b>Klimatické trendy a monitoring rastovej reakcie drevín na Kysuciach .....</b>	<b>66</b>
<i>Zuzana Sitková, Ivan Barka</i>	
<b>Možnosti využitia radarových dát sentinel-1 pri klasifikácii poškodenia lesov .....</b>	<b>75</b>
<i>Tomáš Bucha, Ivan Barka, Bohdan Konôpka</i>	
<b>Satelitné monitorovanie zdravotného stavu lesov slovenska .....</b>	<b>84</b>
<i>Ivan Barka, Tomáš Bucha</i>	
<b>Zhodnotenie produkčného potenciálu vybraných listnatých introdukovaných drevín.....</b>	<b>93</b>
<i>Martin Slávik, Igor Štefančík</i>	
<b>Identifikácia a využitie jedincov jaseňa s predispozíciou odolnosti voči hromadnému chradnutiu .....</b>	<b>99</b>
<i>Valeria Longauerová, Roman Longauer, Andrej Kunca, Milan Zúbrik</i>	
<b>Vplyv dedičnej podmienenosti jaseňa na zmenu stanovištných podmienok .....</b>	<b>107</b>
<i>Roman Longauer, Valeria Longauerová, Róbert Ondrejčík</i>	

<b>Overenie vhodnosti semenného sadu Políčko .....</b>	<b>115</b>
<i>Vladimír Mačejovský, Roman Longauer</i>	
<b>Porovnanie produkčných vlastností brezy previsnutej a smreka obyčajného v mladom rastovom štádiu na pokalamitnom území.....</b>	<b>121</b>
<i>Bohdan Konôpka, Jozef Pajtík</i>	
<b>Modul pre výpočet nájomného za lesné pozemky ako príklad interaktívneho prvku systému na podporu rozhodovania .....</b>	<b>127</b>
<i>Ladislav Kulla</i>	
<b>Možné dôsledky zmeny klímy na vybrané ekosystémové služby lesa pri rôznych alternatívach manažmentu lesa .....</b>	<b>132</b>
<i>Vlastimil Murgaš</i>	
<b>Použitie vybraných systémov na podporu rozhodovania v manažmente lesov .....</b>	<b>140</b>
<i>Maroš Sedliak</i>	
<b>Mobilná aplikácia pre platformu <a href="http://www.skodcoviadrevin.sk">www.skodcoviadrevin.sk</a> na identifikáciu škodcov a zasielanie dotazov ..</b>	<b>144</b>
<i>Andrej Kunca, Milan Zúbrik, Christo Nikolov, Bohdan Konôpka, Valéria Longauerová, Marcel Dubec</i>	
<b>Internetová platforma <a href="http://www.skodcoviadrevin.sk">www.skodcoviadrevin.sk</a> na identifikáciu a mapovanie škodcov .....</b>	<b>149</b>
<i>Milan Zúbrik, Andrej Kunca, Christo Nikolov, Bohdan Konôpka, Valéria Longauerová, Marcel Dubec</i>	
<b>MAVYSK; nástroj na veľkoplošné mapovanie škodcov v lesoch Slovenska .....</b>	<b>156</b>
<i>Christo Nikolov, Milan Zúbrik, Andrej Kunca, Bohdan Konôpka, Valéria Longauerová,, Marcel Dubec</i>	
<b>Pozemné mobilné laserové skenovanie v inventarizácii lesa: Technológia, Aplikácia, Využitelnosť .....</b>	<b>161</b>
<i>Ivan Sačkov</i>	
<b>Detekcia vnútorných chýb guľatiny dreva pomocou CT skenerov.....</b>	<b>165</b>
<i>Vojtěch Ondrejka, Tomáš Gergel, Peter Veverka, Tomáš Bucha</i>	
<b>Impulzná tomografia ako nástroj kvalitatívneho hodnotenia kmeňa stromu .....</b>	<b>172</b>
<i>Miloš Gejdoš, Katarína Michajlová</i>	
<b>Produkcia drevného popola v procese energetického využitia drevnej biomasy a možnosti jeho znižovania</b>	<b>178</b>
<i>Marián Slamka, Slávka Tóthová, Milan Oravec, Tomáš Gergel</i>	
<b>Palivové drevné štiepky z porastov rýchlorastúcich drevín .....</b>	<b>184</b>
<i>Marián Slamka, Milan Oravec, Tomáš Gergel, Matej Schwarz, Slávka Tóthová</i>	
<b>Optimalizácia tokov drevnej suroviny na energetické využitie v modelovom území Banskobystrického a Žilinského kraja .....</b>	<b>190</b>
<i>Milan Oravec, Matej Schwarz, Marián Slamka</i>	

## ÚVODNÉ SLOVO

Vážené kolegyne, vážení kolegovia, milí hostia a priatelia,

som rád, že Vás môžem privítať a pozdraviť na novom podujatí na 1. ročníku konferencie LignoSilva 2021 za všetkých organizátorov, ktorými sú Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav, Výskumný ústav papiera a celulózy a. s. a Odbor lesníctva Slovenskej akadémie pôdohospodárskych vied. Zámerom organizátorov bolo koncipovať program konferencie tak, aby Vám priblížila prvé poznatky, ktoré riešitelia dosiahli pri riešení projektu Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva podporeného zo zdrojov Operačného programu Integrovaná infraštruktúra.

Ako prví dostanú priestor riešitelia z partnerskej organizácie projektu VÚPC a. s., ktorí odprezentujú oblasť recyklácie odpadového dreva, celulózo-papierenského spracovania dreva so zameraním na vývoj povrchovej úpravy papiera a využitie dendromasy pre výrobu 2G biopalív. Blok prezentácií doplnia príspevky zamerané na technológie energetického využitia dreva a jeho odpadu popola ako využiteľnej suroviny pre hnojenie lesných porastov Program ďalej avizuje prezentácie z oblasti udržateľnej produkcie dreva a ochrany lesa v podmienkach klimatickej zmeny a rozvoj systémov pre podporu mapovania a rozhodovania v manažmente lesov. Tretí blok prednášok prináša informácie o najnovších trendoch v zisťovaní stavu lesa s využitím mobilného laserového skenovania, radarových satelitných snímok a 3D skenovacích technológií pre detekciu chýb dreva so zameraním na optimalizáciu výťažku.

Ale ako stalo, že sme dnes tu? LignoSilva má svoj príbeh, ktorý sa začal písať – ako to už býva – písaním projektu. Ešte v roku 2014, do výzvy Horizon 2020 Widespread Teaming. Príbeh pokračoval prvým úspechom, keď sme v roku 2015 získali v konkurencii 164 projektov z celej Európy zdroje na vypracovanie biznis plánu. Vietor do plachiet sme dostali rozhodnutím Výskumnej agentúry, ktorá podporila infraštruktúrne vybudovanie centra s dobou riešenia 2017 – 2023. To, čo sme tak dlho chceli, sa stáva realitou a LignoSilva sa stáva centrom, ktoré integruje výskum, vývoj a inovačný potenciál lesnícko-drevárskeho sektora. Na dosah sú aj ciele, ktoré sme chceli – a to medziodborové synergie. Potreby jednotlivých odvetví produkcie, spracovania a využitia dreva prepájame do jedného spojitého reťazca.

Keď je niečo reťazec, tak je jasné, že pozostáva z mnohých článkov. Pre synergie je dôležité mať nielen dostatok článkov, ale mať ich zmysluplne previazané. CE LignoSilva ako organizačná jednotka NLC chce vytvárať spektrum komplexných inovácií a inovovaných produktov s vysokou pridanou hodnotou a významným ekologickým prínosom v oblasti vedeckého programu centra. Tými pomyselnými ohnivkami v reťazi je prevádzka prototypových liniek, technologické celky centra pre výskumné a demonštračné účely, na ktoré sú naviazané odborné stáže, tréningy a poradenstvo. Za mimoriadne dôležité v reťazi považujeme „železko“, ktoré bude kované za horúca, teda bude reflektovať všetko to, čo nás – náš výskum – zaujíma, živí, trápi a podnecuje. Tým železkom je pre nás odborná diskusia, ktorá je síce nehmotná, ale práve v nej je zdroj inšpirácie, pokroku, smerovania, ale aj zdroj pokory a rešpektu. Pravidelné konferencie sú pre nás železkom, ktoré sme nemohli neukovať. Lebo – nemožno Vás nestretnúť, nemožno bez Vás efektívne pracovať.

Podujatia plánujeme ako bienále a veríme, že si získajú záujem, ohlas a časom aj prestíž. 29 odborných príspevkov v zborníku z konferencie je výborným štartom. Som potešený Vašou účasťou a budem rád, ak spolu s informáciami od jednotlivých prednášajúcich využijete dnešné podnety v diskusii a pri formulovaní záverov z konferencie. Budem Vám vďačný za spätnú väzbu, aby sme mohli lepšie prispôbiť naše výskumné aktivity Vaším požiadavkám.

Už teraz som vďačný za Vašu pozornosť a svojim kolegom – organizátorom z CE LignoSilva, najmä Slávke Tóthovej, Tomášovi Gergeľovi a Vojtěchovi Ondřejkovi za zorganizovanie konferencie a za založenie, verím že peknej tradície.

Všetkým Vám želim úspešné rokovanie, a ďakujem za pozornosť.

Dr. Ing. Tomáš Bucha



## VÝSKUMNÁ INFRAŠTRUKTÚRA BUDOVANÁ V RÁMCI PROJEKTU CENTRA EXCELENTNOSTI LIGNOSILVA V AREÁLI BZ STRÁŽ

Tomáš Gergel', Tomáš Bucha, Vojtěch Ondrejka

### 1 Areál Biologickej základne Stráž vo Zvolene

Areál Biologickej základne Stráž spravuje (BZ Stráž) Národné lesnícke centrum (NLC) od šesťdesiatych rokov dvadsiateho storočia. Ide o približne osem hektárový areál (Obr. 1). Základňa bola budovaná priebežne za účelom pestovania semenáčikov lesných drevín veľkovýrobného charakteru. Boli vybudované rôzne typy pestovateľských plôch a prevádzkovaných niekoľko fóliovníkov. Technológia bola na tú dobu na vysokej úrovni automatizácie. V sedemdesiatych rokoch boli dobudované stavebné objekty troch výrobných hál, v ktorých prebiehalo uskladňovanie semien v klimatizovaných priestoroch a strojárska výroba lesných lanovkových dráh. Areál prešiel rekonštrukciou v roku 1996. Tá bola zameraná na modernizáciu vykurovania a požiarnej bezpečnosti. Opísaná výroba prebiehala až do roku 2003. Po skončení výroby ostal areál využívaný minimálne a boli v ňom uskutočňované len minimálne udržiavacie práce. Súčasťou areálu je vypestovaný dubový les s výnimočnou kvalitou z hľadiska výšky, priemeru a rovnosti stromov. Zámerom Národného lesníckeho centra je opäť investovať do areálu a oživiť jeho funkcie s ohľadom na dnešné potreby výskumu a vývoja v lesnícko-drevárskom sektore.



Obrázok 1. Letecká snímka areálu Národného lesníckeho centra – Biologická základňa stráž



## **2 Infraštruktúrny projekt - Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva**

Centrum excelentnosti LignoSilva sa buduje vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra na novú vedecko výskumnú infraštruktúru. Budovanie je uskutočňované implementáciou projektu: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735, OPVAI-VA/DP/2018/1.1.3-04, 01/2017 – 06/2023), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Koordinátorom tohto projektu je Národné lesnícke centrum (NLC) a partnerom projektu je Výskumný ústav papiera a celulózy (VÚPC a.s.). V rámci aktivity NLC - Lesné zdroje, udržateľná produkcia dreva a využitie biomasy sú riešené nasledovne výskumné témy:

- 1) Ekologické limity intenzívneho využívania biomasy
- 2) Integrovaná ochrana lesa adaptovaná na klimatickú zmenu
- 3) Pestovateľské systémy na podporu produkcie dreva
- 4) 3D skenovacie technológie pre detekciu chýb dreva a optimalizáciu výťažky
- 5) Energetické využitie biomasy
- 6) Systémy na podporu rozhodovania v lesníctve

Dobudovaná integrovaná infraštruktúra LignoSilva v prepojení na vedecko-výskumný program centra je základom pre vytvorenie inovačných a výskumno-vývojových partnerstiev a konzorcií v celom reťazci lesnícko-drevárskeho a celulózo-papierenského komplexu i v súvisiacich oblastiach technologických, informačných a softvérových riešení. Projekt prináša vytvorenie modelových a prototypových pracovísk a kľúčových technologických celkov pre výskumné a demonštračné účely v oblasti produkcie dreva, detekcie kvality dreva, energetického a celulózo-papierenského spracovania dreva. Nezanedbateľným výstupom je aj vytvorenie údajovej a poznatkovej bázy potrebnej pre transformáciu lesnícko-drevárskeho komplexu smerom k bioekonomike a znalostnej ekonomike (LESmedium, 2020).

V rámci tohto projektu je uskutočnená významná investícia v areáli Biologickej základne Stráž vo Zvolene do budovania niektorých kľúčových infraštruktúrnych celkov ako je demonštračná CT skenovacia linka guľatiny dreva, sušička lesných palivových štiepok a fóliovník typu RICHEL. Tieto infraštruktúrne celky sú bližšie opísané v nasledovných kapitolách.

### **3 Demonštračná CT skenovacia linka**

Ide o inštaláciu technologickej linky, ktorá zabezpečuje presun guľatiny cez skener a reťazovú pílu za účelom vytvorenia trojdimenzionálneho skenu guľatiny s identifikovanými vnútornými chybami dreva. Technologická linka (Obr. 2) je na tento účel vybavená najnovšom generáciou tomografického skeneru (CT) na skenovanie guľatiny dreva.

Vstup guľatiny do CT skeneru a výstup guľatiny zo CT skeneru je realizovaný pomocou sústavy reťazových pozdĺžnych a priečnych dopravníkov. Zariadenie je z časti inštalované na voľnej ploche pred halou, skener v špeciálnom kontajnery a časť dopravníkov s reťazovou pílu v hale.

Prísun guľatiny bude zabezpečovaný nákladnou dopravou, ktorá vyloží guľatinu na zásobný priečny reťazový dopravník. Z ovládacieho pultu operátor uvedie do chodu priečny reťazový dopravník, ktorý presunie guľatinu na šikmý jednotiaci priečny reťazový dopravník s unášačmi, ktorý cez ramenový dávkovač uloží guľatinu na pozdĺžny reťazový dopravník. Pozdĺžny reťazový dopravník presunie guľatinu na vstupný pásový dopravník skenera. V

skenovacom zariadení je zosnímaná guľatina, ktorá je následne po výstupnom pásovom dopravníku presunutá k reťazovej píle. Pomocou reťazovej píly na základe optimalizačného programu je možné uskutočniť delenie guľatiny na výrezy alebo vyrezať úseky guľatiny s identifikovanými chybami dreva. Vyrezané úseky s pilinami sú pomocou sklzu presunuté na miesto odberu kde sú obsluhou vyhodnotené sledované parametre. Piliny prepadávajú cez presyp a dopravujú sa šikmým pásovým dopravníkom do kontajnera. Vykrátené výrezy z guľatiny od reťazovej píly sa pozdĺžnym reťazovým dopravníkom, ktorý je vybavený 3. kusmi jednostranných ramenových vyhadzovačov presunú na priečny reťazový dopravník, do dĺžky 1,5 m priamo do boxu v hale. Výrezy dĺžky viac ako 1,5 m sa z priečného reťazového dopravníka presúvajú na pozdĺžny reťazový dopravník, ktorý je vybavený 3. kusmi jednostranných ramenových vyhadzovačov, ktoré podľa dĺžky zatriedia výrezy do príslušného triediaceho boxu. Viac v prílohe č. 1.

Dopravníky sú vybavené snímačmi otáčok, polohy a bezpečnostným vypínaním. Z hľadiska bezpečnosti sú dopravníky vybavené bezpečnostnými prvkami, krytmi a zábranami. Obsluha technologickej linky je umiestnená v kabíne (velíne) s priamou viditeľnosťou na chod linky.

Výrobca CT skenera je Microtec, konkrétne ide o zariadenie „CT LOG X-RAY COMPUTER TOMOGRAPHY“ pre detekciu chýb a hodnotenie kvality guľatiny dreva. Guľatina prechádzajúca skenerom presvecuje sa röntgenovým žiarením. Rôzne hodnoty absorpcie tohto žiarenia určujú hustotu rôznych bodov dreva. Algoritmus Tomografickej Inverzie zobrazuje pre každý rez obraz o rozložení hustoty skenovaného prierezu. Výsledkom je 3D model guľatiny so zobrazenými vonkajšími a vnútornými chybami dreva. Skenovať je možné guľatinu s dĺžkou minimálne 1,5 m a maximálne 10 m. Priemer guľatiny je od 250 mm až po 750 mm. Maximálny priechodný priemer guľatiny je 900 mm. Program CT. LOG vykonáva tomografickú inverziu v reálnom čase a generuje úplný trojrozmerný profil hustoty guľatiny s rozlíšením v pozdĺžnom smere: 10 mm a priečnom smere 2,0 mm x 2,0 mm.

Účelom skenovania guľatiny dreva je potreba poznať objem, tvar, vonkajšie chyby a vnútorné chyby dreva. Na základe týchto zistených znakov je následne možné zatriediť guľatinu do kvalitatívnych tried. Zároveň vznikne digitálny model každého kusu guľatiny čo je kľúčová informácia v automatizácii v drevo-spracovateľskom reťazci /výrobnej linke. Výsledok je maximalizácia využitia hodnoty suroviny a znižovanie výrobných nákladov.



**Obrázok 2.** Demonštračná CT skenovacia linka – Biologická základňa stráň

## 4 Sušička palivovej lesnej štiepky

Predmetom technologického riešenia je vybudovanie sušiarne drevenej štiepky (Obr. 3) ktorá sa bude nachádzať oproti južnej fasády dolnej haly. Sušiareň pozostáva zo samotnej sušičky ktorá je osadená na základovej konštrukcii ktorej súčasťou sú oporné múry. Okrem samotnej sušičky sú jej súčasťou dopravníkové pásy slúžiace na podávanie mokrej štiepky do sušiarne a expedíciu vysušenej štiepky do zásobníka. Pre uloženie spomínaných dopravníkových pásov slúži pomocná oceľová konštrukcia. Okrem dopravníkov je súčasťou sušiarne odvetravací komín na horúci vzduch ktorý vzniká pri sušení.

Ohriatá voda ktorá slúži na sušenie je pripravovaná v plynovom kotly ktorý sa nachádza v bývalej technickej miestnosti dolnej haly. Miestnosť bude po drobných stavebných úpravách slúžiť pre kotolňu. Primárnym zdrojom energie bude skvapalnený zemný plyn – propán. Zásobník plynu pre kotolňu sa bude nachádzať v zadnej časti areálu NLC.

Drevná štiepka sa bude privážať do areálu nákladnými automobilmi. Vyloží sa na voľnú plochu. Skládkovanie sa bude vykonávať len do výšky priameho vysypania z automobilu, t.j. max. 1,4m. Štiepka pripravená na sušenie je pomocou špičkového nakladača naplnená do zásobníka, z tohto zásobníka je ďalej dopravníkom postupne prepravená do procesu sušenia. Vysušená drevná štiepka sa zhromažďuje v oceľovom zakrytom kontajneri, ktorý sa odváža pomocou špeciálneho nákladného automobilu.



Obrázok 3. Sušička palivovej lesnej štiepky – Biologická základňa stráž

### 4.1 Parametre sušičky palivovej lesnej štiepky

Pásová sušička lesnej štiepky s elektronicky riadeným systémom. Súčasťou sušičky je teplovodný výmenník tepla. Sušeným produktom je drevná štiepka minimálne frakcie G50. Hodinová kapacita vstupu min 0,4 t/hod. Hodinová kapacita výstupu min 0,2 t/hod. Vstupná vlhkosť štiepky max 50 %. Výstupná vlhkosť min 12%. Sušiacia teplota min 70°C. Sušiaci povrch min 7 m<sup>2</sup>. Požadované teplo max 300 kW pri +10°C (teplota okolia), max 350 kW pri -10°C. Súčasťou je i zásobník na drevnú štiepku so vstupným dopravníkom a výstupný dopravník s oceľovým hákovým kontajnerom s možnosťou uzatvorenia plachtou s objemom min 9 m<sup>3</sup>.

## 5 Automatizovaný fóliovník typu RICHEL a pestovateľské plochy

Projekt rieši opravu voľných výsadbových plôch s plneautomatizovaným zavlažovaním a výstavbu plneautomatizovaného fóliovníka typu Richel (Obr. 4). Tento fóliovník je osvedčený a robustný model, navrhnutý pre klimatické podmienky s priemerným množstvom zrážok. Fóliovník je jednodňový so šírkou 9,6 m, s dĺžkou 50 m, tvorený 20. sekciami. Obvodové konštrukcie tvorí dvojité nafukovaná fólia. Vnútorňý priestor nie je členený deliacimi stenami. Celková zastavaná plocha je 491 m<sup>2</sup>. Hlavný vchod je situovaný na východnej strane z jestvujúcej areálovej komunikácie. Ďalšia rovnako veľká brána je na druhej, západnej strane. Fóliovník je navrhnutý podľa normy EN 13031-1, ktorá bola schválená na priame používanie ako STN a bola oznámená vo vestníku ÚNMS SR č.11/ 02 - Skleníky, príloha I Fóliovníky - Rozmery a konštrukcia. Vonkajšia pestovateľská plocha je umiestnená vedľa fóliovníka na severnej strane. Povrch plochy je rovnaký ako vo vedľajšom fóliovníku. V strede je vytvorená koľajnicová dráha s plastovými podvalmi pre závlahovú rampu. Budova je napojená na rozvod elektrickej energie pomocou jestvujúcej prípojky. Na zavlažovanie bude použitá voda z jestvujúcej studne.

Vo fóliovníku a na vonkajšej pestovateľskej ploche sa budú pestovať obalované sadenice. Predpokladáme využitie plastových pestovateľských kontajnerov Quick Pot, ktoré sú položené na plastové alebo drevené palety. Je to vyskúšaná metóda, populárna na celom svete. Na závlahu vo fóliovníku je použitá zavesená závlahová rampa. Na vonkajšej ploche je použitá závlahová rampa s vozíkom s konzolami, ktorá sa pohybuje na koľajniciach. Fóliovník je vybavený vetraním, ktoré je riadené počítačovým systémom.

### 5.1 Oceľová nosná konštrukcia fóliovníka

Nosnú konštrukciu fóliovníka tvoria oceľové rámy a nosné odvodňovacie žľaby v pozdĺžnom smere v module 2,5 x 9,6 m. Priestorovú stabilitu objektu budú zabezpečovať oceľové výstuže. Na nosnú konštrukciu bude prichytená špeciálna fólia. Nosná konštrukcia je navrhnutá z oceľových rámov, ktoré sa skladajú zo stĺpov a strešných oblúkov. V smere dĺžky fóliovníka sú rámy umiestnené po 2,5 m. Všetky prvky oceľovej konštrukcie sú galvanizované metódou Sendzimir. Rozmer stĺpov je 80x80mm, hrúbka steny stĺpového profilu zabezpečuje extrémnu tuhosť konštrukcie. Nosnú konštrukciu strechy tvoria oceľové priehradové väzníky. Horný pás je vyrobený z oceľových rúr oválneho tvaru.

Stabilitu v pozdĺžnom smere zabezpečujú nosné dažďové žľaby, do ktorých sú kotvené oceľové stĺpy. Žľab bude vybavený špeciálnym druhým žľabom na spodnej strane, na zber a odvádzanie kondenzovanej vody z vnútornej strany fóliového plášťa. Roztápanie snehu počas zimných mesiacov je zabezpečené pomocou vyhrievacieho kábla v strednom - spoločnom žľabe. Na zvýšenie priestorovej stability slúžia zavetrovacie prvky. Na nosné stĺpy budú horizontálne pripevnené C- profily, ktoré slúžia ako podpora fólie.

### 5.2 Obvodové konštrukcie fóliovníka – fólia

Navrhovaná je dvojité nafukovaná fólia. Fóliovník je vybavený systémom na nafukovanie fóliového vankúša pomocou turbíny. Vzduchová medzera medzi dvomi vrstvami zabezpečuje lepšiu izoláciu proti chladu a v lete proti teplu. Rovnaké vrstvy budú použité aj na bočných stranách, ako aj na čele fóliovníka.

Navrhnutá je špeciálna koextrudovaná priehľadná trojvrstvomá fólia COEX-EVA s dlhou životnosťou. Hrúbka fólie je 180 mikrónov. Počas výroby sa pridáva špeciálna prímes, ktorá zabezpečí fólii antikondenzačný účinok. Táto fólia je použitá aj na streche, na čele a bočnej stene je podobná fólia, ale bez protikondenzačného činidla. Fixácia fólie je riešená pomocou

klipsových pásov. Spodná časť fólie je zakopaná do zeme. Na obidvoch stranách v strede oceľových rámov sú zabudované dvojkrídlové posuvné brány na koľajniciach a závese. Vyrobené sú z oceľových profilov. Výplň dverí tvoria polykarbonátové komorové dosky hr. 8 mm. Rozmery 3,20 x 2,50 m

### 5.3 Podlaha

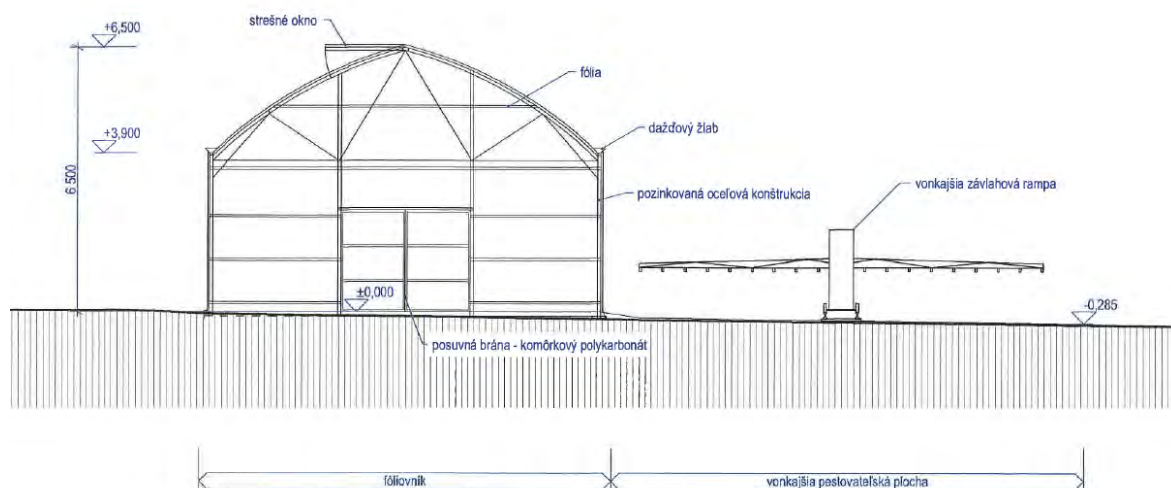
Vo fóliovníku a na vonkajšej ploche je rovnaká zhutnená štrková podlaha z drveného kameniva. Vytvorí sa nad sklotextíliou, ktorá sa položí na zhutnený presne vyrovnaný terén.

### 5.4 Vetranie, okná

Je zabezpečené stropné vetranie strešným oknami. Vetracie okno sa otvára po celej dĺžke z jednej strany lode. Umiestnené je na južnej strane s menšou aktivitou vetra. Vetracie okno je automatické, ovládané pomocou elektromotorov, ktoré sú napojené na ovládač. Ovládač je vybavený senzormi: meranie teploty vzduchu, meranie rýchlosti vetra, senzor dažďa, senzor vlhkosti vzduchu. Každých 2,5 m je okno prichytené pomocou ozubenej lišty.

### 5.5 Elektroinštalácia

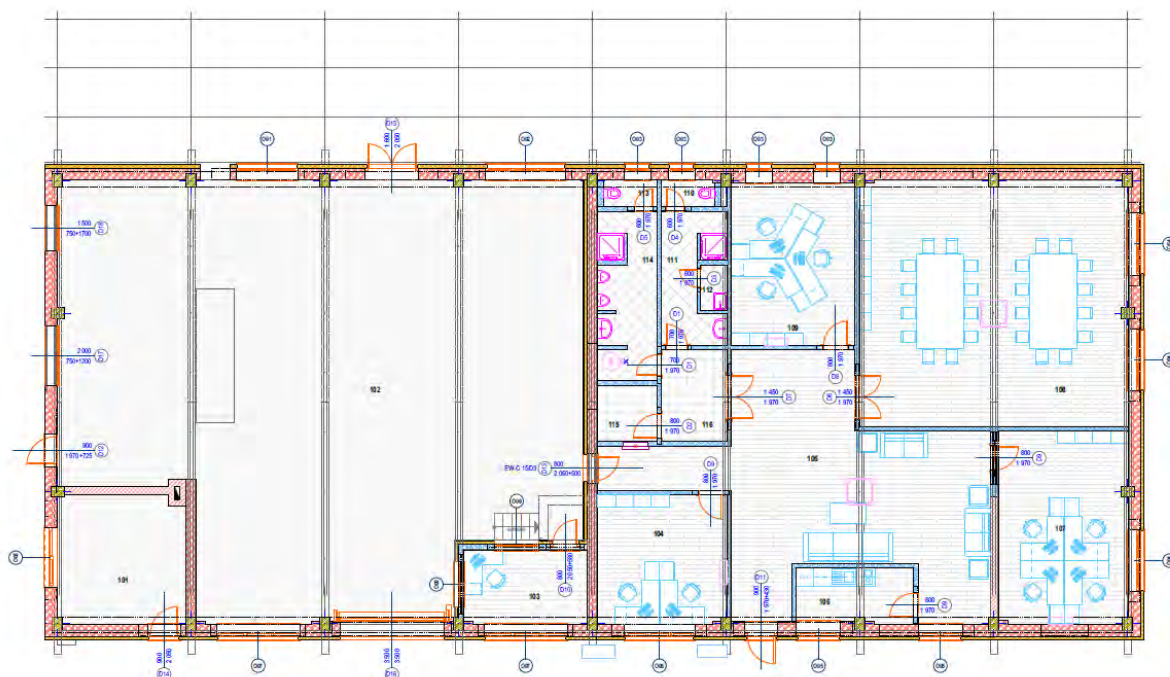
Je zabezpečená pomocou jestvujúcej prípojky a rozvodov NN. Meranie spotreby energie ostáva bez zmeny. Elektroinštalácia zahŕňa zapojenie motorov vetrania, turbíny, čerpadiel na závlahovom systéme, pohonu všetkých závlahových mostov, zapojenie vyhrievacích káblov a ovládacej jednotky vetrania a závlahových mostov.



Obrázok 4. Automatizovaný fóliovník typu RICHEL a pestovateľské plochy

## 6 Podporná infraštruktúra

Pre prevádzku vyššie uvedenej infraštruktúry je pre zabezpečenie jej prevádzky a bezpečnosti investované do vybudovania novej alebo zrekonštruovania pôvodnej podpornej infraštruktúry. Ide o rekonštrukciu zdroja vody (vrtanej studne), obnova transformátorovej stanice pre pokrytie spotreby elektrickej energie, vybudovanie plynových zásobníkov, vybudovanie požiarnej nádrže a požiarneho vodovodu, rekonštrukcia areálového osvetlenia a rekonštrukciu dolnej haly pre vytvorenie pracovného zázemia. Objekt haly je navrhnutý ako modernizácia jestvujúceho objektu s vytvorením dvoch traktov. Jeden trakt bude slúžiť na administratívne účely a konferencie. V druhom trakte bude osadená technológia slúžiaca na výskumné účely (Obr. 5).



**Obrázok 5.** Pôdorys prízemnia Dolná hala – Biologická základňa stráž

## Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## Literatúra

Vo zvolene budujú jedinečné centrum LignoSilva. európska komisia mu udelila pečať excelentnosti: *LESmedium* [online], 2020. Lesmedium SK, s.r.o. Slovenská republika. [cit. 2021-7-15]. Dostupné na internete: <https://www.lesmedium.sk/aktualne/vo-zvolene-buduju-jedinecne-centrum-lignosilva-europska-komisia-mu-udelila-pecat-excelentnosti>

STN EN 13031-1 Skleníky. navrhovanie a konštrukcia. časť 1: skleníky na rastlinnú veľkovýrobu.

## Zhrnutie

**Research infrastructure built in the project of the LignoSilva center of excellence in the BZ Stráž areas.** This paper presents a selected key infrastructure that the NLC is building as part of the acquired infrastructure project. At the beginning, the LignoSilva project is introduced in more detail, and in the following chapters the technological units are described: demonstration CT scanning line, fuel chip wood dryer, fully automated Richel-type foil plant, growing areas with automation. Finally, the supporting infrastructure is described, which will ensure the smooth and safe operation of this infrastructure in terms of water supply, electricity, heat and lighting.

### **Kľúčové slová**

infraštruktúra; guľatina; centrum; lesná štiepka; skenovanie

### **Kontaktné adresy**

Ing. Tomáš Gergel, PhD., Dr. Ing. Tomáš Bucha, Ing. Vojtěch Ondrejka, PhD.

Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu

Lesnícky výskumný ústav Zvolen

Národné lesnícke centrum

T.G. Masaryka 2175/22

960 01 Zvolen, Slovak Republic

tomas.gergel@nlcsk.org, tomas.bucha@nlcsk.org, vojtech.ondrejka@nlcsk.org

## LIGNOSILVA MEDZI PRÍKLADMI DOBREJ PRAXE PRESTÍŽNEJ MEDZINÁRODNEJ SIETE ROSEWOOD 4.0

Ingrid Kriššáková, Vojtěch Ondrejka, Tomáš Gergel

### 1 Rosewood 4.0

Rosewood 4.0 (<https://rosewood-network.eu/>), je prestížnou medzinárodnou sieťou regiónov EÚ podporenou aktuálnym projektom CSA 2020-2021 (Coordination and Support Action), zameraným na digitálne riešenia, inovácie a prenos poznatkov a skúseností v rámci celého reťazca lesnícko-drevárskeho komplexu. Projekt je financovaný z programu Európskej komisie pre výskum a inovácie Horizont 2020. Vo významnom konzorciu 21 organizácií z 18 európskych krajín je za SR zastúpený Lesnícky výskumný ústav Národného lesníckeho centra, koordinátor Centra excelentnosti LignoSilva, koordinátor Národnej podpornej skupiny Lesníckej technologickej platformy, koordinátor pracovnej skupiny BIOEAST 11 krajín, a etablovaný projektový partner v ERA (6RP, 7RP, H2020, programy cezhraničnej spolupráce, LIFE, Európska vesmírna agentúra).

Centrum excelentnosti medzinárodného významu LignoSilva, projekt ATBIOMAP, systém e-LOS a reFlex boli expertami Rosewood 4.0 zaradené medzi príklady dobrej praxe (best practices).



Obrázok 6. Logo siete Rosewood 4.0 (Rosewood 4.0, 2021)

### 2 Teamingové Centrum excelentnosti LignoSilva

Teamingové Centrum excelentnosti LignoSilva, ktorému bolo Európskou komisiou udelené Seal of Excellence v spolupráci s poprednými výskumnými organizáciami v EÚ a implementáciou jedinečnej infraštruktúry sa zameriava na výskum v oblasti produkcie, mechanického a chemického spracovania a využitie dreva. Úzko spolupracuje s firmami a prispieva k ich rozvojovým a inovatívnym aktivitám súvisiacimi s multifunkčným obhospodarovaním lesov; produkciou drevnej biomasy; kaskádovým využitím dreva, recykláciou a výrobou energie z dreva a celulózo-papierenským využitím dreva. Zásadným inovačným impulzom pre vyššie zhodnocovania drevnej suroviny je implementácia technológií pozemného mobilného laserového skenovania do kvalitatívnej inventarizácie - sortimentácie porastov a 3D CT skenera pre detekciu kvality a chýb dreva a následného využitia získaných údajov v oblasti optimalizácie druhovania a piliarskeho spracovania dreva. V oblasti celulózo-papierenského spracovania sa výskumno-inovačná činnosť Centra excelentnosti LignoSilva sústreďuje na náhrady plastov biologicky degradovateľnými a kompostovateľnými obalmi na báze papiera, kartónu a lepenky so špeciálnymi povrchovými úpravami.





Obrázok 7. Logo projektu LignoSilva (LignoSilva, 2021)

### 3 ATBIOMAP

Úspešný projekt NLC-LVÚ ATBIOMAP financovaný Európskou vesmírnou agentúrou (ESA) je zameraný na navrhnutie a overenie metód identifikácie a kvantifikácie drevnej biomasy na nelesných pozemkoch pomocou satelitných snímok Sentinel-1 a Sentinel-2. Dosažené výsledky poukazujú, že najmä radarové snímky sú vhodné pre kvantifikáciu drevnej krovitej aj stromovej biomasy, v porastoch so zásobou do  $350 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  pri strednej chybe cca  $\pm 45 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  (27 %). Pustnutie kultúrnej poľnohospodárskej krajiny, zjavné najmä za ostatných 30 rokov, je fenomén výrazne vystupujúci v krajinách stredne a východnej Európy ako novodobý spoločenský a krajinnoekologický problém. Ide o problém nevyužívania krajiny veľkého rozsahu, na Slovensku približne na ploche  $\sim 430 \text{ tis. ha}$  t.j. 18 % z výmery poľnohospodárskej pôdy. Po rokoch nezáujmu sa tieto plochy stali predmetom celospoločenskej diskusie. Dôvodom je najmä ťažba dreva určeného na spaľovanie v biomasových zariadeniach. Vzhľadom k tomu, že drevná biomasa mimo lesných pozemkov nie je inventarizovaná nie sú ani k dispozícii informácie o štruktúre a objeme biomasy na nelesných pozemkoch.

Expertov Rosewood 4.0 zaujal Interaktívny atlas biotických činiteľov ovplyvňujúci zdravotný stav lesných drevín e-LOS (NLC-LVÚ), poradenské a odborné služby v oblasti ochrany lesov pred biotickými škodcami, mapovania škodcov a predpovedania ich populačného vývoja, monitorovania invázií biotických škodcov, vývoja sanitárnych opatrení.

Za účelom elektronického zberu údajov o ochrane lesa a spätného zdieľania zosumarizovaných údajov sa v roku 2015 zriadila internetová stránka [www.e-los.sk](http://www.e-los.sk). Prostredníctvom tejto stránky je možné objednávať služby LOS, zasielať údaje o výskyte škodcov, zasielať formulárové odpočty vyplývajúce z vyhlášok a zákonov a zároveň využívať zosumarizované údaje pre zvýšenie úrovne ochrany lesa. Stránka e-los sa buduje ako rozhranie niekoľkých samostatných modulov resp. aplikácií. Jednotlivé moduly resp. „aplikácie“ vyvíjaného systému e-los sú Moduly, ktorých údaje sú vyžadované z právnych predpisov (Spotreba prípravkov na ochranu rastlín, Poradenstvo LOS cez štátnu pomoc), Moduly, ktoré sú výsledkom riešenia výskumných projektov (Atlas škodcov lesných drevín, Mapovanie výskytu škodlivých činiteľov), Moduly, ktoré vznikli na objednávku Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR (Evidencia kalamity v smrečínach a borinách, Národný plán ochrany lesa, Ochrana lesa okolo chránených území), Moduly ktoré vznikli z iniciatívy inšpektorov a špecialistov LOS (Konferencia Aktuálne problémy v ochrane lesa, Výpočet škôd spôsobených zverou na lesných porastoch, Prehľad výskytu škodlivých činiteľov z databáz lesnej hospodárskej evidencie, Publikácie LOS, Dron – video a fotografia).

#### 4 Softvér reFLex

Softvér reFLex je vyvíjaný v Laboratóriu Geopriestorového Lesníctva, ktoré je súčasťou NLC-LVÚ. Softvér obsahuje iba pôvodné sady algoritmov skriptovaných v programovacom jazyku C # a je určený k inventarizácii lesných a nelesných ekosystémov na základe dát diaľkového prieskumu Zeme, predovšetkým dát leteckého laserového skenovania. V súčasnej verzii 19.2 softvér disponuje funkčným riešením stromového (ITD) ako aj plošného (ABA) prístupu, pričom výstupy inventarizácie užívateľ získava prostredníctvom webmapovej služby. Bližšie informácie o softvérovom riešení a praktických aplikáciách sú dostupné na [https://www.researchgate.net/profile/Ivan\\_Sackov](https://www.researchgate.net/profile/Ivan_Sackov). (Kulla et al., 2016)



Obrázok 8. Logo softvéru reFLex

#### 5 Príklady dobrej praxe

Príklady dobrej praxe, inovácie, skúsenosti a ich prepojenie transferom poznatkov na slabé stránky regionálnych partnerov definovaných regionálnymi SWOT je kľúčovým a inšpiratívnym poslaním ambiciózneho siete Rosewood 4.0. Konzorcium je štruktúrované do 5 hubov: North Europe (NE) Hub (Fínsko, Švédsko, Nórsko), Southern-West Europe (SWE) Hub (Portugalsko, Španielsko, južné Francúzsko, Taliansko), South East Europe (SEE) Hub (Chorvátsko, Grécko, Slovinsko), Central-West Europe (CWE) Hub (Nemecko, Belgicko, Francúzsko, Rakúsko, Švajčiarsko) a Central-East Europe (CEE) Hub (Slovensko, Poľsko, Rumunsko, Ukrajina). Takmer všetky partnerské krajiny Rosewood 4.0 sú bohaté na prírodné zdroje, najmä lesy s potenciálom zásob dreva a sú v procese transformácie lesnícko-drevárskeho komplexu smerom k biohospodárstvu prepojením na národné stratégie inteligentnej špecializácie. V niektorých huboch vďaka dlhoročnej tradícii a vysokej profesionalizácii lesného hospodárstva a výskumu je rýchlosť rastu lesa stabilná a počet ťažieb zvyšovaný bez ohrozenia, disponujú pritom kvalitnými expertízami vysokej úrovne (napr. NE). Napriek veľkému potenciálu z hľadiska objemu dreva čelia niektoré regióny mnohým výzvam súvisiacim s dodávkami dreva z dôvodu rozdrobeného vlastníctva, hrozby lesných požiarov, škodcov, hynutia lesov (napr. SWE). Viaceré regióny sa snažia riešiť výzvy zamerané na regionálne lesné hospodárstvo a prostredníctvom prenosu poznatkov a skúseností z iných regiónov Rosewood 4.0 zamerať sa na posilnenie miestnych hodnotových reťazcov lesnícko-drevárskeho komplexu až po konečný produkt s vysokou pridanou hodnotou (napr. SEE, CEE). V niektorých regiónoch napriek vysoko profesionalizovanému drevárskemu sektoru majú ešte veľa rezerv a vzhľadom na rastúci dopyt po stavebnom a energetickom dreve existuje potreba udržateľného využívania nevyužívaných zásob, napríklad zo súkromných lesov (CWE). Modernizácia technológií a zariadení sú špecifickými výzvami pre viaceré regióny CEE zameraním sa na rozvoj inovácií, efektívny transfer know-how a spoluprácu s medzinárodnými expertami. Kľúčové zameranie projektu Rosewood 4.0 na digitálne platformy a digitálne riešenia reaguje na všeobecne identifikované medzery lesného hospodárstva regiónov hubov v adaptácii a šírení moderných informačných technológií, s prepojením viacerých aktérov v hodnotovom reťazci. Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav v rámci CEE hubu úspešne spolupracuje s klastrom PRO WOOD Regional Wood Cluster (Rumunsko), s inštitútom

Lukasiewicz Research Network –Wood Technology Institute ITD (Poľsko) a NGO FORZA (Ukraine), v prepojení na všetkých partnerov ostatných 4 hubov. Konzorcium projektu je aktuálne v polovici implementácii projektu a napriek pandemickým opatreniam dosahuje všetky plánované míľniky. Na báze vypracovaných hub SWOT a selekcií príkladov dobrej praxe s rankingom a validáciou expertov boli zorganizované 2 zaujímavé zoom workshopy (25. September/33 účastníkov, 18. November). Z pôvodne zadaných 51 príkladov dobrej praxe CEE hubu rankingom expertov sa vyseletovalo 14:

- LignoSilva INFRA, e-LOS, ATBIOMAP, reFlex (SK),
- Forest stock market e-drewno.pl, Forest Data Bank, REMBIOFOR, SAT4EST, Timber Inventory System (PL),
- TimFlow, Forest Radar (Radarul Padurilor), Build in Wood (RO),
- Electronic Timber Tracking, RE-leaf paper (UA).

Prezentácia uvedených príkladov dobrej praxe s diskúsiou bola kľúčovým zameraním prvého workshopu. Prezentované príklady dobrej praxe potvrdili výrazný progres východnej Európy v oblasti digitalizácie lesníckeho sektora. Druhý workshop, zameraný na prezentáciu príkladov dobrej praxe iných hubov (NE, SEE, SWE, CWE) a ich nasmerovaním na potreby a slabé stránky CEE hubu (CEE SWOT) aktualizoval vedomostnú bázu CEE hubu. Partneri CEE hubu online hlasovaním vybrali 53 príkladov dobrej praxe, ktoré boli riešením na zadané slabé stránky spoločnej CEE SWOT. Efektívnou redukciou relevantnými sa stalo 27 príkladov dobrej praxe (Tab. 1), ktoré následne sa stanú predmetom ďalších diskusií, etablovania operačných implementačných skupín a predmetom diskusií workshopov a výmenných študijných pobytov:

**Tabuľka 1.** 27 príkladov dobrej praxe hubov

<i>Pr. č</i>	<i>Akronym</i>	<i>Názov BP</i>	<i>HUB</i>	<i>Skóre HUB členov</i>	<i>experti</i>	<i>Slabé stránky CEE hubu, vhodné pre aplikáciu BP</i>
1.	Wood Supply 4.0	Smart Wood Supply Chain Management - assessment of industry 4.0 potentials in the wood supply chain	CWE	5	8	LOW LEVEL OF DIGITALIZATION, poor performance in terms of technological and intangible innovations (mainly in the sawmill industry but also in 2nd stage wood processing)
2.	TREEO	Free app for smallholder farmers in developing countries	CWE	5	3	High fragmentation of private forests
3.	FORETDATA	Collaboration platforms, logistical hubs	CWE	4	10	LACK of COOPERATION, SLOW ADAPTABILITY of the SECTOR
4.	LogBuch		CWE	4	10	Lack of digital skills among private forestry owners.
5.	iWald -	Comparison of silvicultural concepts by simulation of growth processes in forests on the	CWE	4	7	LACK OF EFFICIENT FOREST MANAGEMENT PRACTICES /

		smartphone				PLATFORMS.
6.	<b>Waldinfo NRW - Information platform on forests in NRW</b>		CWE	4	6	LACK OF LONG TERM PROMOTIONAL STRATEGY of forest and wood products
7.	<b>Hilfe im Wald App</b>	<b>Location-based free App for hikers etc. to support contact to paramedics in case of emergency</b>	CWE	5	4	LACK OF LONG TERM PROMOTIONAL STRATEGY of forest and wood products
8.	<b>Woodvetia</b>	<b>Swiss national wood promotion programme</b>	CWE	5	5	LACK OF LONG TERM PROMOTIONAL STRATEGY of forest and wood products,
9.	<b>KWH4.0</b>	<b>Kompetenzzentrum Wald und Holz 4.0 4.0</b>	CWE	5	6	LACK OF QUALIFIED LABOR AND GAPS IN EDUCATION.
10.	<b>AVATAR</b>	<b>Advanced Virtual Aptitude and Training Application in Real Time</b>	CWE	4	3	LACK OF QUALIFIED LABOR AND GAPS IN EDUCATION; OUTDATED and WORN-OUT HARVESTING EQUIPMENT and technologies
11.	<b>WH40</b>	<b>Forest &amp; Wood 4.0 initiative</b>	CWE	5	4	Low level of digitalization in forestry and wood based industries
12.	-	<b>Application of drones for seedling transport in steep terrains /mountainous areas</b>	CWE	5	2	SLOW DEVELOPMENT OF DIGITALIZATION of forestry suppliers and non-state forest owners. Lack of digital skills among private forestry owners.
13.	<b>TECH4EFFECT</b>	<b>Techniques and Technologies for Effective Wood Procurement</b>	EU	4	4	LACK of COOPERATION, SLOW ADAPTABILITY of the SECTOR; growing gap between environmental science and forest management practices
14.	<b>Mellevä</b>	<b>Tool for forest fire forecasting- Innovation</b>	NE	4	7	Climate change; Pest and disease management
15.	<b>KEMERA</b>	<b>Financing of Sustainable Forestry</b>	NE	4	4	LOW PUBLIC FINANCE and SUBSIDIES IN THE SECTOR

16.	Metsään.fi	eServices for Forest Owners and Service providers	NE	4	4	LACK OF EFFICIENT FOREST MANAGEMENT PRACTICES / PLATFORMS
17.	Skogkurs - The Forestry Extension Institute	The Forestry Extension Institute	NE	4	6	LACK OF QUALIFIED LABOR AND GAPS IN EDUCATION
18.	Pilke Science Centre	Pilke Science Centre, wooden column-beam building	NE	5	6	LACK OF QUALIFIED LABOR AND GAPS IN EDUCATION.
19.	Arboair - Detecting bark beetles with AI	Detecting bark beetles with AI	NE		8	PEST AND DISEASE MANAGEMENT
20.	Drones in forestry planning	Drones in forestry planning	NE	4	8	SLOW DEVELOPMENT OF DIGITALIZATION of forestry suppliers and non-state forest owners
21.	Biomassa-atlas	enables calculations of the amount of biomass in a given geographical area	NE	4	6	UNDER-UTILIZATION OF WOOD WASTE
22.	Invazivke	Awareness raising, training and action for invasive alien species in the forest	SEE	5	7	Climate change; Pest and disease management
23.	Green City cadastre	Presents a list of trees on a specific area i.e. towns.	SEE	4	6	Climate change
24.	DetectIT - save our forests traceability tool	Forest fire detection device	SEE	4	9	PEST AND DISEASE MANAGEMENT
25.	MojGozdar - MyForester	Quality assessment of forestry contractors	SEE	4	6	SLOW DEVELOPMENT OF DIGITALIZATION of forestry suppliers
26.	C.A.F.E	Carbon, Aqua, Fire & Eco-resilience DSS	SWE	4	7	LACK OF EFFICIENT FOREST MANAGEMENT PRACTICES
27.	ChainWood	Blockchain for Inmutable Timber	SWE	4	4	LOW TRANSPARENCY and LAW ENFORCEMENT effectiveness in forest sector

V druhej fáze implementácie projektu sa konzorcium pripravuje na zostavenie regionálnych implementačných skupín pre implementáciu príkladov dobrej praxe na báze regionálnych cestovných máp, organizáciu workshopov s diskusiami ku kreovanie nových nápadov a v rámci každého hubu zostaveniu videa k „top rated BPs“:

- 7) Forest Data Bank (PL) - score 34
- 8) LignoSilva (SK) - 33
- 9) TimFlow - Wood Tracking (RO) - 31
- 10) Electronic Timber Tracking (UA) – 29

V súčasnosti sa Centrum excelentnosti LignoSilva zúčastňuje novej výzvy pre zviditeľnenie príkladov dobrej praxe „Good Practices in Circular Economy in the forest-based industries“ prepojením na projekt WoodCircus s konzorciom 17 medzinárodných organizácií a pokračovaním dlhodobej spolupráce s kľúčovou sieťou InnovaWood. Cieľom projektu WoodCircus je identifikácia príkladov dobrej praxe a inovatívnych riešení v rámci lesnícko-drevárskeho komplexu, štruktúrované na efektívne využívanie zdrojov, spracovanie, recykláciu, nové platformy, nové business modely, riešenia Industry 4.0. Katalóg príkladov dobrej praxe bude publikovaný na európskych platformách, pričom koordinátori budú prizývaní na workshopy a záverečnú konferenciu WoodCircus.

## PodĎakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## Literatúra

Rosewood 4.0: Rosewood Network - Sustainable Wood for Europe. [Online]. 2021. European Union. [cit. 2021-18-8]. Dostupné na internete: <<https://rosewood-network.eu/>>

LignoSilva: Centre of Excellence LignoSilva: Národné lesnícke centrum. [Online]. 2021. Slovenská republika. [cit. 2021-18-8]. Dostupné na internete: <<http://lignosilva.nlcsk.org/>>

KULLA, L., SACKOV, I., JURIS, M. 2016. Test of airborne laser scanning ability to refine and streamline growing stock estimations by yield tables in different stand structures. Lesnícky Casopis, 2016, roč. 62, č. 1.

## Zhrnutie

**Lignosilva as one of the best practice examples for the prestigious international network Rosewood 4.0.** LignoSilva creates a set of activities to support the promotion and implementation of innovations in the pilot line for wood processing based on linking 3D scanning technology for detecting of wood defects and quality of wood and laser technologies for cutting wood. DC will demonstrate: Better use of domestic raw material base - forest biomass; Implementation of intelligent technologies in the processing of raw materials and waste in the region of occurrence; and Automation, robotics and digital technology.

## Kľúčové slová

sieť; LignoSilva; Rosewood; Reflex; dobrá prax; hub

## Kontaktné adresy

Ing. Ingrid Kriššáková, Ing. Vojtěch Ondrejka, PhD., Ing. Tomáš Gergel, PhD.

Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu

Lesnícky výskumný ústav Zvolen

Národné lesnícke centrum

T.G. Masaryka 2175/22

960 01 Zvolen, Slovak Republic

[ingrid.krissakova@nlcsk.org](mailto:ingrid.krissakova@nlcsk.org), [vojtech.ondrejka@nlcsk.org](mailto:vojtech.ondrejka@nlcsk.org), [tomas.gergel@nlcsk.org](mailto:tomas.gergel@nlcsk.org)

## SCHOPNOSŤ DEZINTEGROVANÉHO MLADÉHO DREVA ZADRŽIAVAŤ VODU

Michal Halaj, Štefan Boháček, Vladimír Ihnát

### 1 Úvod

Impregnácia, resp. penetrácia dreva vodou, resp. vodnými roztokmi je dlhodobo známa za rôznymi účelmi, ako napr. v papierenskom priemysle za účelom efektívnejšieho rozvlákňovania (Malkov a kol. 2003), konzervácie (Humar a Lesar 2009; Yamauchi a kol. 2007), nanášania hydrofóbných látok buď vo forme emulzií (Xie a kol. 2011) alebo nanášania viacsýtneho alkoholu a viacsýtnej karboxylovej kyseliny s následnou tepelnou úpravou, pri ktorej dôjde k vzniku anhydridu príslušnej kyseliny, ktorý reaguje s alkoholom za vzniku esteru (Larnøy a kol. 2018), roztoky retardérov horenia (Baysal 2011, Tsuyumoto a Oshio 2009), zlepšenie vibračných vlastností za účelom výroby hudobných nástrojov (Matsunaga a kol. 1999).

V posledných rokoch sa z dôvodu trvalo udržateľného rozvoja výrazne zvyšuje dopyt po obnoviteľných zdrojoch energie, kde patrí aj energia z biomasy. Za účelom konverzie biomasy na biopalivá tekuté (bioetanol) a plynné (bioplyn) je nutné jej predspracovanie, aby sa zvýšila prístupnosť enzýmov, teda vyšší podiel fermentovateľných monosacharidov po enzymatickej hydrolýze. Tieto typy predspracovania sa delia na fyzikálne (mletie, drvenie, extrúzia, parná explózia, horúca voda, kryolýza) chemické (predspracovanie kyselinou alebo zásadou, iónové kvapaliny, organické rozpúšťadlá, ozonolýza, oxidácia za mokra), biologické (enzymatické, mikrobiálne, fungálne), ožarovacie (mikrovlnné žiarenie, gama žiarenie, elektrónový lúč, ultrazvuk) a iné typy metód (hydrotermálna karbonizácia, superkritická tekutina, explózia amoniakom (Sankaran a kol. 2020, Zabed a kol. 2019, Cheah a kol. 2020). Spomínaná kryolýza - predspracovanie mrazom, je založená na zmene objemu vody prechodom z kvapalného do pevného stavu približne o 9%. Biomasa, ktorá je zmiešaná s vodou, sa umiestni do mraziaceho boxu, kým voda nezamrzne. Počas tohto procesu voda difunduje do biomasy a keď sa zmrazovaním zväčší objem vody, naruší sa štruktúra bunkovej steny. Táto metóda umožňuje otvoriť celulóзовú štruktúru biomasy a zväčšiť prístupovú plochu pre enzýmy. Rozrušovanie mrazom sa dá vysvetliť pomocou kapilárnej teórie, teórie kryštalizačného tlaku, objemovej expanzie a hypotézy hydraulického tlaku. Nie sú potrebné chemikálie ani katalyzátory, čím je táto metóda environmentálne vyhovujúca a nízko nákladová (Cheah a kol. 2020; Rooni a kol. 2017). Na druhej strane, výťažky z kryolýzy sú nižšie v porovnaní s inými metódami, ako napr. parná explózia (Boháček a kol. 2020; Pažitný a kol. 2020; Zhu a kol. 2020). Preto kombinácia kryolýzy s inými metódami predspracovania je výzvou pre ďalší výskum.

Podmienkou pre kryolýzu je prítomnosť vody v dreve. Voda v dreve môže byť buď voľná, ktorá sa nachádza v bunkových lúmenoch a medzibunkových priestoroch alebo naadsorbovaná, ktorá sa nachádza v bunkových stenách. Pri bežnom zmrazovaní (do  $-18^{\circ}\text{C}$ ) zamrzá iba voľná voda, naadsorbovaná až pri teplotách pod  $-80^{\circ}\text{C}$  (Thygesen a kol. 2010). Obsah vody v dreve stromov závisí od druhu, ročného obdobia a úrovne prechodnej fázy z bele do jadra. Najväčšie zmeny v obsahu vody počas ročného obdobia prebiehajú v beli. V bel'ovom dreve sa obsah vody pohybuje od 35 do 60% (na obsah suchého dreva) u druhov s kruhovitou pórovitosťou, od 60 do 75% u druhov s difúznou pórovitosťou bele a 75-100% u druhov, ktorých bel' neobsahuje póry. V bel'ovom dreve väčšiny druhov sa obsah vody pohybuje nad hranicou 150%. V prípade mladej bele listnáčov je najvyššia vlhkosť na jar

a začiatkom leta a klesá na minimum počas leta a jesene, následne počas neskorej jesene a zimy opäť začína naberať vlhkosť. Rýchlosť transportu vody nahor sa líši od 0.5 m/h u druhov s bele bez pórov cez 5 m/h u druhov s difúznou pórovitosťou až po 50 m/h u druhov s kruhovitou pórovitosťou (Stewart 1967).

## 2 Materiál

### 2.1 Laboratórne vzorky

Na experimentálne vyšetovanie boli použité dreveniny jelša, hrab, javor klen, vrba a paulovnia. Dreveniny boli obstarávané ako mladé max. dvojročné výmladky do priemeru 4,5 cm z regiónu Bratislava a okolie. Odkôrnené vzorky boli štiepkované na laboratórnom diskovom štiepkovači 2,8 kW s jedným nožom. Vzniknutá frakcia bola sitovaná a delená na hrubšiu a jemnejšiu frakciu a predsušená pri laboratórnej teplote. Vzorky boli uskladnené v uzavretom polypropylénovom sáčiku.

Pred samotnými experimentmi sa vzorky mleli na nožovom mlyne Brabender (Brabender®, GmbH & Co. KG, Nemecko) so spodným sitom 0.7 mm. Osobitne pre dreveninu paulovnia boli pripravené tri rôzne frakcie < 0.7 mm (pomleté na nožovom mlyne Brabender so sitom 0.7 mm) a frakcie 1.4 – 2.5 mm a > 5 mm (pripravené na sitovom triediči).

### 2.2 Impregnácia vodou

Na sušinových váhach Denver IR35, ktoré pracujú na báze infračerveného žiarenia sa stanovila sušina pre jednotlivé dreveniny: jelša 97.58%, hrab 92.89%, paulovnia 94.31%, javor klen 92.54%, vrba 93.56%. Na porovnanie experimentálnych výsledkov impregnácie sa použil pomer 20 g vzorky a 250 mL teplej destilovanej vody. Zmes sa vložila do trepačky ES-20/60 (BioSan Ltd., Lotyšsko) na 24 h pri teplote 60°C.

Po 24 hodinovej impregnácii sa stanovila hodnota WRV (Water Retention Value). Do kyviet, cca 1/3 až 2/3 z objemu sa odobral naimpregnovaný materiál a vložil do centrifúgy na 17 min pri 4100 rpm. Následne sa vzorka opatrne odoberala do kadičiek a zvažila ( $m_1$ ). Vzorka sa nechala cez noc v sušiarňi pri 105°C a po vysušení sa opäť zvažila ( $m_2$ ). Množstvo vody, ktorú je schopná zadržať jednotlivá drevenina sa vypočítalo zo vzťahu:

$$WRV = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$



Obrázok 1. Frakcie paulovnie: <0.7 mm (vľavo), 1.4 – 2.5 mm (v strede), a >5 mm (vpravo).

### 2.3 Varenie a tlaková impregnácia

Tlaková impregnácia prebiehala v 2 L tlakovom reaktore (Amar Equipment PVT. Ltd., India). Po 24 h impregnácii pri atmosférickom tlaku pri 60°C sa cca 1/3 z objemu dávky laboratórnej



flaše odobrala do reaktora a pridalo sa 300 mL vody. Na túto úpravu bol zvolený skrínung teplôt pre každú frakciu 130, 140, 150 a 160°C počas 30 min. Tieto frakcie boli taktiež podrobené impregnácii pomocou varu počas 30 min v 125 mL destilovanej vody. Následne bola u vzoriek stanovená WRV hodnota podľa rovnice (1).

### 3 Výsledky a diskusia

#### 3.1 Impregnovateľnosť dezintegrovaného dreva pri 60°C

Namerané hodnoty WRV pre frakciu drevného prachu < 0.7 mm pre 5 vybraných drevín – jelšu, javor klen, hrab, vrbu a paulovniu sú uvedené v Tab. 1. Rozsah WRV hodnôt v tomto skrínungu bol od 56.8% (hrab) po 79.0% (vrba a paulovnia). Vzhľadom k tomu, že paulovnia je invázna drevina a teda sa veľmi rýchlo množí a v niektorých prípadoch môže byť burinovým druhom, tento druh bol zvolený na ďalšie experimenty.

**Tabuľka 1.** WRV pre mladé drevo frakcie <0.7 mm (60°C, 30 min).

Drevina	WRV (%)
Jelša	66.69
Javor klen	73.78
Hrab	56.77
Vrba	79.02
Paulovnia	78.98

#### 3.2 Impregnovateľnosť dezintegrovaného dreva v závislosti od veľkosti frakcie

Na experimentálne zisťovanie bola použitá drevina paulovnia, ktorá v predchádzajúcom teste dosiahla najvyššiu WRV hodnotu (78,98%). Namerané hodnoty WRV pre tri rôzne frakcie sú uvedené v Tab. 2. Výsledky ukázali, že schopnosť zadržiavať vodu závisí od veľkosti častíc, táto vlastnosť rástla s veľkosťou častíc (od 79% v prípade najmenej frakcie až po 156% u najvyššej frakcie). Tento jav je pravdepodobne spôsobený rozbitím kanálikov a lumenov, kde sa môže voda akumulovať. Podobne aj v práci Tsuyumoto a Oshio (2009) sa ukázali rozdiely v nasiakavosti v závislosti od hrúbky častíc (10-50 mm) pri konštantnej šírke 100 mm a dĺžke 100 mm japonského cédro borátmi, hoci výsledky nasiakavosti nekorelovali s veľkosťou vzoriek. V literatúre sa hodnoty nasiakavosti rôznych druhov drev vodnými roztokmi pod atmosférickým tlakom pohybujú v rozmedzí od cca 20% použitím dubového dreva o rozmeroch 50×80×800 mm v 5% roztoku H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> počas 16 h (Perçin a kol. 2015) až po cca 200% impregnáciou borovicového dreva s rozmermi 10×100×150 mm v 4% prípravku Tanalith E (čas impregnácie nebol uvedený v literatúre) (Turkoglu a kol. 2015; Albers a kol. 2019).

**Tabuľka 2.** WRV pre rôzne frakcie mladého dreva paulovnie (60°C, 30 min).

Frakcia (mm)	WRV (%)
< 0.7	78.98
1.4 - 2.5	146.70
> 5.0	155.92

#### 3.3 Impregnovateľnosť dezintegrovaného dreva v závislosti od teploty a tlaku

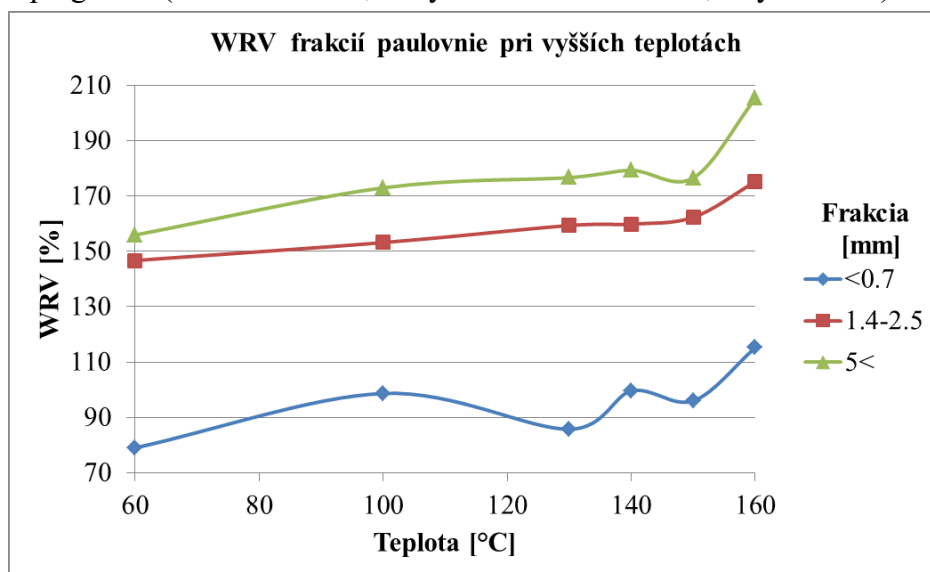
Namerané hodnoty WRV frakcií <0.7; 1.4-2.5 a >5 mm pri rôznych tlakoch a teplotách sú uvedené v Tab. 3 a tiež grafická závislosť je znázornená na Obr. 2. Schopnosť zadržať vodu sa mierne zvýšila už pri 30 min varení materiálu, dokonca v prípade frakcie <0.7 mm (99%) bola táto hodnota vyššia než spracovaním tlakovou impregnáciou pri 130°C a tlaku 2.1 bar

(86%). V prípade ostatných frakcií bola hodnota WRV po tlakovej impregnácii pri 130°C (1.9 – 2.3 bar) len mierne vyššia než impregnácia varom (153 a 159% pri frakcii 1.4 – 2.5 mm; 173 a 177% pri frakcii 5 < mm).

Tabuľka 3. WRV pre rôzne frakcie dreva paulovnie pri vyšších teplotách pod tlakom (zádržná doba 30 min).

Frakcia (mm)	Teplota (°C)	Tlak (bar)	WRV (%)
< 0.7	60	0	78.98
	100	0	98.65
	130	2.1	85.72
	140	3.1	99.56
	150	4.2	95.98
	160	5.8	115.21
1.4 - 2.5	60	0	146.70
	100	0	153.20
	130	2.3	159.36
	140	3.4	159.86
	150	4.9	162.33
	160	5.7	175.18
> 5	60	0	155.92
	100	0	172.97
	130	1.9	176.67
	140	3.2	179.31
	150	4.3	176.55
	160	5.7	205.32

Impregnácia pod tlakom pri teplotách 130 (1.9 – 2.3 bar); 140 (3.1 – 3.4 bar) a 150 °C (4.2 – 4.9 bar) vo všetkých frakciách ukázala pomerne malé rozdiely medzi týmito hodnotami (86; 100 a 96 % u frakcie <0.7 mm; 159; 160 a 162% u frakcie 1.4 – 2.5 mm a 177; 179 a 177% v prípade najväčšej frakcie). Rápidny nárast hodnoty WRV sa ukázal pri spracovaní tlakovou impregnáciou pri 160°C (5.7 bar) (115% u najmenej frakcie; 175% v prípade frakcie 1.4 – 2.5 mm) a najvyššia dosiahnutá hodnota z celej štúdie bola v prípade frakcie >5 mm (205%). Aj v iných publikáciách na zvýšenie zadržania vody použili buď zvýšený tlak (až 1 MPa) alebo vákuovú impregnáciu (až do 0 bar), prípadne kombináciu tlakovej a vákuovej impregnácie (Xu a kol. 2020; Tsuyumoto a Oshio 2009, Baysal 2011).



Obrázok 2. WRV pre rôzne frakcie dreva paulovnie pri vyšších teplotách pod tlakom (zádržná doba 30 min).

Na porovnanie, hodnoty impregnácie sa pohybovali od cca 18% na dreve Kalabrijskej borovice o rozmeroch 13×13×76 mm počas 60 min impregnácie 20%-ným síranom amónnym pri úplnom vákuu až po takmer 210% pri impregnácii kúskov smrekového dreva s rozmermi 2×2×1 cm 0.5% H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> počas 20 min pod vákuom (hodnoty nie sú uvedené), následne pod tlakom 90 min a opäť pod vákuom počas 10 min (Russo a kol. 2020, Baysal 2011, Lesar a kol. 2011, Albers a kol. 2019).

#### **4 ZÁVER**

Bola vykonaná štúdia zameraná na impregnáciu dreva vodou, skrínung piatich druhov drevín na zistenie ich miery prijatia vody, výber druhu s najvyššou nasiakavosťou a skúmanie faktorov ovplyvňujúcich túto vlastnosť (veľkosť častíc dreva, spôsoby spracovania varom alebo tlakovou impregnáciou). Výsledky skrínungu ukázali, že vřba a paulovnia mali najvyššiu schopnosť zadržať vodu, ale vzhľadom na vysoké šírenie paulovnie bol tento druh zvolený na experimenty. Tieto pokusy ukázali, že čím sú väčšie častice, tým je väčšia schopnosť zdržiavať vodu. Varením týchto častíc sa zvyšuje táto schopnosť a pri tlakovej impregnácii sa výrazné zvýšenie ukázalo pri 160°C a tlaku 5.7 bar.

#### **PodĎakovanie**

„Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.“

#### **Literatúra**

- ALBERS, A., COLLET, P., BENOIST, A., HÉLIAS, A. 2019. Data and non-linear models for the estimation of biomass growth and carbon fixation in managed forests. *Data in brief*, 23, 103841.
- BAYSAL, E. 2011. Combustion properties of wood impregnated with commercial fertilizers. *African Journal of Biotechnology*, 10(82), 18255-18260.
- BOHÁČEK, Š., PAŽITNÝ, A., HALAJ, M., BALBERČÁK, J., KUŇA, V. 2020. FREEZE-THAW PRETREATMENT OF POPLAR SAPWOOD DUST. *WOOD RESEARCH*, 65(6), 905-916.
- EN 113. Wood preservatives; determination of the toxic values against wood destroying basidiomycetes cultured an agar medium.
- Humar, M., Lesar, B. 2009. Influence of dipping time on uptake of preservative solution, adsorption, penetration and fixation of copper-ethanolamine based wood preservatives. *European journal of wood and wood products*, 67(3), 265-270.
- CHEAH, W. Y., SANKARAN, R., SHOW, P. L., IBRAHIM, T. N. B. T., CHEW, K. W., CULABA, A., JO-SHU, C. 2020. Pretreatment methods for lignocellulosic biofuels production: current advances, challenges and future prospects. *Biofuel Research Journal*, 7(1), 1115.
- LARNØY, E., KARACA, A., GOBAKKEN, L. R., HILL, C. A. S. 2018. Polyesterification of wood using sorbitol and citric acid under aqueous conditions. *International Wood Products Journal*, 9(2), 66-73.

- LESAR, B., STRAŽE, A., HUMAR, M. 2011. Sorption properties of wood impregnated with aqueous solution of boric acid and montan wax emulsion. *Journal of applied polymer science*, 120(3), 1337-1345.
- MALKOV, S., TIKKA, P., GULLICHSEN, J. 2003. Towards complete impregnation of wood chips with aqueous solutions. *Paperija Puu-Paper and Timber*, 85(8), 1-14.
- MATSUNAGA, M., MINATO, K., NAKATSUBO, F. 1999. Vibrational property changes of spruce wood by impregnation with water-soluble extractives of pernambuco (*Guilandina echinata* Spreng.). *Journal of wood science*, 45(6), 470-474.
- PAŽITNÝ, A., RUSS, A., BOHÁČEK, Š., STANKOVSKÁ, M., IHNÁT, V., ŠUTÝ, Š. 2020. Effect of steam explosion on enzymatic hydrolysis of various parts of poplar tree. *WOOD RESEARCH*, 65(4), 579-590.
- PERÇIN, O., SOFUOGLU, S. D., UZUN, O. 2015. Effects of boron impregnation and heat treatment on some mechanical properties of oak (*Quercus petraea* Liebl.) wood. *BioResources*, 10(3), 3963-3978.
- ROONI, V., RAUD, M., KIKAS, T. 2017. The freezing pre-treatment of lignocellulosic material: a cheap alternative for Nordic countries. *Energy*, 139, 1-7.
- RUSSO, D., MARZILIANO, P. A., MACRÌ, G., ZIMBALATTI, G., TOGNETTI, R., LOMBARDI, F. 2020. Tree growth and wood quality in pure vs. mixed-species stands of european beech and calabrian pine in mediterranean mountain forests. *Forests*, 11(1), 6.
- SANKARAN, R., CRUZ, R. A. P., PAKALAPATI, H., SHOW, P. L., LING, T. C., CHEN, W. H., TAO, Y. 2020. Recent advances in the pretreatment of microalgal and lignocellulosic biomass: A comprehensive review. *Bioresource technology*, 298, 122476.
- STEWART, C. M. 1967. Moisture content of living trees. *Nature*, 214(5084), 138-140.
- THYGESSEN, L. G., TANG ENGELUND, E., HOFFMEYER, P. 2010. Water sorption in wood and modified wood at high values of relative humidity. Part I: results for untreated, acetylated, and furfurylated Norway spruce.
- TSUYUMOTO, I., OSHIO, T. 2009. Development of fire resistant laminated wood using concentrated sodium polyborate aqueous solution. *Journal of wood chemistry and technology*, 29(4), 277-285.
- TURKOGLU, T., BAYSAL, E., TOKER, H. 2015. The effects of natural weathering on color stability of impregnated and varnished wood materials. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2015.
- XIE, Y., HILL, C. A., SUN, D., JALALUDIN, Z., WANG, Q., MAI, C. 2011. Effects of dynamic aging (hydrolysis and condensation) behaviour of organofunctional silanes in the aqueous solution on their penetrability into the cell walls of wood. *BioResources*, 6(3), 2323-2339.
- XU, E., ZHANG, Y., LIN, L. 2020. Improvement of mechanical, hydrophobicity and thermal properties of Chinese fir wood by impregnation of nano silica sol. *Polymers*, 12(8), 1632.
- Yamauchi, S., Sakai, Y., Watanabe, Y., Kubo, M. K., & Matsue, H. (2007). Distribution of boron in wood treated with aqueous and methanolic boric acid solutions. *Journal of Wood Science*, 53(4), 324-331.
- ZABED, H. M., AKTER, S., YUN, J., ZHANG, G., AWAD, F. N., QI, X., SAHU, J. N. 2019. Recent advances in biological pretreatment of microalgae and lignocellulosic biomass for biofuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 105, 105-128.

ZHU, H., MA, Q., SHENG, J., YANG, R. 2020. Freeze–thaw repetition as an auxiliary method to promote efficient separation of hemicellulose from poplar. *Green Chemistry*, 22(3), 942-949.

## **Zhrnutie**

**The ability of disintegrated juvenile wood to retain water.** The article presents the results of screening tests of the ability of disintegrated juvenile wood to retain water in order to increase the effect of the physical method of pretreatment (cryolysis) on an enzyme accessibility. The study was performed on five kinds of wood (alder, maple, hornbeam, willow and paulownia), examining the factors influencing this property, mainly the size of the wood particles and methods of pressure impregnation. The results showed that the willow and the paulownia have the highest ability to retain water in the juvenile wood. Experiments performed at the paulownia have shown that the larger particles have a higher ability to hold water and it can be increased by cooking. During the pressure impregnation, a significant increase was shown at 160 ° C and 5.7 bar.

## **Kľúčové slová**

mladé drevo, frakcia, výmladky, impregnácia vodou, varenie, tlaková

## **Kontaktné adresy**

Michal Halaj

Výskumný ústav papiera a celulózy a.s.

Dúbravská cesta 14

841 04 Bratislava, Slovak Republic

halaj@vupc.sk

www.vupc.sk

Štefan Boháček

Výskumný ústav papiera a celulózy a.s.

Dúbravská cesta 14

841 04 Bratislava, Slovak Republic

bohacek@vupc.sk

www.vupc.sk

Vladimír Ihnát

Výskumný ústav papiera a celulózy a.s.

Dúbravská cesta 14

841 04 Bratislava, Slovak Republic

ihnmat@vupc.sk

www.vupc.sk

## HODNOTENIE EFEKTOV MODIFIKÁCIE POVRCHU CELULÓZOVÝCH VLÁKIEN A PAPIERA

Juraj Gigac, Mária Fišerová

### 1 Úvod

Mechanickou úpravou dispergovaných celulóзовých vlákien vo vode mletím sa získa papier s požadovanými pevnostnými, štruktúrnymi a optickými vlastnosťami. Význam mletia je známy od počiatkov výroby papiera (Krkoška a kol. 2014). Pri mletí nastávajú zmeny rozmerov a morfolologickej štruktúry vlákien spojené s hydratáciou. V súčasnosti sa používajú na mletie celulóзовých vlákien kuželové a diskové rafinéry, ktoré sú vybavené onoženiami s fibrilačným až krátiacim efektom (Gigac, Fišerová 2008). Špecifickým cieľom modifikácie povrchu celulóзовých vlákien a papiera je vytvorenie dočasnej alebo trvalej bariéry proti priepustnosti kvapalín a plynov. V minulosti sa tento efekt dosahoval tak, že sa papier z jemne mletej buničiny namáčal v kúpeli s 50% kyselinou sírovou a následne sa pral a sušil. Papier tak stratil vláknitú štruktúru a získal charakter fólie s významne zníženou priepustnosťou plynov a kvapalín. Pergamínový papier, ktorý sa vyrábala zo sulfitovej buničiny s vyšším obsahom hemicelulóзу, mletím na 80°SR a následným hladením na objemovú hmotnosť až 1,4 g/cm<sup>3</sup>, sa používal na balenie potravín (korenie, mäso a mnoho ďalších produktov s obsahom tuku a oleja). Vzhľadom k vysokej spotrebe energie na mletie vlákien, odvodnenie a sušenie papierového pásu a požiadavkám na zvýšenie produktivity papierenského stroja sa začal používať efektívnejší spôsob výroby. Nový spôsob výroby spočíva v zmene sulfitovej buničiny na sulfátovú a znížení intenzity mletia vlákien, v povrchovej úprave papiera nanášaním vodných disperzií a emulzií polymérov s filmotvornými, hydrofobizačnými alebo olejofobizačnými efektami a v následnom hladení v papierenskom stroji alebo hladiacom kalandri. Tento postup sa používa pre široký sortiment papierenských produktov ako sú napr. inkjetový papier, separačný papier, skladačkový kartón a vlnitá lepenka. Používajú sa aj iné technológie ako extrúzia a laminácia, ktoré zabezpečujú bariérové vlastnosti baliacich papierov a obalov. Baliaci papier na maslo je kompozitný materiál a pozostáva z papiera so zvýšenou pevnosťou za mokra laminovaného hliníkovou fóliou. Obaly na mlieko, džús a víno, ľudovo označované ako "tetrapaky" sú vyrobené z nápojového kartónu, ktorý obsahuje 75-80% papiera, 20% PE fólie a 5% hliníkovej fólie a môže byť zložený až zo šiestich vrstiev. Obal z nápojového kartónu je ľahký, skladný, relatívne odolný, nerozbitný a dobre recyklovateľný. Papier zabezpečuje tuhosť kartónu, PE fólia nepriepustnosť kvapalín a ochranu pred mikroorganizmami a hliníková fólia chráni pred slnečným žiarením a baktériami.

V poslednej dobe sme sa zaoberali technológiou modifikácie povrchu papiera pre výrobu UHF RFID etikiet a pre výrobu vlnitej lepenky odolnej proti vode, olejom a tukom. Ukázalo sa, že pre ekonomickú inkjetovú tlač vodivých UHF RFID antén na papierových substrátoch je potrebné pripraviť natieraný papier s hydrofilným povrchom, pod ktorým je náter s bariérovou vrstvou proti priepustnosti inkjetového atramentu s obsahom nanočastíc striebra (Gigac a kol. 2020). Na vytvorenie kationických hydrofilných pigmentových náterov sa s výhodou použili SiO<sub>2</sub> a Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pigmenty s merným povrchom do 750 m<sup>2</sup>/g a spojivá na báze polyvinylalkoholu. Na vytvorenie bariérovej vrstvy proti prieniku strieborných nanočastíc z inkjetového atramentu do papiera je vhodné používať povrchové glejenie vodnými roztokmi a disperziami filmotvorných polymérov. Ukázalo sa, že na výrobu vlnitej lepenky s kryciami

vrstvami odolnými proti vode, olejom a tukom je možné použiť technológiu povrchového glejenia. V niektorých prípadoch, keď je potrebné vytvoriť bariéru proti olejom a tukom len na jednej strane vlnitej lepenky sa pre odstránenie tendencie ku krúteniu vlnitej lepenky odporúča použitie modifikátora aj na druhej strane (Gigac a kol. 2019).

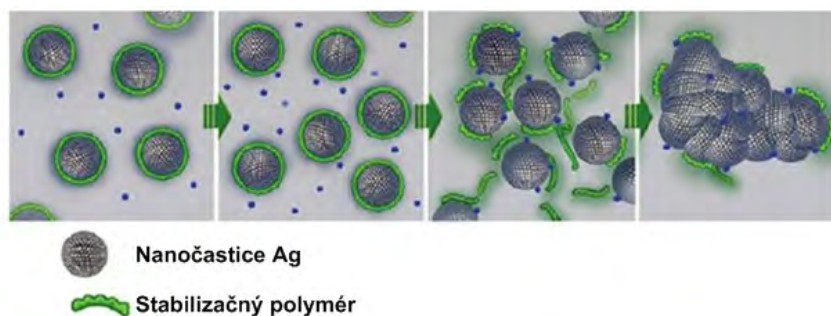
## 2 Hodnotenie efektov modifikácie povrchu papiera

Kvalita povrchových modifikácií papiera pre inkjetovú tlačovú techniku sa hodnotila pomocou elektrickej vodivosti, resp. odporu vytlačených antén. Pre hodnotenie účinkov povrchových modifikácií krycích kartónov vlnitej lepenky boli použité postupy a metódy hodnotiace interakcie papiera a kvapalín s rôznym povrchovým napätím.

### 2.1 Meranie vodivosti UHF RFID antén tlačených inkjetom

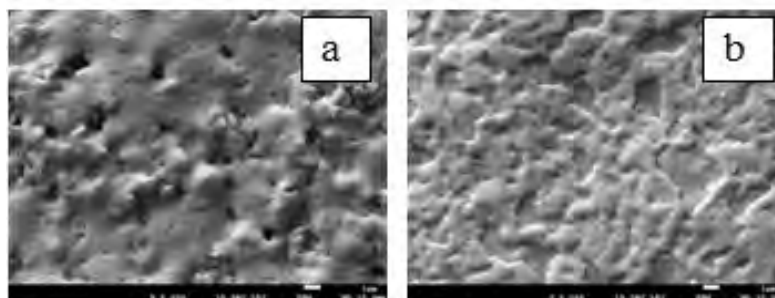
RFID antény sa vyrábajú chemickým leptaním, lisovaním za tepla alebo tlačou. Tlač je zaujímavá technika najmä pre výrobu UHF RFID antény, pretože pre tento rozsah frekvencií (700 - 1000 MHz) môže byť dizajn antény tenký, čo znamená úsporu materiálových nákladov. Existujú rôzne tlačové techniky, ktoré možno použiť na tlač antén s vodivým atramentom. Strieborné nanočasticové atramenty sa používajú pre inkjetom tlačenú elektroniku na rôznych substrátoch vrátane papiera, vzhľadom na možnosť relatívne nízkej teploty sintrovania a ich relatívne vyššiu vodivosť v porovnaní s atramentmi na báze nanočastíc medi a zlata (Kim a kol. 2015). Bez sintrovania kovových nanočastíc atramentu je vytlačená stopa izolátorom. Pre dosiahnutie elektrickej vodivosti sa sintrácia uskutočňuje bežne pri zvýšenej teplote.

Na obrázku 1 sú nanočastice striebra potiahnuté stabilizačným polymérom a ponorené do rozpúšťadla s prípadným prídavkom chloridových iónov pre iniciovanie sintrovania pri nižších teplotách. Pri zvýšenej teplote sa rozpúšťadlo odparí a polymérny náter sa roztopí, odtečie z medzičasticových oblastí a vytvorí adhéznú vrstvu medzi atramentom a substrátom. To umožňuje, aby kovové častice prišli do kontaktu a vytvorili vodivé stopy.



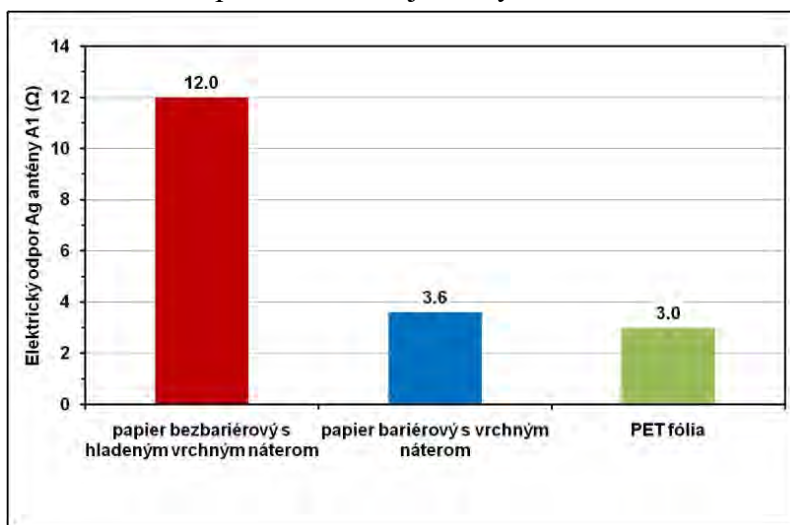
**Obrázok 1.** Pohyb nanočastíc striebra a stabilizačného polymérneho náteru pri sintrácii, modré body reprezentujú chloridové ióny (Grouchko a kol. 2011)

Na obrázku 2 sú SEM snímky sintrovanej striebornej vrstvy UHF RFID antény tlačenej inkjetovou technikou na papieroch rôznej kvality, kde sintrované strieborné nanočastice na povrchu papiera s bariérovým prednáterom a vrchným hydrofilným náterom (a) vytvárajú súvislú vodivú vrstvu avšak na povrchu bezbariérového papiera s hydrofilným náterom (b) sa vytvorila nesúvislá vrstva s vysokým elektrickým odporom (Gigac a kol. 2021).



**Obrázok 2.** SEM snímky dvoch sintrovaných strieborných vrstiev UHF RFID antén vytlačených inkjetovou technikou

Na obrázku 3 sú porovnané elektrické odpory antén vytlačených na bezbariérovom papieri s hladným vrchným náterom, bariérovom papieri s nehladeným vrchným náterom a PET fólii. Papiere sa pripravili nami navrhnutou technológiou tak, aby sa v čo najvyššej miere priblížili kvalite povrchu na plastovej fólii. Vrchný hydrofilný náter na bezbariérovom a bariérovom papieri mal zásadný vplyv na elektrický odpor antén. Anténa na bezbariérovom papieri s hladným vrchným náterom mala elektrický odpor 12  $\Omega$  a na bariérovom papieri s nehladeným vrchným náterom len 3,6  $\Omega$ . Elektrický odpor antény na PET fólii bol na úrovni 3  $\Omega$ . Antény vytlačené na bezbariérovom papieri s vrchným hydrofilným náterom nemali dostatočne nízky elektrický odpor, preto bol pod vrchným hydrofilným náterom aplikovaný bariérový prednáter odolný proti vodnej pare z ovzdušia. Bariérový náter zvýšil rozmerovú stálosť papiera a umožnil zakotvenie nanočastíc striebra atramentu vo vrchnom hydrofilnom náteri a zníženie elektrického odporu striebornej antény.



**Obrázok 3.** Porovnanie elektrického odporu strieborných antén na rôznych substrátoch

## 2.2 Meranie bariérových vlastností krycej vrstvy vlnitej lepenky

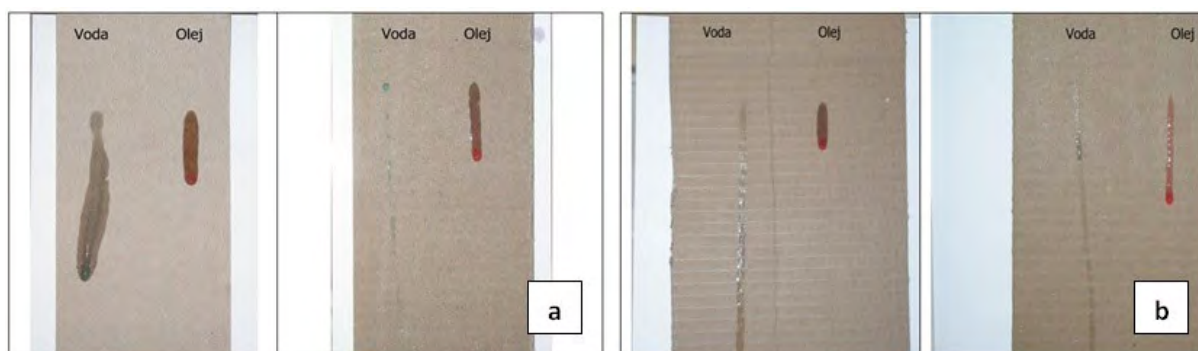
Výsledky nášho výskumu ukázali (Gigac a kol. 2018a, 2018b, 2018c), že na hodnotenie odolnosti povrchu vlnitej lepenky proti vode a oleju sú postačujúce nasledovné štyri parametre:

- zmáčavosť - kontaktný uhol kvapky na povrchu papiera (ISO 19403-2),
- odolnosť proti tukom - Kit test (ISO 16532-2),
- nasiakavosť kvapaliny povrchom papiera - Cobb hodnota (ISO 535),



- odpudivosť kvapaliny - R hodnota (modifikovaná kórejská metóda KS M 7057).

Výsledky laboratórnych experimentov boli overené aj v prevádzkových podmienkach spoločnosti Eco-pack a.s. v Prešove. Spôsob výroby zušľachtenej vlnitej lepenky so zníženou krútivosťou bol patentovaný. V pokusoch bola použitá disperzia H - komerčná disperzia syntetickej živice s hydrofobizačným efektom a disperzia FF - zmes filmotvorného polyméru s 10% fluórovaného polyméru. Na obrázku 4 je záznam zmeny odpudivosti vody a ricínového oleja zušľachtením lepenky VL1 pomocou vodnej disperzie H (a) a lepenky VL3 pomocou vodnej disperzie FF - zmesi polyvinylalkoholu s 10% fluórovaného polyméru novej generácie (b). Kvapka vody umiestnená na šikmom povrchu nezušľachtenej lepenky VL1 (obrázok 4a vľavo) sa rozpíjala a prenikala do lepenky pričom zanecháva širokú a krátku stopu. Na zušľachtenom povrchu lepenky VL1 H (obrázok 4a vpravo) bola stopa vodnej kvapky úzka a prerušovaná, nakoľko voda povrch nezmačala (príčinou sú pozitívne zmeny v SCA, DCA a Cobb). Aj pri interakcii oleja so zušľachtenou lepenkou VL1 H bolo možné registrovať zmenu (užšia stopa kvapky oleja), príčinou sú pozitívne zmeny v zmáčaní a nasiakavosti.



**Obrázok 4.** Odpudivosť vody a ricínového oleja lepenky VL1 a VL1 H (a), VL3 a VL3 FF (b): vľavo - nezušľachtená lepenka, vpravo - zušľachtená lepenka

Kvapka vody umiestnená na šikmom povrchu nezušľachtenej lepenky VL3 (obrázok 4b vľavo) zanechávala pomerne úzku a dlhú stopu, pretože lepenka mala pomerne nízku zmáčavosť vodou. Na zušľachtenom povrchu lepenky VL3 FF (obrázok 4b vpravo) bola stopa vodnej kvapky ešte užšia (čo je v súlade so zmáčavosťou a nasiakavosťou). Pri interakcii oleja so zušľachtenou lepenkou VL3 FF bolo možné registrovať zúženie a predĺženie stopy kvapky oleja, príčinou sú pozitívne zmeny v zmáčavosti, nasiakavosti oleja a odolnosti proti tukom.

## PodĎakovanie

„Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.“

## Literatúra

KRKOŠKA, P., PANÁK, J., HANUS, J., VIZÁROVÁ, K., ŠUTÝ, Š. 2014. Mechanická úprava vlákien mletím. In *Technológia výroby papiera*. Slovenská technická univerzita v Bratislave. ISBN 978-80-227-4127-9.

- GIGAC, J., FIŠEROVÁ, M. 2008. *Influence of pulp refining on tissue paper properties*. Tappi J. 7(8):27-32.
- GIGAC, J., FIŠEROVÁ, M., KOVÁČ, M., HEGYI, S. 2020. *Inkjetová tlač UHF RFID antén na natieraných papieroch*. Prednáška a príspevok v zborníku. Medzinárodná konferencia Wood, Pulp & Paper; Polygrafia Academica, 11.-12. marec 2020, Hotel Saffron, Bratislava.
- KIM, S., KAWAHARA, Y., GEORDIAKIS, A., COLLADO, A., TENTZERIS, M.M. 2015. *Low-cost inkjet-printed frully passive RFID tags for calibration-free capacitive/haptic sensor applications*. IEEE Sens. J. (15):3135-3145.
- GROUCHKO, M., KAMYSHNY, A., MIHAILESCU, C.F., ANGHEL, D.F., MAGDASSI, S. 2011. *Conductive inks with a "built-in" mechnism that enables sintering at room temperature*. ACS Nano 5(4):3354-3359.
- GIGAC, J., FIŠEROVÁ, M., HEGYI, S. 2021. *Comparison of thermal-transfer and inkjet printing of UHF RFID antennas on paper substrates*. Wood Research 66(1):71-84.
- GIGAC, J., FIŠEROVÁ, M., STANKOVSKÁ, M., LINKESCH, W. 2019. *Spôsob eliminácie krútenia celulóзовých poréznych materiálov odolných proti tukom a olejom*. Patentová prihláška PP 50005-2019 (ÚPV SR, 21.2.2019). Prihlasovateľ: Výskumný ústav papiera a celulózy a.s. Bratislava.
- GIGAC, J., STANKOVSKÁ, M., FIŠEROVÁ, M. 2018a. *Vplyv fluórovanych polymérov a nanočastíc striebra na odolnosť proti olejom a tukom*. Papír a celulóza 73(5):73-78.
- GIGAC, J., FIŠEROVÁ, M. 2018b. *Porovnanie nákladov vodných disperzií polymérov pre papiere odolné proti olejom a tukom*. Papír a celulóza 73(6): 96-100.
- GIGAC, J., STANKOVSKÁ, M., FIŠEROVÁ, M., PAŽITNÝ, A., LINKESCH, W. 2018c. *Spôsob zvýšenia odolnosti celulóзовých poréznych materiálov voči tukom a olejom*. Patentová prihláška PP 50001-2018 (ÚPV SR, 10.1.2018). Prihlasovateľ: Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s. Bratislava.

## Zhrnutie

**Evaluation of the effects of surface modification of cellulosic fibres and paper.** The application of research results is mainly in solving new induced projects of industrial research in the field of paper for printed electronics and paper smart packaging. The patent applications of inventions PP 50001-2018 "Method of increasing fats and oils resistance of cellulosic porous materials "and PP 50005-2019 "Method of curl elimination of cellulose porous materials resistant against fats and oils" will be used for the surface treatment of papers, folding cartons, corrugated cardboard and paper packaging in the pulp and paper industry. The inventions enable to increase resistance of cellulosic porous material against oils and greases while reducing the production costs as the amount of fluorinated polymers in aqueous dispersion for surface treatment is lower than it was until now. Production of surface treated papers, folding cartons, corrugated boards and paper packaging enables to decrease consumption of fluorinated polymers three times, curl elimination, increase flatness and resistance against mechanical stress (burst strength, puncture strength, SCT, CMT, ECT, BCT). These products will find application in the packaging of goods for the food, pharmaceutical and electrical industries.

## Kľúčové slová

papier pre tlačnú elektroniku, smart obaly, bariérové vlastnosti

### **Kontaktné adresy**

Ing. Juraj Gigac, PhD.  
Výskumný ústav papiera a celulózy a.s.  
Dúbravská cesta 14  
841 04 Bratislava, Slovak Republic  
gigac@vupc.sk  
www.vupc.sk

Ing. Mária Fišerová, PhD.  
Výskumný ústav papiera a celulózy a.s.  
Dúbravská cesta 14  
841 04 Bratislava, Slovak Republic  
fiserova@vupc.sk  
www.vupc.sk

## EXPERIMENTÁLNE VYUŽITIE DREVNÉHO POPOLA V LESOCH SR

Slávka Tóthová, Marián Slamka, Danica Krupová

### 1 Úvod

Drevný popol je alkalický, vápenato-draselný materiál, ktorý obsahuje množstvo elementov potrebných pre výživu rastlín. Vzniká ako silne zásaditý odpad po energetickom využití dendromasy. Podľa legislatívnych predpisov v SR je popol z čistého, chemicky neošetreného dreva je zaradený do skupiny „Ostatné odpady“. V súlade s legislatívou a strategickými dokumentami SR a EÚ je vhodné a žiadúce uprednostniť ďalšie zhodnotenie a využitie drevného popola pred skládkovaním v krajine. Alternatívne zdroje živín popri žiadúcej účinnej zložke obsahujú vo väčšine prípadov aj ťažké kovy. Vhodnosť použitia takýchto zdrojov treba vždy starostlivo otestovať a to so zreteľom na možnú interakciu vplyvom prítomnosti rozličných kombinácií kovových prvkov s akcentom na výživu rastlín a okolité prostredie. Výskum možností využitia drevného popola na Slovensku sa začal realizovať v roku 2000, na Lesníckom výskumnom ústave. V projekte „Energetické využitie biomasy v rezorte pôdohospodárstva“ boli prvýkrát odobrané vzorky drevných popolov priamo z prevádzok na spaľovanie dreva. Harmonické zastúpenie živín v drevnom popole a pozitívne skúsenosti zo škandinávskych krajín s dlhodobou tradíciou vo využívaní drevného popola ako hnojiva v lesoch, podnietili začiatok terénnych experimentov aj na Slovensku, na území lesov obce Nálepkovo. Po ukončení financovania projektu v roku 2002 bola nadviazaná spolupráca s producentami drevného popola (Handlovská energetika, SES Tlmače, MONDI SCP Ružomberok, INTECH Slovakia s.r.o.), ako aj s potenciálnymi odberateľmi drevného popola ako hnojiva (Lesy SR, obecné lesy), ktorí prejavili záujem o riešenie problematiky využitia drevného popola v širšom meradle než len na výskumné účely. Tento záujem umožnil pokračovať vo výskume v projekte „Využitie drevného popola v lesnom hospodárstve“ (Operačný program Výskum a vývoj). Projekt vznikol na základe zvýšeného záujmu o obnoviteľné zdroje energie, s čím súvisela rastúca produkcia tuhého odpadu po spálení dreva – drevného popola. Výskum bolo možné realizovať na základe dobrej spolupráce s Lesmi SR, Obecnými lesmi v Nálepkove a PRO POPULO Poprad s.r.o., na území ktorých boli realizované aplikácie drevného popola do pôdy pri pestovaní lesov a kde prebiehali terénne experimenty, ako aj s prevádzkovateľmi kotolní na spaľovanie biomasy, ktorí poskytovali popol na aplikáciu. Okrem tohto projektu v minulých rokoch bol na Slovensku realizovaný výskum využitia drevného popola pri pestovaní energetických rastlín ako OZE, v spolupráci spoločnosti INTECH Slovakia a STU Nitra. Využívanie drevného popola ako hnojiva prináša do hospodárskej praxe viaceré pozitívne efekty v podobe zníženia množstva existujúceho skládkovaného popola a súčasne jeho opätovného navrátenia do prírodného kolobehu látok, najmä pri obnove a pestovaní lesov.

### 2 Prehľad experimentálnych plôch s aplikáciou drevného popola v SR

V ďalších kapitolách prinášame prehľad experimentálnych plôch s aplikáciou drevného popola v lesoch SR. Aplikácia zásaditého, vápenato-draselného materiálu, akým je drevný popol, je vhodná na neutralizáciu kyslých pôd, zvýšenie obsahu živinových bázičných kationov, zníženie mobility ťažkých kovov a zlepšenie kvality a kvantity produkcie.

## 2.1 Nálepkovo

Prvý pokus s aplikáciou dreveného popola na Slovensku bol uskutočnený na lesnej pôde patriacej subjektu Lesy obce Nálepkovo, na strednom Spiši. Plocha patrí do LHC Nálepkovo, LO Surovec, dielec 213, s celkovou výmerou 9,32 ha. V dieleci po náhodnej ťažbe ihličnanov v roku 2000 vznikla holina s výmerou 1,39 ha, ktorá bola v jeseni v roku 2000 zalesnená na výmere 1,37 ha drevinou buk lesný (*Fagus sylvatica L.*). Na ploche sa ojedinele nachádzali jedle a staršie buky z náletu. Pri ručnej aplikácii popola bol použitý roštový popol z drevárskej prevádzky *Quercus Lučenec* s hodnotou pH 10,36.

Na plochách bol realizovaný dlhodobý výskum vplyvu dreveného popola na pôdu, pôdny roztok, chemizmus asimilačných orgánov, sledovanie rastových procesov drevín.

Po 4 ročnom období od aplikácie popola boli priemerné hrúbky bukových sadeníc v intervale 0,77 – 0,97 cm. Najvyššiu priemernú hrúbku dosahovali buky na plochách s aplikáciou popola k sadeniciam – na ploche P2 (jesenná aplikácia k sadenici v dávke 5 t.ha<sup>-1</sup>) a na ploche P3 (jarná aplikácia popola v dávke 1 t.ha<sup>-1</sup>). Bol potvrdený štatisticky významný rozdiel medzi rastom sadeníc na ploche s vyššou dávkou popola (P2) v porovnaní s kontrolou (test Anova, hladina významnosti  $\epsilon=0,005$ ). Hodnota P pre rozdiel výšok je 0,03 a pre hrúbky P=0,0001. Buky po aplikácii vyššej dávky dreveného popola spôsobom okolo sadeníc boli vyššie a hrubšie (OTEPKA, P., TÓTHOVÁ, S., 2011b, TÓTHOVÁ, S. et. al. 2012 a).

**Tabuľka 1.** Prehľad experimentálnych plôch s ručnou aplikáciou dreveného popola v Nálepkove

Plocha	Termín aplikácie	Spôsob aplikácie	Dávka popola
K (kontrolná)	-	Bez zásahu	-
P1	Jeseň 2001	Celoplošná	5 t.ha <sup>-1</sup>
P2	Jeseň 2001	Okolo sadenice 0,4x0,4 m	5 t.ha <sup>-1</sup>
P3	Jar 2002	Okolo sadenice 0,4x0,4m	1 t.ha <sup>-1</sup>

**Tabuľka 2.** Chemické zloženie dreveného popola aplikovaného v pokuse

Živiny	[%]	Rizikové prvky	[mg.kg <sup>-1</sup> ]
Ca	10	Cd	0,76
K	4,6	Pb	14,00
Mg	0,6	Cr	21,76
P	0,4	As	10,76
CaCO <sub>3</sub>	30	Hg	0,0006

## 2.2 Ošľadnica

Experiment bol založený na území Lesov SR, LZ Čadca, LHC Čadca, dielec 131b, v živných jedľových bučinách. Pôvodné zastúpenie smrekov bolo 100%, s priemernou výškou 32 m, hrúbka 36 cm, objem stredného kmeňa 1,34 m<sup>3</sup>. V poraste bola vykonaná ťažba z dôvodu kalamity, prvá v roku 1999 a posledná v roku 2006. Experimentálne plochy určené na aplikáciu dreveného popola boli zalesnené bukovými sadenicami v roku 2006 (t. j. jeden rok pred aplikáciou dreveného popola). Na plochách sa nachádzali aj semenáčky drevín buk, smrek, jedľa, breza, jarabina. Pri ručnej aplikácii spôsobom okolo sadenice bol použitý popol z kotla na spaľovanie kôry z MONDI SCP Ružomberok. Na plochách bol realizovaný dlhodobý výskum vplyvu dreveného popola na pôdu, chemizmus asimilačných orgánov a

sledovanie rastových procesov drevín. Pozitívny vplyv dreveného popola sa prejavil najmä pri hrúbke sadeníc, ktorá bola na ploche P1 väčšia o 13,6% ako na kontrolnej ploche. Priemerná výška sadeníc po aplikácii dreveného popola v jarnom termíne v dávke 1 t.ha<sup>-1</sup> bola väčšia o 3,5%, ako na kontrole. V roku 2010, t.j. 3 roky po aplikácii boli sadenice vyššie približne o 10 % po oboch dávkach popola. Vyššia dávka pozitívne ovplyvnila aj hrúbku sadeníc. Priemerná hrúbka na ploche P2 s aplikáciou 3t/ha bola vyššia o 9,2 % ako na kontrolnej ploche a na ploche s dávkou 1t/ha o 6,5 % (TÓTHOVÁ, S. 2008, TÓTHOVÁ, S. 2013).

**Tabuľka 3.** Prehľad experimentálnych plôch s ručnou aplikáciou dreveného popola v Oščadnici

Plocha	Termín aplikácie	Spôsob aplikácie	Dávka popola
K (kontrolná)	-	Bez zásahu	-
P1	Jar 2007	Okolo sadenice 0,5x0,5 m	1 t.ha <sup>-1</sup>
P2	Jeseň 2007	Okolo sadenice 0,5x0,5 m	3 t.ha <sup>-1</sup>

**Tabuľka 4.** Chemické zloženie dreveného popola aplikovaného v pokuse

Živiny	[%]	Rizikové prvky	[mg.kg <sup>-1</sup> ]
Ca	22	Cd	2,40
K	4,7	Pb	3,80
Mg	1,0	Cr	45,70
P	1,1	As	13,30
CaCO <sub>3</sub>	11	Hg	0,0018

## 2.3 Hriňová

Experimentálne plochy na území Lesného závodu Hriňová v LHC Hriňová, dielec 138 B (Lesy SR), patria k najnovším, boli založené v rámci výskumných aktivít projektu OP Výskum a vývoj, Využitie dreveného popola v lesnom hospodárstve v SR, v roku 2010. Na plochách bola realizovaná presná ručná aplikácia kvalitného dreveného popola z roštového priestoru kotla po spálení čistého, chemicky neošetreného dreva z teplárne v Hriňovej. Popol prešiel stabilizáciou vlastností a pri aplikácii mal hodnotu pH 9. Na ploche v skupine lesných typov „Živné bučiny“ bolo 100% zastúpenie smrekov, vo veku približne 50 rokov.

**Tabuľka 5.** Prehľad experimentálnych plôch s ručnou aplikáciou dreveného popola v Hriňovej

Plocha	Termín aplikácie	Spôsob aplikácie	Dávka popola
K (kontrolná)	-	Bez zásahu	-
P1	Jar 2010	Celoplošná	5 t.ha <sup>-1</sup>
P2	Jeseň 2010	Celoplošná	5 t.ha <sup>-1</sup>

**Tabuľka 6.** Chemické zloženie dreveného popola aplikovaného v pokuse

Živiny	[%]	Rizikové prvky	[mg.kg <sup>-1</sup> ]
Ca	12	Cd	3,49
K	3,6	Pb	30,27
Mg	1,2	Cr	39,05
P	0,8	As	9,01
CaCO <sub>3</sub>	20,53	Hg	0,01

Na plochách bol realizovaný výskum vplyvu dreveného popola na pôdu, mikroorganizmy, chemizmus asimilačných orgánov, sledovanie rastových procesov drevín, výskum stabilizačných postupov a ekonomické hodnotenie technológií aplikácie popola (GOMORYOVÁ, E., TÓTHOVÁ, S., PICHLER, V., HOMOLÁK, M., KRÍŠŠÁK, V., GOMORY, D. 2016, GOMORYOVÁ, E., PICHLER, V., TÓTHOVÁ, S., GOMORY, D. 2016, TÓTHOVÁ, S. A KOL. 2012 a).

## 2.4 Výskumný a demonštračný objekt (VDO) Kozie chrby

V jeseni roku 2011 bol uskutočnený prvý experiment s leteckou aplikáciou dreveného popola na Slovensku. Aplikácia prebehla vo Výskumnom demonštračnom objekte (VDO) Kozie Chrby, v oblasti Spišskej Teplice, na území lesov Spišskej diecézy, obhospodarovaných spoločnosťou PRO POPULO Poprad, s.r.o. Výskumné plochy sa nachádzajú v dielcoch 454 a 455 na kyslých stanovištiach. Na rozsiahlom holorube po kalamitnej ťažbe smrekov bola plánovaná výsadba nových drevín na jar v roku 2012. Hlavnou prednosťou leteckej aplikácie je využiteľnosť v ťažko dostupných terénoch a vysoká produktivita práce. Pri aplikácii dreveného popola je možné využiť prostriedky osvedčené v minulosti pri aplikácii vápenatých materiálov do lesných porastov, ako napríklad vrtuľník MI-8, alebo lietadlo Zlín Z 137 Turbo. Vrtuľník je obratný, dosahuje malú rýchlosť a poskytuje možnosť pripraviť skládku dreveného popola priamo v požadovanej lokalite. Výhodou lietadla je zase pomerne vysoká rýchlosť a presnosť aplikácie, ako sme sa presvedčili pri experimentálnej aplikácii dreveného popola vo VDO Kozie Chrby. Nevýhodou leteckých technológií sú vysoké nároky na organizačné a finančné zabezpečenie, ako aj zabezpečenie odpovedajúceho množstva dreveného popola. Pri leteckej aplikácii bol použitý stabilizovaný popol z roštového priestoru kotla z teplárne v Hriňovej, s hodnotou pH 9,44 a vlhkosťou 19%. Na plochách prebiehal výskum zmien pôdnych vlastností, stabilizačných postupov a ekonomického hodnotenia technológií aplikácie popolov (TÓTHOVÁ, S. 2012 a,b).

**Tabuľka 7.** Prehľad experimentálnych plôch VDO Kozie chrby

Plocha	Termín aplikácie	Spôsob aplikácie	Dávka popola
K (kontrolná)	-	Bez zásahu	-
454	Jeseň 2011	Celoplošná letecká	3 t.ha <sup>-1</sup>
455	Jeseň 2011	Celoplošná letecká	1 t.ha <sup>-1</sup>

**Tabuľka 8.** Chemické zloženie dreveného popola pri leteckej aplikácii

Živiny	[%]	Rizikové prvky	[mg.kg <sup>-1</sup> ]
Ca	16,8	Cd	9,19
K	3,7	Pb	59,78
Mg	1,7	Cr	57,32
P	0,7	As	13,52
CaCO <sub>3</sub>	22,7	Hg	nd

## Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## Literatúra

- TÓTHOVÁ, S., 2008. Možnosti využitia dreveného popola produkovaného v MONDI SCP Ružomberok. Expertná štúdia pre užívateľa, NLC - Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 38 pp.
- TÓTHOVÁ, S., KRUPOVÁ, D., ĎURKOVIČOVÁ, J. 2011(a). Vlastnosti dreveného popola. Zborník príspevkov z medzinárodnej konferencie „Drevený popol zo spaľovania biomasy, Nitra 6.-7. október 2010. INTECH Slovakia 2011, p. 14 – 22.
- OTEPKA, P., TÓTHOVÁ, S., 2011(b). Vlastnosti dreveného popola a možnosti jeho využitia pri pestovaní energetických rastlín. Monografia, Bratislava: Agentúra na podporu výskumu a vývoja, 2011. 31 s. ISBN 978-80-970971-0-3.
- TÓTHOVÁ, S. A KOL. 2012(a). Využitie dreveného popola v lesnom hospodárstve. Záverečná správa OP Výskum a vývoj, NLC, TUZVO Zvolen, 156 p.
- TÓTHOVÁ, S., 2012 (b): Drevený popol. Užívateľská príručka. 2012, 20 strán. Vydal Agart Trnava. ISBN: 978-80-971104-1-3.
- TÓTHOVÁ, S., 2012(c). The utilization of wood ash as fertilizer in Slovak forestry, 9 pp. Elektronický zborník príspevkov „ Conference „Ash Utilisation 2012 - Ashes in a Sustainable Society“, Stockholm, Sweden. <http://www.varmeforsk.se/files/program/askor/STothova.pdf>
- TÓTHOVÁ, S., 2013: Výskum dlhodobého vplyvu dreveného popola z Mondi SCP a.s. pri pestovaní lesov v regióne Kysuce. Záverečná správa, 2013, NLC - Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 32 pp.
- GOMORYOVÁ, E., TÓTHOVÁ, S., PICHLER, V., HOMOLÁK, M., KRIŠŠÁK, V., GOMORY, D. 2016 : Wood ash effect on chemical and microbiological properties of topsoil in a Norway spruce stand one yer after the tretment. *Folia Oecologica*, vol. 43, no 2, (2016) ISSN 1336-5266 , p. 156-163.
- GOMORYOVÁ, E., PICHLER, V., TÓTHOVÁ, S., GOMORY, D. 2016. Changes of chemical and biological properties of distinct forest floor layers after wood ash application in a Norway spruce stand. *Forests* 2016, 7, 108, doi: 10.3390/f 7050108. 16 strán. [www.mdpi.com/journals/forests](http://www.mdpi.com/journals/forests)

## Zhrnutie

**Experimental use of wood ash in the forests of Slovakia.** The article provides review of the long-term experiments with wood ash application in the forests of Slovak Republic. The research was initiated at Forest Research Institute in the year 2000. The first samples of wood ash directly from the biomass plants were collected in the project “Energetic Use of Biomass in the Agriculture“. Nutrients content and positive experiences with the tradition of using the wood ash as a fertilizer in Scandinavian countries stimulated the beginning of the experiments in Nálepkovo. The research continued with the project “Wood Ash Utilization in Forestry” (Operational Program Research and Development), which originated on the basis of increased interest in renewable energy sources that was related to growing solid waste production after wood burning – the wood ash. We were able to implement the research thanks to good cooperation with the institutions Lesy SR, Obecné lesy Nálepkovo and PRO POPULO Poprad s.r.o., that provided the areas of forests, where the wood ash application and field experiments took place. As well as the cooperation with the biomass plants’ operators that provided the wood ash. Utilization of wood ash as a fertilizer brings several positive effects to the forestry practice in the form of lowering the amount of landfilled wood ash and its return to the natural cycle of nutrients.



### **Kľúčové slová**

drevný popol, hnojenie, lesný porast

### **Kontaktne adresy**

RNDr. Slávka Tóthová, PhD.

Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu

Lesnícky výskumný ústav Zvolen

Národné lesnícke centrum

T.G. Masaryka 2175/22

960 01 Zvolen, Slovak Republic

slavka.tothova@nlcsk.org

## ZMENY pH V PÔDE PO APLIKÁCIÍ DREVNÉHO POPOLA

Danica Krupová, Ružena Kršiaková, Slávka Tóthová

### 1 Úvod

Pre využívanie obnoviteľných zdrojov energie je v súčasnosti značne rozšírené spaľovanie drevnej biomasy, ktoré je spojené s tvorbou drevného popola. Drevný popol je možné definovať ako anorganický zvyšok odumretej organickej hmoty, ktorý vzniká spaľovaním. V dnešnej dobe je vo veľkej miere uskladňovaný na skládkach komunálneho odpadu. Už viac rokov je riešená otázka bezpečnej aplikácie drevného popola do pôdy ako alternatívneho hnojiva v poľnohospodárstve a v lesníctve. Pre využitie drevného popola na Slovensku sú veľkou inšpiráciou skúsenosti a poznatky zo škandinávskych krajín (TÓTHOVÁ, S. 2007). Výsledky ukazujú, že drevný popol má pozitívne účinky na chemizmus lesnej pôdy. Po aplikácii popola došlo k zvýšenému prírastku u ihličnatých drevín a s postupujúcim časom i zvýšeniu mikrobiálnej aktivity v pôde a zlepšenie rozkladu opadu (OMIL, B., et al. 2013).

### 2 METÓDY A MATERIÁL

Po jednorazovej aplikácii drevného popola na experimentálnej ako i na kontrolnej ploche v smrekovom poraste boli sledované zmeny aktívneho pH vo vzorkách pôdy počas obdobia 7 rokov.

#### 2.1 Experimentálne plochy

Na jeseň v roku 2010 boli založené dve výskumné plochy s výmerou 40 x 40 m. Kontrolná plocha (plocha K), na ktorú nebol drevný popol aplikovaný a experimentálna plocha (plocha P) kde bol aplikovaný drevný popol v množstve 5 t.ha<sup>-1</sup>.

**Tabuľka 1.** Základná lesohospodárska charakteristika experimentálnej plochy (dokument Lesná správa Hriňová)

Nadmorská výška	775 - 820 m.n.m.
Expozícia	severná
Sklon	0,2
Hospodársky súbor	45 HV 90
Skupina lesných typov	živné bučiny
Lesný typ	4312 - marinková typická bučina
Ekologický rad	B - živný

Na plochách sa nachádza 100 % zastúpenie *Picea abies* vo veku približne 80 rokov. Plochy sa nachádzajú na území LHC Hriňová na rozhraní Veporských a Stolických vrchov. Lokalita GSP (súradnice: 48°34'56.16" zemepisnej šírky, 19°36'8.06" zemepisnej dĺžky) (48°34'56.16"; 19°36'8.06"). Na území prevládajú hlbinné magmatity ako napr. granodiority, na ktorých sa vyvinuli kyslé modálne kambizeme (ŠÁLY, R. 1996). Oblasť patrí do mierne chladného teplotného pásma s priemernými júlovými teplotami 12-16 °C s priemerným ročným úhrnom zrážok 700 – 900 mm.



Obrázok 1. Plochy P-experimentálna a K-kontrolná (www.google.sk/maps)

## 2.2 Úprava drevného popola

Aplikovaný drewný popol pochádzal z teplárne Hriňová, zo spaľovania chemicky neošetreného dreva. Avšak pred aplikáciou bol stabilizovaný na skládke, kde počas štyroch mesiacov bol vystavený meteorologickým podmienkam. Počas skladovania došlo k zmene niektorých chemických vlastností. Chemické vlastnosti popola bezprostredne po spálení a popola zo skládky popisuje tabuľka 2.

Tabuľka 2. Vybraté chemické parametre drevného popola

Parameter	Drewný popol po spálení	Drewný popol po 4 mesačnom skladovaní
Sušina	99,8 %	52,6 %
pH	12,8	9,0
Uhlíčitany	4,35 %	20,5%
Vodivosť	9,75 mS/cm	1,95 mS/cm

## 2.3 Odber a analýza vzoriek

Drewný popol bol na jeseň v roku 2010 aplikovaný na povrch experimentálnej plochy. V rokoch 2012, 2014 a 2017 boli z oboch plôch (experimentálnej aj kontrolnej) odobraté vzorky pôd podľa normy STN 48 1000: Odber a príprava vzoriek lesných pôd pri zisťovaní zdravotného stavu lesa (2000).

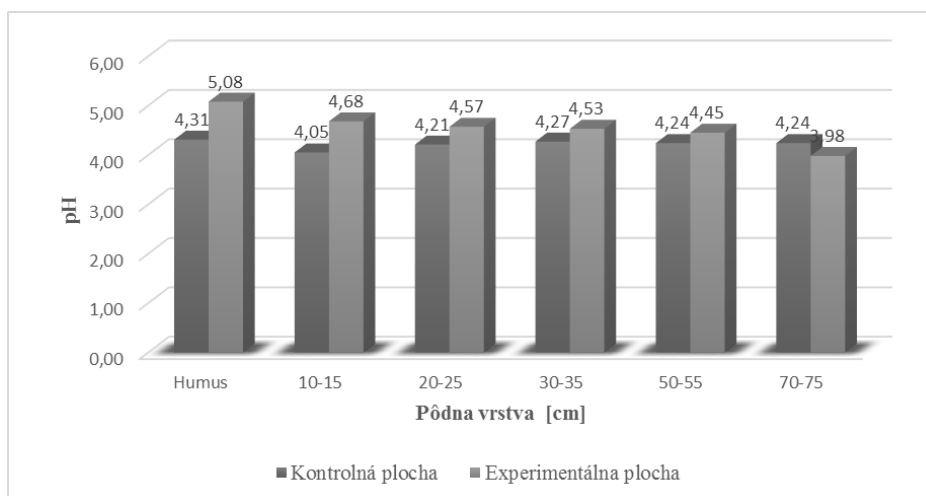
Odber pôdy sa uskutočnil z pôdnych horizontov: humus, 10-15cm, 20-25cm, 30-35cm, 50-55cm, 70-75cm, 90-95 cm v troch rokoch 2012, 2014 a 2017. Odobraté vzorky pôd boli po vysušení preosiate cez 2 mm sito. Z preosiatej pôdy bolo stanovené pH vo vode (pôdna reakcia aktívna) podľa normy STN ISO 10390 (2005) na kalibrovanom pH metri WTW pH InoLab 3.

Boli vyhodnotené rozdiely pH vo vode medzi kontrolnou a experimentálnou plochou, ale i zmeny pH na experimentálnej ploche počas sledovaného obdobia v jednotlivých odobratých hĺbkach.

### 3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Pôdna reakcia (pH) je jedným z najdôležitejších parametrov pôdnej úrodnosti, ktorá významne ovplyvňuje vlastnosti pôd. Zasahuje do pôdotvorných procesov, ovplyvňuje rozpustnosť mnohých látok, prístupnosť živín, biochemické reakcie ako i štruktúru pôdy.

Na pôdnu reakciu má vplyv prítomnosť zlúčenín  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$  v pôdotvorných substrátoch. Pri ich nadbytku majú pôdy alkalickú reakciu a pri ich absencii je pôda kyslá. V pôdoznalectve sa pôdna kyslosť rozlišuje na aktívnu a výmennú. V tomto experimente bola hodnotená len aktívna pôdna kyslosť, ktorá je definovaná  $\text{H}^+$  a  $\text{OH}^-$  iónmi voľne prítomnými v pôdnom roztoku. Stanovuje sa meraním pH v suspenzii pôdy a destilovanej vody v pomere 1:5. Na obrázku 2 sú znázornené rozdiely pH vo vode medzi kontrolnou a experimentálnou plochou po 7 rokoch od aplikácie drevného popola.



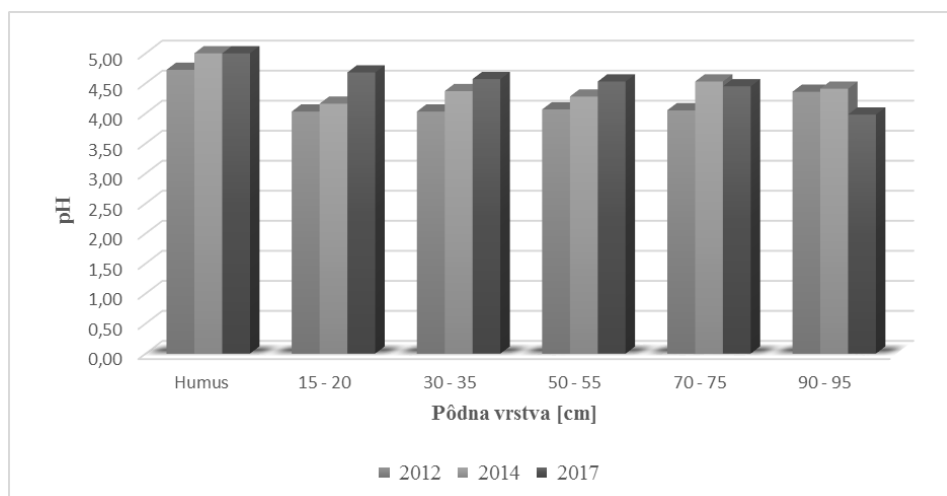
**Obrázok 2.** Aktívna pôdna reakcie (pH/H<sub>2</sub>O) vo vzorkách pôdy v roku 2017

Najvýraznejšie zvýšenie pH bolo zaznamenané v humusovej vrstve. So zvyšujúcou hĺbkou odberu sa rozdiely v pH medzi kontrolnou a experimentálnou plochou znižovali. Dokonca vo vrstve 70 -75 cm bolo pH na experimentálnej ploche nižšie ako na kontrolnej. Zmeny pH na experimentálnej ploche v jednotlivých rokoch odberu sú na obrázku 3.

Kým hodnoty pH (H<sub>2</sub>O) aktívnej pôdnej reakcie sa v hornej organickej vrstve zmenili len v prvých rokoch od aplikácie, tak v ďalších troch hĺbkach (do hĺbky 55 cm) došlo k výraznejším zmenám s pribúdajúcimi rokmi od aplikácie. Vo väčších hĺbkach pod 70 cm zmeny pH v 7 roku od aplikácie boli nevýrazné. Po 4 rokoch od aplikácie drevného popola bolo zaznamenané zvýšenie pH v humusovej vrstve, avšak v minerálnych vrstvách pôdy boli zmeny v hodnotách pH pôdy nevýrazné (HYBSKÁ, H. et al., 2020).

Všeobecne na Slovensku prevládajú kyslé pôdy s pH pod 6,5, ale väčšinou sú sorpčne nasýtené. (PAVLENDÁ, P. et al. 1995). OMIL, B. et al. (2007) vo svojej štúdií poukázal na zvýšenie pH na plochách po aplikácii drevného popola v porastoch s *Pinus radiata*. Po troch rokoch od jednorázovej aplikácie sa pôdna reakcia zvýšila na jednotlivých plochách o 0,4 – 4,6 %. Zvýšenie pH lesnej pôdy zaznamenávajú všetky štúdie, kde sa aplikoval drevný popol na pôdu v ihličnatých lesoch (JACOBSON, S., et al. 2004). Dlhodobé zvýšenie pH opisujú SAARSALMI, A. et al. (2012), ktorý po 30 rokoch od aplikácie popola v množstve 5 t.ha<sup>-1</sup> spolu s dusíkom zaznamenal zvýšenie o 0,5 pH v poraste borovice. Drevný popol zvyšuje pH

pôdy, čo sa pozitívne prejavuje na produkcii ekosystému a zlepšení vybraných pôdných vlastností (OMIL, B. et al. 2013).



Obrázok 3. pH/H<sub>2</sub>O vo vzorkách z experimentálnej plochy počas monitorovaného obdobia

## 4 ZÁVER

Jednorazová aplikácia drevného popola na lesnú pôdu v smrekovom lese viedla k zvýšeniu aktívneho pH a tým zlepšeniu kvality pôdy. Po 7 rokoch od aplikácie bolo pozorované zvýšenie aktívneho pH. Na experimentálnej ploche sa pH pôdy zvyšovalo do hĺbky 55 cm s pribúdajúcimi rokmi od aplikácie. Výsledky ukazujú, že drevný popol má pozitívne účinky na chemizmus lesnej pôdy. Zmeny neboli tak výrazné ako sme očakávali, čo mohlo byť zapríčinené veľkosťou aplikovanej dávky. V budúcnosti by bolo vhodné experiment zopakovať a zamerať sa na veľkosť aplikovanej jednorazovej dávky alebo na aplikácie opakovaných dávok. Pre stav slovenských lesov by bolo vhodné čiastočné zníženie kyslosti lesných pôd ako i doplnenie živín aplikáciou drevného popola ako alternatívneho hnojiva. Týmto by mohlo dôjsť k zlepšeniu produkčných vlastností i vitality lesa, ako aj chemizmu rastlín.

## Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## Literatúra

- HYBSKÁ, H., KRUPOVÁ, D., OLLEROVÁ, H., ZACHAROVÁ, A., ĎURICOVÁ, A., 2020 Impact of wood combustion waste from thermal wood recovery on soil properties. *In Acta Facultatis Ecologiae: journal of Faculty of Ecology and Environmental Sciences Technical University in Zvolen.* - ISSN 1336-300X. - Vol. 42, no. 1 (2020), s. 7-1
- JACOBSON, S., HÖGBOM, L., RING, E., NOHRESTEDT H. – O., 2004. Effects of wood ash dose and formulation on soil chemistry at two coniferous forest sites. *Water, Air and Soil Pollution* 158: 113 – 125.

OMIL, B., PIÑEIRO, V., MEINO, A. 2007. Trace elements in soils and plants in temperate forest plantations subjected to single and multiple applications of mixed wood ash. *Science of the Total Environment* 381, s. 157-168.

OMIL, B., PIÑEIRO, V., MEINO, A. 2013. Soil and tree responses to the application of wood ash containing charcoal in two soils with contrasting properties. *Forest Ecology and Management* 295, s. 199 -212.

PAVLENDÁ, P., ŠÁLY, R., BUBLINEC, E., JURÁNI, B., ŠVEC, M., DUBOVÁ, M., CICÁK, A., DLAPA, P., KROMKA, M., 1995. Prehľad poškodenia lesných pôd imisiami. *Záverečná správa čiastkovej referenčnej úlohy 2e. 1995* Zvolen : 112 s.

SAARSALMI, A., SMOLANDER, A., KUKKOLA, M., MOILANEN, M., SARAMÄKI, J. 2012. 30-year effect of wood ash and nitrogen fertilization on soil chemical properties, soil microbial processes and stand growth in a Scots pine stand. *Forest Ecology and Management* 279, s. 63 -70.

STN 48 1000. 2000. Odber a príprava vzoriek lesných pôd pri zisťovaní zdravotného stavu lesa.

STN ISO 10390. 2005 - Stanovenie pH v pôde

ŠÁLY, R., 1996. Pedológia. Učebné texty, Technická univerzita vo Zvolene: 177 s.

TÓTHOVÁ, S. 2007. *Aplikácia drevného popola do pôdy a jeho vplyv na chemizmus pôdy a výživu drevín*. dizertačná práca. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. Lesnícka fakulta. 2007. p.230

## Zhrnutie

**Changes of pH in soil after application of wood ash.** This paper presents the results of changes in soil acidity after application of wood ash. A single dose of wood ash was applied in the amount of 5 t per hectare on experimental area in 2010. The experimental and control areas were established on the territory of the Forest Plant in Hriňová with a majority of spruce (*Picea abies* (L.) Karst). Soil samples were taken from seven depths in 2012, 2014 and 2017. After 7 years from the application, an increase in pH (H<sub>2</sub>O) was observed in the upper collected layers. Changes in pH on experimental plots have shown that the pH increases with passing years from application but only to a soil depth of 55 cm.

## Kľúčové slová

drewný popol; lesná pôda; zmeny aktívneho pH;

## Kontaktné adresy

Ing. Danica Krupová PhD.; Ing. Ružena Kršiaková  
Centrálne lesnícke laboratórium  
Lesnícky výskumný ústav Zvolen  
Národné lesnícke centrum  
T.G. Masaryka 2175/22  
960 01 Zvolen, Slovak Republic  
danica.krupova@nlcsk.org; ruzena.krsiakova@nlcsk.org

## METODIKA STANOVENIA CHEMICKÝCH VLASTNOSTÍ DREVNÉHO POPOLA

Ružena Kršiaková, Danica Krupová, Slávka Tóthová

### 1 Úvod

Spotreba dendromasy pre energetické účely sa neustále zvyšuje. Predpokladá sa že do roku 2050 vzrastie na 3,11 mil. ton ročne (ORAVEC et al. 2012). Použitie drevného paliva ako významného obnoviteľného energetického zdroja je spojené so zvýšenou produkciou drevného popola. Tento je v súčasnosti považovaný za odpad, ktorý sa zvyčajne hromadí na skládkach. Pri získavaní dendromasy pre účely spaľovania často dochádza k intenzívnemu odberu drevnej biomasy zo stanovišťa. Zber celých drevných častí biomasy spolu s odnosom ťažbových zvyškov z porastu má nepriaznivé dopady na ekosystém. Vzniká riziko fyzikálneho poškodenia povrchu pôdy, strát organického uhlíka a tiež straty minerálnych výživových prvkov. Týmto sa znižuje potenciálna úrodnosť lesa. So stratou základných kationov dochádza k redukcii pufrácie a výmennej kapacity a zakysľovaniu (VANGUELOVA et al. 2010). Určitým trvalo udržateľným riešením by bolo využitie drevného popola vznikajúceho pri spaľovaní dendromasy pre účely alternatívneho hnojenia. Použitie drevného popola na hnojenie poskytuje možnosť zavedenia popola zo spaľovania späť do ekosystému, a tým aj recykláciu výživných látok. Pre tieto účely je však potrebné poznať chemické vlastnosti popola.

### 2 Druhy popola a jeho vlastnosti

Tuhé palivá obsahujú hlavne uhlík a jeho zlúčeniny s vodíkom, kyslíkom a dusíkom a v menšej miere tiež sírne zlúčeniny. Väčšina týchto prchavých organických zlúčením sa v procese horenia mení na plyn a spolu s vodou sa vyparia. Minerálne súčasti zostávajú nezmenené pokiaľ sú tepelne stabilné. V procese horenia sa môžu meniť na málo prchavé, či úplne neprchavé oxidy tvoriace chemický základ popola. Popoly sú sypké, nezhořené zvyšky tuhých látok. Drevný popol je silne zásaditý vápenato-draselný materiál s množstvom výživových prvkov (DEMEYER, A. et al, 2010). V minulom storočí bola nižšia účinnosť spaľovania. Pri použití cirkulačného fluidného systému sa dosahuje výrazne vyššia účinnosť spaľovania. V súčasnosti prevažujú kotly separujúce filtrový a roštový popol. Pri spaľovanom procese ťažké kovy prchajú a zachytávajú sa kondenzáciou na filtri. Výsledkom čoho je vysoká koncentrácia ťažkých kovov vo filtrovom popole (VESTERINEN, P., 2003).

Pre zachovanie vysokého obsahu výživových prvkov v popole je ideálna teplota spaľovacieho procesu v rozmedzí 500-800 °C., kedy vzniká popol s vyhovujúcimi vlastnosťami pre využitie na účely hnojenia.

Obsah látok v drevnom popole závisí od :

- zloženia pôvodnej spaľovanej suroviny, druhu dreveniny, typu materiálu (drevo, kôra, štiepka, piliny, odrezky),
- podmienok, za ktorých prebieha spaľovací proces, predovšetkým teploty a množstva kyslíka, ktorý horenie podporuje. Pri nízkych teplotách alebo pri nedostatku kyslíka obsahuje popol značné množstvo pôvodného nespáleného materiálu
- miesta odberu popola, druhu popola roštový, fluidný – filtrový (TÓTHOVÁ 2013)

### 3 Analýzy chemických vlastností v drevnom popole

V Centrálnom lesníckom laboratóriu NLC sa analýzy chemizmu drevného popola vykonávajú už viac ako 10 rokov. Pre stanovenie chemických vlastností popola sa používajú modifikované metódy pre stanovenie parametrov v pôdach. Dodané vzorky popola sa v laboratóriu pred analýzami upravujú mletím alebo drvením s následným presitovaním cez 2 mm sito. Takto pripravená vzorka je vhodná na analýzy. Chemické analýzy v drevnom popole sa vykonávajú podľa noriem popísaných v tabuľke 1.

Tabuľka 1. Používané analytické metódy v drevnom popole

Parameter	Referenčná metóda			Jednotky
	Norma	Výluh	Princíp metódy	
Sušina	STN ISO 11465	-	Gravimetria	%
pH (CaCl <sub>2</sub> )	ISO 10390	0,01 M CaCl <sub>2</sub>	Potenciometria	-
pH (H <sub>2</sub> O)		H <sub>2</sub> O		-
Vodivosť	STN ISO 11265	H <sub>2</sub> O	Konduktometria	mS/cm
Celkový dusík	DIN ISO 13878	-	EA-TCD	%
Celkový uhlík	STN ISO 10694	-	EA-TCD	%
Uhlíčitany	STN EN ISO 10693	HCl	Jankov vápnomer	%
Celkový obsah prvkov P, K, Ca, Mg, Mn, Cu, Cd, Pb, Zn, Al, Fe, Cr, Ni, Na	ISO 11885 ISO 11466	Aqua regia zmes HNO <sub>3</sub> a HCl	ICP-OES	mg/kg
Hg	ČSN 75 7440	-	AAS-AMA	mg/kg

Pre zabezpečenie kvality meraní bol vyrobený interný referenčný materiál (IRM) popola označovaný ako P4. Jeho hodnoty pre jednotlivé parametre boli určené na základe viacnásobnej analýzy (20-30 krát). Z výsledkov sa vypočítala priemerná hodnota a smerodajná odchýlka z ktorých bol vytvorený regulačný diagram. IRM - P4 sa meria v každej sérii dodaných vzoriek popola. Jeho hodnota sa zapisuje do Shewhartovho regulačného diagramu, kde sú určené kontrolné limity. Ak sa nameraná hodnota IRM-P4 nachádza vo vyznačených limitoch je celý analytický proces zabezpečený správne.

Analyzované sú všetky druhy popola. Zvyčajne popol roštový, filtrový a zmiešaný. V rámci projektu OPVaV-2008/2.2/01-SORO „Využitie drevného popola v lesnom hospodárstve“ bol analyzovaný i drevný popol, ktorý prešiel stabilizačným procesom. Pri ňom časť roštového i filtrového popola bola zmiešaná a uskladnená asi na 1 m vysokej hromade skládky popola. Pôsobením metrologických podmienok sa niektoré chemické vlastnosti drevného popola zmenili.

#### 3.1 Stanovenie sušiny

Stanovenie sušiny sa vykonáva podľa príslušnej normy (tabuľka 1), ktorá je založená na princípe gravimetrie. Vzorka sa suší v sušiarňi pri teplote 105° ± 5° C do konštantnej hmotnosti. Rozdiel v hmotnosti vzorky pred a po sušení slúži na vypočítanie obsahu sušiny alebo hmotnostného obsahu vody (vlhkosť). Výsledná hodnota sušiny z filtrového a roštového



popola dosahuje takmer 100 %. Pohybuje sa v rozmedzí 99,81 – 99,99 %. Skládkovaním popola počas 4 mesiacov sa obsah sušiny výrazne zmenil. Hodnoty sušiny popola zo skládky sa znížili na hodnoty blízke 50 %.

### **3.2 Stanovenie pH**

pH je negatívny dekadický logaritmus koncentrácie vodíkových iónov. Stanovenie pH sa vykonáva na princípe potenciometrie podľa príslušnej normy (tabuľka 1). pH hodnota sa meria na PH-metri v suspenzii vytvorenej zo zmesi popola a kvapaliny v pomere 1:5. Hodnoty pH v suspenzii popola s vodou a popola v roztoku chloridu vápenatého sú takmer identické. Priemerné pH v roštovom popole bolo 12,76, vo filtrovom popole 12,74 a v skládkovom popole 8,99. Zníženie pH v popole zo skládky bolo pravdepodobne zapríčinené zmenami jeho chemického zloženia, t. j. premenou oxidov kovov cez ich hydroxidy až na uhličitaný.

### **3.3 Stanovenie špecifickej elektrickej vodivosti (EC)**

Stanovenie špecifickej elektrickej vodivosti sa vykonáva na princípe merania elektrolytického odporu vrstvy vzorky medzi dvoma platinovými elektródami podľa príslušnej normy (tabuľka 1). Meria sa na konduktometri v suspenzii vzorky popola a deionizovanej vody pripravenej v pomere 1:5 za účelom rozpustenia elektrolytov. Hodnoty vodivosti popola z roštu a filtra sú okolo 10 mS/cm. Chemickými zmenami sa vodivosť v popole zo skládky znížila na 1,954 mS/cm.

### **3.4 Stanovenie uhličitanov**

Stanovenie uhličitanov sa vykonáva podľa príslušnej normy (tabuľka 1) na princípe volumetrie. K presne naváženej vzorke popola sa pridá kyselina chlorovodíková. Prítomné uhličitaný sa jej pôsobením rozložia a objem vytvoreného oxidu uhličitého sa zmeria pomocou Scheiblerovej jednotky (Jankov vápnomer). Obsah uhličitanov v roštovom a filtrovom popole býva okolo 4%. V popole zo skládky došlo k zvýšeniu obsahu uhličitanov s hodnotami medzi 10 až 20 %.

### **3.5 Stanovenie celkového uhlíka a dusíka**

Stanovenie celkového uhlíka a dusíka sa vykonáva podľa príslušných noriem (tabuľka 1) na elementárnom analyzátore CNS. Meranie je vyhodnocované oproti štandardnej látke na princípe tepelnej vodivosti. Množstvo uhlíka v drevnom popole závisí od efektívnosti spaľovacieho procesu. V prípade účinného spaľovania je jeho obsah nízky. Z tohto poznatku je evidentné, že v roštovom popole je nižšia koncentrácia uhlíka ako vo filtrovom popole. Vo filtračnom systéme kotla sa zachytávajú úlety sadzí. Hodnoty celkového uhlíka v roštovom popole sú 11,1 g/kg a vo filtrovom 114 g/kg.

Obsah dusíka je v popoloch veľmi nízky, čo je považované za hlavný nedostatok pri aplikácii na lesné pôdy. Hodnoty celkového dusíka sú v roštovom popole 0,07 g/kg a vo filtrovom 1,18 g/kg.

### **3.6 Stanovenie celkových obsahov živín a ťažkých kovov**

Celkové obsahy prvkov sa stanovujú metódou AES- ICP založenej na meraní atómovej emisie jednotlivých atómov prvkov optickou spektroskopickou technikou podľa príslušných noriem (tabuľka 1). Vzorky popola sa musia pred stanovením rozložiť, previesť do kvapalného stavu rozkladom lúčavkou kráľovskou ( $\text{HNO}_3$  a  $\text{HCl}$  v pomere 1:3).

Obsahy fosforu, vápnika, draslíka a horčíka sú vo všetkých druhoch analyzovaných popolov porovnateľné v rámci variability výsledkov. Ani vplyvom skladovania nedošlo k zmene v ich obsahu. Obsahy výživových prvkov v rôznych druhoch popola sú popísané v tabuľke 2.

**Tabuľka 2.** Porovnanie obsahov výživových prvkov v rôznych druhoch popola.

Poradie	Prvok	Jednotka	Popol		
			roštový	filtrový	skládka
1.	P <sub>AR</sub>	g/kg	7,16	8,32	7,91
2.	Ca <sub>AR</sub>	g/kg	134	136	118
3.	Mg <sub>AR</sub>	g/kg	14,3	13,1	12,5
4.	K <sub>AR</sub>	g/kg	40,3	45,5	35,8

Obsah ťažkých kovov býva vo filtrovom popole zvyčajne vyšší ako v roštovom popole (TÓTHOVA, S., 2013). V našich výsledkoch sa to potvrdilo len pri prvkoch zinok, kadmium, olovo a ortuť. Porovnanie obsahov ťažkých kovov v roštovom popole, v filtrovom popole a popole na skládke je popísané v tabuľke 3.

**Tabuľka 3.** Porovnanie obsahov ťažkých kovov v rôznych druhoch popola

poradie	prvok	jednotka	Popol		
			roštový	filtrový	skládka
1.	Cu <sub>AR</sub>	mg/kg	57,6	68,5	74,5
2.	Zn <sub>AR</sub>	mg/kg	129	550	424
3.	Al <sub>AR</sub>	mg/kg	32 400	39 400	34 400
4.	Fe <sub>AR</sub>	mg/kg	22 968	22 378	25 193
5.	Mn <sub>AR</sub>	mg/kg	3 578	3 869	4 515
6.	Cr <sub>AR</sub>	mg/kg	43,9	46,4	38,0
7.	Cd <sub>AR</sub>	mg/kg	< 0,24	4,96	3,58
8.	Pb <sub>AR</sub>	mg/kg	17,5	52,3	32,0
9.	As <sub>AR</sub>	mg/kg	10,7	9,76	8,88
10.	Hg <sub>T</sub>	µg/kg	2,87	114,5	102,1

Stanovené hodnoty väčšiny prvkov v roštovom, filtrovom i popole zo skládky boli porovnateľné v rámci variability výsledkov.



Obrázok 1. Prístroj ICP-OES pre meranie prvkov.

#### 4 Využitie drevného popola v lesníctve

V intenzívne obhospodarovaných porastoch energetických drevín, s krátkou rubnou dobou, dochádza k rýchlemu odčerpávaniu prvkov minerálnej výživy. Odčerpávaním živín sa znižujú ich zásoby v pôde. Čiastočnou kompenzáciou môže byť minerálne viaczložkové hnojenie, čomu drewný popol s obsahom širokého spektra makroelementov a mikroelementov vyhovuje. Jeho aplikáciou, je možné čiastočne neutralizovať kyslé pôdy, zvýšiť obsah živinových bázických katiónov, znížiť mobilitu ťažkých kovov a tým zlepšiť kvalitu pôdy a prispieť k zvýšeniu kvantity produkcie.

#### Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drewnárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

#### Literatúra

DEMEYER, A., VOUNDI NKANA, J.C., VERLOO, M.G. 2001. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. In: *Bioresource Technology*, [online] 77: 287–295. Dostupné na: [https://www.researchgate.net/publication/12061118\\_Characteristics\\_of\\_wood\\_ash\\_and\\_influence\\_on\\_soil\\_properties\\_and\\_nutrient\\_uptake\\_An\\_overview](https://www.researchgate.net/publication/12061118_Characteristics_of_wood_ash_and_influence_on_soil_properties_and_nutrient_uptake_An_overview)

ORAVEC, M., BARTKO, M., SLAMKA, M. 2012. Postupy intenzifikácie produkcie drewnej biomasy na energetické využívanie. Národné lesnícke centrum – lesnícky výskumný ústav Zvolen, 2012, 64 s.

TÓTHOVÁ, S. 2013. Využitie popolov zo spaľovania biomasy v lesníctve. In *Lesnícky časopis - Forestry Journal* [online] 59(1): 71–72, Bratislava, Dostupné na: <http://www.nlcsk.sk/files/3639.pdf>

VANGUELOVA , E., PITMAN, R., LUIRO, J., HELMISAARI, H. S., 2010. Long term effects of whole tree harvesting on soil carbon and nutrient sustainability in the UK. *Biogeochemistry*, 101: Issue 1-3, s. 43-59.

VESTERINEN, P., 2003 Wood ash recycling state of the art in Finland and Sweden. *Research report PRO2/6107/03*. VTT Processes, Energy Production. Jyväskylä, Finland, 52 s.

## Zhrnutie

**Methodology for determining of the chemical properties of wood ash.** The production of wood ash is increasing as consequence the production of heat from renewable sources. Nowadays the wood ash is considered as waste. The better solution would be to use wood ash for alternative fertilization. For this purpose it is necessary to know the chemical properties of ash. The chemical composition of wood ash is characterized by parameters such as pH, conductivity, carbonate, total carbon and nitrogen, as well as the total content of the main nutrients, micronutrients and heavy metals. This paper describes the principles of analytical methods, quality assurance of measurement and results of selected parameters in wood ash. Most of the values obtained in grate ash, filter ash and landfill ash are comparable. Only the values of element Zn, Pb, Cd and Hg were higher in filter ash. Before application of wood ash it is important to choose appropriate ash according its chemical composition.

## Kľúčové slová

roštový, filtrový drewný popol; chemické analýzy;

## Kontaktné adresy

Ing. Ružena Kršiaková; Ing. Danica Krupová PhD.  
Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu  
Lesnícky výskumný ústav Zvolen  
Národné lesnícke centrum  
T.G. Masaryka 2175/22  
960 01 Zvolen, Slovak Republic  
ruzena.krsiakova@nlcsk.org; danica.krupova@nlcsk.org

## UDRŽATEĽNOSŤ FUNKCIÍ LESNÝCH PÔD: OHROZENIA A RIEŠENIA

Pavel Pavlenda

### 1 Úvod: funkcie pôdy a strategické dokumenty o pôde

Udržateľné využívanie pôd, a to poľnohospodárskych, lesných i inak využívaných, súvisí priamo alebo nepriamo s viacerými globálnymi cieľmi Agendy 2030 pre udržateľný rozvoj, a to najmä s cieľom 15 (Chrániť, obnovovať a podporovať trvalo udržateľné využívanie suchozemských ekosystémov, trvalo udržateľne manažovať lesy, bojovať proti dezertifikácii a zastaviť degradáciu krajiny a stratu biodiverzity), ale aj s cieľom 13 (Podniknúť bezodkladné opatrenia na boj proti klimatickým zmenám a ich dôsledkom) i s cieľom 12 (Zabezpečiť trvalo udržateľnú spotrebu a výrobné schémy). Dôsledkom uvedomenia si nutnosti poznania, monitorovania, výskumu a podpory udržateľného využívania pôd je aj vytvorenie Globálneho partnerstva pre pôdu (Global Soil Partnership – GSP) v roku 2012.

Degradácia pôdy predstavuje aj v Európe vážny problém. Degradáciu pôdy spôsobujú alebo zhoršujú ľudské aktivity, ako sú neprimerané poľnohospodárske, ale aj lesnícke postupy, či priemyselné aktivity a výstavba. Tieto aktivity majú negatívny vplyv, pretože zhoršujú plnenie všetkých funkcií pôd a služieb v prospech ľudí a ekosystémov.

Keď sa hovorí o pôde, väčšinou sa prioritne pozornosť zameriava na jej poľnohospodárske využívanie a produkciu potravín. S odkazom na pôdu ako „živú pokožku planéty Zem“ (KUTÍLEK, NIELSEN 2016) si teda najskôr pripomeňme funkcie pôdy tak, ako sú zvyčajne uvedené v dokumentoch o pôde:

- produkcia biomasy, ako základná podmienka života človeka a iných organizmov na zemi,
- filtrácia, neutralizácia, transport a premena látok pri ochrane životného prostredia, a to najmä kvality podzemných vôd a potravinového reťazca,
- ekologický a genetický potenciál, ktorými pôda zabezpečuje nenarušený život rastlín a živočíchov a súčasne ochraňuje genetický potenciál týchto organizmov nevyhnutný k životu človeka,
- pôda ako fyzikálne médium, čo znamená, že pôda je priestorovou základňou pre socio-ekonomické aktivity ako sú poľnohospodárstvo, lesníctvo, priemysel, turizmus a iné,
- pôda ako zdroj surovín - zásobáreň vody, ílu, piesku, hornín, minerálov a pod.,
- pôda ako kultúrne dedičstvo krajiny (stav skultúrnenia pôdy).

Pre kompetentné rozhodnutia sú potrebné spoľahlivé informácie o stave pôd a prebiehajúcich procesoch v pôdach. Podľa „Tematickej stratégie ochrany pôdy“ (COM(2006) 231) Európskej komisie je potrebné pokračovať vo výskume, aby sa vyplnili medzery vo vedomostiach o pôde a upevnili sa základy jednotlivých politík.

Najmä na úrovni EÚ sa teda pristupuje k problematike funkcií pôd a ich hodnotenia veľmi aktívne (Montanarella 2010, Stolte et al. 2016). Európske partnerstvo pre pôdu (ako súčasť Global Soil Partnership) je postavené na 5 pilieroch: manažment pôdy, povedomie o pôde, výskum, informácie o pôdach a harmonizácia.

Za prioritné témy sa pritom považujú:

- procesy, ktoré sú základom funkcií pôdy (napr. úloha pôdy pri všeobecnej bilancii CO<sub>2</sub> a pri ochrane biologickej diverzity),
- priestorové a časové zmeny v pôdnych procesoch,

- ekologické, hospodárske a sociálne faktory, ktoré predstavujú hrozbu pre pôdu,
- faktory ovplyvňujúce ekologické funkcie pôdy a
- postupy a technológie pre ochranu a obnovu pôd.

Kým pri poľnohospodársky využívaných pôdach sa zámerne a intenzívne zasahuje do ich vlastností, a teda sa aj ich zmeny považujú za samozrejmé a často aj žiaduce, v prípade lesných pôd sa vo všeobecnosti určitá dynamika (v strednodobom a dlhodobom rámci) často podceňuje. S trochou páťosu povedané, tej „neviditeľnej polovici lesa“ – pod povrchom pôdy – sa venuje menšia pozornosť, než je potrebné.

Hoci v mnohých smeroch a na rôznych úrovniach (nielen národnej ale aj medzinárodnej) pretrváva určitý rezortizmus a parciálny prístup k hodnoteniu a využívaniu pôd, v posledných rokoch je zrejmy významný posun k integrovanému hodnoteniu pôdy ako prírodného zdroja, čo sa odráža vo viacerých hodnotiacich dokumentoch a procesoch na európskej úrovni.

## 2 Riziká a nepriaznivé vplyvy na lesné pôdy

Z hľadiska možných krokov a opatrení pre udržateľnosť vlastností a funkcií lesných pôd je dôležité rozlišovať príčiny a kontext ich ohrozenia. Za hlavné riziko pre lesné pôdy Slovenska sa pred dvoma desaťročiami považovali imisie znečisťujúcich látok do pôdy a kyslé zrážky, teda poškodzovanie „vonkajšieho“ pôvodu (mimo lesného hospodárstva). Za dôležité však boli považované aj nevhodné aktivity lesného hospodárstva, a to zmena drevinovej skladby v prospech ihličnatých monokultúr a intenzívny odber biomasy (Bublinec 2000). Výrazne vyššie riziko je pri odobraní celej biomasy z lesa vrátane tenčiny a asimilačných orgánov drevín. Tieto dva vplyvy na pôdy, priamo súvisiace s obhospodarovaním lesov, boli spájané najmä s nepriaznivým vplyvom na zásoby a kolobeh živín (Bublinec 2000).

V súčasnosti sa v našich podmienkach vo vzťahu k prírodným i kultúrnym ekosystémom za najväčšie ohrozenie považuje globálna zmena klímy. Odhady možných dôsledkov na pôdu boli spracované rámcovo už dávnejšie, a to pre poľnohospodárske pôdy (Sobocká a kol. 2005) i pre lesné pôdy (Pavlanda, Šály 2003). Zmena klímy ako – popri vlastnostiach geologického pôdotvorného substrátu – najdôležitejšieho faktora má samozrejme dopad na širokú škálu vlastností pôd. Bezprostredne ovplyvňuje najmä vodný režim a teplotný režim pôd, teda fyzikálne pôsobiacie režimy pôd, ale významne môže pozmeniť aj chemické a biochemické procesy, a tým aj chemické vlastnosti pôd. Týka sa to dostupnosti podmienok zvetrávania a kolobehu živín i premien organickej hmoty.

Živiny (a iné prvky) cirkulujú v prírodných nemanajovaných lesných ekosystémoch z dlhodobého hľadiska takmer bez strát. Zvetrávanie v koreňovej vrstve pôdy spravidla kompenzuje straty spojené s transportom živín v pôdnom roztoku do hlbších vrstiev. Vplyvy človeka najmä v strednej Európe však podstatne ovplyvnil export živín spojený s rôznymi príčinami a procesmi. Ako už bolo vyššie uvedené, išlo o straty báz spojené s kyslými atmosférickými depozíciami, ale aj so zvýšením intenzity ťažby a zmenami technológií ťažby stromov, ktoré zvýšili export živín z lesných ekosystémov. Pri odbere lesnej biomasy je na chudobnejších pôdach rizikom najmä odber tenčiny, v ktorej sú koncentrácie živín niekoľkonásobne vyššie ako v dreve. Dopadom odberu lesnej biomasy a návrhom nastavenia určitých pravidiel a limitov z hľadiska udržateľnosti vlastností a produktívnosti lesných pôd sa preto venuje v posledných rokoch mimoriadna pozornosť (Stupak et al. 2011, Oliveira Garcia 2018).

Helmisaari & Vanguelova (2013) zhrnuli nasledovné hlavné riziká spojené s odnosom ťažbových zvyškov z porastu:

- fyzikálne poškodenie povrchu pôdy, kompakcia pôdy, tvorba rýh a koľají, ktoré vedú k zvýšenej erózii,
- straty pôdneho organického uhlíka,
- odnos hlavných živín i mikroživín (s veľmi pravdepodobným priamym dopadom na úrodnosť pôdy a potenciálnu produkciu lesa),
- odnos bázických kationov z pôdy, redukcia pufracej a výmennej kapacity, ako a zakysľovanie pôd,
- mechanická disturbancia (v prípade vyťahovania a využívania pňov),
- strata množstva mŕtveho dreva a zásob viazaného uhlíka,
- rôzne vplyvy na biodiverzitu pôdy a lesa.

Lesné pôdy Slovenska sú vo všeobecnosti skôr bohaté (pomerne vysoký podiel karbonátových hornín a sopečných hornín, ale aj iných typov hornín s vysokými zásobami potenciálne zvetrateľných hlavných živín), a teda riziko zhoršenia vlastností pôd z hľadiska ich zásobenia živinami je potrebné diferencovať. Tejto problematike sa venovala pozornosť už v sedemdesiatych rokoch minulého storočia, naposledy bola riešená v rámci čiastkovej úlohy „Návrh limitov pre udržateľné využívanie dendromasy z hľadiska nutričného stavu lesných pôd“ v rámci projektu VIPLES, financovaného MPRV SR (Pavlenda a kol. 2018).

Prirodzený stav lesných pôd sa mení aj v dôsledku priamych intervencií do pôd vo forme vápnenia, prípadne aplikácie drevného popola, ktoré sa v niektorých krajinách pomerne masívne realizujú ako kompenzačné opatrenia na pôdach ochudobnených o bázy v dôsledku kyslých imisných vstupov alebo v dôsledku intenzívneho odberu lesnej biomasy vrátane tenčiny a asimilačných orgánov.

Popri „plošnom“ hodnotení pôd s dôrazom na chemické vlastnosti je potrebné zamerať sa aj na „líniové“ zásahy do lesných pôd, ktoré súvisia s pohybom vody v lesnej pôde a v lesnej krajine (erózia najmä pri približovaní dreva, možné vplyvy na transformáciu podpovrchového pohybu pôdnej vody na povrchový odtok nevhodne budovanými cestami a zárezi do pôdneho povrchu a pod.).

### **3 Informácie o lesných pôdach**

Na Slovensku sa v súčasnosti, popri výskumných úlohách a projektoch, zameriavajú na stav pôd na celoštátnej úrovni dva reprezentatívne monitorovacie systémy v rámci informačného systému o životnom prostredí SR, a to Čiastkový monitorovací systém (ČMS) Pôda a ČMS Lesy. Tieto tvoria akúsi kostru informácií o pôdach. Jadrom aktivít ČMS Pôda je pravidelné detailné monitorovanie stavu poľnohospodársky využívaných pôd v pravidelnom 5-ročnom cykle.

V rámci ČMS Lesy, ktorý je zároveň súčasťou medzinárodného programu ICP Forests, sa vykonali dve podrobné zisťovania stavu pôd na plochách v sieti 16x16 km, a to v časovej a metodologickej harmonizácii v rámci Európy. Prvé vzorkovanie prebehlo v rokoch 1993-1995. Druhé sa realizovalo v rokoch 2006-2008 ako súčasť projektu BioSoil. Išlo o unikátny projekt, keďže takto harmonizované zisťovanie stavu pôd v Európe sa dovtedy nerealizovalo ani na poľnohospodárskych pôdach. Výsledky boli na úrovni Európy čiastočne spracované zo strany expertov z JRC vo forme technických správ JRC a formou štatistických prehľadov výsledkov v rámci projektu FutMon (De Vos, Cools 2011). Vyhodnotenie oboch zisťovaní a interpretácia zmien stavu pôd v Európe sa už nerealizovali, keďže príslušný projekt bol schválený iba na kratšiu dobu riešenia a ďalšie projekty pripravené v schéme LIFE+ neboli úspešné.

Na národnej úrovni boli výsledky monitoringu pôd zatiaľ podrobnejšie publikované iba v niektorých krajinách, príkladom komplexného výstupu je Nemecko (Wellbrock at al. 2016). Vo väčšine krajín zatiaľ absentuje publikovanie súhrnných výsledkov odberov a prieskumov z dvoch časových hladín.

Ďalším zdrojom údajov o lesných pôdach na Slovensku sú vzorky odoberané v rámci Národnej inventarizácie a monitoringu lesov Slovenska. Súčasťou prvého zisťovania v rokoch 2005-2006 na plochách NIML v sieti 4x4 km bolo aj vzorkovanie pôd, pri druhom zisťovaní sa podarilo zabezpečiť odbery v sieti 8x4 km. Rozsah zisťovaní bol značne obmedzený. Vzorky sú však archivované a je možné realizovať dodatočné stanovenia vybratých vlastností pôd.

Poznatky z monitoringu lesných pôd, publikované vo vedeckých periodikách, poukazujú na určité zmeny vlastností, pričom existujú rozdiely vo vývoji v rôznych regiónoch Európy. Zásoby pôdneho uhlíka vo všeobecnosti skôr rastú, ale v niektorých oblastiach Európy je indikovaný pokles zásob. Otázka miery sekvestrácie uhlíka v lesných pôdach, prípadne straty zásob uhlíka a teda aj prípadného príspevku k emisiám skleníkových plynov je vzhľadom na výmery lesov a jednotkové zásoby organického uhlíka v pôde (zásoba uhlíka v pôde presahuje celkovú zásobu uhlíka v lesnej biomase) zásadná aj z hľadiska záväzkov UNFCCC a Parížskej dohody.

#### **4 Integrácia poznatkov o pôdach a komplexné ponímanie funkcií lesných pôd**

V posledných rokoch sa v Európe zintenzívňujú snahy o prepojenie informačných zdrojov o pôdach a komplexné hodnotenie pôd – jednak pri hodnotení ich vlastností, hodnotení rizík pre lesné pôdy ale aj pri hodnotení súvislostí medzi funkciami lesných pôd, resp. ekosystémovými službami, ktoré poskytujú. V tomto kontexte sú dôležité aktivity EK prostredníctvom JRC, ale aj iné aktivity na medzinárodnej úrovni.

Konkrétnym príkladom holistického prístupu k problematike lesných pôd je projekt HoliSoils (Holistic management practices, modelling and monitoring for European forest soils), ktorého riešenie začína v roku 2021. Ide o medzinárodný projekt H2020, ktorý koordinuje fínsky inštitút LUKE a na ktorého riešení sa podieľa 20 európskych partnerských organizácií (prevažne univerzít).

K cieľom tohto projektu patrí (Lehtonen 2021):

- Zlepšiť poznatky o vlastnostiach lesnej pôdy, procesoch, biodiverzite a aktivite pôdnej mikrobioty, ktoré majú vplyv na ekosystémové služby lesa, založené na pôde (produkcia dreva, záchyt skleníkových plynov, zásobovanie vodou, zadržiavanie živín v pôde)
- Vyvíjať a zlepšovať moderné pôdne modely, harmonizovať ich v monitorovacom rámci na odhad tokov uhlíka (C) a skleníkových plynov, dusíka (N) a základných kationtov v lesných pôdach a integrovať ich do modelov fungovania lesných ekosystémov
- Vyvinúť štandardizované protokoly v kontexte reportingu skleníkových plynov, harmonizovať staršie údaje o pôde z viacerých zdrojov a sprístupniť ich koncovým používateľom prostredníctvom webového portálu
- Vyvinúť a uplatňovať metódy digitálneho mapovania pôdy s cieľom uľahčiť rozšírenie modelu na európsku úroveň
  - Hodnotiť vplyvy manažmentu lesa na funkčnosť pôdy, biodiverzitu, zásoby živín (tj. C, N, P, K, Mg, Ca a Mn) a na kvalitu pôdnej organickej hmoty



- Vyvinúť holistický „climate-smart forestry“ manažment, pri zohľadnení produktivity pôdy, výmeny skleníkových plynov, dostupnosti vody, rizika erózie a odolnosti pôdy voči degradácii) a študovať ich adaptačný a mitigačný potenciál
- Hodnotiť vplyvy prírodných disturbancií na fungovanie a odolnosť pôdy, identifikovať vhodné postupy pre hodnotenie zraniteľnosti pôdy a pre zabránenie degradácii pôdy

## 5 Záver

V súčasnosti sa podarilo v rámci NLC-LVÚ Zvolen vytvoriť podmienky pre systematickejšie venovanie pozornosti lesným pôdam. Po predchádzajúcom hodnotení stavu lesných pôd na trvalých monitorovacích plochách (TMP) v rámci medzinárodného projektu BioSoil v rokoch 2006-2008 sa podarilo zahrnúť aspoň čiastočne zisťovanie stavu pôd do projektu NIML. V súčasnosti sa rozbieha opakované vzorkovanie pôd na TMP ako súčasť monitoringu lesov. Priestor na riešenie problematiky pôd je aj v niektorých projektoch APVV. Zlepšila sa teda situácia z hľadiska informácií o pôdach na základe výberových zisťovaní a výskumných aktivít, ktoré realizuje NLC-LVÚ Zvolen.

Na druhej strane, v rámci Komplexného zisťovania stavu lesa (KZSL) sa odbery vzoriek pôd a ich analýzy už niekoľko rokov prakticky vôbec nerealizujú. Taktiež na svoju dobu podrobné mapy lesných pôd už strácajú na aktuálnosti a nezodpovedajú potrebám z hľadiska vývoja poznania a klasifikácie pôd.

Zahrnutie problematiky udržateľnosti vlastností a funkcií lesných pôd v rámci podaktivity „Ekologické limity intenzívneho využívania biomasy“ do projektu CE LignoSilva so zámerom vytvorenia nového konceptu udržateľnosti stavu lesných pôd a definovania podmienok pre trvalo udržateľný odber biomasy z lesov, je šancou na príspevok ku komplexnejšiemu hodnoteniu pôd, integrácie poznatkov z výberových zisťovaní, iných výskumných aktivít a celoplošne dostupných údajov o pôdach, ale aj ku definovaniu medzier v poznaní a možnosťou pre zahrnutie ďalších indikátorov pre hodnotenia stavu a vývoja lesných pôd v súčasných podmienkach.

## PodĎakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## Literatúra

- BUBLINEC, E., 2000: Minulosť, prítomnosť a budúcnosť lesných pôd Slovenska. In: Pedofórum 2000. Zborník príspevkov. VÚPOP, Bratislava, s. 52-64.
- COM(2006)231: Thematic Strategy for Soil Protection. Communication from the Commission to the Council, the European parliament, the European economic and social committee and the Committee of the regions.
- DE VOS, B., COOLS, N., 2011: Second European Forest Soil Report. Volume I: Results of the BioSoil Survey. INBO.R.2011.35. Research Institute for Nature and Forests, Brussel. 360 pp.
- EC, 2017: Sustainable and optimal use of biomass for energy in the EU beyond 2020. Final Report. VITO, Utrecht University, TU Wien, INFRO, Rütter Socero, PwC, 198 pp.

HELMISAARI, H.J., VANGUELOVA, E. (Eds.), 2013: Proceedings of the Workshop W6.1 Forest bioenergy and soil sustainability at EUROSILVA Congress, 2nd July to 6th July 2012, Bari, Italy. 72 pp.

KUTÍLEK, M., NIELSEN, D.R., 2015: Soil. The Skin of the Planet Earth. Springer, Dordrecht, Heidelberg, New York, London. 239 pp.

LEHTONEN, A., 2021: HoliSoils - Holistic management practices, modelling & monitoring for European forest soils. In: LULUCF in transition: present and future challenges for LULUCF reporting and accounting. JRC Virtual Workshop June 8, 2021.

MONTANARELLA, L. 2010: The impact of soil degradation on soil functioning in Europe. JRC IES paper, 28 pp.

OLIVEIRA GARCIA, W. DE, AMANN, T., HARTMANN, J., 2018: Increasing biomass demand enlarges negative forest nutrient budget areas in wood export regions. Nature. Scientific reports, 8:5280. DOI:10.1038/s41598-018-22728-5.

PAVLENDÁ, P., SITKOVÁ, Z., PAVLENDOVÁ, H., ŠEBEŇ, V., CAPULIAK, J., 2018: Návrh limitov pre udržateľné využívanie dendromasy z hľadiska nutričného stavu lesných pôd. Realizačný výstup č. 5 projektu „Výskum a vývoj pre inovácie a podporu konkurencieschopnosti lesníckeho sektora (VIPLES)“ NLC, Zvolen, 52 s.

PAVLENDÁ, P., ŠÁLY, R., 2003: Možné dôsledky klimatických zmien na lesné ekosystémy - pôdne pomery. In: MINDÁŠ, J., ŠKVARENINA, J. (Eds): Lesy Slovenska a globálne klimatické zmeny. ERFA, Lesnícky výskumný ústav, Zvolen, 129 s.

SOBOCKÁ, J., ŠURINA, B., TORMA, S., DODOK, R., 2005: Klimatická zmena a jej možné dopady na pôdny fond Slovenska, VÚPOP, Bratislava, 2005, 46 s.

STOLTE, J., TESFAI, M., ØYGARDEN, L., KVÆRNØ, S., KEIZER, J., VERHEIJEN, F., PANAGOS, P., BALLABIO, C., HESSEL, R., 2016: Soil threats in Europe. Status, methods, drivers and effects on ecosystem services. JRC Technical Report, Luxembourg. 207 pp.

STUPAK, I., LATTIMORE, B., TITUS, B.D., TATTERSALL SMITH, C., 2011: Criteria and indicators for sustainable forest fuel production and harvesting: A review of current standards for sustainable forest management. Biomass and Energy, 35, p. 3287-3308.

WELLBROCK, N., BOLTE, A., FLESSA, H., (Eds.), 2016: Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland. Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008. Thünen Report 43, 557 pp.

## Zhrnutie

**Sustainability of forest soil functions: risks and solutions.** The paper presents overview of risks for forest soils, their properties and functions that are substantial at present and in next decades. Beside climate change also several effects of forest management (tree species composition, forest stands structure, intensity and structure of forest biomass removal, inadequate use of machinery etc.) can be also very important. Holistic approach, effective use of integrated soil data and development of new soil quality indicators are needed for better assessment of risks for soils and proposals for feasible solutions of sustainable forestry.

Project LignoSilva is an opportunity not only to learn more about ecological limits if intensive forest biomass use. We have also the chance to take steps in applied forest soil science and improve knowledge about sustainable forestry.

### **Kľúčové slová**

Lesné pôdy; udržateľnosť; živiny; ohrozenie pôd; ekosystémové funkcie; manažment lesa

### **Kontaktná adresa**

Ing. Pavel Pavlenda, PhD.  
Odbor ekológie lesa a krajiny  
Lesnícky výskumný ústav Zvolen  
Národné lesnícke centrum  
T.G. Masaryka 2175/22  
960 01 Zvolen  
[pavel.pavlenda@nlcsk.org](mailto:pavel.pavlenda@nlcsk.org)

## METODICKÉ ASPEKTY ZISŤOVANIA OBSAHU ŽIVÍN V LESNÝCH PÔDACH PRE HODNOTENIE ICH UDRŽATEĽNÉHO VYUŽÍVANIA

Danica Krupová, Pavel Pavlenda

### 1 Úvod

Lesné pôdy sú podstatnou časťou lesných ekosystémov. Ich chemizmus i fyzikálne vlastnosti majú vplyv na štruktúru i zdravotný stav lesnej vegetácie. Lesné dreviny sú schopné rásť pri veľmi širokej škále pôdnych vlastností, a teda interpretácia chemického stavu pôd závisí od dreviny a jej nárokov, ale aj od spôsobu manažmentu daného lesného pozemku. Súčasný drevinový zloženie lesov na Slovensku je ešte stále do značnej miery prirodzené, teda jednotlivé dreviny sú prevažne na stanovištiach, ktoré im vyhovujú klimaticky, ale aj edaficky. Výnimkou sú pomerne rozsiahle plochy smrekových monokultúr mimo optima pre rast smreka. Rovnováha medzi nárokmi drevín a vlastnosťami stanovišťa bola koncom 80-tych rokov minulého storočia regionálne narušená najmä v súvislosti s kyslými depozíciami, lokálne aj významnou imisnou kontamináciou, v súčasnosti sa najvýraznejším problémom stáva zmena klímy.

Vzťahy medzi vlastnosťami pôdy, klimatickými faktormi a lesnou vegetáciou sú sledované už dlhú dobu. Dôležitým prvkom v systéme zisťovania stavu a zmien je monitorovanie dlhodobé lesných ekosystémov. Lesné ekosystémy sú ovplyvňované antropogénnymi vplyvmi, a potrebné je sledovať vývoj faktorov prostredia i reakciu zložiek ekosystému. V súčasnosti sú v popredí záujmu je najmä fyzikálne pôsobiaci faktory, teda klimatická zmena – cez celý súbor veličín súvisiacich so zrážkami, teplotným režimom a žiarením. Rovnako dôležité je však naďalej sledovať vývoju chemizmu zložiek ekosystému, a to aj vo vzťahu k intenzifikácii odberu lesnej biomasy.

### 2 Informácie o stave pôd a zásobách živín

Podobne ako v iných európskych krajinách, systematické zisťovanie stavu pôd začalo aj na Slovensku po druhej svetovej vojne. Jej hlavným cieľom bolo zaviesť vhodnú klasifikáciu pôd, realizovať ich mapovanie a získať základné poznatky súvisiace s ich produkčnou schopnosťou. Prípravný prieskum sa na lesnom pôdnom fonde uskutočňoval od roku 1949 najmä v lesných rezerváciách a v rokoch 1952 až 1955 sa zmapoval celý lesný pôdny fond Slovenska, pričom hlavným výstupom bola mapa v pôd v mierke 1:50 000. Následne sa realizovalo podrobné mapovanie na mierku 1:10 000.

V rokoch 1961 až 1970 sa realizoval na lesnom pôdnom fonde stanovištný prieskum, ktorého súčasťou bolo aj hodnotenie pôd podľa klasifikačného systému používaného v tom období. Po roku 1974 sa uskutočňovala revízia typologického prieskumu, ktoré sa ukončilo v roku 1990. Toto obdobie bolo spojené s tvorbou základných publikácií o lesných pôdach Slovenska: Hlavné typy lesných pôd na Slovensku (Šály 1962) a Pôda – základ lesnej produkcie (Šály 1978). V ďalších rokoch sa informácie o lesných pôdach získavali prostredníctvom Lesoprojektu v rámci Ekoprieskumu a neskôr aj v rámci Komplexného zisťovania stavu lesov.

Osemdesiate roky boli poznačené výrazným zhoršením stavu lesov, čo sa dávalo do súvislosti najmä s vplyvmi znečisteného ovzdušia. V tom období, po prijatí Konvencie UN/ECE o diaľkovom cezhraničnom prenose znečisteného ovzdušia (Convention on Long-range

Transboundary Air Pollution - CLRTAP), bol v roku 1985 spustený program ICP Forests. Pre krajiny vtedajšieho EHS bolo legislatívnym východiskom Nariadenie č. 3528/86 (Council Regulation No 3528/86 of 17 November 1986 on the protection of the Community's forests against atmospheric pollution, OJ L326), ktoré viedlo k spusteniu monitoringu lesov na Slovensku. Súčasťou monitoringu lesov bolo už podľa prvých manuálov aj zisťovanie stavu pôd, ktoré bolo viazané na súbor trvalých monitorovacích plôch v pravidelnej sieti 16x16 km. Obdobie od roku 1990 je aj na Slovensku charakterizované systematickým a výrazným záujmom o stav životného prostredia. Na základe Uznesení vlády SR č. 449/1992, č. 620/1993 a č. 7/2000 sa vytvorilo 10 čiastkových monitorovacích systémov ako základ pre informačný systém o životnom prostredí Slovenskej republiky. Medzi nimi bol aj ČMS Lesy, ktorý je spolu s ČMS Pôda a ČMS Cudzorodé látky v potravinách a krmovinách v gescii MPRV SR (zostávajúce ČMS sú v gescii MŽP SR). Kostrou ČMS Lesy sa stala monitorovacia sieť založená ako súčasť programu ICP Forests.

Významným zdrojom informácií o lesných pôdach Slovenska je Geochemický atlas Slovenskej republiky – časť Pôda (Čurlík, Šefčík 1999), ktorý vznikol na základe vzorkovania v rokoch 1991-1995 v sieti 4x4 km. Atlas neobsahuje všeobecné pôdne vlastnosti, ale celkové koncentrácie jednotlivých prvkov (nielen živín a rizikových prvkov) z hľadiska geochemického hodnotenia pôdneho krytu a je súčasťou série geochemických atlasov.

Monitoring lesných pôd a monitoring poľnohospodárskych pôd sa však realizujú oddelene, s určitými metodickými rozdielmi. Kým monitoring lesných pôd je striktné viazaný na manuál medzinárodného programu monitoringu lesov (Cools, de Vos 2016), monitoring poľnohospodársky využívaných pôd je postavený na overených metódach používaných v agrochemickom skúšaní pôd a v pôdoznaleckom výskume na vtedajšom VÚPÚ (Fiala a kol. 1999, Kobza a kol. 2019).

V rokoch 1993-1995 realizoval LVÚ ako súčasť programu ICP Forests na 112 trvalých monitorovacích plôch (sieť 16x16 km) prvý harmonizovaný odber vzoriek pôd. Získané údaje sa stali súčasťou celoeurópskych databáz o lesných pôdach a podkladov pre vypracovanie správy o stave lesných pôd v Európe. Od roku 1995 sa v súlade s európskou legislatívou budovala aj sieť plôch intenzívneho monitoringu lesov (tzv. II. úroveň monitoringu lesov), ktorá je zameraná na omnoho podrobnejšie a komplexnejšie hodnotenie procesov v lesných ekosystémoch s dôrazom na hodnotenie dynamiky vybraných veličín a indikátorov. Údaje zo siete 16x16 km nie je pre podrobné priestorové hodnotenie kľúčových pôdnych vlastností na národnej úrovni nie celkom postačujúce. I z tohto dôvodu bol prieskum pôd zahrnutý aj do metodiky Národnej inventarizácie a monitoringu lesov (NIML). V prvom cykle 2005-2006 vo veľmi obmedzenom rozsahu analýz (pH, C, N) v sieti 4x4 km pri jednoduchom vzorkovacom dizajne, avšak v druhom cykle v sieti 8x4 km boli urobené i analýzy obsahu ďalších významných živín.

Od 90-tych rokov popri monitorovacích aktivitách pokračoval výskum lesných pôd na modelových objektoch ako súčasť ekosystémového výskumu na Výskumno-demonštračnom objekte Poľana – Hukavský grúň, ale aj v kontaminovaných lokalitách. Veľká pozornosť sa venovala hodnoteniu stavu pôd a návrhom zonácie území z hľadiska kontaminácie pôd v okolí lokálnych a regionálnych zdrojov (oblasť dolného Spiša – kontaminácia ťažkými kovmi, okolie Jelšavy, Lubeníka, Hačavy – kontaminácia alkalickým horečnatým prachom z magnezitiek). Zároveň sa pripravovali a realizovali projekty leteckého vápnenia imisne zakyslených pôd, najmä na Kysuciach, Orave, Spiši a v Nízkych Tatrách.

V polovici deväťdesiatych rokov bola pre MP SR vypracovaná štúdia „Prehľad poškodenia lesných pôd imisiami“ (Pavlenda a kol. 1995), pri ktorej sa ukázalo, že je značne problematické vykonať syntézu poznatkov na základe údajov, ktoré boli získané s využitím rôznych metód laboratórneho stanovenia obsahov, resp. koncentrácií živín i rizikových prvkov. Príčinou použitia rozdielnych metód boli rôzne prístupy jednotlivých pracovísk, úroveň prístrojového vybavenia, ale aj priorit harmonizácie (medzinárodná harmonizácia vs. použitie zaužívaných metód v záujme priamej porovnateľnosti dát v časových radoch).

### 3 Metódy stanovenia chemizmu pôd

Pri hodnotení vlastností pôd je dôležitý celý proces od vhodného systému priestorovej distribúcie lokalít odberu cez vzorkovací dizajn na daných lokalitách, správne rozlíšenie horizontov, resp. hĺbkových intervalov, podmienky transportu a skladovania vzoriek až po výber metódy stanovenia jednotlivých veličín a dodržanie všetkých prvkov QA/QC počas vlastnej analýzy.

Pre hodnotenie stavu stanovišťa je potrebné poznať fyzikálne i chemické vlastnosti pôdy. Fyzikálne vlastnosti pôd sú v podstate trvalé a patria k nim zrnitosť a skeletnosť. Zrnitosť pôdy je určená zrnitostným zložením minerálnych častíc jemnozeme (častíc pod 2 mm), teda zastúpením veľkosťou presne definovaných frakcií - ílovej, prachovej a pieskovej. Zásadne ovplyvňuje vodný a vzdušný režim, štruktúru pôdnych agregátov, sorpciu živín i podmienky pre biologickú aktivitu pôdy. Stanovuje sa na princípe sedimentácie a gravimetrie s následným výpočtom (pipetovacia metóda).

Zabezpečenie optimálneho rastu biomasy je možné cez chemické vlastnosti pôdy. Pre tento účel je potrebné poznať najmä stav pôdnej reakcie (pH), organického uhlíka, obsah dusíka a obsah ďalších hlavných živín (Ca, Mg, K, P).

Kyslosť v pôde sa stanovuje meraním aktivity  $H^+$  potenciometricky na pH-metri kombinovanou sklenenou iónovo selektívnou elektródou podľa normy ISO 10390. Pre presnejšie posúdenie stavu pôdy sa stanovuje:

Aktívna reakcia (aktuálna forma) je tvorená voľnými iónmi vodíka v pôdnom roztoku. Stanovuje sa vo vodnom výluhu (hydrosuspenzii - pH v  $H_2O$ ). Táto forma reakcie bezprostredne vplýva na biochemické procesy v pôde,

Výmenná reakcia (potenciálna forma), ktorá je tvorená viazanými iónmi vodíka (hliníka) na pôdny koloidný komplex, ktoré sa môžu za určitých podmienok uvoľňovať z pôdnych koloidov do pôdneho roztoku a tým zvyšovať aktívnu formu reakcie stanovuje sa v 1 M KCl alebo v 0,01 M  $CaCl_2$ .

Pre pôdy s pH nad 6,0 je nutné stanoviť obsah uhličitanov volumetricky podľa normy STN EN ISO 10693.

Obsahy celkového uhlíka ( $C_T$ ) a dusíka ( $N_T$ ) sa v súčasnosti stanovujú elementárnou analýzou na princípe EA-TCD (Elementárny analyzátor s tepelno-vodivostným detektorom).

Ako bolo vyššie uvedené, v súčasnosti je hlavným metodickým rámcom nielen pre hodnotenie stavu pôd v rámci monitoringu lesov, ale aj pri lesníckom pedologickom výskume všeobecne príslušný Manuál ICP Forests. Chemické analýzy sa vykonávajú v laboratóriu podľa referenčných analytických metód popísaných v tabuľke 1.

**Tabuľka 1.** Prehľad veličín a referenčných analytických metód v programe ICP Forests

Parameter	Referenčná metóda			Jednotky
	Norma	Výluh	Princíp metódy	
pH (CaCl <sub>2</sub> )	ISO 10390	0,01 M CaCl <sub>2</sub>	pH-elektroda	-
pH (H <sub>2</sub> O)		H <sub>2</sub> O		
Celkový dusík	DIN ISO 13878	-	EA-TCD	g/kg
Celkový organický uhlík	STN ISO 10694	-	EA-TCD, výpočtom	g/kg
Uhlčitany	STN EN ISO 10693	HCl	Jankov vápnomer	g/kg
Pseudo celkový obsah prvky P, K, Ca, Mg, Mn, Cu, Cd, Pb, Zn, Al, Fe, Cr, Ni, Na	ISO 11885	Aqua regia zmes HNO <sub>3</sub> a HCl	ICP-OES	mg/kg
Hg	ČSN 75 7440	-	AAS-AMA	mg/kg
Síra	ISO 15178	-	EA-TCD	mg/kg
H <sup>+</sup> , CEC acidobázická kapacita	ISO 11260 ISO 14254	0,1 M BaCl <sub>2</sub>	Titrácia do pH 7,8	cmol/kg
Výmenné katióny K, Ca, Mg, Na, Al, Fe, Mn	ISO 11885		ICP-OES	cmol/kg
Reaktívny Al a Fe	ISRIC, 2002	Octan amónny, oxalat	ICP-OES	mg/kg
Celkove obsahy prvkov Ca, Mg, Na, K, Al, Fe Mn	ISO 14869	HF alebo LiBO <sub>2</sub>	ICP-OES	mg/kg

Kým podľa ICP manuálu je pre analýzy lesných pôd na Slovensku dôležité stanovenie minerálnych prvkov vo výluhu lúčavky kráľovskej („pseudototal content“) a výmenných katiónov vo výluhu 0,1M BaCl<sub>2</sub>, tak pre poľnohospodárske pôdy a v Českej republike i pre hodnotenie lesných pôd sa používa hodnotenie prístupných živín z výluhov Mehlich III. (UKZÚS, 2013). Rozsah prvkov stanovených vo výluhu Mehlich III. je široký. Je možné okrem makroživín Ca, Mg, P, K stanoviť i najdôležitejšie mikroživiny B, Cu, Fe, Mn, Zn ale i ťažké kovy, Al, Cd a Pb.

V tabuľke 2 sú popísané hodnoty obsahu prvkov fosfor, draslík, horčík v pôdach vo výluhu Mehlich III.

**Tabuľka 2.** Kritériá pre optimálny rozsah prístupných prvkov vo výluhu Mehlich III.

Prvok	Organická vrstva mg kg <sup>-1</sup>	Minerálna vrstva mg kg <sup>-1</sup>
P	14 - 25	19 - 35
K	81 - 110	46 - 60
Ca	351 - 680	251 - 560
Mg	66 - 120	41 - 80

Pri hodnotení výsledkov analýz je samozrejme potrebné rozlišovať použitú metodiku. Otázka vhodnej metodiky pre stanovenie danej vlastnosti pôdnej vzorky je všeobecným problémom nielen lesníckej pedológie. Je nutné porovnávať hodnoty rovnakej metódy laboratórnej analýzy, nakoľko obsahy prvkov sú z rôznych metód dosť odlišné. Je to dosť zložité najmä s porovnaním výsledkov laboratórnych rozborov získaných v minulosti. Metódy pre určenie chemických vlastností pôdy sú v neustálom vývoji v tesnom nadväzní na vývoj laboratórnej techniky. V minulosti, keď neboli laboratória vybavené v takej miere prístrojovou technikou sa používali najmä klasické metódy založené na princípoch, potenciometrie, destilácie, titrácie a jednoduchej fotometrie. Boli to metódy pre stanovenie prístupného dusíka podľa Pázlera, pre stanovenie prijateľného fosforu podľa Ègnera-Rheima (stanovenie v extrakte mliečnanu vápenatého) a pre stanovenie prijateľného draslíka podľa Schachtschabela (stanovenie v extrakte octanu a šŕaveľanu amónneho). Pre analýzy celkových obsahov minerálnych prvkov boli používané výluhy pre potenciálne prístupné 2 M HNO<sub>3</sub> a pre potenciálne mobilné formy 0,05 M EDTA.

S vývojom analytickej techniky sa samotné stanovenie prvkov zjednodušuje, použitím nových metód prípravy výluhov a mineralizátov: mikrovlnného zariadenia, nových typov trepačiek, extraktorov a prístrojov založených na princípoch ICP-OES, ICP-MS, prípadne GC, LC. Tieto prístroje umožňujú zvyšovať počet stanovených prvkov ako i presnosti a citlivosti analýzy. Z jedného výluhu je v súčasnosti možné stanoviť makroživiny, mikroživiny i ťažké kovy.

Obsahy minerálnych prvkov živín i mikroživín a to nielen ich celkový obsah, ale i ich prístupná forma sú dôležité. Avšak pre optimalizáciu podmienok rastu a zdravia pre dreviny sú dôležité aj vzájomné pomery makroživín.

#### 4 Testovanie porovnateľnosti metód

Posudzovanie analytických metód pre stanovenie rôznych foriem živín a prvkov v pôde je riešené vo viacerých prácach v zahraničí. Väčšinou sú tieto štúdie zamerané na poľnohospodárske pôdy.

V Českej republike sa v spolupráci medzi organizáciami Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ), Ústavu pro hospodářskou úpravu lesů (ÚHUL) a Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti (VÚLHM) realizovala štúdia zameraná na testovanie porovnateľnosti používaných laboratórnych metód pre stanovenie hlavných živín (Èechmánková a kol. 2021). Išlo o dve metódy na stanovenie prístupných foriem živín a dve metódy pre stanovenie obsahu živín silnejšími výluhmi. Metódy zamerané na prístupné obsahy živín sú založené na výluhu v činidle Mehlich III. a výluhu prístupných živín 0,1 M chloridom bárnatým (BaCl<sub>2</sub>). Pre posúdenie pseudototálnych obsahov prvkov boli použité metódy založené na výluhu lúčavkou kráľovskou (zmes kyseliny dusičnej a kyseliny chlorovodíkovej) a metóda výluhu 2-molárnou kyselinou dusičnou (2M HNO<sub>3</sub>).

Výsledkom bola dosiahnutá vo všeobecnosti vysoká korelácia výsledkov medzi obsahom prvkov Ca, Mg, K stanovených metódou Mehlich III a vo výluhu 0,1 M BaCl<sub>2</sub>. Pri porovnaní výsledkov pre dve metódy s využitím extrakciou kyselinami bola tesná korelácia iba pri vápniku. Získané výsledky sa zhodovali s niektorými už publikovanými údajmi a zároveň priniesli nové poznatky, ktoré umožňujú používať pre vybrané živiny, resp. prvky ako akceptovateľný postup aj prepočet medzi výsledkami získanými príslušnými dvoma metódami pre prístupné, resp. výmenné formy vápnika, horčíka a draslíka.



## 4 Záver

Produkciiu, vitalitu a zdravotný lesných drevín ovplyvňujú početné premenné, pričom vlastnosti pôd spolu s klímou predstavujú dva základné súbory dlhodobých charakteristík. Posúdenie kvality lesných pôd je aj východiskom pre posúdenie vhodnosti postupov lesníckeho manažmentu z hľadiska vplyvov na iné zložky lesného ekosystému a udržateľné využívanie lesa.

Vzhľadom na to, že chemické vlastnosti lesných pôd sa v dlhodobom horizonte vyvíjajú, je ich hodnotenie z hľadiska kolobehu prvkov a dlhodobého zabezpečenia výživy lesných drevín dôležitou úlohou pôdnych prieskumov. Určenie obsahu prístupných živín v pôde je tiež významným krokom pre indikáciu ich prípadného akútneho nedostatku pre dreviny a návrhov opatrení.

Príjem prvkov rastlinou nie je lineárne závislý na celkovom obsahu prvku (resp. jeho zvetrateľnej zásobe), ale na obsahu jeho prístupnej formy. Pre korektnú interpretáciu výsledkov je preto potrebný vhodný výber metodiky a pre hodnotenie starších údajov informácia o porovnateľnosti metodík pre jednotlivé prvky s prípadnou možnosťou prepočtu hodnôt medzi výsledkami stanovenými rôznymi metódami.

## Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja

## Literatúra

COOLS, N., DE VOS, B., 2016: Part X: Sampling and Analysis of Soil. In: UNECE ICP Forests Programme Coordinating Centre (ed.): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, Germany, 29 s + Annex. <http://www.icp-forests.org/manual.htm>

ČECHMÁNKOVÁ, J., ŠRÁMEK, V., SÁŇKA, M., DRÁBEK, O., FADRHOŇSOVÁ, V., SKÁLA, J., 2021: Porovnaní metod pro stanovení přístupných a pseudototálních forem živin a prvků v lesních půdách. Zprávy lesnického výzkumu, 66, 2, s. 115-125.

ČURLÍK, J., ŠEFČÍK, P., 1999: Geochemický atlas Slovenskej republiky. Časť: Pôda. MŽP SR, VÚPOP, Bratislava.

FIALA, K. BARANČÍKOVÁ, G., BREČKOVÁ, V., BÚRIK, V., CHOMANIČOVÁ, A., HOUŠKOVÁ, B., KOBZA, J., LITAVEC, T., MAKOVNÍKOVÁ, J., MATÚŠKOVÁ, L., PECHOVÁ, B., VÁRADIOVÁ, D.: Závazné metódy rozborov pôd. VÚPOP, Bratislava, 1999, 138 s.

HÖHLE, J., BIELEFELDT, J., DÜHNELT, P., KÖNIG, N., ZICHE, D., EICKENSCHIEDT, N., GRÜNEBERG, E., HILBRIG, L., WELLBROCK, N., 2018: Bodenzustandserhebung im Wald – Dokumentation und Harmonisierung der Methoden. Thünen Working Paper 97, 540 pp.

KOBZA, J., BARANČÍKOVÁ, G., DODOK, R., MAKOVNÍKOVÁ, J., PÁLKA, B., STYK, J., ŠIRÁŇ, M., 2019: Monitoring pôd SR. Aktuálny stav a vývoj monitorovaných pôd ako podklad k ich ochrane a ďalšiemu využívaniu. Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy Bratislava, 252 s.

PAVLENDÁ, P., ŠÁLY, R., BUBLINEC, E., ŠVEC, M., DUBOVÁ, M., CICÁK, A., DLAPA, P., KROMKA, M., 1995: Prehľad poškodenia lesných pôd imisiami. Záverečná správa referenčnej úlohy 2e, Zvolen, LVÚ, 116 s. + mapové prílohy.

ŠÁLY, R., 1962: Hlavné typy lesných pôd na Slovensku. Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied, Bratislava, 233 s.

ŠÁLY, R., 1978: Pôda základ lesnej produkcie. Príroda, Bratislava, 235 s.

WELLBROCK, N., EICKENSCHIEDT, N., HILBRIG, L., DÜHNELT, P.-E., HOLZHAUSEN, M., BAUER, A., DAMMANN, I., STRICH, S., ENGELS, F., WAUER, A., 2018: Leitfaden und Dokumentation zur Waldzustandserhebung in Deutschland. Johann Heinrich von Thünen-Institut. Thünen Working Paper 84, 97 pp.

## Zhrnutie

**Methodological aspects of the determining nutrient contents in forest soils for evaluating their sustainable use.** Production, vitality and health of forest trees are influenced by numerous variables. Soil properties together with climate represent two basic sets of long-term site characteristics. Assessment of the quality of forest soils is also a starting point for assessing the suitability of forest management practices in terms of impacts on other components of the forest ecosystem and sustainable forest use. Therefore, for the correct interpretation of the results, a suitable choice of methodology is needed and for the evaluation of older data, information on the comparability of methodologies for individual elements with a possible recalculation of values between the results determined by different methods.

## Kľúčové slová

Chemické analýzy; pôdne vzorky; živiny; porovnateľnosť metód

## Kontaktná adresa

Ing. Danica Krupová, PhD.  
Centrálne lesnícke laboratórium  
Lesnícky výskumný ústav Zvolen  
Národné lesnícke centrum  
T.G. Masaryka 2175/22  
960 01 Zvolen  
danica.krupova@nlcsk.org

# KLIMATICKÉ TRENDY A MONITORING RASTOVEJ REAKCIE DREVÍN NA KYSUCIACH

Zuzana Sitková, Ivan Barka

## 1 Úvod

Správa o stave globálnej a regionálnej klímy v roku 2020, ktorú koncom apríla 2021 zverejnila Svetová meteorologická organizácia, dokumentuje pokračujúce otepľovanie klimatického systému, ktoré významne akceleruje vo všetkých podstatných indikátoroch (WMO 2021). Znamená to, že globálny priemer teploty vzduchu prekročí hodnotu 1,5 °C, približne o 11 rokov skôr ako sa očakávalo podľa situácie v roku 2000. Posledných 6 rokov vrátane roku 2020 patrilo medzi najteplejšie od histórie meraní vôbec a posledné desaťročie (2011 – 2020) bolo najteplejšou dekadou od roku 1880 (Zdroj: Aktuality SHMÚ). Podobné tendencie sú pozorované aj na regionálnej úrovni na Slovensku, dokonca aj v oblastiach ako napríklad Kysuce, ktoré sú dlhodobo hodnotené ako skôr chladné a vlhké.

V ostatných dekádach je v regióne Kysúc pozorovaný rozsiahly rozpad lesných porastov a to z dôvodu synergického pôsobenia viacerých vplyvov (antropogénnych, biotických a abiotických). Pravdepodobne k stavu prispela aj známa imisná záťaž územia a historicky vyššie hodnoty depozícií zakysľujúcich látok v porovnaní s inými regiónmi Slovenska (Pavlanda et al. 2014). V súvislosti so zhoršujúcim sa stavom lesov na Kysuciach sa v minulosti hovorilo o nešpecifickom hynutí smrečín na nepôvodných stanovištiach a následne potreba ich rekonštrukcie na odolnejšie zmiešané porasty (Kulla, Sitková 2010). Súčasná prax aj výskum ukazuje, že napriek snahám o presadzovanie iných druhov drevín pre pestrejšiu a stanovištne vhodnejšiu drevinovú skladbu, sa v prirodzenej obnove opäť presadzuje najmä smrek. Dreviny ako jedľa, javory a čiastočne aj buk bývajú viac atakované škodami zverou, a to nielen na Kysuciach, ale aj v celoslovenskom meradle (Šebeň 2019).

V príspevku sa venujeme ukázkam spracovania a využitia vlastných meteorologických údajov ako aj klimatických databáz pre hodnotenie vývoja klímy a klimatických trendov v oblasti Kysúc. Zámerom je tiež načrtnúť možnosti automatizovaného záznamu rastových procesov drevín pomocou nových technológií. Problematika dopadov novodobej klimatickej zmeny na lesné komplexy je z hľadiska optimalizácie postupov obnovy lesov a adaptácie budúceho lesníckeho manažmentu stále aktuálna (Klúvanková et al. 2020).

## 2 Meteorologické merania a monitoring hrúbkového rastu

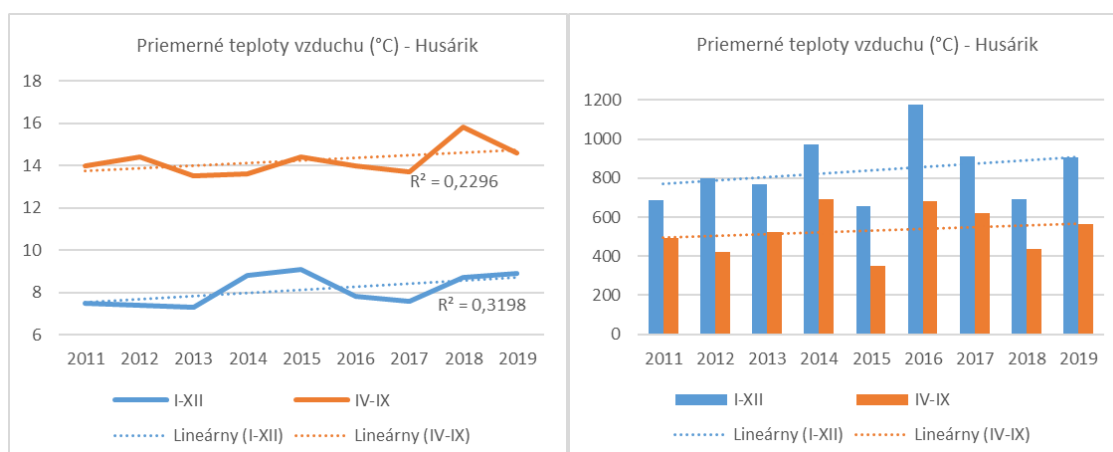
### 2.1 Vývoj klímy na základe lokálnych meteorologických meraní

Oblasť Kysúc spadá z hľadiska štandardnej klimatologickej klasifikácie podľa Končeka (1961 – 2010) do oblasti mierne chladnej (C1) až mierne teplej, veľmi vlhkej vrchovinej (M7) (Klimatický atlas Slovenska 2015). Od roku 2010 monitoruje NLC vývoj meteorologických prvkov na dvoch lesných lokalitách v regióne Kysúc: v blízkosti demonštračného objektu Husárik (530 m n.m.) a v prírodnej rezervácii Veľký Polom (1000 m n.m.). Využívajú sa automatické meteorologické stanice EMS Brno s výškou meraní 2 m (Obr. 1) a online prenosom údajov na webovú stránku lesníckeho meteorologického monitoringu ([www.forestweather.sk](http://www.forestweather.sk), Sitková et al. 2020).

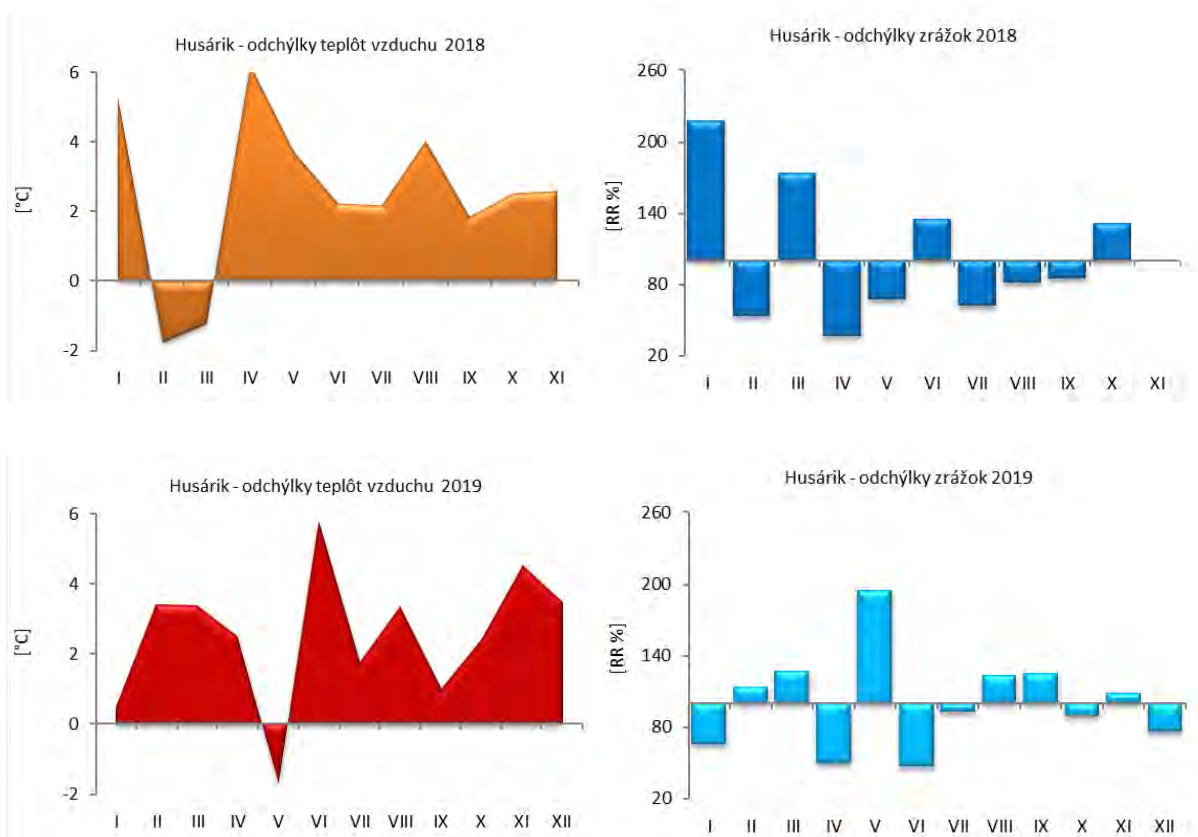


**Obrázok 1.** Automatická meteorologická stanica NLC na lokalitách Husárik (vľavo) a Veľký Polom (vpravo)

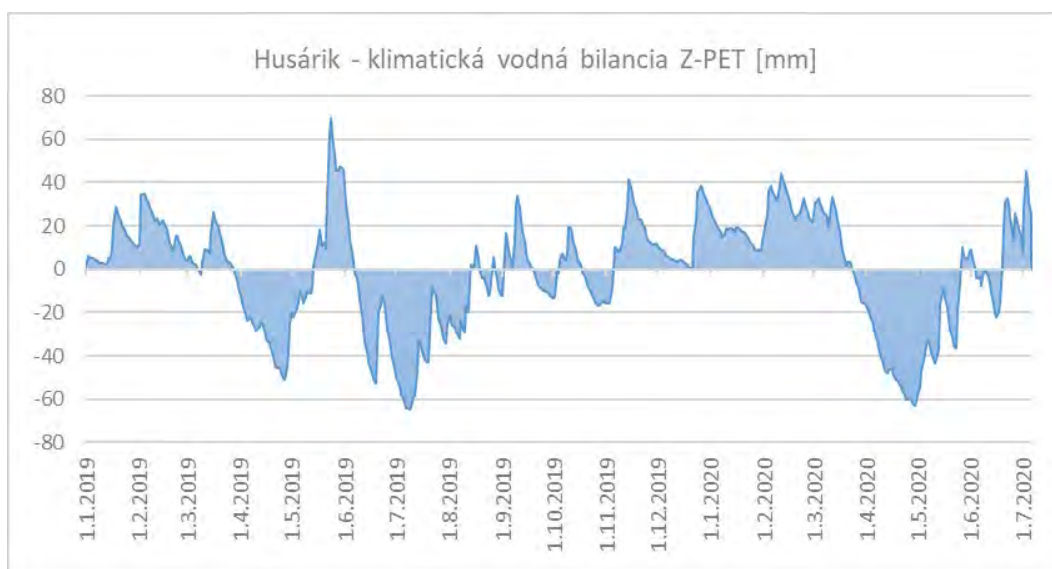
Výsledky meteorologických meraní od roku 2011 na Husáriku signalizujú tendenciu mierneho nárastu priemerných teplôt vzduchu za rok aj vegetačné obdobie (Obr. 2), hoci 10-ročné obdobie ešte nie je dostatočne dlhé na preukazné hodnotenie trendov. Úhrny zrážok neindikujú významnejší nárast ani pokles v časovom horizonte rok či vegetačná sezóna, avšak už teraz možno konštatovať, že dochádza k zmene v ich časovej distribúcii počas roka. Z porovnania mesačných úhrnov zrážok a teplôt vzduchu v rokoch 2018 a 2019 s hodnotami dlhodobého normálu vyplýva opakovaný deficit zrážok v jarnom období (apríl) ako aj výrazne nadpriemerné teploty vzduchu takmer počas celého roka (Obr. 3). Na deficit vlhky vo vegetačnej sezóne poukazuje aj priebeh parametra klimatickej vodnej bilancie (Obr. 4), ktorý sa z meraných meteorologických dát odvodzuje na základe rozdielu úhrnov zrážok a potenciálnej evapotranspirácie (PET) počítanej podľa formuly Penman (1948). Na sucho v apríli 2020 v celej strednej Európe poukazuje aj správa WMO (2021), kde sa uvádza, že na Slovensku išlo o druhý najsuchší apríl v histórii a napríklad v Švajčiarsku bol zaznamenané až 43 denné súvislé bezzrážkové obdobie v období od 13. marca 2020.



**Obrázok 2.** Vývoj priemerných teplôt vzduchu za rok (I-XII) a vegetačné obdobie (IV-IX) v období rokov 2011 – 2019 na lokalite Husárik.



**Obrázok 3.** Odchýlky priemerných mesačných teplôt vzduchu (°C) a mesačných úhrnov zrážok (RR%) nameraných v rokoch 2018 a 2019 od dlhodobého normálu 1961 – 1990 na lokalite Husárik (odvodený podľa údajov zo stanice SHMÚ Čadca). Podľa Túčeková, Sitková et al. (2019).

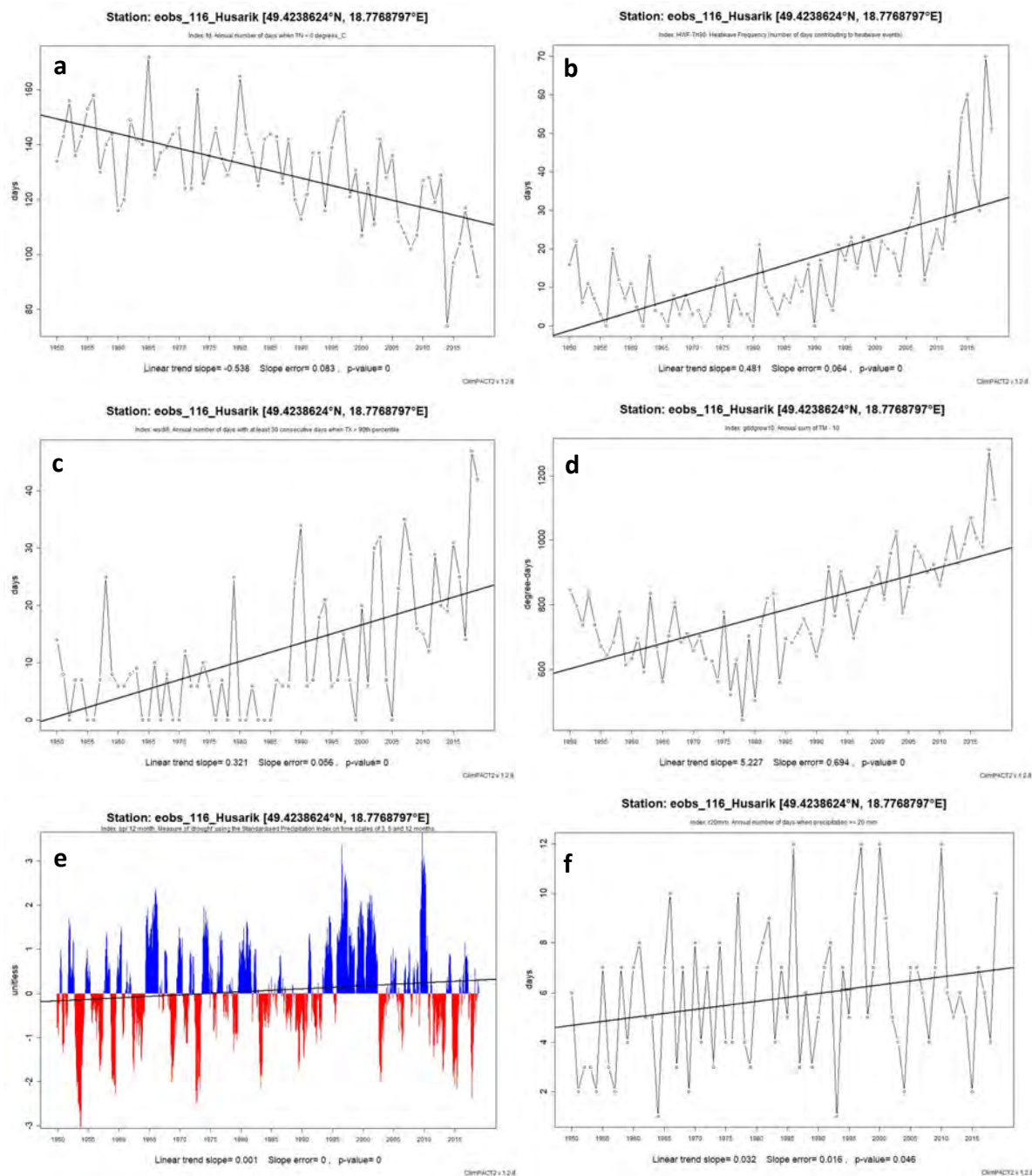


**Obrázok 4.** Ukážka vývoja parametra klimatickej vodnej bilancie (mm) ako rozdielu úhrnov zrážok a potenciálnej evapotranspirácie na lokalite Husárik v období od 1.1.2019 do 1.7.2020. Kladné hodnoty predstavujú nadbytok vlhkosti a záporné nedostatok zrážok (obdobia sucha).

## 2.2 Klimatické trendy

Časové zmeny či tendencie vo vývoji klímy pre určitú lokalitu je z dlhodobého hľadiska možné analyzovať na základe údajov z dostupných klimatických databáz, ktoré využívajú rôzne interpolačné techniky pre odvodzovanie časových radov klimatických prvkov na miesta mimo staničnej siete. Pre lokalitu Husárik boli použité denné údaje (teploty a zrážky) extrahované z gridovej klimatickej databázy E-OBS, s vysokým priestorovým rozlíšením  $0.1^\circ$  alebo  $0.25^\circ$  (Cornes et al. 2018; Bošel'a et al. 2021). Následne boli v programovom balíku R (ClimPACT2) vypočítané série klimatických indexov aj so štatistickým hodnotením trendov od roku 1950 do 2019 čo už možno považovať za relevantne dlhé obdobie, nakoľko štandardný referenčný klimatický normál je 30 rokov (najčastejšie používaný 1961 – 1990, 1981 – 2010, prípadne najnovšie 1991 – 2020).

Zo získaných výsledkov je možné hodnotiť a interpretovať veľké množstvo informácií, nielen o náraste teplotných priemerov, minim a maxim (TG, TX, TN), ale aj o vývoji kombinovaných klimatických indexov detegujúcich vlny horúčav, série bezzrážkových alebo vlhkých období (WSDI – warm spell duration index, CDD – consecutive dry days, CWD – consecutive wet days), prípadne indikátorov vo vzťahu k vegetácii ako sú GDD (growth degree days) alebo GSL (growth season length). Základ pre 27 hlavných klimatických indexov bol vytvorený skupinou expertov ETCCDI (Expert Team on Climate Change Detection and Indices) publikovaných napríklad v štúdií Zhang et al. (2011) a ďalej sa rozvíja pre potreby praxe a výskumu. Pre demonštráciu najvýznamnejších zmien vo vývoji klímy na lokalite Husárik za ostatných 70 rokov (1950 – 2019), prinášame ukážku grafického spracovania trendov vybraných klimatických indexov (Obr. 5). Na významný pokles počtu dní počas roka, keď minimálna denná teplota (TN) klesla pod  $0^\circ\text{C}$ , čo indikuje celkový nárast minimálnych teplôt vzduchu a stále menej dní s mrazom, poukazuje Obr. 5a. Signifikantný nárast frekvencie výskytu vln horúčav (heatwave frequency) signalizuje trendová krivka zobrazená na Obr. 5b ( $p = 0,000$ ). Podobne významne vzrástol počet dní v roku, kedy najmenej 30 po sebe idúcich dní prekračovala maximálna denná teplota vzduchu (TX) 90 percentil referenčných hodnôt pre danú lokalitu, na čo poukazuje ukazovateľ WSDI znázornený na Obr. 5c. Lineárna trendová krivka pre ukazovateľ GDD (growing degree days - kumulatívna suma priemeru denných teplotných minim a maxim nad  $10^\circ\text{C}$ ) vykazuje taktiež stúpajúcu tendenciu (Obr. 5d). Na rastúce riziko meteorologického sucha poukazuje krivka štandardizovaného zrážkového indexu (SPI) odvodeného pre periódu 12 mesiacov (Obr. 5e). Nevýhodou indexu SPI je, že nezohľadňuje faktor evapotranspirácie a teda výpar z povrchu a vegetácie. Určitú vnútrosezónnu nerovnomernosť a vzostup extrémnych úhrnov zrážok signalizuje nárast počtu dní v roku kedy bol prekročený denný úhrn 20 mm (Obr. 5f), čo sa podľa metódy ETCCDI považujú za dni so silnými zrážkami (heavy precipitation days).



**Obrázok 5.** Trendy vývoja vybraných klimatických indexov na lokalite Husárik za obdobie 1950 – 2019: a/ počet dní v roku s minimálnou dennou teplotou vzduchu (TN) menšou ako 0 °C; b/ frekvencia výskytu vln horúčav; c/ WSDI - počet najmenej 30 po sebe idúcich dní v roku kedy maximálna denná teplota vzduchu (TX) prekračuje 90 percentil referenčných hodnôt; d/ GDD - kumulatívna suma priemeru denných teplotných míním a maxim nad 10 °C); e/ štandardizovaný zrážkový index (SPI) pre periódu 12 mesiacov; f/ počet dní v roku s denným úhrnom nad 20 mm (heavy precipitation days).

### 2.3 Monitoring rastovej odozvy drevín na stres

Dlhodobý monitoring hrúbkového prírastku lesných drevín má význam pre sledovanie rastovej reakcie konkrétneho druhu na zmeny prostredia vrátane meniacej sa klímy a vodnej bilancie. Pri podrobnejších meraniach vnútrosezónnej a vnútrodennej rastovej dynamiky je možné odhaliť tiež odozvu na krátkodobejšie stresové epizódy (vlnu horúčav či hydrický stres). Systematický monitoring rastu prebieha na Slovensku už viac ako 30 rokov v rámci programu ICP Forests podľa priebežne aktualizovanej metodiky popísanej v manuáli (Dobbertin et al. 2020; Pavlenda et al. 2014). Ide o nedeštruktívne metódy sledovania rastu drevín a to na nasledovných úrovniach:

- 1) Periodické merania zahŕňajú päťročný prípadne ročný interval meraní hrúbok na všetkých stromoch na trvalých monitorovacích plochách I. aj II. úrovne (TMP I. a II.). Opakované merania prebiehajúce na stále identických, fixne vyznačených stromoch vo výške 1,3 m značne redukuje štatistickú chybu.
- 2) Permanentné merania predstavujú manuálne odčítanie zmien obvodov kmeňov z mechanických prírastkomerov v dvojtýždennom intervale, pre stanovenie sezónneho hrúbkového rastu. U nás sa používa mechanický páskový dendrometer DR20 (EMS Brno), inštalovaný na kmeni reprezentatívnych, identifikačným číslom značených stromoch.
- 3) Kontinuálne merania zmeny obvodov kmeňov sa realizujú za pomoci digitálnych dendrometrov, ktoré majú vlastnú pamäť pre automatizovaný záznam údajov v podrobnom časovom kroku (napr. minúty, hodiny). V tomto prípade je potrebné pri spracovaní údajov odlišovať dynamiku a prirodzené zmeny vodného statusu stromov (napučiavanie a zmršťovanie kmeňov) od skutočného hrúbkového rastu.

V rámci riešenia projektu CE LignoSilva sa v Aktivite 1 zameriame na kontinuálne meranie hrúbkového prírastku s využitím automatických prírastkomerov - mikrodendrometrov obstaraných v rámci projektu.

### 2.4 Popis mikrodendrometra

Meracie zariadenie mikrodendrometer slúži na automatizovaný záznam zmien obvodov kmeňov, stoniek, príp. vetiev malých rozmerov (v rozsahu od 5 do 40 mm). Ide o systém elektronických prístrojov zložený z dataloga – pamäťovej ústredne pre ukladanie údajov (GreyBox N2N GSM) a prírastkomerných senzorov (PDS 40S – SDI) od výrobcu EMS Brno ([www.emsbrno.cz](http://www.emsbrno.cz)) (Obr. 6). Rozlíšenie prístroja je až 1 mikrometer. Súčasťou vybavenia sú prepojovacie a rozbočovacie káble, dátový kábel na sťahovanie údajov cez infračervený port (IrDa/USB), batérie, stojan so zemnou skrútkou a desikant, t.j. vysušacia jednotka pre zamedzenie nepriaznivého vplyvu vlhkosti.

Zatiaľ sme sa s využitím prístroja v praxi nestretli, v rámci projektu bude teda v zmysle napĺňania stanovených míľnikov táto prístrojová infraštruktúra inštalovaná v priebehu jesene 2021 a následne postupne testovaná v terénnych podmienkach. Zámerom je inštalácia prírastkomerných senzorov v objekte Husárik a to na sadenice buka a duba s vyhovujúcim priemerom kmeňov alebo vetiev. Celkovo bude nainštalovaných 40 čidiel (20 na buku a 20 na dubu) a záznam dát bude prebiehať za pomoci 4 ks datalogerov. Prvé výsledky meraní očakávame po vegetačnej sezóne 2022 a 2023. K tomu bude priebežne meraný parameter vodného potenciálu pôdy (SWP - Soil Water Potential) za pomoci automatických datalogerov MicroLog SP3 (EMS Brno) s 3 sadrovými bločkami inštalovanými v hĺbke 10 až 40 cm.





**Obrázok 6.** Mikrodendrometer – prístroj na meranie prírastku a zmien obvodov kmeňov malých priemerov: hore ukážka datalogra na automatizovaný záznam údajov (GreyBox N2N GSM), dole prírastkomerný senzor (model PDS-40S)

### 3 Záver

Kontinuálny monitoring parametrov prostredia, meteorologických prvkov, vodnej bilancii a vlhkosti pôdy poskytuje z dlhodobého hľadiska relevantné informácie o klimatických trendoch a o zmenách v stanovištných podmienkach. K tomu je dôležité sledovať a kvantifikovať rastové procesy lesných drevín a to nielen v dospelých porastoch, ale aj v nižších vekových štádiách, u ktorých sa predpokladá promptnejšia rastová reakcia na hydrický či klimatický stres. Ideálnou formou monitoringu rastovo-klimatických interakcií sú automatizované záznamy pomocou vhodnej prístrojovej infraštruktúry, ktorú však vzhľadom na finančnú náročnosť nie je možné využívať v širokom rozsahu, ale len experimentálne na vybraných výskumných objektoch a jedincoch.

Pre účel sledovania dynamiky hrúbkového rastu mladých stromov a ich reakcii na klímu a vlhkosť pôdy sa v rámci aktivít centra excelentnosti „LignoSilva“ plánuje inštalácia a testovanie prístrojovej infraštruktúry – mikrodendrometra, v demonštračnom objekte

Husárik na Kysuciach, kde už disponujeme technickým vybavením na meteorologický monitoring a meračmi pôdnej vlhkosti. Pri meraní rastovej odozvy sa prednostne zameriame na ekonomicky aj ekologicky perspektívne druhy drevín (buk a dub), ktoré by aj v adaptívnom lesníckom manažmente lesov Beskýd mali zohrávať nezastupiteľnú úlohu.

## Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## Literatúra

BOSELA, M., ŠTEFANČÍK, I., MARČIŠ, P., RUBIO-CUADRADO, A., LUKÁČ, M. 2021. Thinning decreases above-ground biomass increment in central European beech forests but does not change individual tree resistance to climate events. *Agricultural and Forest Meteorology*, 306, 2021, 108441.

CORNES, R., G. VAN DER SCHRIER, E.J.M. VAN DEN BESSELAAR, P.D. JONES. 2018. An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Datasets. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123. doi:10.1029/2017JD028200

DOBBERTIN, M., NEUMANN, M., LEVANIČ, T., SANDERS, T.G.M., SKUDNIK, M., KRÜGER, I. 2020. Part V: Tree Growth Level II. In: UNECE ICP Forests, Programme Coordinating Centre (ed.): *Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests*. Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, Germany, 19 p.

KLIMATICKÝ ATLAS SLOVENSKA, Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav, 2015, 132 s.

KLUVÁNKOVÁ, T., ŠPAČEK, M., ŠTECOVÁ, I., SZABO, T., MORÁVKOVÁ, M., KULLA, L., SARVAŠOVÁ, Z., SITKOVÁ, Z., BARKA, I., SEDLIAK, M., SKALÁK, P., CUDLÍN, P., VAČKÁŘŮ, D., BLÄTTLER, L., KRPEC, P., DANĚK, J. 2020. Plán adaptace lesů Beskyd na změnu klimatu. 1. vyd. Praha: 2020. 102 s.

KULLA, L., SITKOVÁ, Z. (eds.) 2010. Hynutie a rekonštrukcie smrečín na Slovensku. Recenzovaný zborník odborných prác [DVD]. 1. vyd. Národné lesnícke centrum - Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 2010, 242 s.

PAVLENDÁ, P., PAJTÍK, J., PRIWITZER, T. et al. 2014. Monitoring lesov Slovenska. Správa za ČMS Lesy za rok 2013. NLC – LVÚ Zvolen, 150 str.

PENMAN, H.L. 1948. Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass. *Proceedings of the Royal Society of London*, 193, 120-145.

SITKOVÁ, Z., STŘELCOVÁ, K., VIDO, J. 2020. Lesnícky meteorologický monitoring – operatívne údaje o počasí z lesných oblastí Slovenska. In: *Les a letokruhy*. Roč. 76, č. 7–8, s. 26–28.

ŠEBEŇ, V. 2019. Poškodenie obnovy podľa výsledkov Národnej inventarizácie a monitoringu lesov SR 2015-2016. In: Kunca, A. (Ed.), *Aktuálne problémy v ochrane lesa 2019*. Zborník referátov z medzinárodnej konferencie konanej 31.-1.2.2019 v Kongresovom centre Kúpeľov Nový Smokovec, a.s., Národné lesnícke centrum, Zvolen, s. 94-100.

TÚČEKOVÁ, A., SITKOVÁ, Z., KULLA, L., LONGAUER, R., LONGAUEROVÁ, V., STRMEŇ, S., TAKÁČOVÁ, E. 2019. Kontinuálne získavanie a transport poznatkov poloprevádzkových experimentov umelej, kombinovanej a prirodzenej obnovy kalamitných holín v rámci DO Husárik. Záverečná správa a odpočet prác za r. 2016-2019. NLC-LVÚ Zvolen.

WMO, 2021. World Meteorological Organization, 2021. The report on the State of the Global Climate 2020. WMO-No. 1264

ZHANG, X., ALEXANDER, L., HEGERL, G. C., JONES, P., TANK, A. K., PETERSON, T. C., TREWIN, B., ZWIERS, F. W. 2011. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. Wiley interdisciplinary reviews. Climate change 2 851–70.

## Zhrnutie

### **Climate trends and monitoring of growth responses of forest trees in the Kysuce region.**

In this paper, we focus on the usage of our own meteorological data as well as public climate databases to assess climate development and climate trends in the Kysuce area. In addition to the monitoring of meteorological elements, it is important to monitor and quantify the growth processes of forest trees, even in the lower age stages, which are expected to have a prompter growth response to hydric or climatic stress. Automated records of diameter changes using new technologies are the ideal form of monitoring growth-climate interactions. In order to monitor the dynamics of radial growth of young trees and their response to climate and soil moisture, the installation and testing of the instrumental infrastructure – microdendrometer in the demonstration compound Husárik is planned within the activities of the Center of Excellence LignoSilva. When measuring the growth response, we prefer to focus on the economically and ecologically prospective tree species (beech and oak), which should play an irreplaceable role in the adaptive forest management of Beskydy forests.

## Kľúčové slová

Meteorologický monitoring; klimatické trendy; hrúbkový rast; mikrodendrometer

## Kontaktné adresy

Ing. Zuzana Sitková, PhD., Mgr. Ivan Barka, PhD.

Odbor ekológie lesa a krajiny

Lesnícky výskumný ústav Zvolen

Národné lesnícke centrum

T.G. Masaryka 2175/22

960 01 Zvolen, Slovak Republic

[zuzana.sitkova@nlcsk.org](mailto:zuzana.sitkova@nlcsk.org), [ivan.barka@nlcsk.org](mailto:ivan.barka@nlcsk.org)

## MOŽNOSTI VYUŽITIA RADAROVÝCH DÁT SENTINEL-1 PRI KLASIFIKÁCIÍ POŠKODENIA LESOV

Tomáš Bucha, Ivan Barka, Bohdan Konôpka

### 1 Úvod

Satelitné snímky majú v lesnom hospodárstve mnohoraké využitie. Môžu napríklad slúžiť na zhodnotenie lesných porastov z pohľadu ich produkčných vlastností, zdravotného stavu alebo poškodenia. Na Slovensku bolo využitie satelitných snímok pri klasifikácii poškodenia lesov publikované vo viacerých prácach (Scheer, 1997; Bucha & Barka, 2014). Spoločným znakom citovaných prác je využitie multispektrálnych satelitných snímok Landsat, SPOT a od roku 2016 Sentinel-2. Pri operačnom nasadení sa spravidla využíva dvojfázový regresný výber, pri ktorom sa v prvej fáze odhadne poškodenie na základe klasifikácie poškodenia v predchádzajúcom roku. V druhej fáze sa pre spresnenie klasifikácie poškodenia využívajú údaje z terestrického monitoringu lesov na trvalých monitorovacích plochách v sieti 16 x 16 km. Barka et al. (2018) preukázali vysokú koreláciu medzi satelitným odhadom a terestrickým hodnotením poškodenia, s hodnotou korelačného koeficienta  $r$  od 0,8 do 0,9 v rámci 2. fázy výberu. Stredná chyba regresnej priamky sa pohybuje od 10 do 20 %. Ekstrand et al. (1998) konštatuje, že na európskej úrovni sa môže pri využití snímok s vysokou rozlišovacou schopnosťou (20-30 m) ušetriť 75 až 80 % nákladov vynaložených na terestrický monitoring v sieti 16 x 16 km v prípade, že na kalibráciu údajov budú použité plochy intenzívneho monitoringu. Pri strednej chybe 3 až 11 % môže byť satelitný monitoring využitý pre dlhodobé monitorovanie poškodenia lesov.

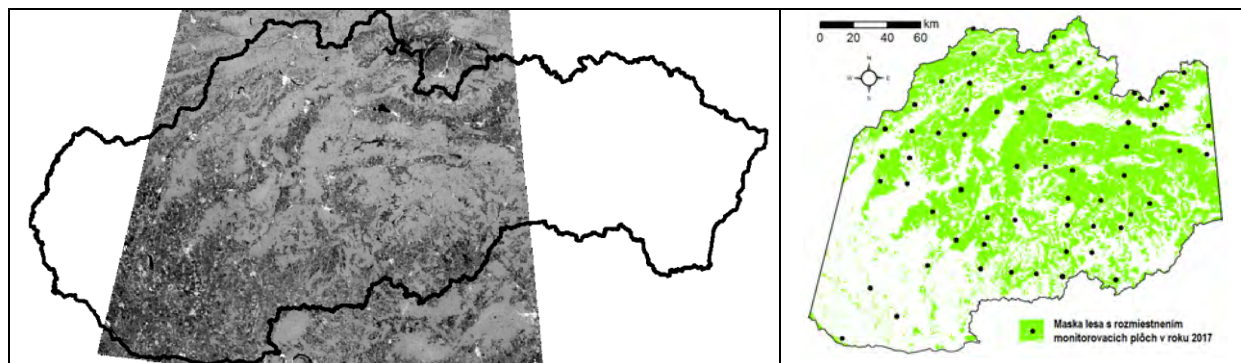
Významným obmedzením uplatnenia multispektrálnych snímok je však ich závislosť od oblačnosti a citlivosť na atmosférické znečistenie, ktoré je potrebné v rámci predspracovania snímok práce eliminovať. V rokoch 2005, 2008 a 2014 dokonca nebolo možné z dôvodu oblačnosti vo vegetačnom období vytvoriť celoslovenskú mozaiku snímok a vykonať klasifikáciu poškodenia lesov. Možným riešením je využitie radarových satelitných snímok. Doposiaľ publikované práce s využitím Sentinel-1 údajov sa týkali detekcie poškodenia lesov po vetrových kalamitách alebo detekcie ťažieb (Akbari & Solberg, 2020; Tomppo, 2021; Lazecký, 2021). Využitie Sentinel-1 dát pre spresnenie klasifikácie poškodenia lesov doposiaľ nebolo preskúmané.

Cieľom práce je preveriť príspevok koeficientu radarovej odrazivosti Sentinel-1 pre spresnenie klasifikácie poškodenia lesov v kombinácii s multispektrálnymi údajmi z optických satelitov.

### 2 Materiál a metódy

#### 2.1 Analyzované územie

Analyzované územie reprezentuje centrálnu časť Slovenska s geografickým stredom daným súradnicami 48°41'N a 19°02'E (obr. 1). Územie bolo vymedzené vzájomným prekrytom satelitných radarových snímok Sentinel-1 z orbitálnych dráh 175 (vzostupná dráha z juhu na sever) a 51 (zostupná dráha zo severu na juh). Objektom analýzy sú lesy, ostatné kategórie krajiny pokrývky boli odmaskované. Maska lesa bola vytvorená z klasifikácie drevinového zloženia lesov Slovenska zo satelitných snímok Landsat (Bucha, 1998).



**Obrázok 1.** Vľavo: Analyzované územie pokryté v rámci Slovenska radarom Sentinel-1 z obežných dráh 175 a 51. Vpravo: Maska lesa a rozmiestnenie monitorovacích plôch v roku 2017 v zúčjomovom území.

## 2.2 Satelitné a podkladové údaje

### 2.2.1 Radarové údaje Sentinel-1

Misia S-1 Európskej vesmírnej agentúry (ESA) pozostáva z dvoch satelitov, Sentinel-1A a Sentinel-1B, vypustených 3. apríla 2014 a 25. apríla 2016. Radar so syntetickou clonou (SAR) sníma zemský povrch v pásme C cez deň aj noc v duálnych polarizáciách a snímky získava nepretržite bez ohľadu na počasie so 6-dňovým opakovaním snímania na rovníku. V tejto štúdii sme použili snímky S-1A a S1-B v InterferometricWide móde snímania zo vzostupnej (ASC) a zostupnej (DESC) obežnej dráhy a VV/VH polarizačnej konfigurácii. Od 31. júla 2017 do 7. septembra 2017 sme použili 12 akvizícií (tab. 1). Údaje boli stiahnuté z centra Copernicus Open Access Hub ( <https://scihub.copernicus.eu/>), využitý bol produkt Single Look Complex (SLC).

**Tabuľka 1.** Prehľad radarových dát Sentinel-1 využitých pri klasifikácii poškodenia lesov

Satelit / Produkt	Dátum snímania	Obežná dráha - lúnia	Poznámka k obežnej dráhe
S1A – SLC	2.8., 14.8., 26.8., 7.9. 2017	175 - 12 a 13	ASC \ pohľad na územie od západu \
S1B – SLC	8.8., 20.8., 1.9. 2017	175 - 19	ASC \ pohľad na územie od západu \
S1B – SLC	31.7., 6.8., 12.8., 24.8., 30.8.2017	51 - 17 a 18	DESC / pohľad na územie od východu /

### 2.2.2 Ďalšie podkladové údaje

Pre odhad poškodenia v roku 2017 bola využitá dostupná vrstva klasifikácie poškodenia zo satelitných snímok z roku 2016.

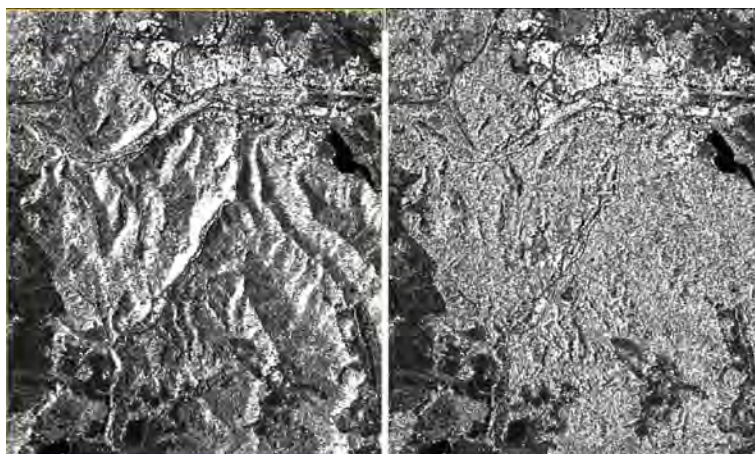
Pre spresnenie odhadu boli využité údaje z terestrického hodnotenia defoliácie na trvalých monitorovacích plochách v sieti 16 x 16 km realizované v auguste 2017 doplnené o plochy so stojacimi suchármi z nespracovanej kalamity najmä vo Vysokých Tatrách (Obr. 1 vpravo). Strata asimilačných orgánov (SAO) sa hodnotila okulárnym odhadom v percentách so zaokrúhlením na 5 %, v zmysle metodiky medzinárodného UN-ECE ICP Forests programu.

Celoslovenská mozaika satelitných snímok Landsat 8 z roku 2017 bola využitá ku klasifikácii poškodenia v roku 2017, a to samostatne a v kombinácii s radarovými údajmi zo Sentinel-1. Mozaika pozostáva z kanálov 4, 5, 6 a 7 Landsat 8, menovite červený kanál (0.64 - 0.67  $\mu\text{m}$ ), blízky infračervený kanál (0.85 - 0.88  $\mu\text{m}$ ), Krátkovlnný infračervený kanál SWIR1 (1.57 - 1.65  $\mu\text{m}$ ) a SWIR2 (2.11 - 2.29  $\mu\text{m}$ ) v rozlíšení pixelu 30 x 30 m.

## 2.3 Predspracovanie radarových dát

Pre každú akvizíciu S-1 sme použili údaje SLC produktu na odvodenie rádiometricky upraveného koeficientu odrazu Gamma nula (*Gamma naught backscatter*),  $\gamma^0$  (Small, 2011).

Spracovanie snímok S-1 sa uskutočnilo pomocou softvéru SNAP v.8.0. Použili sme štandardný postup spracovania SLC produktu na GRD produkt, ktorý zahŕňa nasledovné operácie: odstránenie termálneho šumu, rádiometrickú kalibráciu (výpočet základného koeficientu radarovej odrazivosti  $\beta^0$ ), deburst a zlúčenie TOPS dát, multilooking s veľkosťou okna 4 x 1 (4 pixely v smere letu a 1 pixel v smere kolmom na let), filtrovanie šumu pomocou Refined Lee filtra a priemet šikmého pohľadu na zem (*slant range to ground range*). V ďalšom kroku sme vykonali terénnu korekciu s veľkosťou geokódovaných pixelov 20 m x 20 m v súradnicovom systéme Universal TransverseMercator (UTM 34N) spojenú s výpočtom lokálneho uhlu dopadu (*Project local incidence angle  $\theta$* ). Tento uhol sme využili v poslednom kroku pri odvodení rádiometricky upraveného *gamma naught backscatter*,  $\gamma^0$  podľa vzorca:  $\gamma^0 = \beta^0 / \tan \theta$ . Touto rádiometrickou normalizáciou sme eliminovali vplyv geometrie snímania a topografie terénu na hodnoty koeficientu radarovej odrazivosti. Graficky je význam rádiometrickej normalizácie zrejmy z obrázku 2.



**Obrázok 2.** Sentinel-1 VH kanál zo 6. augusta 2017 z okolia Zvolena. Vľavo: Koeficient radarovej odrazivosti Beta<sup>0</sup>. Vpravo: Koeficient radarovej odrazivosti Gamma<sup>0</sup> - zrejma je eliminácia presvetlených plôch s vysokým koeficientom odrazivosti spôsobeným zhustením (foreshortening) a prekrytím signálu (layover).

## 2.4 Modely pre odhad poškodenia lesov

### 2.4.1 Výberový postup

Klasifikácia poškodenia lesov je založená na uplatnení dvojfázového regresného výberu (Scheer, 1997). Cieľom prvej fázy je technicky relatívne jednoducho a hlavne s malými finančnými nákladmi odhadnúť poškodenie lesov zo satelitných snímok. Cieľom druhej fázy je spresniť výsledok odhadu s využitím údajov z presnejšieho hodnotenia poškodenia lesov na monitorovacích plochách.

V 1. fáze výberu sme odhad poškodenia v roku 2017 vykonali pomocou viacnásobného lineárneho regresného modelu:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i} + \dots + \beta_n x_{ni} + \varepsilon_i \quad [1]$$

kde  $y_i$  - klasifikácia poškodenia z roku 2016 pre pixel  $i$ ;  $x_{1i}-x_{ni}$  - nezávislá premenná ( $\gamma^0$  alebo DN hodnota pre pixel  $i$ );  $\beta_1-\beta_n$  - regresné koeficienty modelu;  $\varepsilon_i$  - chyba modelu (rezíduá)

V 2. fáze výberu bola využitá jednoduchá lineárna regresia:  $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i$ , kde  $y_i$  - klasifikácia poškodenia z roku 2017 pre monitorovaciu plochu  $i$ ;  $x_i$  - odhad poškodenia podľa vzťahu [1] pre monitorovaciu plochu  $i$ ;  $\beta_0$  a  $\beta_1$  - absolútny a regresný koeficient modelu;  $\varepsilon_i$  - chyba modelu

Pre výpočet aritmetického priemeru odhadu poškodenia pre jednotlivé monitorovacie plochy bola použitá zónová štatistika GIS. Odvodený model bol aplikovaný na všetky pixely s lesom. Regresná funkcia, Pearsonova korelácia a F-test štatistickej významnosti regresných modelov (hodnota  $p$ ) boli vypočítané na posúdenie sily vzťahu medzi defoliáciou z pozemných hodnotení a odhadom poškodenia v 1. a 2. fáze. Pre fázu 2 bola vypočítaná absolútna stredná chyba regresnej priamky  $s_{yx}$ , ktorej hodnota určuje s akou presnosťou je vypočítaná defoliácia v danom pixeli.

### 2.4.2 Odvodenie modelov pre klasifikáciu poškodenia

Modely klasifikácie poškodenia boli odvodené v 6 variantoch (Tab. 2) Cieľom modelov 1 až 4 bolo overiť význam filtrácie šumu a priemerovania radarových snímok v rámci ich predspracovania pre spresnenie klasifikácie poškodenia lesov. Model 5 je založený na využití multispektrálnych kanálov zo satelitnej snímky Landsat 8. Využitý bol ako porovnávací k radarovým modelom. Model 6 je kombináciou modelu 4 a 5, t.j. spoločného využitia 2 kanálov S-1 (VH a VV polarizácie) a 4 kanálov Landsat 8.

Pri filtrácii šumu bol využitý Refined Lee filter. Pri priemerovaní 2 snímok (model 1 a 3) a celej časovej série 12 akvizícií Sentinel-1 (model 2 a 4) sme vypočítali aritmetický priemer topograficky korigovaného spätného odrazu  $\gamma^0$  (pre obe polarizácie HV, VV). Časové priemerovanie umožnilo odvodiť presnejšie hodnoty  $\gamma^0$  eliminovaním náhodných časových odchýlok v dôsledku zmien poveternostných podmienok a zároveň ďalej znížiť „salt and paper“ radarový šum, ktorý ostal prítomný po filtrácii každej snímky Refined Lee filtrom.

Tabuľka 2. Vstupy do modelov pre klasifikácii poškodenia lesov (RLEE- Refined Lee filter)

Model č.	Vstupy (premenné)	Opis odvodenia premenných modelu
1	Sentinel-1 (VH, VV) bez filtra – 2 akvizície	Priemer z 2 snímaní z ASC a DESC módu
2	Sentinel-1 (VH, VV) s RLEE - 2 akvizície	Filtrovanie šumu Refined Lee filtrom + priemer z 2 snímaní z ASC a DESC módu
3	Sentinel-1 (VH, VV) bez filtra – 12 akvizícií	Priemer z 12 snímaní z ASC a DESC módu
4	Sentinel-1 (VH, VV) s RLee filtrom – 12 akvizícií	Filtrovanie šumu Refined Lee filtrom + priemer z 12 snímaní z ASC a DESC módu
5	Landsat 8 (kanál 4, 5, 6 a 7)	Referenčný model - topograficky normalizované kanály Landsat 8
6	Model 4 x Model 5 (VH, VV, 4, 8, 11, 12)	Kombinácia modelu 4 a 5

### 3 Výsledky a diskusia

Základnú predstavu o vzťahoch medzi jednotlivými premennými vstupujúcimi do modelov a poškodením lesov vyjadreným stratou asimilačných orgánov (SAO<sub>2016</sub>) udáva tabuľka 3. Pri radarových záznamoch Sentinel-1 je závislosť záporná, t.j. koeficient radarovej odrazivosti  $\gamma^0$  klesá s rastom poškodenia. Závislosť medzi analyzovanými kanálmi Landsat 8 (kanály 4-Red, 5-NIR, 6-SWIR1 a 7-SWIR2) a poškodením je kladná, t.j. s rastom poškodenia sa zvyšuje spektrálna odrazivosť. Pri interpretácii korelačného koeficienta najmä pri Landsat kanáloch 5 a 6 je potrebné zohľadniť skutočnosť, že sú citlivé na drevinové zloženie lesov.

**Tabuľka 3.** Prehľad korelačných koeficientov jednoduchej lineárnej regresie medzi klasifikáciou poškodenia z roku 2016 (SAO<sub>2016</sub>) a kanálmi Landsat 8 a Sentinel-1 z roku 2017.

	S-1 (HV)*	S-1 (VV)*	L8 – 4 (Red)	L8 – 5 (NIR)	L8 - 6 (SWIR1)	L8 - 7 (SWIR2)
SAO <sub>2016</sub>	-0,35	-0,35	0,45	0,24	0,54	0,62

\* úroveň predspracovania kanálov Sentinel-1 VH a VV zodpovedá modelu 4

Výsledky klasifikácie poškodenia lesov podľa jednotlivých modelov sú uvedené v tabuľke 4. Rozsah výberu pre 1. fázu tvorili všetky pixely, pre ktoré bola v roku 2016 určená defoliácia ( $n = 16\,224\,749$  pixelov, každý o výmere 0,09 ha). Rozsah výberu pre 2. fázu tvorilo 62 trvalých monitorovacích plôch, na ktorých bola v roku 2017 hodnotená defoliácia.

**Tabuľka 4.** Porovnanie korelačných koeficientov a strednej chyby pre 6 modelov klasifikácie poškodenia lesov

Model č.	Vstupy do modelu	1. fáza	2. fáza	
		$r$	$r$	$s_{yx}$ ( v % defoliácie )
1	S-1 bez filtra – 2 akvizície	0,25	-	-
2	S-1 s RLee filtrom - 2 akvizície	0,30	-	-
3	S-1 bez filtra – 12 akvizícií	0,34	-	-
4	S-1 s RLEE filter - 12 akvizícií	0,37	0,51	21,5
5	Landsat 8	0,68	0,87	12,5
6	Model 4 x Model 5	0,69	0,86	12,7

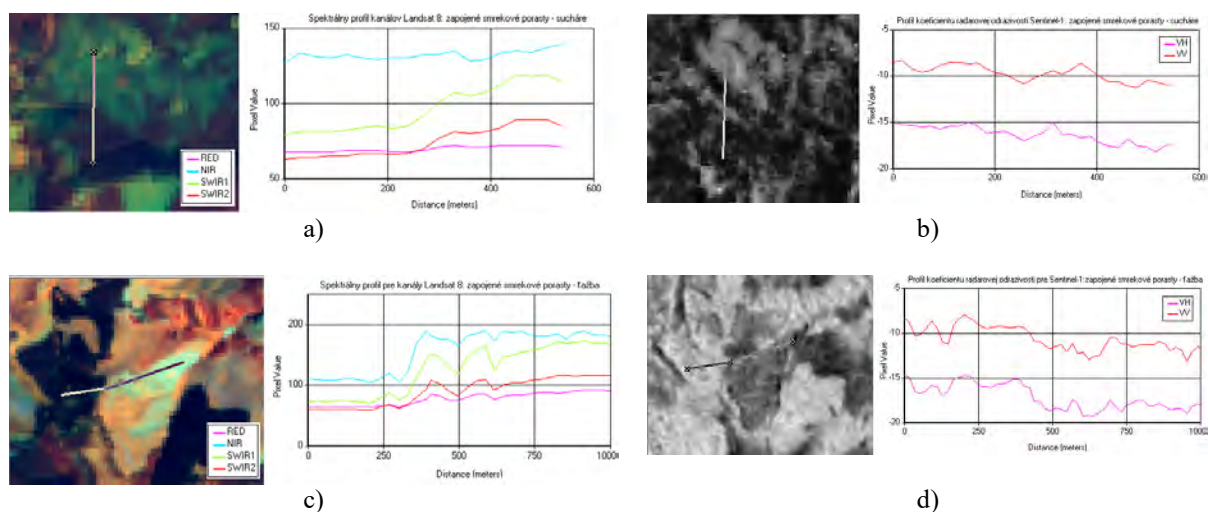
$r$  = korelačný koeficient;  $s_{yx}$  = absolútna stredná chyba regresnej priamky vyjadrená v % defoliácie

Z dosiahnutých výsledkov pre 1. fázu (odhad poškodenia podľa klasifikácie z r. 2016) vyplýva pozitívny vplyv filtrácie snímok ako aj priemerovania snímok. Korelačný koeficient sa postupne zvyšoval od hodnoty 0,25 (model 1) až k hodnote 0,37 pri modeli 4. Avšak v porovnaní s referenčným modelom 5 odvodeným z Landsatu ( $r = 0,68$ ) je odhad poškodenia z radarových snímok menej presný.

Uvedené sa potvrdilo aj v 2. fáze výberu, keď vzťah medzi pozemnými hodnoteniami a odhadom z 1. fáze bol podstatne silnejší v referenčnom modeli 5 ( $r = 0,87$ ) ako pri samostatnom využití radarových kanálov v modeli 4 ( $r = 0,51$ ). V modeli 6 sme preverili príspevok radarových dát k presneniu klasifikácie poškodenia oproti referenčnému modelu 5 založenom len na využití multispektrálnych údajov Landsat 8. V 1. fáze došlo k zvýšeniu korelačného koeficienta  $r$  z 0,68 na 0,69. V 2. fáze výberu k zníženiu  $r$  z 0,87 na 0,86. Na základe týchto zistení konštatujeme, že radarové údaje neprispeli k zlepšeniu presnosti klasifikácie poškodenia lesov.

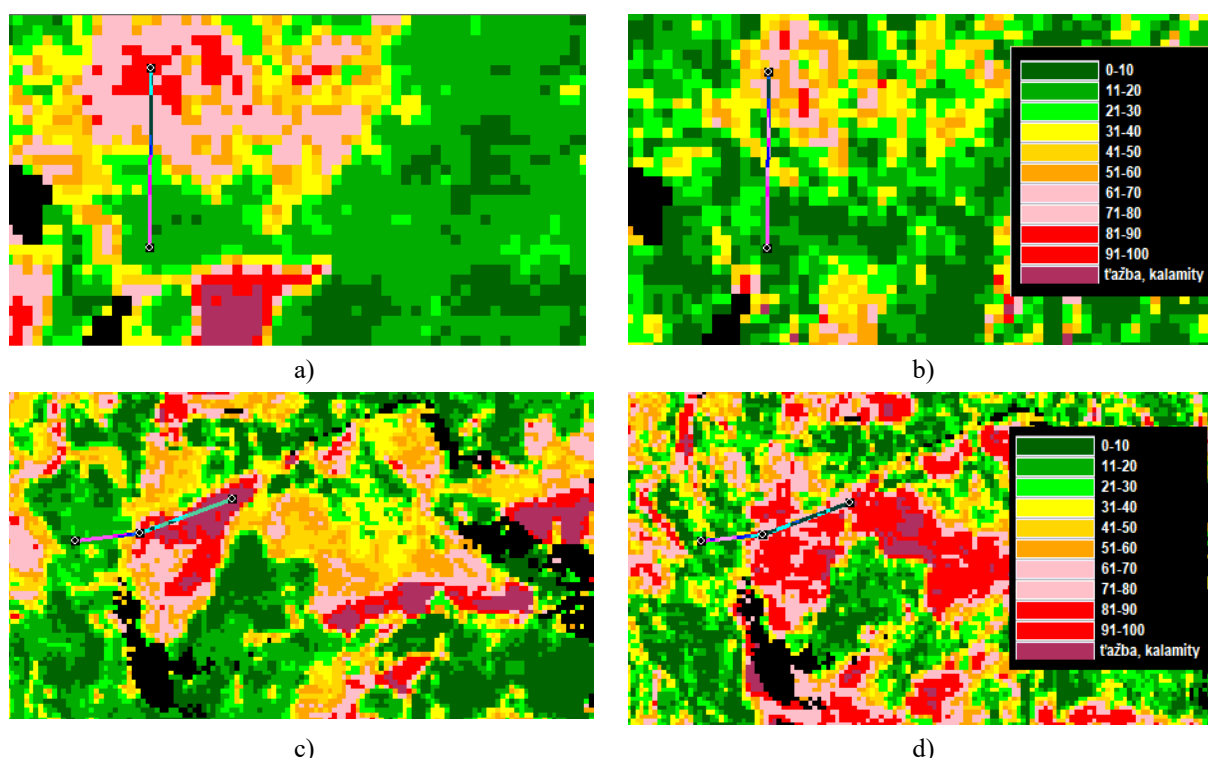
Akbari (2021), Tomppo (2021) uvádzajú, že mechanizmus radarového odrazu sa zmení z objemového (*volume*) na povrchový (*surface scattering*) po výskyte ťažby alebo kalamitných udalostí. To znamená, že odraz pri krížovej polarizácii (*cross-polarized VH*) by sa mal výrazne znížiť. To však platí len vtedy, ak po ťažbe dreva nezostane nerovný povrch alebo nespracovaná hmota. Aby sme lepšie porozumeli správaniu sa spektrálnej odrazivosti kanálov Landsat a radarového spätného odrazu Sentinel-1 vykreslili sme profily DN hodnôt (pre Landsat 8 kanály 4, 5, 6 a 7 z roku 2017) a koeficientov spätného odrazu  $\gamma^0$  pre polarizácie VV aj VH na dvoch vymedzených tranzektoch prechádzajúcich kompaktným smrekovým porastom a stojacimi suchármi (Obr. 3a, 3b) resp. rúbaniskom bez vegetácie (Obr. 3c, 3d). Zistili sme zníženie intenzity spätného odrazu pri výskyte suchárov a spracovanej kalamity oproti kompaktným smrekovým porastom pri oboch polarizáciách, výraznejšie pri cross-pol (VH) odraze. Pri referenčnom Landsate došlo k nárastu odrazivosti. Táto zmena odrazivosti vo viditeľnej a infračervenej časti spektra kanálov Landsatu je podstatne výraznejšia ako zmena v mikrovlnnom C-pásme Sentinel-1.





**Obrázok 3.** Profily spektrálnej odrazivosti Landsat a koeficientu radarovej odrazivosti Sentinel-1.

- a) Landsat 8: porovnanie spektrálnych rozdielov podľa kanálov Red, NIR, SWIR1 a SWIR2 pre kompaktné smrekové porasty a stojace smrekové sucháre – LHC Liptovský Mikuláš .
- b) Sentinel-1: Koeficient radarovej odrazivosti  $\gamma^{\circ}HV$  a  $\gamma^{\circ}VV$  v decibeloch pre totožné porasty
- c) Landsat 8: porovnanie spektrálnych rozdielov podľa kanálov Red, NIR, SWIR1 a SWIR2 pre kompaktné smrekové porasty a rúbanisko so spracovanou kalamitou – LHC Kráľova Lehota.
- d) Sentinel-1: Koeficient radarovej odrazivosti  $\gamma^{\circ}HV$  a  $\gamma^{\circ}VV$  v decibeloch pre totožné porasty



**Obrázok 4.** Porovnanie klasifikácie poškodenia lesov z Landsat 8 a Sentinel-1.

- a) Klasifikácia poškodenia podľa modelu 5 (Landsat 8) – transekt prechádza kompaktnými smrekovými porastami a stojacimi smrekovými suchármi (LHC Liptovský Mikuláš).
- b) Klasifikácia poškodenia z modelu 4 ( Sentinel-1) pre totožné porasty.

- c) Klasifikácia poškodenia podľa modelu 5 (Landsat 8) – tranzekt prechádza kompaktnými smrekovými porastami a rúbaniskom so spracovanou kalamitou (LHC Kráľova Lehota).  
d) Klasifikácia poškodenia z modelu 4 Sentinel-1 pre totožné porasty.

V grafickej podobe sú výsledky klasifikácie podľa modelu 4 (Sentinel-1) a modelu 5 (Landsat 8) zobrazené na obrázku 4. Napriek podobnosti klasifikácie je na radarových výstupoch na obr. 4b a 4d zrejme väčšia rozrôznenosť klasifikácie poškodenia, zrejme daná vplyvom šumu a zachytenia iných parametrov lesa ako defoliácia porastov.

## 4 Záver

Klasifikácia poškodenia lesa by bola pre lesného hospodára prínosom, ak by sa dala vykonávať rutinne v rozsiahlom území v takmer reálnom čase. Voľne dostupné radarové údaje Sentinel-1 so syntetickou apertúrou (SAR) poskytujú údaje po celý rok a za každého počasia. Na overenie ich potenciálu pri klasifikácii poškodenia lesov sme použili časový rad 12 snímok získaných od konca júla do začiatku septembra 2017 z centrálnej časti Slovenska. Kombináciou údajov zo vzostupných aj zostupných dráh sme dosiahli spoľahlivejšie výsledky odstránením zhustenia, prekrytia a tieňov radarového signálu. Ako parameter pre testovanie klasifikácie poškodenia sme využili koeficient odrazu  $\gamma^0$  (Gamma naught backscatter). Ako referenciu sme použili klasifikáciu poškodenia odvodenú z Landsat-8 z roku 2016. Použili sme dvojfázový výberový postup. Dosiahnuté výsledky za 1. fázu - odhad poškodenia podľa klasifikácie z roku 2016 - ukazujú pozitívny efekt filtrácie obrazu SAR, ako aj priemerovania obrazu. Korelačný koeficient 0,37 (model 4: Refined Lee filter, priemer z 12 akvizícií) je však v porovnaní s referenčným modelom 5 odvodeným od Landsatu ( $r = 0,68$ ) nižší, čo poukazuje menej presný odhad poškodenia z radarových snímok. Výsledky z 2. fázy - spresnenie odhadu na základe pozemného hodnotenia defoliácie na 62 trvalých monitorovacích plochách v roku 2017 - ukazujú výrazne nižší vzťah medzi poškodením a spätným odrazom radaru ( $r = 0,51$ ) v porovnaní s referenčným modelom Landsat ( $r = 0,86$ ). Kombinovaný prístup Landsat-8 a Sentinel-1 nezlepšil klasifikáciu. Ďalší výskum je preto nevyhnutný pre reálne využitie radarových údajov Sentinel-1 pri klasifikácii poškodenia lesov, o to viac, že požiadavky na rýchle a objektívne informácie sú mimoriadne aktuálne v zhoršujúcej sa ekologickej situácii spôsobenej najmä klimatickou zmenou.

## PodĎakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## Literatúra

- AKBARI, V., SOLBERG, S., 2020. Clear-cut detection and Mapping using Sentinel-1 Backscatter Coefficient and Short-term Interferometric Coherence Time Series. *EEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 1–5. doi: 10.1109/LGRS.2020.3039875.
- BARKA, I., LUKEŠ, P., BUCHA, T., HLÁSNY, T., STREJČEK, R., MLČOUŠEK, M., KRÍSTEK, Š., 2018. Remote sensing-based forest health monitoring systems – case studies from Czechia and Slovakia. *Central European Forestry Journal*, 64(3-4), 259–275.
- BUCHA, T., 1998. Classification of tree species composition in Slovakia from satellite images as a part of monitoring forest ecosystems biodiversity. *Acta Instituti Forestalis Zvolen*: 65–84.

- BUCHA, T., BARKA, I., 2014. Klasifikácia poškodenia lesov Slovenska. In. Bucha (ed.) *Satelity v službách lesa*. Bratislava, SAP, s. 14–28.
- EKSTRAND, S., SCHARDT, M., GRANICA, K., KOCH, B., KAHABKA, H., CARNEMOLLA, S., HÄUSLER, T., 1998: SEMEFOR. Satellite based environmental monitoring of European forests. EC Community research. Luxembourg: 103 p.
- SCHEER, L., 1997. Assessment of forest conditions employing two-phased satellite remote sensing. International Workshop : Application of Remote Sensing in European Forest Monitoring. Vienn, Austria 14th-16th October 1996, EC, p. 337–346.
- SMALL, D., 2011. “Flattening Gamma: Radiometric terrain correction for SAR imagery. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 49(8), 3081–3093.
- TOMPPONEN, E., RONOUD, G., ANTROPOV, O., HYTÖNEN, H., & PRAKS, J. 2021. Detection of forest windstorm damages with multitemporal SAR data—a case study: Finland. *Remote Sensing*, 13(3), 1–28. [383]. <https://doi.org/10.3390/rs13030383>
- LAZECKY, M., WADHWA, S., MLCOUSEK, M., SOUSA, J.S., 2021. Simple method for identification of forest windthrows from Sentinel-1 SAR data incorporating PCA. / *Procedia Computer Science*, 181, 1154–1161.

## Zhrnutie

**Possibilities of using Sentinel-1 radar data for forest damage classification.** Forest damage classification would be more valuable for forest management, if it could be done routinely in wide-spread area in near-real time. It could be done with a spaceborne synthetic aperture radar (SAR) system, which provides data all year and all-weather. In Sentinel-1 time-series data, a forest damage will lead to reduced backscatter intensity. A time-series of 12 single look complex (SLC - IW) images collected from July to September 2017 are used to study the potential for forest damage classification in central Slovakia. We recommend combining data from both ascending and descending orbits to achieve more reliable results by eliminating of foreshortening, layover and shadows of radar signal. We tested radar backscatter for the forest condition classification. As a reference, we used the Landsat-based forest damage model. We applied two-phase sampling. The achieved results for the 1st phase - damage estimation according to the classification from 2016 - show a positive effect of SAR image filtration as well as image averaging. The correlation coefficient gradually increased from 0.25 (model 1: without filter, average from two acquisitions) to 0.37 (model 4: Refined Lee filter, average from 12 acquisitions). However, compared to the Landsat-derived reference model 5 ( $r = 0.68$ ), the damage estimate from the radar images is less accurate. Results from 2<sup>nd</sup> phase – a refinement of the estimate based on the ground assessment of defoliation on 62 permanent monitoring plots in 2017 – show a significantly lower relationship between damage and radar backscatter ( $r = 0.51$ ) compared to the Landsat reference model ( $r = 0.86$ ). The combined Landsat-8 and Sentinel-1 approach did not improve the classification. We conclude that further research is necessary for the real use of Sentinel-1 radar data in the classification of forest condition.

## Kľúčové slová

Radar so syntetickou clonou (SAR), Sentinel-1, koeficient radarovej odrazivosti, filtrovanie šumu, priemerovanie obrazu, poškodenie lesov.

## **Kontaktná adresa**

Tomáš Bucha

Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu

Národné lesnícke centrum - Lesnícky výskumný ústav Zvolen

T.G. Masaryka 2175/22

960 01 Zvolen, Slovak Republic

tomas.bucha@nlcsk.org

## SATELITNÉ MONITOROVANIE ZDRAVOTNÉHO STAVU LESOV SLOVENSKA

Ivan Barka, Tomáš Bucha

### 1 Úvod

Monitorovanie zdravotného stavu lesov nadobúda stále väčší význam, najmä v posledných rokoch, keď vplyv klimatických a iných stresových faktorov nepriaznivo ovplyvnil stav lesa v mnohých regiónoch (Millar & Stephenson 2015; Hlásny et al. 2012). Kým terestrické spôsoby hodnotenia zdravotného stavu lesov sú časovo náročné a zvyčajne sa vykonávajú na monitorovacích plochách, metódy diaľkového prieskumu Zeme (DPZ), najmä satelitné, umožňujú nákladovo a časovo efektívne nepretržité hodnotenie stavu lesa na veľkých územiach (Frolking et al. 2009). Na Slovensku a celkovo v strednej Európe je hlavnou motiváciou pre využívanie satelitného DPZ potreba sledovať stav najmä smrekových porastov, v súčasnosti intenzívne poškodzovaných kombináciou celého radu stresových faktorov (Barka et al. 2018).

Aplikácie optického DPZ v lesníctve sú založené na spektrálnej odrazivosti vegetácie. Spektrálne charakteristiky vegetácie sú výsledkom interakcií slnečného žiarenia s bunkovou štruktúrou, obsahom chlorofylu a ostatných pigmentov. Množstvo pigmentov je závislé od úrovne poškodenia a s jej rastom množstvo chlorofylu klesá (Szekielda 1988). Rozsiahle poškodenie zapríčiňuje detoriáciu chloroplastov a prejavuje sa žltnutím asimilačných orgánov (listov a ihličia) a súčasným posunom maximálnej odrazivosti zo zelenej do červenej časti spektra. Tento princíp viedol k odvodeniu niekoľkých tzv. vegetačných indexov, používaných pre monitorovanie zdravotného stavu lesa – napr. Red-Green Index (RGI). Súčasný trend v tejto oblasti však pred odvodzovaním a klasifikáciou jednotlivých indexov uprednostňuje využitie časových radov satelitných snímok s následnou identifikáciou sezónnych trendov a ich zmien (Healey et al. 2018).

Už desaťročia sa v lesníckych aplikáciách využívajú satelitné snímky Landsat (Bucha 1999), avšak ich využitie sa výrazne zintenzívnilo po roku 2008 v súvislosti s bezplatným uvoľnením tak historických ako aj nových snímok (Wulder et al. 2012). To umožnilo vznik aplikácií postavených na využití dlhého časového radu snímok (od r. 1972) aj v oblasti detekcie zmien stavu lesa. Satelity Landsat systematicky skenujú povrch Zeme zhruba raz za 16 dní v priestorovom rozlíšení (veľkosťou obrazového prvku – pixla) 30-60 m v niekoľkých spektrálnych kanáloch vo viditeľných, blízkych infračervených a stredných infračervených vlnových dĺžkach (Roy et al. 2014). Vďaka relatívne širokému záberu (185 km) sú údaje vhodné na rozsiahle systematické mapovanie celých kontinentov.

Navyše, dostupnosť produktov z multispektrálnych satelitných senzorov sa výrazne rozšírila vypustením satelitných systémov Európskej vesmírnej agentúry (ESA) Sentinel-2A v roku 2015 a Sentinel-2B v roku 2017 (Drusch et al. 2012; ESA, About the lunch - online). Má podobné vlastnosti ako Landsat, ale s lepším priestorovým rozlíšením 10, 20 a 60 m (tab. 1). Výraznou výhodou je aj kratšia doba návratu (opätovné snímanie rovnakého územia) 10 dní a prítomnosť niekoľkých kanálov v červenej oblasti spektra na získanie kvantitatívnych parametrov vegetácie. Voľný prístup k archívnym aj aktuálnym údajom zo satelitov Sentinel bol zavedený aj Európskou vesmírnou agentúrou (ESA), čo umožňuje ich operačné nasadenie a je hlavnou výhodou oproti komerčným satelitom. Sentinel 2A a 2B pracujú v tandeme, čo umožňuje získať optické údaje v 5 dňovom kroku a tak predstavujú jedinečný zdroj údajov vhodný aj na operatívnu detekciu zmien stavu lesa. Okrem satelitov Landsat a Sentinel-2

existuje tiež viacero komerčných satelitov s veľmi vysokým priestorovým rozlíšením (aj submetrovým) alebo vedecké satelity na monitorovanie vegetácie na globálnych úrovni (priestorové rozlíšenie zväčša 250 – 1000 m), ktorých využitie však presahujú rámec tohto článku.

Cieľom príspevku je stručne predstaviť systém monitorovania stavu lesov na Slovenku založený na využití satelitných snímok Landsat a Sentinel a vyhodnotiť trendy zmien stavu lesa v rokoch 2003 až 2020. Podrobnejšie sa venujeme rokom 2018 – 2020, za ktoré doposiaľ neboli publikované sumárne výsledky z klasifikácie poškodenia lesa s využitím údajov Sentinel-2.

**Tabuľka 1.** Spektrálne kanály Sentinel-2A a 2B senzorov. Tučným písmom sú vyznačené kanály použité pri analýze zdravotného stavu lesov Slovenska.

Sentinel-2 bands (spektrálny kanál)	Sentinel-2A		Sentinel-2B		Rozmer pixelu (m)
	Centrálna vlnová dĺžka (nm)	Šírka kanála (nm)	Centrálna vlnová dĺžka (nm)	Šírka kanála (nm)	
Band 1 – Coastal aerosol	442.7	21	442.2	21	60
Band 2 – Blue / Modrý	492.4	66	492.1	66	10
Band 3 – Green / Zelený	559.8	36	559.0	36	10
<b>Band 4 – Red / Červený</b>	<b>664.6</b>	<b>31</b>	<b>664.9</b>	<b>31</b>	<b>10</b>
Band 5 – Vegetation red edge	704.1	15	703.8	16	20
Band 6 – Vegetation red edge	740.5	15	739.1	15	20
Band 7 – Vegetation red edge	782.8	20	779.7	20	20
<b>Band 8 – NIR / Blízky infračervený</b>	<b>832.8</b>	<b>106</b>	<b>832.9</b>	<b>106</b>	<b>10</b>
Band 8A – Narrow NIR	864.7	21	864.0	22	20
Band 9 – Water vapour	945.1	20	943.2	21	60
Band 10 – SWIR – Cirrus	1373.5	31	1376.9	30	60
<b>Band 11 – SWIR / krátkovlnný infračer.</b>	<b>1613.7</b>	<b>91</b>	<b>1610.4</b>	<b>94</b>	<b>20</b>
Band 12 – SWIR	2202.4	175	2185.7	185	20

*Poznámka: Coastal aerosol – pobrežný aerosol; Vegetation red edge - Vegetačný červený okraj; NIR - Near Infrared Band - blízky infračervený kanál; Narrow NIR - Úzky NIR; Water vapour - Vyparovanie vody; SWIR – Cirrus - krátkovlnný infračervený kanál pre detekciu cirrusovej oblačnosti; SWIR - Short-Wave Infrared – krátkovlnný infračervený kanál.*

## 2 Materiál a metódy

Aktuálne (od r. 2016) sú hlavným zdrojom snímok satelity Sentinel-2 (Copernicus Open Access Hub, <https://scihub.copernicus.eu/>), pre roky 2003 – 2015 boli využité snímky Landsat (satelity 5, 7 a 8, <https://EarthExplorer.com>). Snímky Landsat boli topograficky normalizované a v prípade nutnosti aj atmosféricky korigované. Snímky Sentinel-2 boli získavané na úrovni spracovania 2A. Všetky získané snímky boli následne transformované do súradnicového systému S-JTSK. Pre vizuálnu identifikáciu zmien bola zostavená RGB kompozícia pozostávajúca z blízkeho infračerveného, stredného infračerveného a červeného kanála. Táto kompozícia sa napriek nepravým farbám javí ako najvhodnejšia pre vizuálne odlišenie listnatých a ihličnatých porastov a taktiež dobre odlišuje zdravé a poškodené

porasty. Nepoškodené listnaté porasty sú zobrazované v odtieňoch oranžovej, ihličnaté v odtieňoch hnedej farby. Poškodené a vyťažené porasty sa javia v tyrkysovej farbe. Pre klasifikáciu stavu lesa bola zostavená kompozícia pokrývajúca celé územie Slovenska, pričom boli odstránené spektrálne rozdiely medzi jednotlivými snímkami.

Klasifikácia zdravotného stavu sa vykonala pre každý obrazový prvok zaradený do kategórie les. Maska lesa bola odvodená z klasifikácie drevinového zloženia (Bucha 1999). Vrstva drevinového zloženia bola využitá aj pre identifikáciu porastov jednotlivých drevín pri vyhodnotení ich zdravotného stavu.

Samotná klasifikácia je založená na dvojfázovom regresnom výbere. Podrobne je metodický postup opísaný v prácach Bucha et al. (2002), Bucha & Barka (2014) a Barka et al. (2018). Princíp spočíva vo zvolení vhodnej kombinácie kanálov satelitnej snímky pre predbežné určenie poškodenia porastov. V druhej fáze sa využijú presnejšie údaje o poškodení drevín (defoliácii) z terestrického prieskumu. Následne sa cez regresný model spresní určenie zdravotného stavu zo satelitných snímok. Korelácia medzi vrstvou zdravotného stavu a terestrickými pozorovaniami býva vysoká, spravidla je dosiahnutá hodnota korelačného koeficienta  $r$  v rozmedzí od 0,8 do 0,9. Stredná chyba regresnej priamky sa pohybuje od 10 do 20 %. To znamená, že skutočná defoliácia v obrazovom prvku sa od vypočítanej hodnoty môže líšiť o dané hodnoty pri 68 % spoľahlivosti.

Výstupom aplikácie opísaného postupu je jednak matematický model pre odhad poškodenia a jednak klasifikovaná vrstva stavu lesa s desiatimi kategóriami poškodenia porastov na základe vypočítanej defoliácie (v %) s krokom 10%. Samostatnú kategóriu tvoria porasty, pri ktorých regresný model určí defoliáciu nad 100%, pričom spravidla ide o vyťažené porasty.

### 3 Výsledky a diskusia

Štatistické modely spektrálnej odrazivosti na určenie poškodenia porastov pre roky 2018 - 2020, odvodené pomocou dvojfázového výberu, sú uvedené v tab. 2a. Modely pre roky 2003 - 2017 boli publikované v práci Barka et al. (2018).

Vzhľadom na nižší korelačný koeficient v 2. spresňujúcej fáze výberu v roku 2020 sme pre spresnenie klasifikácie otestovali prístup s využitím komponentu NSC2 optimalizovanom pre odhad poškodenia. Podrobne je metodický postup ortogonálnej transformácie kanálov pre uvedený účel opísaný v práci Bucha & Barka (2014, str. 18-19). Oproti postupu s využitím vrstvy poškodenia z predchádzajúceho roku je postup náročnejší, vyžadoval si definovanie tréningových plôch pre spektrálne najviac odlišiteľné listnaté a ihličnaté porasty (buk a smrek) a tréningových plôch pre odumreté porasty z roku 2020. Využitím komponentu NSC2 sme dosiahli spresnenie klasifikácie v 2. fáze výberu,  $r = 0,81$ . Výsledok celého postupu je uvedený v tab. 2b.

Výsledné vrstvy hodnotenia stavu lesa zo satelitných snímok sú dostupné vo webových mapových aplikáciách na stránke [https://web.nlcsk.org/?page\\_id=17623](https://web.nlcsk.org/?page_id=17623). Aplikácie umožňujú zobrazovať stav jednotlivých porastov naložením ich hraníc a porovnávaním stavu z rôznych období, resp. celého časového radu, vizuálne identifikovať zmeny stavu porastov priamo z kompozícií satelitných snímok.

**Tabuľka 2.** a) Modely spektrálnej odrazivosti na určenie poškodenia porastov pre roky 2018 – 2020.

Rok	Model	Korelačný koeficient	Stredná chyba	Rozsah výberu (1. a 2. fáza)
2018	1. fáza: Odhad poškodenia podľa klasifikácie z r. 2017 $SAO_{18By17} = 2.106 + 0.00046 * R_{4_{2018}} - 0.00094 * NIR_{8_{2018}} + 0.00103 * SWIR_{11_{2018}} + 0.00375 * SWIR_{12_{2018}}$ 2. fáza: Spresnenie klasifikácie podľa defoliácie na monitorovacích plochách $SAO_{2018} = -20.25 + 17.16 * SAO_{18y17}$	0.68  0.85	  ±11.6	n1: všetky lesné pixely  n2: 82 plôch
2019	1. fáza: Odhad poškodenia podľa klasifikácie z r. 2018 $SAO_{19By18} = 1.004 + 0.0481 * R_{4_{2019}} - 0.0184 * NIR_{8_{2019}} + 0.0292 * SWIR_{11_{2019}} + 0.0322 * SWIR_{12_{2019}}$ 2. fáza: Spresnenie klasifikácie podľa defoliácie na monitorovacích plochách $SAO_{2018} = 8.075 + 2.066 * (SAO_{18y17})^2$	0.68  0.82	  ±12.5	n1: všetky lesné pixely  n2: 84 plôch
2020 Variant 1	1. fáza: Odhad poškodenia podľa klasifikácie z r. 2019 $SAO_{20by19} = -0.401 + 0.0411 * R_{4_{2020}} - 0.0211 * NIR_{8_{2020}} + 0.0502 * SWIR_{11_{2020}} + 0.0108 * SWIR_{12_{2020}}$ 2. fáza: Spresnenie klasifikácie podľa defoliácie na monitorovacích plochách $SAO_{2020} = 0.37 + 1.28 * SAO_{20by19}$	0.70  0.64	-  ±16.1	n1: všetky lesné pixely  n2: 89 plôch

b) Spresnený model spektrálnej odrazivosti na určenie poškodenia porastov pre rok 2020

2020 Variant 2	1. fáza: Odhad poškodenia podľa NSC2 $NSC2_{2020} = 0.376 * R_{4_{2020}} - 0.478 * NIR_{8_{2020}} + 0.531 * SWIR_{11_{2020}} + 0.590 * SWIR_{12_{2020}}$ 2. fáza: Spresnenie klasifikácie podľa defoliácie na monitorovacích plochách $SAO_{2020} = 1.95 + 1.03 * NSC2_{2020}$	-  0.81	-  ±12.3	n1: všetky lesné pixely  n2: 89 plôch
-------------------	---	---------------	----------------	---

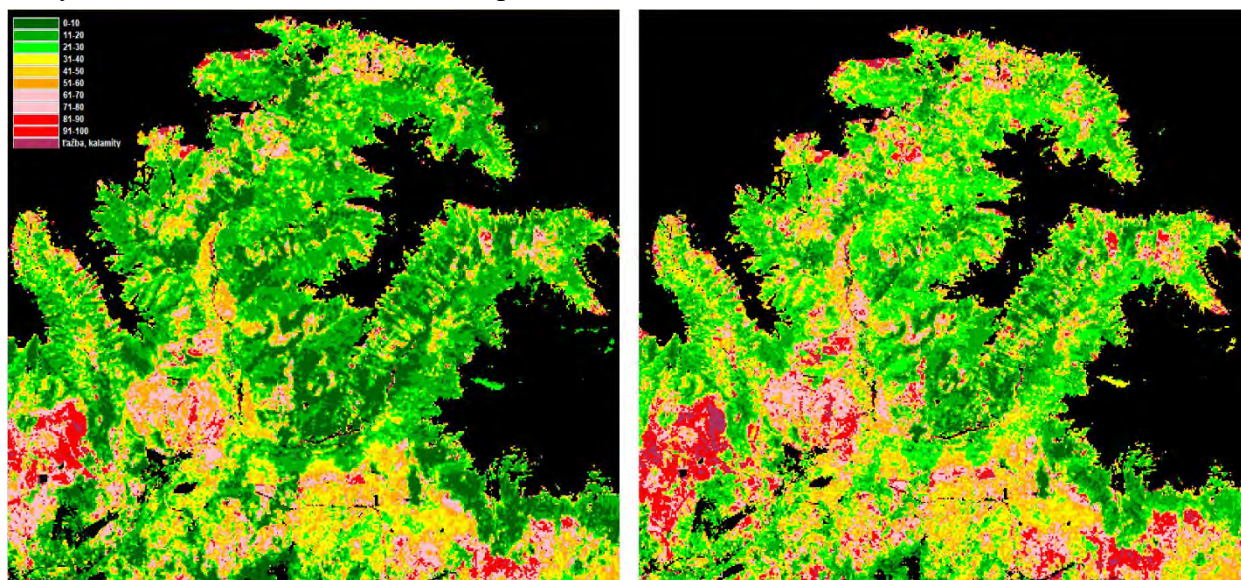
*Poznámka 1:* v r. 2018 bola použitá 16 bitová mozaika snímok Sentinel-2, v rokoch 2019 a 2020 8 bitová mozaika.

*Poznámka 2:*  $R_4$  = kanál 4 (Red);  $NIR_8$  = kanál 8;  $SWIR_{11}$  = kanál 11;  $SWIR_{12}$  = kanál 12 (viď tab. 1)

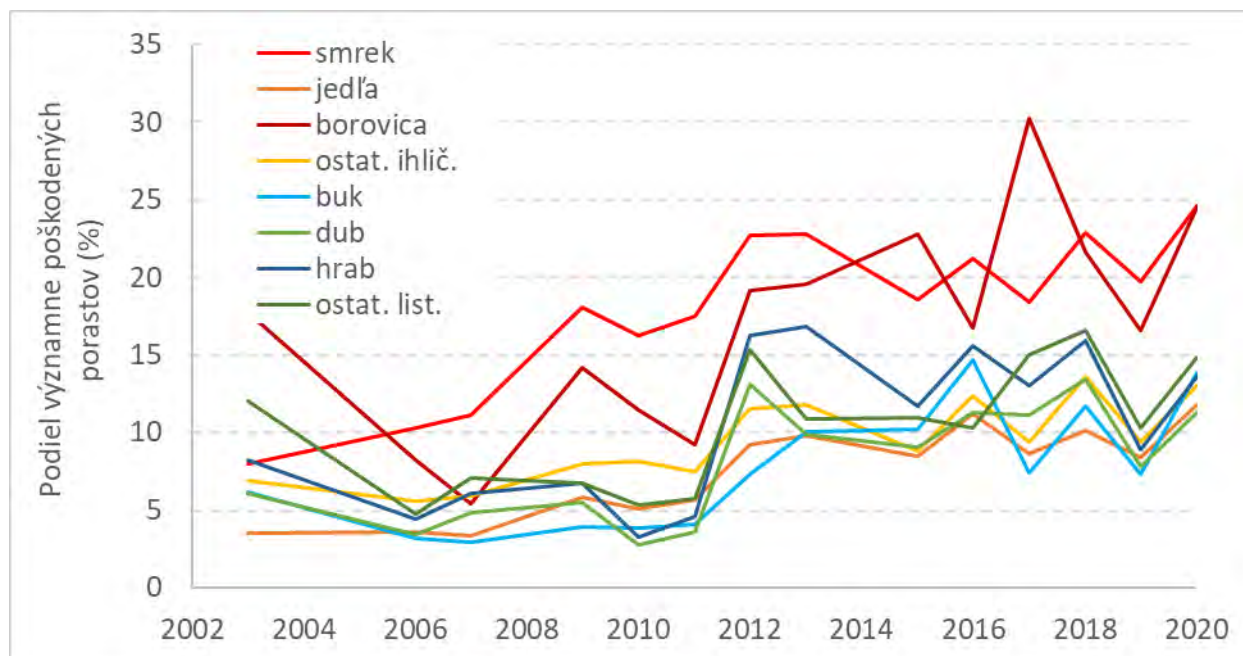
Celkový podiel poškodených porastov (s defoliáciou vyššou ako 40 %) sa zvýšil zo 6 – 8 % v rokoch 2003 – 2011 na 13 – 15 % v rokoch 2012 – 2013, odkedy sa viac či menej udržiava na tejto úrovni (obr. 2 a tab. 3). Po väčšinu sledovaného obdobia bola situácia v ihličnatých porastoch horšia asi o 5 – 10 % v porovnaní s listnatými drevinami. Najpoškodenejšou drevinou na Slovensku bol prakticky v celom období smrek, pričom podiel poškodených porastov dosiahol v roku 2020 až 24,6 % z celkovej plochy smrekových porastov. Borovicové porasty vykázali taktiež vysoké škody, pričom vrchol dosiahli až na úrovni 30,2 % v roku 2017. Tieto výsledky však môžu byť ovplyvnené nižšou hustotou korún v borovicových porastoch ako aj chudobnejším výskytom podrastu a v oblasti Záhoria aj pieskovým



podloží, ktoré ovplyvňuje odrazivosť žiarenia. Najmä ak satelitná snímka použitá na vyhodnotenie pochádza zo suchého obdobia, môže dôjsť k nadhodnoteniu miery poškodenia v porastoch s nižším zakmenením v porovnaní s terestrickými šetreniami (Barka et al. 2018). Najviac poškodenou listnatou drevinou sa javil hrab (16,8 % v roku 2013). Naopak najnižší podiel výrazne poškodených porastov bol zistený u buka, jedle a ostatných ihličnatých drevín, ktorý väčšinu sledovaného obdobia nepresahoval 10 %.



**Obrázok 1.** Porovnanie klasifikácie poškodenia v roku 2020 v oblasti Podbanského, Tichej a Kôprovej doliny podľa variantu 1 a 2. Vľavo: klasifikácia poškodenia podľa predchádzajúceho roku 2019. Vpravo: klasifikácia s využitím NSC2 komponentu.



**Obrázok 2.** Vývoj poškodenia porastov vybraných drevín, vyjadrený ako podiel významne poškodených porastov (s defoliáciou nad 40 %) zo všetkých porastov danej dreviny podľa použitej mapy drevinového zloženia (Bucha 1999).

**Tabuľka 3.** Poškodenie porastov vybraných drevín v rokoch 2003 – 2020.

Drevina	Celková rozloha (ha)	Podiel významne poškodených porastov s defoliáciou nad 40 %													
		2003	2006	2007	2009	2010	2011	2012	2013	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Smrek	427554	7,9	10,3	11,1	18,1	16,3	17,5	22,7	22,8	18,5	21,2	18,4	22,9	19,7	24,6
Jedľa	78455	3,5	3,6	3,4	5,8	5,1	5,6	9,2	9,8	8,5	11,9	8,6	10,1	8,4	11,8
Borovica	100595	17,7	8,2	5,5	14,2	11,5	9,2	19,1	19,6	22,8	16,7	30,2	21,6	16,6	24,5
Ostat. ihlič.	43042	6,9	5,6	5,9	7,9	8,2	7,5	11,5	11,7	8,8	12,4	9,4	13,6	9,4	13,0
<b>Ihličnaté</b>	<b>649647</b>	<b>8,8</b>	<b>8,8</b>	<b>8,9</b>	<b>15,3</b>	<b>13,6</b>	<b>14,1</b>	<b>19,8</b>	<b>20,0</b>	<b>17,3</b>	<b>18,7</b>	<b>18,4</b>	<b>20,5</b>	<b>17,2</b>	<b>22,3</b>
Buk	585803	6,2	3,2	2,9	3,9	3,9	4,1	7,3	10,0	10,2	14,7	7,4	11,7	7,3	13,8
Dub	297157	6,1	3,4	4,9	5,5	2,8	3,6	13,1	9,9	9,1	11,3	11,2	13,5	7,8	11,3
Hrab	113577	8,2	4,4	6,1	6,7	3,3	4,6	16,3	16,8	11,7	15,6	13,0	15,9	8,2	13,6
Ostat. list.	122171	12,0	4,8	7,1	6,8	5,4	5,7	15,3	10,9	11,0	10,3	15,0	16,6	10,3	14,9
<b>Listnaté</b>	<b>1118708</b>	<b>7,0</b>	<b>3,6</b>	<b>4,2</b>	<b>4,9</b>	<b>3,7</b>	<b>4,2</b>	<b>10,6</b>	<b>10,8</b>	<b>10,1</b>	<b>13,4</b>	<b>9,8</b>	<b>13,1</b>	<b>7,9</b>	<b>13,2</b>
<b>Celkovo</b>	<b>1768355</b>	<b>7,7</b>	<b>5,5</b>	<b>5,9</b>	<b>8,7</b>	<b>7,3</b>	<b>7,8</b>	<b>14,0</b>	<b>14,2</b>	<b>12,8</b>	<b>15,3</b>	<b>13,0</b>	<b>15,8</b>	<b>11,3</b>	<b>16,6</b>

Opísaná metodika hodnotenia stavu lesa má viaceré silné a slabé stránky. Je síce silne závislá na kvalite vstupných satelitných údajov, jej výhodou však je, že je schopná kombinovať satelitné snímky z dvoch zdrojov (Barka et al. 2018). Použité optické satelitné dáta sú citlivé na prítomnosť oblačnosti a obsah aerosólov v atmosfére. Kým vplyv aerosólov môže byť čiastočne eliminovaný metódami atmosférickej korekcie a starostlivým výberom vstupných snímok, prítomnosť oblačnosti počas snímkovania predstavuje väčší problém. Napriek tomu, že sa algoritmy automatickej detekcie oblačnosti v poslednej dobe výrazne zlepšili (Zhu et al. 2015), najlepšie výsledky je stále možné dosiahnuť manuálnou identifikáciou oblakov a ich tieňov, najmä v prípade nízkej oblačnosti a nízkeho počtu snímok (v prípade Slovenska je to 7 – 8 použiteľných snímok za rok, čo robí manuálnu detekciu uskutočniteľnou). Vylepšená automatizovaná identifikácia mrakov a tieňov by však bola veľkým prínosom pre celý monitorovací systém, a ďalší vývoj by sa mal touto otázkou zaoberať.

Projekt Sentinel disponuje kvalitnými algoritmi pre automatické atmosférické korekcie. Systém sníma údaje v niekoľkých spektrálnych pásmach schopných zachytiť okamžité atmosférické parametre a detegovať tak rôzne druhy oblakov, vrátane cirusov (oblaky typu riasa) ktoré je zvyčajne ťažké identifikovať. Napriek tomu automatická detekcia oblakov a korekcia atmosféry nie sú dokonalé. Napríklad asi 6 % oblakov nebolo správne detekovaných v štúdiu Hollstein et al. (2016). Prezentovaná metodika sa s týmto problémom vyrovnáva vizuálnou identifikáciou a manuálnou tvorbou (vektORIZÁCIU) masky oblačnosti.

Ďalším problémom je rozsah databázy z terestrických šetrení defoliácie. V údajoch ICP Forest spravidla chýbajú porasty s defoliáciou vyššou ako 50 alebo 60 %. Keďže zaradenie takýchto údajov do analýzy je pre 2. fázu popísanej metodiky kľúčové, je potrebné takto

poškodené porasty identifikovať tak v teréne ako aj na snímke (napr. odumreté porasty v neobhospodarovaných prírodných rezerváciách) a pridať ich k vstupom pre odvodenie regresného modelu.

Jeden z najväčších vplyvov na správnosť klasifikácie poškodenia lesov má zápoj lesných porastov. Pri posudzovaní vývoja poškodenia lesov sledujeme dve hlavné tendencie. S častejším výskytom kalamitných udalostí, najmä vetrových kalamít a rozšírenia podkôrneho hmyzu, súvisí postupné uvoľňovanie zápoja kompaktných lesných porastov. Druhou tendenciou je postupné zapájanie sa porastov po výskyte kalamitných situácií, bez ohľadu na to, či kalamita bola spracovaná alebo ponechaná na samovývoj. Príkladom takéhoto vývoja je napr. oblasť Vysokých Tatier po kalamite z novembra 2004. V oboch prípadoch so zmenou zápoja sa spektrálna charakteristika porastu mení vplyvom podrastu resp. podložia porastu. Od ich kvality závisí, či zdravotný stav bude pod alebo nadhodnotený. Túto skutočnosť je potrebné zohľadniť pri interpretácii poškodenia na kalamitných plochách, kde výsledná hodnota poškodenia je daná kombináciou defoliácie stromov a zápoja porastu, ktorý určuje mieru vplyvu podrastu. Pre správnu interpretáciu nepostačuje jednorazová klasifikácia poškodenia, ale je potrebné využiť časovú sériu klasifikácií. Na ich základe je možné odvodiť tendencie pozitívnych alebo negatívnych zmien zdravotného stavu a naplánovať pestovné a hospodárske opatrenia.

#### 4 Záver

V príspevku je prezentovaná metodika monitorovania stavu lesa založená na satelitných snímkach a výsledky jej aplikácie na Slovensku z r. 2003 až 2020. Metodika využíva najmä červený, blízky infračervený a stredný infračervený kanál voľne dostupných optických satelitných snímok Sentinel-2 a Landsat. Pozostáva z dvoch fáz: prvá fáza je založená buď na komponente (NSC2) optimalizovanom pre odhad poškodenia, alebo na korelácii s klasifikáciou z predchádzajúceho roka. Druhá fáza spresňuje odhady pomocou terestrických hodnotení defoliácie drevín na monitorovacích plochách a multiregresnej analýzy. Vysoké korelácie a nízke štandardné chyby medzi 1. a 2. fázou regresného odberu vzoriek preukázali vhodnosť metódy na konzistentnú klasifikáciu stavu lesa a analýzu časových radov. Výhodou prezentovanej metodiky je schopnosť efektívne zhodnotiť stav lesa na celoštátnej úrovni, nevýhodou naopak náročný proces zostavenia bezoblačnej kompozície satelitných snímok z vegetačného obdobia.

Celkový podiel poškodených porastov (s defoliáciou vyššou ako 40 %) sa zvýšil z úrovne 6 – 8 % v rokoch 2003 – 2011 na 13 – 15 % v rokoch 2012 – 2013, odkedy sa viac či menej udržiava na tejto úrovni. Situácia v ihličnatých porastoch bola v sledovanom období horšia asi o 5 – 10 % v porovnaní s listnatými drevinami. Najpoškodenejšou drevinou na Slovensku bol smrek (podiel významne poškodených porastov v roku 2020 24,6% z plochy porastenej smrekom v r. 2000). Borovicové porasty vykázali taktiež vysoké škody (30,2 % v roku 2017). Najviac poškodenou listnatou drevinou sa javil hrab (16,8 % v roku 2013), najnižší podiel poškodených porastov bol zistený u buka, jedle a ostatných ihličnatých drevín (do 10 %).

Výsledné vrstvy hodnotenia stavu lesa zo satelitných snímok sú dostupné vo webových mapových aplikáciách na stránke [https://web.nlcsk.org/?page\\_id=17623](https://web.nlcsk.org/?page_id=17623). Aplikácie umožňujú zobrazovať stav jednotlivých porastov pomocou zobrazenia ich hraníc a porovnávaním stavu z rôznych období, resp. celého časového radu, vizuálne identifikovať zmeny stavu porastov priamo z kompozícií satelitných snímok. Aplikácie tak nachádzajú využitie v oblasti lesného hospodárstva, štátnej lesnej správy, ale zaujímavé sú aj pre širokú laickú verejnosť.

## Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## Literatúra

BARKA, I., LUKEŠ, P., BUCHA, T., HLÁSNY, T., STREJČEK, R., MLČOUŠEK, M., KRÍSTEK, Š., 2018: Remote sensing-based forest health monitoring systems – case studies from Czechia and Slovakia. *Central European Forestry Journal*, 64:259–275

BUCHA, T., 1999: Classification of tree species composition in Slovakia from satellite images as a part of monitoring forest ecosystems biodiversity. *Acta Instituti Forestalis Zvolen*: 65–84. Dostupné online:

[https://www.researchgate.net/publication/353760967\\_Mapka\\_drevinoveho\\_zlozenia\\_lesov](https://www.researchgate.net/publication/353760967_Mapka_drevinoveho_zlozenia_lesov)

BUCHA, T., RAŠI, R., VLADOVIČ., J., 2002: Metódy monitoringu zdravotného stavu lesov prostriedkami DPZ. *Záverečná správa z čí 2729-01, LVÚ Zvolen, 2002, 91 s.* Dostupné online:

[https://www.researchgate.net/publication/353761076\\_Metody\\_monitoringu\\_zdravotneho\\_stavu\\_lesov\\_prostriedkami\\_DPZ](https://www.researchgate.net/publication/353761076_Metody_monitoringu_zdravotneho_stavu_lesov_prostriedkami_DPZ)

BUCHA, T., BARKA, I., 2014: Klasifikácia poškodenia lesov Slovenska. In: Bucha, T. et al., 2014: *Satelity v službách lesa*. Bratislava: SAP, 202 s. Dostupné online [https://www.researchgate.net/publication/316633583\\_Satelity\\_v\\_sluzbach\\_lesa](https://www.researchgate.net/publication/316633583_Satelity_v_sluzbach_lesa)

DRUSCH, M., DEL BELLO, U., ET AL., 2012. Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sens. Environ.* 120, 25–36.

FROLKING, S., PALACE, M.W., CLARK, D.B., CHAMBERS, J.Q., SHUGART, H.H., HURTT, G.C., 2009: Forest disturbance and recovery: A general review in the context of spaceborne remote sensing of impacts on aboveground biomass and canopy structure. *Journal of Geophysical Research*, 114 (G2)

HEALEY, S.P., ET AL., 2018: Mapping forest change using stacked generalization: An ensemble approach. *Remote Sensing of Environment*, 204:717-728

HLÁSNY, T., BARCZA, Z., FABRIKA, M., BALÁZS, B., CHURKINA, G., PAJTÍK, J., SEDMÁK, R., TURČÁNI, M., 2012: Climate change impacts on growth and carbon balance of forests in Central Europe. *Clim. Res.* 47, 219-236

HOLLSTEIN, A., SEGL, K., GUANTER, L., BRELL, M., ENESCO, M., 2016: Ready-to-Use Methods for the Detection of Clouds, Cirrus, Snow, Shadow, Water and Clear Sky Pixels in Sentinel-2 MSI Images. *Remote Sensing* 2016, 8, 666; doi:10.3390/rs8080666

MILLAR, C.I., STEPHENSON, N.L., 2015: Temperate forest health in an era of emerging megadisturbance. *Science*, 349:823-826

ROY, D.P., et al., 2014. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sens. Environ.* 145, 154–172

SZEKIELDA, K.H., 1988: *Satellite monitoring of the Earth*. John Willey & Sons, Canada

WULDER, M.A., MASEK, J.G., COHEN, W.B., LOVELAND, T.R., WOODCOCK, C.E., 2012: Opening the archive: How free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat. *Remote Sensing of Environment*, 122:2-10

ZHU, Z., WANG, S., WOODCOCK, C.E., 2015: Improvement and expansion of the Fmask algorithm: cloud, cloud shadow, and snow detection for Landsats 4-7, 8, and Sentinel 2 images. *Remote Sensing of Environment* 159:269-277

ESA – About the launch. Available online:

[https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-2/About\\_the\\_launch](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2/About_the_launch) (accessed on 7th August 2021)

## Zhrnutie

**Satellite monitoring of the health status of forests in Slovakia.** Aim of this paper is to present the satellite-based system of forest health assessment in Slovakia and the results of its application in the period 2003 - 2020. Methodology is based on a two-phase regression sampling. The first phase of the procedure provides an initial fast estimate of forest damage using only satellite observations (visible and infrared channels from Landsat or Sentinel-2 systems). The second phase refines the result of the first phase using data from a ground damage assessment (site-level defoliation from ICP Forests database). Resulting forest health assessment over the whole forest area is presented in 10 defoliation classes. Methodology conducts nationwide assessment of forest health status in a fast and automatized way with high accuracy and minimal costs. However, its weaknesses are a time-demanding production of cloud free mosaics and inability to differentiate between harvested and severely damaged stands. The total share of damaged stands (i.e., with defoliation higher than 40%) increased from 6-8% in 2003 – 2011 to 13-15% in 2012 – 2013, oscillating at his level since that time. The most damaged is the area covered by spruce (17 – 25% of significantly damaged stands since 2009), followed by pine (15 – 30% in 2012 – 2020). The lowest share of significantly damaged stands was identified for beech, fir and other conifers (not exceeding 10% for the most of the covered period).

## Kľúčové slová

forest health status, defoliation, satellite scenes, Landsat, Sentinel-2

## Kontaktné adresy

Mgr. Ivan Barka, PhD., Dr. Ing. Tomáš Bucha,  
Lesnícky výskumný ústav Zvolen  
Národné lesnícke centrum,  
T.G. Masaryka 2175/22,  
960 01 Zvolen, Slovensko,  
[ivan.barka@nlcsk.org](mailto:ivan.barka@nlcsk.org), [tomas.bucha@nlcsk.org](mailto:tomas.bucha@nlcsk.org)

## ZHODNOTENIE PRODUKČNÉHO POTENCIÁLU VYBRANÝCH LISTNATÝCH INTRODUKOVANÝCH DREVÍN

Martin Slávik, Igor Štefančík

### 1 Úvod

S ohľadom na súčasný a očakávaný vývoj dopytu po rôznych sortimentoch drevnej suroviny a drevnej biomasy pre priemyselné a energetické využitie v meniacich sa prírodných podmienkach, ktoré neustále ovplyvňujú produkčný potenciál lesov sme sa zamerali na možnosť využitia nepôvodných drevín s ohľadom na ich súčasné zastúpenie v slovenských lesoch.

Pri porovnaní výskytu nepôvodných drevín v lesoch Slovenska s inými vyspelými európskymi krajinami zistíme, že zastúpenie introdukovaných drevín v našich porastoch je minimálne, predstavuje necelých 2,5 % podielu lesného pôdneho fondu. Najväčšiu plochu zaberá 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, kde plní predovšetkým ochrannú funkciu. Druhým najviac zastúpeným nepôvodným listnatým druhom na Slovensku je dub červený. Jeho výskyt je približne na 2 250 ha, čo predstavuje zhruba 0,12 % výmery lesov. Ako pomerne zaujímavý ekonomicky veľmi dobre využiteľný druh v podmienkach Slovenska sa ukazuje orech čierny. Jeho výskyt je v súčasnosti približne na ploche 535 ha, čo predstavuje menej ako tri stotiny percenta lesnej pôdy. Zastúpenie drevín bolo prepočítané na základe údajov z platných programov starostlivosti o les (PSL) so stavom k roku 2017 (podľa VLADOVIČ, J., SEDLIAK, M., 2017).

### 2 Zhodnotenie produkčného potenciálu agáta bieleho

Pestovanie agáta bieleho má v našich lesoch pomerne dlhú tradíciu. Je mimoriadne prispôsobivý, toleruje extrémne lokality a pre tieto svoje vlastnosti rastie dobre na miestach, kde mu nedokáže konkurovať žiadna domáca drevina. Má mimoriadnu objemovú produkciu, keď celkovým ročným prírastkom predstihuje všetky domáce dreviny (s výnimkou niektorých mäkkých listnáčov). Pri krátkej rubnej dobe sú porasty zrelé na ťažbu po 30-40 rokoch, v prípade energetických porastov aj skôr (ŠEBEŇ, V., 2004). V priaznivých podmienkach strednej Európy môže agát dorastať do výšky až 35 m (KERESZTESI, B., 1983), napriek tomu sa priemerná výška tejto dreviny aj v oblasti prirodzeného rozšírenia pohybuje v rozmedzí 12-18 m (JENSEN, J. S., DEANS, J. D., 1990). Napriek skutočnosti, že patrí medzi rýchlorastúce dreviny, pričom jeho rýchly rast sa prejavuje predovšetkým v mladosti (BORING, L. R., SWANK, W. T., 1984; JENSEN, J. S., DEANS, J. D., 1990) a dokáže poskytovať aj v našich podmienkach kvalitnú drevnú surovinu, je jeho výskyt na Slovensku obmedzený predovšetkým na lokality, kde plní najmä mimoprodukčné funkcie.

Agát je introdukovaná drevina, ktorá sa nevyznačuje len rýchlym rastom, ale poskytuje jednu z najkvalitnejších drevných surovín a to vo všetkých oblastiach. Splňa estetické nároky, ale predovšetkým má vysokú tvrdosť a charakteristiky pevnosti (tabuľka 1). Svojou trvanlivosťou v exteriéri sa podobá tropickým drevinám, ale je výrazne cenovo prístupnejší.

Tabuľka 1. Porovnanie vybraných fyzikálnych vlastností dreva agáta bieleho a duba letného.

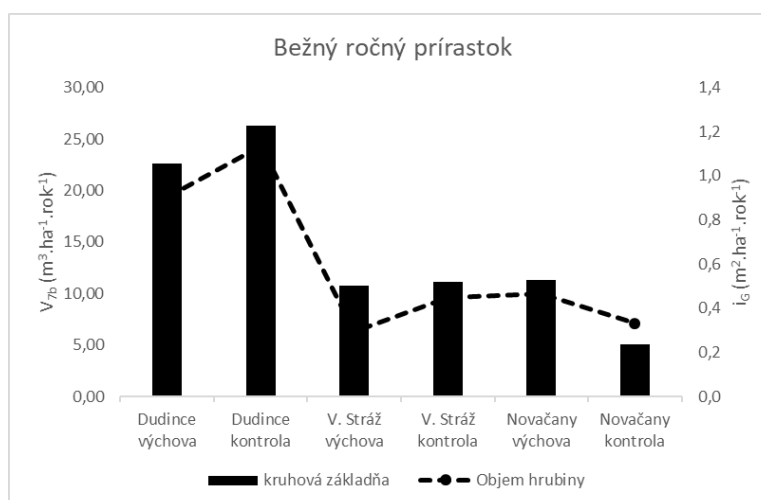
Drevina	Hustota kg.m <sup>-3</sup>	Objemové zosychanie %	Pevnosť v tlaku MPa	Pevnosť v ohybe MPa
Agát biely	770	11,4 – 12,2	72	136
Dub letný	690	12,6 – 15,6	61	88

### 3 Zhodnotenie produkčného potenciálu duba červeného

Dub červený dosahuje v porovnaní s domácimi dubmi podstatne vyšší produkčný potenciál. Porovnanie vybraných kvantitatívnych charakteristík 49 ročného porastu duba červeného (Dudince) s dvomi porastmi duba zimného (57 a 58 ročného – Veľká Stráž a Nováčany) v porovnateľných stanovištných podmienkach poukázalo na vyššie hodnoty strednej hrúbky d<sub>1,3</sub>, strednej výšky, kruhovej základne a objemu hrubiny pre dub červený (tabuľka 2). Rovnako aj hodnoty bežného ročného prírastku (objemového i na kruhovej základni) výrazne prevyšovali tie, ktoré sme zistili v porastoch duba zimného (obrázok 1). Okrem toho porovnanie kvantitatívnych hodnôt s údajmi duba podľa rastových tabuliek (HALAJ, J., et al, 1987) pre zodpovedajúcu bonitu 34 (zásobovú úroveň 2) ukázalo vyššie hodnoty, čo len potvrdzuje lepšiu produkčnosť duba červeného v porovnaní s dubom zimným.

Tabuľka 2. Kvantitatívne charakteristiky duba červeného na vybraných výskumných plochách

Lokalita	Porast	Vek (r.)	Počet stromov (ks.ha <sup>-1</sup> )	Kruhová základňa (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Objem hrubiny (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Stredná	
						hrúbka d <sub>1,3</sub> (cm) (d <sub>g</sub> )	výška (m) (h <sub>g</sub> )
Dudince	Výchova	49	1444	34,7	437	17,5	24,3
	Kontrola		1757	49,1	641	18,9	25,4
Veľká Stráž	Výchova	57	1760	31,3	289	15,5	18,2
	Kontrola		2106	39,1	357	16,4	18,9
Nováčany	Výchova	58	1186	24,2	228	16,1	19,3
	Kontrola		1090	24,1	226	16,8	19,1



Obrázok 1. Porovnanie bežného ročného prírastku na kruhovej základni a objeme hrubiny duba červeného (Dudince) a duba zimného (Veľká Stráž, Nováčany).

#### 4 Zhodnotenie produkčného potenciálu orecha čierneho

V rámci vyhodnotenia produkčného potenciálu orecha čierneho boli objektom výskumu 2 porasty orecha čierneho na LC Levice, porast 694 (bažantnica) a 725a (Vozokanská remízka, Jamy) (tabuľka 3).

Tabuľka 3. Základné údaje na výskumných plochách.

Číslo plochy	Drevina (označenie plochy)	Rozmery plochy (m)		Výmera (m <sup>2</sup> )	Počet meraných		Vek porastu (roky)
		dĺžka	šírka		hrúbok	výšok	
1	orech čierny (694)	80	42,1	3368	182	48	105
2	orech čierny (725a)	90	35	3150	192	67	65

Pri hodnotení údajov na výskumných plochách orecha čierneho pre združený porast (tabuľka 4) sme overovali porasty orecha čierneho s rozdielnym vekom. Pri výrazne rozdielnych vekoch a takmer rovnakých stredných výškach 30,3 a 30,1 m majú aj rozdielne bonity. V poraste 694 je bonita 30 a v poraste 725a je až 36. Z rozdielnych bonít vyplýva aj produkčná úroveň porastov orecha čierneho. Zásoby a kruhové základne boli v poraste s vyššou bonitou blízke modelovým a s nižšou bonitou sú o 25 % nižšie ako modelové podľa rastových tabuliek (HALAJ, J., PETRÁŠ, R., 1998). Objemy a stredné hrúbky stromov boli väčšie, pritom viac v poraste s vyššou ako s nižšou bonitou.

Tabuľka 4. Základné porastové údaje na výskumných plochách orecha čierneho pre združený porast.

Výskumná plocha	orech čierny (694)	orech čierny (725a)	
Vek (roky)	105	65	
Bonita	30	36	
Zakmenenie	0,77	0,96	
Na 1 ha	N	261	394
	V (m <sup>3</sup> )	372	424
	G (m <sup>2</sup> )	30,0	33,6
Stredný kmeň	v (m <sup>3</sup> )	1,424	1,076
	dv (cm)	38,6	33,9
	hv (m)	30,3	30,1
Kvalita kmeňa A (%)	Nepoškodené	60	53
	Poškodené	2	7
	Spolu	62	60
Kvalita kmeňa B (%)	Nepoškodené	34	21
	Poškodené	3	5
	Spolu	37	26
Kvalita kmeňa C (%)	Nepoškodené	1	9
	Poškodené	0	5
	Spolu	1	14

Vysvetlivky: počet stromov (N), zásoba (V), kruhová základňa (G), stredný objem (v), stredná hrúbka (dv), stredná výška (hv)

Čo sa týka kvality kmeňa, približne so 60 % podielom prevažujú najkvalitnejšie kmene triedy A. Kmeňov podpriemernej kvality C je najmenej. Orech čierny má menší, približne len 5 – 15 % podiel poškodených kmeňov. Aj v jeho prípade je poškodenie len mechanické po predchádzajúcich ťažbových zásahoch. Na poškodených miestach nie sú silnejšie hnilobné procesy. V súčasnosti evidujeme 261 ks.ha<sup>-1</sup> v poraste 694, resp. 394 jedincov na 1 ha v



poraste 725a. Starší porast si vyžaduje veľmi slabý zásah (1,6 % zo zásoby) zameraný na uvoľnenie koruny zopár cieľových stromov a mladší porast len slabý zásah (6,5 % zo zásoby) s pozitívnym výberom v prospech najkvalitnejších cieľových stromov. Porast vykazuje dobrú statickú stabilitu s hodnotami štíhlostného kvocienta (0,81 a 0,87). Pre cieľové stromy (obrázok 20) je to hodnota 0,67 v poraste 694, resp. 0,76 v poraste 725a.

Vyznačili sme aj cieľové stromy (CS), a to 83 ks na 1 ha (na ploche 694) s priemerným rozstupom 11,8 m a 95 ks.ha<sup>-1</sup> na ploche 725a s priemerným rozstupom 11 m. Tieto počty CS sú nižšie v porovnaní s údajmi TOKÁRA, F., 1998, ktorý uvádza pre zmiešané porasty orecha čierneho vo veku 38 rokov 120 až 431 ks.ha<sup>-1</sup> nádejných stromov, resp. pre nezmiešaný porast 225 ks na hektár. Pritom odporúča 250 až 300 ks.ha<sup>-1</sup>. Nižší počet je spôsobený vysokou produkčnosťou stanovišťa, keď hodnoty absolútnej výškovej bonity dosahujú hodnoty 30 pre porast 694 a hodnotu 36, pre porast 725a. Pritom je všeobecne známe, že počet jedincov na hektár klesá so stúpajúcou bonitou stanovišťa. Podiel CS zo zásoby činil na ploche 694 50,4 %, kým na ploche 725a to bolo 41,3 %. TOKÁR (1998) zistil vo veku 38 rokov, že podiel nádejných stromov z objemu tvoril 47,0 %, až 71,7 % v zmiešanom poraste, resp. v rovnorodom poraste 53,3 %.

Podiel CS z objemu na ploche 725 a vo veku 65 rokov možno považovať za primeraný, ale vo veku 105 by mohol byť vyšší. Avšak treba upozorniť na vysokú kvalitu kmeňov tvoriacich porast, keď až 60 % dosahovalo najvyššiu kvalitu kmeňa A. To plne zodpovedá požiadavke výchovy porastov orecha čierneho, kde je prioritná kvalitatívna a vysoká hodnotová produkcia.

Skúmané porasty orecha čierneho boli rozdielneho veku (rozdiel až 40 rokov), napriek tomu vykazovali veľmi podobný stav porastov z hľadiska výchovy porastov. Dokazuje to potreba iba slabého zásahu na ploche vo veku 65 rokov a prakticky zanedbateľného zásahu na ploche vo veku 105 rokov. Dobrý stav porastov potvrdili aj hodnoty štíhlostného kvocientu (0,81 a 0,87) pre hlavný porast, pričom hodnoty pre cieľové stromy sú ešte nižšie. Počty cieľových stromov sú síce nižšie v porovnaní s literatúrou, čo je však spôsobené vysokou produkčnosťou stanovišťa, takže z hľadiska objemovej produkcie sa vyrovnajú údajom publikovaným inými autormi v porovnateľných podmienkach. Významný je hlavne vysoký podiel (60 %) najkvalitnejších kmeňov, čo nasvedčuje aj o dobrej výchove porastov v minulosti.

Na základe výsledkov nášho výskumu možno konštatovať, že orech čierny má dobrý hrúbkový rast, priaznivú statickú stabilitu porastov pri adekvátnej výchove, ale najmä veľmi vysokú prirodzenú kvalitu kmeňov. Toto je jeho bezkonkurenčná vlastnosť v porovnaní s našimi hlavnými drevinami. Vzhľadom na uvedené možno konštatovať jeho opodstatnenie v hospodárskych lesoch v typologicky zodpovedajúcich stanovištných podmienkach pri veku jeho rubnej zrelosti 80 až 100 rokov.

## 5 Záver

Introdukované dreviny v podmienkach Slovenskej republiky, respektíve ich produkčný potenciál predstavuje na jednej strane možnosti maximalizácie objemovej produkcie pri kratšej rubnej dobe, ale, pri niektorých druhoch aj možnosti tvorby cenných sortimentov, ktoré sa svojimi fyzikálnymi vlastnosťami blížia až k tropickým drevám. Pestovanie nepôvodných drevín má svoj racionálny dôvod aj s ohľadom na prognózy budúcich klimatických režimov, pôsobenie biotických škodlivých činiteľov, či biologickú revitalizáciu prírodného prostredia poškodeného jednostranným pestovaním monokultúr.

## Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## Literatúra

BORING, L. R., SWANK, W. T., 1984: The role of black locust (*Robinia pseudoacacia*) in forest succession. *Journal of Ecology*, 72(3): 749–766.

JENSEN, J. S., DEANS, J. D., 2004: Late autumn frost resistance of twelve north European provenances of *Quercus* species. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19: 390–399.

HALAJ, J., GRÉK, J., PÁNEK, F., PETRÁŠ, R., ŘEHÁK, J., 1987: Rastové tabuľky hlavných drevín ČSSR. Bratislava, Príroda: 361 s.

HALAJ, J., PETRÁŠ, R., 1998: Rastové tabuľky hlavných drevín. Bratislava, Slovak Academic Press: 325 s.

KERESZTESI, B., 1983: Breeding and cultivation of black locust, *Robinia pseudoacacia*, in Hungary. *Forest Ecology and Management*, 6(3): 217–244.

ŠEBEŇ, V., 2004: Pestovanie agáta bieleho má svoje prínosy aj riziká. *Les*, 60(9-10): 18-20

TOKÁR, F., 1998: Fytotechnika a produkcia dendromasy porastov vybraných cudzokrajných drevín na Slovensku. Bratislava, Veda, *Acta dendrobiologica*: 157 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.

## Zhrnutie

**Assessment of production potential selected introduced broadleaved tree species.** The demand for wood raw material in Slovakia is constantly growing. On the one hand, maximum production of lower quality is required, especially for energy use, but also the creation of valuable assortments that produce higher economic profit. One of the ways to achieve these goals is the use of non-native woody plants, which in some cases exceed the production of domestic woody plants. The paper presents an evaluation of the production potential of the most widespread deciduous trees - white agate, red oak and black walnut on specific experimental plots. The cultivation of these non-native trees is not only a guarantee of sustainability and maximization of wood raw material production, but also one of the solutions to the wood composition of forests in the period of ongoing climate change.

## Kľúčové slová

introdukované listnaté dreviny; maximalizácia produkcie; cenné sortimenty

## Kontaktná adresa

Doc. Ing. Martin Slávik, CSc.  
Odbor pestovania a produkcie lesa  
Lesnícky výskumný ústav Zvolen  
Národné lesnícke centrum

T.G. Masaryka 2175/22  
960 01 Zvolen, Slovak Republic  
martin.slavik@nlcsk.org

## IDENTIFIKÁCIA A VYUŽITIE JEDINCOV JASEŇA S PREDISPOZÍCIOU ODOLNOSTI VOČI HROMADNÉMU CHRADNUTIU

Valeria Longauerová, Roman, Longauer, Andrej Kunca, Milan Zúbrik

### 1 Úvod

Výmera jaseňov v lesoch Slovenska od roku 1953 rástla, a to z 15 100 ha (1953), cez 20 700 ha (1993) až na 32 500 ha (2019), čo je približne 1,6 % zastúpenie v lesoch Slovenska. Podobné je to aj v ostatných európskych štátoch. Napriek tomu, že jasene radíme k cenným listnáčom nie je u nás drevinou kľúčového produkčného významu, jeho neoceniteľnou funkciou, vzhľadom k širokej ekovalenci, je funkcia melioračná, spevňujúca na rozmanitých stanovištiach od nížin až do hôr. (Fraxigen 2005).

Chradnutie jaseňov, ktoré vypuklo po r. 1992 v Poľsku a Litve sa spočiatku pripisovalo synergickému efektu viacerých hubových patogénov, medzi ktorými sa vždy uvádzala podpňovka. Od roku 2004 evidujeme hynutie jaseňov aj na Slovensku. Pôvodca ochorenia však bol popísaný až v roku 2006 ako *Chalara fraxinea*, v roku 2010 bolo určené pohlavné štádium huby ako *Hymenoscyphus albidus*, neskôr *H. pseudoalbidus* a v súčasnosti je platný názov *Hymenoscyphus fraxineus* – čiašočka jaseňová. Bolo potvrdené, že ide o druh, ktorý v Európe nie je pôvodný, pochádza z juhovýchodnej Ázie. Predpokladá sa, že k zavlečeniu huby došlo s introdukciou okrasných jaseňov v niekoľkých etapách do Litvy v 80. rokoch 20. storočia. Zvlášť náchylný je jaseň štíhly a jaseň úzkolistý, ostatné jasene sú viac odolné. Medzi populáciou jaseňa štíhleho a úzkolistého sú však jedince viac odolné, ako iné. Zdá sa preto, že záchrana jaseňa v Európe vedie cez pozitívnu selekciu odolných jedincov.

### 2 Základné informácie

V Slovenskej republike tvorí hostiteľskej spektrum invazívnej huby *H. fraxineus* niekoľko druhov jaseňov: pôvodný jaseň obyčajný (*F. excelsior.*) a jaseň úzkolistý (*F. angustifolia*), Okrajovo aj jaseň manový (*F. ornus*), introdukované jaseň americký (*F. americana*) a jaseň červený (*F. pennsylvanica*) Prítomnosť infekcie *H. fraxineus* bola preukázaná u všetkých troch druhov jaseňa pôvodných v Európe. Najviac sú postihnuté *F. excelsior* a *F. angustifolia* (Bakys et al. 2009, Matlakova 2009, Kowalski et al. 2010). U *F. ornus* boli zatiaľ symptómy pozorované len ojedinele (Kirisits et al. 2015).

*F. excelsior* je hostiteľskou rastlinou jednoznačne najintenzívnejšie poškodzovaný *H. fraxineus*. Tento fakt môže spôsobiť veľké problémy, a to nielen v lesníctve, kde je tento druh jaseňa často výrazne zastúpený, ale aj v mestskej a krajinnej zeleni (Pautasso et al. 2013). Ako veľký problém sa v poslednej dobe ukazuje predovšetkým úspešná obnova brehových porastov v krajine a jaseňových alejí pozdĺž ciest. Hoci *H. fraxineus* napáda všetky vekové triedy *F. excelsior*, najintenzívnejšie poškodzovanie a najvyššia úmrtnosť vplyvom infekcie je pozorovaná u mladých jedincov (Pliura et al. 2011).

Nádej pre zachovanie jaseňa štíhleho v Európe je existencia značných rozdielov v intenzite chradnutia medzi provenienciami reprezentujúcimi rôzne zdrojové populácie a hlavne medzi jedincami v rámci populácií. Prítomnosť geneticky podmienenej tolerancie (hyposensitivity) jedincov jaseňa bola preukázaná v pokusoch s klonmi (Stener 2007, 2013, McKinney et al. 2011, Freinschlag, 2013), provenienciami (Pliura et al. 2011, Metzler et al. 2012, Enderle et

al. 2013, Havrdová et al. 2016) aj potomstvom (McKinney et al. 2011, Pliura et al. 2011 a Lobo et al. 2015).

Zdarne prežívajúce dospelí alebo dospievajúci jedinci jaseňa sú perspektívnymi rodičmi odolnejších potomstiev. Tolerancia voči infekcii *H. fraxineus* je totiž pod silnou genetickou kontrolou ( $h^2 = 0,78-0,83$ , Lobo et al. 2015) a voči koreňovým hnilobám pod stredne silnou genetickou kontrolou ( $h^2 = 0,49$ , Muňoz et al. 2016).

Výskyt odolnejších jedincov je doložený vo väčšine čiastkových populácií jaseňa (Pliura et al. 2011, Metzler et al. 2012, Enderle et al. 2013, Havrdová et al. 2016). Zachovanie čo najväčšieho počtu jedincov z miestnych populácií má pozitívny vplyv na genofond v zmysle zmiernenia genetického posunu (driftu) spôsobeného radikálnou redukciou veľkostí populácie jaseňov.

Tolerantné jedinci by sa mali čo najskôr využiť na získavanie reprodukčného materiálu na mieste, kde rastú (samičie a hermafroditický stromy), alebo oveľa efektívnejšie v semenných sadoch, kde sa po vrúbľovaní klonov môžu vzájomne krížiť.

V práci sme sa zamerali na zhodnotenie zdravotného stavu semenných sadov jaseňa štíhleho a jaseňa úzkolistého a identifikácii nových výberových stromov jaseňa s podmienenou toleranciou voči chradnutiu. Z novo identifikovaných výberových stromov LESY SR š. p. priebežne odoberajú vrúbky, ktorých zdravotný stav monitorujeme.

### 3 Materiál a metodika

#### 3.1 Hodnotenie zdravotného stavu v SS jaseňa v rámci Lesov SR, š. p.

Hodnotenie zdravotného stavu sme vykonali v semennom sade Trstice (západné Slovensko) s počtom vrúbľovancov – 566 (spon výsadby 6x6 m). V sade sú vysadené spolu Jaseň štíhly (*F. excelsior*) aj Jaseň úzkolistý (*F. angustifolia*), spolu 49 klonov. Každý klon sa opakuje v počte 12 jedincov. Sad bol založený v roku 2009.

Semenný sad Zbojská (stredné Slovensko) s počtom vrúbľovancov 259 ks (spon výsadby 6x6 m), kde je vysadený Jaseň štíhly (*F. excelsior*), spolu 50 klonov. Každý klon sa opakuje v počte 5 – 6 jedincov.

Na hodnotenie zdravotného stavu v kontexte chradnutia bola použitá miera defoliácie (štandardná metodika podľa ICP Forest), v ktorej sa kládol dôraz aj na súbor znakov – miera usychania letorastov a konárov v korune a prítomnosti nekrotických na vetvách až po prípadnú infekciu koreňových nábehov.

Vo všetkých sadoch boli odobraté vzorky opadaných listových stopiek a letorasty s príznakmi napadnutia, z ktorých sa štandardnými laboratórnymi metódami kultivovali patogény.

#### 3.2 Identifikácia nových jedincov so zvýšenou toleranciou k ochoreniu v lesných porastoch na území Slovenska

Klasifikácia náchylnosti výberových (dospelých) stromov zohľadňuje defoliáciu, poškodenie koruny, šírenie nekrotických dovnútra koruny, prípadne aj priebeh rašenia a opad listov. Tolerantné stromy, ktoré sú schopné prežiť infekciu a úspešne sa reprodukovať sú: i) Bez oslabenia vitality, bez poranení a suchých vetiev v korune okrem prirodzeného odumierania zatielených vetiev. Nie sú na nich vidieť ani nové ani staršie nekrotické. ii) Bez zjavného oslabenia vitality, avšak s mierne narušenou architektúrou koruny, ktoré majú do 10 % koncových vetiev na periférii koruny. V zapojených porastoch sa suché vetvičky V. rádu koncentrujú v dolnej časti koruny. Nie sú na nich vidieť ani nové ani staršie podkôrne nekrotické. Nakoľko jedincov

splňajúcich uvedené požiadavky je málo, v lesných porastoch, voľnej krajine a sídelnej zeleni je vhodné zachovať aj mierne náchylné stromy, perspektívne zo strednodobého hľadiska: iii) S mierne narušenou architektúrou koruny s 25 % suchých koncových vetvičiek a 10 % tenkých vetiev. Vidno na nich náhradné výhony, ktoré tvoria do 5 % všetkých koncových vetvičiek. Na kôre koncových vetvičiek a tenkých vetvách vidno staršie nekrózy.

### 3.3 Hodnotenie zdravotného stavu odobraných vrúbľov

Hodnotenie zdravotného stavu odobratých vrúbľov sa vykoná vizuálnou prehliadkou, v prípade potreby sa vykoná laboratórny rozbor štandardnou metodikou.

## 4 4. Výsledky

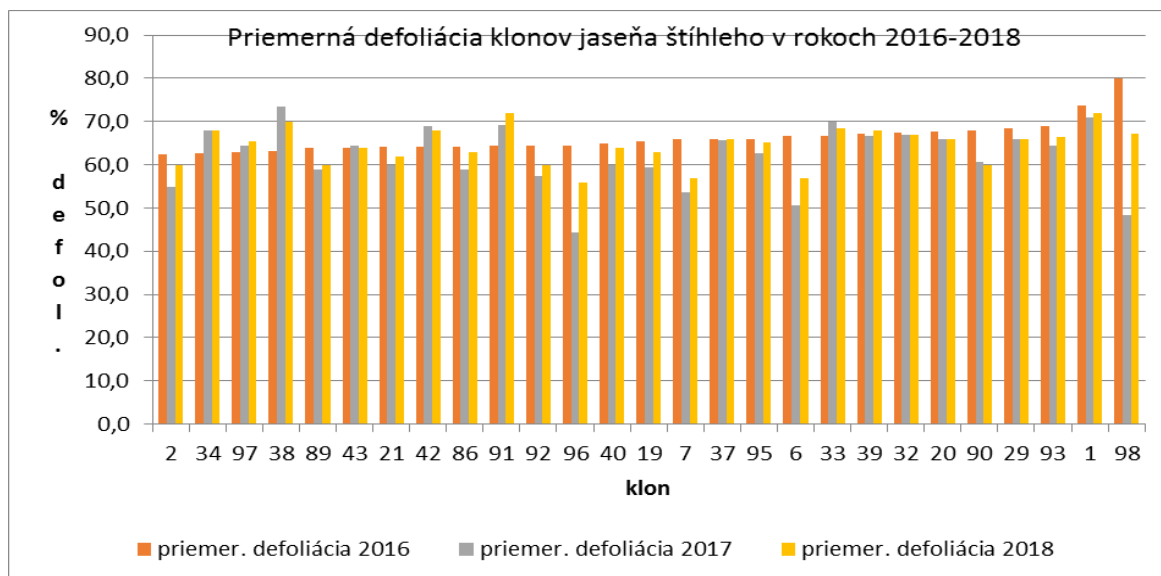
### 4.1 Hodnotenie zdravotného stavu sem. sadov jaseňa v rámci Lesov SR, š. p.

Semenný sad Trstice

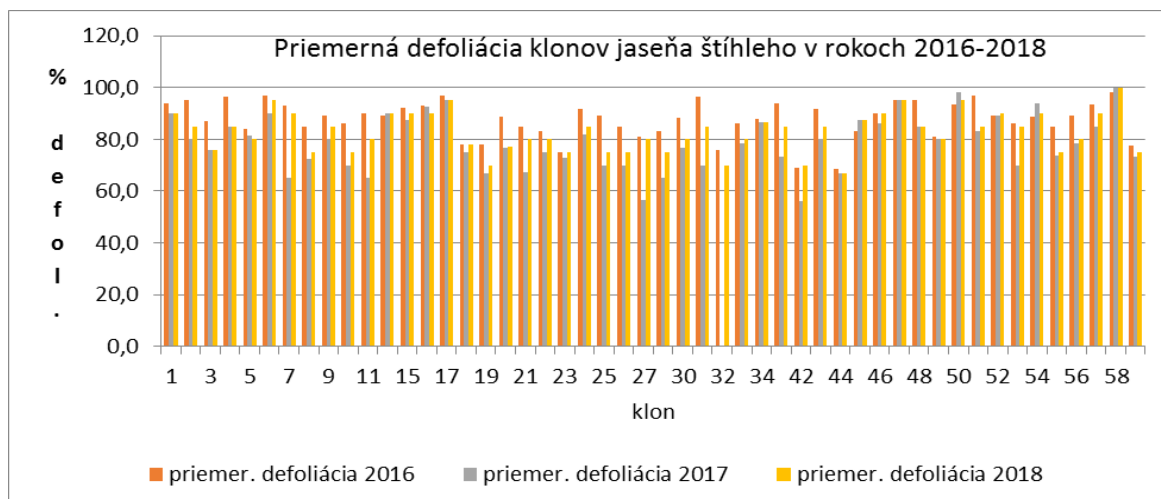
*Fraxinus excelsior* – priemerná defoliácia jednotlivých klonov sa pohybovala v rozmedzí 40 % – 75 % (obr. č. 1). V čase hodnotenia chýbalo v dôsledku odumretia (z rôznych príčin) 37 jedincov. U sledovaných jedincov sme pozorovali poškodenie hmyzom lykokazom jaseňovým a vlnovníkom jaseňovým, napadnutie územkov hubami sme nepozorovali. Maximálny rozdiel v hodnotení defoliácie medzi jednotlivými klonmi predstavoval 30 -35 %. Najlepší zdravotný stav v čase hodnotenia mal klon č. 96 (priemerná defoliácia 40 %) a najhorší klon č. 33 a 38 (priemerná defoliácia 73,6% - 75 %).

*Fraxinus angustifolia* – priemerná defoliácia sa pohybovala v rozmedzí 45 – 71 %. V čase hodnotenia chýbalo z rôznych príčin 21 jedincov. U sledovaných jedincov sme pozorovali poškodenie hmyzom. Napadnutie územkov hubami sa nepotvrdilo. Maximálny rozdiel v hodnotení defoliácie medzi jednotlivými klonmi predstavoval 25 %. Najlepší zdravotný stav v čase hodnotenia mal klon č. 6 (priemerná defoliácia 45 %) najhorší klon č. 1 (priemerná defoliácia 70 %). Pri porovnaní defoliácie jaseňa štíhleho a jaseňa úzkolistého v roku 2016 - 2018 nie je výrazný rozdiel medzi oboma druhmi, aj keď sa všeobecne v literatúre uvádza že jaseň úzkolistý znáša infekčný tlak *H. fraxineus* lepšie. Výraznejší rozdiel je v rozpätí defoliácie, ktorá je u jaseňa štíhleho 30 % – 35 % medzi klonmi a u jaseňa úzkolistého 24 % – 25 % medzi klonmi.

Pri porovnaní defoliácie jaseňa štíhleho a jaseňa úzkolistého v roku 2016 - 2018 nie je výrazný rozdiel medzi oboma druhmi, aj keď sa všeobecne v literatúre uvádza že jaseň úzkolistý znáša infekčný tlak *H. fraxineus* lepšie. Výraznejší rozdiel je v rozpätí defoliácie, ktorá je u jaseňa štíhleho 30 % – 35 % medzi klonmi a u jaseňa úzkolistého 24 % – 25 % medzi klonmi.



Obrázok 1. Priemerná defoliácia klonov jaseňa štíhleho v SS Trstice



Obrázok 2. Priemerná defoliácia klonov jaseňa štíhleho v semenom sade Zbojská v % v rokoch 2016 - 2018

#### 4.1.1 Semenný sad Zbojská

*Fraxinus excelsior* – priemerná defoliácia jednotlivých klonov sa pohybovala v rozmedzí 55-100 % (obr. č. 2). V čase hodnotenia chýbalo v dôsledku odumretia (z rôznych príčin) 30 jedincov. U sledovaných jedincov sme v štyroch prípadoch evidovali napadnutie voškami a pomerne často sa vyskytovalo napadnutie územkov podpňovkou. Pozitívne nálezy podpňovky sme evidovali u 28 klonov. Celkovo sa podpňovky vyskytli na 6 živých jedincoch a na 34 mŕtvych stojacich jedincoch. Maximálny rozdiel v hodnotení medzi jednotlivými klonmi predstavoval 45 %. Najlepší zdravotný stav v čase hodnotenia mal klon č. 27 a 42 (priemerná defoliácia 55 %) a najhorší klon č. 58 (priemerná defoliácia 100 %). Na sledovaných jedincoch bolo často evidované aj poškodenie mrazom čo sa tiež podpísalo na výraznej defoliácii.

Nakoľko semenný sad je v zlom zdravotnom stave a plodenie jednotlivých klonov je nízke v hodnotení sme sa zamerali na výber jedincov s defoliáciou do 30 %. Zo všetkých žijúcich

jedincov spĺňalo túto podmienku 14 jaseňov. Dvakrát sa opakovali jedince z klonu č 27 a 29. Perspektívne jedince sme označili zeleným sprejom aby boli rýchlo identifikovateľné. Tento semenný sad je navrhnutý na zrušenie, vybrané jedince by sme odporučili na ďalšie sledovanie.

#### **4.2 Identifikácia nových jedincov so zvýšenou toleranciou k ochoreniu v lesných porastoch na území Slovenska**

Od roku 2017 sme v spolupráci so Semenárskou kontrolou identifikovali a navrhli na uznanie 120 nových výberových stromov jaseňa štíhleho (ktoré boli aj uznané) a 25 nových výberových stromov jaseňa úzkolistého s predpokladanou dobrou vitalitou a odolnosťou voči chradnutiu. Defoliácia novo vybraných jedincov výberových stromov js je do 25 %. Kmeň a koreňové nábehy sú bez poškodenia hmyzom a hubami. V korunách sme nepozorovali infekčné lézie na hrubších vetvách ani konároch. Pri výbere sa dbalo aj na kvalitatívne požiadavky na výberové stromy – rovný priebežný kmeň, bez točivosti, vidličnatosti, krivosti atď. Výberové stromy js boli lokalizované na OZ Smolenice (LS Bratislava) a OZ Šaštín (LS Moravský Ján, LS Holíč), OZ Revúca (LS Jelšava) a na OZ Smolenice (LS Bratislava). Na LZ Sobrance (LS Porúbka ). Nové výberové stromy boli priebežne popísané a registrované Semenárskou kontrolou. Zoznam novoregistrovaných výberových stromov jaseňa so stručným popisom a lokalizáciou je v dostupný v databáze Semenárskej kontroly.

#### **4.3 Kontrola ujatosti a zdravotného stavu vrúbľov jaseňa štíhleho**

Priebežne vykonávame kontrolu ujatosti a zdravotného stavu vrúbľov odobratých a vrúbľovaných v rokoch 2018-2020. Vrúbľe boli odobraté zo 104 klonov. Vzhľadom na ujatosť a vývoj zdravotného stavu v roku 2020 evidujeme 661 vrúbľovancov jaseňa štíhleho. Počet kusov na jeden klon sa pohybuje od 2-10 ks.

### **5 Záver a odporúčania**

Výskyt jedincov s geneticky podmienenou odolnosťou je doložený vo väčšine čiastkových populácií jaseňa, tieto jedince je žiaduce zachovať, a to aj formou výstavka v skupinách, v ktorých je kvôli chradnutiu nutné začať s predčasnou obnovou. Zachovanie čo najväčšieho počtu jedincov z miestnych populácií má významný vplyv na genofond v zmysle zmiernenia genetického posunu (driftu) spôsobeného radikálnou redukciovou veľkostí populácie jaseňov.

Tolerantné jedince je potrebné čo najskôr využiť na získavanie reprodukčného materiálu na mieste, kde rastú (samičie a hermafroditické stromy), alebo oveľa efektívnejšie v semenných sadoch, kde sa klony môžu vzájomne krížiť.

Jedince s geneticky podmienenou toleranciou je vhodné hľadať v porastových skupinách silne stresovaných a poškodzovaných *H. fraxineus*, kde by priemerné poškodenie jaseňov malo dosahovať aspoň 40 – 50 %. (Černý 2016, Havrdová 2016)

Tolerantné jasene sa dajú spoľahlivo vizuálne identifikovať. Perspektívne jedince môžu mať poškodenie maximálne 5 – 10 % čo sa týka straty listov, absenciu náhradných výhonov a náznakov sekundárnej koruny. Všeobecne sa odporúča identifikáciu perspektívnych stromov zamerať na mladšie a stredoveké porasty s rýchlejšim priebehom chradnutia a odumierania náchylných jaseňov.

Perspektívne jedince sú spoľahlivo identifikovateľné už v odrastajúcich nárastoch, kultúrach a žrd'kovinách, nakoľko náchylné jedince odumierajú mimoriadne rýchlo. Je dôležité venovať im pozornosť podchytiť ich, označiť a zachovať. A to aj vo výsadbách jaseňov, kde sa uprednostňuje celoplošná predčasná obnova celých porastových skupín.



## Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## Literatúra

STENER, L. G. 2013: Clonal differences in susceptibility to the dieback of *Fraxinus excelsior* in southern Sweden. *Scand. J. For. Res.* 28, 205–216. BAKYS, R., VASAITIS, R., BARKLUND, P., IHRMARK, K., STENLID, J. 2009: Investigations concerning the role of *Chalara fraxinea* in declining *Fraxinus excelsior*. *Plant Pathol* 58: 284–292.

ČERNÝ, K., HAVRDOVÁ, L., ZLATNÍK, V., HRABĚTOVÁ, M. 2016: Pěstování jasanu v prostředí s výskytem *Hymenoscyphus fraxineus*. Certifikovaná metodika. 51 s. ISBN: 978-80-87674-18-5. [online]. Citováno 29. 3. 2017. FRAXIGEN 2005: Ashspecies in Europe: biological characteristics and practical guide lines for sustainable use. Oxford Forestry Institute, University of Oxford, UK. 128 pp.

ENDERLE, R.; PETERS, F.; NAKOU, A.; METZLER, B., 2013: Temporal development of ash dieback symptoms and spatial distribution of collar rots in a provenance trial of *Fraxinus excelsior*. *Eur. J. For. Res.* 132, 865–876.

FRAXIGEN 2005: Ashspecies in Europe: biological characteristics and practical guide lines for sustainable use. Oxford Forestry Institute, University of Oxford, UK. 128 pp.

FREINSCHLAG, C., 2013: Untersuchungen zum Eschentriebsterben in Eschen-Samenplantagen in Österreich (Investigations on ash dieback in ash seed plantations in Austria). University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna (BOKU), Austria, Master Thesis, 110 [+18] pp.

GROSS, A., HOLDENRIEDER, O., PAUTASSO, M., QUELOZ, V., SIEBER, T.N. *Hymenoscyphus pseudoalbidus*, the causal agent of European ash die back. *Molec Plant Pathology* 2014. 15(1): 5–21.

HAVRDOVÁ, L., NOVOTNÁ, K., ZAHRADNÍK, D., BURIANEK, V., PEŠKOVÁ, V., ŠRÚTKA, P., ČERNÝ, K. 2016: Differences in susceptibility to ash dieback in Czech provenances of *Fraxinus excelsior*. *For. Path.* 46 (2016) 281–288. doi: 10.1111/efp.12265

KOWALSKI, T.; BARTNIK, C. 2010: Morphological variation in colonies of *Chalara fraxinea* isolated from ash (*Fraxinus excelsior* L.) stems with symptoms of dieback and effects of temperature on colony growth and structure. *Acta Agrobot.* 63, 99–106.

KIRISITS, T., SCHWANDA, K., 2015: First definite report of natural infection of *Fraxinus ornus* by *Hymenoscyphus fraxineus*. *For. Pathol.* 45, 430–432.

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 patho-gen *Hymenoscyphus pseudoalbidus*. *EvolutionaryApplications* 2012. 5(3):219-228. (McKinney et al., 2011)

LOBO, A., MCKINNEY, L. V., HANSEN, J. K., KJÆR, E. D., NIELSEN, L. R. 2015: Genetic variation in dieback resistance in *Fraxinus excelsior* confirmed by progeny inoculation assay. *For. Pathol.* 45, 379–387.

- MATLAKOVA, M. 2009: Untersuchungen zum gegenwärtigen Zurücksterben der Eschen. Vienna, Austria: University of Natural Resources and Life Sciences (BOKU), Masters thesis.
- MCKINNEY L.V., NIELSEN L.R., HANSEN J.K., KJÆR E.D. Presence of natural genetic resistance in *Fraxinus excelsior* (Oleaceae) to *Chalara fraxinea* (Ascomycota): an emerging infectious disease. *Heredity* 2011. 106:788-797.
- METZLER, B., ENDERLE, R., KAROPKA, M., TÖPFNER, K., ALDINGER, E. 2012: Entwicklung des Eschentriebsterbens in einem Herkunftsversuch an verschiedenen Standorten in Süddeutschland. *Allg. Forst u. Jagdz.* 183, 168–180.
- MUÑOZ, F., MARÇAIS, B., DUFOUR, J. AND DOWKIW, A. 2016: Rising out of the ashes: additive genetic variation for susceptibility to *Hymenoscyphus fraxineus* in *Fraxinus excelsior* [online]. *Citováno* 22. 3. 2017.
- PLIURA, A., LYGIS, V., SUCHOCKAS, V., BARTKEVIČIUS, E. 2011 Performance of twenty four European *Fraxinus excelsior* populations in three Lithuanian progeny trials with a special emphasis on resistance to *Chalara fraxinea*. *Baltic Forestry* 2011: 17: 17-34.
- STENER, L. G. 2013: Clonal differences in susceptibility to the dieback of *Fraxinus excelsior* in southern Sweden. *Scand. J. For. Res.* 28, 205–216.

## Zhrnutie

**Identification and use of common ash individuals tolerant the mass ash dieback.** All three ash species native to Europe – common, narrow-leaved and manna ash – occur in Slovakia naturally. Common ash is by far the most important one from the ecological and commercial point of view. The combined share of the “ash” in the overall forest tree species composition is 1.6 % and its growing stock is 7.1 million cubic meters. The ash dieback was first reported in eastern Slovakia in 2004. By 2010, it was present in all mountain valleys of northern Slovakia and in the lowlands. It is omnipresent now, but its severity varies among regions of the country, possibly due to local climatic and site characteristics. Besides the dieback, the ash has been damaged by honey fungus and also by *Hylesinus fraxineus* at the local scale. Surveys carried out in 3 seed orchards revealed almost two-fold differences among their component clones in the late–summer defoliation attributable to *H. fraxineus*. Clones of narrow-leaved ash performed better than those of common ash in the seed orchards located in the Danube lowland. Genetic resources of common ash are conserved in-situ in 9 gene reserve forests which total area is 1,320 hectares. Basic materials of forest reproductive material of common ash include 290 approved seed stands, 207 parents of families and 2 seed orchards. There are also 6 seed stands and 1 seed orchard of narrow-leaved ash. Due to the high heritability but very low proportion of trees tolerating infection by *H. fraxineus* in current common ash populations clonal seed orchards composed of dieback-tolerant clones appear to be the most efficient tool for mitigation of ash dieback. Selection and testing of candidate hyposensitive clones for new ash seed orchards in Slovakia started in 2017

**Key words:** ash, dieback, genetic variation, seed orchards

## **Kontaktné adresy**

Ing. Valeria Longauerová, PhD.,  
Lesnícky výskumný ústav Zvolen  
Národné lesnícke centrum,  
T.G. Masaryka 2175/22,  
960 01 Zvolen, Slovak Republic,  
valeria.longauerova@nlcsk.org

Ing. Roman Longauer, CSc.,  
Lesnícky výskumný ústav Zvolen  
Národné lesnícke centrum,  
T.G. Masaryka 2175/22,  
960 01 Zvolen, Slovak Republic,  
roman.longauer@nlcsk.org

Ing. Andrej Kunca, PhD.,  
Lesnícky výskumný ústav Zvolen  
Národné lesnícke centrum,  
T.G. Masaryka 2175/22,  
960 01 Zvolen, Slovak Republic,  
andrej.kunca@nlcsk.org

Ing. Milan Zúbrik, PhD.,  
Lesnícky výskumný ústav Zvolen  
Národné lesnícke centrum,  
T.G. Masaryka 2175/22,  
960 01 Zvolen, Slovak Republic,  
milaan.zubrik@nlcsk.org

## VPLYV DEDIČNEJ PODMIENENOSTI JASEŇA NA ZMENU STANOVIŠTNÝCH PODMIENOK

Roman Longauer, Valeria Longauerová, Róbert Ondrejčík

### 1 Úvod

Prvé príznaky hynutia jaseňov boli zaznamenané okolo roku 1992 severnej časti prirodzeného areálu jaseňa štíhleho (*F. excelsior* L.) v Litve a v Poľsku. Po necelých 20 rokoch od prepuknutia ochorenia sa patogén rozšíril takmer po celej západnej a východnej Európe naprieč prirodzeným areálom jaseňa štíhleho. K úspešnému šíreniu kontinentom prispeli rôznou mierou obchod s LRM a transport dreva v kombinácii s prirodzeným rozptylom vzduchom unášaných spór na veľké vzdialenosti. Na Slovensku bol patogén prvýkrát potvrdený v roku 2004 a v súčasnosti je ochorenie rozšírené na lokalitách s výskytom jaseňov na celom území Slovenska

### 2 Vybrané faktory ovplyvňujúce šírenie a závažnosť ochorenia

Genetická variabilita lesných drevín je kľúčovým faktorom pri ich adaptácii na nových patogénov, keďže dlhovekosť a pomalá generačná obmena sú časovo náročným procesom. Navyše, patogén je schopný počas jednej generácie hostiteľa vytvoriť neporovnateľne viac generácií a rýchlou adaptáciou tak efektívne prekonať jeho obranné mechanizmy (McKinney et al. 2014). Na variabilitu v šírení patogénov pôsobia všeobecne tri kľúčové faktory: (i) rozmanitosť (genotypová, cenotická), (ii) konektivita (lokálna až globálna) a (iii) náchylnosť (podmienená charakterom prostredia, morfológiou a vnútrodruhovú variabilitou) hostiteľského druhu (Prospero & Cleary 2017). Podľa prehľadovej práce Enderleh et al. (2019) závisí intenzita a závažnosť infekcie v lesných porastoch na dobe nástupu patogéna, charaktere stanovišťa, individuálnych vlastnostiach jedinca a ďalších faktoroch (Tab. 1), avšak skoro vôbec na hospodárskych opatreniach.

**Tabuľka 1.** Skrátený prehľad významných faktorov, ktoré ovplyvňujú mieru výskytu infekcie *H. fraxineus* a následne mortalitu jaseňov podľa Enderleho et al. (2019).

Faktor	Častejší výskyt infekcie	
<b>Individuálne vlastnosti</b>	Hostiteľský druh	<i>F. excelsior</i> a <i>F. angustifolia</i> ; závisí na stanovišti
	Pohlavie	Stromy s prevahou samčích kvetov
	Žltutie listov a opad	Neskôr opadávajúce
	Jarná fenológia	Neskôr pučiace
	d <sub>1,3</sub>	Nižšie hrúbkové triedy
	Plošná projekcia koruny	Malé koruny
	Vek	Mladšie stromy
	Sadenice/výmladky	Výmladky
<b>Stanovištné podmienky</b>	Koreňová hniloba	Stromy infikované <i>Armillaria</i> spp.
	Nadmorská výška	Nižšie polohy
	Zápoj	Plný (lesy)
	Teplota	Nízka až stredná
<b>Hospodárske opatrenia</b>	Sucho (aridná klíma)	Menej suché
	Vlhko (humidná klíma)	Vlhkejšie
	Pravidelný rez letorastov	Nejasné výsledky
	Prebierky	Vplyv nevýznamný

Vývoj plodníc, šírenie spór a priebeh infekcie sú všeobecne menej intenzívne počas suchých a teplých letných dní. V celej Európe je pozorovaný častejší výskyt symptómov na vodou ovplyvnených stanovištiach s dominanciou jaseňa, a teda veľkým množstvom spór (Enderle et al. 2019; Stokes & Jones 2019). Solitéry vo voľnej krajine či mestská výsadba sú spravidla poškodzované v menšom rozsahu ako lesné a brehové porasty. Najväčšiemu riziku poškodenia sú vystavené porasty v teplejších oblastiach s vyššou hladinou podzemnej vody, vyššími zrážkovými úhrnmi a bohatým podložíom (Bakys et al. 2013). Napriek tomu, Prouza. A (2017) vo svojej práci nepreukázal štatisticky významnú odchýlku v miere poškodenia infekciou v závislosti na nadmorskej výške, LVS, ekologických radoch a edafických kategóriách (vlhkosť a trofnosť stanovišťa).

Veľkosť hostiteľa korelovaná s jeho vekom môžu mať často krát protichodný efekt na jeho náchylnosť k patogénom. V prípade chronického hynutia jaseňov možno sledovať analogickú odozvu. Vek a veľkosť jedinca totiž negatívne korelujú s výskytom závažných symptómov infekcie (Prospero & Cleary 2017) – priebeh ochorenia u dospelých jedincov je spravidla chronický a stromy takto prežívajú aj desiatky rokov. Sadenice a mladé výsadby sú patogénom poškodzované vo väčšom rozsahu, ochorenie má akútny priebeh a k mortalite dochádza už po niekoľkých rokoch od prepuknutia infekcie. Vzhľadom k letálnemu priebehu ochorenia hrozia u mladých jedincov v lesných škôlkach a pri obnove porastov či výsadiieb alejí rozsiahle škody (Havrdová & Černý 2017).

BAKYS et al. (2013) zistili, že v porastoch bez vykonanej prebierky boli priemerné poškodenia koruny významne väčšie, ale celkovo nedošli k jasnému záveru, že by hustota mala významný vplyv na rozvoj ochorenia, ale svetelná konkurencia môže mať vplyv na zvýšenú náchylnosť jedincov na rozvoj patogéna. Prouza (2017) taktiež nezistil štatisticky významnú odchýlku v poškodení porastov infekciou v závislosti na zakmenení, alebo zastúpení iných drevín. Kučera A et al. (2017) dokázali znížiť škody a zlepšiť zdravotný stav v porastoch infikovaných *H. fraxineus* aplikáciou síranu amónneho na pôdny povrch, ktorý má okrem optimalizácie výživy sírou a dusíkom aj mierne fungicídny účinok. Autori dokonca pozorovali mierne zlepšenie zdravotného stavu pri doporučenej leteckej či pozemnej aplikácii prípravku Vermaktiv S16, no samotná povaha opatrenia môže byť v lesníctve diskutabilná.

Naproti vyššie zmieneným významným faktorom, existuje celý rad štúdií (Mckinney et al. 2011; Pliura et al. 2011; Kirisits & Frinschlag 2012; Lobo et al. 2015; Havrdová et al. 2016; Enderle et al. 2019), vychádzajúcich z testov klonov, potomstiev a proveniencií, ktoré poukazujú na vysokú mieru dedičnej podmienenosti rezistencie voči poškodeniu infekciou *H. fraxineus*. Stokes & Jones (2019) uvádzajú, že asi 1–10 % jedincov populácie jaseňa v Európe odoláva infekcii vďaka zvýšenej až strednej tolerancii k hynutiu, ktorá je podmienená ich genetickou 39 výbavou. Ďalší autori (Pliura et al. 2011; Bakys et al. 2013; Mckinney et al. 2014; Enderle et al. 2019) odhadujú podiel tolerantných jedincov schopných reprodukcie v rozmedzí 1–7 % z východiskového počtu jedincov čiastkových populácií, resp. proveniencií. Podľa Prospero & Cleary (2017)

### 3 Úloha proveniencie a genotypovej premenlivosti

Proveniennými pokusmi a testami potomstiev je možné hodnotiť napríklad produkciu drevnej hmoty alebo vegetačnú fenológiu (doba rašenia) vo vzťahu k ekologickým podmienkam, hlavne k stanovišťa. Práce analyzované Bajcarom & Longauerom (2012) vyzdvihujú rozdiely proveniencií *F. excelsior* v hodnotách dedičnosti  $h^2$ , ktorá sa pohybuje medzi 0,26–0,68 pre tvar kmeňa a koruny, a v rozmedzí 0,60–0,72 pre náchylnosť k

poškodeniu mrazom. Pliura & Heuertz(2003) uvádzajú, že fenologické charakteristiky nasledujú geografický trend v rozmedzí veľkých oblastí, zatiaľ čo rast a tvárnosť, ovplyvnené pôdou a konkurenčným tlakom, sa menia na lokálnej či regionálnej úrovni. Aj Burianek et al. (2017) v pokuse s 35 provenienciami potvrdili, že stanovište má najvýznamnejší vplyv na výškový a hrúbkový rast. Navyše, autori zistili štatisticky významne rýchlejší rast proveniencií *F. excelsior* pochádzajúcich z lužných stanovišť. Štatistickú významnosť zaznamenali aj u *F. angustifolia*, ktorý sa v porovnaní s *F. excelsior* prejavil rýchlejšim rastom.

#### 4 Metodika hodnotenia pokusu

Na provenienčných pokusných plochách lokalizovaných v Pavlovciach nad Uhom a Černíku sme hodnotili vnútrodruhovú dedične podmienenú premenlivosť fenotypových znakov 57 voľnoopelených potomstiev jaseňa štíhleho (*Fraxinus excelsior* L.) a 54 voľnoopelených potomstiev jaseňa úzkolistého (*Fraxinus angustifolia* Vahl.), a 14 proveniencií jaseňa štíhleho (*Fraxinus excelsior* L.) pochádzajúcich z čiastkových populácií z rôznych častí Slovenska.

Hodnotenie vnútrodruhej variability sme zamerali na nasledovné fenotypové znaky:

(i) výškový rast a prírastok, (ii) vegetačná (jarná) fenológia (doba rašenia listov) a (iii) intenzita infekcie patogénom *Hymenoscyphus fraxineus* (T. Kowalski) Baral, Queloz & Hosoya. Zvláštny dôraz sme kládli na vzťah medzi vegetačnou fenológiou a intenzitou infekcie *H. fraxineus*, ktorý vychádza z hypotézy, že proveniencie s neskoro rašiacimi listami sú k infekcii náchylnejšie. Získané výsledky sa vyhodnotili štatisticky analýzou rozptylu a korelačnou analýzou. Korelačná analýza bola zameraná na posúdenie vzájomného vzťahu (a jeho významnosti) medzi zistenými biometrickými charakteristikami: priemernej výšky, intenzity infekcie, doby rašenia, tvaru jedincov a prežívania potomstiev resp. proveniencií.

#### 5 Zistené poznatky a diskusia

Pomocou analýzy rozptylu sme vyhodnotili rolu druhu jaseňa a kvality zdroja LRM (potomstvá zo semenného sadu – kategória EÚ/OECD „kvalifikovaný“; proveniencie, -uznané porasty alebo porasty – kategória EÚ/OECD „selektovaný“ a „identifikovaný zdroj“) vo vzťahu k priemernej výške, intenzite infekcie, a dobe rašenia (Tab. 2a a Tab. 2b).

Priemerné hodnoty fenotypových charakteristík a výsledky analýzy rozptylu preukazujú významný vplyv druhu jaseňa a u jaseňa štíhleho aj typu zdroja LRM (semenný sad u potomstiev a lesné porasty u proveniencií). V prežívaní, ktoré je kvalitatívnym znakom, boli párové rozdiely medzi súbormi potomstiev zo semenného sadu jaseňa štíhleho aj jaseňa úzkolistého a súborom proveniencií jaseňa štíhleho hodnotené chí-kvadrát testom. Medzi súbormi potomstiev zo semenného sadu štatisticky významný rozdielne bol, významne nižšie však je prežívanie súboru proveniencií jaseňa štíhleho z rôznych častí Slovenska.

**Tabuľka 2.** Priemerné hodnoty fenotypových charakteristík potomstiev jaseňa štíhleho a úzkolistého zo semenného sadu („kvalifikovaný“) a proveniencií jaseňa štíhleho z celého územia Slovenska z uznaných porastov a porastov („selektovaný“ a „identifikovaný“)

a) Pokusná plocha „Černík“ (Podunajská nížina)

Druh hodnoteného materiálu:		JŠ (potomstvá s. sadu)	JÚ (potomstvá s. sadu)	JŠ (proveniencie SR)
Priem. počet hodnotených jedincov:		1 182	1 179	312
Priemerná výška	cm	238,8	247,5	205,2
Intenzita infekcie <i>HF</i>	min. 1 - max. 5	2,54	2,40	2,59
Koeficient	max. 1 - - min. 5	2,41	2,44	2,41
Rašenie 1. termín	min. 0 - max 4	1,87	1,83	1,59
Rašenie 2. termín	min. 0 - max 4	3,42	3,54	3,31
Rašenie priem. hodnota	min. 0 - max 4	2,63	2,68	2,44
Prežívanie	%	74,7	74,6	67,4

b) Pokusná plocha „Pavlovce nad Uhom“ (Východoslovenská nížina)

Druh hodnoteného materiálu:		JŠ (potomstvá s. sadu)	JÚ (potomstvá s. sadu)	JŠ (proveniencie SR)
Priem. počet hodnotených jedincov:		1 157	1 281	315
Priemerná výška	cm	292,5	312,1	212,0
Intenzita infekcie <i>HF</i>	min. 1 - max. 5	2,04	1,97	2,36
Koeficient	max. 1 - min. 5	2,41	2,44	2,72
Rašenie 1. termín	min. 0 - max 4	1,93	1,85	1,60
Rašenie 2. termín	min. 0 - max 4	3,17	3,45	3,05
Rašenie priem. hodnota	min. 0 - max 4	2,55	2,65	2,32
Prežívanie	%	79,5	71,6	59,7

**Tabuľka 3.** Výsledky hodnotenia štatistickej významnosti vplyvu druhu biologického materiálu (JŠ potomstvá, JÚ potomstvá, JŠ proveniencie), príslušnosti k potomstvá ma provenienciám, a vplyvu stanovištnej heterogenity (bloku) u jednotlivých fenotypových charakteristík analýzou rozptylu ANOVA (\*\* -  $P > 99\%$ , \* -  $P > 95\%$ , ns – nevýznamný vplyv).

a) Pokusná plocha „Černík“ (Podunajská nížina)

	N	Priemerná výška	Intenzita infekcie HF	Tvar jedincov	Rašenie 1	Rašenie 2	Rašenie priemer
Vplyv druhu test. materiálu	3	**	**	ns	**	**	**
Potomstvá, proveniencie	125	**	**	**	**	**	**
Blok (pot.-prov.)	236	**	**	**	**	**	**

b) Pokusná plocha „Pavlovce nad Uhom“ (Východoslovenská nížina)

	N	Priemerná výška	Intenzita infekcie HF	Tvar jedincov	Rašenie 1	Rašenie 2	Rašenie priemer
Vplyv druhu test. materiálu	3	**	**	*	**	**	**
Potomstvá, proveniencie	122	**	**	**	**	**	**
Blok (pot.-prov.)	221	**	**	**	**	**	**

Výsledky analýzy rozptylu (Tab. 3a a Tab. 3b) potvrdili, že všetky fenotypové charakteristiky štatisticky vysoko významne ( $P > 99\%$ ) ovplyvňuje aj príslušnosť jedincov jaseňa k potomstvu alebo proveniencii.

V ďalšom kroku preto boli podrobnejšie zanalyzované významnosti genetických faktorov pričom prvé výsledky sú z pokusnej plochy Černík.

Ovplyvnenie fenotypových znakov genetickými faktormi (príslušnosťou k potomstvu a proveniencii reprodukčného materiálu) sa jednoznačne potvrdil v priemernej výške, intenzite infekcie *H. fraxineus*, a aj u doby rašenia. Vplyv proveniencie na tvar jedincov a včasnosť–pozdnosť rašenia bol na hranici štatistickej významnosti  $P = 95\%$ . Nevýznamné boli len rozdiely v 2. polovici doby rašenia. V prvej polovici doby rašenia však boli rozdiely medzi provenienciami štatisticky vysoko významné ( $P > 99\%$ ).

Štatistická významnosť vplyvu bloku na fenotypové charakteristiky potomstiev a proveniencií naznačuje ich adaptáciu k rôznym stanovištným podmienkam v rámci pokusnej plochy. Prejavilo sa to u výšky, intenzity infekcie, aj u rašenia v prvej polovici jeho priebehu.

V súbore hodnotených proveniencií sa prejavili viac ako 100% rozdiely priemerných výšok preživaní a koeficientoch rašenia, a tiež 30% rozdiely v intenzite infekcie *H. fraxineus*. Tento výsledok je porovnateľný s publikovanými prácami. Napr. v litovskom pokuse Pliura et al. (2011) zistili medzi provenienciami jaseňa z rôznych častí areálu 2–4násobné rozdiely v miere preživanja a 50% rozdiely v zdravotnom stave. Na druhej strane, Kjaeret al. (2012) na rozlohou malom a stanovištne pomerne rovnorodom území Dánska nenašiel významné rozdiely medzi miestnymi provenienciami. V Českej republike Havrdová et al. (2016) zistila medzi provenienciami jaseňa štíhleho rozdiely v relatívnej odolnosti 12–53%. Pliura et al.



(2011) v dvoch pokusoch s litovskými provenienciami uvádza rozdiely v zdravotnom stave 13–59 % a 25–56 %.

Vo fenotypových koreláciách boli v súbore potomstiev jaseňa štíhleho a jaseňa úzkolistého na pokusnej ploche „Černík“ zistené štatisticky významné korelácie, ktoré naznačujú vyššiu mieru infekcie u jaseňov, ktoré začínajú rašiť skôr a naopak nižšiu mieru infekcie u jaseňov, ktoré dosiahnu skôr štádium rozvinutých listov. Toto zistenie do istej miery korešponduje so zisteniami Nielsena et al. (2017) o vzťahu jarných fenofáz s intenzitou infekcie *H. fraxineus*, ktorí zmieňujú intenzívnejšiu infekciu u neskôr rašiacich jedincov. Tento jav vysvetľujú tým, že obdobie vyzrievania listov a letorastov jaseňa sa prekrýva s obdobím sporulácie *H. fraxineus*.

## 6 Záver

Štatistické hodnotenie jednotlivých súborov jedincov i) voľnoopelené potomstvá semenného sadu jaseňa štíhleho, ii) jaseňa úzkolistého, iii) čiastkových proveniencií z územia Slovenska, potvrdilo lepší rast, prežívanie a nižšiu mieru infekcie potomstiev semenného sadu v porovnaní s provenienciami, ktoré sú potomstvom lesných porastov.

Analýza rozptylu výšok, intenzity infekcie, a doby rašenia jednoznačne potvrdila, že tieto znaky sú významne ovplyvnené príslušnosťou jedincov ku konkrétnemu potomstvu alebo proveniencii

Analýza vzájomných vzťahov (korelácií) priemernej výšky, intenzity infekcie, doby rašenia a ukázala, že jasene, ktoré sa vyznačujú nižšou mierou napadnutia *H. fraxineus* dosahujú vyššiu priemernú výšku.

V hodnotených pokusoch, ktoré sa nachádzajú v Podunajskej a Východoslovenskej nížine, sa lepším rastom a nižšou intenzitou infekcie vyznačuje jaseň úzkolistý. Zaujímavé je, že u tejto dreveny lepšie prežívajú skôr rašiace potomstvá.

Najvhodnejším spôsobom zmiernenia dopadov chradnutia jaseňov je, preto podchytenie zdravých jedincov jaseňa ako zdrojov reprodukčného materiálu. Z ktorých môžu byť odobrané vrúbky na založenie klonových semenných sadov. Alebo zozbierané semená možno použiť na založenie generatívnych semenných sadov a semenných porastov.

## Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## Literatúra

BAKYS, R., VASAITIS, R., SKOVSGAARD, J. P. 2013: 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: 120-126.

BURIÁNEK V., NOVOTNÝ P., DOSTÁL J. 2017: Results of Czech ash provenance experiment. *Journal of Forest Science* 63: 263-274.

ČERNÝ, K., HAVRDOVÁ, L., ZLATNÍK, V., HRABĚTOVÁ, M. 2016: Pěstování jasanu v prostředí s výskytem *Hymenoscyphus fraxineus*. *Certifikovaná metodika*. 51 s. [online].

ENDERLE, R.; PETERS, F.; NAKOU, A.; METZLER, B., 2013: Temporal development of ash dieback symptoms and spatial distribution of collar rots in a provenance trial of *Fraxinus excelsior*. *Eur. J. For. Res.* 132: 865–876.

FREINSCHLAG, C., 2013: Untersuchungen zum Eschentriebsterben in Eschen-Samenplantagen in Österreich (Investigations on ash dieback in ash seed plantations in Austria). University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna (BOKU), Austria, Master Thesis, 110 s.

GROSS, A., HOLDENRIEDER, O., PAUTASSO, M., QUELOZ, V., SIEBER, T.N., 2014: *Hymenoscyphus pseudoalbidus*, the causal agent of European ash die back. *Molec Plant Pathology* 15(1): 5–21.

HAVRDOVÁ, L., NOVOTNÁ, K., ZAHRADNÍK, D., BURIANEK, V., PEŠKOVÁ, V., ŠRÚTKA, P., ČERNÝ, K. 2016: Differences in susceptibility to ash dieback in Czech provenances of *Fraxinus excelsior*. *For. Path.* 46: 281–288.

KIRISITS, T., FREINSCHLAG, C. 2012. Ash dieback caused by *Hymenoscyphus pseudoalbidus* in a seed plantation of *Fraxinus excelsior* in Austria. *Journal of Agricultural Extension and Rural Development* 4: 184–191.

KJÆR, E.D., MCKINNEY L.V., NIELSEN, L.R., HANSEN, L.N., HANSEN, J.K., 2012: Adaptive potential of ash (*Fraxinus excelsior*) populations against the novel emerging pathogen *Hymenoscyphus pseudoalbidus*. *Evolutionary Applications* 5(3): 219–228.

KUČERA A., VAVŘÍČEK D., SMRČEK S., ROZSYPÁLEK J., DUNDEK P., PECHÁČEK J., PETRUŽÁLKOVÁ L. 2017: 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*. 1. vydání, Mendelova univerzita v Brně, 42 s.

LOBO, A., MCKINNEY, L. V., HANSEN, J. K., KJÆR, E. D., NIELSEN, L. R. 2015: Genetic variation in dieback resistance in *Fraxinus excelsior* confirmed by progeny inoculation assay. *For. Pathol.* 45: 379–387.

MCKINNEY L.V., NIELSEN L.R., HANSEN J.K., KJÆR E.D., 2011: Presence of natural genetic resistance in *Fraxinus excelsior* (Oleaceae) to *Chalara fraxinea* (Ascomycota): an emerging infectious disease. *Heredity* 106:788–797.

PAPIĆ S., BURIÁNEK V., LONGAUER R., KUDLÁČEK T., ROZSYPÁLEK J. 2018: Phenotypic variability of *Fraxinus excelsior* L. and *Fraxinus angustifolia* Vahl under the ash dieback disease in the Czech Republic. *J. For. Sci.*, 64: 279–288.

PLIURA, A., LYGIS, V., SUCHOCKAS, V., BARTKEVIČIUS, E., 2011 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: 17–34.

PROSPERO, S., CLEARY, M., 2017: Effects of host variability on the spread of invasive forest diseases. *Forests* 8(3), 80.

PROUZA, M. 2017. Monitoring rozšíření nekrózy jasanů (*Hymenoscyphus fraxineus*) v lesních porostech Moravy a východních Čech. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta. 114 s.

STENER, L. G. 2013: Clonal differences in susceptibility to the dieback of *Fraxinus excelsior* in southern Sweden. *Scand. J. For. Res.* 28: 205–216.

## Zhrnutie

**Analysis the hereditary conditionality of the reaction degree to change of site conditions in ash in sense ash dieback.** Based on data collected on two Slovak experimental plots (Černík 129 MSL, Pavlovce nad Uhom 108 MSL), the extent of intraspecific hereditary variability of progeny of lean ash, progeny of narrow-leaved ash and provenances, representing partial populations, was evaluated. Phenotypic differences in growth, vegetation phenology (time of sprouting), and intensity of *H. fraxineus* infection, and the degree of correlation between these traits were evaluated. The results clearly showed that the heights, time of sprouting are influenced by genetic factors, ie the individual's affiliation to offspring or provenance. Correlations confirmed that clearer, which reach a higher height, are characterized by a lower rate of *H. fraxineus* infestation.

## Kľúčové slová

*Fraxinus excelsior*, *Fraxinus angustifolia*, *Hymenoscyphus fraxineus*, phenotypic traits, progenies, provenances

## Kontaktné adresy

Ing. Valeria Longauerová, PhD.,  
Lesnícky výskumný ústav Zvolen  
Národné lesnícke centrum,  
T.G. Masaryka 2175/22,  
960 01 Zvolen, Slovensko,  
roman.longauer@nlcsk.org

Ing. Robert Ondrejčík ,  
Lesnícká a dřevařská fakulta,  
Mendelova univerzita,  
Zemědělská 1665/3,  
613 00 Brno, Česká republika

## OVERENIE VHODNOSTI SEMENNÉHO SADU POLÍČKO

Vladimír Mačejovský, Roman Longauer

### 1 Semenné sady

Jedným z hlavných krokov úspešnej umelej obnovy lesa je zabezpečiť dostatočné množstvo kvalitného osiva, ktorého významným zdrojom je aj semenný sad. Podľa zákona 138/2010 Z. z. o lesnom reprodukčnom materiáli je semenný sad definovaný ako uznaná účelová výsadba klonov alebo potomstiev výberových stromov, ktorý je založený a obhospodarovaný tak, aby sa vylúčilo alebo obmedzilo oplodnenie cudzím peľom. Zobel *et al.* (1958) definoval semenný sad ako plochu geneticky nadradených jedincov obhospodarovanú tak, aby sa vylúčilo, či zamedzilo, oplodnenie peľom geneticky slabších jedincov za účelom zabezpečenia pravidelnej, bohatej a ľahko dostupnej úrody vysokokvalitného osiva. Pričom v práci Lstibůrek & El-Kassaby (2010) vysvetlili semenný sad ako prepojenie medzi šľachtením a praktizujúcim lesníctvom, ktoré zabezpečuje zdroj geneticky kvalitnejšieho osiva. Aj keď je semenný sad definovaný viacerými spôsobmi, stále sa jedná o výsadbu, ktorej účelom je za krátku dobu vytvoriť ľahko dostupné, geneticky vysokokvalitné osivo známej alebo predpokladanej hodnoty. Zároveň nám semenné sady slúžia aj ako spôsob zachovania biodiverzity a genofondu lesných drevín.

Rozvoj moderného spôsobu produkcie osiva v semenných sadoch začal borovicou lesnou vo Švédsku, kde v roku 1936 zároveň zistili, že osiky s nadpriemerne veľkými listami sú triploidné, čím sa prakticky dokázalo, že rast a vývoj drevín je geneticky podmienený. Toto zistenie bolo jedným z dôvodov založenia Inštitútu pre šľachtenie drevín v Ekebö toho istého roku. V Európe sa v období pred druhou svetovou vojnou vykonávali šľachtiteľské pokusy zväčša neorganizovane, ktoré nakoniec boli prerušené svetovou vojnou, a ktoré boli obnovené až po nej. Švédsko, ktoré nebolo priamym účastníkom vojny, mohlo v pokusoch pokračovať naďalej bez prerušenia. V roku 1946 Bertil Lindquist na medzinárodnom fóre prezentoval zámery zakladania semenných sadov a spôsoby získania dostatočného množstva dostupného geneticky kvalitného osiva v prvej učebnici genetiky. Táto bola preložená do mnohých jazykov, a stále slúži ako podklad a príklad pre mnohé šľachtiteľské programy (Zobel & Talbert, 1984). Dnes sa semenné sady zakladajú jedincami získanými vegetatívnym (klonové semenné sady) alebo generatívnym (jadrové semenné sady) spôsobom z výberových stromov pochádzajúcich z jednej semenárskej oblasti, jedného vegetačného stupňa a s cieľovým genofondom.

Podľa zákona, podmienkou založenia a fungovania semenného sadu je, aby v ňom bolo zastúpených minimálne 50 klonov kvalitatívne a kvantitatívne nadpriemerných stromov (výberových stromov), čím sa zminimalizuje nežiadúce znižovanie variability potomstiev vyprodukovaného reprodukčného materiálu z daného semenného sadu. Zároveň rozdiel počtu vrúbľovancov najviac a najmenej zastúpených výberových stromov nesmie byť väčší ako trojnásobný. Pre správne fungovanie sadu je toto zastúpenie potrebné kontrolovať, aby sa v prípade zániku zastúpenia určitého výberového stromu dal doplniť pôvodným alebo nahradiť iným výberovým stromom so žiadanými kvalitatívnymi a kvantitatívnymi vlastnosťami.

Jedným z podstatných cieľov semenného sadu je aj snaha o zvyšovanie genetického zisku, čím sa zvyšuje aj jeho ekonomická hodnota. Túto hodnotu zvyšujeme šľachtiteľským cyklom, kedy sa prechádza z 1. generácie semenného sadu na 2. generáciu (El-kassaby & Lstibůrek, 2009) a to v lesných porastoch založených z osiva zo semenných sadov. Už pri semenných

sadoch 1. generácie sa reprodukčný materiál vyznačuje priemerne o 10% vyššou kvalitou oproti reprodukčnému materiálu z prirodzeného porastu. Zatiaľ čo semenný sad 2. generácie, ktorý je založený z testovaných rodičovských stromov z 1. generácie, vyselektovaných na základe testovaných potomstiev, dosahujú priemerne o 25% kvalitnejší reprodukčný materiál oproti prirodzeným porastom (Li *et al.*, 2008). Avšak na to, aby sme mohli prejsť do 2. generácie semenného sadu, potrebujeme otestovať potomstvo 1. generácie, na základe ktorého sa vyhodnotí aktuálna genetická hodnota daného sadu. Po vyhodnotení potomstva sa môže pristúpiť ku genetickej prebierke, kde sa zo semenného sadu 1. generácie odstránia geneticky nevhodné klony a tým sa prejde zo semenného sadu 1. generácie na 1,5. generáciu. Až po znalosti oboch rodičov, ktoré sme si overili testom potomstva, sa môže pristúpiť k ďalšiemu šľachtiteľskému cyklu, ktorým sa prejde k založeniu semenného sadu 2. generácie.

Na to aby sa zistilo, či sa môže u našich semenných sadov prejsť z 1. generácie na ďalšiu, potrebujeme vedieť úplnú genetickú identitu sadu, ktorá sa doteraz zisťovala u piatich semenných sadov rôznych druhov drevín. Ako je vidno v Tabuľke č. 1., evidencie genetických identít semenných sadov neboli úplne správne a vyskytovali sa tam aj jedinci s cudzím genotypom.

**Tabuľka 1.** Prehľad kontroly evidencie semenných sadov genetickými analýzami.

Drevina	Miesto	Počet klonov	Počet vrúbľovancov	% nesprávne evidovaných	% cudzích genotypov
smrekovec opadavý	Dolné Mlynárovo	26	620	27	14
smrek obyčajný	Marinka	23	223	48	33
borovica lesná	Kolkáreň	48	617	43	32
jaseň štíhly a úzkolistý	Trstice	48	326	32	8
borovica čierna	Čereš	57	492	70,1	28,6

V tejto práci sme sa zamerali na identifikáciu a kontrolu evidencie semenného sadu Políčko, ktoré je dôležitým zdrojom geneticky kvalitného a vhodného lesného reprodukčného materiálu pre oblasť Záhorie. Na Záhorí v posledných rokoch dochádza k výraznému chradnutiu borovicových porastov. Každoročne tam dochádza k chradnutiu borín, ktoré sú oslabené hlavne suchom v dôsledku poklesu hladiny spodnej vody. Oslabené porasty sú v týchto oblastiach často napádané imelom bielym, ktoré v niektorých porastoch napadne 40 až 60% korún stromov. Na základne takého zdravotného stavu borovicových lesov na Záhorí sa vykonávajú kalamitné ťažby borovicových porastov a následne je potrebné tieto plochy opätovne zalesniť geneticky vysokokvalitným lesným reprodukčným materiálom, ktorý bude vhodný pre typické piesčité pôdy, chudobné na živiny. Preto bolo potrebné overiť počet a zastúpenie genotypov v danom sade. Taktiež bolo potrebné skontrolovať ich evidenciu na overenie vhodnosti a funkčnosti semenného sadu Políčko, ako zdroj geneticky kvalitného semena borovice, vhodného na zalesňovanie na Záhorí.

## 2 Metodika

Ako zdroj DNA sme použili ihlice všetkých jedincov semenného sadu Políčko zozbierané v roku 2020. Ihlice každého jedinca boli osobitne zabalené, zaevidované a následne vysušené. Na izoláciu DNA bolo použitých 10 mg suchého materiálu (rozdrveného ihličia) a následne sa DNA izolovala pomocou modifikovanej metódy Doyle & Doyle (1987)

Vyizolovaná DNA sa amplifikovala pomocou polymerázovej reťazovej reakcie (PCR), pričom na identifikáciu jedincov v semennom sade bolo použitých päť nukleárných mikrosatelitných markérov (Tabuľka č. 2.).

**Tabuľka 2.** Prehľad použitých mikrosatelitov pri identifikácii genotypov v semennom sade.

Lokus	Sekvencia	Publikované v:
psyl36F	TATCATCGAGAGCCCCAAA	(Sebastiani <i>et al.</i> , 2012)
psyl36R	GAAAGGCGAAAGCAAAAGTG	
psyl57F	CCCCACATCTCTACAGTCCAA	(Sebastiani <i>et al.</i> , 2012)
psyl57R	TGCTCTTGGATTTGTTGCTG	
SPAC12.5F	CTTCTTCACTAGTTTCCTTTGG	(Soranzo <i>et al.</i> , 1998)
SPAC12.5R	TTGGTTATAGGCATAGATTGC	
ctg4698F	CGAAAAGGTGGTTCTGATGG	(Chagné <i>et al.</i> , 2004)
ctg4698R	TTTTCCGCTGGATTTACCAC	
PtTX3107F	AAACAAGCCCACATCGTCAATC	(Auckland <i>et al.</i> , 2002)
PtTX3107R	TCCCCTGGATCTGAGGA	

Na amplifikáciu cielených fragmentov DNA pomocou PCR bol použitý teplotný režim, ktorý začal denaturačným krokom pri teplote 95°C počas 4 minút a skončil extenziou pri teplote 72°C počas 5 minút. Po iniciálnej denaturácii nasledovalo 35 cyklov pozostávajúci z 45 sekúnd pri 95°C, 45 sekúnd pri 56°C a 45 sekúnd pri 72°C.

Amplifikované fragmenty boli vyhodnotené pomocou fragmentačnej analýzy, ktorá sa uskutočnila na genetickom analyzátore ABI PRISM 3130 s použitím programu GeneMapper 4.0. (Applied Biosystems), porovnaním s interným veľkostným štandardom (GeneScan™ 500 LIZ®). Týmto spôsobom sa získali multilokusové genotypy všetkých vrúbľovancov, ktoré sa medzi sebou porovnali a porovnali sa aj s evidenciou v rámci jednotlivých klonov, čím sa identifikovali správne a nesprávne evidované vrúbľovance.

Verifikácia vrúbľovancov sa v prvom kole vykonala porovnaním multilokusových genotypov vrúbľovancov a vrúbľovancov evidovaných v rámci klonov v pláne semenného sadu. Za predpokladu, že väčšina vrúbľovancov v rámci klonu je evidovaná správne a má rovnaký genotyp, sa vrúbľovance s odlišným genotypom identifikovali ako chybné.

V ďalšom kroku sa pokúsilo spätne priradiť chybné evidovaných vrúbľovancov k ich pôvodným klonom. Pričom zvyšné, nepriraditeľné vrúbľovance, boli vyhodnotené ako cudzí materiál.

### 3 Výsledky

Na základe výsledkov sme zistili, že v danom semennom sade je zastúpených 24 geneticky jedinečných výberových stromov. Keďže tento počet je nižší ako minimálny požadovaný počet 50 výberových stromov, bolo vybraných ďalších 30 výberových stromov, ktoré boli tiež geneticky identifikované pomocou mikrosatelitných genetických markérov. Analýzy týchto výberových stromov potvrdili ich genetickú jedinečnosť a teda aj možnosť ich použiť na doplnenie zastúpenia výberových stromov skúmaného semenného sadu Políčko, alebo na použitie do nového semenného sadu ako sekundárne vrúbľovance.

Z výsledkov genetických analýz sa tiež zistilo, že v danom semennom sade Políčko, ktorý sa skladá zo 420 jedincov, bolo chybné evidovaných 73 jedincov (18,4%), z čoho sa 45 kusov (10,7%) verifikovaných vrúbľovancov podarilo zaradiť späť k pôvodnému klonu a 25

jedincov (6%) sa vyhodnotilo ako jedince s cudzím genotypom. Ostatok tvorí 7 jedincov (1,7% z celkového počtu), ktoré tvoria dve štvorice, tri trojice a dve dvojice s rovnakými genotypmi, avšak sú odlišné od prevládajúcich genotypov v rámci jednotlivých klonov.

#### 4 Záver a odporúčania

Pre udržateľnosť a funkčnosť lesa, je potrebné zabezpečiť geneticky vhodný a odolnejší reprodukčný materiál, ktorý je zároveň vhodný pre dané okolité podmienky porastu. Vyhláška 501/2010 Z. z. v znení neskorších predpisov v § 8 uvádza, že genetickými zdrojmi lesných drevín sú uznané lesné porasty, uznané semenné zdroje, výberové stromy v mieste prirodzeného výskytu a semenné sady, klonové archívy a archívy potomstiev mimo miesta prirodzeného výskytu. V tejto práci sme overili genetickými analýzami vhodnosť jedného z týchto zdrojov a to semenného sadu Políčko. Účelom tohto sadu je produkcia semennej suroviny pre umelú obnovu borovice lesnej na Záhorí, kde dochádza k hromadnému chradnutiu borovicových porastov, čo je podľa Leontovych *et al.* (2019) dôsledkom klimatických faktorov, ktoré priamo ovplyvňujú premnoženie podkôrneho hmyzu, druhov poškodzujúcich asimilačné orgány, ako aj hubových patogénov.

Z genetických analýz sa zistilo, že daný overovaný sad nespĺňa zákonom danú podmienku zastúpenia minimálne 50 výberových stromov v semennom sade, čím sa stáva nevhodným zdrojom semennej suroviny pre umelú obnovu borovice lesnej na Záhorí. Preto, aby sa zabezpečil zdroj geneticky kvalitnej semennej suroviny, bude potrebné založiť nový semenný sad určený na produkciu lesného reprodukčného materiálu na umelú obnovu borovice lesnej na Záhorí.

Semenné sady môžeme založiť generatívne (jadrové sady), alebo ako výsadbu selektovaných klonov (vegetatívne kópie výberových stromov). Keďže generatívny spôsob založenia sa odporúča skôr pri skoro plodiacej drevinách ako sú pionierske dreviny, tak pre semenný sad borovice sa odporúča vegetatívny spôsob založenia sadu, za účelom dosiahnutia skorého plodenia (Kaňák *et al.*, 2008).

Pri zakladaní nového semenného sadu je potrebné si určiť počet selektovaných genotypov výberových stromov (ortet) zastúpených v sade a počet kópií (ramet) každého ortetu. Ďalej je potrebné si určiť ich optimálne priestorové rozloženie, z dôvodu minimalizácie rizika genetického samooplodnenia, čo znamená že by sa oplodnili kópie toho istého genotypu. Tu by sa mohlo použiť už 24 prítomných genotypov plus 30 nových už geneticky otestovaných, čím by sme mali v novo vytvorenom sade prítomných 54 genotypov. V novom sade sa môžu použiť aj úplne nové genotypy zo 100 výberových stromov z lokalít Gbely, Moravský Ján, Šaštín a VLM – Riadok. Odobratie vrúbľov by bolo vykonané v štádiu vegetačného pokoja (predpokladaný termín február) z hornej tretiny výberových stromov.

Keďže poloha semenného sadu by mala zohľadňovať ekologické nároky polôh borovice lesnej (pedologicky, klimaticky a nadmorskou výškou), odporúča sa plocha o rozlohe 3,60 ha starého semenného sadu Políčko. Plocha je na danom mieste slnečná a rovná, poskytuje možnosť mechanizácie, pričom je prístupná s dostupnosťou dopravnej komunikácie.

V novom semennom sade by bola vhodná výsadba izolačného pásu zo strany existujúceho sadu, napr. smrek, duglaska, aj keď v okolí borovica takmer nerastie a jediným zdrojom kontaminácie je peľ z komplexu záhorskej borovice.

Najvhodnejšou ochranou vrúbľovancov proti zveri je bezchybné oplatenie a pravidelná kontrola niekoľkokrát ročne, z dôvodu včasného odstránenia prípadného poškodenia alebo zistených nedostatkov. V semennom sade by bolo potrebné, hlavne v prvých piatich

rokoch, robiť pravidelne inventarizáciu a chýbajúce klony dopĺňať z rezervy, ktorú je potrebné vytvoriť už pri produkcii vrúbľovancov. Prvých 5 až 7 rokov po výsadbe sa vrúbľovance musia okopávať v závislosti od ich vývoja a vývoja ich koruny. V prípade veľkých ročných výškových prírastkov, treba tieto pred príchodom zimného obdobia znovu voľne vyviazať ku kolíkom. Po zime, ale hlavne pred začiatkom drevnatenia, treba vyviazanie prekontrolovať, prípadne vyviazaním korigovať krivý rast. Týmto opatrením sa dosiahne rovný rast kmienka po prvé korunové vetvy.

Orezávanie koruny sa odporúča vykonávať podľa potreby, dynamiky rastu a veľkosti korún vrúbľovancov, so zameraním na dosiahnutie primeranej veľkosti korún a zabezpečenie ich dostatočnej priedušnosti. Rez stromov sa realizuje tak, aby mohol byť zároveň urobený zber. Pri zakladaní semenných sadov sa robí rozbor pôdy, podľa ktorého je v semennom sade realizované hnojenie.

Aj keď frekvencia semenných rokov v semennom sade je častejšia ako v uznaných porastoch, nie je možné zabezpečiť túto úrodu každoročne. Úroda je podmienená mnohými klimatickými faktormi ako sú jarné mrazy, vlaha a teploty počas roka. Podľa údajov zo Strediska kontroly lesného reprodukčného materiálu, sa priemerne zo semenných sadov borovice lesnej pozbiera 3 000 – 5 000 kg semennej suroviny, pričom najviac 21 647 kg semennej suroviny sa zozbieralo v roku 2011, z ktorej bolo vylúštené 397,10 kg semena.

## PodĎakovanie

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## Literatúra

Auckland, L., Bui, T., Zhou, Y., Shepherd, M. and Williams, C. (2002) 'Conifer microsatellite handbook.', Conifer microsatellite handbook. Texas A & M University System, Texas Agricultural Experiment Station, Department of Agricultural Economics.

Chagné, D., Chaumeil, P., Ramboer, A., Collada, C., Guevara, A., Cervera, M. T., Vendramin, G. G., Garcia, V., Frigerio, J.-M., Echt, C., Richardson, T. and Plomion, C. (2004) 'Cross-species transferability and mapping of genomic and cDNA SSRs in pines', *Theoretical and Applied Genetics* 2004 109:6. Springer, **109**(6), pp. 1204–1214.

Doyle, JJ and Doyle, JL (1987) 'A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue.', *Phytochem Bull*, **19**, pp. 11–15.

El-kassaby, Y. A. and Lstibůrek, M. (2009) 'Breeding without breeding', *Genetics Research*, **91**(2), pp. 111–120.

Kaňák, J., Frýdl, J., Novotný, P. and Čáp, J. (2008) Metodika zakládání semenných sadů: recenzovaná metodika. Strnady: Výzkumní ústav lesního hospodářství a myslivosti.

Leontovyč, R., Zúbrik, M., Vakula, J., Kunca, A. (2019) Súčasný odumieranie borovice na Záhorí, príčiny, návrh opatrení voči bioticky pôsobiacim škodlivým činiteľom. In: *Zborník referátov Aktuálne problémy v zakladaní a pestovaní lesa zo 7. medzinárodnej konferencie v Plaveckom Štvrtku, Zvolen*, pp. 49-56.



Li, B., McKeand, S. and Weir, R. (2008) 'Impact of Forest Genetics on Sustainable Forestry—Results from Two Cycles of Loblolly Pine Breeding in the U.S.', *Forestry*. Taylor & Francis Group, **10**(1–2), pp. 79–85.

Lstibůrek, M. and El-Kassaby, Y. A. (2010) 'Minimum-Inbreeding Seed Orchard Design', *Forest Science*, **56**(6), pp. 603–608.

Sebastiani, F., Pinzauti, F., Kujala, S. T., González-Martínez, S. C. and Vendramin, G. G. (2012) 'Novel polymorphic nuclear microsatellite markers for *Pinus sylvestris* L', *Conservation Genetics Resources*. Kluwer Academic Publishers, **4**(2), pp. 231–234.

Soranzo, N., Provan, J. and Powell, W. (1998) 'Characterization of microsatellite loci in *Pinus sylvestris* L.', *Molecular Ecology*, **7**(9), pp. 1260–1261.

Zobel, B. J., Barber, J., Brown, C. L. and Perry, T. O. (1958) 'Seed Orchards—Their Concept and Management', *Journal of Forestry*. Oxford Academic, **56**(11), pp. 815–825.

Zobel, B. and Talbert, J. T. (1984) *Applied forest tree improvement*, John Wiley & Sons.

## Zhrnutie

**Verification of suitability of the seed orchard poličko.** Seed orchard is a source of rich, regular and easy available genetically improved forest reproductive material that is established and managed to prevent or reduce pollination by genetically inferior outside sources. Reproductive material of the 1st generation of seed orchard is characterized by an average of 10% higher quality, compared to reproductive material from natural vegetation. While the 2nd generation of the orchard, which is from the tested trees of 1st generation, achieves on average of 25% higher quality of reproductive material, compared to natural stands. To be able to level up from the 1st generation to the 2nd generation of seed orchards, we need to know the identity of all the individuals in the seed orchard. This determines the number of genotypes represented, the number of their repetitions and also whether the records of the seed orchard are correct. Due to climatic factors in recent years, there has been a significant dying of pine forests in Záhorie. That's why we focused on the seed orchard Poličko, which is one of the main sources of forest reproductive material of Scots pine for the Záhorie area. Genetic analyzes revealed that in the seed orchard are represented only 24 unique genotypes, which is insufficient by law and the record of the orchard is not 100% correct. Therefore, it is recommended to establish a new seed orchard from 24 already present genotypes of the original orchard plus 30 new genetically tested trees or to use 100 completely new genotypes from selected trees of known localities.

## Kľúčové slová

seeds source, genetical profit, genetic identity, Scots pine, Záhorie

## Kontaktné adresy

Ing. Vladimír Mačejovský, PhD. Ing. Roman Longauer, CSc.

Národné lesnícke centrum

Lesnícky výskumný ústav Zvolen,

T. G. Masaryka 2175, 960 01 Zvolen,

vladimir.macejovsky@nlcsk.org, roman.longauer@nlcsk.org

## POROVNANIE PRODUKČNÝCH VLASTNOSTÍ BREZY PREVISNUTEJ A SMREKA OBYČAJNÉHO V MLADOM RASTOVOM ŠTÁDIU NA POKALAMITNOM ÚZEMÍ

Bohdan Konôpka, Jozef Pajtík

### 1 Úvod

Smrek obyčajný je najrozšírenejšia a hospodársky najvýznamnejšia ihličnatá drevina na Slovensku. Okrem toho, že je jeho pestovanie v porovnaní s niektorými inými druhmi relatívne jednoduché, drevo smreka má mechanické vlastnosti vhodné pre široké priemyselné spracovanie. Na druhej strane brezy, na Slovensku najmä breza previsnutá, majú výskyt zriedkavejší a drevársky priemysel ich drevo využíva len v obmedzenom rozsahu. Situácia vo frekvencii výskytu brezy sa postupne mení, a to najmä počas ostatných približne 20 rokov. Konkrétne s nárastom rozsahu disturbancií v lesoch (najmä vetrové a podkôrníkové) sa zvyšuje podiel brezy na drevinovom zložení v mladých porastoch. Keďže ide o tzv. pioniersku drevinu, dobre sa presadzuje na novovzniknutých pokalamitných plochách medzi ostatnými drevinami, najmä ak sa plochy ponechajú na prirodzenú obnovu (Konôpka et al. 2019). V takýchto podmienkach spravidla rastovo predbieha ostatné dreviny a jej kmeň rýchlo dosahuje hrubé dimenzie (napr. San-Miguel-Ayanz a kol. 2016). Napriek tomu, že sa slovenský drevospracujúci priemysel v podstate s touto drevinou nezaobera, v niektorých krajinách, najmä v Estónsku, Fínsku či Rusku si breza dlhodobo nachádza široké uplatnenie (Dubois et al. 2020).

Z uvedených dôvodov sme sa zamerali na produkčný potenciál a základné vlastnosti dreva brezy previsnutej a smreka obyčajného. Podkladový materiál pre medzidruhové porovnanie sa nazbieral na pokalamitnom území v podhorskej oblasti Vysokých Tatier. Aj keď naše sledovania sú len pre krátke (päťročné) obdobie a zahŕňali exkluzívne iba mladé lesné porasty, výsledky mali naznačiť rozdiely medzi týmito dvomi drevinami.

### 2 Materiál a metódy

Terénne práce sa vykonali počas rokov 2016 – 2020, teda 12 až 16 rokov po rozvrátení lesných porastov víchricou „Alžbeta“ z 19. 11. 2004. Merania sa vykonali na dvoch výskumných tranzektoch, nachádzajúcich sa v blízkosti obcí Starý Smokovec a Vyšné Hágy. Tranzekty boli 12 m široké a 300 m dlhé, pritom sa na nich v rokoch 2016 až 2020 vždy na konci vegetačného obdobia merali hrúbky  $d_{1,3}$  (t.j. 130 cm od úrovne päty stromu) a výšky smrekov a briez. Do meraného súboru sa zaradili len jedince, ktoré dosiahli  $d_{1,3}$  nad 7,0 cm, t.j. hrubinu. Tieto údaje tvorili podklad pre odvodenie vzťahu medzi hrúbkou  $d_{1,3}$  a výškou stromov, ako aj pre výpočet priemerného ročného prírastku v  $d_{1,3}$  počas štyroch rokov. V prípade smreka sa v sledovanom období zmeralo ročne 114 až 153 briez a od 84 do 227 smrekov (počet stromov medziročne narastal ako dosiahli hrúbku 7,0 cm).

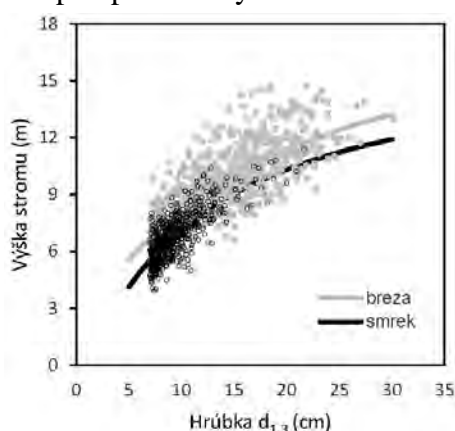
V roku 2020 sa vykonali podrobné výskumy biomasy brezy a smreka. Za týmto účelom sa vybralo po 20 jedincov (náhodný výber) pre každú drevinu. Stromy sa spílili na úrovni päty kmeňa. Zmerala sa ich výška a hrúbka  $d_{1,3}$ , oddelili sa konáre od kmeňa, následne sa vzorky kmeňa transportovali do laboratória. V laboratóriu sa zmerali hrúbky kmeňa po 50 cm sekciách, najprv s kôrou a aj po jej odstránení. Následne sa drevo kmeňa a kôra vysušili

v sušičke na konštantnú hmotnosť (95 °C počas 72 hodín). Namerané hodnoty sa využili na odvodenie biomasy dreva kmeňa a kôry, ako aj na určenie objemu kmeňa s kôrou a bez kôry.

Pomocou regresných modelov (detaily postupu konštrukcie modelov, a to z dôvodu obmedzeného rozsahu príspevku, neuvádzame avšak nachádzajú sa napr. v práci Pajtík a kol. 2017) sa kvantifikoval objem a biomasa kmeňa s ohľadom na hrúbku  $d_{1,3}$ . Taktiež sa vypočítala hustota kmeňa, zvlášť pre drevo a kôru. Na základe reálneho hrúbkového prírastku, t.j. priemer za štyri sledované roky, sa vypočítala modelová produkcia kmeňa, a to zvlášť drevo s kôrou a bez nej.

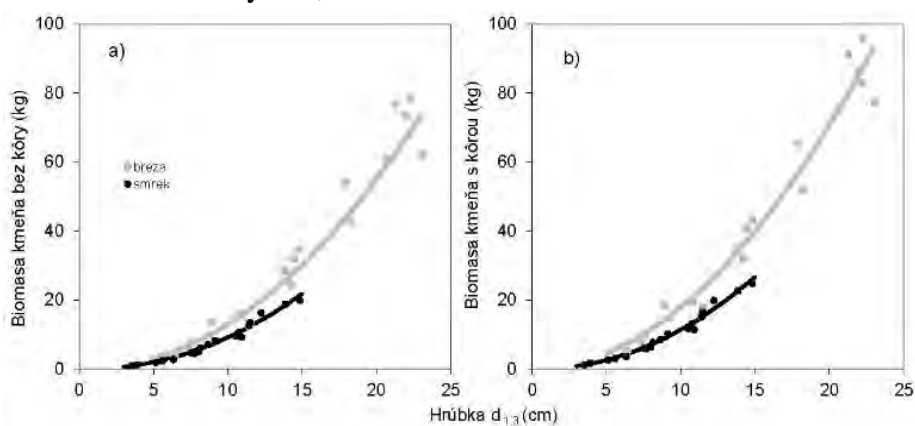
### 3 Výsledky a diskusia

Výškový grafikon (Obr. 1) naznačil, že brezy boli približne o 1,0 m vyššie ako rovnako hrubé smrek. To znamená, že smrek mali zbiehavejší kmeň. Väčšia zbiehavosť kmeňa je spravidla negatívnou charakteristikou vzhľadom na výťažnosť, čo by bolo v kontexte spracovanie dreva v priemysle v prospech brezy.



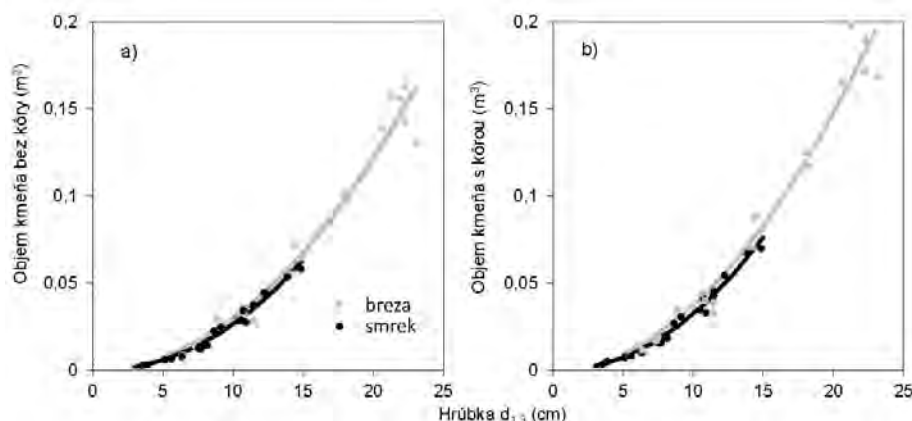
**Obrázok 1.** Porovnanie závislosti medzi hrúbkou  $d_{1,3}$  a výškou brezy a smrek.

Modely biomasy kmeňa bez kôry a s kôrou (Obr. 2) naznačili, že náhodným výberom zvolené stromy mali nielen menšiu hrúbku kmeňa, ale aj výrazne menej kmeňovej hmoty. Tieto rozdiely (ak si zoberieme najväčšie jedince daných drevín) boli takmer štvornásobné. Pritom sledované jedince mali rovnaký vek, konkrétne okolo 14 rokov.



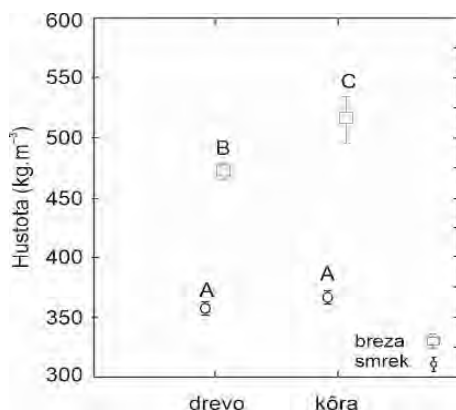
**Obrázok 2.** Model biomasy kmeňa bez kôry (a) a s kôrou (b) pre brezu a smrek s využitím hrúbky  $d_{1,3}$  ako prediktora.

Ďalej sme vytvorili regresný model pre objem kmeňa brezy a smreka s ohľadom na hrúbku  $d_{1,3}$  (Obr. 3). Krivky pre objemy kmeňa bez kôry i s kôrou mali pri rovnakej hrúbke  $d_{1,3}$  pri obidvoch drevinách veľmi podobné priebehy. Treba však pripomenúť, že brezy na tranzektoch dosahovali výrazne vyššie hodnoty hrúbky  $d_{1,3}$  než smrek. Preto aktuálne najväčšie jedince brezy mali aj 2-3 násobne väčšie objemy kmeňov ako najväčšie smrek.



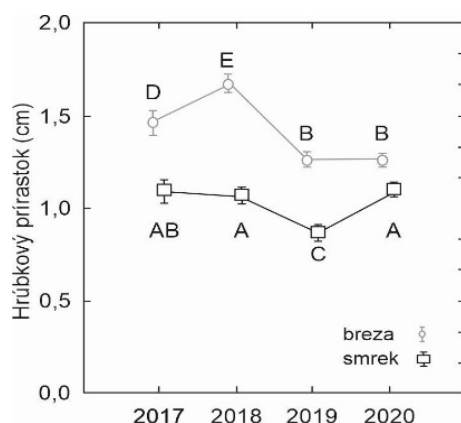
**Obrázok 3.** Model objemu kmeňa bez kôry (a) a s kôrou (b) pre brezu a smrek s využitím hrúbky  $d_{1,3}$  ako prediktora.

Relevantné zistenie je, že kmene briez mali štatisticky významne hustejšie drevo a podobne aj kôru ako v prípade kmeňov smrekov (Obr. 4). Konkrétne hustota dreva brezy bola takmer o 30 % vyššia ako hustota dreva smreka. Toto vysvetľuje aj na prvý pohľad paradoxnú situáciu, keď pri rovnako hrubých brezách a smrekoch boli objemy kmeňov veľmi podobné, avšak v prípade hmotnosti bolo toto porovnanie výrazne v prospech brezy (Obr. 3 verzus Obr. 2).

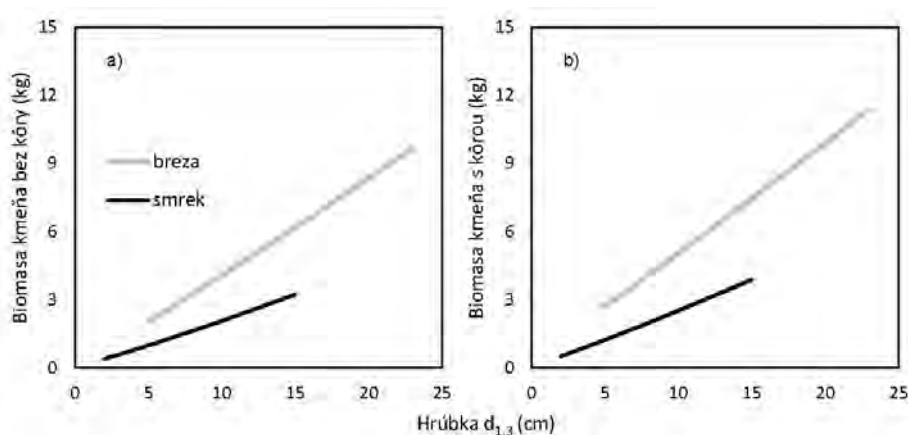


**Obrázok 4.** Porovnanie hustoty dreva a hustoty kôry medzi brezou a smrekom (rôzne písmená vyjadrujú štatisticky významné rozdiely; LSD test,  $p < 0.05$ ).

Ročný hrúbkový prírastok bol vo všetkých rokoch sledovania väčší pri breze než smreku (Obr. 5). Kým priemerný hrúbkový prírastok medziročne varíoval pri breze od 1,3 po 1,8 cm., v prípade smreka boli hodnoty od 0,8 po 1,2 cm. V období rokov 2017 – 2020 bol priemerný ročný prírastok rovný 1,4 cm pre brezu a 1,0 cm pre smrek. Tieto priemerné hrúbkové prírastky sa využili pri ďalšom modelovaní, konkrétne pre odhad ročnej produkcie kmeňa bez kôry a s kôrou (Obr. 6). Takto sa zistili medzidruhové rozdiely v ich produkčných vlastnostiach. Napr. pri hrúbke  $d_{1,3}$  rovnaj 10 cm bola ročná produkcia biomasy kmeňa brezy pri porovnaní so smrekom približne dvojnásobná.



**Obrázok 5.** Porovnanie hrúbkového prírastku brezy a smreka v rokoch 2017-2020 (rôzne písmená vyjadrujú štatisticky významné rozdiely; LSD test,  $p < 0.05$ ).



**Obrázok 6.** Produkcia biomasy kmeňa bez kôry (a) a s kôrou (b) brezy a smreka za predpokladu ročného hrúbkového prírastku 1,4 cm pre brezu a 1,0 cm pre smrek.

Naše výsledky jednoznačne potvrdili, že breza má výrazne väčšiu rastovú (produkčnú) intenzitu v porovnaní so smrekom. Na druhej strane si treba uvedomiť, že breza má horšie morfológické vlastnosti kmeňa, najmä časté rozdvojenie, než smrek. V prospech technických vlastností dreva môže pozitívnu úlohu zohrať jeho hustota, kt. sa v prípade brezy blíži až k hustote dreva buka (Dubois 2020). Breza má oveľa kratšiu dobu dosiahnutia produkčného optima, približne dvakrát, než smrek (Cameron 1996, Poleno et al.1995). Preto v prípade zmiešaných porastov smreka a brezy treba plánovať s dvojfázovým systémom ťažby.

V krajinách Strednej a Západnej Európy pretrváva tradícia podceňovania dreva brezy pre priemyselné využitie (Dubois et al. 2020 ). Preto sa spravidla ťaží už v mladých rastových štádiách, najčastejšie už v rámci plecích rubov. Kmene brezy ešte s malými dimenziami sa najčastejšie využívajú ako palivo, hlavne ako krbové drevo. Skúsenosti zo Severnej Európy a Ruska (Luostarine et al. 2000), zároveň aj najnovšie štúdie zo Západnej Európy (Dubois et al. 2021) naznačujú určité možnosti dopestovania hrubých, relatívne cenných sortimentov brezy. Staršie práce zo Švédska poukázali na fakt, že prítomnosť brezy v zmiešaných porastoch zvyšuje produkčné vlastnosti smreka (Jonsson 1962, Tham 1989). Takže breza ako doplnková drevina v smrečinách by bola aj v tomto smere prospešná.

## 4 Záver

Breza ako veľmi dobre regenerujúca, vitálna a produkčná devina môže mať okrem drevnej suroviny relevantný prínos aj k zvýšeniu biodiverzity v lesných ekosystémoch. Tento fakt je dôležitý v rámci stále aktuálnejších ekosystémových služieb, a to aj v hospodárskych lesoch. Preto sa na brezu musíme pozrieť inak ako sme boli zvyknutí v tradičnom lesníckom ponímaní. Predpokladáme, že treba v takomto výskume pokračovať a hlavne by mal smerovať na odvodenie systému pestovania zmiešaných porastov s následným zabezpečením diferencovaných rubných vekov pre cieľové dreveniny. Prirodzene okrem opatrení v lesnom hospodárstve sú zmeny potrebné aj v tuzemskom drevospracujúcom priemysle. Pretože platí, že kde neexistuje odberateľ suroviny, tam nemôže reálne fungovať ani jej potenciálny dodávateľ. Avšak toto je pravdepodobne dlhá, avšak určite nie márna cesta.

## Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## Literatúra

- CAMERON, A. D. 1996. Managing birch woodlands for the production of quality timber. *Forestry*, roč. 69, s. 357–371.
- DUBOIS, H., VERKASALO, E., CLAESSENS, H. 2020. Potential of birch (*Betula pendula* Roth and *B. pubescens* Ehrh.) for forestry and forest-based industry sector within the changing climatic and socio-economic context of Western Europe. *Forests*, roč. 11, 336.
- DUBOIS, H., CLAESSENS, H., LIGOT, G. 2021. Towards Silviculture Guidelines to Produce Large-Sized Silver Birch (*Betula pendula* Roth) Logs in Western Europe. *Forests*, roč. 12, 599.
- JONSSON, B., 1962: Yield of Mixed Coniferous Forest; Meddelanden Fran Statens Skogsforskning Institute: Stockholm, Sweden, 173 s.
- KONÔPKA, B., ŠEBEŇ, V., PAJTÍK, J. 2019. Species Composition and Carbon Stock of Tree Cover at a Postdisturbance Area in Tatra National Park, Western Carpathians. *Mountain Research and Development*, roč. 39, s. 71-80.
- LUOSTARINEN, K., VERKASALO, E. 2000. Birch as Sawn Timber and in Mechanical Further Processing in Finland. A Literature Study; Forest Research Institute Helsinki, 286 s.
- PAJTÍK, J., KONÔPKA, B., ŠEBEŇ, V. 2017. Matematické modely pre biomasu mladých jedincov lesných drevín na území Západných Karpát. Zvolen, Národné lesnícke centrum, 89 s.
- POLENO, Z. et al. 1995. *Forestry Handbook. Part II.* Prague, Ministry of Agriculture of Czech Republic, 683 s.
- SAN-MIGUEL-AYANZ, J. et al. 2016. *European Atlas of Forest Tree Species.* Publication Office of European Union, Luxembourg, 197 s.
- THAM, A. 1989. Prediction of individual tree growth in managed stands of mixed *Picea abies* (L.) Karst. and *Betula pendula* Roth. and *Betula pubescens* Ehrh. *Scandinavian Journal of Forest Research*, roč. 4, s. 491–512.

## Zhrnutie

**Comparison of production properties between silver birch and Norway spruce in young growth stage in the post-disturbance area.** The paper focused on production potential and wood properties in young trees of silver birch and Norway spruce. The research was conducted in 2016 – 2020 in the area of the High Tatra Mts. foothills. Two approaches were implemented, specifically, measurements of stem diameter and tree height on a large set of trees, and destructive sampling of aboveground parts counting 20 trees in each species. The age of the sampled trees was about 14 years. Then, we constructed regression models for stem diameter  $d_{1.3}$  against tree height relationship, as well as for volume and biomass of stem. Then, we analysed real diameter increment, which was implemented for model expressing stem wood production. The results show that diameter increments were 1.0 cm and 1.4 cm in spruce and birch, respectively. At the same time, stem wood of birches was denser than that of spruces nearly by 30%. Annual production of stem wood in birches was nearly double of that in spruces. We concluded higher production potential in birch than in spruce, but this might be typical only for young growth stages. Anyway, birch is recommended as tree species which can be useful not only for wood production but also in terms of enriching biodiversity in forest ecosystems.

## Kľúčové slová

breza previsnutá; smrek obyčajný; hrúbkový prírastok; hustota dreva; ročná produkcia biomasy kmeňa

## Kontaktné adresy

Bohdan Konôpka  
Jozef Pajtík  
Národné lesnícke centrum  
Lesnícky výskumný ústav Zvolen  
T.G. Masaryka 2175/22  
960 01 Zvolen, Slovenská republika  
bohdan.konopka@nlcsk.org  
jozef.pajtik@nlcsk.org

## MODUL PRE VÝPOČET NÁJOMNÉHO ZA LESNÉ POZEMKY AKO PRÍKLAD INTERAKTÍVNEHO PRVKU SYSTÉMU NA PODPORU ROZHODOVANIA

Ladislav Kulla

### 1 Úvod

Systémy na podporu rozhodovania slúžia na technickú podporu resp. pomoc pri riešení zložitých problémov, ktoré nie je možné v celej šírke uchopiť a riešiť kapacitou ľudského mozgu. Lesnícko-drevársky komplex je typickým príkladom veľmi komplexného systému, ktorý je závislý od mnohých ekologických (produkčné podmienky a ich zmeny), ekonomických (dopyt po produktoch a ich cena, nové produkty), a sociálnych (ekosystémové služby lesov) vplyvov a obmedzení. Princípy existujúcich systémov na podporu rozhodovania v lesníctve prehľadne sumarizuje Kangas et al. (2008).

Jedným z cieľov projektu LignoSilva je návrh architektúry nového systému na podporu rozhodovania v lesníctve. Základom údajovej bázy tohto systému bude informačný systém lesného hospodárstva (IS LH), údaje Národnej inventarizácie a monitoringu lesov SR (NIML SR), monitoringu zdravotného stavu lesov, leteckého snímkovania a skenovania, a ostatné dostupné súbory využiteľných dát ktorými disponuje NLC a jeho partneri. Poznatkovú bázu budú tvoriť špecializované mapové podklady (typologické, klimatické, a iné dostupné mapy), existujúce modely (rastové tabuľky, sortimentačné tabuľky, modely hospodárenia, modely rizika, ekonomické modely), údaje rezortnej štatistiky, a všetky ďalšie dostupné, pre podporu rozhodovania využiteľné údaje. Plánovaným simulačným nástrojom v architektúre vývojového prototypu systému bude voľne dostupný simulátor SIBYLA (Fabrika 2016).

Systém na podporu rozhodovania má slúžiť hierarchicky pre rôzne potreby a úrovne rozhodovania: od strategickej tvorby politík až po operatívne rozhodovanie vlastníka lesa. V tomto príspevku predstavujeme príklad interaktívnej funkcionality využiteľnej pre vlastníka resp. obhospodarovateľa lesa, s ktorej implementáciou sa počíta v rámci pripravovaného systému na podporu rozhodovania. Je ňou algoritmus výpočtu a nájomného za lesné pozemky, založený na výnosovej metóde ocenenia lesa, ktorý sa po ročnom testovaní v aplikačnej praxi a po finálnych korekciách stal od 1.1.2021 základom Vyhlášky MPRV SR 207/2019 o stanovení výšky nájomného k lesným pozemkom.

### 2 Metodika výpočtu nájomného

Zákonné nájomné za lesné pozemky je právnym predpisom určená časť dosiahnuteľného výnosu bežného hospodárenia v lese, uplatniteľná ako prenájom. Pre jej stanovenie sa využila výnosová metóda založená na dosiahnuteľnom ročnom výnose z lesa v konkrétnych podmienkach. Metodický postup je podrobne zdôvodnený a opísaný v práci Kulla a kol. (2017). V tomto príspevku uvádzame v zhuťnenej podobe korigovaný algoritmus výpočtu platný od 1.1.2021, ktorý bude podkladom pre programové riešenie čiastkového výpočtového modulu pripravovaného systému na podporu rozhodovania.

#### 2.1 Dosiahnuteľný ročný výnos

Pre výpočet dosiahnuteľného ročného výnosu (*annuity – ANN*) sa použila výnosová metóda založená na kapitalizácii budúcich odčerpateľných zdrojov – t.j. na čistej súčasnej hodnote lesníckeho projektu (*net present value – NPV*). NPV predstavuje sumu všetkých čistých finančných tokov (*net cash flows – NCF*) v rôznom veku porastu (*t*) za jednu rubnú dobu (*T*),



diskontovanú úrokovou mierou (*interest rate* –  $i$ ) k začiatku rubnej doby ( $t=0$ ): Dosiaditeľný ročný výnos – annuita ( $ANN_T$ ) sa odvodí ako ročný ekvivalent NPV:

$$NPV_T = \sum_{t=0}^T NCF_t / (1+i)^t \quad ANN_T = NPV_T \times i \times \frac{(1+i)^T}{(1+i)^T - 1}$$

Ak nájom vzniká v konkrétnom počiatocnom veku porastu ( $A$ ) inom ako 0 rokov, a uzatvára sa na rôzne dlhú dobu nájmu ( $R$ ) končiacu vo veku porastu ( $t=A+R$ ), ktorý spravidla nepresahuje vek ukončenia obnovy porastu. Annuita pre takéto prípady ( $ANN_{A,R}$ ) sa vypočíta zo sumy čistých finančných tokov v jednotlivých rokoch ( $r$ ) počas doby nájmu ( $R$ ) diskontovaných k veku ( $A$ ), v ktorom je hodnota ( $r$ ) = 0.

$$NPV_{A,R} = \sum_{r=0}^R NCF_r / (1+i)^r \quad ANN_{A,R} = NPV_{A,R} \times i \times \frac{(1+i)^R}{(1+i)^R - 1}$$

$$t \in \{0, T\} \cap r \in \{0, R\}$$

Kde:

$ANN_{A,R}$  je dosiahnuteľný ročný výnos (annuita) za dobu nájmu  $R$  začínajúcu vo veku  $A$

$NPV_{A,R}$  je suma čistých finančných tokov za dobu nájmu  $R$  diskontovaná k veku  $A$

$A$  aktuálny vek porastu na začiatku doby nájmu

$R$  dojednaná doba nájmu

$r$  rok v ktorom nastal finančný tok od začiatku doby nájmu  $R$  po jej koniec

$T$  rubná doba

$t$  vek porastu počítaný od jeho založenia po vytáženie vo veku  $T$

$i$  úroková miera

Hodnoty  $ANN_{A,R}$  boli nasimulované pomocou simulátora SIBYLA pre bežné (podrastové) hospodárenie, a všetky kombinácie hlavných drevín, bonít, a rubných dôb (tabuľka 1), a sú uvedené v prílohe vyhlášky.  $ANN_{A,R}$  dosahuje hodnoty od -500 do +2 800 €ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>

**Tabuľka 1.** Príklad simulovanej výšky  $ANN_{A,R}$  (€ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>) pre plne zakmenený porast hlavných drevín vo veku 40 rokov pri dobe nájmu 10 rokov (podľa drevín, bonít a rubných dôb). Do výpočtu budú vstupovať zo vstupných matíc prostredníctvom vyhľadávacích funkcií.

Aktuálny vek porastu (A): 40 rokov				Doba nájmu (R): 10 rokov													
DR/RD	SM			JD			BO			BK				DB			
Bonita	80	100	120	80	100	120	80	100	120	80	100	120	140	80	100	120	140
18							-16	-16	-16	-50	-50	-50	-50	-13	-13	-13	-13
22	-82	-82	-82	-152	-152	-152	-39	-39	-39	-63	-63	-63	-63	-21	-21	-21	-21
26	-126	-126	-126	-153	-153	-153	-52	-52	-52	17	17	17	17	28	28	28	28
30	-18	-18	-18	-55	-55	-55	-13	-13	-13	25	25	25	25	76	76	76	76
34	178	178	178	164	164	164	95	95	95	30	30	30	30	136	136	136	136
38	406	406	406	450	450	450											

## 2.2 Korekčné faktory a výpočet nájomného za porast

Výška ročného nájomného pre konkrétny porast zložený spravidla z viacerých drevín, s vekom  $A$ , na dobu nájmu  $R$  ( $RENT_{A,R,P}$ ) sa vypočíta vynásobením dosiahnuteľného ročného výnosu daného porastu ( $ANN_{A,R,P}$ ) koeficientom polohy  $K_P$ , koeficientom obmedzení hospodárenia  $K_O$ , koeficientom terénneho typu  $K_T$ , koeficientom vývoja priemerných cien

a nákladov  $K_C$ , koeficientom vplyvu náhodnej ťažby na výnosovosť hospodárenia  $K_K$ , výmerou porastu  $S$  (ha) a redukčným koeficientom  $K_R$ , ktorý vyjadruje podiel nájomcu a prenajímateľa na výške dosiahnuteľného výnosu bežného hospodárenia:

$$RENT_{A,R,P} = ANN_{A,R,P} \times K_P \times K_O \times K_T \times K_C \times K_K \times S \times K_R$$

Dosiahnuteľný ročný výnos porastu (anuita porastu  $ANN_{A,R,P}$ ) sa vypočíta ako vážený priemer anuit zastúpených drevín ( $ANN_{A,R}$ ) vynásobených koeficientom zakmenenia  $K_Z$ ; pri iných ako hlavných drevinách je hodnota upravená prepočtovým koeficientom  $K_D$ :

$$ANN_{A,R,P} = \sum_{i=1}^n \frac{ANN_{A,R,i} \times K_{Z,i} \times K_{D,i} \times \%_i}{100}$$

Kde:

$ANN_{A,R,P}$	dosiahnuteľný ročný výnos (anuita) porastu za dobu nájmu $R$ začínajúcu vo veku $A$ ,
$ANN_{A,R,i}$	dosiahnuteľný ročný výnos (anuita) dreviny $i$ za dobu nájmu $R$ začínajúcu vo veku $A$ ,
$K_{Z,i}$	koeficient zakmenenia pre drevinu $i$ ,
$K_{D,i}$	prepočtový koeficient pre drevinu $i$ (ak nejde o hlavnú drevinu, ak áno $K_D = 1$ ),
$\%_i$	zastúpenie dreviny $i$ v percentách.

Hodnoty koeficientov  $K_P$ ,  $K_O$ ,  $K_T$ ,  $K_Z$ ,  $K_D$  sú publikované v prílohe vyhlášky 207/2019 Z.z., a v čase sa nemenia. Hodnoty koeficientov  $K_C$  a  $K_K$  sa aktualizujú na ročnej báze na základe aktuálneho vývoja cien dreva a podielu náhodnej ťažby v konkrétnom poraste, resp. na konkrétnom majetku ktorý je predmetom nájmu.

**Koeficient vývoja priemerných cien a nákladov ( $K_C$ )** sa určuje na základe údajov ISLH o vývoji priemerného speňaženia surového dreva a údajov a o celkových nákladoch lesného hospodárstva za kalendárny rok predchádzajúci roku, za ktorý sa nájomné vypočítava.  $K_C$  sa vypočíta ako vážený aritmetický priemer zverejnených hodnôt koeficientov vývoja priemerných cien a nákladov pre ihličnaté dreviny ( $K_{Cihl}$ ) a pre listnaté dreviny ( $K_{Clis}$ ), kde váhou je zastúpenie ihličnatých drevín ( $\%_{ihl}$ ) a listnatých drevín ( $\%_{lis}$ ) v lesnom poraste:

$$K_C = \frac{K_{Cihl} \times \%_{ihl} + K_{Clis} \times \%_{lis}}{100}$$

Koeficienty  $K_{Cihl}$  a  $K_{Clis}$  sa zverejňujú prostredníctvom ISLH, a určujú sa ako rozdiel koeficientu vývoja priemerných cien ihličnatého surového dreva alebo listnatého surového dreva a koeficientu celkových nákladov lesného hospodárstva pri zohľadnení predpokladaného pomeru nákladov na úrovni 90 % dosiahnutých výnosov lesného hospodárstva a ziskovosti hospodárenia 10 % z celkového obratu.

$$K_{Cihl} = \frac{1 + [K_{PSDihl} - (K_{CN} \times 0,9)]}{1,1}$$

$$K_{Clis} = \frac{1 + [K_{PSDlis} - (K_{CN} \times 0,9)]}{1,1}$$

Kde:

$K_{PSDihl}$	koeficient vývoja priemerného tuzemského speňaženia ihličnatého surového dreva,
$K_{PSDlis}$	koeficient vývoja priemerného tuzemského speňaženia listnatého surového dreva,

$K_{CN}$  koeficient celkových nákladov lesného hospodárstva ,  
0,9; 1,1 korekčný faktor nákladov; resp. zisku.

Koeficienty vývoja priemerného speňaženia surového dreva  $K_{PSDihl}$  a  $K_{PSDis}$  sa určia podielom aktuálnej ceny ihličnatého dreva alebo listnatého dreva za kalendárny rok k priemeru tejto hodnoty za roky 2014, 2015 a 2016, podľa ktorých boli vypočítané základné anuity (t.j. 50,6 EUR za m<sup>3</sup> ihličnatého dreva, a 42,2 eura za m<sup>3</sup> listnatého dreva).

$$K_{PSDihl} = \frac{\text{údaj za kalendárny rok}}{50,6}$$

$$K_{PSDis} = \frac{\text{údaj za kalendárny rok}}{42,2}$$

Koeficient celkových nákladov lesného hospodárstva  $K_{CN}$  sa určí podielom aktuálnej hodnoty celkových nákladov obhospodarovateľov lesa v Slovenskej republike za kalendárny rok k priemeru tejto hodnoty za roky 2014, 2015 a 2016 (t.j. 463,83 miliónov EUR).

$$K_{CN} = \frac{\text{údaj za kalendárny rok}}{463,83}$$

**Koeficient vplyvu náhodnej ťažby** na výnosovosť hospodárenia ( $K_K$ ) vyjadruje nepriaznivý vplyv náhodnej ťažby na výnos hospodárenia. Vypočíta sa na základe podielu náhodnej ťažby na celkovej ťažbe v poraste alebo jeho časti, ktorá je predmetom nájmu, podľa lesnej hospodárskej evidencie za kalendárny rok predchádzajúci roku, za ktorý sa nájomné vypočítava. Zníženie výnosovosti je určené na základe analýzy výnosovosti náhodných ťažieb v porovnaní s úmyselnými ťažbami za roky 2014, 2015 a 2016 (bola na úrovni 75 % výnosovosti úmyselných ťažieb).

$$K_K = \frac{\%V_{TN} \times 0,75 + \%V_{TUM}}{100}$$

Kde:

$K_K$  koeficient vplyvu náhodnej ťažby,

$\%V_{TN}$  percentuálny podiel náhodnej ťažby v poraste za predchádzajúci kalendárny rok,

$\%V_{TUM}$  percentuálny podiel úmyselnej a mimoriadnej ťažby v poraste za predchádzajúci kalendárny rok.

### 3 Záver a perspektívy

V príspevku uvádzame konsolidovaný, po ročnej aplikačnej praxi korigovaný algoritmus výpočtu nájomného za lesné pozemky platný od 1.1.2021. Vstupy potrebné pre výpočet sú 1) údaje PSL o poraste a drevine, 2) hodnoty dosiahnuteľného výnosu drevín (anuity) podľa bonity, rubnej doby, veku porastu a doby nájmu publikované v prílohe vyhlášky 207/2019 Z.z., 3) hodnoty v čase nemenných korekčných koeficientov publikované v prílohe vyhlášky 207/2019 Z.z., a 4) ročné vstupy ISLH a LHE pre výpočet v čase sa meniacich korekčných koeficientov. Je predpoklad že veľké lesné podniky si vypracujú vlastné programové riešenie pre výpočet nájomného. Pripravovaný modul je preto určený najmä malým lesným podnikom, a jednotlivým vlastníkom a obhospodarovateľom lesa, ktorí takisto vstupujú do nájomných vzťahov. Podľa ohlasov z praxe je o takúto funkcionality záujem. Otvorená ostáva otázka prístupu, a podmienok prípadnej čiastočnej alebo úplnej komercionalizácie tejto služby.

## 4 PodĎakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## Literatúra

FABRIKA, M., 2016. SIBYLA TRIQUETRA. <http://sibyla.tuzvo.sk/>

Faustmann, M., 1849: Berechnung des Werthes, welchen Waldboden, sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen. Allgemeine Forst und Jagdzeitung 15: 441-451.

KANGAS, A., KANGAS, J., KURTILLA, M., 2008: Decision support for forest management. Managing Forest Ecosystems 16, Springer, 222 pp.

KULLA, L., MURGAŠ, V., ROESSIGER, J., SEDLIAK, M., KOVALČÍK, M., 2017: Metodika na stanovenie nájomného z lesných pozemkov na báze simulovaných výnosov z lesa. Aktuálne otázky ekonomiky a politiky lesného hospodárstva Slovenskej republiky. NLC, Zvolen, 59-69.

Vyhláška MPRV SR 207/2019 ktorou sa stanovuje spôsob určenia výšky nájomného k lesným pozemkom za hospodárenie v lesoch

## Zhrnutie

**A modul for calculating rent from forest land as an example of an interactive element of a decision support system.** The paper presents a consolidated, after a year of application practice corrected algorithm for calculating the rent from forest land valid from 1.1.2021. The inputs required for the calculation are 1) FMP data on stand and tree species, 2) values of achievable yield (annuity) according to tree species, site index, rotation period, stand age and lease period published in the annex to Decree 207/2019 Coll., 3) values at the time fixed correction coefficients published in the annex to Decree 207/2019 Coll., and 4) annual ISFM and forest management records inputs for the calculation of time-varying correction coefficients. It is assumed that large forest enterprises will develop their own software solution for calculating the rent. Hence, the prepared module is intended mainly for small forest enterprises, and individual forest owners and managers, who also enter into leases. According to practical feedback, there is interest in such functionality. The question of access, and the conditions for possible partial or complete commercialization of this service, remains open.

## Kľúčové slová

Výnosová metóda oceňovania lesa, čistá súčasná hodnota, anuita, faktory ovplyvňujúce výnos, program starostlivosti o les

## Kontaktná adresa

Ladislav Kulla  
Lesnícky výskumný ústav Zvolen  
Národné lesnícke centrum  
T.G. Masaryka 2175/22  
960 01 Zvolen, Slovakia  
[ladislav.kulla@nlcsk.org](mailto:ladislav.kulla@nlcsk.org)

## MOŽNÉ DÔSLEDKY ZMENY KLÍMY NA VYBRANÉ EKOSYSTÉMOVÉ SLUŽBY LESA PRI RÔZNYCH ALTERNATÍVACH MANAŽMENTU LESEA

Vlastimil Murgaš

### 1 Úvod

Zmena klímy ohrozuje trvalo udržateľné obhospodarovanie lesov a vyvážené plnenie ich ekonomických, ekologických a sociálnych funkcií. Tieto služby sú všeobecne známe pod pojmom ekosystémové služby lesov. Napriek tomu, že zmena klímy a otepľovanie by mohli mať pozitívny vplyv na budúcu produkciu lesov, očakávané negatívne vplyvy vo forme častých extrémnych poveternostných javov (extrémne teploty, suchá, búrky s intenzívnymi zrážkami) sa považujú za dôležitejšie stresové faktory pre lesy spolu s potenciálnym nárastom útoku patogénov. Poznanie a prognózovanie vplyvov týchto zmien na lesné ekosystémy nám pomáha potenciálne sa vyhnúť neočakávanému a nežiaducemu vývoju lesných ekosystémov (Kašpar, J. et al., 2018). Na tento účel nám môžu poslúžiť rôzne systémy na podporu rozhodovania.

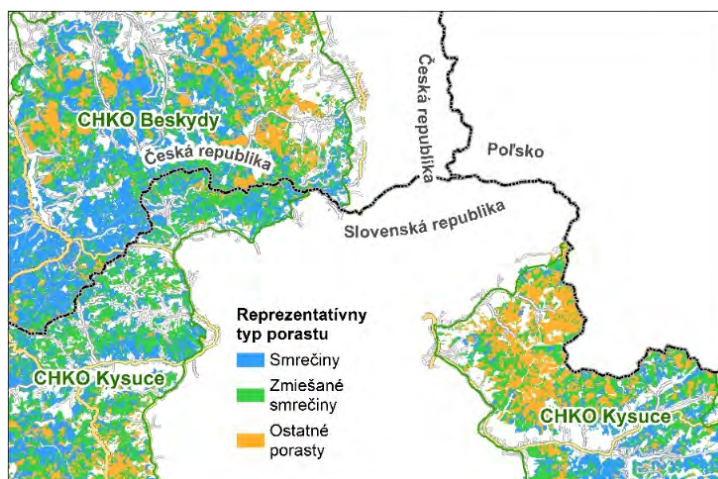
Systémy na podporu rozhodovania (DSS) pritiahli záujem lesníckej komunity začiatkom 80. rokov minulého storočia a odvtedy sa lesnícke DSS sústavne rozvíjajú (Vacik, H., Lexer, M. J., 2013). Neustály výskum a vývoj v tejto oblasti je nenahraditeľnou súčasťou úspechu adaptívneho manažovania lesov ako aj zdieľanie znalostí a informácií medzi výskumnými tímami na celom svete (Kašpar, J. et al., 2018). DSS sa používajú napríklad za účelom dlhodobého projektovania ako podklad pre politické procesy (Tomppo, E. et al., 2010), pri manažmente rizík lesných požiarov (Sakellariou, S. et al., 2017), pri hodnotení vplyvu manažmentových opatrení na poskytovanie ekosystémových služieb lesea (Nordström, E. M. et al., 2019) a pod.

Dôležitým softvérovým nástrojom podpory rozhodovania v lesníctve na Slovensku je stromový rastový simulátor biodynamiky lesea SIBYLA Triquetra (Fabrika, M., 2019). Umožňuje modelovať vývoj rôznych východiskových porastových štruktúr od rovnovekých rovnorodých porastov, cez diferencované viacetážové, zmiešané porasty až po výberkové lesy.

Cieľom príspevku je analyzovať možné dopady zmeny klímy na poskytovanie ekosystémových služieb lesea podľa rôznych manažmentových opatrení a sformulovať odporúčania pre lesnícku prax.

### 2 Metodika simulácií

Predmetom výskumu boli lesné porasty v modelovom území chránenej krajinskej oblasti (CHKO) Beskydy a CHKO Kysuce (Obrázok 1.). Na základe typu stanovišťa, drevinového zloženia a veku boli vytvorené tzv. reprezentatívne typy porastov (RTP). Vývoj RTP sa simuloval pomocou rastového simulátora SIBYLA Triquetra (Fabrika, M., 2019).



Obrázok 1. Výrez predmetného územia s ukážkou reprezentatívnych typov porastov.

Pre jednotlivé RTP sa vygenerovali 3 východiskové porastové štruktúry na ploche 0,5 ha so začiatkom simulácie v roku 2020. Pri generovaní východiskových RTP sa použili vstupné veličiny na úrovni porastu vypočítané ako vážený aritmetický priemer údajov drevniny z Programu starostlivosti o lesy. Pre každú porastovú štruktúru sa vykonali 3 prognózy jej vývoja. Následne sa z týchto troch prognóz vypočítal priemer.

Vývoj RTP do roku 2080 sa simuloval na základe dvoch klimatických scenárov:

- 1) referenčná klíma z roku 1990 (priemer za obdobie 1975 – 2005),
- 2) meniaci sa klíma podľa regionálneho klimatického modelu RCA4, riadeného globálnym klimatickým modelom MPI-ESM-LR, a emisného scenára RCP4.5.

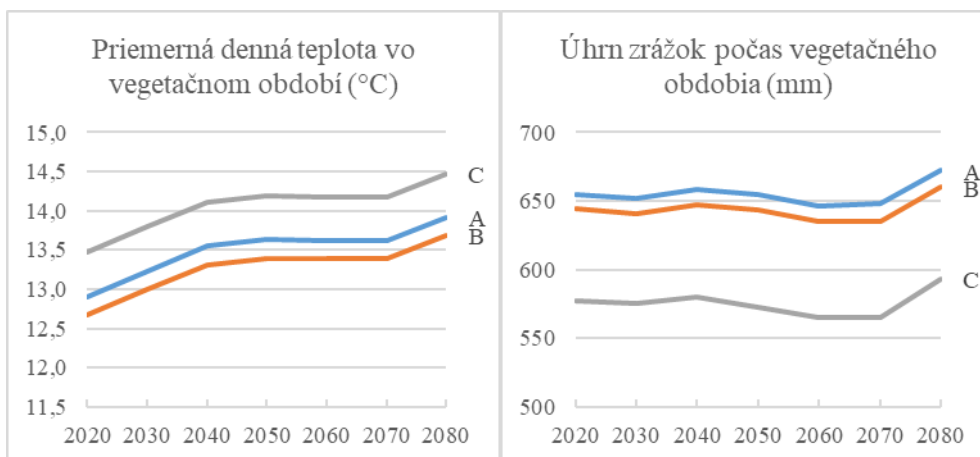
V tabuľke 1 sú uvedené priemerné hodnoty ekologických faktorov pre základné stanovištia pri referenčnej klíme 1990.

Tabuľka 1. Hodnoty ekologických faktorov pre základné stanovištia pri referenčnej klíme 1990

Stanovište	N <sub>2</sub> O <sup>1</sup>	CO <sub>2</sub> <sup>2</sup>	NUTR <sup>3</sup>	DAYS <sup>4</sup>	TAMPL <sup>5</sup>	TEMP <sup>6</sup>	MOIST <sup>7</sup>	PRECIP <sup>8</sup>
A	319,44	378,81	0,46	129	19,13	11,71	0,27	652
B	319,44	378,81	0,56	128	19,75	11,58	0,61	641
C	319,44	378,81	0,51	139	19,73	12,45	0,28	573

<sup>1</sup> N<sub>2</sub>O – obsah NO<sub>x</sub> v ovzduší (ppb), <sup>2</sup> CO<sub>2</sub> – obsah CO<sub>2</sub> v ovzduší (ppm), <sup>3</sup> NUTR – zásobovanie živinami v pôde (relatívna hodnota v rámci intervalu 0 až 1), <sup>4</sup> DAYS – počet dní vegetačného obdobia (dni v roku s priemernou dennou teplotou vyššou ako 10°C), <sup>5</sup> TAMPL – ročná teplotná amplitúda (rozdiel medzi minimálnou a maximálnou teplotou počas roka v °C), <sup>6</sup> TEMP – priemerná denná teplota vo vegetačnom období v °C (apríl až september), <sup>7</sup> MOIST – pôdna vlhkosť (relatívna hodnota v rámci intervalu 0 až 1), <sup>8</sup> PRECIP – úhrn zrážok počas vegetačného obdobia v mm (apríl až september).

Vývoj základných klimatických faktorov pri použití emisnom scenári RCP4.5 v rozmedzí rokov 2020 – 2080 znázorňuje obrázok 2.



**Obrázok 2.** Vývoj priemernej dennej teploty vzduchu a úhrnu zrážok vo vegetačnom období pre základné stanovišťa podľa použitého scenára zmeny klímy.

Zadefinovali sa 4 alternatívy manažmentu lesov: (1) bežné hospodárenie zamerané primárne na produkciu dreva (BH), (2) asistovaná migrácia zameraná na aktívne vnášanie drevín teplejších oblastí (AM), (3) prebudova na prírode blízke hospodárenie v lesoch (PB) a (4) bezzásahový režim s vylúčením akéhokoľvek hospodárenia (BZ).

Pri BH sa nastavila podúrovňová prebierka na začiatku simulácie a pre zvyšné simulačné periódy neutrálna prebierka. Pri AM sa nastavila neutrálna prebierka pre všetky simulačné periódy. Cez hodnotu marginálneho existenčného skóre sa podporil ďalší rast dreviny dub a jedľa. Pri PB sa nastavila neutrálna prebierka na začiatku simulácie a pre ostatné periódy silná úrovňová prebierka so znížením zakmenenia na 0,75 po zásahu. Sila zásahu sa modelovala zväčša na základe vývoja tabuľkového kritického zakmenenia podľa Halaja (1985). V rámci BZ bol vývoj porastu ponechaný na samovývoj. Pre každú simulačnú periódu sa nastavil ťažbový zásah 1x za desaťročie.

Štandardne prednastavená prirodzená mortalita stromov bola nahradená vlastným mortalitným modelom špecificky pre stanovište a drevinu na podklade údajov lesnej hospodárskej evidencie za obdobie 2011 – 2018.

Priemerné ceny dreva za roky 2017 – 2019 sa prevzali z cenníka podniku Lesy SR, š. p. Výkony týkajúce sa ťažby, sústreďovania a manipulácie dreva, spotreba materiálu, mzdové tarify a ostatné indexy ako náhrady za JMP a mzdové odvody sa nastavili podľa priemerných hodnôt platných pre územie Slovenska podľa rezortnej štatistiky za roky 2017 – 2019.

Pre hodnotenie dopadov zmeny klímy na RTP pri rôznych alternatívach manažmentu sa použili štyri ukazovatele:

**(1) Biodiverzita** (pozri Jaehne, S., Dohrenbusch, A., 1997) – celková diverzita ( $\epsilon$ ) vyjadruje agregáciu parciálnych zložiek diverzity, a to diverzity druhového zloženia ( $\alpha$ ), diverzity vertikálnej štruktúry ( $\beta$ ), diverzity priestorového rozmiestnenia stromov ( $\gamma$ ) a diverzity korunovej diferenciacie ( $\delta$ ):

$$\epsilon = 4\alpha + 3\beta + \gamma + \delta \quad (1)$$

**(2) Estetická hodnota lesa (EST)** je agregovaný ukazovateľ, ktorý v sebe spája vek hlavného porastu ( $t$ ), celkovú diverzitu ( $\epsilon$ ) a intenzitu ťažby dreva (% $\check{T}$ ). Je to bezrozmerné číslo

s hodnotami v intervale od 0 po 1. Čím je hodnota ukazovateľa bližšie k 1, tým je porast vekovo starší, s vyššou celkovou biodiverzitou a nižšou ťažbou dreva.

$$EST = (t + \varepsilon + \%T)/3 \quad (2)$$

IF ( $t \leq 100$ ) THEN  $t/100$ ; IF( $t > 100$ ) THEN  $t = 1$

$\varepsilon \in \langle 0, 10 \rangle$ ;  $\varepsilon / 10$

$\%T \in \langle 0, 1 \rangle$ ; IF ( $\%T \geq 1$ ) THEN  $\%T = 1$ ; IF ( $\%T < 1$ ) THEN  $1 - \%T$

**(3) Celková objemová produkcia (COP)** vyjadruje súčet zásoby hlavného porastu  $V_H$  vo veku  $t$  a sumy všetkých zásob podružného porastu  $V_P$  do veku  $t$  (vrátane):

$$COP(t) = V_H(t) + \sum_{i=1}^t V_P(i) \quad (3)$$

**(4) Ekonomická hodnota lesov** sa počítala ako čistá súčasná hodnota lesa podľa postupu pre výpočet nájomného z lesných pozemkov (Vyhláška MPRV SR č. 207/2019 Z.z.):

$$NPV_{A,R} = \sum_{r=0}^R NCF_r / (1+i)^r \quad (4)$$

$r \in \{0, R\}$

kde:

$NPV_{A,R}$  je suma čistých finančných tokov za dobu nájmu  $R$  diskontovaná k veku  $A$

$NCF$  čisté finančné toky (net cash flows) predstavujúce rozdiel výnosov a nákladov,

$A$  aktuálny vek porastu na začiatku doby nájmu

$R$  dojednaná doba nájmu

$r$  rok v ktorom nastal finančný tok od začiatku doby nájmu  $R$  po jej koniec

$i$  úroková miera ( $i = 2\%$ )

Rovnica 4 sumarizuje výnosy a náklady počas simulačnej doby  $R$ , diskontované k veku začiatku simulácií  $A$ . Za výnos sa považuje aj hodnota ostávajúceho porastu na konci simulácií.

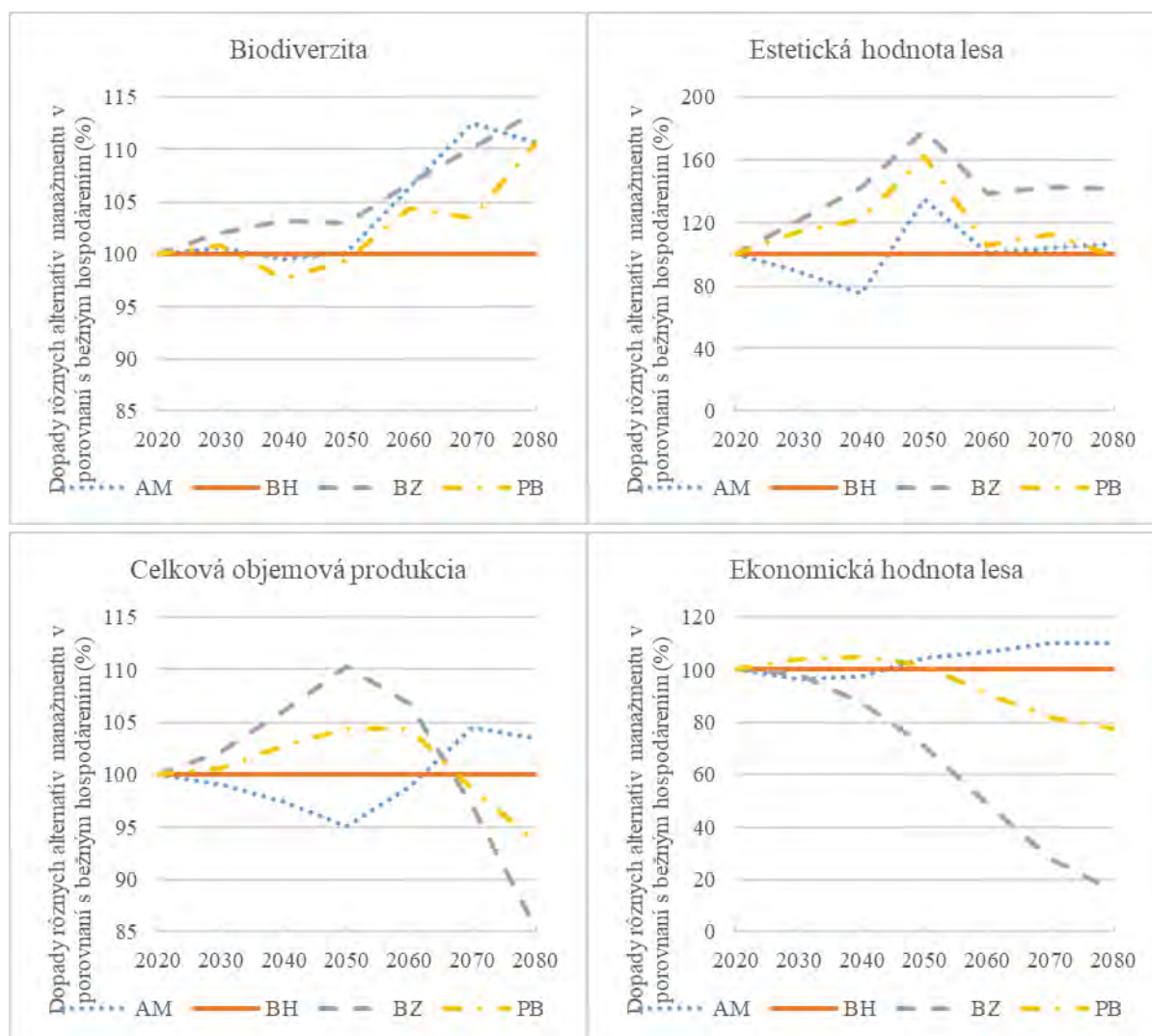
### 3 Výsledky a diskusia

V príspevku sú obsiahnuté výsledky simulácie vývoja storočnej smrečiny na kyslom horskom stanovišti. Vybraný RTP najlepšie charakterizuje lesné porasty v modelovom území, pričom v ostatných rokoch vplyvom škodlivých činiteľov dochádza k postupnému rozpadu týchto porastov a ohrozeniu plnenia tak produkčných, ako aj mimoprodukčných funkcií lesa.

Vplyv rôznych alternatív manažmentu lesa na plnenie vybraných ekosystémových služieb lesa v podmienkach zmeny klímy ilustruje obrázok 3. Z obrázka je zrejmé, že pre udržanie celkovej objemovej produkcie je najvhodnejšia asistovaná migrácia pri dlhom časovom horizonte. Asistovaná migrácia sa zameriava na skorú obnovu existujúcich smrečín a ich zamenou zmiešanými lesmi so zvýšeným zastúpením drevín prispôsobivých budúcej klíme,



ktorými sú v nižších polohách Beskýd najmä dub a vo vyšších polohách jedľa a buk. Vnášanie drevín z teplejších oblastí do vyšších polôh je častým adaptačným opatrením a opiera sa o výsledky výskumov, ktoré naznačili posun produkčného optima drevín do vyšších vegetačných stupňov (napr. Hlásny et al., 2011). V súvislosti s globálnym otepľovaním a zvyšovaním frekvencie výskytu extrémov počasia existujú opodstatnené dôvody domnievať sa, že odumieranie horských smrečín bude aj naďalej pokračovať a riziko rozpadu lesných ekosystémov sa zvyšovať. Z tohto dôvodu majú podsadby a predsadby veľký význam pre trvalosť a stabilizáciu zachovania lesa a zároveň zvyšujú štrukturálnu, druhovú a genetickú diverzitu lesných porastov (Saniga, M., Dendys, P., 2015). Mierny pokles v celkovej objemovej produkcii sa odhaduje pri prebudove na prírode blízke hospodárenie v porovnaní s bežným hospodárením. Jedným z vysvetlení by mohlo byť, že sa použila o 30 rokov dlhšia obnovná doba. Na druhej strane uplatňovanie bezzásahového režimu povedie pravdepodobne k výrazným stratám na celkovej objemovej produkcii a narušeniu ekologickej stability horských smrečín.



Obrázok 3. Odhadovaný vývoj vybraných ukazovateľov stavu lesa pri rôznych typoch jeho manažmentu

Najlepšie to môžeme vidieť pri ekonomickej hodnote lesa, ktorá v prípade bezzásahového režimu predstavuje iba hodnotu stojaceho porastu. Priaznivý dopad zmeny klímy na ekonomickú hodnotu lesa sa aj v tomto prípade ukazuje pri asistovanej migrácií. Mierny pokles hodnoty môžeme vidieť pri prebudove na prírode blízke hospodárenie v lesoch.

Na základe nami zvolených kritérií pre odvodenie estetickej hodnoty lesa je bezzásahový režim v popredí pred ostatnými alternatívami manažmentu lesa. Je potrebné povedať, že vnímanie lesa a jeho estetických hodnôt sa nedá tak ľahko popísať a kvantifikovať. Z výpočtu ukazovateľa je zrejmé, že čím je jeho hodnota bližšie k 1, tým je porast vekovo starší, s vyššou celkovou biodiverzitou a nižšou ťažbou dreva. Pri asistovanej migrácií dochádza k dočasnému poklesu estetickej hodnoty od začiatku simulácie čo priamo súvisí s krátkou obnovnou dobou 20 rokov. Naproti tomu, prebudova na prírode blízky, zmiešaný a priestorovo bohato štruktúrovaný nerovnoveký les dáva predpoklad úspešného plnenia estetickej funkcie lesa na rozdiel od bežného hospodárenia.

Najvyššiu biodiverzitu porastovej štruktúry môžeme predpokladať pri bezzásahovom režime. V kontraste s bežným hospodárením je možné očakávať potencióálne vyššiu biodiverzitu pri asistovanej migrácií a prebudove na prírode blízke hospodárenie v lesoch.

#### **4 Záver a odporúčania**

Stromové rastové simulátory sa ukázali byť účinným a flexibilným nástrojom pri modelovaní vývoja lesa a zároveň dôležitým nástrojom pri podpore rozhodovania v lesnom hospodárstve. V súčasnosti neustále rastie používanie rastových simulátorov a čoraz väčší význam nadobúdajú v oblasti výskumu a plánovania mitigačných a adaptačných opatrení s cieľom zmierniť negatívne dopady zmeny klímy na lesné ekosystémy.

Výsledky simulácií ukazujú, že z hľadiska udržania ekonomickej hodnoty lesa a celkovej objemovej produkcie lesov je najvhodnejšia asistovaná migrácia, ktorá sa zakladá na skorej obnove existujúcich smrečín a ich náhradou zmiešanými lesmi so zvýšeným zastúpením drevín lepšie pripravených vyrovnáť sa s očakávanými dopadmi zmeny klímy. V nižších polohách Beskýd ide najmä o dub a vo vyšších polohách je to jedľa a buk. Pre ekologické a estetické ukazovatele lesa sa lepšou cestou ako bežné hospodárenie ukazuje prebudova na prírode blízky, zmiešaný a priestorovo bohato štruktúrovaný nerovnoveký les. Z hľadiska biodiverzity a estetiky by podľa zvolených hodnotiacich kritérií najlepšie obstál les bez akéhokoľvek hospodárenia.

#### **Pod'akovanie**

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

#### **Literatúra**

FABRIKA, M. 2019. SIBYLA Triquetra. <http://sibyla.tuzvo.sk/>.

HALAJ, J. 1985. Kritické zakmenenie porastov podľa nových rastových tabuliek. In *Lesnícky časopis*. 1985, roč. 31, č. 4, s. 267 – 276.

HLÁSNY, T., BARCZA, Z., FABRIKA, M., BALÁZS, B., CHURKINA, G., PAJTÍK, J., SEDMÁK, R., TURČÁNI, M. 2011. Climate change impacts on growth and carbon balance of forests in Central Europe. In *Climate Research*. 2011, roč. 47, č. 3, s. 219 – 236.

JAEHNE, S., DOHRENBUSCH, A. 1997. A method to evaluate forest stand diversity. In *Forstwis. Centralblatt*. 1997, s. 333 – 345.

KAŠPAR, J., BETTINGER, P., VACIK, H., MARUŠÁK, R., GARCIA-GONZALO, J. 2018. Decision support approaches in adaptive forest management. In *Forests*. 2018, roč. 9, č. 4, s. 215.

NORDSTRÖM E. M., NIEUWENHUIS, M., BAŞKENT, E. Z., BIBER, P., BLACK, K., BORGES, J. G., BUGALHO, M. N., CORRADINI, G., CORRIGAN, E., ERIKSSON, L. O., FELTON, A., FORSELL, N., HENGEVELD, G., HOOGSTRA-KLEIN, M., KOROSUO, A., LINDBLADH, M., LODIN, I., LUNDHOLM, A., MARTO, M., MASIERO, M., MOZGERIS, G., PETTENELLA, D., POSCHENRIEDER, W., SEDMAK, R., TUCEK, J., ZOCCATELLI, D. 2019. Forest decision support systems for the analysis of ecosystem services provisioning at the landscape scale under global climate and market change scenarios. In *European Journal of Forest Research*. 2019, roč. 138, č. 4, s. 561 – 581.

SAKELLARIOU, S., TAMPEKIS, S., SAMARA, F., SFOUGARIS, A., CHRISTOPOULOU, O. 2017. Review of state-of-the-art decision support systems (DSSs) for prevention and suppression of forest fires. In *Journal of Forestry Research*. 2017, roč. 28, č. 6, s. 1107 – 1117.

SANIGA, M., DENDYS, P. 2015. *REKONŠTRUKCIE SMREKOVÝCH PORASTOV*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, 2015. 36 s. ISBN 978-80-228-2808-6.

TOMPO, E., GSCHWANTNER, TH., LAWRENCE, M., MCROBERTS, R. E. (Ed.) 2010. *National Forest Inventories: Pathways for common reporting*. Springer, 612 s. ISBN 978-90-481-3232-4.

VACIK, H., LEXER, M. J. 2013. Past, current and future drivers for the development of decision support systems in forest management. In *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2013, roč. 29, č. sup1, s. 2 – 19.

Vyhláška MPRV SR č. 207/2019 Z.z. o stanovení výšky nájomného k lesným pozemkom za hospodárenie v lesoch.

## Zhrnutie

**Potential impacts of climate change on selected ecosystem services of forests under different management regimes.** This study investigated the potential impacts of climate change on selected ecosystem services of forests under different management regimes in mature mountain Norway spruce forests during the period 2020–2080. The study area is located in the Beskydy Mountains, dominated by Norway spruce. We used the individual tree growth model SIBYLA Triquetra and input variables obtained from the regional climate model RCA4 (driven by the global climate model MPI-ESM-LR) to predict future forest development compared to baseline climate scenario of 1990 (1975-2005). The following management regimes were tested: no management (NM), business as usual (BAU), assisted migration of species (AM), transition to uneven-aged forests (UA). Our results suggest an important role for assisted migration of species in sustaining forest productivity regarding total volume production and economic value. Based on ecological and forest aesthetic indicators, conversion to richly structured mixed uneven-aged forests is most likely to be superior compared to currently applied management. Unmanaged forests would perform best in terms of biodiversity and forest aesthetics.

### **Kľúčové slová**

podpora rozhodovania; produkcia lesov; prognóza vývoja; adaptácia; biodiverzita

### **Kontaktná adresa**

Vlastimil Murgas  
Odbor lesníckej politiky, ekonomiky a manažmentu lesa  
Lesnícky výskumný ústav Zvolen  
Národné lesnícke centrum  
T.G. Masaryka 2175/22  
960 01 Zvolen, Slovakia  
vlastimil.murgas@nlesk.org

## POUŽITIE VYBRANÝCH SYSTÉMOV NA PODPORU ROZHODOVANIA V MANAŽMENTE LESOV

Maroš Sedliak

### 1 Úvod

Systémy na podporu rozhodovania (DSS) napomáhajú prijať efektívne a čo možno najsprávnejšie rozhodnutia v často zložito štruktúrovaných problémoch z rôznych oblastí hospodárstva, príp. ľudskej činnosti. Jednou z oblastí, v ktorej sa často vyskytujú zložito štruktúrované systémy je lesnícko-drevársky komplex. Miera zložitosti problémov vychádza zo zložitej povahy prírodných procesov zasahujúcich do vývoja lesa a hospodárenia v lese z hľadiska ekologických, ekonomických a sociálnych vplyvov, na ktoré má vplyv aj časopriestorové hľadisko. V súčasnosti patrí medzi najväčšie výzvy manažment lesov v podmienkach zmeny klímy a jej početným nežiadúcim prejavom, ako sú veterné polomy, dlhotrvajúce suchá alebo premnoženie hmyzích škodcov. Z drevárskeho pohľadu sa jedná hlavne o uvažovanie s technickými, ekonomickými a sociálnymi vplyvmi zasahujúcimi do procesu spracovania dreva.

Jedným z cieľov projektu LignoSilva je návrh architektúry nového systému na podporu rozhodovania v lesníctve. Tento článok prezentuje prehľad vybraných DSS používaných v manažmente lesov. V článku je prezentovaný stručný popis týchto systémov, ich účel a využitie pri riešení rozličných vedecko-výskumných alebo praktických problémov.

### 2 Prehľad systémov na podporu rozhodovania v manažmente lesa

#### 2.1 Systémy na podporu rozhodovania

Systémy na podporu rozhodovania v lesníctve majú obvykle povahu počítačových aplikácií, ktorých cieľom je napomáhať pri rozhodovaní vlastníkom alebo obhospodarovateľom lesov v rámci manažmentu lesov. V súčasnosti preferovaný adaptívny manažment lesov je sústredený na riešenie problémov so stabilitou lesných porastov v podmienkach klimatickej zmeny, ich odolnosťou voči jej prejavom (ako sú napr. veterné polomy, sucho, hmyzí škodcovia) a zabezpečenie plnenia rôznorodých ekosystémových služieb v lese (NOBRE et al., 2016). Tieto systémy v sebe často integrujú rôznorodé údaje, informácie a zadané alternatívy vývoja, napomáhajú ich analyzovaniu tak, aby vo výsledku poskytnú racionálne dopady alebo scenáre vývoja lesa. Jednoduchšie systémy pre podporu rozhodovania môžu integrovať rozličné priestorové a atribútové údaje. Ich vzájomným prepojením môžu poskytovať nové presnejšie informácie, ktoré môžu napomôcť pri rozhodovaní v lese.

Zoznam vybraných systémov na podporu rozhodovania používaných v manažmente lesov v Európe: Sibyla, Optimal, DSD, CONES, ClimChAlp, EMDS, LANDIS, ToSIA

#### 2.2 Sibyla

SIBYLA (Simulátor biodynamiky lesa) je stromový rastový simulátor vyvíjaný na Technickej univerzite vo Zvolene. Skladá sa z matematických modelov a algoritmov, ktoré slúžia pre napodobňovanie vývoja stromov v lesných ekosystémoch. Pri simuláciách zohľadňuje rastové parametre jednotlivých drevín, ich vzájomnú interakciu v poraste, výskyt škodlivých činiteľov, stanovištné a klimatické podmienky, aktívny manažment lesov atď. (FABRIKA, M., PRETZSCH, H., 2011). Simulátor Sibyla je kalibrovaný pre slovenské a nemecké

podmienky. Z hľadiska klimatických podmienok je aplikovateľná aj pre podmienky Českej republiky, Maďarska, Poľska a Rumunska. V príprave je klimatický model pre Ukrajinu, Bulharsko a Slovinsko. Simulátor je využiteľný pre všetky úrovne lesníckeho plánovania. Zohľadňuje produkčné, ekologické a ekonomické kritériá.

### 2.3 Optimal

Optimal predstavuje GIS nástroj vyvíjaný na Českej zemľedelskej univerzite v Prahe, ktorý je určený pre priestorovú a časovú optimalizáciu obnovných ťažieb navrhovaných v rámci rámcového alebo podrobného plánovania v lese. Nástroj využíva viacero matematických modelov pre priestorové plánovanie ťažieb s rozlíšením na jednotlivé zásahy v lesných porastoch. Cieľom nástroja je pomôcť odbornému hospodárovi pri plánovaní ťažieb v rámci zásad holorubného a podrastového hospodárskeho spôsobu. Jednotlivé podmienky a obmedzenia je možné do nástroja zadať prostredníctvom grafického užívateľského rozhrania. Nástroj zohľadňuje maximalizáciu ťažby a čistú súčasnú hodnotu. Využíva celočíselné a zmiešané celočíselné programovanie. Dosiahnuteľným efektom použitia tohto nástroja je zvýšenie objemu ťažby, zabezpečenie vyrovnanosti ťažieb v čase, maximalizácia zisku a minimalizácia nákladov na ťažbu a zjednodušenie plánovania obnovy lesných porastov v rámci LHP (v Českej republike) pri rešpektovaní platnej legislatívy (KAŠPAR et al., 2014; VOPĚNKA et al., 2015; MARUŠÁK et al., 2015; KAŠPAR et al., 2018).

### 2.4 DSD - Decision Support Dobrova

Systém na podporu rozhodovania Dobrova (angl. Decision Support Dobrova) je nástroj pre efektívnejšie hospodárenie v regióne Dobrova v Rakúsku. Je určený pre manažment lesných porastov zložených predovšetkým z borovice lesnej s primiešaním smreka obyčajného. Cieľom nástroja je poskytnúť podporu pri manažmente a premene lesov náchylných na výskyt sucha, veterných polomov a hmyzích škodcov. Cieľom manažmentu je prebudova ihličnatých porastov na zmiešané, ktoré budú lepšie odolávať spomínaným škodlivým činiteľom (LEXER, M.J., VACIK, H., 2021). Nástroj zohľadňuje potreby, očakávania a obmedzenia vlastníkov a obhospodarovateľov lesov a na základe výberu a hodnotenia manažmentových scenárov dokáže poskytnúť podporné údaje pre výber najvhodnejšieho z nich.

### 2.5 ToSIA

ToSIA (Tool for Sustainability Impact Assessment) alebo jeho novšia verzia Northern ToSIA (ToSIA 2.0) je nástroj na podporu rozhodovania v lesníckom sektore. Umožňuje analyzovať environmentálne, ekonomické a sociálne dopady zmien v lesnícko-drevárskom produkčnom reťazci (EFI, 2021). Je určená pre široké použitie, od lesníckych spoločností až po výskumníkov. Nástroj je založený na troch konceptoch:

- Alternatívne procesné reťazce (báza a scenáre)
- Tok materiálu v rámci reťazca (drevo, ťažba dreva a pod.)
- Procesné indikátory a indikátory toku materiálu a hodnotenie dopadov pri alternatívnych reťazcoch

V procese spracovania údajov je možné využiť 3 analýzy: Cost-Benefit Analysis, Multi-Criteria Analysis a Policy Analysis.

## PodĎakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## Literatúra

EFI, 2021: ToSIA - Leading the way to sustainability. Dostupné na internete: <http://tosia.efi.int/>

FABRIKA, M., PRETZSCH, H., 2011: Analýza a modelovanie lesných ekosystémov. Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen, 2011, 599 s.

KAŠPAR, J., MARUŠÁK, R., SEDMÁK, R., 2014: Spatial and non-spatial harvest scheduling versus conventional timber indicator in over-mature forests. *Forestry Journal* 60 (2014): 81-87.

KAŠPAR, J., BETTINGER, P., VACIK, H., MARUŠÁK, R., GARCIA-GONZALO, J., 2018: Decision support approaches in adaptive forest management. *Forests* 2018, 9, 215. 4 p.

LEXER, M.J., VACIK, H., 2021: DSD – Decision Support Dobrova. Dostupné na internete: <https://boku.ac.at/en/wabo/waldbau/research/working-areas/entscheidungsunterstuetzung/decision-support/dsd-decision-support-dobrova>

MARUŠÁK, R., KAŠPAR, J., VOPĚNKA, P., 2015: Decision Support Systems (DSS) Optimal—A Case Study from the Czech Republic. *Forests* (2015): 6, 163-182.

NOBRE, S., ERIKSSON, L.-O., TRUBINS, R., 2016: The Use of Decision Support Systems in Forest Management: Analysis of FORSYS Country Reports. *Forests* 2016, 7, 72. <https://doi.org/10.3390/f7030072>

VOPĚNKA, P., KAŠPAR, J., MARUŠÁK, R., 2015: GIS tool for optimization of forest harvest-scheduling. *Computers and Electronics in Agriculture* 113 (2015): 254–259.

## Zhrnutie

**Application of selected Decision Support Systems in Forest Management.** The paper provides brief information about decision support systems in forest management. At present, these systems are focused on adaptive forest management in conditions of climate change. The aim of the systems is to help solve ill-structured problems occurred in forest management also with manifestations of climate change, such as windthrows, droughts or occurrence of insect pests. 4 decision support systems from Europe are described in more detail, which are used not only in the field of research, but to some extent also in practice: Sibyla, Optimal, DSD, ToSIA.

## Kľúčové slová

system na podporu rozhodovania; manažment lesa;

### **Kontaktné adresy**

Ing. Maroš Sedliak, PhD.

Odbor lesníckej politiky, ekonomiky a manažmentu lesa

Lesnícky výskumný ústav

Národné lesnícke centrum

T.G. Masaryka 22

96001 Zvolen, Slovak Republic

maros.sedliak@nlcsk.org



## MOBILNÁ APLIKÁCIA PRE PLATFORMU WWW.SKODCOVIADREVIN.SK NA IDENTIFIKÁCIU ŠKODCOV A ZASIELANIE DOTAZOV

Andrej Kunca, Milan Zúbrik, Christo Nikolov, Bohdan Konôpka, Valéria Longauerová,  
Marcel Dubec

### 1 Úvod

Mobilné aplikácie sú pomerne obľúbený nástroj na to, ako sprístupniť internetovú službu užívateľom smartfónov. Mobilná apka je zjednodušene povedané taká softvérová aplikácia, ktorá bola vytvorená špeciálne pre smartfóny, tablety alebo iné mobilné zariadenia – vyžaduje si inštaláciu, a tým sa líši od bežného webu. Mobilné aplikácie a trh s nimi sa v posledných, približne desiatich rokoch rozvíja skutočne revolučným spôsobom.

V rámci programu postupného presunu poskytovania niektorých vybraných služieb v rámci Národného lesníckeho centra - Lesníckeho výskumného ústavu do internetového prostredia, sme v rámci projektu LIGNOSILVA navrhli, otestovali a následne aj sprevádzkovali internetovú aplikáciu s pracovným názvom „Škodcovia drevín“. Je určená pre majiteľov mobilných zariadení s operačným systémom Android.

Samotná myšlienka poskytnúť majiteľom a užívateľom lesa niečo, čo by im uľahčilo rozpoznanie príčiny poškodenia stromov a kríkov nie je nová. Táto myšlienka sa zrodila približne pred 20 rokmi a vyústila do publikovania viac ako 10 tlačených publikácií s touto témou (Novotný, Zúbrik (ed.) 2000, Zúbrik, Novotný (ed.) 2000, Novotný a kol. 2003, Novotný, Zúbrik (ed.) 2004, Zúbrik, Novotný (ed.) 2004, Kunca a kol. 2007, Zúbrik, Kunca, Novotný 2008, Zúbrik, Kunca 2011, Zúbrik, Kunca, Csoka (ed.) 2013a, Zúbrik, Kunca, Csoka (ed.) 2013b, Vakula, Zúbrik, Kunca a kol. 2015, Galko a kol. 2019, Zúbrik, Kunca a kol. 2019).

Aplikácia má v podstate len dve hlavné funkcionality (obr. 1). Prvou je atlas škodcov, ktorý užívateľovi prináša informácie o takmer 500 druhov škodcov, s ktorými sa môže stretnúť v lese. Druhou funkcionalitou je možnosť položiť otázku čo je príčinou nájdeného poškodenia tímu expertov, a to formou elektronického dotazu.

Aplikácia sa dá nájsť (a bezplatne stiahnuť) pod názvom „Škodcovia drevín“ v službe Obchod Play <https://play.google.com/store?gl=SK> a je funkčná v operačnom systéme Android. Pri vyhľadávaní zadávajte prosím názov bez diakritiky.

### 2 Základné funkcionality mobilnej aplikácie „Škodcovia drevín“

#### 2.1 FUNKCIONALITA 1: Atlas škodcov - databáza škodcov priamo v mobilnom telefóne ako pomôcka na určenie príčiny poškodenia stromu alebo kríku

Zámerom tvorby mobilnej aplikácie bolo, aby užívateľ mobilného telefónu mal vždy (bez ohľadu na dostupnosť siete) vo svojom mobile databázu škodcov, ktorú by mohol použiť na identifikáciu príčiny poškodenia.

V aktuálnej verzii (k 27. 8. 2021) je v aplikácii 483 druhov škodcov. Každý druh má samostatnú kartu škodcu. Je na nej jedna alebo viac fotografií a krátky popis. Jednotlivé druhy sú v atlase prehľadne zoradené podľa abecedy. Dajú sa jednoducho filtrovať podľa zvolených parametrov. Druhy sú rozdelené do šiestich kategórií (baktérie a vírusy, hmyz, huby, roztoče, zver, iné). Zaujímca si môže zvoliť jednu zo 60 drevín a nastaviť miesto, kde škodca žije

(kmeň, korene, list/ihlica, plod/semeno, vetva). Výber môže spresniť tým, že zadá, či sa škodca vyskytuje na Slovensku, či je to invázny druh a pod. Potom sa môže pokúsiť, z pomedzi takto vyselektovaných druhov, nájsť ten, ktorý najviac zodpovedá jeho prípadu (obr. 2).



Obrázok 1. Úvodná strana mobilnej aplikácie

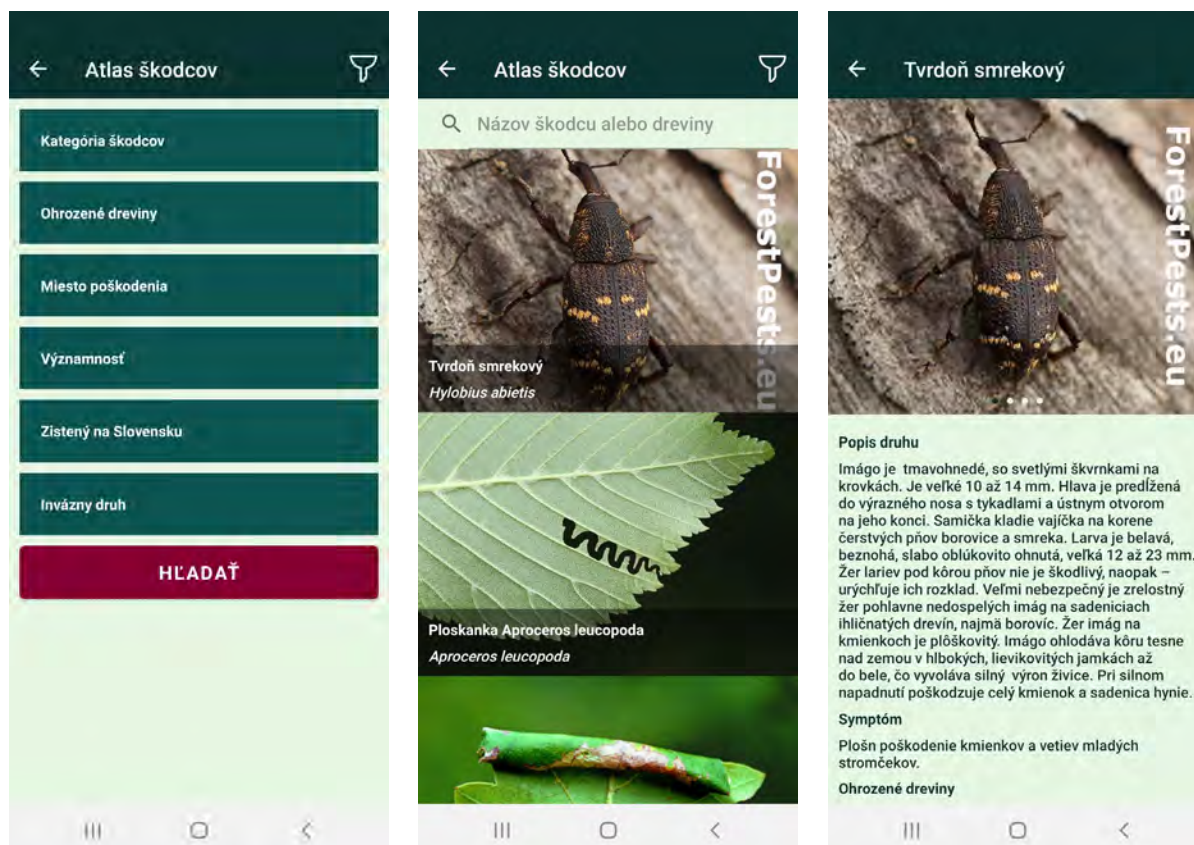
## 2.2 FUNCIONALITA 2: Identifikácia škodcov - zaslanie elektronického dotazu na určenie príčiny poškodenia priamo z lesa

Ak sa pohybujete v prírode, v lese, v mestskom parku alebo vo vlastnej záhrade s okrasnými a ovocnými stromami, môže sa vám stať, že zistíte neznáme poškodenie stromu, alebo kríku. Ak nevíete o aké poškodenie sa jedná, stačí ak miesto poškodenia odfotíte priamo cez mobilnú aplikáciu, vyplníte jednoduchý dotazník a fotografiu (maximálne 4) odošlete.

Pred fotením cez aplikáciu, táto automaticky zaznamená súradnice miesta, kde bola fotografia urobená (polohu mobilu) a odošle ich spolu so žiadosťou o identifikáciu na server. Ďalej sa už postupuje rovnako ako pri dotaze z desktopovej verzie stránky [www.skodcoviadrevin.sk](http://www.skodcoviadrevin.sk). Tím expertov sa na váš dotaz pozrie a pokúsi sa identifikovať príčinu poškodenia. Odpoveď

dostanete mailom. Vaša otázka a odpoveď na ňu sa zobrazí aj na stránke <https://www.skodcoviadrevin.sk/zoznam-ziadosti>.

Upozorňujeme, že aplikácia zaznamenáva polohu mobilného telefónu. Preto je potrebné povoliť v mobile zdieľanie polohy a prenos dát.



**Obrázok 2.** V rámci prvej funkcionality (atlas škodcov), mobilná aplikácia umožňuje triedenie škodcov podľa šiestich kritérií (vľavo), následne umožňuje jednoduché prehľadávanie škodcov (v strede) a o každom druhu poskytuje niekoľko základných informácií a jednu alebo viacero fotografií (vpravo).



**Obrázok 3.** QR kód mobilnej aplikácie. Po naskenovaní budete automaticky presmerovaný na Google Play, odkiaľ si môžete aplikáciu bezplatne stiahnuť.

## PodĎakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## Literatúra

- GALKO, J., ZÚBRIK, M. A KOL., 2019. Invázne a nepôvodné druhy v lesoch Slovenska: hmyz, huby, rastliny. Národné lesnícke centrum, Zvolen, 147s. ISBN 978-80-8093-257-2
- KUNCA, A., ZÚBRIK, M., NOVOTNÝ, J. A KOL., 2007. Škodlivé činitele lesných drevín a ochrana pred nimi. 1. vyd. Zvolen: Národné lesnícke centrum, 208s. ISBN 978-80-8093-048-6
- NOVOTNÝ, J., VARÍNSKY J., A KOL., 2003. Ochrana lesa. Ústav pre výchovu a vzdelávanie pracovníkov LVH SR Zvolen, 145 s. ISBN 80-89100-03-1
- NOVOTNÝ, J., ZÚBRIK, M. (ED.), 2000. Biotickí škodcovia lesov Slovenska. Lesnícka sekcia MP SR, Gerlach Slovakia, 206 s. ISBN 80-967541-1-4
- NOVOTNÝ, J., ZÚBRIK, M. (ED.), 2004. Biotickí škodcovia lesov Slovenska. Polnochem a. s. 206 s. ISBN: 80-969093-2-0
- VAKULA, J., ZÚBRIK, M., KUNCA, A. A KOL., 2015. Nové metódy ochrany lesa. NLC, Zvolen, 292 s. ISBN 978-80-8093-191-9
- ZÚBRIK, KUNCA A KOL. 2019. Hmyz a huby : atlas poškodení lesných drevín. II. doplnené vydanie. 243 s., ISBN 978-80-8093-267-1
- ZÚBRIK, M., KUNCA A., CSOKA, G. (ED.), 2013A. Insectes ravageurs et maladies des arbres et arbustes d'Europe. Napediton, Paris, 535 s. ISBN 978-2-913688-17-9
- ZÚBRIK, M., KUNCA A., CSOKA, G. (ED.), 2013B. Insects and Diseases damaging trees and shrubs of Europe. Napediton, Paris, 535 s. ISBN 9782913688186
- ZÚBRIK, M., KUNCA, A., 2011. Hmyz a huby našich lesov: atlas škôd na drevinách spôsobených hmyzmi a hubovými škodlivými činiteľmi. Národné lesnícke centrum, Zvolen, 200 s. ISBN 978-80-8093-143-8
- ZÚBRIK, M., KUNCA, A., NOVOTNÝ, J., 2008. Hmyz a huby : atlas poškodení lesných drevín. NLC – LVÚ Zvolen, 178 s. 978-80-8093-044-8
- ZÚBRIK, M., NOVOTNÝ, J. (ED.), 2000. Kalendár ochrany lesa. Gerlach Slovakia, 94 s. ISBN 80-967541-2-2
- ZÚBRIK, M., NOVOTNÝ, J. (ED.), 2004. Kalendár ochrany lesa. Polnochem a. s., 94 s. ISBN 80-969093-3-9
- ZÚBRIK, M., RELL, S., KUNCA, A., GALKO, J., VAKULA, J., LEONTOVYČ, R., GUBKA, A., NIKOLOV, CH., 2020. Mníška veľkohlavá a jej gradácia v rokoch 2019-2020. Les & Letokruhy ,76 (4): 34 – 35.

## **Zhrnutie**

**Mobile application for platform [www.skodcoviadrevin.sk](http://www.skodcoviadrevin.sk) for pest identification and sending inquiries.** The article presents a new internet application "Škodcovia drevín" for an Android system. The application has two main functionalities. First of all, it is an atlas of pests, which brings the user information about almost 500 species of pests that can be encountered in the forest. The second functionality is the ability to ask a question about the cause of damage to the team of experts, through an electronic formular.

## **Kľúčové slová**

mobilná aplikácia; škodlivý hmyz a huby v lese; internetové nástroje; mapovanie;

## **Kontaktné adresy autorov**

Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu

Lesnícky výskumný ústav Zvolen

Národné lesnícke centrum

T.G. Masaryka 2175/22

960 01 Zvolen, Slovak Republic

[andrej.kunca@nlcsk.org](mailto:andrej.kunca@nlcsk.org), [milan.zubrik@nlcsk.org](mailto:milan.zubrik@nlcsk.org), [christo.nikolov@nlcsk.org](mailto:christo.nikolov@nlcsk.org),

[bahdan.konopka@nlcsk.org](mailto:bahdan.konopka@nlcsk.org), [valeria.longauerova@nlcsk.org](mailto:valeria.longauerova@nlcsk.org), [marcel.dubec@nlcsk.org](mailto:marcel.dubec@nlcsk.org)

## INTERNETOVÁ PLATFORMA WWW.SKODCOVIADREVIN.SK NA IDENTIFIKÁCIU A MAPOVANIE ŠKODCOV

Milan Zúbrik, Andrej Kunca, Christo Nikolov, Bohdan Konôpka, Valéria Longauerová,  
Marcel Dubec

### 1 Úvod

Jedným zo základných predpokladov úspechu v praktickej ochrane lesa je správna identifikácia škodlivého činiteľa. Od tejto skutočnosti sa potom odvíjajú vlastné obranné a ochranné opatrenia a závisí od nich aj ich účinnosť a efektívnosť. Na domácom trhu je dostatok knižných publikácií, ktoré sa venujú tejto problematike (Novotný, Zúbrik (ed.) 2000, Zúbrik, Novotný (ed.) 2000, Novotný a kol. 2003, Novotný, Zúbrik (ed.) 2004, Zúbrik, Novotný (ed.) 2004, Kunca a kol. 2007, Zúbrik, Kunca, Novotný 2008, Zúbrik, Kunca 2011, Zúbrik, Kunca, Csoka (ed.) 2013a, Zúbrik, Kunca, Csoka (ed.) 2013b, Vakula, Zúbrik, Kunca a kol. 2015, Galko a kol. 2019, Zúbrik, Kunca a kol. 2019).

Internet vstupuje do našich životov stále vo väčšej miere. Preto sme sa rozhodli, že informácie, ktoré by mohli pomôcť pri identifikácii škodcov lesa zverejníme aj na internete. Tak vznikla internetová platforma [www.skodcoviadrevin.sk](http://www.skodcoviadrevin.sk). Jej cieľ bol od začiatku najmä pomôcť odborníkom, špecialistom ale aj laikom orientovať sa v spektre škodcov lesa a pomocou fotografií a krátkeho textu im uľahčiť identifikáciu škodcov stromov alebo kríkov.

Okrem internetového atlasu, tento nástroj poskytuje aj možnosť mapovania škodcov. Prostredníctvom rozhrania na zadávanie dotazov užívateľa poskytujú správcovi systému aj informáciu o priestorovej lokalizácii poškodenia. Táto informácia sa archivuje a poskytuje sa aj ostatným užívateľom platformy zdarma. Takýmto spôsobom sa postupne vytvára obraz o priestorovom rozšírení druhu na Slovensku. To pomáha aj pri samotnej identifikácii škodcov.

Atlas je určený majiteľom lesov, správcom a obhospodarovateľom lesov, správcom parkov, a mestskej zelene, majiteľom okrasných a úžitkových záhrad, distribútorom a predajcom okrasnej zelene, študentom a všetkým tým, ktorí majú radi les a prírodu. Atlas je zameraný na biotické škodlivé činitele napádajúce dreviny a kry nie len v lese, ale aj v záhradách, parkoch, mestskej zeleni či v ovocných sadoch.

### 2 Základné funkcionality platformy [www.skodcoviadrevin.sk](http://www.skodcoviadrevin.sk)

#### 2.1 Databáza škodcov ako pomôcka na určenie príčiny poškodenia stromu alebo kríku

V aktuálnej verzii (k 27. 8. 2021) je v atlase na stránke [www.skodcoviadrevin.sk](http://www.skodcoviadrevin.sk) uvedených vyše 483 druhov škodcov. Každý druh má samostatnú kartu škodcu (obr. 1). Je na nej jedna alebo viac fotografií a krátky popis. Jednotlivé druhy sú v atlase prehľadne zoradené podľa abecedy. Dajú sa jednoducho filtrovať podľa zvolených parametrov. Druhy sú rozdelené do šiestich kategórií (baktérie a vírusy, hmyz, huby, roztoče, zver, iné). Zaujemca si môže zvoliť jednu zo 60 drevín a nastaviť miesto, kde škodca žije (kmeň, korene, list/ihlica, plod/semeno, vetva). Výber môže spresniť tým, že zadá, či sa škodca vyskytuje na Slovensku, či je to invázny druh a pod. Potom sa môže pokúsiť, z pomedzi takto vyselektovaných druhov, nájsť ten, ktorý najviac zodpovedá jeho prípadu.

Niektoré vybrané druhy škodcov, majú okrem krátkeho popisu v samostatnej časti aj podrobnejší popis, prípadne krátke video, ktoré záujemcovi tiež pomôže s identifikáciou.

« Späť na výpis

### Čerň javorová

*Rhytisma acerinum*

**Popis druhu**

K infekcii listov dochádza v máji cez priechody na spodnej strane listov. Koncom mája až v júli sú na listoch žltkavé škvrny, v ktorých sa postupne vytvárajú čierne bodky. Tie sa zväčšujú a spájajú do jednej 0,7 – 2 cm veľkej čiernej škvrny, ktoré môžu časom vypadávať. *Rhytisma punctatum* (Pers.: Fr.) Fr. sa makroskopicky odlišuje tým, že čierne bodky sa do jednej škvrny nespájajú ani v dospelosti, ako aj mikroskopicky spórami. Ochorenie má praktický význam len v škólkach, kde na semenáčikoch a sadeniach znižuje asimilačnú plochu a tým aj prírastok a odolnosť.

**Symptóm**

Čierne okrúhle škvrny na listoch.

**Ohrozené dreviny:** Javor

**Miesto poškodenia:** List/lhlica

**Významnosť:** Menej významný

**Kategória škodcov:** Huby

**Zistený na Slovensku:** Áno

**Invázy druh:** Nie

ForestPests.eu

Zobrazit' celý album

Vlož na porovnanie

Určíme vášho škodcu

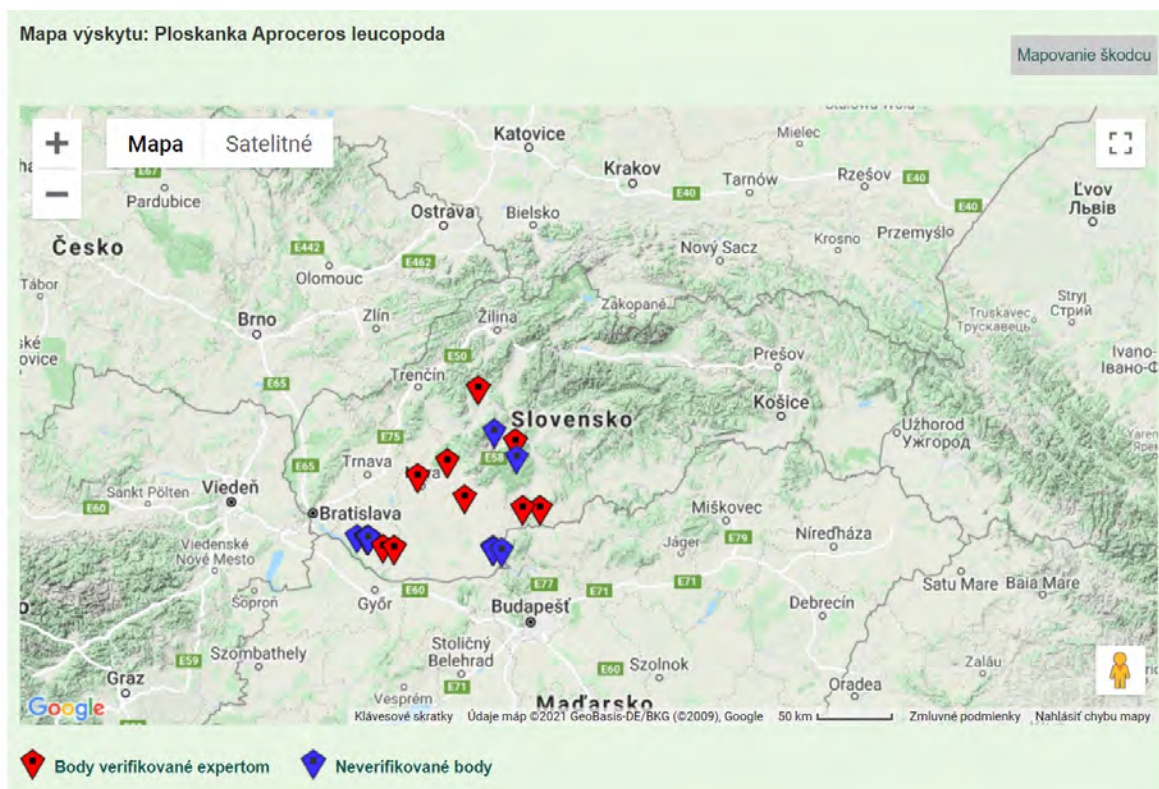
**Obrázok 1.** Príklad karty škodcu druhu čerň javorová *Rhytisma acerinum*.

Jeden z dôležitých podkladov pre správnu determináciu škodcu je informácia o jeho doterajšom výskyte. Pri každom druhu škodcu sa preto na karte škodcu zobrazuje mapa rozšírenia daného druhu (obr. 2). Miesta výskytu systém generuje na základe informácií od užívateľov atlasu. Červené body sú tie, ktoré boli preverené správcami systému, špecialistami na jednotlivé skupiny škodcov. Modré body sú také, ktoré užívatelia zadávajú do mapy bez ďalšieho overenia správcami platformy. Tlačidlá na spodnom okraji mapy umožňujú zapnúť resp. vypnúť jednotlivé typy bodov.

## 2.2 Systém na zaslanie elektronického dotazu na určenie príčiny poškodenia

Ak sa pohybujete v prírode, v lese, v mestskom parku alebo vo vlastnej záhrade s okrasnými a ovocnými stromami, môže sa stať, že zistíte poškodenie stromu, alebo kríku. Ak poškodenie odfoťíte, môžete cez stránku <https://www.skodcoviadrevin.sk/urcime-skodcu> vložiť vašu fotografiu, lokalitu nálezu a môžete požiadať o určenie príčiny poškodenia. Jeden zo správcov platformy - z tímu 11 expertov (tvorených pracovníkmi NLC, TU Zvolen a SAV Zvolen), ktorému bude vaša žiadosť pridelená, sa na váš problém pozrie a zašle vám odpoveď mailom.

Odpoveď sa spolu s vašou otázkou zobrazí aj na stránke <https://www.skodcoviadrevin.sk/zoznam-ziadosti> (obr. 3). Systém umožňuje každému návštevníkovi stránky triediť dotazy podľa dátumu, podľa dreviny, podľa druhu škodcu alebo podľa akéhokolvek kľúčového slova. Tu tiež záujemca vidí, komu bol jeho dotaz pridelený a ako dlho trvá určenie príčiny poškodenia.



**Obrázok 2.** Mapa invázneho druhu *Aproceros leucopoda* s lokalitami výskytu vygenerovaná na základe mapovania užívateľov atlasu (<https://www.skodcoviadrevin.sk/skodca/ploskanka-aproceros-leucopoda> stav k 26. 8. 2021).

### 2.3 Mobilná aplikácia - využívajte služby stránky škodcovia drevín priamo v lese prostredníctvom vášho mobilného telefónu

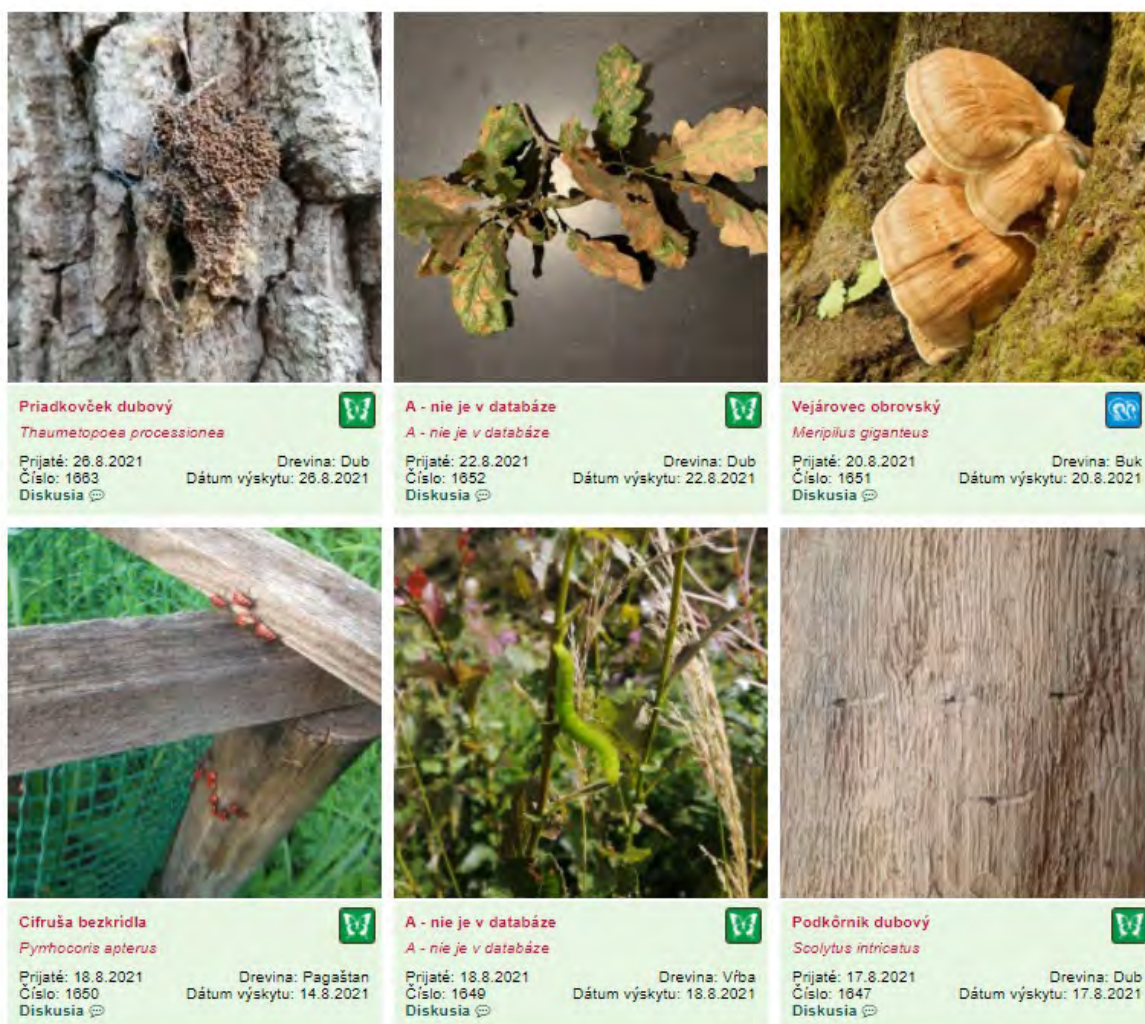
V lese sa často stáva, že nemáte potrebný signál alebo nemáte prístup k počítaču. Aj na to sme pamätali. Stačí, ak si stiahnete našu mobilnú aplikáciu pre systém Android a môžete mať náš systém na určovanie škodcov stále pri sebe!

V rámci posledných úprav bola navrhnutá, naprogramovaná a otestovaná mobilná aplikácia pre systém Android. Zámerom bolo, aby sa užívateľ mobilného telefónu priamo v lese mohol pokúsiť o identifikáciu škodcu tým, že bude prehliadať databázu škodcov.

Môže tiež priamo cez aplikáciu poslať dotaz na určenie príčiny poškodenia. Pred fotením cez aplikáciu, táto automaticky zaznamená súradnice miesta, kde bola fotografia urobená (polohu mobilu) a odošle ich spolu so žiadosťou o identifikáciu na server. Ďalej sa už postupuje rovnako ako pri dotaze z desktopovej verzie stránky [www.skodcoviadrevin.sk](http://www.skodcoviadrevin.sk). Experti dotaz zhodnotia a pošlú užívateľovi odpoveď mailom, pričom odpoveď sa zobrazí aj na stránke <https://www.skodcoviadrevin.sk/zoznam-ziadosti>.

Aplikácia sa dá nájsť pod názvom škodcovia drevín v službe Obchod Play <https://play.google.com/store?gl=SK> a je funkčná v operačnom systéme Android.





Obrázok 3. Zoznam vybavených dotazov na stránke <https://www.skodcoviadrevin.sk/zoznam-ziadosti> (stav k 26. 8. 2021).

## 2.4 Mapujte škodcov vo svojej vlastnej mape – personalizované mapovanie

Mapujte škodcov lesa vo vlastnom lese alebo inom záujmovom území na svojej vlastnej mape. Budete si tak môcť archivovať miesta výskytu jednotlivých druhov škodcov v našom systéme a navyše pomôžete aj ostatným návštevníkom stránky pri identifikácii poškodenia.

Ako na to? Vytvorte si v systéme škodcovia drevín váš vlastný účet. Existujú 2 spôsoby ako to urobiť. Registrujte sa na stránke <https://www.skodcoviadrevin.sk/registracia>, alebo nám pošlite dotaz na určenie príčiny poškodenia a po jeho spracovaní vám systém vytvorí váš účet automaticky. Heslo a ďalšie informácie vám prídu mailom.

Po prihlásení do systému registrovaný návštevník môže mapovať škodcov na zvolenom území vo svojom vlastnom účte.

Mapovať môže len taký druh škodcu, ktorého fotografiu so súradnicami výskytu pred tým zaslal cez rozhranie <https://www.skodcoviadrevin.sk/urcime-skodcu> a jeho žiadosť bola už spracovaná.

Na jeho úcte sa následne objaví mapa daného druhu a užívateľ môže jednoduchým spôsobom vkladať do mapy „neverifikované“ body (označené na mapách modrou farbou). Môže vkladať aj „verifikované“ body (označené na mapách červenou farbou), tie ale vloží až po schválení administrátorom stránky. Takto sa zabezpečí to, aby užívateľ mapoval len taký druh, kde je predpoklad že sa s ním už stretol a že existujú určitá záruka, že pri vkladaní „neverifikovaných“ bodov sa nebude jednať o zámenu s iným druhom.

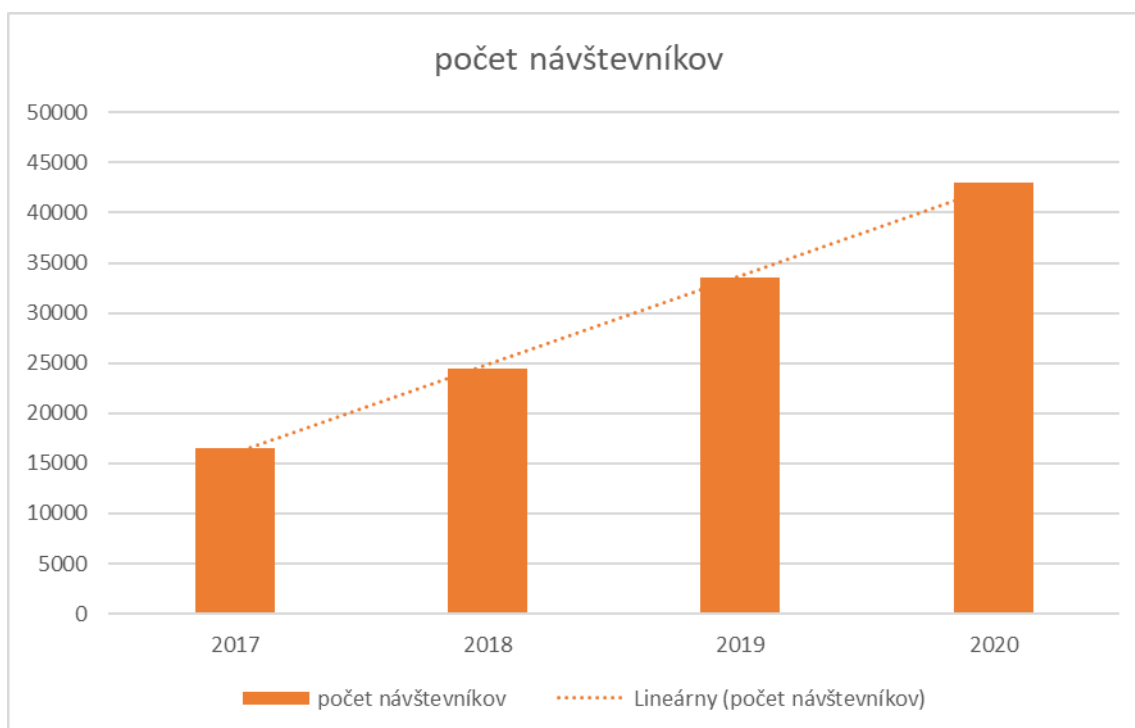
V rámci svojho účtu môže užívateľ zmeniť svoj nik, fotografiu a uviesť niekoľko základných informácií o sebe.

Užitočnou funkciou je nastavenie súkromia. Ak nechcete aby bol váš účet viditeľný pre ostatných užívateľov, jednoducho zaškrtnete túto možnosť a vaše mapovanie zostane pred zrakmi iných užívateľov skryté. Body, ktoré ste zadali do mapy síce zostanú viditeľné na centrálnej mape rozšírenia škodcu na karte škodcu, ale ostatní užívatelia nezistia, kto dané body zadal.

### 3 Ďalšie informácie o platforme [www.skodcoviadrevin.sk](http://www.skodcoviadrevin.sk)

#### 3.1 Štatistika

Na propagáciu stránky sa nepoužíva žiadny aktívny marketing (Google Adwords, E-Target alebo podobne). Na základe metriky Google Analytics, navštívilo stránku [www.skodcoviadrevin.sk](http://www.skodcoviadrevin.sk) približne 120 000 užívateľov, čo je priemerne cca 28 000 návštevníkov ročne alebo ak chcete, tak cca 80 užívateľov denne (maximum 668 návštevníkov dňa 17. augusta 2019). Počet užívateľov každoročne rovnomerne narastá (obr. 4), čo svedčí o zvyšujúcom sa záujme užívateľov o tento produkt.



**Obrázok 4.** Počet užívateľov internetovej stránky [www.skodcoviadrevin.sk](http://www.skodcoviadrevin.sk) od roku 2017 do roku 2020 (vrátane).

### 3.2 Ďalší rozvoj

Udržateľnosť systému sa zabezpečuje financovaním prostredníctvom domácich a zahraničných projektov. V ďalšom období sa plánuje:

- Vývoj mobilnej aplikácie pre systém iOS (mobilná aplikácia pre mobily od firmy Apple).
- Zlepšenie užívateľského komfortu serverovej verzie stránky [www.skodcoviadrevin.sk](http://www.skodcoviadrevin.sk).
- Ďalší rozvoj personalizovaného mapovania na stránke (manažment fotografií).
- Anglická mutácia stránky bežiacia na platforme [www.forestpests.eu](http://www.forestpests.eu).

### PodĎakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

### Literatúra

- GALKO, J., ZÚBRIK, M. A KOL., 2019. Invázne a nepôvodné druhy v lesoch Slovenska: hmyz, huby, rastliny. Národné lesnícke centrum, Zvolen, 147 s. ISBN 978-80-8093-257-2
- KUNCA, A., ZÚBRIK, M., NOVOTNÝ, J. A KOL., 2007. Škodlivé činitele lesných drevín a ochrana pred nimi. 1. vyd. Zvolen : Národné lesnícke centrum, 208 s. ISBN 978-80-8093-048-6
- NOVOTNÝ, J., VARÍNSKY J., A KOL., 2003. Ochrana lesa. Ústav pre výchovu a vzdelávanie pracovníkov LVH SR Zvolen, 145 s. ISBN 80-89100-03-1
- NOVOTNÝ, J., ZÚBRIK, M. (ED.), 2000. Biotickí škodcovia lesov Slovenska. Lesnícka sekcia MP SR, Gerlach Slovakia, 206 s. ISBN 80-967541-1-4
- NOVOTNÝ, J., ZÚBRIK, M. (ED.), 2004. Biotickí škodcovia lesov Slovenska. Polnochem a. s. 206 s. ISBN: 80-969093-2-0
- VAKULA, J., ZÚBRIK, M., KUNCA, A. A KOL., 2015. Nové metódy ochrany lesa. NLC, Zvolen, 292 s. ISBN 978-80-8093-191-9
- ZÚBRIK, KUNCA A KOL. 2019. Hmyz a huby : atlas poškodení lesných drevín. II. doplnené vydanie. 243 s., ISBN 978-80-8093-267-1
- ZÚBRIK, M., KUNCA A., CSOKA, G. (ED.), 2013A. Insectes ravageurs et maladies des arbres et arbustes d'Europe. Napédition, Paris, 535 s. ISBN 978-2-913688-17-9
- ZÚBRIK, M., KUNCA A., CSOKA, G. (ED.), 2013B. Insects and Diseases damaging trees and shrubs of Europe. Napédition, Paris, 535 s. ISBN 9782913688186
- ZÚBRIK, M., KUNCA, A., 2011. Hmyz a huby našich lesov: atlas škôd na drevinách spôsobených hmyzmi a hubovými škodlivými činiteľmi. Národné lesnícke centrum, Zvolen, 200 s. ISBN 978-80-8093-143-8
- ZÚBRIK, M., KUNCA, A., NOVOTNÝ, J., 2008. Hmyz a huby : atlas poškodení lesných drevín. NLC – LVÚ Zvolen, 178 s. 978-80-8093-044-8
- ZÚBRIK, M., NOVOTNÝ, J. (ED.), 2000. Kalendár ochrany lesa. Gerlach Slovakia, 94 s. ISBN 80-967541-2-2
- ZÚBRIK, M., NOVOTNÝ, J. (ED.), 2004. Kalendár ochrany lesa. Polnochem a. s., 94 s. ISBN 80-969093-3-9

ZÚBRIK, M., REL, S., KUNCA, A., GALKO, J., VAKULA, J., LEONTOVYČ, R., GUBKA, A., NIKOLOV, CH., 2020. Mníška veľkohlavá a jej gradácia v rokoch 2019-2020. Les & Letokruhy ,76 (4): 34 – 35.

## Zhrnutie

**Internet platform [www.skodcoviadrevin.sk](http://www.skodcoviadrevin.sk) for identification and mapping of forest pests.** The article presents internet services running on the websites [www.skodcoviadrevin.sk](http://www.skodcoviadrevin.sk). Service is the digital online version of the printed atlas, previously published by the team of researchers working at Forest Protection Service. It is designed to identify pests of trees and shrubs and is intended for the non-professional and professional public. There are currently more than 480 pest species in the system. Each species is described by one or more photos and a short description. The map shows the actual distribution of every species, recorded by users. The species are arranged alphabetically in the system. They can be easily filtered according to the selected parameters. During the implementation of the project LIGNOSILVA, several already existing functionalities were improved and some new were programmed, tested, and implemented. For example, a new system for user inquiries has been introduced. In addition, a mobile application for an Android system and personalization of the mapping system has been developed. The service is not supported by any special advertisement system. It has an average of about 80 visitors per day (in the period from 2017 to 2020), with a maximum of 668 visitors on August 17, 2019. The number of visitors to the web page is constantly increasing.

## Kľúčové slová

škodlivý hmyz a huby v lese; internetové nástroje; mobilné aplikácie; mapovanie; invázne druhy škodcov;

## Kontaktné adresy autorov

Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu

Lesnícky výskumný ústav Zvolen

Národné lesnícke centrum

T.G. Masaryka 2175/22

960 01 Zvolen, Slovak Republic

[milan.zubrik@nlcsk.org](mailto:milan.zubrik@nlcsk.org), [andrej.kunca@nlcsk.org](mailto:andrej.kunca@nlcsk.org), [christo.nikolov@nlcsk.org](mailto:christo.nikolov@nlcsk.org),

[bahdan.konopka@nlcsk.org](mailto:bahdan.konopka@nlcsk.org), [valeria.longauerova@nlcsk.org](mailto:valeria.longauerova@nlcsk.org), [marcel.dubec@nlcsk.org](mailto:marcel.dubec@nlcsk.org)

## MAVYSK; NÁSTROJ NA VEĽKOPLOŠNÉ MAPOVANIE ŠKODCOV V LESOCH SLOVENSKA

Christo Nikolov, Milan Zúbrik, Andrej Kunca, Bohdan Konôpka, Valéria Longauerová,,  
Marcel Dubec

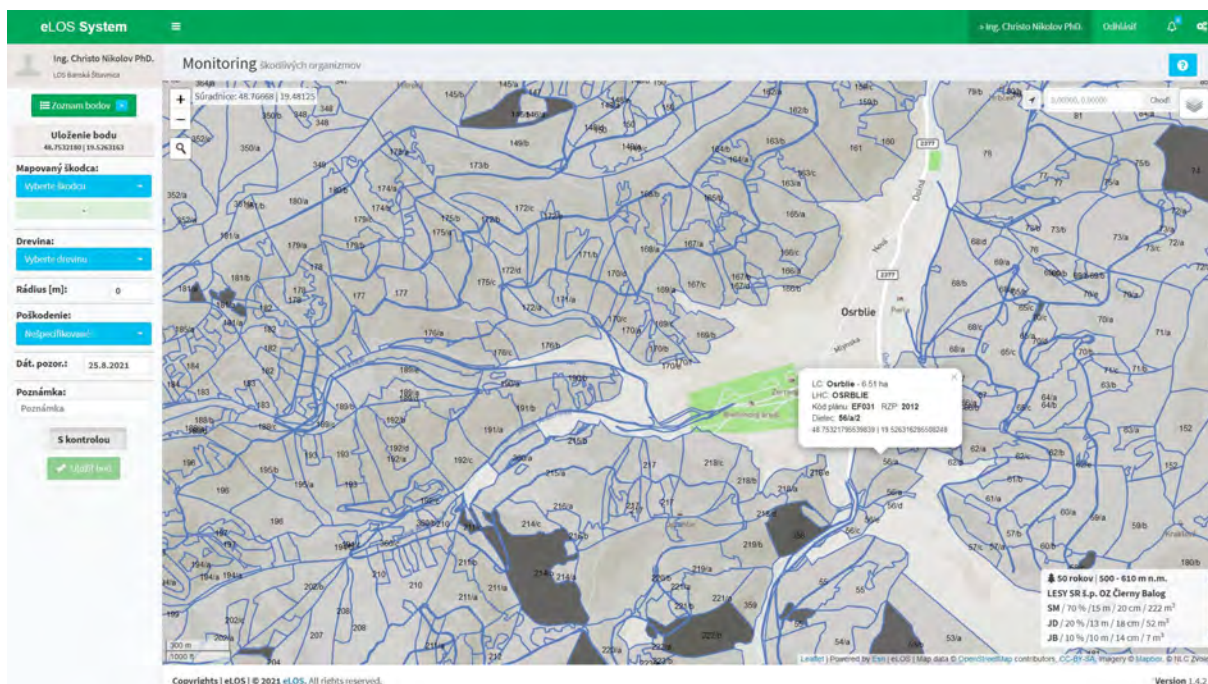
### 1 Úvod

Reakcia biotických škodcov na zmenu klímy predstavuje jedno z najväčších rizík pre lesné ekosystémy. Lesní škodcovia reagujú na zmenené podmienky takmer bezprostredne, resp. v priebehu niekoľkých rokov môžu vytvoriť veľké populácie a rozšíriť sa mimo hraníc ich prirodzeného výskytu. Pre zvládnutie dopadov globálnych klimatických zmien na lesné ekosystémy je kľúčové zabezpečiť efektívne opatrenia ochrany lesa. V mnohých prípadoch je efektívnosť týchto opatrení limitujúcim faktorom trvalo udržateľného manažmentu lesa. Mapovanie populačnej dynamiky lesných škodcov je jedným zo základných predpokladov výberu vhodných opatrení vykonávaných v rámci ochrany lesných porastov. Zbierané údaje slúžia na viacero účelov, napr. na: sledovanie migrácie škodcov; načasovanie príchodu škodcov do ekosystémov; plánovanie a časový rozvrh opatrení; predikcie výskytu a vývoja ďalších generácií škodcov atď. Včasné varovanie a predpovede na základe údajov z monitoringu poskytujú informácie o škodlivých činiteľoch, na základe ktorých je možné minimalizovať škody na porastoch, optimalizovať boj proti týmto škodcom a znížiť celkové náklady na pestovanie a údržbu lesa.

Mapová služba MAVYSK umožňuje mapovanie domácich a nepôvodných škodlivých druhov hmyzu a húb v lesoch Slovenska. Aplikácia je primárne určená pre profesionálov. Službu používajú špecialisti Lesníckej ochrannárskej služby (LOS) a pracovníci iných odborných inštitúcií (ÚKSUP, š. p. LESY SR).

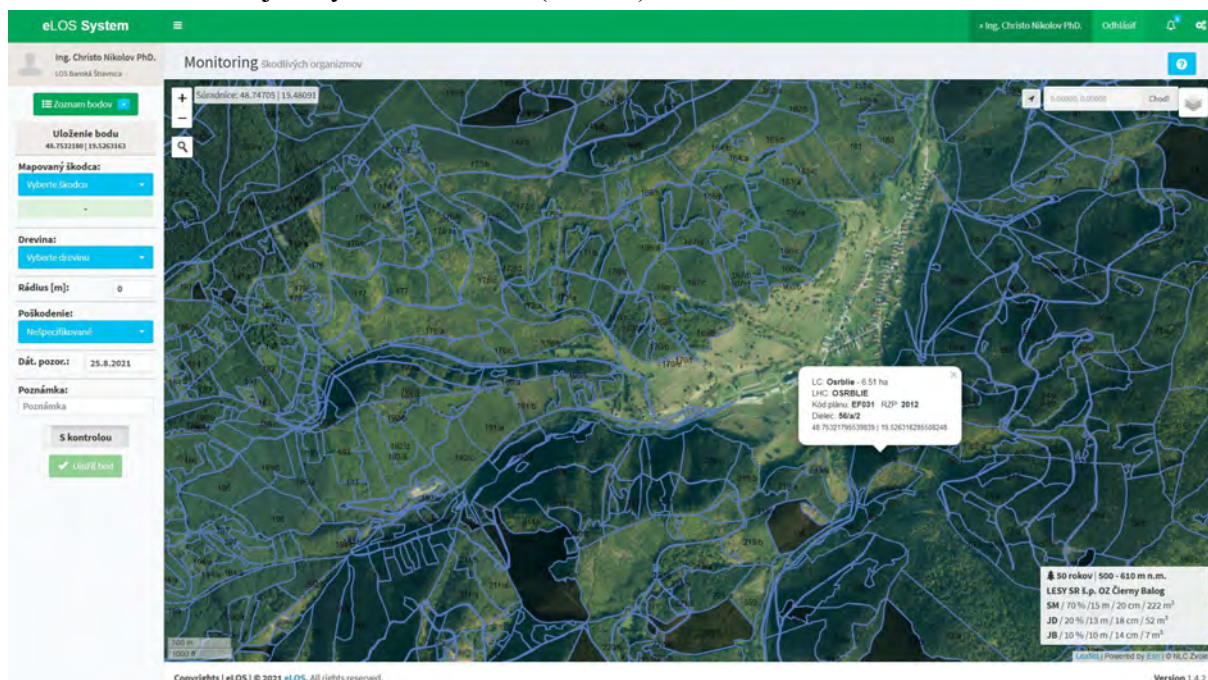
### 2 Ako systém funguje

Zadávanie údajov o výskyte škodcov do systému funguje na dvoch platformách; cez webový prehliadač v počítači a priamo v teréne cez webový prehliadač na smartfóne s GPS a internetovým pripojením. Do aplikácie sa zadávajú nasledovné údaje: mapovaný škodca, druh dreveniny, rozsah poškodenia, dátum pozorovania a poznámka k danému pozorovaniu. Po zadaní lokality výskytu škodcu systém automaticky k uloženým údajom priradí aj geografické súradnice. Pre lepšie lokalizovanie porastu sa po priblížení zobrazuje vrstva jednotiek priestorového rozdelenia lesa (JPRL) s dreveninovým zložením (obr. 1.). Vrstva JPRL slúži aj na plánovanie kontroly porastov, kde si užívateľ môže vytipovať dielce, do ktorých pôjde mapovať zdravotný stav a výskyt škodcov. Po kliknutí na dielec sa v pravom dolnom rohu zobrazí dreveninové zloženie daného dielca s percentuálnym zastúpením drevín v dielci.



Obrázok 1. Uživatelské prostredie MAVYSK.

Stav lesa je dynamický jav. Zmeny skutočnej kondície a stav porastov sa premietnu do vrstvy JPRL len v intervaloch aktualizácie, čo je v prípade tejto digitálnej vrstvy interval 10 rokov. Pre lepšiu identifikáciu aktuálneho stavu porastu je v systéme MAVYSK zakomponovaná aj podkladová vrstva leteckých ortofotosnímkov s priestorovým rozlíšením 20 cm/pixel a je aktualizovaná v dvojročných intervaloch (obr . 2.).



Obrázok 2. Ortofotosnímka s porastovou mapou.

Vytvorené digitálne vrstvy výskytu škodcov spolu s údajmi o ich polohe je možné exportovať do viacerých formátov a pomocou štatistických a GIS nástrojov študovať a prognózovať zákonitosti šírenia sledovaných škodcov.

Systém MAVYSK je modifikovateľný, v prípade objavenia škodcu, ktorý ešte nie je v databáze, je možné tohto škodcu pridať (obr. 3.).

Podľa druhu škodcu	Podľa druhu škodcu	Podľa druhu škodcu	Podľa druhu škodcu	Podľa druhu škodcu	Podľa druhu škodcu	Podľa druhu škodcu	Podľa druhu škodcu
<b>Agrilus anxius</b>	<i>Agrilus anxius</i>	Hmyz podkôrný	Výletové otvory v tvare písmena D, chradnutie stromu, rôzne smerované serpentínovité požerky pod kôrou	Mapovanie	EIOL	Správa	Dreviny
<b>Agrilus auroguttatus</b>	<i>Agrilus auroguttatus</i>	Hmyz podkôrný	V mieste napadnutia vytvárá na kmeni tmavú riasku. Meandrovité požerky typické pre rod <i>Agrilus</i> . Výletové otvory tvaru písmena "D".				
<b>Agrilus planipennis</b>	<i>Agrilus planipennis</i>	Hmyz podkôrný	Veľmi nebezpečný škodca, lebo sa veľmi ťažko identifikuje. Napáda najprv hornú časť kory, pričom neprodukuje žiadne vypadajúce dreviny a zvyčajne ho zdieľajú až keď napadne spodná časť kmeňa, alebo sa už prílišne výletové otvory tvaru „D“. Symptomom je predčasné žltnutie a opadávanie listov, postupné odumieranie konárov, kory až nakoniec celého stromu.				
<b>Alternaria premenlivá</b>	<i>Alternaria alternata</i>	Hubový patogén	Spôsobuje zakrivenie kmeňa semenačiek do oca 9 týždňov od vyklíčenia a následne tzv. padanie semenačiek.				
<b>Anoplophora glabripennis</b>	<i>Anoplophora glabripennis</i>	Hmyz drevokazný	Požerky na kmeni, okružité výletové otvory s priemerom cca 1 cm, odumieranie a lámanie konárov.				
<b>Anoplophora chinensis</b>	<i>Anoplophora chinensis</i>	Hmyz drevokazný	Požerky na kmeni, okružité výletové otvory s priemerom cca 1 cm, odumieranie a lámanie konárov.				
<b>Atropellis spp.</b>	<i>Atropellis spp.</i>	Hubový patogén	Nekróza kôry a rakovinové zhrubnutie vetiev.				
<b>Brvúka Wilkommova</b>	<i>Lachnellula wilkomi</i>	Hubový patogén	Rakovinové hrče a deformácie kmeňa a vetiev.				
<b>Cenangium hrdzavé</b>	<i>Cenangium ferruginosum</i>	Hubový patogén	Čierne piodnice na vetvách.				
<b>Cryphonectria parasitica</b>	<i>Cryphonectria parasitica</i>	Hubový patogén	Nekróza kôry a rakovinové zhrubnutie vetiev.				
<b>Červec bukový</b>	<i>Cryptococcus fagi</i>	Hmyz cicavý	Biele povlaky na kmeňoch, často veľmi nevýrazné, len ako malé biele bodky.				
<b>Červená sypanka</b>	<i>Dothistroma septosporium</i>	Hubový patogén	Bledozitá až hnedá škvrna, ktoré pripomínajú aj ranky po cicaní hmyzom na ihličkách.				
<b>Čiaškočka bledá</b>	<i>Hymenoscyphus pseudoalbidus</i> , <i>Inonotus chalcitra fraxinivora</i>	Hubový patogén	Nekróza kôry, vetiev a kmeňa, zasychanie letorastov, čiernohnedé škvrny na listoch				

Obrázok 3. Administračné rozhranie aplikácie MAVYSK.

Každý škodca má v systéme priradené hositeľské dreviny, ktoré poškodzuje. Ďalej sú v systéme uvedené symptómy, podľa ktorých je možná identifikácia daného druhu na danej drevine. Tieto parametre slúžia ako kontrolný filter pri zadávaní výskytu škodcov, aby sa zamedzili chybné zadávania výskytu škodcov na drevinách, ktoré nenapádajú. V prípade, že sa v poraste nachádzajú dreviny, ktoré nie sú uvedené v digitálnej porastovej JPRL vrstve, je možné zadať výskyt bez kontroly. Funkciu je možné spustiť tlačidlom „S kontrolou“, ktoré sa nachádza na ľavom paneli užívateľského rozhrania (obr. 1 a 2) a prepína systém do stavu „Bez kontroly“. Takisto je možné zadať aj výskyt škodcu na drevinách a v porastoch, ktoré nie sú evidované vo vrstve JPRL.

Keďže systém MAVYSK je určený primárne pre odborníkov, mapovaní škodcovia a zadávané údaje nie sú verifikované inšpektormi LOS. Predpokladá sa, že osoba, ktorá údaje o mapovaných škodcoch zadáva, je vyškolená, zadané údaje sú bezchybné a nie je potrebná ich následná kontrola.

Systém MAVYSK je v prípade potreby možné konfigurovať a jeho zmenená verzia môže byť využitá na monitoring jednotlivých škodcov samostatne. Jedná sa o kalamitné druhy, ktoré sú mapované profesionálmi na rozsiahlych lesných územiach SR. V takejto zmenenej podobe bol systém využitý pri monitoringu premnoženia mnišky veľkohlavej (obr. 4) a imelovca európskeho.



**Obrázok 4.** Webová stránka aplikácie na monitoring mnišky veľkohlavej (vľavo) a monitorované lokality mnišky veľkohlavej v roku 2019 (vpravo).

Nástroj na mapovanie vyššie spomenutých škodcov bol využitý pri monitoringu a kontrole viac ako 10 tisíc lokalít na takmer 50 tisíc hektároch lesa ročne v období 2018 až 2020. Aplikáciu využil štátny podnik Lesy SR a obhospodarovatelia neštátnych lesov. Celkovo údaje zadávalo viac ako tisíc užívateľov. Na základe údajov z mapovania boli na územiach s vysokým výskytom znášok mnišky veľkohlavej vykonávané obranné opatrenia.

### 3 Záver

Profesionálny nástroj MAVYSK na monitorovanie škodcov umožňuje získať prehľad o výskyte kalamitného škodcu, veľkosti populácie a rozsahu škôd. Systém je jednoducho modifikovateľný a dá sa prispôbiť na rôzne scenáre monitoringu. Hlavnou výhodou systému je jeho využitie pri mapovaní rozmerných území. Pomocou veľkého množstva profesionálnych užívateľov systém umožňuje mapovať rozsiahle územia napadnutých porastov v relatívne krátkom časovom úseku. Na základe zozbieraných údajov je možné navrhnúť a zacieliť obranné opatrenia na miesta s vysokým výskytom monitorovaného škodcu. Na príklade využitia systému pri monitoringu mnišky veľkohlavej môžeme konštatovať, že sa aj pomocou MAVYSK-u podarilo znížiť škody na porastoch a taktiež ušetriť značné finančné prostriedky.

### Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

### Zhrnutie

**MAVYSK; Mapping application for monitoring large-scale forest areas in Slovakia.** The response of biotic pests to climate change is one of the most significant risks to forest ecosystems. Forest pests respond almost immediately to the changed conditions. Therefore, effective forest protection measures are crucial to managing the impacts of climate change on forest ecosystems. In many cases, the effectiveness of these measures is a limiting factor of sustainable forest management. Monitoring the population dynamics of forest pests is one of the essential preconditions for selecting suitable measures within a framework of forest protection. Online mapping application MAVYSK is designed for various forest pest tracking. In addition, the application can be easily extended and can serve as a tool for



outbreak monitoring. Professionals used the mapping tool to monitor large-scale areas of *Lymantria dispar* and *Loranthus europaeus* outbreaks from 2018-2020. Using current data on harmful pests, publishing them on the website, and creating follow-up protective measures against monitored pests help prevent a pest outbreak from getting out of control. Early warning and forecasting systems based on monitoring data will help minimize forest damages, optimize pest control, and reduce overall costs.

### **Kľúčové slová**

škodcovia drevín, monitoring škodcov, mapová aplikácia

### **Kontaktné adresy**

Christo Nikolov, Milan Zúbrik, Andrej Kunca, Bohdan Konôpka, Valéria Longauerová,  
Marcel Dubec

Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu

Lesnícky výskumný ústav Zvolen

Národné lesnícke centrum

T.G. Masaryka 2175/22

960 01 Zvolen, Slovak Republic

christo.nikolov@nlcsk.org, milan.zubrik@nlcsk.org, andrej.kunca@nlcsk.org,

bohdan.konopka@nlcsk.org, valeria.longauerova@nlcsk.org, marcel.dubec@nlcsk.org

# POZEMNÉ MOBILNÉ LASEROVÉ SKENOVANIE V INVENTARIZÁCII LESA: TECHNOLÓGIA, APLIKÁCIA, VYUŽITEĽNOSŤ

Ivan Sačkov

## 1 Úvod

V lesných ekosystémoch dochádza pôsobením antropogénnych, biotických a abiotických činiteľov k neustálym zmenám. Inventarizácia lesa, ktorá poskytuje relevantné informácie o stave a vývoji týchto ekosystémov je preto pre zabezpečenie trvalo udržateľného manažmentu a ochrany prírodného bohatstva veľmi dôležitá a v tejto súvislosti národnými autoritami podporovaná až legislatívne vyžadovaná (SZARKA, P., BAVLŠÍK, J., 2018).

Geopriestorové technológie a techniky majú mimoriadne rozsiahle aplikačné možnosti v inventarizácii lesa (MALTAMO, M. et al. 2014). Požadované informácie sú totiž získavané, spracovávané a analyzované z väčšej miery automatizovane, so známou mierou presnosti, na voliteľnej plošnej úrovni a zároveň sú tieto informácie priestorovo a časovo lokalizované.

Značný aplikačný potenciál v inventarizácii lesa na lokálnej úrovni má technológia pozemného laserového skenovania (TLS), ktorá najmä vo forme pozemného mobilného laserového skenovania (MLS) umožňuje získavať množstvo presných LiDAR dát využiteľných na zistenie väčšiny stromových charakteristík (HYYPÄ, E. et al. 2020).

## 2 Pozemné mobilné laserové skenovanie

### 2.1 Technológia

Skenovanie technológiou TLS sa vykonáva zo zeme pričom laserový skener je umiestnený na nepohybujúcom sa nosnom zariadení (napr. statív). LiDAR dáta sú v tomto prípade väčšinou zabezpečované spájaním záznamov z rôznych pozícií skenera, na ktoré ho je nutné vždy individuálne stabilizovať. Rôzne pozície skenera tak umožňujú zaznamenať objekty z rôznych strán, ale ich počet jednoznačne ovplyvňuje čas a energiu potrebnú na realizáciu skenovania. Z prevádzkového hľadiska je preto efektívnejšou alternatívou technológia MLS, ktorá umožňuje zo zeme zaznamenať objekty z rôznych strán prostredníctvom jedného kontinuálneho záznamu. Laserový skener je v tomto prípade umiestnený na pohybujúcom sa technickom zariadení (napr. vozidlo, Obr. 1a) alebo je nesený človekom (napr. batoh, Obr. 1b).

### 2.2 Aplikácia

Oblasti aplikácie MLS v inventarizácii lesa:

- Mapovanie lesnej cestnej siete a zhodnotenie jej technického stavu vrátane tvorby digitálnych modelov terénu s vysokým rozlíšením.
- Zisťovanie kvantitatívnych ako aj kvalitatívnych stromových charakteristík vrátane tvorby originálnych alometrických modelov.

Výhody aplikácie MLS v inventarizácii lesa:

- Možnosť operatívnej aplikácie skenovania v rámci individuálneho manažmentu súvisiacich aktivít.
- Možnosť zabezpečenia veľkého množstva LiDAR dát dosahujúcich až milimetrovú presnosťou.

Nevýhody aplikácie MLS v inventarizácii lesa:

- Obmedzená aplikácia skenovania lokálnym rozsahom a potenciálne nestabilným príjmom GNSS signálu počas kontinuálneho záznamu.
- Obmedzená aplikácia MLS-založenej inventarizácie lesa použitím len stromového prístupu.
- Obmedzený záznam LiDAR dát nad korunami stromov.
- Relatívne vysoká obstarávacia cena skenovacieho zariadenia.

### 2.3 Využitelnosť

Z dostupných informácií vyplýva, že technológia MLS sa v inventarizácii lesa reálne nevyužíva a globálne je táto oblasť zatiaľ len predmetom výskumu a vývoja.

V Európe sa aplikáciou MLS v inventarizácii lesa podrobnejšie zaoberá predovšetkým skupina fínskych vedeckých a akademických inštitúcií spolupracujúcich v rámci „Centre of Excellence in Laser Scanning Research (CoE-LaSR)“. V tejto spolupráci bol skonštruovaný nekomerčný skenovací systém, ktorý je nesený technickým zariadením alebo človekom a z väčšej časti pozostáva z unifikovaných zariadení tretích strán (KUKKO, A. et al. 2012). V slovenských podmienkach sa celkovo prvé zhodnotenie aplikačného potenciálu MLS dát za účelom inventarizácie lesa vykonávalo v priebehu rokov 2019-2021 v rámci riešenia projektu „Výskum a vývoj na podporu konkurencieschopnosti slovenského lesníctva (SLOV-LES)“. V roku 2021 sa pritom plánuje aj obstaranie komerčného skenovacieho systému neseného človekom, a to v rámci aktivít „Centra excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu (LignoSilva)“.

Z uvedených dôvodov výskum zameraný na využitie technológie MLS v inventarizácii lesa nie je rozsiahly. Dostupné štúdie založené na dátach zo skenera, ktorý je nesený človekom ale preukazujú jasný aplikačný potenciál v tejto oblasti. Vyplýva z nich, že v závislosti od zvoleného plánu skenovania je týmto spôsobom možné zabezpečiť za jednu hodinu dáta z plochy až niekoľko sto metrov štvorcových. Podiel správne identifikovaných stromov na základe týchto dát môže dosiahnuť úroveň  $80 \pm 20\%$  (HUNČAGA, M. et al. 2020). Celková chyba (RMSE%) zistenia výšky, hrúbky a objemu týchto stromov pritom s pravdepodobnosťou 68% v určitých prípadoch dosahuje hodnotu  $10 \pm 4\%$ ,  $9 \pm 4\%$  a  $12 \pm 2\%$  (HYYPÄ, E. et al. 2020).



**Obrázok 1.** Technológia pozemného mobilného laserového skenovania: a) Leica Pegasus: Two; b) Leica Pegasus: Backpack.

### 3 Záver

Inventarizácia lesa poskytuje relevantné informácie o stave a vývoji lesných ekosystémov, ktoré sú nevyhnutné pre zabezpečenie trvalo udržateľného manažmentu a ochrany prírodného bohatstva.

Geopriestorové technológie a techniky majú mimoriadne rozsiahle aplikačné možnosti v inventarizácii lesa, pričom značný aplikačný potenciál na lokálnej úrovni má predovšetkým technológia MLS, ktorá umožňuje relatívne rýchlo získavať veľké množstvo presných LiDAR dát využiteľných na zistenie väčšiny stromových charakteristík.

Z dostupných informácií vyplýva, že aplikácia MLS v inventarizácii lesa je na globálnej úrovni len predmetom výskumu a vývoja. V Európe sa touto problematikou zaoberá predovšetkým skupina fínskych vedeckých a akademických inštitúcií, ktoré od roku 2014 spolupracujú v rámci aktivít centra excelentnosti „CoE-LaSR“. V slovenských podmienkach sa celkovo prvé zhodnotenie aplikačného potenciálu MLS dát za účelom inventarizácie lesa vykonávalo v priebehu rokov 2019-2021 v rámci riešenia projektu „SLOV-LES“ a v roku 2021 sa v rámci aktivít centra excelentnosti „LignoSilva“ plánuje obstaranie komerčného skenovacieho systému neseného človekom.

### PodĎakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

### Literatúra

HUNČAGA, M., CHUDÁ, J., TOMAŠTÍK, J., SLÁMOVÁ, M., KOREŇ, M., CHUDÝ, F. 2020. The Comparison of Stem Curve Accuracy Determined from Point Clouds Acquired by Different Terrestrial Remote Sensing Methods. *Remote Sensing*. 12: 2739.

HYYPPÄ, E., KUKKO, A., KAIJALUOTO, R., WHITE, J.C., WULDER, M.A., PYÖRÄLÄ, J., LIANG, X., YU, X., WANG, Y., KAARTINEN, H., VIRTANEN, J.P., HYYPPÄ, J. 2020. Accurate derivation of stem curve and volume using backpack mobile laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 161: 246-262.

MALTAMO, M., NAESSET, E., VAUHKONEN, J. 2014. *Forestry Application of Airborne Laser Scanning: Concept and Case Studies*; Springer: Dordrecht, The Netherlands. 460 s.

KUKKO, A., KAARTINEN, H., HYYPPÄ, J., CHEN, Y. 2012. Multiplatform Mobile Laser Scanning: Usability and Performance. *Sensors*. 12: 11712-11733.

SZARKA, P., BAVLŠÍK, J. 2018. 250-ročná tradícia vypracovania lesných hospodárskych plánov na Slovensku. *Les&Letokruhy (07)*: 4-6.

### Zhrnutie

**Mobile laser scanning in forest inventory: Technology, Application, Usability.** Forest inventory based on combination of data from airborne laser scanning, aerial imaging and mobile laser scanning provides the opportunity for partial or complete replacement of an extensive forest mensuration, which is physically, economically and time-consuming. This review presents base information on (1) importance of forest inventory for sustainable management of natural resources, and (2) application potential of mobile laser scanning in the

forest inventory, including technical principles and alternatives, advantages and disadvantages, fields of application, achievable accuracy and current situation of applicability in the world and in Slovakia.

### **Kľúčové slová**

Diaľkový prieskum Zeme; LiDAR; Monitoring lesa

### **Kontaktné adresy**

Ivan Sačkov  
Odbor lesníckej politiky, ekonomiky a manažmentu lesa  
Lesnícky výskumný ústav Zvolen  
Národné lesnícke centrum  
T.G. Masaryka 2175/22  
960 01 Zvolen, Slovak Republic  
ivan.sackov@nlcsk.org

## DETEKCIA VNÚTORNÝCH CHÝB GULATINY DREVA POMOCOU CT SKENEROV

Vojtěch Ondrejka, Tomáš Gergel', Peter Veverka, Tomáš Bucha

### 1 Úvod

Drevná surovina je jeden z najvýznamnejších obnoviteľných zdrojov s veľmi širokým využitím. Dnešná spoločnosť kladie čoraz väčší dôraz na environmentálne štandardy, čo spôsobilo významné zvýšenie nárokov na posudzovanie kvality a pôvodu drevnej suroviny. Európska únia z týchto dôvodov vytvorila niekoľko nástrojov zameraných na reguláciu a legalizáciu ťažby dreva. Celosvetovo veľký nárast intenzity obhospodarovania lesov a spracovanie guľatiny vyžaduje výrazne rýchlejšie a presnejšie hodnotenie vlastností dreva.

Tvar ideálnej guľatiny sa viac alebo menej odlišuje od tvaru valca. Reálna guľatina má rôzne zakrivenie, rastové chyby dreva (hrče, praskliny, hniloba, dutiny) alebo chyby spôsobené technológiou ťažby (vytrhnutá trieska, odštiepenie, technologická prasklina). Dnes sú dostupné prostriedky s využitím nedeštruktívnych metód pre kvantitatívne a kvalitatívne hodnotenie na základe vonkajších a vnútorných znakov guľatiny dreva. Najmodernejšie defektoskopické metódy kombinujú niekoľko technológií (röntgen, laserové lúče, obrazové metódy...).

Zhotovovanie snímok pomocou röntgenových lúčov siahajú do konca 19. storočia, kedy Wilhelm Conrad Röntgen objavil röntgen. V druhej polovici 80-tych rokov boli röntgenové metódy postupne aplikované do drevospracujúceho priemyslu (Österberg, 2009). Táto technológia bola rozšírená o moderné počítačové systémy, ktoré automatizujú postprocesingové spracovanie získaných dát. Existuje iba niekoľko štúdií, ktoré sa zaoberajú inteligentnými systémami skenovaní guľatiny dreva, ktoré sa dnes bežne využívajú v praxi. Výskum v prvej fáze spracovania guľatiny je dôležitý, pretože v drevárskom priemysle boli v posledných rokoch vyvinuté inteligentné skenovacie technológie (Gergel' et al., 2019). Pre úspešné zavedenie inteligentných skenovacích technológií je potrebné zaručiť aktualizáciu softvéru a súčasne zabezpečiť prepojenie s druhou etapou spracovania dreva. V tejto fáze sa berú do úvahy ďalšie faktory ako napríklad výber spôsobu rezania, výber rezacieho stroja a životnosť rezných nástrojov (Lopez et al., 2015). Druhá etapa spracovania dreva a vplyvy na jeho účinnosť sú pomerne dobre opísané v mnohých prácach ako napríklad v štúdiu využívania neurónových sietí na predpovedanie rozmerových chýb (Arnaiz-González et al., 2016). Optimalizácia a konektivita vo všetkých fázach spracovania dreva zaisťuje maximálne využitie drevnej guľatiny

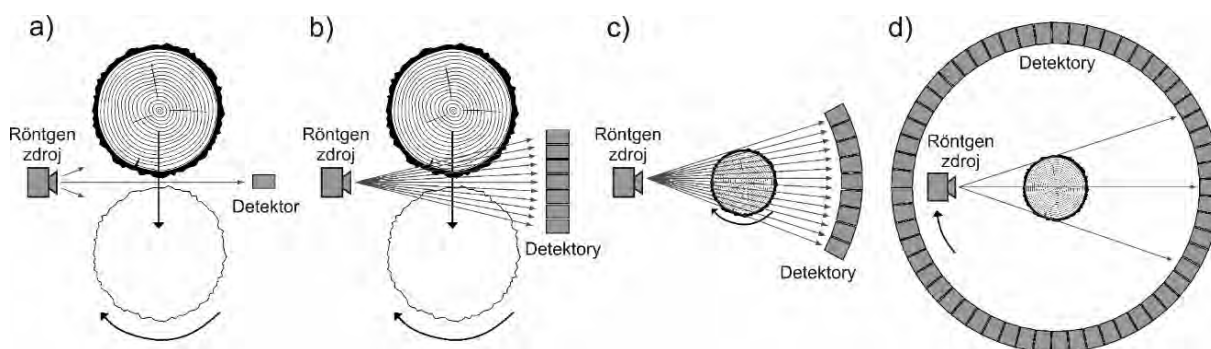
### 2 Spôsoby a postup detekcie vnútorných chýb a defektov guľatiny dreva

V súčasnej dobe sú k dispozícii účinné komerčné röntgenové zariadenie pre hodnotenie reziva a guľatiny dreva, ktoré dokážu detegovať vnútorné chyby dreva, skryté cudzie predmety a merať vlastnosti ako pevnosť, vlhkosť a hustotu. Bežné röntgenové skenery sú zvyčajne založené na röntgenovom skenovaní v jednom až štyroch smeroch, kedy objekt, či zdroj röntgenového žiarenia nerotuje (Grundberg & Grönlund 1997).

Najvyspelejšie a najpresnejšie technológie pre zisťovanie vnútorných chýb dreva sú röntgenové CT skenery. Táto technológia sa kvôli vysokej cene používa iba v najväčších spracovateľských pílach.

## 2.1 Typy CT skenerov

Sú známe 4 generácie technológie CT skenerov. 1. a 2. generácie snímajú paralelne, 3. a 4. generácie využívajú rotačné vejárovité snímanie, keď sa pohybuje objekt alebo zdroj röntgenového lúča. Prvá generácia skenerov (Obrázok 1a) obsahuje jediný röntgenový detektor a druhá generácia (Obrázok 1b) využíva na snímanie systém zložený z viacerých röntgenových detektorov. Röntgenový lúč prechádza cez skenovaný objekt a meria röntgenovú intenzitu paralelnými cestami v objekte (Schmoldt et al., 1998). Tieto generácie sú veľmi jednoduché, cenovo dostupné, ale pomalé. Tretia generácia CT skenerov (Obrázok 1c) používa pole detektorov s mnohými detektormi zvyčajne umiestnenými do oblúka. Presnosť tohto typu CT skenera je výrazne lepšia, ale zvyšuje náročnosť na spracovanie dát. Štvrtá generácia (Obrázok 1d) má väčší počet detektorov umiestnených do kruhu. Zdroj röntgenového žiarenia tu obieha okolo snímaného objektu, ktorý je umiestnený na stole. Dokáže vytvoriť veľmi presné priestorové zábery. Presnosť tohto typu je výrazne väčšia. Cena 4. generácie je pre vysoký počet detektorov veľmi vysoká.



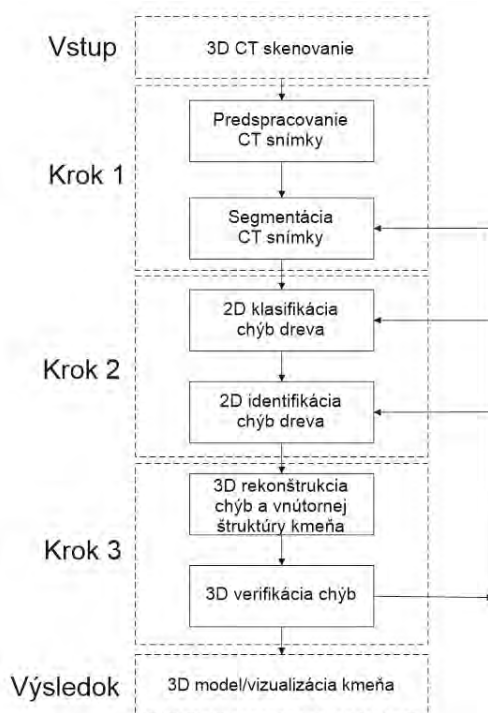
Obrázok 1. Generácie CT skenerov:

a) 1. generácia, b) 2. generácia, c) 3. generácia, d) 4. generácia

Väčšina moderných CT skenerov (4. generácie) je vybavená možnosťou špirálového CT skenovania, ktoré poskytuje takmer dokonalú 3D objemovú rekonštrukciu vytvorených z CT obrazov (Beaulieu & Dutilleul, 2019).

## 2.2 Postup 3D modelovanie a vizualizácia kmeňa

Postup 3D modelovania a vizualizácie kmeňov najčastejšie pozostáva z krokov vyobrazených na Obrázku 2. Vstupom pre modelovanie a vizualizáciu kmeňa sú snímky vzniknuté skenovaním na 3D CT skeneru. Prvým krokom je predbežné spracovanie 2D rezoch CT snímok. V druhom kroku prebieha detekcia a klasifikácia vnútorného poškodenia dreva a uzlov v jednotlivých 2D rezoch CT snímok. V tretom kroku prebieha 3D rekonštrukcia a verifikácia vnútorných prvkov kmeňa. Výsledkom (výstupom) je 3D model, resp. vizualizácia vnútorné štruktúry kmeňa aj s odhalenými chybami dreva.



Obrázok 2. Kroky 3D modelovania a vizualizácie kmeňov

Prvotne prebieha postup detekcie a klasifikácie prístupom zdola nahor. Najskôr sú spracované a analyzované CT snímky v rezoch jednotlivo a následne sú korelované s obrazom v susedných CT snímkach tak, aby boli získané a klasifikované príslušné chyby v 3D zobrazení. Pre správnu funkčnosť detekcie a klasifikácie musí byť vytvorená databáza vzorových chýb dreva jednotlivých druhov drevín deštruktívnym spôsobom. Tá slúži ako podklad pre správne určovanie jednotlivých vnútorných chýb dreva.

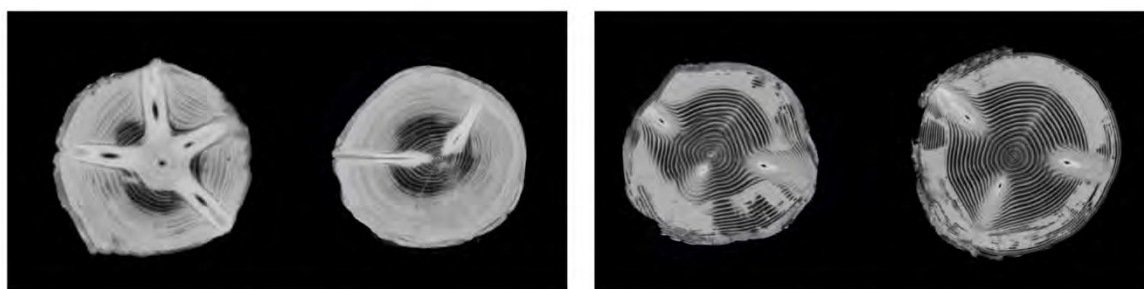
### 3 Príklady postupov detekcie vnútorných chýb a defektov guľatiny dreva

Pre príklad tu budú uvedené príkladné postupy jednotlivých krokov 3D modelovania a vizualizácia kmeňa.

#### 3.1 Segmentácia a predspracovanie CT snímky

Pri segmentácii, keď hodnota jasnosti pixelu v čiernobielym spektre (úrovne šedej farby) v CT snímke reprezentuje útlm röntgenového žiarenia, ktorý závisí od množstva absorbovanej energie röntgenového lúča. Na obrázku 3 sú zobrazené vzorové CT snímky rezov kmeňa drevín: jedľa biela, duglaska tisolistá. V prípade nižšej hustoty materiálu sú pixely reprezentované nižšou hodnotou jasnosti (tmavšia sivá farba) v CT snímke a naopak. Hustota dreva v priereze guľatiny vykazuje významné zmeny v závislosti od štruktúry ročných kruhov a prítomnosti defektov ako sú napríklad hrče, trhliny, hniloba. Pri segmentácii CT snímka kmeňa dreva zvyčajne obsahuje štyri skupiny úrovní jasnosti (úrovne sivej), ktoré predstavujú jadro, bielu, hrču a lokálne otvory v kmeni.





Jedľa biela

Duglaska tisolistá

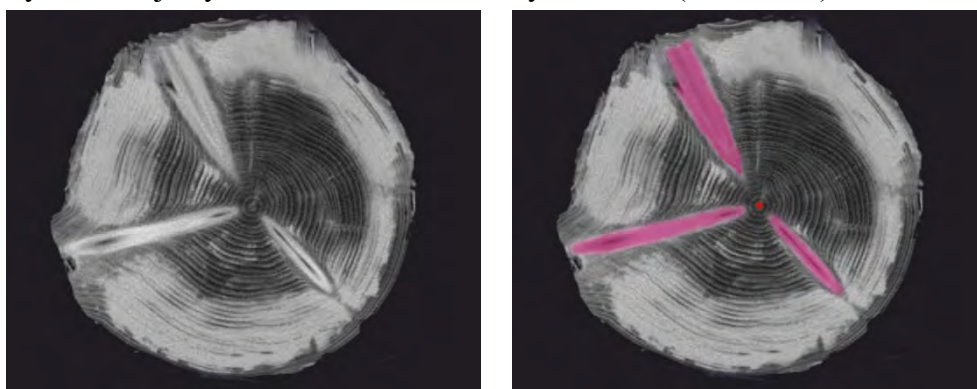
**Obrázok 3.** CT snímky guľatiny dreva v priečnom reze drevín: jedľa biela, duglaska tisolistá

CT snímky guľatiny obsahujú značné množstvo prechodov medzi jednotlivými skupinami znakov v kmeni. Preto je dôležité predpracovanie CT snímok. Rozlíšenie CT skenera je obmedzené (v pozdĺžnom smere 10 mm a v priečnom smere 2 x 2 mm), preto jeden pixel môže obsahovať zároveň viaceré skupiny, ale jednému pixelu môže byť pridelená len jedna hodnota úrovne šedej (jasu) zodpovedajúca kombinácii hodnôt jasu prislúchajúcich skupín zobrazených v danom pixeli. Tieto skutočnosti prinášajú problémy nadmernej alebo nedostatočnej segmentácie a následnej nesprávnej klasifikácie.

### 3.2 Extrakcia chybových oblastí z CT snímok

V tomto procese sú určené jednotlivé oblasti z vyhladenej segmentovanej CT snímky guľatiny. Tieto oblasti sú charakterizované nielen segmentom určeným prahovou hodnotou, ale aj jeho polohou, zvyčajnou plochou, typickým tvarom a uhlom. V prvom kroku je potrebné lokalizovať stržeň, teda stred guľatiny, od ktorého sa zvyčajne odvíjajú ročné kruhy. Stržeň tvorí základný bod, od ktorého sa určujú oblasti ďalších skupín (hrče, otvory, trhliny). Na jeho lokalizáciu sa zvyčajne používa algoritmus na detekciu kruhu.

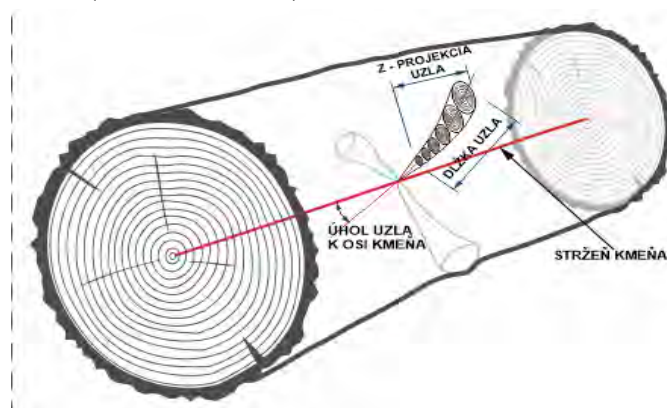
Na určenie oblasti uzlu sa využívajú jeho typické vlastnosti a to elipsovité tvar a typický smer od stržňa (osi x). Pre správne určenie chybových oblastí sú uplatňované rôzne kritériá ako sú minimálna plocha, poloha voči stržňu, smer voči stržňu, či obvod. Nastavenie týchto kritérií závisí od každého druhu dreveniny a musia byť experimentálne stanovené a validované. Po úspešnom otestovaní oblasti vybranými kritériami je ju možné pridať do zoznamu hlavných oblastí a výsledkom je vytvorenie zoznamu hlavných oblastí (Obrázok 4).



**Obrázok 4.** CT snímky guľatiny dreva v priečnom reze drevín: jedľa biela, duglaska tisolistá

### 3.3 3D analýza chýb dreva z rezov CT snímok

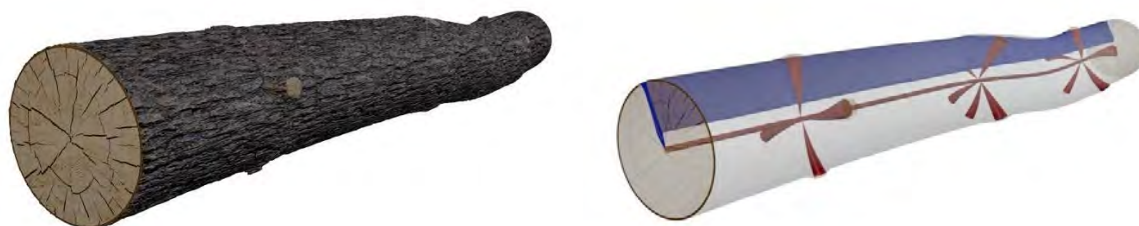
Konečným cieľom je detegovať chyby v 3D obraze kmeňa zo série CT snímok jednotlivých virtuálnych rezov guľatiny. V tomto procese dochádza ku rekonštrukcii 3D obrazu defektov guľatiny z 2D CT snímok s extrahovanými chybovými oblasťami. Pre elimináciu vplyvu chybných klasifikácií defektov guľatiny je nevyhnutné pri rekonštrukcii 3D obrazu korelovať jednotlivé chybové oblasti v 2D CT snímkach s chybovými oblasťami v susedných 2D CT snímkach. Inými slovami, správne extrahovaná chybová oblasť v jednej 2D CT snímke musí byť identifikovaná alebo aspoň čiastočne potvrdená v susednej 2D CT snímke. Nesplnením tejto podmienky je chybová oblasť identifikovaná ako falošná. Splnením tejto podmienky sa chybové oblasti zoskupia. Výsledkom sú zoskupené chybové a klasifikované oblasti v kmeni v 3D súradnicovej sústave (Vid'. obrázok 5).



Obrázok 5. Schematicky znázornený proces zoskupenia chybových oblastí jednotlivých CT snímok v rezoch do 3D obrazu

### 3.4 3D rekonštrukcia a vizualizácia

Rekonštrukcia obrazu z CT snímok je matematický proces, ktorý generuje tomografické obrázky z údajov röntgenovej projekcie získaných z rôznych uhlov pohľadu na skenovaný objekt (Obrázok 6) má zásadný vplyv na kvalitu obrazu. Pre danú dávku žiarenia je žiaduce rekonštruovať obrázky s čo najmenším šumom bez toho, aby sa znížila kvalita obrazu a jeho priestorové rozlíšenie.



Obrázok 6. 3D model guľatiny s detegovanými chybami

Volume rendering technique (VRT) umožňuje rýchle a prehľadné zobrazenie analyzovaného priestoru. V mnohých prípadoch táto technika nahradila ostatné typy trojrozmerných rekonštrukcií. Zobrazuje model objektu definovaný pomocou intervalu hustoty, ktorým sú priradené rôzne farby. Povrchovo tieňovaný variant pripomína staršiu techniku shaded surface display (SSD), ktorú takmer úplne nahradila. Obrazy bez povrchového tieňovania pripomínajú široké multiplanárne alebo MIP (maximum intensity projection) rekonštrukcie.

Polopriehľadné rekonštrukcie sú využívané pre zobrazenie povrchu vnútorných chýb dreva a povrchu guľatiny.

Pre VRT sú vhodné sady tenkých vrstiev prekrývajúcich sa v závislosti na šírke o jednu štvrtinu až jednu polovicu. Používa sa rekonštrukčný algoritmus s potlačením rozhraní hustoty, ktorý znižuje vplyv šumu. Výnimku tvorí zobrazenie lomových línií pri skelete guľatiny, keď algoritmus s potlačením rozhrania môže líniu lomu maskovať. Pre uľahčenie tvorby rekonštrukcií sú používané prednastavené kombinácie intervalov hustoty, ktoré poskytujú kvalitné zobrazenie bez editácie.

Zobrazenie je výsledkom zobrazenia intervalov hustoty, ktorým je priradená určitá farba, priehľadnosť a sýtosť. Každý zobrazený interval je definovaný lichobežníkom alebo krivkou. Ich vzostup, či pokles dodáva zobrazeniu dojem priehľadnosti alebo nepriehľadnosti. Kombináciou niekoľkých intervalov je získaný celkový obraz. Pomer jednotlivých intervalov sa dá interaktívne meniť. Definovaný objekt môžeme zobrazit' ako celok alebo ako vrstvu vymedzenú dvoma paralelnými rovinami. U zložitejších objektov je možnosť urobiť rez vo viacerých nezávislých rovinách. Týmto spôsobom sa dá odstrániť rušivá superpozícia okolitých štruktúr. Inou možnosťou je pridanie definície oblasti záujmu pomocou uzatvorenej krivky. Nepotrebná časť rekonštrukcie mimo alebo vo vnútri krivky sa následne vymaže.

#### 4 Záver

Použitie CT skenera pre detekciu vnútorných chýb dreva je technológia ktorá sa stále vyvíja. Ide ale o najpresnejšiu a najmodernejšiu technológiu pre zisťovanie takýchto chýb. Do dnešnej doby boli vyvinuté algoritmy pre spracovanie 3D obrazu získaných snímok hlavne pre ihličnaté dreviny. Pre zdokonalenie presnosti automatizovaného určovania vnútorných chýb listnatého dreva je potrebné uskutočniť ďalší vývoj a vytvoriť databázu skenov testovanej guľatiny. Listnaté dreviny majú veľmi rôznorodú, nepravidelnú štruktúru.

Implementácia týchto technológií v európskom priestore je veľmi rozličná. Výrazný náskok vo využívaní týchto technológií majú Švédsko, Fínsko a v oblasti strednej Európy hlavne Nemecko a Rakúsko. Tieto krajiny výrazne modernizujú a automatizujú celý priebeh spracovania guľatiny. Na slovenskom sú skenovacej technológie využívané iba na dvoch najväčších pílach, ale postupne sa začínajú využívať aj pri stredne veľkých spracovateľov guľatiny. Veľmi dobré by bolo podporiť tento trend napríklad dotáciami, pretože tieto technológie vedú k významnej úspore a skvalitneniu zhodnotenia drevnej suroviny.

#### Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

#### Literatúra

ARNAIZ-GONZÁLEZ, Á.; FERNÁNDEZ-VALDIVIELSO, A.; BUSTILLO, A.; DE LACALLE, L.L. 2016. Using artificial neural networks for the prediction of dimensional error on inclined surfaces manufactured by ball-end milling. In *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2016, 83, 847–859.

BEAULIEU, J., DUTILLEUL, P. 2019. Applications of computed tomography (CT) scanning technology in forest research: a timely update and review. In *Canadian Journal of Forest Research*. 2019; 49, 1173-1188.

GERGEL, T.; BUCHA, T.; GEJDOŠ, M.; VYHNÁLIKOVÁ, Z. 2019. Computed tomography log scanning—high technology for forestry and forest based industry. In *Central European Forestry Journal* 2019, 65, 51-59.

GRUNDBERG, S., GRÖNLUND, A. 1997. Simulated grading of logs with an x-ray log scanner-grading accuracy compared with manual grading. Scandinavian. In *Journal of Forest Research*, 1997, 12, 70-76.

LOPEZ DE LACALLE, L.N.; FERNÁNDEZ-LARRINOVA, J.; RODRÍGUEZ-EZQUERRO, A.; FERNÁNDEZ-VALDIVIELSO, A.; LÓPEZ-BLANCO, R.; AZKONA-VILLAVARDE, 2015. I. On the cutting of wood for joinery applications. In *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.* 2015, 229, 940-952.

ÖSTERBERG, P., 2009. *Wood quality and geometry measurements based on cross section images*: Dizertačná práca. Tampere, Finland: Tampere University of Technology, 2009. 192p.

SCHMOLDT, D. L., OCCEÑA, L. G., LYNN ABBOTT, A., GUPTA, N. K. 1998. Nondestructive evaluation of hardwood logs: CT scanning, machine vision and data utilization. In *Nondestructive Testing and Evaluation*, 1998, 15, 279-309.

## Zhrnutie

**Detection of internal defects of wood logs using CT scanners.** The use of a CT scanner to detect internal wood defects is a technology that is constantly evolving. It is one of the most accurate and state-of-the-art technology for detecting wood defects. The basis of processing the obtained 3D image are developed algorithms of computer data processing. The first step is the preliminary processing of 2D sections of CT images. In the second step, the detection and classification of internal damage to wood and nodes in individual 2D sections of CT images takes place. In the third step, a 3D reconstruction and verification of the internal elements of the trunk takes place. The result (output) is a 3D model, resp. visualization of the internal structure of the trunk even with detected wood defects. To date, algorithms have been developed for processing 3D images of acquired images, mainly for conifers. Much development and scanned wood samples are still needed to improve the accuracy of automated determination of internal hardwood defects. Deciduous woods have a very diverse, irregular structure. The future in the woodworking industry is towards Industry 4.0, or modern automated log cutting lines where non-destructive scanning technologies are very important.

## Kľúčové slová

CT skener, 3D rekonštrukcia, vnútorné chyby, guľatina dreva

## Kontaktná adresa

Vojtěch Ondrejka

Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu

Národné lesnícke centrum - Lesnícky výskumný ústav Zvolen

T.G. Masaryka 2175/22

960 01 Zvolen, Slovak Republic

vojtech.ondrejka@nlcsk.org

## IMPULZNÁ TOMOGRAFIA AKO NÁSTROJ KVALITATÍVNEHO HODNOTENIA KMEŇA STROMU

Miloš Gejdoš, Katarína Michajlová

### 1 Úvod

Pre objektívne kvalitatívne hodnotenie stojacich stromov sú nevyhnutné odborné znalosti, a predovšetkým skúsenosti personálu, ktorý daný strom posudzuje. Ani kompletne znalosti o kvalitatívnych znakoch dreva, fyzikálnych vlastnostiach drevín, škodcoch drevín a anatomickej stavbe a štruktúre dreva však nemusia zaručiť objektívne a presné informácie o zdravotnom stave stojaceho stromu. Od 90-tych rokov minulého storočia sa začali v rámci arboristických metód vyvíjať moderné spôsoby diagnostiky založené na ultrazvukových lúčoch, röntgenových lúčoch, metódach merania odporu a počítačovej tomografii. Keďže niektoré typy zariadení najmä na počítačovú tomografiu sú pomerne veľké a ťažko využiteľné na priamu diagnostiku v teréne a v lesných porastoch, začali sa pre tieto účely viac presadzovať metódy založené na meraní odporu vnikania telesa do dreva (deštruktívne metódy) a ultrazvukové metódy (Brandt, Rinn, 1989; Niemz, 2001).

V priebehu posledných 20 rokov boli tieto metódy zdokonaľované najmä s rozvojom výpočtovej techniky, a tým aj zobrazovacích možností a algoritmov. Od postupného zobrazovania 2D štruktúry skúmaných stromov sa postupne prešlo na 3D štruktúru s ďalšími doplnkovými možnosťami (napr. analýza koreňového systému skúmaného stromu). Cieľom príspevku je popísať najnovšie zariadenie, ktoré pracuje na báze šírenia impulzných vln v stojacom dreve a možnosti kvalitatívnej analýzy stojacich stromov, ktoré poskytuje.

### 2 Impulzná tomografia

Impulzná tomografia je spôsob, ktorý bol špeciálne vyvíjaný na posudzovanie kvality a vnútorného stavu stromov. Je založený na princípe vysielania a prijímania tzv. stresových impulzných vln. Rýchlosť šírenia impulzov v dreve veľmi úzko koreluje s jeho hustotou. Keďže rôzne kvalitatívne odchýlky v kvalite často znamenajú aj zmeny hustoty dreva, tak je práve takáto metóda využiteľná na získanie informácií o kvalitatívnom stave vo vnútri kmeňa stromu. Husté zdravé drevo prenáša impulzné vlny lepšie ako drevo, ktoré je poškodené hnilobou alebo trhlinami. Výsledky z takéhoto typu tomografie by sa však nemali používať ako jediná možnosť pri posudzovaní kvality a stability kmeňa stojaceho stromu. Mali by byť využívané v kombinácii s ďalšími informáciami, ktoré komplexne dopĺňajú informácie o posudzovanom strome (napr. morfológia, celkový zdravotný stav, stanovište, vek atď...).

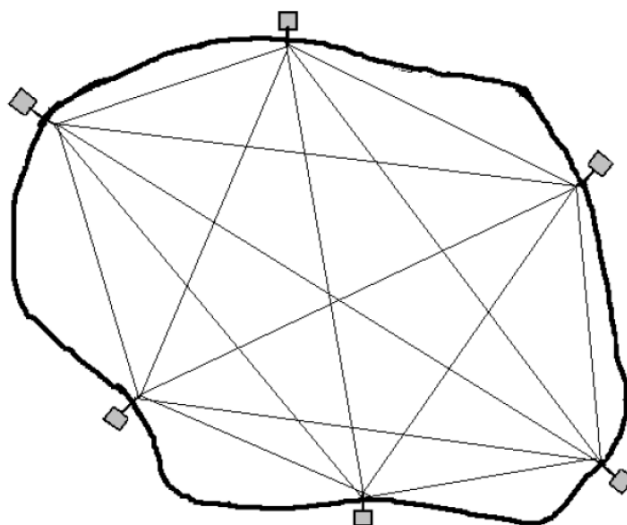
#### 2.1 2D impulzná tomografia

Princíp tejto metódy je založený na načasovaní stresových vln. Základom systému sú impulzné senzory (obrázok 1), ktoré sú schopné vysielat' a zároveň aj prijímat' impulzné vlny vyvolané úderom akustického kladiva na úderovú časť senzora. Každý senzor je vybavený vibrometrom a elektronickou reguláciou pre analýzu prichádzajúcich impulzov priameho prenosu v reálnom čase. Zaznamenáva sa čas, počas ktorého sa stresové vlny pohybujú medzi senzormi a prepočíta sa na rýchlosti. Zhromaždenie impulzov v matici umožní ich prezentáciu ako líniový alebo plošný grafický obraz (obrázok 2,3). Sensory okrem vibrometra obsahujú procesné jednotky na digitalizáciu a interpretáciu signálov. V praxi sú senzory pripojené za sebou v jednom rade po celom obvode kmeňa. Každý senzor preto obsahuje

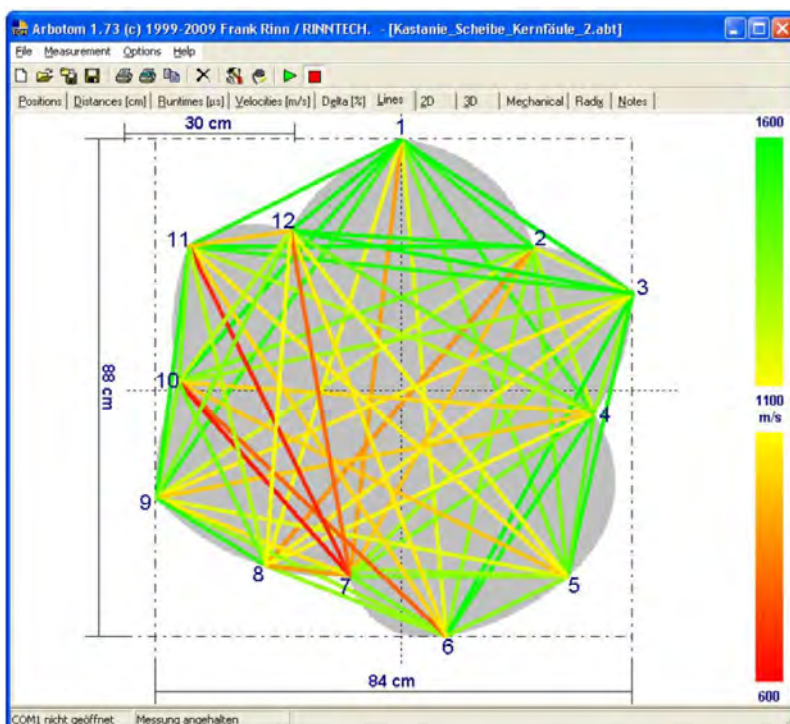
vstupnú a výstupnú zásuvku pre prepojovacie káble (na obr. 1 sú zásuvky znázornené šípkami).



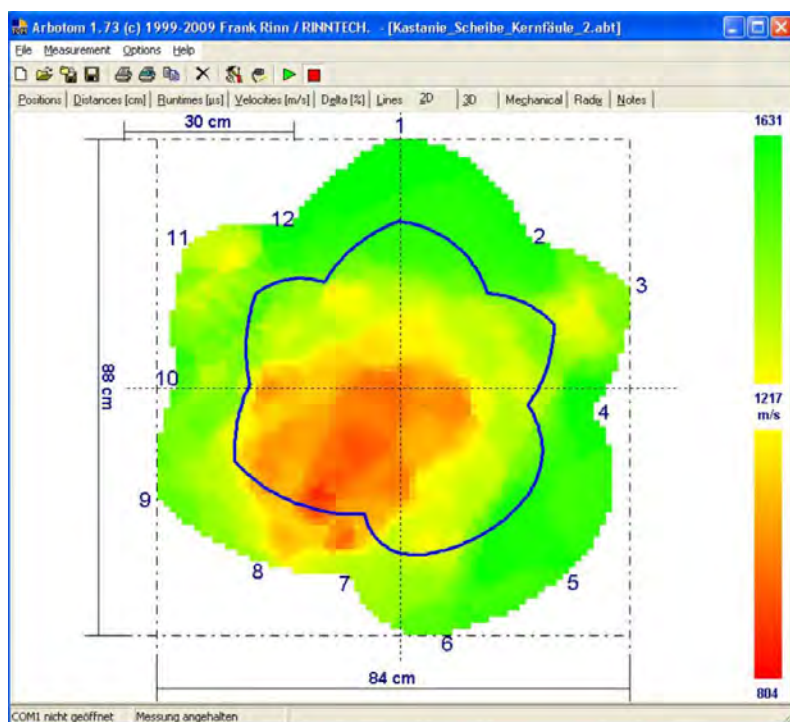
**Obrázok 1.** Senzor impulzného tomografu spoločnosti Rinntech



**Obrázok 2.** Prechod impulzov medzi senzormi v kmeni stromu a možnosť ich interpretácie do plošného obrazu. Počet senzorov je voliteľný v závislosti od celkového obvodu kmeňa posudzovaného stromu. Sensory sa k stromu pripevňujú oceľovými ihlami prostredníctvom pridržiavacieho zariadenia. Pri meraní sa impulzné vlny do stromu vyvolávajú prostredníctvom „šokovej“ skrutky (obr.1), na ktorú sa udiera kladivom. Rôzne rýchlosti šírenia impulzných vln v kmeni stromu sú následne v softwéri znázornené farebnou škálou (obrázok 3). Už na základe tohto plošného zobrazenia je možné určiť, či v kmeni možno predpokladať nejaký typ poškodenia alebo kvalitatívneho znaku. Softwér následne dokáže graficky interpretovať lokalizáciu daného defektu (obrázok 4).



Obrázok 3. Grafická interpretácia rýchlostí šírenia impulzných vln v systéme ARBOTOM®



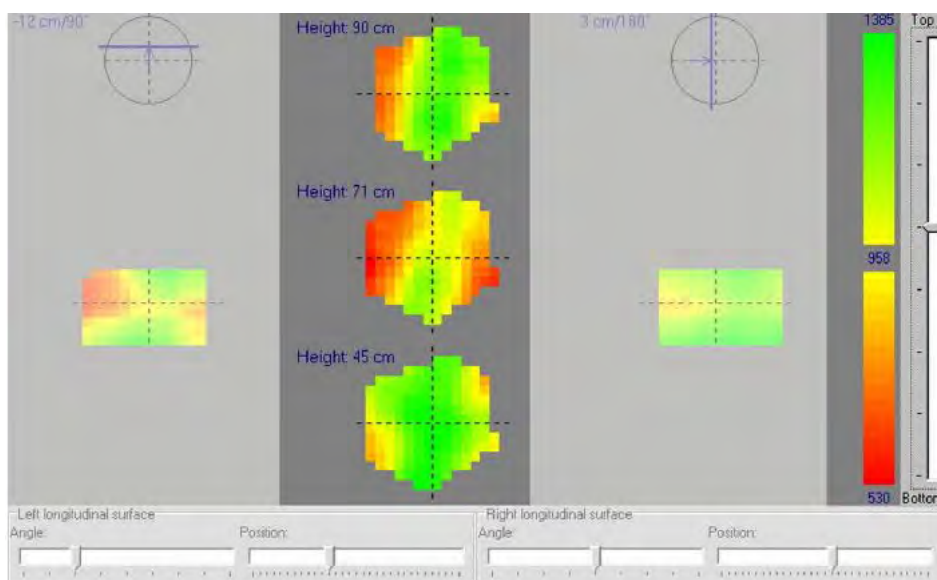
Obrázok 4. Vizualizácia a lokalizácia defektu na základe identifikovaných rýchlostí šírenia v kmeni stromu (systém ARBOTOM®)

Podstatné je, aby interpretáciu výsledkov vykonával skúsený odborník, ktorý dokáže vylúčiť neželané chyby v meraní a správne identifikovať prítomnosť poškodenia v kmeni stromu.

## 2.2 3D impulzná tomografia

Pri 3D metóde je nevyhnutný vyšší počet senzorov (optimálne aspoň 24, minimálne 16), ktoré musia byť po obvode kmeňa zoradené vo viacerých úrovniach. Možnosťou je zoradenie napr. zoradenie senzorov v 2 obvodoch nad sebou, alebo ich zoradenie špirálovito po obvode kmeňa.

Na zobrazenie 3D sa používajú axiálne a priečne rezy kmeňa. 3D graf poskytuje dva nezávislé osovú prierezy a tri priečne rezy (obrázok 5). Pozície týchto rezov je možné otáčať a posúvať v rámci uplatneného rozsahu senzorov. Je teda možné zobrazit' akúkoľvek možnú vrstvu, okrem diagonálnych. Axiálne a priečne rezy sa navzájom neovplyvňujú.



**Obrázok 5.** Priečné a axiálne rezy v rôznych úrovniach 3D meracieho systému (systém ARBOTOM®)

Pri priečných rezoch sú zobrazené tri úrovne. Strednú časť je možné posúvať nahor a nadol medzi dvoma krajnými pozíciami. Presnosť grafického znázornenia závisí od vzdialeností úrovni senzorov. Čím je vzdialenosť menšia, tým lepšie je znázornená rýchlosť impulzu a teda aj kvality dreva v kmeni stromu. V skúmanej oblasti je možné zvolit' akékoľvek dva axiálne rezy. Ako štandard sú sekcie orientované kolmo na seba. Ich polohu a uhol je možné ľubovoľne meniť.

Systém je možné doplniť o ďalšie nastavy ako sú mechanický graf (určuje potenciálnu stabilitu stromu proti pôsobeniu vetra z rôznych smerov) alebo modul Arboradix, ktorý dokáže na základe šírenia impulzných vln vyvolaných v určitej vzdialenosti od stromu a ich zachytenia snímačmi na kmeni stromu určiť polohu a kvalitu koreňového systému daného stromu. Tieto prídavné moduly tak môžu byť významnými doplnkovými informáciami pri celkovom posudzovaní kvality a zdravotného stavu konkrétneho stromu.

## 3 Záver

Možnosti grafickej interpretácie kvality vyťažených alebo stojacich stromov sa s rozvojom počítačových, mobilných a softvérových prostriedkov v poslednom dvadsaťročí dynamicky rozvíjali. Podmienkami využitia týchto metód v lesnom poraste sú predovšetkým rýchlosť a rozmery zariadení, ktoré sú výskum kvality schopné realizovať. Väčšina kvalitných inšpekčných zobrazovacích zariadení má veľké rozmery a slúžia skôr pre využívanie na



väčších skladoch dreva v lesníckych a drevospracujúcich prevádzkach. Skutočne „mobilné“ metódy poskytujú o niečo menej presné, avšak už dostatočne spoľahlivé výsledky, ktorými môžeme posudzovať kvalitu dreva a stromov stojacich v lesnom poraste (Gejdoš et al. 2019).

Za čiastočnú nevýhodu možno zatiaľ považovať to, že tieto metódy a metodiky zatiaľ nemajú na Slovensku legislatívny rámec, či už v podobe technických noriem, alebo vyhlášok. Predstavujú preto len doplnkové formy kvalitatívneho hodnotenia dreva. S rozvojom týchto možností tiež súvisí rast kvalifikačných a odborných nárokov na personál, ktorý hodnotenie vykonáva. Dôležitá bude preto tiež ochota zavádzať inovácie, reálne ich testovať a následne využívať v lesníckej praxi. Masívne nasadenie takýchto metód je však v blízkej budúcnosti nepravdepodobné hlavne pre ich finančnú náročnosť a potrebnú odbornú spôsobilosť.

## Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## Literatúra

BRANDT, M., RINN, F. 1989. Der Blick in's Innere von Bäumen. Eine Übersicht über Verfahren zur Stammfäulediagnose.. In *Holz-Zentralblatt* 124: (80), 1268-1270.

NIEMZ, P. 2001. Innere Defekte von Bäumen mit Schall bestimmt. In *Holz-Zentralblatt*, (12), p. 169-171.

GEJDOŠ, M., GERGEL, T., BUCHA, T., VYHNÁLIKOVÁ, Z. 2019. Possibilities of image analysis for quality wood sorting. In *Central European forestry journal*. 2019. Vol. 3-4 , p. 218--222. ISSN 2454-034X

## Zhrnutie

**Impulse Tomography as a tool for qualitative evaluation of trees.** For the objective qualitative evaluation of standing trees, the expertise and especially the experience of the staff assessing the tree are essential. Current methods for evaluating the quality of standing trees are mainly based on measuring the mechanical resistance and measuring the speed of propagation of pulsed ultrasonic waves in the examined tree trunk and wood. The paper describes the second method, detailing the possibilities of its use in 2D visualization of the internal structure of the trunk, as well as the possibilities of use in 3D visualization with a sufficient number of sensors. A partial disadvantage so far is that these methods and methodologies do not yet have a legislative framework, whether in the form of technical standards or regulations. They, therefore, represent only additional forms of qualitative assessment of wood..

## Kľúčové slová

Impulzná tomografia, kvalitatívne hodnotenie, stojace stromy, znaky dreva

### **Kontaktné adresy**

doc. Ing. Miloš Gejdoš, PhD.  
Katedra lesnej ťažby, logistiky a meliorácií  
Lesnícka fakulta  
Technická Univerzita vo Zvolene  
T.G. Masaryka 24  
960 01 Zvolen, Slovak Republic  
gejdos@tuzvo.sk

Ing. Katarína Michajlová  
Katedra lesnej ťažby, logistiky a meliorácií  
Lesnícka fakulta  
Technická Univerzita vo Zvolene  
T.G. Masaryka 24  
960 01 Zvolen, Slovak Republic  
xmichajlova@is.tuzvo.sk

## PRODUKCIA DREVNÉHO POPOLA V PROCESE ENERGETICKÉHO VYUŽITIA DREVNEJ BIOMASY A MOŽNOSTI JEHO ZNIŽOVANIA

Marián Slamka, Slávka Tóthová, Milan Oravec, Tomáš Gergel

### 1 Úvod

Drevný popol je alkalický, vápenato-draselný materiál, ktorý vzniká ako silne zásaditý odpad po energetickom využití dendromasy. V súčasnosti je podľa legislatívnych predpisov v SR popol z čistého – chemicky neošetreného dreva zaradený do skupiny „Ostatné odpady“ a uskladňuje sa na skládkach odpadov (Tóthová a Slamka 2020, Oravec a kol. 2012). Drevný popol však s výnimkou dusíka, ktorý pri horení uniká do ovzdušia, obsahuje množstvo makro a mikroživín dôležitých pre výživu a optimálny rast rastlín, pôvodne prítomných v spaľovanej dendromase (Tóthová 2012), čo mu dáva možnosť ďalšieho využitia ako hnojiva v poľnohospodárstve, alebo lesnom hospodárstve (Väätäinen a kol. 2011). Uvažuje sa tiež s využívaním drevného popola v stavebníctve, pričom niektoré z týchto možných stratégií sú už do istej miery v niektorých krajinách implementované (Oberberger a Supancic 2009). V prípade, že ďalšiemu využívaniu tohto materiálu budú naďalej stáť v ceste legislatívne prekážky, je potrebné venovať väčšiu pozornosť metódam znižovania jeho produkcie. Publikovaným prácam zaoberajúcich sa touto problematikou je venovaný tento príspevok.

### 2 Výsledky

Množstvo a zloženie popola, ktorý vzniká pri spaľovaní dendromasy je závislé od zloženia paliva a od technológie použitej pri spaľovaní. S jeho zvyšujúcim sa podielom popola sa znižuje spalné teplo a výhrevnosť biopaliva, pričom spaľovací proces môže ovplyvňovať aj spekanie popola v priestoroch spaľovacieho zariadenia pri vyšších teplotách (Dzurenda 2005). V energetickom priemysle sa v kúreniskách kotlov bežne spaľuje dendromasa pri teplote 700 až 1100 °C. V príspevku sa zaoberáme hodnotením produkcie drevného popola vznikajúceho pri spaľovaní drevných štiepok, ktoré sú v súčasnosti z hľadiska rozmerov a možností prepravy preferovanou formou drevného paliva (Manzone 2015). Z pohľadu dodávateľského reťazca palivových štiepok je rozhodujúcou etapou ich skladovanie, ktoré kompenzuje dočasné rozdiely v ich výrobe a spotrebe Rentizelas (2016). Akým spôsobom môže skladovanie ovplyvniť fyzikálno-chemické vlastnosti štiepok zisťovali napr. Gejdoš a kol. (2015). Hodnotili vlastnosti smrekových a jedľových štiepok uložených v 4 m nekrytých hromadách po dobu 15 mesiacov. Najvýraznejší pokles vlhkosti zaznamenali vo výške 1 m. Naopak, u vzoriek odobratých z výšky 3 m bol zaznamenaný nárast obsahu vlhkosti, zvyšoval sa obsah popola a znižovala výhrevnosť. Výhrevnosť a obsah popola drevných štiepok získaných z odpadov z drevospracujúceho priemyslu a z ťažbových zvyškov stromov rôznych druhov drevín zisťovali Gendek a kol. (2018). Obsah popola sa pohyboval na úrovni 1,04 – 3,94%, pričom jeho najväčší podiel zistili pri štiepkach vyrábaných zo zväzkov ihličnatých po-ťažbových zvyškov. Najväčšia výhrevnosť suchých drevných štiepok (17,89 – 18,11 MJ/kg) so súčasne nízkym obsahom popola sa dosiahla pri voľne uložených ťažbových zvyškoch, alebo zo zvyškov uložených na hromadách. Hofmann a kol. (2018) uvádzajú, že skladovanie nezoštiepkovaných smrekových poťažbových zvyškov sa neukázalo z hľadiska zachovania energetického potenciálu ako výhodné, no prejavilo sa znížením obsahu popola. Hmotu určenú na štiepkovanie, odporúčajú najprv ponechať na prirodzené sušenie v období troch do šiestich mesiacov Simanov (1995) a Trenčiansky a kol. (2007). Burrati a kol. (2019)

hodnotili počas šiestich mesiacov chemické a fyzikálne vlastnosti štiepok vyrobených z borovicového dreva, pričom sa analyzoval vplyv rôznych krytov pri skladovaní (paropriepustný, vodotesný, drevený). Výsledky štúdie ukázali, že nekryté skladovanie je z dôvodu nárastu obsahu popola vhodné len ako krátkodobé (max. 2 mesiace) a na dlhodobejšie je možné využiť paro-priepustné fólie.

Produkcii drevného popola ovplyvňuje aj drevinové zloženie palivových štiepok. Priemerný podiel popola vo vzorkách analyzovaného agátového a vrbového dreva zisťoval Pňakovič. Namerané hodnoty podielov v jednotlivých vzorkách dreveniny *Robinia pseudoacacia* spaľovaných podľa EN 14775:2010 boli o 55 % vyššie ako vo vzorkách spaľovaných podľa ISO 1171:2003 s priemernou hodnotou 0,306 resp. 0,676%. Namerané hodnoty podielov v jednotlivých vzorkách dreveniny *Salix viminalis* spaľovaných podľa EN 14775:2010 boli o 23% vyššie ako vo vzorkách spaľovaných podľa ISO 1171:2003 s priemernou hodnotou 0,356 resp. 0,461%. Hudák a kol. (2016) za účelom stanovenie relatívnej vlhkosti dendromasy, spaľovacieho tepla, výhrevnosti a obsahu popola hodnotili tri druhy drevín (*Salix viminalis* a 2 klony topoľa) vypestovaných na plantážach rýchlo-rastúcich drevín. Uvádzajú, že na základe empiricky stanovených hodnôt bol najnižší obsah popola u vrb, pričom priemerná hodnota nespáliteľných častí predstavovala 1,58%. Vyššiu popolnosť energetických štiepok analyzovaných klonov vrb a topoľov podľa autorov spôsoboval zvýšený podiel juvenilnej kôry, ktorú z energetického hľadiska považujú za balast negatívne vplyvajúci na základné energetické vlastnosti biopaliva. Podľa Mulerová a kol. (2010) je priemerná produkcia popola pri spaľovaní drevenej biomasy cca 0,4 až 0,7 % popola z hmotnosti spaľovaného dreva a cca 1,5 až 3 % popola z hmotnosti spálenej kôry. Ako príklad uvádzame podiely kôry, asimilačných orgánov a minerálnych prímiesi zistených v analyzovaných čerstvých štiepkach (tabuľke 1).

**Tabuľka 1.** Podiely kôry, asimilačných orgánov, kôry a minerálnych prímiesi v jednotlivých druhoch hodnotených čerstvých štiepok (NLC 2014)

Podiel	Druh štiepok (%)			
	Ihličnany	Tvrde listnáče	Mäkké listnáče	Smrek z DSP
Asimilačné orgány	1,2	0,7	0,5	0
Kôra	9,6	11,3	8,1	18,9
Drevo	87,1	85,6	89,8	80,0
Minerálne prímiesi	2,1	2,4	1,6	1,1

Podľa Siddique (2008) tvrdé drevo zvyčajne produkuje viac popola ako mäkké a kôra a listy produkujú viac popola ako vnútorné časti stromu. Aj Bugala a kol. (2015), ktorí zisťovali produkčný potenciál a energetické vlastnosti porastov jelše lepkavej uvádzajú, že kôra je biopalivo s výrazne vyššou produkciou popola než drevo. Priemernú hodnotu popola - anorganického zvyšku zo spálenej jelšovej štiepky zistili  $0,95 \pm 0,08$  %, čo ju radí medzi nízkopopolnaté palivá. Lieskovský a kol. (2017) zisťovali obsah popola, vlhkosti a spálne teplo na 450 vzorkách palivových drevných štiepok. Priemerný obsah popola bol 2,64 %, vlhkosti 38,8 % a priemerná výhrevnosť  $19,43 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Zistili že jednopercenčné zvýšenie obsahu popola viedlo k zníženiu spálneho tepla o  $0,11 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Duďák (2011) uvádza, že pri ročnej spotreba biomasy v množstve 55 000 t vyprodukovali 1 370 t popola (2.49 %). Popolnosť lesnej štiepky sa pohybovala v rozmedzí od 1 – 3% a pri kôre od 2 – 4%. Etiegni

a Campbell (1991) zistili, že množstvo popola klesá so zvyšujúcou sa teplotou spaľovania. So zvýšením teploty z 538 na 1093 °C kleslo jeho množstvo až o 45%.



**Obrázok 1.** Drevný popol vzniká ako silne zásaditý odpad po energetickom využití dendromasy. Na obrázku centrálny zdroj tepla na palivové štiepky v Žarnovici.

Lenz a kol. 2016 analyzovali vzťah medzi stratou sušiny a obsahom popola dvoch frakcií topoľových palivových drevných štiepok z porastov rýchlorastúcich drevín, ktoré boli skladované na nekrytých hromadách. Obsah popola do značnej miery ovplyvňoval obsah kôry. Podľa autorov kvalitu uvedeného paliva viac ovplyvňovala hrúbka ťažených stromov, ako zrnitosť vyrobených štiepok. Kvalitu štiepok tak to značnej miery môže ovplyvniť aj technologický postup získavania dendromasy. Z lesných pozemkov sa drevo nižšej kvality zvyčajne využívané na produkciu palivových štiepok získava najmä zberom zvyškov resp. nespracovanej hmoty po obnovných ťažbách. Ide predovšetkým o korunové časti stromov, ktoré sa hromadia na lesných skladoch alebo okrajoch lesných ciest. Ďalšou možnosťou je približovaním častí, alebo celých stromov z výchovných ťažieb v listnatých aj ihličnatých porastov na sklad, alebo okraje lesných ciest (Slamka a kol. 2018). Pri metóde celých stromov ostávajú na ťažbovej ploche len zvyšky s najmenším priemerom, čo môže podľa Hytönen a Moilanen (2014) k nadmernému odberu živín z porastov. Spinelli a kol. (2014) na druhej strane upozorňujú na to, že v prípade ponechania väčšieho množstva hrubších zvyškov je nutné počítat' s väčším rizikom požiarov a súčasne zhodnotili ťažbu celých stromov ako ekonomicky najefektívnejší spôsob výroby energetických štiepok. Podľa (Spinelli a Magagnotti 2010) ponechaním tenkých vetiev a ihličia znižujeme množstvo získanej biomasy, ale zároveň zvyšujeme kvalitu vyprodukovaných energetických štiepok, čo sa môže prejavovať v ich zvýšenej cene.

### 3 Záver

Fyzikálne a chemické vlastnosti popola z dreva, ktoré určujú jeho prospešné využitie, ako aj jeho množstvo, závisia od viacerých faktorov. Cieľom príspevku je sumarizácia aktuálnych poznatkov domácej a zahraničnej literatúry smerujúcich k využívaniu technologických postupov znamenajúcich zníženie produkcie drevného popola ako odpadu v procese energetického využívania drevnej biomasy a nastavenie smerovania ďalšieho výskumu prebiehajúceho projektu.

### Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

### Literatúra

- BUGALA, M., DZURENDA, L., PŇAKOVIČ, Ľ. 2015. Produkčný potenciál a energetické vlastnosti prirodzených porastov jelše lepkavej (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) z oblasti Kremnických vrchov. *Acta Facultatis Xylologiae Zvolen*. 57(2):15-25.
- BURRATI, C., ORESTANO, F. C., COTANA, F., QUAGLIETTA, P., ANTONELLI, P., BARBANERA, M. 2019. Impact of storage on energy performance of lario pine wood chips: A case study in Italy. *Industrial Crops and Products*, 131:301-306.
- DZURENDA, L. 2005. Spaľovanie dreva a kôry. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2005. 124 s. ISBN 80-228-1555-1.
- ETIEGNI, L., CAMPBELL, A. G. 1991: Physical and chemical characteristics of wood ash. *Bioresource technology* 37(2):173-178.
- ĎUĎÁK, I. 2011. Drewný popol ako sekundárny problém pri využívaní biomasy na energetické účely. In: Drewný popol zo spaľovania biomasy. Zborník recenzovaných príspevkov z medzinárodnej vedeckej konferencie Nitra 6. – 7. Október, 2010.
- GEJDOŠ, M., LIESKOVSKÝ, M., SLANČÍK, M., NĚMEC, M., DANIHELOVÁ, Z. 2015. Storage and fuel quality of wood chips. *BioResources* 10(3): 5544-5553.
- GENDEK, A., MALATÁK, J., VELEBIL, J. 2018. Effect of harvest method and composition of wood chips on their caloric value and ash content. *Sylwan* 162(3):248-257.
- HOFMANN, N., MENDEL, T., SCHULMEYER, F., KUPTZ, D., BORCHERT, H., HARTMANN, H. 2018: Drying effects and dry matter losses during seasonal storage of spruce wood chips under practical conditions. *Biomass and bioenergy* 111:196-205.
- HUDÁK, M., LIESKOVSKÝ, M., GEJDOŠ, M. 2016: Možnosti pestovania rýchlorastúcich drevín v podmienkach Liptova. *Acta Facultatis Forestalis* 58(1):101-108.
- HYTÖNEN, J., MOILANEN, M. 2014. HytEffect of harvesting method on the amount of logging residues in the thinning of Scots pine stands. *Biomass and Bioenergy* 67:347-353.
- LENZ, H., PECENKA, R., HARTUNG, E., IDLER, CH. 2016. Development and test of a simplified method to calculate dry matter loss during open-air storage of poplar wood chips by analysing ash contents. *Biomass and Bioenergy* 94:258-267.

LIESKOVSKÝ, M., JANKOVSKÝ, M., TRENČIANSKY, M., MERGANIČ, J. 2017. Ash Content vs. the Economics of Using Wood Chips for Energy: Model Based on Data from Central Europe. *BioResources* 12(1).

MANZONE, M. 2015. Energy consumption and CO<sub>2</sub> analysis of different types of chippers used in wood biomass plantation. *Applied Energy* 156:686-692.

MULLEROVÁ, J., HLOCH, S., VALÍČEK, J. 2010. Zníženie emisií pri spaľovaní biomasy v teplovodnom kotly. *Chem. Listy* 104, 876–879.

OBERNBERGER, I., SUPANCIC, K. 2009. Possibilities of ash utilisation from biomass combusting plants. In: *Proceedings of the 17th European Conference & Exhibition, June/July 2009, Hamburg.*

ORAVEC, M., BARTKO, M., SLAMKA, M. Postupy intenzifikácie produkcie drevnej biomasy na energetické využitie. *NLC Zvolen*. 64 s.

ORAVEC, M., TÓTHOVÁ, S., SLAMKA, M., RADOCHA, M. 2012. Využitie drevného popola v lesnom hospodárstve. In: *Briketovanie a peletovanie. 6 ročník medzinárodnej konferencie, 25. – 26.1.2021, Bratislava.* s. 191-196.

PŇAKOVIČ, Ľ. 2015. Posúdenie noriem STN ISO 1171 a STN EN 14775 z hľadiska kvantifikácie popola v biopalivách. *Katedra obrábania dreva, DF TU Zvolen.*

RENTIZELAS, A. A. 6 - BIOMASS STORAGE. IN: HOLM-NIELSEN, B. J., EHIMEN, A. E. eds. 2016. *Biomass Supply Chains for Bioenergy and Biorefining.* Woodhead Publishing. P. 127-146.

SIDDIQUE, R. 2008: Wood ash. In *Waste materials and by-products in concrete* (pp. 303-321). Springer, Berlin, Heidelberg.

SIMANOV, V. 1995: *Energetické využívaní dříví.* Olomouc, Terrapolis. 115 s.

SLAMKA, M., ORAVEC, M., IHNÁT, V. 2018. Ťažbovo-výrobné technológie a technologické postupy získavania drevnej suroviny nižšej kvality. Aktuálne otázky ekonomiky a politiky lesného hospodárstva Slovenskej republiky. *Zborník vedeckých prác z konferencie.* NLC Zvolen. 12.12.2018. s.43 – 57.

SPINELLI, R., LOMBARDINI, C., MAGAGNOTI, N. 2014. The effect of mechanization level and harvesting system on the thinning cost of Mediterranean softwood plantations. *Silva Fennica* vol. 48 no. 1 article id 1003.

SPINELLI R., MAGAGNOTTI N. 2010. Comparison of two harvesting system for the production of forest biomass from the thinning of *Picea abies* plantation. *Scandinavian Journal of Forest Research* 25: 69–77.

TRENČIANSKY, M., LIESKOVSKÝ, M., ORAVEC, M. 2007. Energetické zhodnotenie biomasy. *NLC Zvolen*. 153 s.

TÓTHOVÁ, S., SLAMKA, M. 2020. Vlastnosti palív a popolov v procese energetického. *Zborník výskumných prác.* <http://www.centrumdp.sk/>.

využitia lesnej dendromasy

VÄÄTÄINEN, K., SIRPARANTA, E., RÄISÄNEN, M., TAHVANAINEN, T. 2011. The costs and profitability of using granulated wood ash as a forest fertilizer in drained peatland forests. *Biomass and Bioenergy* 35(8):3335-3341.

## **Zhrnutie**

**Wood ash production in the process of energy use of woody biomass and possibilities for its reduction.** In this paper, we deal with the production of wood ash within the process of energy utilisation of woody biomass (dendromass). Though being expected to be used as a fertilizer or building material in the future, at present, the relevant legal norms in the Slovak Republic classifies ash as a waste. The amount of ash produced is affected by several factors, including tree species composition of and bark content in the energy wood, temperature and technology of wood combustion, and the humidity of the woody fuel that can be influenced by its drying. If legal obstacles continue to interfere, the subsequent use of wood ashes, more attention will need to be paid to methods of reducing its production.

## **Kľúčové slová**

dendromasa, palivové drevné štiepky, drevný popol, odpad,

## **Kontaktné adresy**

Ing. Marián Slamka, PhD., Ing. Milan Oravec, PhD., Ing. Tomáš Gergel', PhD.,  
Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu  
Lesnícky výskumný ústav Zvolen  
Národné lesnícke centrum  
T.G. Masaryka 2175/22  
960 01 Zvolen, Slovak Republic  
marian.slamka@nlcsk.org; milan.oravec@nlcsk.org; tomas.gergel@nlcsk.org



## PALIVOVÉ DREVNÉ ŠTIEPKY Z PORASTOV RÝCHLORASTÚCICH DREVÍN

Marián Slamka, Milan Oravec, Tomáš Gergel, Matej Schwarz, Slávka Tóthová

### 1 Úvod

V posledných desaťročiach sa v západnej Európe ako aj v niektorých oblastiach Severnej Ameriky začína na čoraz väčšej rozlohe poľnohospodárskej pôdy využívať nový systém hospodárenia, ktorého výsledným produktom je produkcia rastlinnej hmoty – biomasy. Porasty drevín, ktoré sa takýmto spôsobom využívajú označujeme ako výmladkové plantáže rýchlorastúcich drevín (RRD), prípadne ako energetické plantáže, alebo ako energetický les. Súčasťou produkčného systému sú aj reprodukčné porasty určené k produkcii sadbového materiálu označované ako matečnice. Pri porastoch RRD je odporúčaná maximálna doba pestovania 20–25 rokov, pretože po tomto čase dochádza k výraznému poklesu produkcie dreva z výmladkov (Lieskovský 2015).

Medzi rýchlorastúce dreviny v stredo európskych podmienkach zaraďujeme tie, ktorých ročná objemová produkcia presahuje  $10 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ . Najväčšiu výmeru z týchto drevín na Slovensku zaberá agát biely, nasledujú topole a vrbý (Oravec a kol. 2012). Vrbý produkujú v priemere o 20 % viac dendromasy ako topole. Po vyťažení ide o veľmi vlhký materiál, preto je ho potrebné na zvýšenie výhrevnosti pred ďalším využitím vysušiť (Francik a kol. 2018). Hlavnými atribútmi pre pestovanie drevín s krátkou (11 – 15 rokov) a veľmi krátkou rubnou dobou (3 – 10 rokov) je maximálna produkcia dendromasy (nadzemná časť bez asimilačných orgánov) a odolnosť voči chorobám a škodcom a dobrá schopnosť vytvárať výmladky z koreňov a pňov. Energetické porasty rýchlorastúcich drevín (topoľ, vrbá, agát, osika, jelša) tvoria perspektívny zdroj palivovej biomasy. Možno ich zakladať na plochách nevhodných pre tradičnú poľnohospodársku a lesnícku produkciu, na pôdach dočasne vylúčených z poľnohospodárskej výroby, pôdach kontaminovaných, ktoré sú vhodné len na produkciu pre nepotravinárske účely a tiež na zdevastovaných plochách v priemyselných aglomeráciách. Na ich pestovanie sa otvára veľký priestor na takzvaných bielych plochách. Ide o nevyužívané poľnohospodárske pozemky porastené lesnými drevinami, ktoré vznikajú vplyvom ukončenia tradičného intenzívneho obhospodarovania poľnohospodárskej pôdy a to prirodzenou sukcesiou lesných porastov a náletov pionierskych drevín na hraniciach lesných a nelesných pozemkov. Sortimentová štruktúra týchto porastov je v porovnaní s porastami na lesnej pôde s vyšším podielom vlákny a dreva na energetické využitie. Tieto porasty sú vzhľadom na predchádzajúci spôsob využívania pôdy výhodne lokalizované, dobre prístupné a preto z pohľadu získavania palivovej dendromasy veľmi zaujímavé (Oravec a Slamka 2018). Produktom plantáží rýchlorastúcich drevín je dendromasa, najčastejšie upravená vo forme energetických štiepok využiteľná ako palivo na vykurovanie, prípadne na kombinovanú výrobu tepla a elektrickej energie. Vybranými faktormi vplyvujúcimi na efektívne energetické využívanie palivových štiepok z RRD sa zaoberáme v tomto príspevku.

### 2 Výsledky

Vplyv skladovania na kvalitu vrbových štiepok z energetických plantáží skúmali Krzyżaniak a kol. (2016). Skladovanie prebiehalo s využitím rôznych druhov krytov (krytá skládka, priepustné fólie), kontrolná plocha bola nekrytá. Energetický potenciál paliva sa po roku skladovania zvýšil v priemere o 10 %, pričom najhoršie parametre boli zaznamenané pri nekrytej hromade. Manzone a Balsari (2016) hodnotili kvalitu skladovaných štiepok

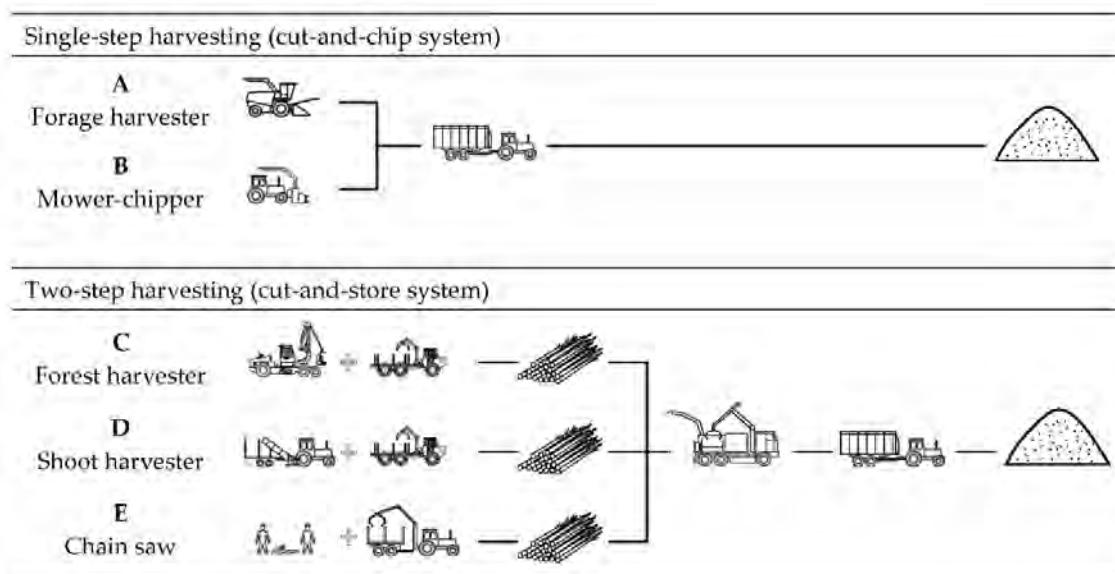
vyrobených z topoľa. Pri hodnotení dynamiky skladovania sa zisťoval obsah vlhkosti a strata sušiny. Obsah vlhkosti 18 % a priemerné straty sušiny 10 % na konci skladovacieho obdobia vo všetkých objemoch (35 a 70 m<sup>3</sup>), tvaroch (kužeľový, lichobežníkový) a hustote hromád naznačili, že skladovací systém je možné prispôbiť rôznym potrebám tepelných zdrojov. Pari a kol. (2017) analyzovali skladovanie palivových štiepok pochádzajúcich z priemyselných topoľových plantáží v mediteránnej oblasti. Zistili, že dlhodobé skladovanie topoľových štiepok nie je vhodné bez ohľadu na to, o ktorú časť stromu sa jedná (kmeň, konáre, koruna). V najhorších prípadoch sa zaznamenala strata sušiny až 50 %. Hudák a kol. (2016) za účelom stanovenie relatívnej vlhkosti dendromasy, spaľného tepla, výhrevnosti a obsahu popola hodnotili tri druhy drevín (*Salix viminalis* a 2 klony topoľa) vypestovaných na plantážach RRD. Uvádzajú, že na základe empiricky stanovených hodnôt bol najnižší obsah popola u vrby, pričom priemerná hodnota nespáliteľných častí predstavovala 1,58%. Vyššiu popolnosť energetických štiepok analyzovaných klonov vrby a topoľov podľa autorov spôsoboval zvýšený podiel juvenilnej kôry.



**Obrázok 1.** Testovanie troch druhov palivových drevných štiepok uložených na hromadách nekrtej skládky (Gejdoš, 2020).

Lenz a kol. (2015) hodnotili počas deviatich mesiacov palivové topoľové štiepky uskladnené v hromadách s výškou 3,5 m. V porovnaní jemnozrnej a hrubozrnej frakcie zistili priaznivejšie vlastnosti pri hrubozrnných štiepkach, ktoré dosiahli maximálny povolený obsah vlhkosti (40%) už po 3,5 mesiaci skladovania (jemnozrnné po 6,5 mesiacoch). Autori považujú pestovanie RRD na poľnohospodárskej pôde po ekonomickej a environmentálnej stránke za perspektívnu možnosť produkcie bioenergie. Tri hromady štiepok s rôznou frakciou (malé, stredné a veľké) počas siedmich mesiacov skladovania, porovnávali z hľadiska skladovacích vlastností a fyzikálno-chemických parametrov Pecenka a kol. (2018). Z hľadiska energetického využitia vykazovali najhoršie vlastnosti malé štiepky s vlhkosťou 34% a stratami sušiny 19%.

Veľkosť frakcie, ale aj ďalšie vlastnosti štiepok možno ovplyvniť použitím rôznych technológií ich výroby. Pri ťažbe sa využívajú dva spôsoby, pričom je rozdiel v tom, či sú stromy štiepkované priamo pri ťažbe, ale sa ponechajú v celku na prirodzené sušenie (Obr. 2). Podľa Pecenka a kol. (2020) sa pri štiepkovaní suchých, prípadne zamrznutých stromov zvyšuje energetická náročnosť výrobného procesu.



**Obrázok 2.** Rôzne postupy výroby palivových drevných štiepok podľa Pecenka a kol. (2020)

Skladovanie topoľových štiepok z plantáže RRD s využitím riadenej ventilácie so studeným vzduchom testovali Lühr a kol. (2021). Experiment dokázal, že riadená ventilácia zo studeným vzduchom umožňuje sušenie v jarnom období s nízkymi stratami a zabraňuje nárastu teploty v hromade. Strata sušiny sa obmedzila na 11 % a zisk z vyrobenej tepelnej energie predstavoval viac ako 6-násobok elektrickej energie potrebnej na prevádzku dúchadla. Modelovaním a simulovaním sušenia vrbových palivových štiepok s využitím umelých neurónových sietí sa zaoberali Francik a kol. (2018). Výsledkom práce boli modely popisujúce zmeny obsahu vody, teploty a hmotnosti štiepok a tieto boli následne využité na simuláciu procesu sušenia. Metóda podľa autorov umožňuje definovať optimálne parametre sušenia štiepok (v uvedenom prípade vrbových) charakterizovaných rôznym obsahom vlhkosti.

V súvislosti so skladovaním palivových štiepok sa skúmali aj súvisiace zdravotné a bezpečnostné riziká pre človeka. Podľa Suchomel a kol. 2014 huby, ktoré sa tvoria na uskladnených hromadách predstavujú pre zdravie človeka vysoké potencionálne riziko. Na hromadách bukových, osikových a smrekových štiepok so základňou 4 x 4 m sa vo výške 0,5 m, 1 m a 1,5 m nad zemou zbierali údaje o teplote, relatívnej vlhkosti a počte kolónií mikroskopických húb. Vo vzorkách bolo celkovo zistených 5 druhov a 8 rodov húb. Až 34 druhov mikroskopických húb na dlhodobu skladovaných hromadách palivových drevných štiepok zistili Lieskovský a kol. 2017. Podľa autorov 33 z nich môže predstavovať riziko pre človeka. Podľa autorov výskum potvrdil, že ak je doba skladovania dlhšia ako 1 rok, riziká pre zdravie človeka sa vplyvom spóro-tvorných patogénov húb zvyšujú. Alakoski a kol. (2016) upozorňujú na produkciu plyných emisií, skleníkových plynov, ktoré sa počas uvedených procesov produkujú. Z hľadiska ľudského zdravia preto môže byť nebezpečné aj skladovanie v uzavretých priestoroch.



**Obrázok 3.** Príklad skladovania palivových drevných štiepok na veľkých hromadách. Zmena sfarbenia štiepok vnútri hromady naznačuje ich postupnú degradáciu spôsobenú vplyvom mikroorganizmov (Gergeľ 2019).

### 3 Záver

Pestovanie RRD sa po ekonomickej a environmentálnej ukazuje ako perspektívna možnosť produkcie bioenergie. Produktom plantáží RRD je dendromasa, najčastejšie upravená vo forme energetických štiepok. Tieto majú oproti drevu v klasickom stave tú výhodu, že rýchlejšie schnú a sú vhodné aj pre automatickú prevádzku. Naopak za nevýhodu môžeme považovať ich relatívne krátkodobú skladovateľnosť, pretože jedným z typických znakov skladovania je napríklad v dôsledku pôsobenia vonkajších vplyvov prostredia alebo mikroorganizmov zníženie ich energetického potenciálu. V súčasnosti sa na zabezpečenie efektívneho využívania tejto obnoviteľnej suroviny skúmajú a testujú rôzne metódy sušenia. V súvislosti so skladovaním palivových štiepok je potrebné brať do úvahy aj potenciálne riziká pre zdravie človeka.

### PodĎakovanie

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-dreárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja (50 %) a na základe finančnej podpory Agentúry na podporu výskumu a vývoja v rámci riešenia projektu APVV-0487-16 Optimalizácia využitia drevnej suroviny nižšej kvality na Slovensku (50 %).

### Literatúra

ALAKOSKI, E., JÄMSÉN, M., AGAR, D., TAMPIO, E., WIHERSAARI, M. 2016. From wood pellets to wood chips, risks of degradation and emissions from the storage of woody biomass – A short review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 54:376-383.

FRANCIK, S., ŁAPCZYŃSKA-KORDON, B., FRANCIK, R., WÓJCIK, A. 2018. Modeling and Simulation of Biomass Drying Using Artificial Neural Networks. In: Mudryk K., Werle S. (eds) *Renewable Energy Sources: Engineering, Technology, Innovation*. Springer Proceedings in Energy. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-72371-6\\_56](https://doi.org/10.1007/978-3-319-72371-6_56).

- HUDÁK, M., LIESKOVSKÝ, M., GEJDOŠ, M. 2016: Možnosti pestovania rýchlorastúcich drevín v podmienkach Liptova. *Acta Facultatis Forestalis* 58(1):101-108.
- KRZYŻANIAK, M., STOLARSKI, M. J., NIKSA, D., TWOROWSKI, J., SZCZUKOWSKI, S. 2016. Effect of storage methods on willow chips quality. *Biomass and bioenergy* 92:61-69.
- LENZ, H., IDLER, CH., HARTUNG, E., PECENKA, R. 2015. Open-air storage of fine and coarse wood chips of poplar from short rotation coppice in covered piles. *Biomass and Bioenergy* 83:269-277.
- LIESKOVSKÝ, M. 2015. Vybrané produkčné a energetické vlastnosti topoľa *Populus X Euroamericana* klon Max4. *Acta Facultatis Xylogiae Zvolen* 57(1): 127-133.
- LIESKOVSKÝ, M., GEJDOŠ, M., MESSINGEROVÁ, V., NĚMEC, M., DANIHELOVÁ, Z., MORAVČÍKOVÁ, V. 2017. Biological risk from long-term storage of wood chips. *Pol. J. Environ. Stud.* 26(6):2633-2641.
- LÜHR, C., PECENKA, R., LENZ, H., HOFFMANN, T. 2021. Cold air ventilation for cooling and drying of poplar wood chips from short rotation coppice in outdoor storage piles in Germany. *Biomass and Bioenergy* 146:105976.
- MANZONE, M., BALSARI, P. 2016. Poplar woodchip storage in small and medium piles with different forms, densities and volumes. *Biomass and bioenergy* 87:162-168.
- ORAVEC, M., BARTKO, M., SLAMKA, M. 2012. Postupy intenzifikácie produkcie drevnej biomasy na energetické využitie. *NLC Zvolen*. 64 s.
- ORAVEC, M., SLAMKA, M. The energy intensity of the production of energy chips from dendromass stands on long-term uncultivated agricultural land. *Forestry journal* 56(1):1-15.
- PARI, L., SCARFONE, A., SANTANGELO, E., GALLUCI, F., SPINELLI, R., JIRJIS, R., DEL GIUDICE, A., BARONTINI, M. 2017. Long term storage of poplar chips in Mediterranean environment. *Biomass and bioenergy* 107:1-7.
- PECENKA, R., LENZ, H., IDLER, CH. 2018. Influence of the chip format on the development of mass loss, moisture content and chemical composition of poplar chips during storage and drying in open-air piles. *Biomass and bioenergy* 116:140-150.
- SUCHOMEL, J., BELANOVÁ, K., GEJDOŠ, M., NĚMEC, M., DANIHELOVÁ, A., MAŠKOVÁ, Z. 2014. Analysis of fungi in wood chips storage piles. *BioResources* 9 (3).
- PECENKA, R., LENZ, H., JEKAYINFA, S. O., HOFMANN, T. 2020. Influence of Tree Species, Harvesting Method and Storage on Energy Demand and Wood Chip Quality When Chipping Poplar, Willow and Black Locust. "Influence of Tree Species, Harvesting Method and Storage on Energy Demand and Wood Chip Quality When Chipping Poplar, Willow and Black Locust" *Agriculture* 10, no. 4: 116. <https://doi.org/10.3390/agriculture10040116>.

## Zhrnutie

**Fuel wood from short rotation coppice.** The paper is a literature search of available articles and monographies dealing with the selected factors influencing the efficiency of energy use of fuel wood chips produced in short-rotation tree stands. As the results suggest, the moisture content in wood chips is an important factor and, therefore, it is important to optimise the process of their drying and storage. The obtained results will be used for experimental storage and drying of fuel wood chips within the framework of ongoing project.

### **Kľúčové slová**

rýchlo rastúce dreviny, palivové drevné štiepky, sušenie, energia

### **Kontaktné adresy**

Ing. Marián Slamka, PhD., Ing. Milan Oravec, PhD., Ing. Tomáš Gergel', PhD., Ing. Matej Schwarz

Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu

Lesnícky výskumný ústav Zvolen

Národné lesnícke centrum

T.G. Masaryka 2175/22

960 01 Zvolen, Slovak Republic

marian.slamka@nlcsk.org; milan.oravec@nlcsk.org; tomas.gergel@nlcsk.org;

matej.schwarz@nlcsk.org;

## OPTIMALIZÁCIA TOKOV DREVNEJ SUROVINY NA ENERGETICKÉ VYUŽITIE V MODELOVOM ÚZEMÍ BANSKOBYSSTRICKÉHO A ŽILINSKÉHO KRAJA

Milan Oravec, Matej Schwarz, Marián Slamka

### 1 Úvod

Drevná surovina je najvýznamnejšou obnoviteľnou surovinou na Slovensku. Vzhľadom na veľkú lesnatosť štátu, súčasné a predpokladané ťažbové možnosti dreva má domáca produkcia, spracovanie a využitie dreva veľký význam v oblasti ekológie, ekonomiky, zamestnanosti a rozvoja vidieckych oblastí. Vzhľadom na vzrastajúcu naliehavosť zlepšenia situácie v budúcom období je potrebné v záujme jej udržateľného rozvoja v uvedených oblastiach riešiť viacero okruhov problémov. Jedným z nich je optimalizácia tokov suroviny na energetické využitie s dôrazom na zvýšenie miery domáceho spracovania, využitia dreva a tvorby pridanej hodnoty.

Vplyvom klimatickej zmeny a zmien v spôsobe obhospodarovania lesov, napr. nárast podielu prirodzenej obnovy, dochádza k postupnej zmene druhovej a kvalitatívnej štruktúry lesných porastov. V budúcom období sa predpokladá pokles podielu ihličnanov a tiež produkcie guľatinových sortimentov. Vysoký podiel kalamitných ťažieb najmä ihličnatých porastov zrýchľuje odčerpávanie zásob kvalitnejšej suroviny a na druhej strane vzrastajú rozlohy a zásoby listnatých porastov. V týchto porastoch dosahuje skutočná ťažba v poslednom období cca 75% plánovanej ťažby. Hlavnými dôvodmi sú kompenzácia výšky kalamitných ťažieb, obmedzené odbytové možnosti a nižšia cena listnatého dreva. Súčasný stav spracovania a využitia dreva na Slovensku najmä z hľadiska štruktúry spracovateľských kapacít, miery finalizácie produkcie a tvorby pridanej hodnoty neumožňuje zhodnotenie domácej produkcie dreva. Drevospracujúci priemysel je orientovaný najmä na spracovanie ihličnatej guľatiny a listnatého vlákninového dreva. Predmetom exportu sú sortimenty rôznej kvality, vrátane menej kvalitného dreva. Napriek rýchlemu rastu spotreby energetického dreva v poslednom desaťročí, zostáva stále 50% potenciálu nevyužitého. Cieľom príspevku je s využitím dostupných údajov Národného lesníckeho centra navrhnúť optimalizáciu tokov drevnej suroviny na energetické využitie na území SR vrátane modelového riešenia pre Banskobystrický a Žilinský kraj.

### 2 Disponibilné množstvo dreva na energetické využitie

Zaraďovanie ťaženého, resp. dodávaného dreva do jednotlivých kvalitatívnych tried nie je záväzná z hľadiska jeho reálneho spracovania. Veľmi často dochádza ku zámene sortimentov, čiže napríklad výrezy III. triedy akosti sa spracujú ako vlákninové drevo a drevo v kvalite vlákniny sa používa ako palivové drevo. Na Slovensku je akútne nedostatok spracovateľských kapacít na guľatinový sortiment listnatého dreva. V roku 2019 sa dodalo na domáci trh 1 233 tis.m<sup>3</sup> listnatých výrezov III. triedy akosti a import tohoto sortimentu bol vyšší ako jeho export o 3,48 tis.m<sup>3</sup>. Ročná spracovateľská kapacita v SR pre uvedený sortiment je cca 500 tis.m<sup>3</sup>, z toho vyplýva, že listnaté výrezy II. triedy akosti boli spracované ako vlákninové drevo.

Skutočné dodávky energetického dreva v roku 2019 a ich predpokladané ročné disponibilné množstvá v jednotlivých krajoch v rokoch 2030 až 2040 a ich súčasná spotreba na ich území sa uvádza v tabuľke 1.

**Tabuľka 1.** Skutočné dodávky energetického dreva v roku 2019 a ich predpokladané ročné disponibilné množstvá v jednotlivých krajoch v rokoch 2030 až 2040 a ich súčasná spotreba na ich území

Kraj	Rok	Ročné disponibilné zdroje energetického dreva z lesných pozemkov, tis. t	Ročné disponibilné zdroje energetického dreva z nelesných pozemkov, tis. t	Zvyšky po spracovaní dreva dodávané na domáci trh, tis. t	Súčasná ročná spotreba, tis. t	Rozdiel, tis. t.
BA	2019*	41	1	1	54	-11
	2030	118				
	2040	119				+74
TT	2019*	34	2	47	47	+36
	2030	101				
	2040	102				+149
TN	2019*	196	14	98	260	+48
	2030	377				
	2040	382				+280
NR	2019*	67	3	59	241	-112
	2030	143				
	2040	150				-18
ZA	2019*	231	35	154	420	0
	2030	412				
	2040	409				+233
BB	2019*	345	57	239	680	-39
	2030	714				
	2040	723				+430
KE	2019*	189	21	57	258	+7
	2030	423				
	2040	427				+308
PO	2019*	267	71	134	401	+71
	2030	583				
	2040	590				+540
Spolu	2019*	1370	204	787	2361	0
	2030	2875				
	2040	2902				+1996

Ročná spotreba energetického dreva vo forme štiepok, palivového dreva, peliet a brikiet bola v roku 2019 na úrovni 2 361 tis. t. Ide o drevné palivá obchodované na trhu. Nie je zahrnutá vlastná spotreba drevospracovateľských kapacít. Najväčšia ročná spotreba bola v Banskobystrickom 680 tis. t, Žilinskom 420 tis. t a Prešovskom kraji 401 tis.t. V uvedenom roku sa dodalo 1 370 tis. t energetického dreva z lesných pozemkov (58 % z celkových ročných dodávok), 204 tis. t z nelesných pozemkov (9 %) a 787 tis. t zvyškov po mechanickom spracovaní dreva (33 %). Do roku 2040 sa celkové ročné disponibilné zdroje energetického dreva v SR zvýšia na 4 357 tis. t. Najväčšie disponibilné zdroje sa nachádzajú na území Banskobystrického 1070 až 1110 tis. t, Prešovského 909 až 941 tis. t a Žilinského kraja 672 resp. 653 tis. t.



V Banskobystrickom samosprávnom kraji sa v súčasnosti nachádza približne 140 spracovateľov dreva rôznej veľkosti, ktorí spracovávajú najmä guľatinové sortimenty ihličnatého dreva a v menšej miere listnatého dreva. Jedinou spracovateľskou kapacitou na neenergetické využitie je podnik Kronospan Zvolen, ktorý je schopný spracovať celé ročné disponibilné množstvo ihličnatej vlákničky na území kraja. Celú ročnú produkciu listnatej vlákničky je možno použiť na zásobovanie podniku Mondi SCP Ružomberok.

V roku 2019 sa na území kraja spotrebovalo 680 tis. t energetického dreva, z toho individuálni spotrebitelia 215 tis. t a energetické podniky 465 tis. t. Výška ročných dodávok energetického dreva z lesných pozemkov bola 345 tis. t, spracovatelia dodali 239 tis. t tuhých drevných zvyškov a z nelesných pozemkov 57 tis. t. V energetických podnikoch sa na výrobu tepla použilo 357 tis. t a na kombinovanú výrobu elektriny a tepla 108 tis. t energetického dreva.

Bilancia predpokladanej ročnej produkcie energetického dreva vo vzťahu k jeho súčasnej spotrebe v jednotlivých okresoch Banskobystrického kraja je uvedená v tabuľke 2.

**Tabuľka 2.** Bilancia predpokladanej ročnej produkcie energetického dreva vo vzťahu k jeho súčasnej spotrebe v jednotlivých okresoch Banskobystrického kraja

Okres	Ročná spotreba, tis.t.	Predpokladaná ročná produkcia, tis.t.		Rozdiel medzi produkciou a spotrebou	
		2020	2040	2020	2040
B. Bystrica	171	117	120	-54	-51
B. Štiavnica	12	50	52	+38	+40
Brezno	30	117	121	+87	+91
Detva	69	107	111	+38	+42
Krupina	11	75	78	+64	+67
Lučenec	30	80	83	+50	+53
Poltár	9	28	29	+19	+20
Revúca	19	53	55	+34	+36
R. Sobota	71	64	66	-7	-5
Veľký Krtíš	28	86	89	+58	+61
Zvolen	131	83	86	-48	-45
Žarnovica	37	105	110	+68	+73
Žiar n/ Hronom	62	105	109	+43	+47
Spolu	680	1070	1110	+390	430

V období rokov 2020 až 2040 sa predpokladaný ročný prebytok disponibilných zdrojov energetického dreva v porovnaní so súčasnou spotrebou zvýši z 390 na 430 tis. t. Najväčšie prebytky budú v okresoch Brezno, Žarnovica, Detva a Veľký Krtíš. Nedostatok vlastných zdrojov energetického dreva bude v okresoch Banská Bystrica 54 resp. 51 tis. t, Zvolen 48 resp. 45 tis. t a Rimavská Sobota 7 resp. 5 tis. t. V prípade okresov Banská Bystrica a Zvolen možno v rámci kraja deficit zdrojov pokryť zo susediacich okresov Brezno, Detva a Krupina, v ktorých ročný prebytok bude v rozmedzí 189 až 200 tis. t.

V Žilinskom kraji sa v súčasnosti nachádza približne 150 spracovateľov dreva rôznej veľkosti, ktorí spracovávajú takmer výlučne guľatinové sortimenty ihličnatého dreva. Jedinou spracovateľskou kapacitou na neenergetické využitie listnatého dreva je podnik Mondi SCP Ružomberok, ktorý kryje svoju spotrebu vlákničným drevom z celého územia SR a tiež dovozom zo zahraničia.

Celá produkcia ihličnatej vlákniny sa spracováva mimo územia kraja a to v rámci SR v Ikea Industry Malacky a Kronospan Zvolen alebo sa exportuje do Česka.

V roku 2019 sa na území kraja spotrebovalo 420 tis. t energetického dreva, z toho individuálni spotrebitelia 181 tis. t a energetické podniky 239 tis. t. Výška ročných dodávok energetického dreva z lesných pozemkov bola 231 tis. t, spracovatelia dreva dodali 154 tis. t a z nelesných pozemkov 35 tis. t. V energetických podnikoch sa na výrobu tepla použilo 193 tis. t a na kombinovanú výrobu elektriny a tepla 46 tis. t energetického dreva.

Bilancia predpokladanej ročnej produkcie energetického dreva vo vzťahu k jeho súčasnej spotrebe v jednotlivých okresoch Žilinského kraja je uvedená v tabuľke 3.

**Tabuľka 3.** Bilancia predpokladanej ročnej produkcie energetického dreva vo vzťahu k jeho súčasnej spotrebe v jednotlivých okresoch Žilinského kraja

Okres	Ročná spotreba, tis.t.	Predpokladaná ročná produkcia, tis.t.		Rozdiel medzi produkciou a spotrebou	
		2020	2040	2020	2040
Čadca	32	98	95	+66	+63
Kysucké Nové Mesto	34	39	38	+5	+4
Žilina	88	82	80	-6	-8
Bytča	16	46	45	+30	+29
Považská Bystrica	21	64	62	+43	+42
Púchov	16	60	58	+44	+42
T. Teplice	10	47	46	+37	+36
Martin	97	71	69	-26	-28
Ružomberok	61	67	65	+6	+4
Dolný Kubín	25	44	43	+19	+18
Námestovo	20	54	52	+34	+32
Spolu	420	672	653	+252	+233

V období rokov 2020 až 2040 sa predpokladaný ročný prebytok disponibilných zdrojov energetického dreva v porovnaní so súčasnou spotrebou zníži z 252 na 233 tis. t. Najväčšie prebytky budú v okresoch Čadca, Puchov, Považská Bystrica a Turčianske Teplice. Nedostatok vlastných zdrojov energetického dreva bude v okresoch Martin 26 resp. 28 tis. t a Žilina 6 resp. 8 tis. t. Uvedené množstvo možno pokryť v rámci kraja zo susediacich okresov Turčianske Teplice, Považská Bystrica, Dolný Kubín a Bytča, ktorých ročný prebytok bude v rozmedzí 129 resp. 125 tis. t.

### 3 Záver

Vzhľadom na zmeny v drevinovom zložení a sortimentovej štruktúre sa predpokladá rast disponibilných zdrojov energetického dreva na lesných pozemkoch. Zásoba a rozloha porastov drevín sa zvyšuje aj na nelesných pozemkoch. Z právneho hľadiska nie je jasná perspektíva ich budúceho využitia. Predpokladá sa rast domácich drevo-spracovateľských kapacít a tiež zvýšenie miery kaskádového využitia dreva. V prípade využitia disponibilných zdrojov sú v každom kraji s výnimkou Nitrianskeho možnosti pokrytia vlastnej súčasnej spotreby. Do roku 2040 sú z hľadiska prebytku disponibilných zdrojov najväčšie možnosti rastu spotreby v Prešovskom 540 tis. t, Banskobystrickom 430 tis. t, Košickom 308 tis. t a Trenčianskom kraji 280 tis. t ročne.

V záujme efektívnejšieho zhodnocovania disponibilných zdrojov je potrebné riešiť nasledovné oblasti využívania:

- zvyšovanie energetickej hodnoty drevných palív pre systémy individuálneho vykurovania,
- zvyšovanie efektívnosti činnosti zásobovacích reťazcov palivovej drevnej biomasy z hľadiska tvorby pridanej hodnoty kvality a bezpečnosti produkcie,
- zvyšovanie účinnosti premeny energie zavádzaním moderných výrobných technológií a optimalizáciou prevádzkových parametrov,
- zvyšovanie podielu kombinovanej výroby elektriny a tepla, rozvoj inovácií v oblasti výroby alternatívnych (kvapalných a plynných) palív

## Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol na základe finančnej podpory Agentúry na podporu výskumu a vývoja v rámci riešenia projektu APVV-0487-16 Optimalizácia využitia drevnej suroviny nižšej kvality na Slovensku (50 %) a vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva; (kód ITMS: 313011S735), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja (50%).

## Literatúra

Zelené správy, dostupné na: <https://www.mpsr.sk/lesne-hospodarstvo/123>

## Zhrnutie

**Optimising wood flow for better wood-energy use in the model area of Banská Bystrica and Žilina district.** The aim of the paper was to propose the optimisation of wood flows for better wood-energy use in the Slovak Republic, including a model solution for the Banská Bystrica and Žilina regions. Wood is the most important renewable raw material in Slovakia and, considering high forest cover of the country, the current and expected potential for wood removals, the domestic wood production, processing and use is of major importance. Considering the expected changes in the tree-species composition and stem-quality structure, the increase in available energy-wood resources on forest land as well as on non-forest land can be expected. If all available resources are used in each region, there is the possibility of covering region's own current consumption, with the exception of Nitra district. For better monetarisation of available wood resources, it would be necessary to address the areas of use of wood as listed at the end of the paper.

## Kľúčové slová

Drevná surovina, energia, optimalizácia tokov

## Kontaktakné adresy

Ing. Milan Oravec, PhD., Ing. Matej Schwarz, Ing. Marián Slamka, PhD.  
Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu  
Lesnícky výskumný ústav Zvolen  
Národné lesnícke centrum  
T.G. Masaryka 2175/22  
960 01 Zvolen, Slovak Republic  
[milan.oravec@nlcsk.org](mailto:milan.oravec@nlcsk.org); [matej.schwarz@nlcsk.org](mailto:matej.schwarz@nlcsk.org); [marian.slamka@nlcsk.org](mailto:marian.slamka@nlcsk.org);

## Bibliografická citácia

- Citácia zborníka:

TÓTHOVÁ, Slávka a GERGEL, Tomáš, eds., 2021. Konferencia LignoSilva 2021: *Zborník odborných prác z konferencie*. Zvolen 28. september 2021. Zvolen: Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav. ISBN 978-80-8093-327-2

- Citácia príspevku:

GERGEL, Tomáš, BUCHA, Tomáš a ONDREJKA, Vojtěch, 2021. Výskumná infraštruktúra budovaná v rámci projektu centra excelentnosti LignoSilva v areály BZ Stráž In: *LignoSilva 2021: Zborník odborných prác z konferencie, 28. september 2021*. Zvolen: Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav, s. 13-20 ISBN 978-80-8093-327-2



Koordinátor projektu:



Partner projektu:



<http://lignosilva.nlcsk.org/>

T.G.Masaryka 2175/22, 960 01 Zvolen